



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

Факультет	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 «Біомедична інженерія»</u>
Освітньо-професійна програма	<u>«Клінічна інженерія»</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Владислав ШЛИКОВ  
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

Мневцю Антону Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналоговий стерео - слуховий апарат зі змінною АЧХ»

Керівник роботи ст. викл. каф. БМІ Зубков Станіслав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 25 » травня 2020 р. № 1191-с

2. Термін подання студентом роботи 08.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Побутові телефони «JBL tune 110», мікросхема аналогового еквалайзера «LA 3600», мікросхема підсилювача мікрофону з АРП «MAX 9814», мікросхема підсилювача мікрофону «TDA 1308», SMD конденсатори та резистори, паяльне обладнання, програмне середовище «MicroCap».

4. Зміст дипломної роботи: Ознайомитися з аналогами, та технічними рішеннями; Спроекувати схеми та плати для слухового апарату зі змінною АЧХ; Виготовити макет; Протестувати виготовлений макет.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація дипломної роботи.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц. каф. ОПЩБ, к.т.н. Демчук Г.В.		

## 7. Дата видачі завдання: 13.04.2020

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з технікою безпечної роботи з інструментами та приладами лабораторії. Вивчення інструкцій з експлуатації. Отримання допуску на роботу з ними.	Квітень 2020	
2	Вивчення державних стандартів, що встановлюють медико-технічні вимоги (МТВ) до виробу, який є темою дипломної роботи. Розробка МТВ.	Квітень 2020	
3	Пошук, вивчення, та аналіз технічних рішень аналогів. Розробка принципових схем вузлів виробу.	Травень 2020	
4	Виготовлення макету	Травень 2020	
5	Лабораторні випробування макету на відповідність МТВ	Травень 2020	
6	Оформлення пояснювальної записки.	Червень 2020	
7	Підготовка до захисту ДР.	Червень 2020	
8	Захист ДР.	Червень 2020	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Антон МНЕВЕЦЬ**

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Станіслав ЗУБКОВ**

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Аналоговий стерео – слуховий апарат зі змінною АЧХ».

Обсяг пояснювальної записки становить 69 сторінок, міститься 58 ілюстрацій, 20 таблиць. Загалом опрацьовано 21 джерело.

Актуальність: Актуальність проблеми відновлення слуху на сьогоднішній день стоїть на одному з перших планів відновної медицини. Відновлення слуху шляхом використання електро – механічних пристроїв, або «слухового протезування» на сьогоднішній день є найбільш доступним, та найбільш перспективним шляхом розвитку відповідного напрямку біомедичної інженерії, та отолорингології. Слухові апарати покликані коректувати кондуктивні слухові вади. Використовуючи методи та можливості сучасної обробки сигналів, апаратів та випромінювачів можна відновити значну частину втраченого слуху, які позбавлять людину дискомфорту та піднімуть якість життя.

Мета: Зрозуміти особливості роботи, тонкощі та можливості в проектуванні апаратів слухового протезування, а саме, слухового апарату зі змінною АЧХ.

Завдання:

- Ознайомитися з державними стандартами, що встановлюють медико-технічні вимоги до виробу, який є темою практики;
- Ознайомитися з аналогами, технічними рішеннями при проектуванні приладів даного типу, а також проектування схем та плат для слухового апарату зі змінною АЧХ;
- Спроекувати схеми та плати для слухового апарату зі змінною АЧХ, та виготовити робочий макет;
- Протестувати виготовлений макет.

Ключові слова: слуховий апарат, амплітудно – частотна характеристика, автоматичне регулювання підсилення, аудіограма, слухове протезування.

## SUMMARY

Topic of graduate work: “Analog stereo hearing aid with variable frequency response”.

The volume of the report is 69 pages, it contains 58 illustrations, 20 table. A total of 21 sources were processed.

Relevance: The relevance of the problem of hearing reparation today is one of the forefront of restorative medicine. Hearing reparation using of electro – mechanical devices, or "hearing aids" is currently the most accessible and most promising way to develop the relevant field of biomedical engineering and otolaryngology. Devices for hearing reparation are called hearing aids. Hearing aids are designed to correct conductive hearing impairments. Using the methods and capabilities of modern signal processing, devices and emitters, you can restore much of the lost hearing capabilities, which will relieve discomfort and improve quality of life.

Purpose: Understand the features, subtleties and possibilities in the design of hearing aids, namely, hearing aids with variable frequency response.

Objectives of undergraduate practice:

- Get acquainted with the state standards that establish medical and technical requirements for the product, which is the subject of practice;
- Get acquainted with analogues, technical solutions in the design of devices of this type, as well as the design of circuits and boards for hearing aids with variable frequency response;
- Design circuits and boards for hearing aids with variable frequency response, and make working model.
- Test working model.

Key words: hearing aid, amplitude - frequency response, automatic gain control, audiogram, hearing aids.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1. Типи втрати слуху.....	11
1.2. Типи апаратів з повітряним звукопроведенням .....	12
1.3. Аналоги і схемотехнічні рішення .....	13
1.4. Види телефонів слухових апаратів: .....	17
Висновки до розділу 1 .....	19
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТУ .....	20
2.1. Опис основних блоків.....	20
2.2. Підбір елементарної бази .....	21
2.3. Формування очікуваних характеристик .....	34
Висновки до розділу 2 .....	36
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТУ.....	37
3.1. Формування функціональної блок-схеми.....	37
3.2. Розробка принципової схеми апарату.....	37
3.3. Розробка плати апарату .....	42
3.4. Виготовлення макету .....	45
Висновки до розділу 3 .....	47
РОЗДІЛ 4 ТЕСТУВАННЯ АПАРАТУ .....	48
4.1. Підбір інструментів тестування .....	48
4.2. Тестування.....	49
Висновки до розділу 4 .....	57

					<b>БМ61.07.2505.1191.ПЗ</b>			
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		Мневець А.В.			Аналоговий стерео- слуховий апарат зі змінною АЧХ	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>		Зубков С.В.						
<i>Реценз.</i>		Попадоха Ю. А.						
<i>Н. Контр.</i>		Юр'єва К.О.						
<i>Затвердив</i>		Шликов В.В.						
						<b>КПІ ім. І. Сікорського</b>		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
5.1. Характеристика апарату, що є темою дипломної роботи.....	58
5.2. Взаємодія апарату і людини в системі «людина- об'єкт».....	59
5.3. Звукова небезпека.....	60
5.4. Електро-небезпека.....	61
5.5. Небезпека займання.....	62
5.6. Інструкції по техніці безпеки при експлуатації апарату.....	63
Висновки до розділу 5.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТОК А.....	70

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Телефон слухового апарату – Пристрій для перетворення електричної енергії змінної частоти, в механічну енергію тієї ж частоти, для створення акустичного тиску на слухову мембрану людини.

АЧХ – Амплітудно-частотна характеристика

Полоса пропускання – Діапазон частот, на яких функціональний елемент схеми коректно функціонує.

СА – слуховий апарат.

Порядок фільтра – відносна величина, яка показує швидкість, та степінь нахилу частотної кривої на частоті фільтрації. Якщо порядок « $n=1$ »: нахил складає 6 дБ/окт, якщо порядок « $n=2$ »: нахил складає 12 дБ/окт.

Акустичний тиск – Тиск, який створюється в звукопровідному, пружному середовищі, при проходженні через нього звукової хвилі.

АРП – Система автоматичного регулювання підсилення.

РЗТ – Рівень звукового тиску.

ВРЗТ90 – Вихідний РЗТ при вхідному РЗТ, рівному 90 дБ;

ККД – Коефіцієнт корисної дії.

ЕРС – Електро-рушійна сила.

SMD – Surface mounted device, або елементи поверхневого монтажу.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Головна мета слухового протезування – це підсилення і підлаштування звуку під особливості сприйняття звуку пацієнтом, тому виникає необхідність коректувати не загальний рівень звукового тиску, а рівень звукового тиску на визначених частотах, крім того має велике значення тип провідності звуку (кісткова або барабанна), значення яких встановлюється апаратами для тональної аудіометрії, імпедансометрами, рефлектометрами. В зв'язку з цим виникає низка ускладнень, адже телефони, які призначені для використання в слуховому протезуванні мають нерівномірну АЧХ, крім того полоса пропускання таких телефонів нижча ніж полоса пропускання сприйняття звуку людиною. Тому необхідно коректувати не тільки вади слуху людини на певних частотах, а ще й вади АЧХ телефонів, для виявлення яких необхідне високоточне обладнання.

Іншим важливим фактором є затримка сигналу. Сучасні апарати слухової корекції використовують цифрову обробку сигналу, фільтри яких неможливо реалізувати без затримки. Зі збільшенням якості фільтрації затримка збільшується, тому розробники обмежені в кількості діапазонів частот, які вони одночасно можуть корегувати. Крім того обмежені порядки фільтрів корекції, що може бути недостатнім при, наприклад, радикальній втраті слуху на середніх або низьких частотах. Така ситуація призводить до обмежень в якості корекції слуху, або призводить до необхідності збільшувати затримку, для більш чіткої обробки сигналу. Особливо яскраво ця ситуація проявляється, коли одне вухо добре чує, а слуховий протез відтворює звук з затримкою, що призводить до втрати орієнтації та дискомфорту.

Крім того проблемним фактором являється необхідність підсилення звуку для високоомних навушників, якими є телефони слухових апаратів. Особливо гостро ця проблема постає при необхідності живлення апарату від компактного,

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

низьковольтного джерела живлення, що веде за собою необхідність використання додаткових перетворювачів напруги, або використання складних за будовою підсилювачів д класу, які викликають певні труднощі при виробництві і як наслідок ведуть до зростання ціни виробу.

Наступним фактором є матеріали із яких виготовляються слухові апарати, адже більшість із них безпосередньо контактують зі шкірою більшу частину доби і отже повинні володіти біоінертними властивостями, для запобігання алергічних реакцій. Крім того до слухових апаратів виділяється низка вимог пов'язаних з тим, що слуховий апарат є перш за все медичним виробом.

Також у зв'язку з супроводжуючими складностями та особливостями налаштування, кожен слуховий апарат повинен володіти власним програмним забезпеченням, для калібровки та виводу апарату в робочій режим.

Враховуючі всі вище перераховані фактори необхідно системно підходити до проектування данного апарату, та враховувати всі фактори одночасно, щоб в результаті було спроектовано апарат, який володіє конкурентно- спроможним місцем на ринку.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Типи втрати слуху

Існує декілька типів слухових апаратів, які поділяються за типом втрати слуху, ступенем втрати слуху, типом провідності звуку який протезується, типом фіксації в усі, іншими цільовими призначеннями.

Пацієнт не втрачає слух цілком, зазвичай втрата особливо проявляється на певних частотах, згідно цього втрати слуху поділяють на наступні типи:

1. Втрата слуху на верхніх частотах.
2. Втрата слуху на низьких частотах.
3. Втрата слуху на середніх (особливо критично, оскільки ключовий діапазон розпізнавання мови знаходиться в межах 1000-4000 Гц).
4. Комбіновані види втрати слуху, спільна втрата слуху по всім частотам.

Крім того втрата слуху визначається в залежності від провідності звуку:

1. Барабанна провідність – головий тип провідності звуку у людини, що має добрий слух). Звукові коливання поступають на барабанну перетинку, та через систему важелів(молоточків) передається на внутрішнє вухо. Данний тип провідності є найбільш чутливим, але й найбільш травматичним, навіть при слуховому протезуванні з корекцією АЧХ.

2. Кісткова провідність – провідність, яка базується на здатності кісток проводити коливання. Коливання кісток черепа безпосередньо чинять змінний тиск на внутрішнє вухо, минуючи систему молоточків, та барабанної перетинки. Такий вид протезування є менш чутливим, але є на даний час одним з головних рішень при порушеннях функціонування зовнішнього та середнього вуха.

Згідно цього, інженеру – проектувальнику слухового апарата необхідно визначитись з частотами, на яких буде проходити основне протезування слуху

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

(для визначення технічних рішень по регулюванню частот), типом звукової провідності (для визначення вибору випромінювача, технічних рішень системи підсилення), та ступеня втрати слуху (для визначення рівня кінцевого посилення звуку). Крім того необхідно визначитись з формою реалізації слухового апарату.

## 1.2. Типи апаратів з повітряним звукопроведенням

1. Завушні – мікрофон, схема налаштування АЧХ і підсилення схована в корпусі, який кріпиться за вухом, звуковий випромінювач може бути розташований в корпусі (звуковий тиск передається по повітряному каналу, що виходить із корпусу), також може бути виведений за межі апарату випромінювач на провіднику. Даний тип апаратів є найбільш розповсюдженим, адже має достатньо ергономічний корпус, який здатен вмістити весь необхідний функціонал, та підходить для більшості видів втрат слуху.

2. Внутрішньовушні – є найбільш ергономічним видом слухового апарату. Має форму, яка цілком вміщується в слуховий канал. Данна форма дозволяє приховано встановити слуховий апарат, але зазвичай не має схеми корекції АЧХ, також є обмеження по потужності випромінювачів та по типу джерела живлення. В табл.2 приведена порівняльна характеристика апаратів повітряного звукопроведення.

3. карманні слухові апарати – найменш ергономічний тип слухових апаратів, але має достатньо місця для реалізації високоякісних схем, збільшеної ємності джерела живлення, та здатністю змінювати тип випромінювача, не змінюючи пристрій корекції слуху. На даний час використовується в слуховому протезуванні особливого призначення (при необхідності довгої безперервної роботи апарату, при необхідності використовувати апарат в особливих температурних умовах, при необхідності підвищеної ударостійкості). Інше використання полягає в тестовому застосуванні перед кінцевим налаштуванням

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

завушного слухового апарату. Також є можливість реалізувати схеми з підвищеною пропускнуою здатністю.

В таблиці 1.1, приведена порівняльна характеристика апаратів з повітряним звукопроведенням:

Таблиця 1.1 – порівняльна характеристика апаратів повітряного звукопроведення.

Параметр	Завушні	Внутрішньо-вушні	карманні
Зовнішній вигляд			
Композиція	Ергономічна, випромінювач виведений за межі корпусу	Ергономічна, випромінювач вмонтовано в корпус апарату	Підсилювальний пристрій, і випромінювачі є окремими складовими частинами.
Принцип провідності	Повітряна (звуковий тиск)	Повітряна (звуковий тиск)	Повітряна (звуковий тиск) Кісткова (тиск наголов'ям)
Спосіб фіксації	За вухом	В вушному каналі	Будь-який
Час встановлення	З коробки	З коробки	Після попереднього налаштування
Максимальна втрата слуху	140 dB	90dB	140 dB
ускладнення	Алергія завушної області, можлива слабка деградація слуху	Алергія внутрішньовушної області, можлива виражена деградація слуху	можлива слабка деградація слуху

### 1.3. Аналоги і схемотехнічні рішення

Сучасні цифрові слухові апарати мають наступну будову:

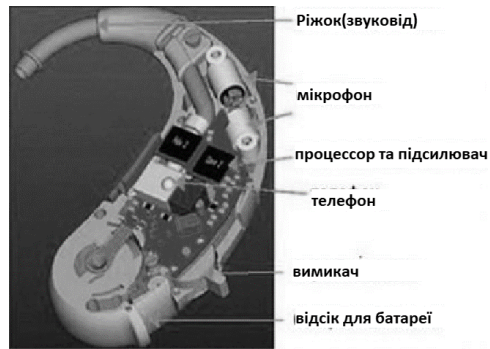


Рисунок 1.1 – 3-Д візуалізація компонентів цифрового заушного слухового апарату

На вище зазначеному рисунку (рис.1.1), представлена модель слухового апарату, що має телефон, який вмонтовано в корпус, звук від якого через звуківід направляється в вушний канал. За обробку, та підсилення звуку відповідають відповідні мікросхеми на платі. Головною частиною цифрового слухового апарату є звуковий мікропроцесор, алгоритми якого дозволяють змінювати АЧХ звукового тракту, проводити транспонування звуку в чутну область пацієнта, формувати затримку, коректувати рівні гучності. Ключовою функцією в цих режимах виступає 2 мікрофони, які знаходяться на невеликій відстані один від одного. Знаючи відстань між мікрофонами, і затримку поширення звуку, можна дуже точно оцінити напрям поширення звуку, і виходячи з цих даних скоректувати рівень гучності, для максимально комфортного сприйняття оточуючого середовища. Вихідний сигнал посилюється в підсилювачі класу D, це дозволяє зменшити масштаби підсилювача, збільшити його ККД і вихідну потужність.

Сучасні аналогові карманні та заушні слухові апарати мають обмежений функціонал (рис. 1.2 (а - в)).

Данні апарати дозволяють виборочно фільтрувати високі частоти, або низькі, а також регулювати гучність. Така обмеженість функціоналу пов'язана з тим, що зі збільшенням діапазонів значно збільшуються габарити пристрою. Таким чином аналогові слухові апарати данного типу не здатні

підлаштовуватись під індивідуальні особливості вуха, що збільшує дискомфорт і пришвидшує деградацію слуху.

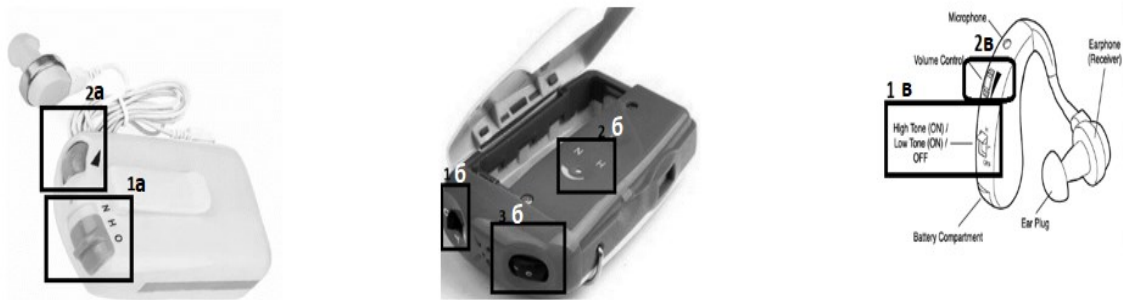


Рисунок 1.2 – Аналоги слухових апаратів, де: 1.а – перемикач діапазонів фільтрації; 2.а – регулятор гучності; 1.б – перемикач діапазонів фільтрації; 2.б – регулятор гучності; 3.б – вимикач 1.в – перемикач діапазонів фільтрації; 2.в – регулятор гучності суміщений з вимикачем.

Крім того вони мають монофонічний тип підключення телефону, що затрудняє протезування лівого і правого вуха,.

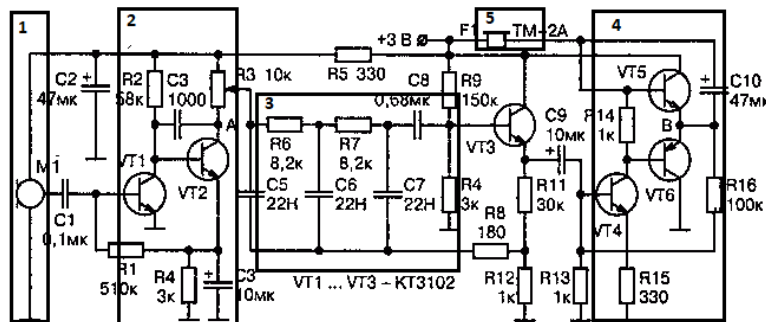


Рисунок 1.3 – схема аналогового слухового апарату з фільтром мови

Умовно принцип дії аналогового слухового апарату можна поділити на 5 блоків (рис. 1.3):

1. Блок сприймання сигналу – мікрофон, має безпосередній вплив на якість звуку на виході слухового апарату, його зашумленість, та первинну АЧХ. Фантомне живлення даного мікрофону подається з лінії основної напруги через обмежуваний резистор R5 і згладжуючий конденсатор C2. Це живлення необхідно в колі підсилювача з відкритим стоком, що формує низький опір на виході, і первинно посилює корисний сигнал.

2. Блок первинного посилення звуку – даний блок посилює слабкий сигнал мікрофону М1, виконаний за двохкаскадним підсиленням звуку за схемою зі спільним емітером на транзисторах VT1, VT2. Даний тип підключення дозволяє мінімізувати шуми при підсиленні корисного сигналу, та збільшити вхідний опір.

3. Блок фільтрації сигналу – реалізований на RC фільтрах нижніх і верхніх частот (елементи C7, R3, R6, C5, C6, R7 і VT3), що формує полосову передаточну характеристику в діапазоні 200 – 4000 кГц, і відсікає шумові, та високочастотні перешкоди.

4. Блок кінцевого посилення – виконаний на підсилювачі напруги (VT4) і підсилювачі току (VT5, VT6). Даний блок формує силову напругу, що подається на телефон типу А.

5. Блок випромінювання – телефон слухового апарату, що випромінює звуковий сигнал з необхідним звуковим тиском.

Рівень вихідного сигналу регулюється перемінним резистором R3.

Для збільшення ергономічності і простоти конструкції, була розроблена спеціалізована мікросхема К548УНЗ, яка здатна працювати на заниженій напрузі (1.3-2 В.), та призначена для високоомних телефонів типу В. Функціональна схема і параметри мікросхеми наведено на рис. 1.4:

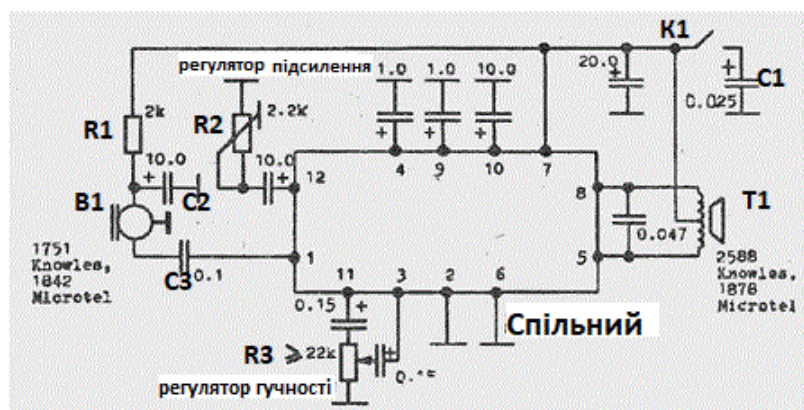


Рисунок 1.4 – схема аналогового слухового апарату на мікросхемі к548УНЗ

Мікросхема підсилює сигнал з мікрофона В1, який отримує фантомне живлення від джерела живлення, під'єданого до конденсатора С1 напругою 1,5 В, яке через ключ К1 потрапляє на вивід живлення мікросхеми 7. З сигнального виводу мікрофона, через розв'язувальний конденсатор С3 сигнал потрапляє на вхід попереднього підсилювача 1, коефіцієнт підсилення якого регулюється резистором R2 в зворотньому зв'язку попереднього підсилювача. Після попереднього підсилювача сигнал з виводу 11 подається на вивід 3 мікросхеми, через поділювач напруги на потенціометрі R3, змінюючи опір потенціометра, змінюється рівень сигналу, що йде на кінцевий підсилювач. На виході кінцевого підсилювача (виводи 5, 8) під'єднано телефон типу В (Т1), який являє собою котушку з середньою точкою. На середню точку подається опорна напруга, на кінці котушки сигнал в протифазі, що збільшує вихідний рівень амплітуди, на рівень достатній для ввімкнення високоомного телефону.

#### 1.4. Види телефонів слухових апаратів:

Телефони слухових апаратів поділяються на 2 типи:

Телефони класу А (рис.1.5) – мають 2 контакти – спільний, та робочий, ці контакти є кінцями котушки, яка при подачі електричної напруги працює, як електромагніт, створює магнітне поле і змінює своє положення відносно якоря, навколо якого намотана мідна проволока, під'єднана до котушки мембрана змінює положення в просторі, і створює необхідний акустичний тиск.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

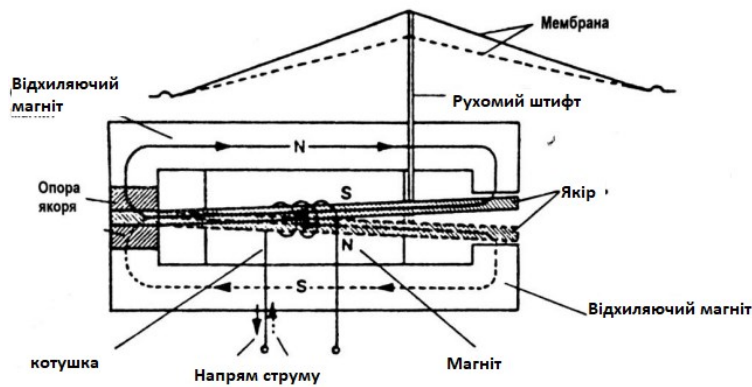


Рисунок 1.5 – розріз електромагнітного телефону класу А

Телефони класу В (рис.1.6) – за будовою схожі з телефонами класу А, але котушка телефону класу В має відвід від середньої точки, куди подається напруга джерела живлення, а на кінець котушки подається корисний сигнал в протифазі. Це збільшує амплітуду корисного сигналу в 2 рази в порівнянні з телефоном класу А, що дає змогу зменшити необхідну напругу живлення відповідно в 2 рази.

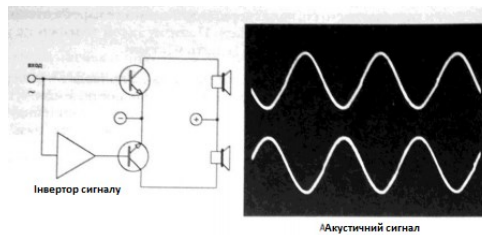


Рисунок 1.6 – принцип дії телефону класу В

Степінь втрати слуху, та частотний розподіл визначають на основі Тональної аудіометрії. Пацієнт одягає навушники, які в діапазоні 125-10000 Гц мають лінійну частотну характеристику, і не мають завалів на досліджуваних частотах, які додатково калібруються. Подаючи періодичні сигнали певної частоти і амплітуди визначають мінімальний рівень звуку, який може розпізнати пацієнт, відносно цього будується графік частотної характеристики слуху – аудіограма.

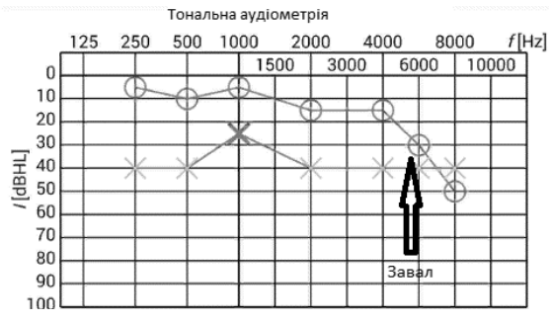


Рисунок 1.7 – аудіограма пацієнта з порушенням слуху на верхніх частотах.

На рис. 1.7 бачимо, що пацієнт має втрату слуху I ступеня на рівні -30 дБ на частоті 6000 Гц. Степінь втрати слуху визначається в dB HL (decibels Hearing Level), або рівень звукового тиску при якому пацієнт починає розпізнавати тон. За 0 дБ прийнято значення  $2 \cdot 10^{-5}$  Па – пороговий рівень розпізнавання тону 1000 Гц у здорової людини і обраховується за наступною формулою 1.1:

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad (1.1)$$

Де:  $L_p$  - рівень звукового тиску в дБ;  $p_0$  - пороговий рівень розпізнавання тону  $2 \cdot 10^{-5}$  Па;  $p$  – рівень звукового тиску досліджуваного звуку в Па.

### Висновки до розділу 1

В данному розділі було сформовано Базові принципи роботи аналогових слухових апаратів, розглянуто їх блок – схеми, та проаналізовано принципи роботи базових схемотехнічних рішень, класифіковано та проаналізовано основні блоки пристроїв. Були проаналізовані всі недоліки, та особливості аналогових слухових апаратів, також були розглянуті принципи роботи спеціалізованих мікросхем. Були проаналізовані базові принципи побудови аудіограм і принципів обрахунку звукового тиску.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТУ

### 2.1. Опис основних блоків

Бажаний принцип дії аналогово слухового апарату можна зобразити наступною блок схемою (рис. 2.1):

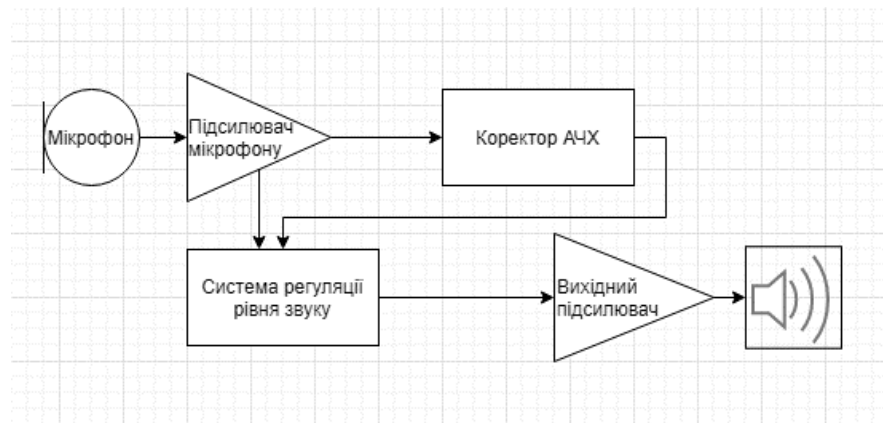


Рис. 2.1 – базова блок схема аналогового слухового апарату

Принцип дії аналогового слухового апарату має схожі функціональні блоки, що і цифровий, але кожна функціональна частина аналогового апарату виконана, як окремий аналоговий блок.

Сигнал послідовно проходячи по основним функціональним вузлам схеми, фільтрується і посилюється до необхідного рівня. Перевагою данної схеми є те, що вихідний сигнал не має затримки, оскільки максимальний зсув фази не перевищує  $180^\circ$ , крім того даний тип побудови схеми обробки звуку дозволяє одночасно регулювати АЧХ на всьому діапазоні частот, які здатне сприймати вухо, не збільшуючі затримку сигналу, це розширює пропускну спроможність слухового апарату, та дозволяє більш гнучко підлаштовувати коректуючу АЧХ. Якість звуку такого апарату визначається шумовими параметрами елементів, наявністю гармонічних зпотворювань, та полосою пропускання підсилювачів, яка є значно вища за діапазон, що чує вухо. Таким чином в порівнянні з цифровим слуховим апаратом зникає обмеження, частоти дискретизації, та

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

дозволяє збільшувати якість звуку, та як наслідок збільшувати якість слухового протезування. Очевидним недоліком такого технічного рішення є габарити, які збільшуються разом зі збільшенням функціоналу, на який розрахований апарат, що робить апарат не зручним в застосуванні, транспортуванні і зберіганні, однак позитивні якості, які дає данне рішення здатні зробити данний вид апарату затребуваним і на сьогоднішній день.

## 2.2. Підбір елементарної бази

Згідно всіх вищеперерахованих вимог, теоретичних відомостей і аналогів можна сформулювати бажані технічні характеристики і складові пристрою, що проектується:

Вихідний рівень звукового тиску:

Сучасні апарати для слухового протезування можуть розвинути рівень звукового тиску в 140 дБ, отже проєктований слуховий апарат повинен мати змогу розвивати рівень звукового тиску 120-140 дБ, що дозволяє коректувати втрату слуху >90 дБ (глухота).

Мікрофон:

Ключовою складовою в формуванні полоси пропускання є мікрофон. Мікрофон формує первинну АЧХ звуку на виході, та формує первинний рівень шуму.

Для побудови пристрою був вибраний мікрофон EM 6022P, технологічні параметри мікрофону наведено в табл. 2.2.

З технологічних характеристик бачимо, що мікрофон має лінійну частотну характеристику в межах від 30 до 15000 Гц, це дає змогу не вирівнювати АЧХ вхідного сигналу додатковими фільтрами (рис. 2.2).

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

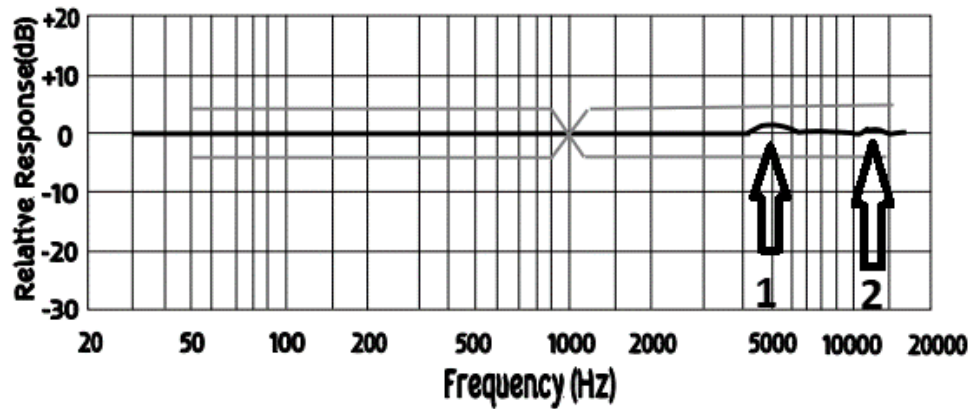


Рисунок 2.2 – Частотна характеристика мікрофону EM 6022P, де: 1, 2 – нерівномірності полоси пропускання.

На АЧХ мікрофону EM 6022P (рис. 2.2), бачимо 2 нерівномірності на частотах 5000 і 15000 Гц, данні нерівності не мають критичного впливу на вихідний сигнал, але при необхідності їх можливо компенсувати за допомогою частотної корекції в блоці частотної обробки сигналу.

Таблиця 2.1 – характеристики мікрофону EM 6022P

Чутливість	-42±3 дБ
Вихідний опір	2,2 кОм
Споживання току(при VCC =2,0 В)	500 мкА
Відношення сигнал/шум	58 дБ
Напруга живлення	1-10 В
Максимальний вхідний звуковий тиск	110 дБ
Робоча температура	-40...+85°C

З аналізу таблиці, бачимо, що мікрофон має достатню чутливість, для застосування мікрофону в слуховому апараті, крім того має запас по макимальному вхідному звуковому тиску, та напрузі живлення.

Мікрофон данного типу потребує фантомного живлення амплітудою 1 – 10 В. постійної, мало-шумлячої напруги, типова схема підключення мікрофону наведена на рис. 2.3.

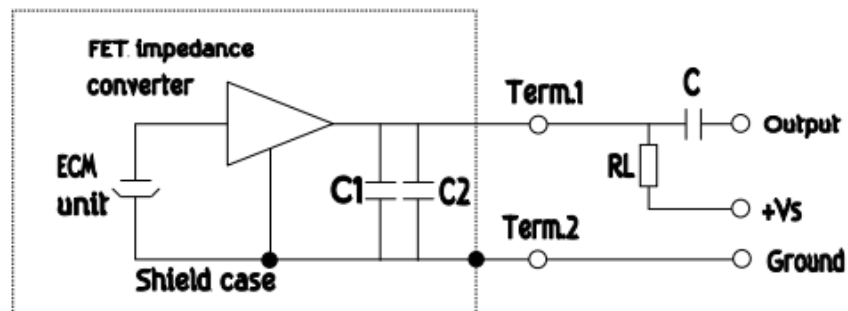


Рисунок 2.3 – Функціональна схема мікрофону EM 6022P

Зі схеми бачимо, що фантомне живлення необхідно для живлення попереднього підсилювача, який вбудований в екранований, металевий корпус мікрофону, данне рішення дозволяє збільшити чутливість мікрофону, зменшивши рівень вихідного шуму. Даний мікрофон є компактним рішенням, що спростить проектування пристрою.

Телефони:

Сучасні телефони характерні здатністю розвивати високі рівні звукового тиску, але мають обмежену полосу пропускання, що збільшує дискомфорт при використанні слухового апарату, та роблять неможливим протезування слуху при втратах на верхніх частотах. Тому альтернативним рішенням є використання внутрішньо-каналних телефонів для побутового призначення. Сучасні інженерні рішення дозволяють збільшувати рівень вихідного звукового тиску до 140 дБ, при збереженні рівномірної частотної характеристики в полосі пропускання від 20 до 20000 Гц. Відмінності між передаточною характеристикою телефонів побутового та спеціалізованого призначення наведено на (рис. 2.4, 2.5). Відмінності основних характеристик телефонів наведено в (табл. 2.2).

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

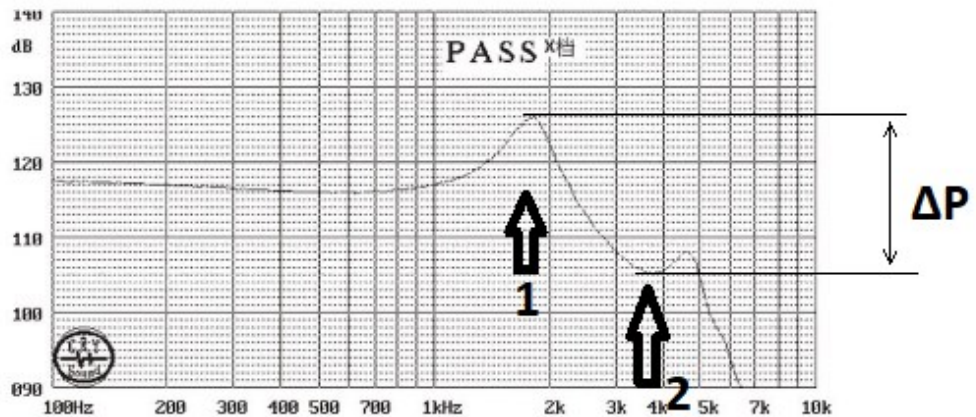


Рисунок 2.4 – АЧХ телефону BTE 0701051-004

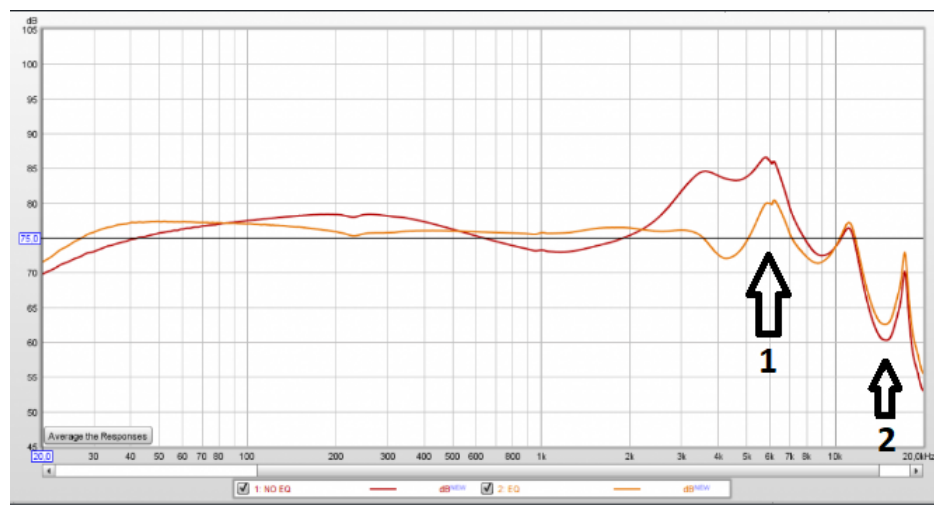
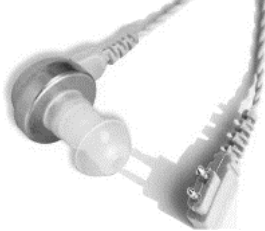


Рисунок 2.5 – АЧХ телефону jbl tune 110, де: червона лінія – реальна АЧХ телефонів, Помаранчева лінія – Ачх телефонів з еквалізацією

З Форми АЧХ телефону, призначеного для слухового апарату (рис.2.4), бачимо, що в частотній характеристиці є різкий спад на частоті 4 кГц (2) і підйом на частоті 2 кГц (1), при цьому максимальна нерівномірність АЧХ ( $\Delta P$ ) складає приблизно 20 дБ, що є значним розходженням і ускладнює точне коректування вихідної АЧХ через високу нерівномірність. В телефонах побутового призначення (рис.2.5) спад АЧХ присутній на частоті 18 000 Гц (2), і підйом на частоті 5 кГц приблизно на 10 Дб (1). При порівняно схожих чутливостях 116 і 110 дБ/мВт, бачимо значно ширший діапазон пропускання частот (від 20 до 18000 Гц.). крім того при коректуванні АЧХ на частотах від 20 до 18000 Гц отримуємо нерівномірність 5 дБ, що робить вихідне звучання значно якіснішим.

В табл. 2.2 представлена порівняльна характеристика спеціалізованих телефонів, і телефонів побутового призначення, які можливо застосовувати в слуховому протезуванні.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика телефонів

	Телефон ВТЕ 0701051-004	Телефони jbl tune 110	Телефони Sennheiser CX 275s
Зовнішній вигляд			
Полоса пропускання	100 – 5 000 Гц.	20-18 000 Гц	17 – 20000 Гц
Чутливість	116 дБ/мВт	100 дБ/мВт	121 дБ/мВт
Опір	90 Ом	16 Ом	16 Ом
Максимальна потужність	300 мВт	100 мВт	100 мВт
Тип випромінювача (А,В)	А	А	А
Робоча температура	-20...+70 °С	-5...+45 °С	-5...+45 °С

Крім того з таблиці 2.2, бачимо, що побутові телефони мають значно менший опір, ніж телефони для слухового апарату, це говорить про можливість використовувати елементи живлення зі значно меншими напругами, та звільняє від необхідності використовувати спеціалізовані підсилювачі, та схематичні рішення по підсиленню протилежних фаз. Для підвищення якості звуку можна додатково скоректувати АЧХ побутового телефону та отримати більш лінійну частотну характеристику (рис 2.5).

Підрахуємо максимальний звуковий тиск, який можуть випромінювати телефони даних типів, за наступною формулою (2.1):

$$L_p = S_w + (10 \cdot \lg \frac{P}{1}) \quad (2.1)$$

Де:  $L_p$  - рівень звукового тиску в Дб;  $S_w$  – чутливість навушників в дБ/мВт;  
 $P$  – максимальна потужність, на яку розраховані навушники.

Для ВТЕ 0701051-004 максимальний рівень звукового тиску складає:

$$L_p = 116 + 24,7 = 140 \text{ дБ.}$$

Для jbl tune 110 максимальний рівень звукового тиску складає

$$L_p = 100 + 20 = 120 \text{ дБ.}$$

Бачимо з, що спеціалізовані телефони здатні розвивати рівень звукового тиску в 140 дБ, а побутові лише 120, але рівень звукового тиску в 140 дБ в спеціалізованих телефонах досягається при напрузі 5,19 В. В той час, як рівень звукового тиску в 120 дБ на побутових телефонах досягається при напрузі в 1,2 В. (за законом ома). Таким чином побутові телефони є більш універсальними з точки зору вибору джерела живлення, та не потребують спеціалізованих підсилювачів.

Варто зазначити, що існують побутові телефони з набагато більшою чутливістю, наприклад телефони Sennheiser CX 275s мають чутливість 121 дБ/мВт, які при максимальній потужності 100 мВт, здатні розвивати звуковий тиск, рівний 141 дБ.

Підсилення, та обробка сигналу:

Для формування звукового тракту, та обробки сигналу була вибрана схема послідовної обробки сигналу принцип роботи якої можна зобразити наступною блок – схемою (рис. 2.6):

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

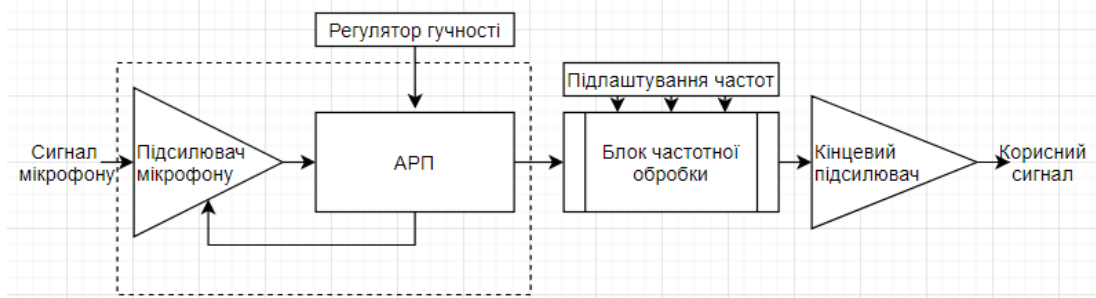


Рисунок 2.6 – блок схема звукового тракту сигналу

Сигнал від мікрофону посилюється попереднім підсилювачем мікрофону, далі потрапляє на систему автоматичного регулювання підсилення (АРП), яка безпосередньо впливає на степінь посилення сигналу попереднім каскадом. Регулятор гучності встановлює рівень при якому починає спрацьовувати автоматичне регулювання посилення. Далі звук потрапляє на блок частотної обробки, яка являє собою багатополосний фільтр, який регулюється блоком підлаштування частот, тим самим змінює АЧХ вихідного сигналу. Потім оброблений сигнал поступає на кінцевий підсилювач, який слугує драйвером вихідного телефону.

#### Підсилювач мікрофону і АРП:

Підсилювач мікрофону повинен володіти високим коефіцієнтом підсилення, низьким рівнем власних шумів, та високим вхідним опором, крім того рівень підсилення повинен швидко і точно регулюватися системою автоматичного регулювання підсилення (АРП), для уникнення травмування слуху та різких перепадах вхідного звукового тиску.

Для реалізації данного блоку була вибрана комплексна, спеціалізована мікросхема підсилення мікрофону MAX9814 характеристики якої наведена в (табл. 2.3). З технічної документації видно, що данна мікросхема має низький рівень шуму, низьке значення THD, має регульований рівень підсилення, (40,50,60 дБ), також мікросхема має вбудований АРП, атаку, та відновлення якого теж можна налаштувати, крім того серед вищезазначеного функціоналу мікросхема має вбудоване, малошумляче джерело фантомного, стабільного

живлення мікрофону, що суттєво скорочує кількість додаткових функціональних одиниць, зменшує габарити, шум, та спрощує проектування пристрою. Для електромагнітної ізоляції схеми від високо-сигнальної частини прийнято рішення використати реалізацію підсилювача мікрофону з АРП на модулі, що виробляється в промислових масштабах (рис. 2.7).

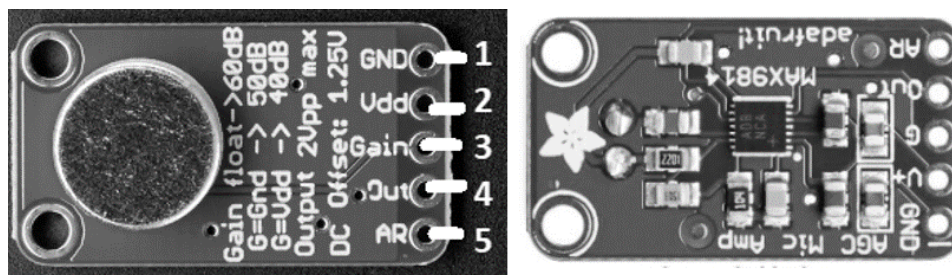


Рисунок 2.7 – модуль МАХ9814, де: 1 – спільний; 2 – вивід живлення; 3 – Вивід налаштування вихідного рівня підсилення; 4 – вивід виходу сигналу; 5 – вивід налаштування відношення атаки до релізу.

Таблиця 2.3 – характеристики мікросхеми МАХ 9814(всі параметри виміряно на частоті 1000 Гц).

АРП	Є
Підсилення	40,50,60 дБ (встановлюється апартно)
Attack	Від 0,05 мс до 2,4 мс
Attack-and-Release Ratio	1:500; 1:2000; 1:4000 (встановлюється апартно)
Напруга живлення	2,7-5,5 В.
Вхідний рівень шуму	30 нВ.
THD	0.04%
Вмонтоване джерело фантомного живлення	Є, 2В
Робоча температура	-40...+85°C

Розглянемо функціональну схему мікросхеми МАХ 9814 (рис. 2.8)

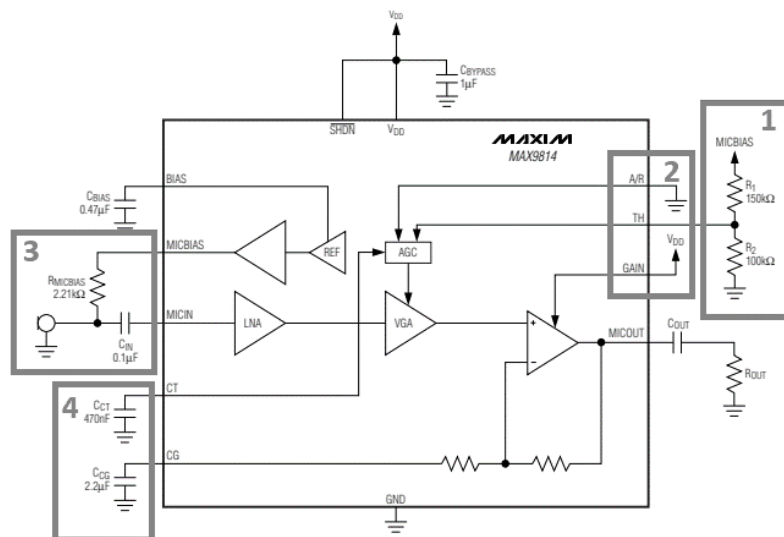


Рисунок 2.8 – типова схема включення мікросхеми MAX 9814

Бачимо, що мікросхема має обв'язку налаштування, де: 1 – резистори, подільовачі напруги, слугують для задання середньої точки зміщення сигналу, або формування умовного нуля сигналу, оскільки використовується 1 – полярне живлення; 2 – виводи налаштування підсилення (GAIN), (якщо підтягнута до GND – 50 дБ, до VCC – 40 дБ, не підтягнута до жодного – 60 дБ), та відношення атаки до відновлення (A/R), (якщо підтягнута до GND – 1:500, до VCC 1:2000, не підтягнута до жодного – 1:4000); 3 – блок обв'язки мікрофону. Rmicbias – токообмежуючий резистор джерела фантомного живлення, C<sub>in</sub> – розв'язуючий конденсатор по постійному струму, додатково слугує ФНЧ; 4 – конденсатори задання значення атаки, та зміщення. C<sub>ct</sub> – задає довжину атаки (в мс.), за замовчуванням значення атаки виставлено на рівні 1.1 мс. C<sub>cg</sub> – задає значення зміщення постійного струму нуля підсилювача. Таким чином можна дуже точно налаштувати параметри вхідного підсилювача та АРП.

Блок частотної обробки:

Для реалізації блоку частотної обробки було вирішено використовувати аналоговий багатополосний еквайзер на мікросхемі LA3600. Данна мікросхема – високоякісний еквайзер, який дозволяє реалізувати 5 полос регулювання полоси пропускання з крутизною 12 дБ/октаву в діапазоні 100 – 10 000 Гц. В табл. 2.4 бачимо, основні характеристики мікросхеми.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 2.4 – основні характеристики мікросхеми LA3600

Полоса пропускання	30 Гц – 30 кГц
Підсилення в полосі пропускання	$\pm 12$ дБ
Напруга живлення	+5...+20 В.
Вхідний рівень шуму	30 нВ.
ТНД	0.03%
Робоча температура	-20...+75°C
Рівень власного шуму	2 мкВ.

Данна мікросхема має низький рівень власного шуму, низьке значення ТНД, та достатньо широку полосу пропускання, що робить данну мікросхему якісним і компактним рішенням.

Розглянемо принцип дії на основі функціональної схеми мікросхеми LA3600 (рис.2.9).

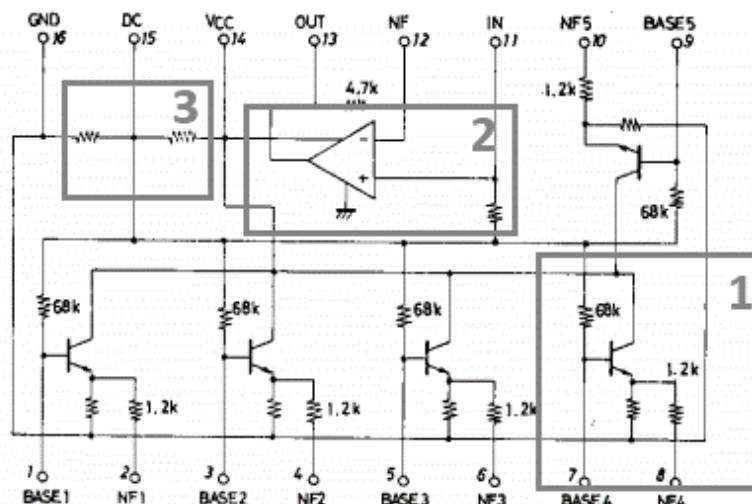


Рисунок 2.9 – функціональна схема мікросхеми LA3600

Зі схеми бачимо: Схема полосового фільтру батерворта 2-го порядку (1) включається або в позитивний або в негативний зворотний зв'язок вихідного підсилювача (2), та або посилює або послаблює резонансну частоту. Поділювачем напруги (3) формується середня точка. Данна схема включення мінімізує коефіцієнт нелінійних спотворювань та шуму.

Промодулюємо в середовищі мікросар базову складову частину фільтру (рис.2.10).

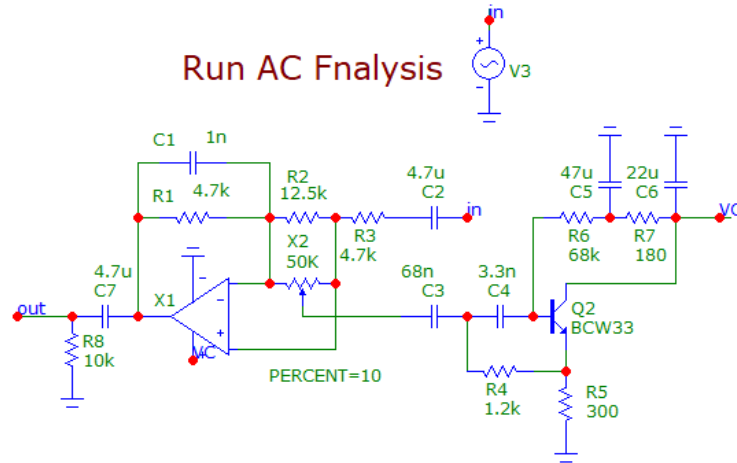


Рисунок 2.10 – полосовий фільтр з регульованою крутизною

Полосовий фільтр на транзисторі Q2 під'єднано до потенціометра X2, який почергово або включає фільтр в позитивний зворотній зв'язок, або в негативний, операційного підсилювача X1, та змінює частотну характеристику, зміну частотної характеристики при симуляції показано на рис. 2.11.

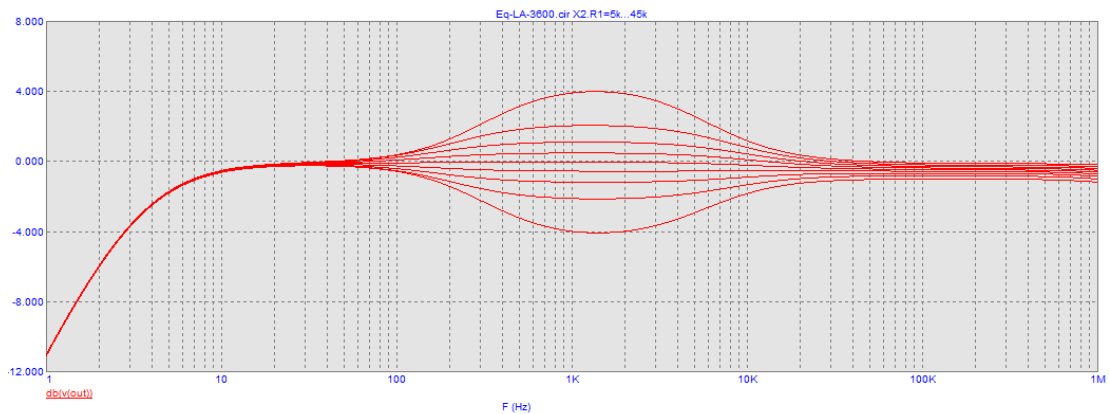


Рисунок 2.11 – АЧХ промодельованого фільтру

Згідно рис. 2.11, вихідний сигнал відповідає формі з документації.

Збільшимо кількість фільтрів батерворта другого порядку, і дослідимо реакцію на всіх положеннях потенціометрів зворотнього зв'язку (рис.2.12).

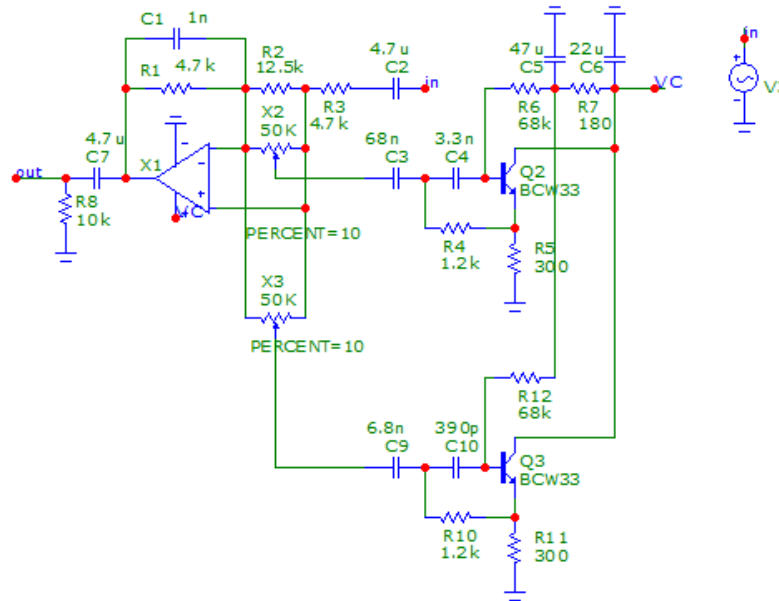


Рисунок 2.12 – полосний фільтр з регульованою крутизною  
 Промодельюємо його роботу, замірявши основні параметри на виході (рис. 2.13).

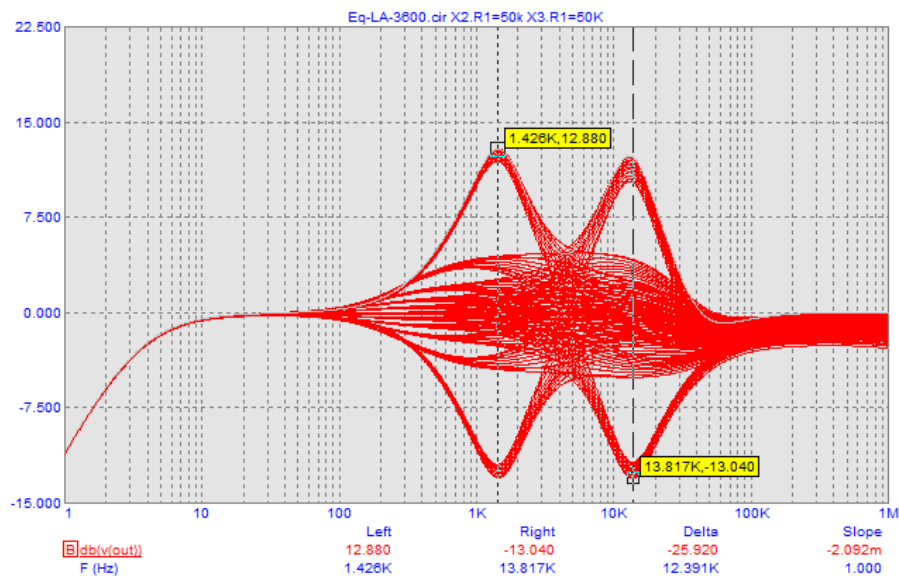


Рисунок 2.13 – АЧХ промодельованого фільтру  
 Як бачимо з симуляції, максимальне посилення і послаблення на резонансних частотах складає порядку 12 дБ, як і заявлено в документації.

Кінцевий підсилювач:

Кінцевий підсилювач бере участь в перетворенні слаботочного сигналу в сигнал з підвищеною потужністю, необхідного для живлення телефонів

формує звук. Для реалізації кінцевого підсилювача була обрана спеціалізована мікросхема TDA1308, характеристики якої наведено в табл. 2.5 Данна мікросхема здатна розвивати потужність в 60 мВт в двоканальному режимі, і 120 мВт в мостовому. При двоканальному включенні при використанні телефонів jbl tune 110, слуховий апарат здатен розвинути звуковий тиск 118 дБ/ мВт, а при використанні телефонів Sennheiser CX 275s, що мають чутливість 121 дБ/мВт, при потужності 60 мВт, отримуємо звуковий тиск, рівний 139 дБ, що знаходиться на больовому порозі слуху.

Таблиця 2.5 – основні характеристики мікросхеми tda 1308

Полоса пропускання	10 Гц – 35 кГц
Коефіцієнт Підсилення в полосі пропускання	1
Напруга живлення	+3...+7 В.
Відношення сигнал / шум	110 дБ
THD	0.03%
Робоча температура	-40...+85°C
Вихідний опір	0,25 Ом

Розглянемо функціональну схему мікросхеми Tda 1308 (рис.2.14)

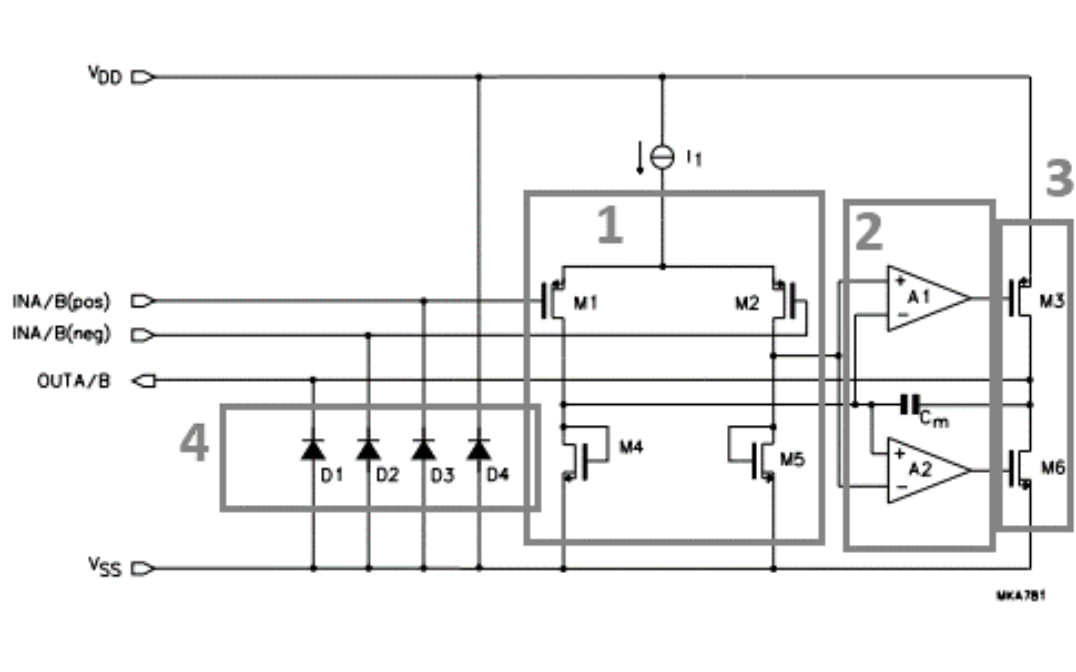


Рисунок 2.14 – функціональна схема каналу мікросхеми tda 1308

З рисунку 2.14, бачимо, що мікросхема побудована за класичною, трьохкаскадною схемою підсилювачів низькоомного навантаження. Мікросхема має захист від зміни полярності, реалізовану на діодах D1-D4 (4), вхідний сигнал потрапляє на перший каскад підсилювача струму (1), який виконаний в формі токових дзеркал на польових транзисторах M1, M2, M4, M5. Данна схема додатково балансує вхід, і зменшує рівень шумів і гармонічних спотворень. Потім сигнал поступає на посилювачі напруги A1, A2 (2), і підсилюється кінцевим каскадом підсилювача току на транзисторах M3, M6 (3). Реалізація мікросхеми є достатньо потужним і високоякісним рішенням.

### 2.3. Формування очікуваних характеристик

Виходячі з параметрів вибраних елементів, можна сформуванати перелік основних характеристик очікуваної схеми.

Гармонічні спотворення та шум:

Всі складові звукового тракту мають коефіцієнт нелінійних спотворень, що не перевищує 0,04 %, тому сумарний коефіцієнт буде значно менше ніж у промислових аналогів (2,5-5 %). Шумові характеристики визначаються шумовими характеристиками мікрофону, відношення сигналу/шуму, якого є найменшим, і складає 58 дБ, але це значення все одно є комфортним для сприйняття, і вищим ніж у аналогів.

Температурний режим:

Найвужчий діапазон робочих температур спостерігається в побутових телефонах jbl tune 110 і складає -5..+45 °С, що визначає температурний режим пристрою. При зміні телефонів на телефони з ширшим діапазоном робочих температур можна збільшити температурний режим роботи слухового апарату до температури -20..+75 °С – температури роботи складової мікросхеми МАХ9814, що має найвужчий діапазон робочих температур серед схемних

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

частин пристрою. Приведемо звідну таблицю очікуваних характеристик апарату (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Звідна таблиця очікуваних характеристик

Полоса пропускання	100 Гц – 15 кГц
Коефіцієнт Підсилення в полосі пропускання	50/60 Дб
Напруга живлення	+5... +9 в.
Відношення сигнал / шум	58 дБ
THD	Не більше 0,5 %
Рівень інтермодуляційних спотворювань	Не більше 1 %
Робоча температура	-5...+45°C
Тип	карманний
Звукопроведення	Повітряне
АРП	є
Підлаштування частот	П'ять полос в діапазоні 100 Гц -10кГц
Тип за кількістю каналів	Стеріофонічний
Клас вологозахисту підсилювального пристрою	IP 43
Клас вологозахисту випромінювачів	IP 54
Клас виробу за способом захисту від ураження електричним струмом	III
Максимальна потужність	0,15 Вт
Максимальна потужність на один канал	0,06 Вт

Вологозахист:

Оскільки телефони слухового апарату контактують з вологими поверхнями шкіри, то вони повинні мати необхідний клас захисту від попадання води і пилу. Навушники jbl tune 110 мають клас захисту оболонки IP54, (DIN EN 60529), що є достатнім для безпечного, прямого контакту з вологою шкірою. Корпус апарату повинен мати достатній рівень захисту для унеможливлення потрапляння в нього частинок, діаметом більше 1 мм, та мати захист від падіння дощу по вертикалі або під кутом 60<sup>0</sup>, що встановлює клас захисту оболонки – IP43.

Форма апарату:

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для реалізації всіх вищезазначених параметрів був вибраний форм- фактор карманного слухового апарату.

## Висновки до розділу 2

В данному розділі було сформовано, та обґрунтовано основні очікувані характеристики проектного пристрою, його основні переваги, та відмінності від існуючих аналогів, було обґрунтовано вибір елементарної бази пристрою, та промодельовано роботу блоку частотної корекції в середовищі microCap. За результатами моделювання, отримали, що промодельована модель, відповідає технічним параметрам функціональної схеми мікросхеми згідно документації. Було промодельовано 2 полоси фільтрації, що дало змогу показати роботу апарату на більшій кількості діапазонів, наприклад п'яти, згідно документації. За очікуваними характеристиками, пристрій повинен володіти покращеною полосою пропускання, та меншим рівнем гармонічних спотворень, а також підвищеним рівнем функціональних можливостей в порівнянні з існуючими аналогами.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТУ

### 3.1. Формування функціональної блок-схеми

Для проектування карманного слухового апарату зі змінною АЧХ була створена наступна функціональна схема роботи пристрою (рис. 3.1)

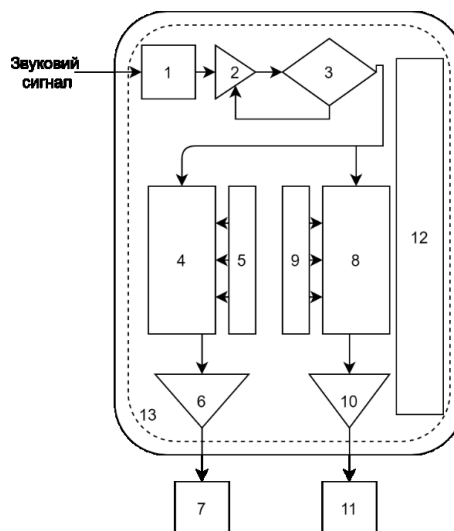


Рисунок 3.1 – Функціональна схема аналогового слухового апарату зі змінною АЧХ, де: 1- мікрофон; 2- підсилювач мікрофону; 3- схема автоматичного регулювання підсилення; 4,8- система фільтрів; 5,9 – система регулювання параметрами фільтрації; 6,10 - кінцеві підсилювачі; 7,11 – звукові випромінювачі; 12- батарея живлення; 13- корпус апарату. Напрямок проходження сигналу показано стрілками.

Данна блок-схема дозволяє визначитись з попереднім розміщенням блоків в корпусі, та основними функціональними зв'язками.

### 3.2. Розробка принципової схеми апарату

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Згідно данної схеми, та обраних технічних рішень проектування розробимо принципову схему пристрою, в безкоштовному середовищі easyEDA (додаток А).

Умовно схему апарату можна поділити на наступні функціональні блоки (рис.3.2).

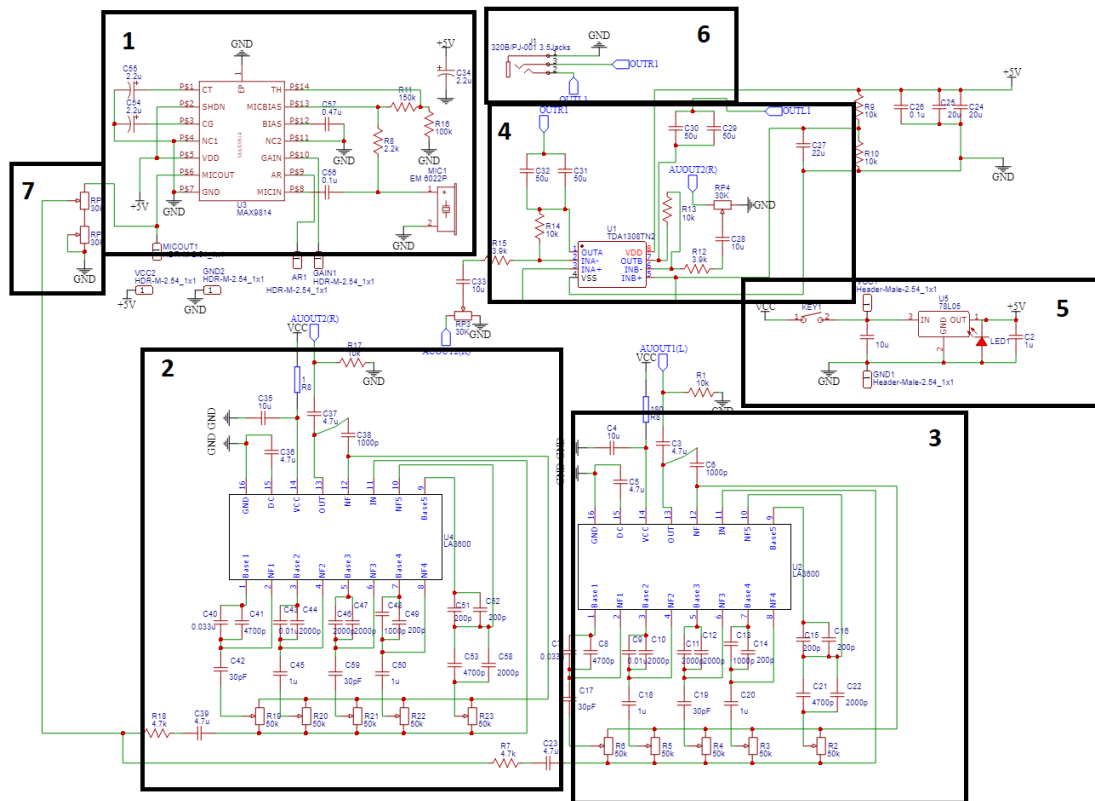


Рисунок 3.2 – структурні блоки принципової схеми апарату

Сигнал, що надходить з електретного мікрофону EM 6022P підсилюється схемою підсилювача мікрофону з АРП на мікросхемі MAX9814. На виході отримуємо підсилений сигнал, амплітуда якого регулюється основним та додатковим потенціометром з блоку 7. Далі сигнал потрапляє на блоки 2 і 3 – блоки частотної обробки, що побудовані на полосових фільтрах на мікросхемах LA3600, які завдяки багатооборотним потенціометрам, регулюють передавальну характеристику пристрою по правому (2) і лівому (3) каналу. Сигнал, що пройшов частотну обробку потрапляє на кінцевий підсилювач 4, рівень вхідного сигналу якого регулюється поділювачами напруги на потенціометрах RP3, RP4.

Рівень кінцевого посилення регулюється резисторами в зворотньому зв'язку R12 - R15. Сигнал з виходу кінцевого посилювача подається на роз'єм аудіовиходу jack -3.5 мм. (блок 6), до якого під'єднуються телефони класу А. Блок 5 – слугує для індикації, та стабілізації робочої напруги, оскільки для живлення мікросхем підсилення мікрофону, і кінцевого посилення необхідні напруги живлення, що не перевищують 5 В. Стабілізація робочої напруги базується на лінійному стабілізаторі 78L05, який розрахований на ток в 0,5 А, що є достатнім для живлення мікросхем.

Розглянемо детальніше принцип роботи ключових блоків.

Підсилювач мікрофону (рис. 3.3):

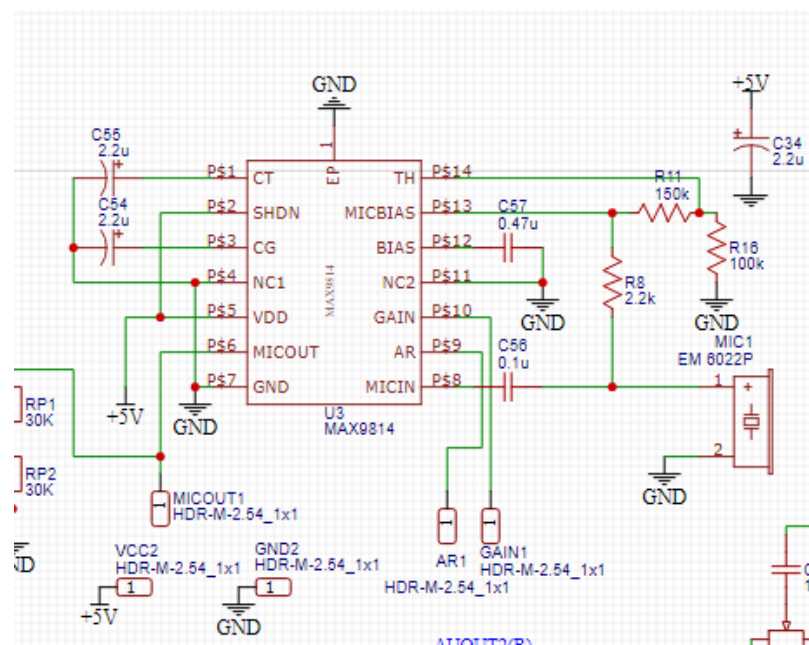


Рисунок 3.3 – схема підсилювача мікрофону

Схема підсилювача мікрофону (рис. 3.3), виконана на основі типової схеми до мікросхеми MAX9814. Виводи задання режиму роботи AR1, GAIN1, а також вивід VDD (5В), GND (спільний), а також виводи виходу мікрофону виведені на окремі контактні майданчики. Мікрофон EM 6022P, живиться від фантомного джерела живлення через резистор R8, яке формується виводом micbias мікросхеми. Середня точка умовного 0 підсилювача і АРП сигналу формується подільовачем напруги на резисторах R11, R18. Конденсатор C56 по входу мікросхеми слугує для відсікання постійної, та низькочастотної складової

сигналу мікрофону. Конденсатор C55 слугує для задавання часу відновлення системи АРП, а конденсатор C54 слугує для зміщення постійної складової в операційному підсилювачі

Блок частотної обробки (рис.3.4):

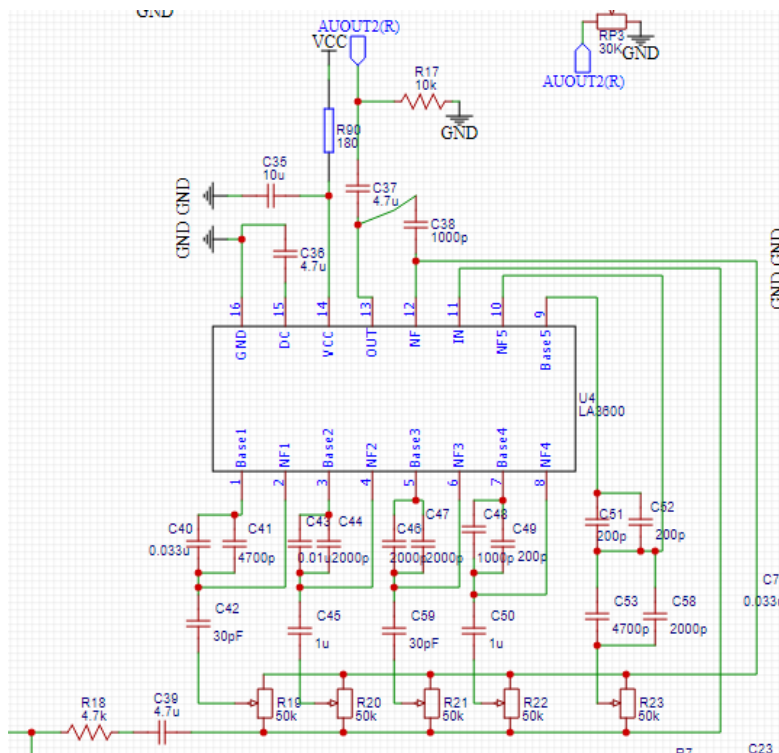


Рисунок 3.4 – схема блоку частотної обробки сигналу

Схема частотної обробки (рис. 3.4) виконана згідно типової схеми до мікросхеми LA3600. Через резистор R18, та розв'язуючий конденсатор C39 на вхід мікросхеми LA3600 потрапляє робочий сигнал, який потрапляє на вивід IN мікросхеми, де під'єднується до неінвертуючого входу операційного підсилювача, та через змінні резистори R19-R23 потрапляє на вихід NF, де під'єднується до інвертованого входу операційного підсилювача. На конденсаторах с40 –с58 та внутрішніх біполярних n-p-n транзисторах формують полосові фільтри на резонансних частотах: 108 Гц, 343Гц, 1,08 кГц, 3,43 кГц, 10,8 кГц. Виходи фільтрів почергово включаються в позитивний або негативний зворотній зв'язок полосового фільтру, та формують посилення, або послаблення в полосі пропускання. Резистор R90 слугує обмежувачем вхідного току,

конденсатори C35, C36 слугують для фільтрації ланцюга живлення, C37, C38 - для відсікання постійної складової.

Блок кінцевого посилення (рис. 3.5):

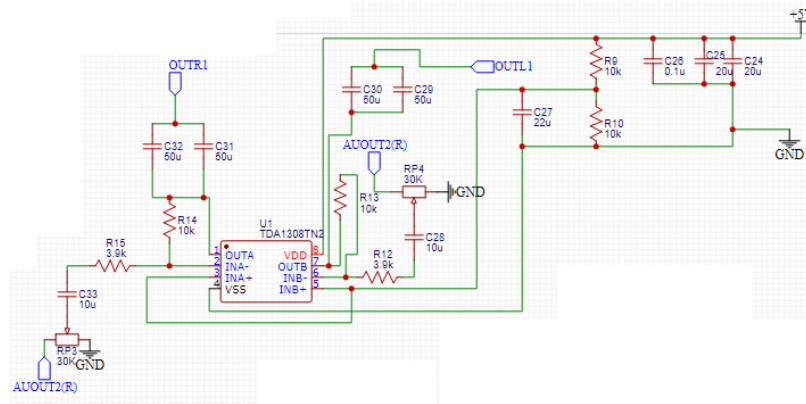


Рисунок 3.5 – схема блоку кінцевого посилення

Схема блоку кінцевого посилення (рис. 3.5) базується на типовій схемі включення мікросхеми TDA 1308. Схема побудована на основі схеми інвертуючого посилювача на операційному підсилювачі Джерело живлення 5 В подається на блок конденсаторів C24 – C26, які фільтрують живлення мікросхеми, поділювач напруги на резисторах R9, R10, що формує середню точку (умовний 0), потрапляє на неінвертуючі входи мікросхеми, зміщуючи сигнал в робочу зону. Резистори R14, R15, R13, R12 Слугують резисторами зворотнього зв'язку інвертуючого підсилювача, що задають коефіцієнт підсилення 2,5. Через змінні резистори RP3, RP4 підлаштовується вхідний рівень сигналу, конденсатори C29 - C32 вихідні – відсікають постійну складову на виході підсилювача.

Блок формування робочої напруги, і індикації (рис. 3.6):

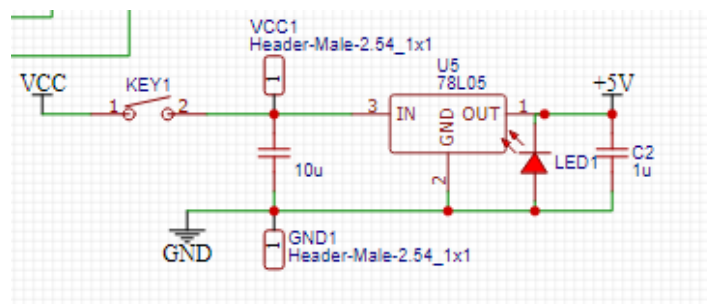


Рисунок 3.6 – схема формування робочої напруги

Схема стабілізації (рис. 3.6) виконана на лінійному стабілізаторі напруги 78L05, який формує постійну напругу 5В з током до 500 мА. Конденсатори по входу і вихорду схеми слугують для фільтрації робочого сигналу. Ключ KEY1 подає напругу на стабілізатор. Діод LED1, індкує про ввімкнення живлення схеми. Через контактні виводи VCC1, GND1 надходить живлення від батареї на схему.

### 3.3. Розробка плати апарату

За розробленою схемою розведемо друковну плату, в середовищі «easyEDA». Данне середовище дозволяє створювати схеми різної степені складності (до 34 слоїв), та володіє широкою бібліотекою компонентів, що значно спрощує проектування. На рис. 3.7, представлено трасування спроектованої плати.

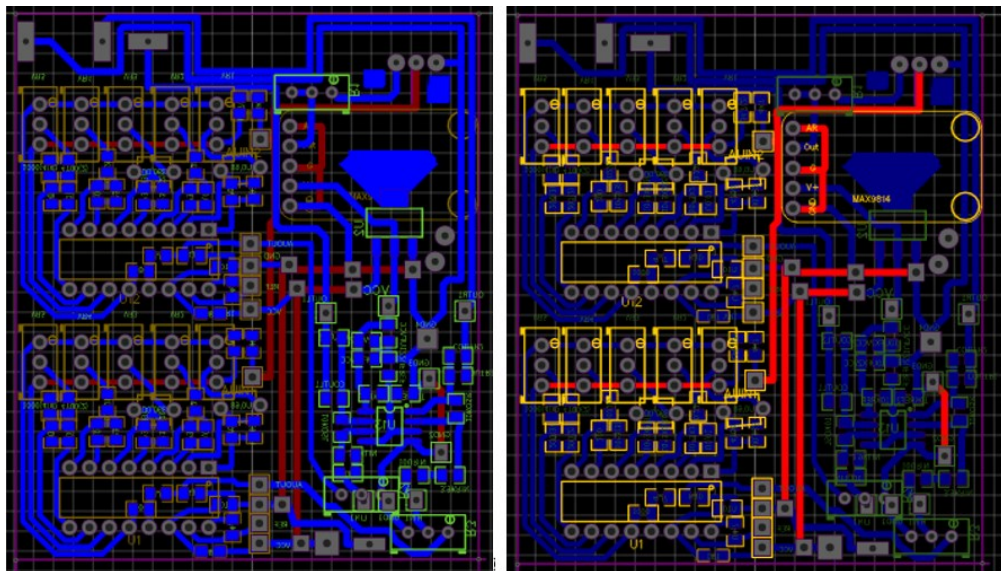


Рисунок 3.7 – верхній та нижній шар плати з шовкографією

Для реалізації схеми були вибрані елементи поверхневого монтажу, що суттєво зменшило габарити конструкції і дозволило в типовому корпусі розмістити в двічі більший функціонал.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42



Блок стабілізації (рис. 3.10):

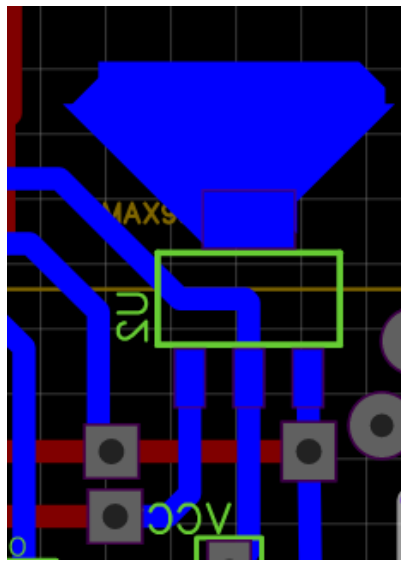


Рисунок 3.10 – блок стабілізації напруги

Стабілізація напруги для живлення низьковольтних модулів виконана, в якості лінійного стабілізатора, що розсіює надлишок потужності в тепло, тому для охолодження мікросхеми передбачений контактний полігон, який покривається припоєм і слугує пасивним радіатором.

Блок посилення мікрофону і АРП (рис. 3.11):

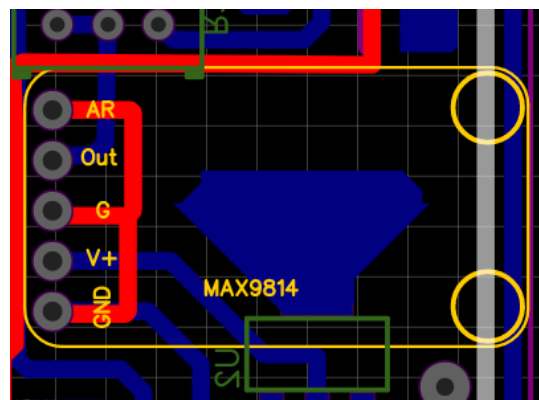


Рисунок 3.11 – блок підсилювача мікрофону

Блок посилення мікрофону виконаний окремим модулем, і монтується на контактні отвори безпосередньо в плату

Всі полігони верхнього шару (червоний колір) виконані в якості ізолюваних провідників, для посилення електробезпеки конструкції.

### 3.4. Виготовлення макету

Згідно розроблених плат і принципів схем, виготовимо макет (рис. 3.12).

Виготовимо макет розробленої схеми:

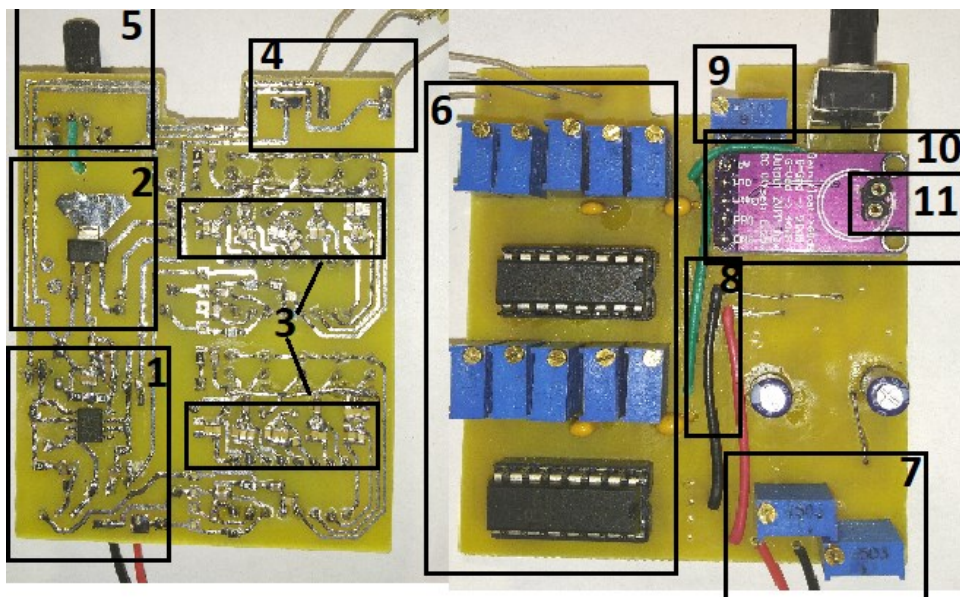


Рисунок 3.12 – верхня та нижня сторона макету модельованої плати

Де: 1 – модуль кінцевого посилення, 2- модуль стабілізації напруги, 3 – блок задання резонансної частоти на конденсаторах, 4- контактні майданчики вихідного роз'єму, 5- основний регулятор гучності, 6 – блоки частотної обробки лівого і правого каналу, 7- резистори підлаштування панорами, 8- ізольовані провідники верхнього шару, 9- резистор обмеження вихідного рівня, 10 – блок підсилення мікрофону з АРП 11- роз'єм для під'єднання мікрофону.

Для ізоляції мідних провідників від корозії був вибраний метод луження провідників припоєм. завдяки використанню елементів поверхневого монтажу вдалося реалізувати частину схеми зі зворотньої частини плати, що дозволило більш ефективно використовувати габарити плати, та захистити схему від потрапляння пилу і вологи, на контактні майданчики.

Встановимо плату в корпус, та вмонтуємо в нього систему індикації і керування (рис. 3.13):

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

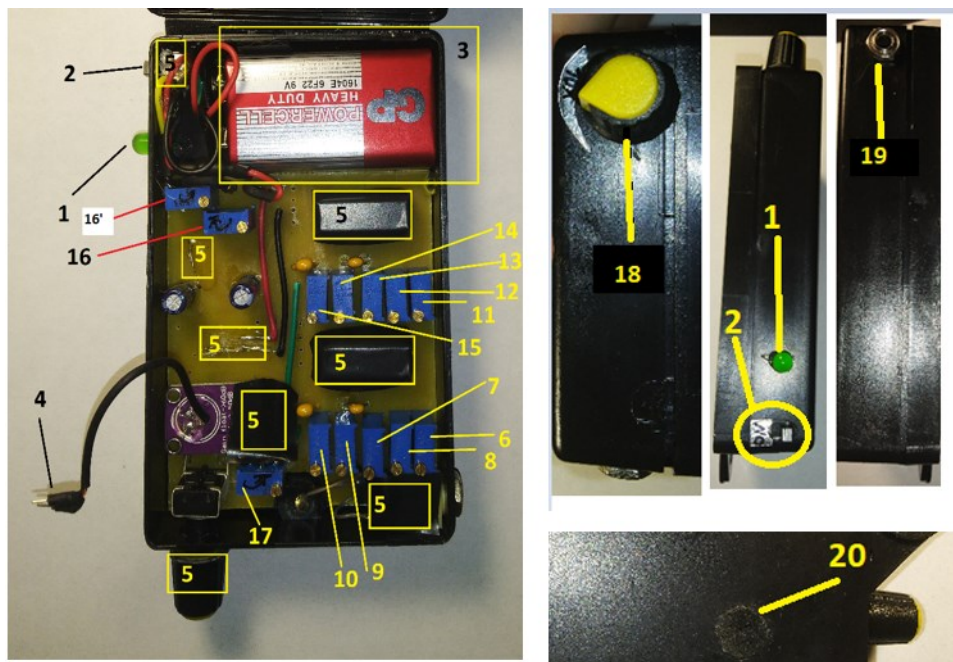


Рисунок 3.13 – вмонтована плата в корпус, де: 1- світлодіод індикації ввімкнення апарату, 2- вимикач апарату, 3- батарея живлення, 4 – конектор мікрофону, 5 – додаткова ізоляція, 6, 7, 8, 9, 10 – регулятори полоси пропускання 108, 343, 1,08к, 3,43к, 10,8к Гц. Лівого каналу, 11, 12, 13, 14, 15 – регулятори полоси пропускання правого каналу. 16, 16' – регулятори початкового підлаштування вихідного рівня лівого і правого каналу, 17 – регулятор підлаштування обмеження вихідного рівня сигналу. 18 – регулятор вихідного рівня гучності 19 – роз'єм для під'єднання телефонів, 20 – звукопроникна накладка.

Для збільшення вологозахисту та підвищення електробезпеки всі контактні майданчики, з оголеними контактами були додатково ізольовані токо-непровідним полімером, або компаундом (5). Для захисту вхідного отвору мікрофону від механічних забруднень і вологи була використана звукопроникна накладка (20). В корпус було вмонтовано блок індикації ввімкнення, захист від переплутаної полярності, та вимикач.

Блок індикації, захисту, та вимикання побудовано за наступною схемою (рис. 3.14):

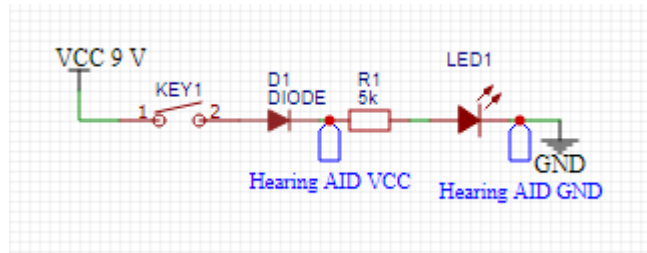


Рисунок 3.14 – блок індикації, захисту і вимикання

Напруга живлення 9 Вольт поступає через ключ KEY1 на діод D1, напруга через який подається на виводи живлення слухового апарату, та на токообмежуючий резистор R1, зі збільшеним опором для збільшення енергоефективності апарату, через який струм поступає на діод LED1. При спробі підключити живлення зі зміненою полярністю, струм через коло не потече. Всі оголені контакти було заізолювано токонепроникними полімерами і компаундом.

Під'єднання батареї (3) було виконано за допомогою від'єднуючого роз'єму, що спрощує заміну елемента живлення. Також в ці габарити можливо вмістити блок акумуляторного живлення з контролем заряду і розряду.

### Висновки до розділу 3

В данному розділі бло спроектовану функціональну блок-схему апарату, розроблено принципову схему згідно підібраної елементарної бази в середовищі easyEDA, крім того було спроектовано двосторонню друковану плату, з дотриманням вимог електро-магнітної сумісності, і електробезпеки. Відповідно спроектованої плати, було спроектовано макет, і вмонтовано плату в волого, та пило-захисний корпус, в якому було реалізовано захист від випадкової зміни полярності, та систему індикації ввімкнення

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

## РОЗДІЛ 4 ТЕСТУВАННЯ АПАРАТУ

### 4.1. Підбір інструментів тестування

Протестуємо роботу апарату. Для тестування апарату було використано наступне програмне і апаратне забезпечення:

- Програма ARTA – дозволяє знімати частотну характеристику апарату, має вбудоване джерело рожевого шуму, та логіку обробки вхідного зворотнього сигналу
- Програма RMA Analyzer – дозволяє знімати шумові параметри, рівні гармонічних спотворювань, нерівномірності АЧХ, та інші.
- Звукова карта комп'ютера з розрядністю 16 Bit та частотою дискретизації 48 000 Гц
- Пристрій зворотнього зв'язку, виконаний за наступною схемою (рис. 4.1):

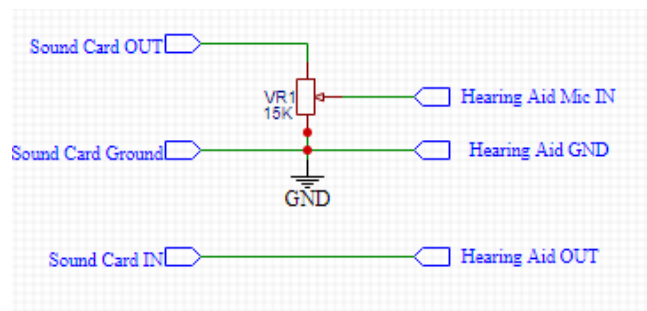


Рисунок 4.1 – схема пристрою зворотнього зв'язку для тестування

Звук з виходу звукової карти поступає на подільовач напруги, що виконаний на потенціометрі VR1, даний подільовач дозволяє зменшити рівень вхідного сигналу, для уникнення зашкалу на вході підсилювача мікрофону апарату. Звук пройшовший через звуковий тракт апарату потрапляє на вхід звукової карти комп'ютера. Рівень сигналу, що поступає на вхід звукової карти регулюється регулятором гучності на корпусі апарату.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

## 4.2. Тестування

Запустимо тестування звукової карти комп'ютера шляхом включення звукової карти саму в себе, тобто вихід карти напряму поєднаний з входом.

Знімемо АЧХ (рис. 4.2.):

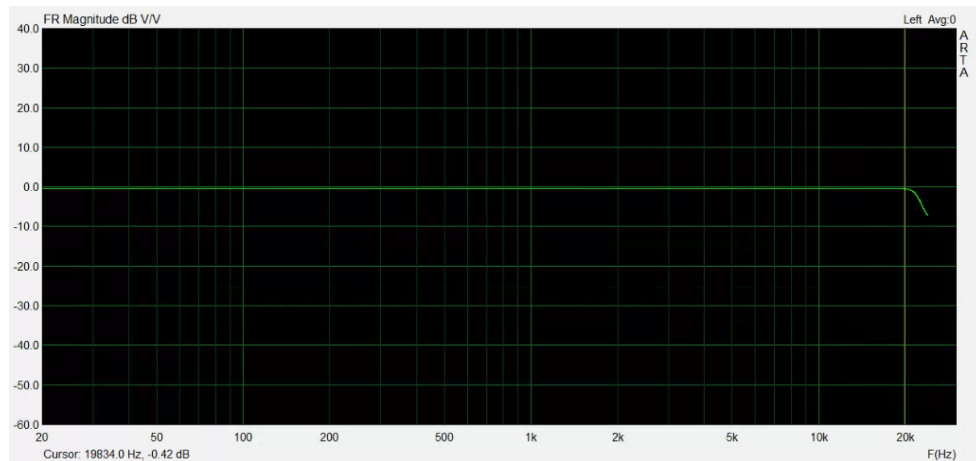


Рисунок 4.2. – АЧХ звукової карти комп'ютера

З АЧХ звукової карти комп'ютера, знятої за допомогою програми ARTA бачимо, що частотна характеристика цілком лінійна, є завал на частоті 20 КГц, це пояснюється обмеженням полоси пропускання звукової карти. Рівень в 0 Дб взятий умовно (рівень вихідного сигналу був підлаштований під програмний рівень в 0 Дб).

Протестуємо звукову карту в програмі RMA на частоті 1 КГц(рис.4.3):

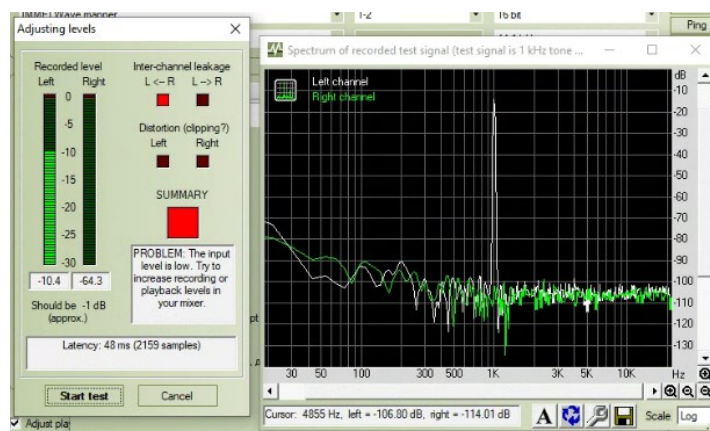


Рисунок 4.3 – АЧХ звукової карти при 1 КГц

За 0 Дб прийнято значення максимального рівня на виході звукової карти. Оскільки вхід звукової карти більш чутливий ніж вихід, довелося зменшити рівень вихідного сигналу за допомогою потенціометра в пристрої зворотнього зв'язку. З графіку бачимо, що різниця між шумовою планкою, та рівнем резонансної частоти складає приблизно 85 Дб на середніх частотах, паразитні гармоніки – відсутні, синфазна завада достатньо придушена.

Проведемо розгорнутий аналіз (рис. 4.4):

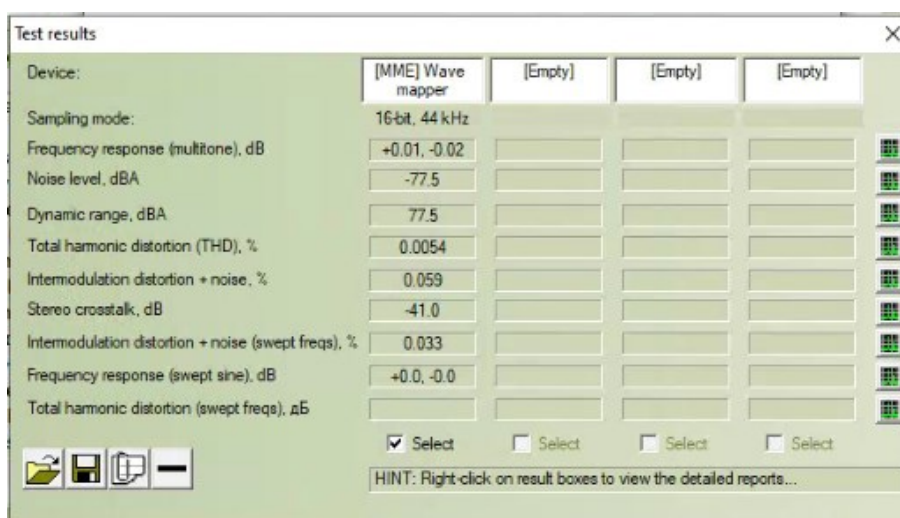


Рисунок 4.4 – результати вимірювань програмою RMA

З розгорнутого аналізу бачимо, що відхилення частотної характеристики складає  $\pm 0,01, 0,02$  Дб, відношення сигналу до/шуму складає приблизно 77,5 Дб, рівень гармонічних спотворювань – 0,0054 %, рівень інтемодуляційних спотворювань – 0,059% на безперервних частотах значення покращуються. Данні характеристики володіють достатнім запасом для вимірювання характеристик, що планується.

Під'єднаємо до ланцюга лівий канал слухового апарату (рис. 4.5):

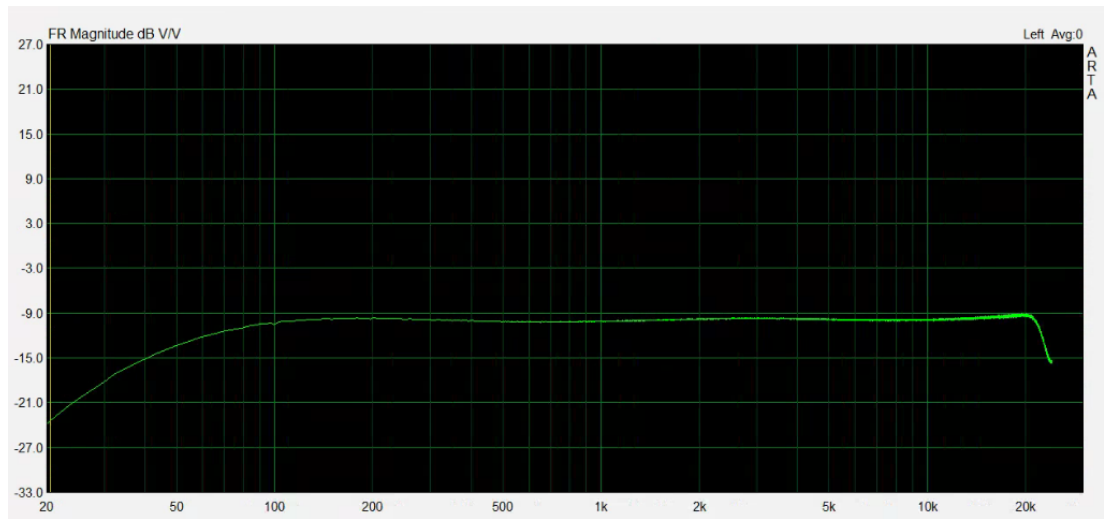


Рисунок 4.5 – АЧХ лівого каналу слухового апарату

З АЧХ лівого каналу бачимо зріз по нижнім частотам на частоті 100 Гц, та спад частотної характеристики на частоті 20 КГц, це пов'язано з обмеженням полоси пропускання звукової карти комп'ютера, та фільтру НЧ, на вході звукового тракту, обмеженого вхідним конденсатором мікрофону. Спостерігається нерівномірність АЧХ, що пов'язана з розбіжністю елементів в ланцюзі частотної обробки. Присутня незначна зашумленість на верхніх частотах, це може бути пов'язано зі збільшенням інтермоделяційних спотворень на верхніх частотах.

Протестуємо лівий канал в програмі RMA на частоті 1 КГц (4.6):

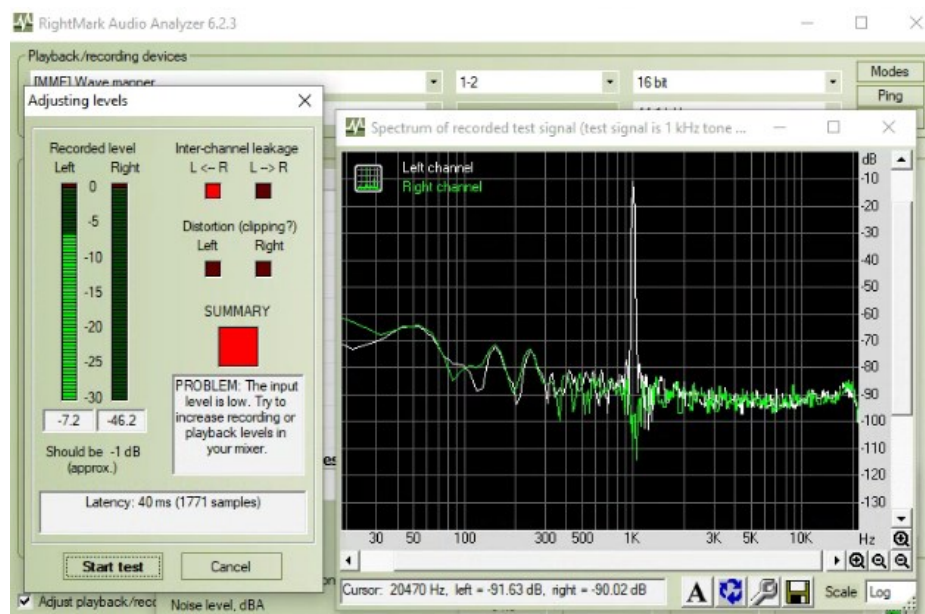


Рисунок 4.6 – результати вимірювань програмою RMA

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**БМ61.07.2505.1191**

Лис

51

З АЧХ бачимо невелике підвищення шумової планки, та появу перешкод на нижніх частотах, але значення знаходяться в межах норми.

Проведемо розгорнутий аналіз (рис. 4.7):

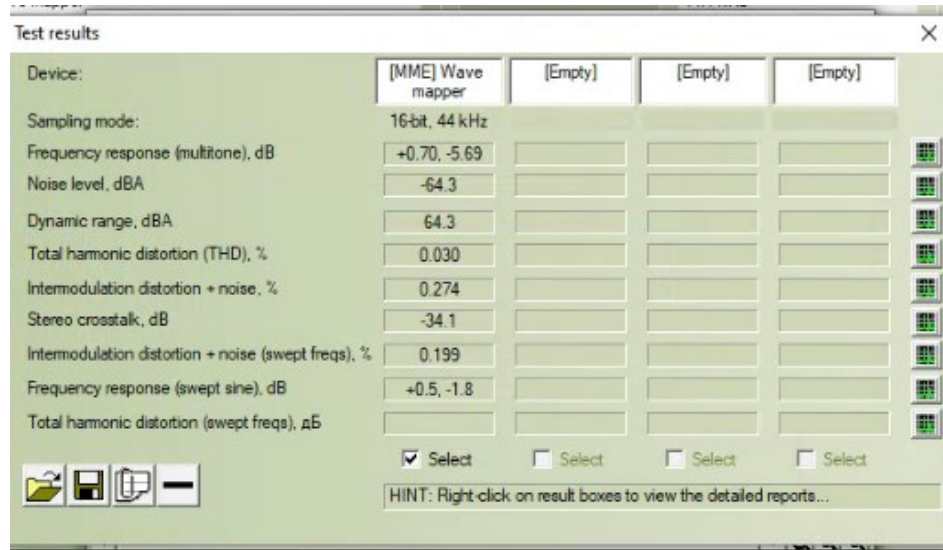


Рисунок 4.7 – результати вимірювань програмою RMA

З розгорнутого аналізу бачимо, що відхилення частотної характеристики складає  $\pm 0,7, 5,69$  Дб, відношення сигналу/шуму складає приблизно 64,3 Дб, рівень гармонічних спотворювань – 0,030 %, рівень інтемодуляційних спотворювань – 0,274%. На безперервних частотах значення покращуються. Бачимо що отримані характеристики кращі, ніж заплановані.

Під'єднаємо до ланцюга правий канал слухового апарату (рис. 4.8):

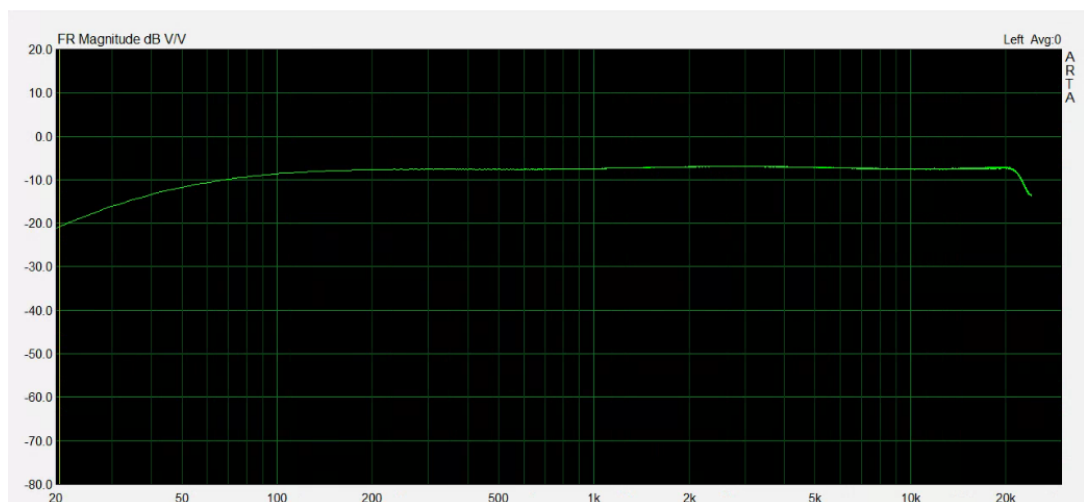


Рисунок 4.8 – АЧХ правого каналу слухового апарату

Бачимо, що АЧХ правого каналу схожа на АЧХ лівого каналу.

Протестуємо правий канал в програмі RMA на частоті 1 КГц (рис. 4.9):

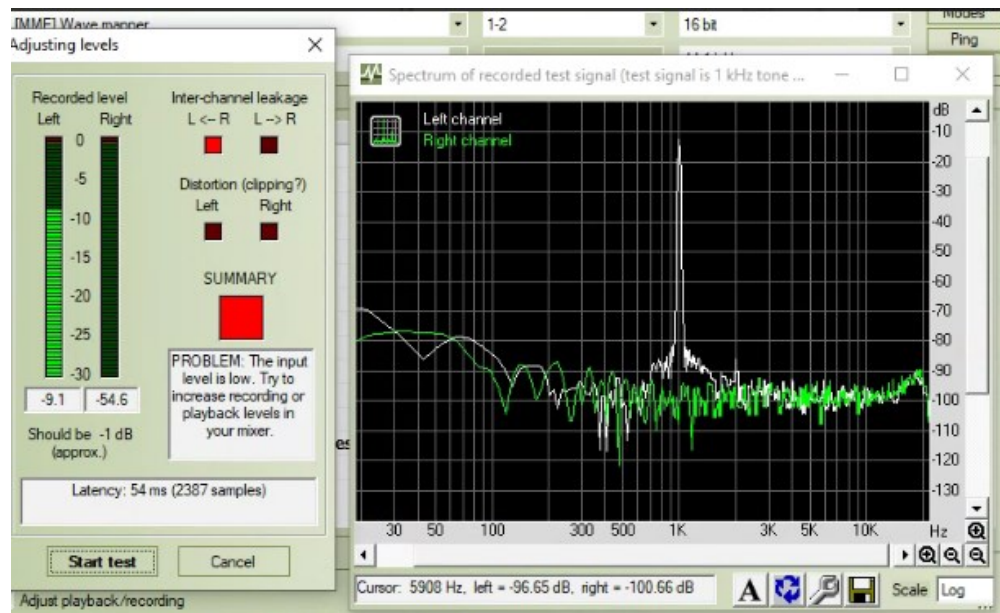


Рисунок 4.9 – результати вимірювань програмою RMA

Бачимо, що АЧХ при тестуванні на частоті 1 КГц схожа з АЧХ лівого каналу, бачимо що підвищівся рівень шуму на нижніх частотах, і навколотестової частоти. Ця розбіжність може бути пов'язана з несиметричністю розведеної плати, і наближенням контактних майданчиків до високосигнальної частини схеми.

Проведемо розгорнутий аналіз (рис. 4.10):

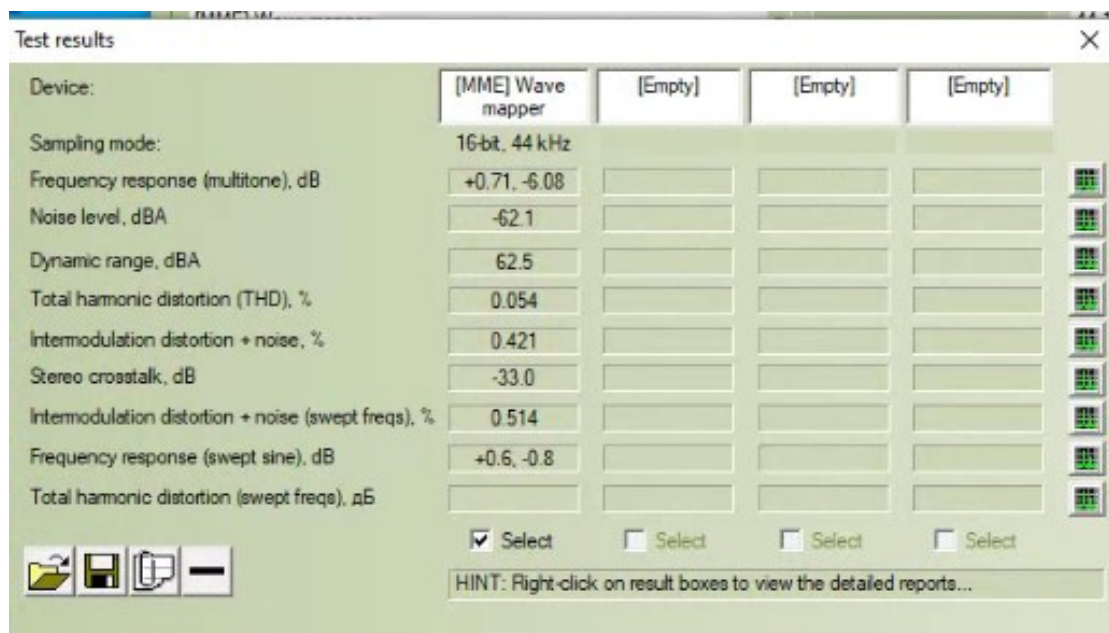


Рисунок 4.10 – результати вимірювань програмою RMA

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**БМ61.07.2505.1191**

Лис

53

З розгорнутого аналізу бачимо, що відхилення частотної характеристики складає  $\pm 0,71, 6,08$  Дб, відношення сигналу/шуму складає приблизно 62,5 Дб, рівень гармонічних спотворювань – 0,054%, рівень інтегрованих спотворювань – 0,421% на безперервних частотах значення покращуються. Бачимо що отримані характеристики кращі, ніж заплановані, але рівень шуму та гармонічних та інтермодуляційних спотворювань вищий, ніж в лівому каналі. Це може бути пов'язано з несиметричністю схеми і ближче розташований контур зворотнього зв'язку з високовольтною частиною.

Протестуємо роботу модулів частотної обробки:

Переведемо всі потенціометри підлаштування крутизни зрізу лівого каналу в положення «мінімальне» (рис. 4.11).

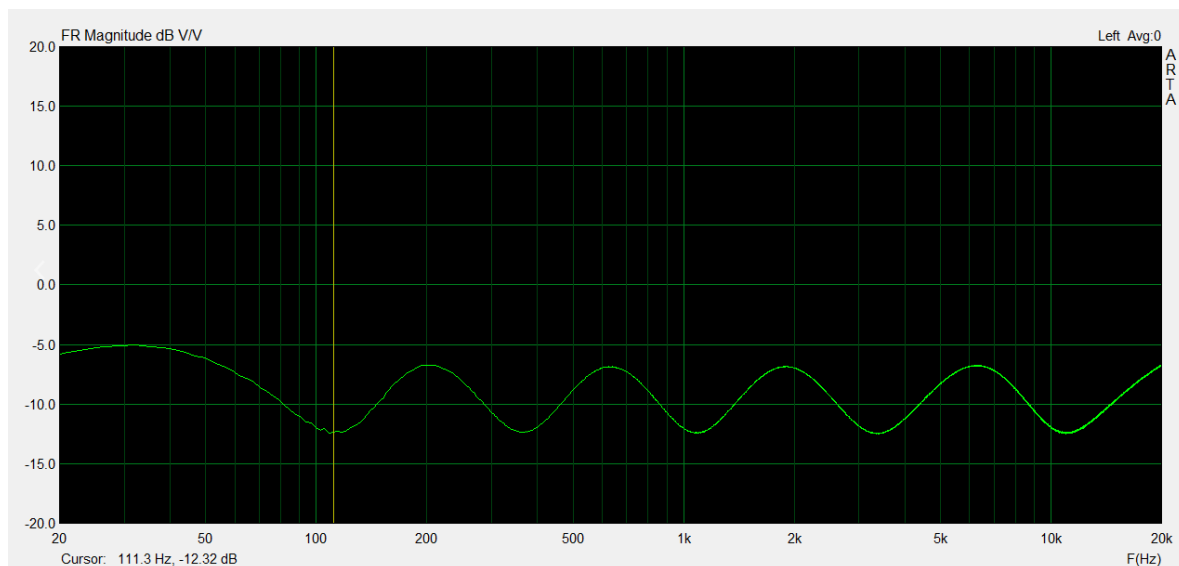


Рисунок 4.11 – АЧХ частотної характеристики в положенні «мінімальне»

Бачимо що звуковий рівень зменшився на – 12 дБ по резонансним частотам, робимо висновок, що всі полоси функціонують нормально

Переведемо всі потенціометри підлаштування крутизни зрізу лівого каналу в положення «максимальне» (рис. 4.12).

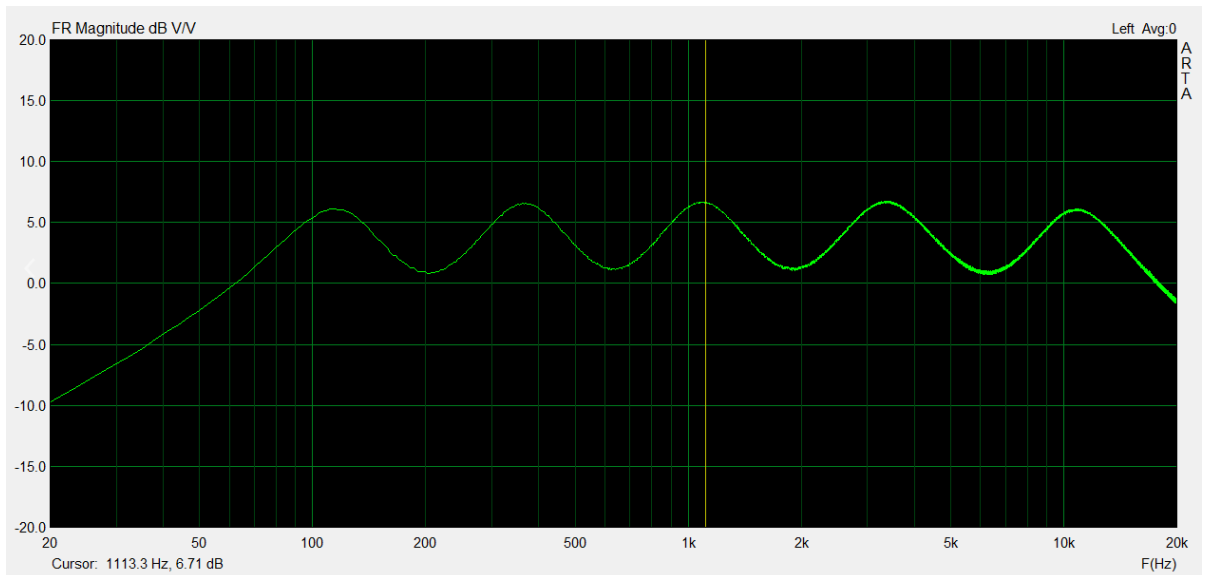


Рисунок 4.12 – АЧХ в положенні «максимальне»

Для знімання АЧХ в положенні «максимально» довелося зменшити вихідний сигнал на 5 дБ, бачимо що в положенні максимально рівень на резонансних частотах збільшився приблизно на  $(6,7 + 5)$  – на 12 дБ. Бачимо, що фільтр функціонує згідно документації.

Збільшемо середні частоти домаксимуму, а навколишні частоти – до мінімуму (рис. 4.13, 4.14):

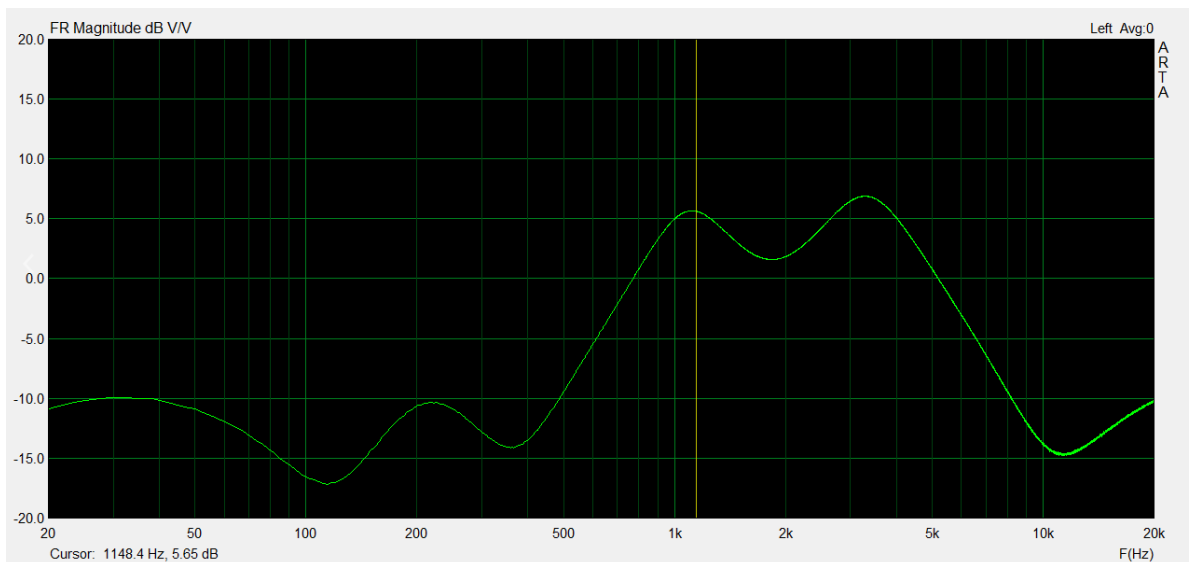


Рисунок 4.13 – АЧХ лівого каналу слухового апарату

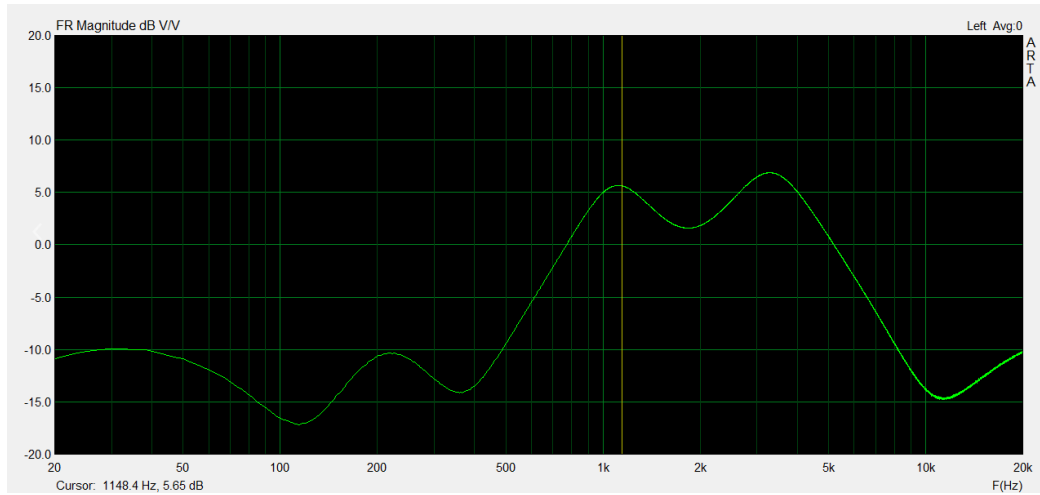


Рисунок 4.14 – АЧХ правого каналу слухового апарату

Отримуємо полосовий фільтр мови в діапазоні 1000 – 4000 Гц відношення рівня максимального до мінімального піку – 24 дБ, тобто підсилення мови в полосі пропускання складає 24 дБ.

В результаті проектування, і отримання вихідних характеристик порівняємо значення очікуваних параметрів, параметрів сучасних слухових апаратів – аналогів, і отриманих характеристик (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – звідна таблиця очікуваних і реалізованих параметрів.

Параметр	Заплановано	Лівий канал	Правий канал	Аналог
відношення сигналу до шуму	58 дБ	64,3 дБ	62,5дБ	55дБ
гармонічні спотворення	Не більше 0,5 %	0,030%	0,054%	1%
інтемодуляційні спотворення	Не більше 1 %	0,274%	0,421%	5%
Коефіцієнт Підсилення	50/60 Дб	50/60 Дб	50/60 Дб	50/60 Дб
Полоса пропускання	100 Гц – 15 кГц	100 Гц – 20 кГц	100 Гц – 20 кГц	1000-5000 Гц

В результаті створення моделі отримали моделі, які краще ніж заплановані і аналогів. Данна модель дозволила реалізувати покращення параметрів і значне збільшення функціоналу за рахунок використання сучасної елементної бази і елементів поверхневого монтажу, що дозволило спроектувати пристрій з

параметрами, які максимально точно відповідають документаці. І мають зменшені габарити.

#### Висновки до розділу 4

В данному розділі було протестовано виготовлений макет підсилювального блоку, «слухового апарату зі змінною АЧХ», на вихідні характеристики. Тестування проводилось за допомогою 16ти-бітної звукової карти комп'ютера з частотою дискретизації 48 000 Гц, параметри данної звукової карти, дали змогу протестувати вихідні параметри пристрою, оскільки мали запас по якості запису та відтворення, який був вище за очікувані параметри пристрою. В результаті тестування, отримали порівняльну звідну таблицю очікуваних і реальних характеристик пристрою, реальні характеристики виявились краще очікуваних. Також було сформовано фільтр мови на багатополосному фільтрі, при необхідності фільтр мови можна скорегувати особливостями АЧХ телефонів, або інших факторів, що впливають на якісне звукосприйняття людиною.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### Вступ

#### 5.1. Характеристика апарату, що є темою дипломної роботи

Даний апарат (рис. 5.1) використовується для слухового протезування пацієнтів, з односторонньою або двосторонньою кондуктивною втратою слуху I- IV ступеня. Слухове протезування основане на повітряній передачі звуку.

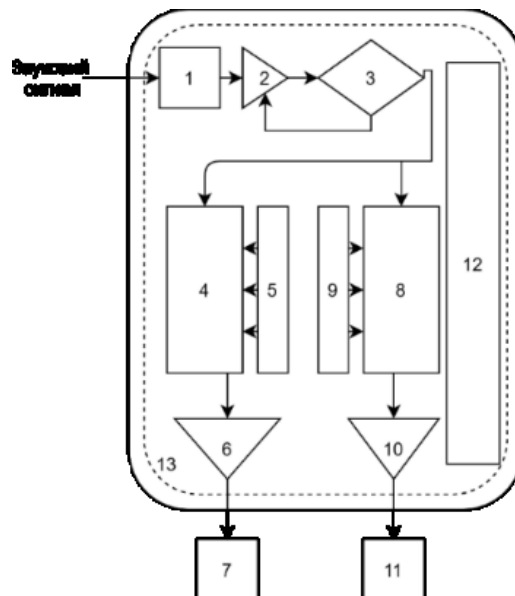


Рисунок 5.1 – Функціональна схема аналогового слухового апарату зі змінною АЧХ. Де:1- мікрофон, 2- підсилювач мікрофону, 3- схема автоматичного регулювання підсилення, 4,8- система фільтрів, 5,9 – система регулювання параметрами фільтрації, 6,10 - кінцеві підсилювачі, 7,11 – звукові випромінювачі,12- батарея живлення, 13- корпус апарату. Напрямок проходження сигналу показано стрілками.

Таблиця 5.1. Характеристики аналогового слухового апарату зі змінною АЧХ

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

№	Найменування апарату та функціональних блоків	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	Аналоговий слуховий апарат зі змінною АЧХ	Матеріал корпусу: пластик 2 мм; Клас виробу за способом захисту від ураження електричним струмом: III (ДСТУ EN 61140:2015); Клас виробу за ступенем захисту оболонки: B, IP43, (DIN EN 60529); Вид виконання пристрою, в залежності від умов експлуатації та довкілля – захищене; Максимальна потужність: 0,15 Вт; Робоча напруга: постійна: 5-9 В; Потужність на один канал: 0,06 Вт; Полоса пропускання :100-15000 Гц; Максимальний рівень вихідного звукового тиску: 140 дБ; Температурний режим: -5 ...+45 °С.	1	-
2.	Навушники «jbl tune 110» (випромінювачі)	Матеріал корпусу: пластик 1 мм; Опір випромінювачів: 16 Ом; Максимальна потужність: 100 мВт; Чутливість: 100 дБ/мВт; температурний режим -5 ...+45 °С	1	7,11
3.	Батарея живлення	Матеріал корпусу: сталь 0,15 мм; Вихідна напруга: 8,75 В; Робоча вологість: 50%; Температурний режим: -20 ...+50 °С.	1	12
4.	Корпус апарату	Матеріал: Водонепроникний, пластиковий полікарбонат, 2 мм; Температурний режим -60 ...+120 °С	1	13

## 5.2. Взаємодія апарату і людини в системі «людина- об'єкт»

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для відображення коректної роботи апарату, регулювання необхідних параметрів, та підвищення енергоефективності, на пристрої передбачено наступні системи індикації і ручного регулювання (табл. 5.2):

Таблиця 5.2. Взаємодія апарату в системі «людина – об'єкт».

№	Найменування функціонального блока	Вид відображення інформації	кількість
1.	Система індикації роботи апарату	Індикатор ввімкнення – світлодіод 1.8GRN	1
2.	Система регулювання вихідного рівня гучності	Регулятор гучності - Потенціометр R0902N, 30 кОм.	1
3.	Система ввімкнення апарату	Вимикач – вимикач PP8	1

### 5.3. Звукова безпека.

Слуховий апарат являється небезпечним для здорового слуху приладом. Ця небезпека перш за все спричинена механічним фактором, а саме – підвищеним рівнем звукового тиску на виході пристрою. Для зменшення ризику небезпечного впливу звукового тиску на пацієнта запропоновано комплекс заходів з охорони праці (табл 5.5).

Таблиця 5.3. Основні види небезпек

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Система підсилення звуку	Випромінювачі звуку	Високий рівень звукового тиску на вході (технологічний і людський фактор)	Травми барабанної перетинки, внутрішнього вуха

Таблиця 5.4. Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Рівень вихідного звукового тиску	120 дБ	110 дБ (ДСН 3.3.6.037-99)

Таблиця 5.5. Заходи з забезпечення охорони праці (Рівень вихідного звукового тиску) апарату.

№	Група номенклатур-них заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Система автоматичного регулювання гучності	Обмеження рівня гучності при різких перепадах вхідного рівня звукового тиску
		Система додаткового обмеження вихідного рівня гучності	Обмеження надмірного збільшення гучності,
		Отвір виходу надмірного тиску в навушниках	Механічний запобіжник травм слуху
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації апарату
3.	Режимні	Видається по дозволу лікаря	Попередження самолікування
4.	Експлуатаційні	Налаштування перед першим використанням	Індивідуальне підлаштування параметрів
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

#### 5.4. Електро-небезпека

Апарат живиться від джерела постійного струму 9 В, що є небезпечною напругою при прямому контакті з тілом, особливо в ушному каналі. Для зменшення ризику електричного ураження запропоновано комплекс заходів з охорони праці (табл 5.8).

Таблиця 5.6. Основні види небезпек

№	Найменування функціо-нального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Батарея живлення	Напруга живлення, 9 В	Пошкодження електро -ізоляції	Опіки користувача, ураження електричним струмом

Таблиця 5.7. Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
2.	Постійна напруга прямого контакту з тілом	9В	8В (ДСТУ 12.1.038:2008)

Таблиця 5.8. Заходи з забезпечення охорони праці (Рівень вихідного звукового тиску) апарату.

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Ізоляція провідників	Унеможливлення контакту з частинами під напругою
		Відсутність роз'єму для заряджання	Унеможливлення з'єднання апарату з високовольтною мережею
		Багатошарова ізоляція випромінювача	Надійна ізоляція місця безпосереднього контакту з тілом людини
		Випромінювачі керуються низьковольтним джерелом	Зменшення напруги частин, що безпосередньо контактують з тілом
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації апарату
3.	Режимні	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні	Регулярне сервісне обслуговування	Виявлення прихованих несправностей
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

### 5.5. Небезпека займання

Оскільки апарат, що розробляється, живиться від хімічного джерела постійного струму, то при короткому замиканні та збільшенні вихідного струму вище нормативного, елемент здатний до самозаймання, або до перегріву провідників. Для зменшення небезпеки займання запропоновано комплекс заходів з охорони праці (табл 5.11).

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 5.9. Основні види небезпек

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Батарея живлення	Хімічні реакції в середині батареї	Коротке замикання «+» і «-» живлення, (технологічний фактор)	Опіки користувача, займання.

Таблиця 5.10 Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Вологість	100%	50%(ДСТУ ІЕС 61204-7-2014)
2.	Струм електричного кола	0,2 А	0,015 А (ДСТУ ІЕС 60439-1:2004)

Таблиця 5.11 Заходи з забезпечення охорони праці (Рівень вихідного звукового тиску) апарату.

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	Волого-захисний корпус	Захист від підвищеної вологості
		Ручний вимикач	Повне розімкнення ланцюга живлення
		Токо - обмежувальний резистор в ланцюзі живлення	Запобігання збільшення току апарату вище робочого
		Водо- непроникний корпус батареї	Уникнення контакту з вою складових частин батареї
2.	Організаційні заходи	Інструкція з експлуатації	Навчання з питань безпеки при експлуатації апарату
3.	Режимні	Не передбачені	
4.	Експлуатаційні	Регулярне сервісне обслуговування	Виявлення прихованих несправностей
5.	ЗІЗ	Не передбачені	

### 5.6. Інструкції по техніці безпеки при експлуатації апарату

Аналоговий слуховий апарат зі змінною АЧХ є джерелом високого звукового тиску, який може бути травматичним при застосуванні апарату, при не

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

цільовому використанні. Для механічного запобігання травм слуху передбачено отвори випускання надмірного тиску на джерелі звукового тиску (навушнику).

I. Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки при регулярному сервісному обслуговуванні:

1. Виконувати налаштування апарату згідно настанови лікаря.
2. Перевіряти основні параметри, та функціонування систем, на відповідність норм.

II. Технологічні вимоги що до дотримання заходів безпеки при експлуатації апарату:

Перед початком експлуатації:

1. Перевірити корпус апарату на наявність пошкоджень ізоляції, оболонок.
2. Перевірити джерело звуку на відсутність забруднень та блокувань захисних отворів (навушників).

Під час експлуатації:

1. Увімкнути апарат за допомогою механічного вимикача на корпусі.
2. Упевнитися в загоранні світлового індикатора(світлодіода).
3. Встановити регулятор гучності в мінімальне положення.
4. Під'єднати джерела звуку(навушники), та вставити в слуховий канал.
5. Встановити комфортний рівень гучності регулятором.

Після закінчення експлуатації:

1. Встановити регулятор гучності в мінімальне положення.
2. Вимкнути пристрій механічним вимикачем на корпусі.
3. Впевнитися в тому що індикатор на корпусі(світлодіод) погашено.
4. Від'єднати випромінювачі(навушники).
5. Покласти прилат в місце для зберігання.

III. Особливості обслуговування цього пристрою і безпечні прийоми роботи:

					<b>BM61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

При сервісному обслуговуванні апарату:

1. Виконувати ремонтні роботи з використанням виключно тої елементної бази, що зазначено в принциповій схемі апарату.
2. Виконувати сервісні налаштування багато - оборотних потенціометрів з використанням спеціального пристрою (плоскої викрутки типу «А0» з шириною не більше 2 мм.).

При цільовому використанні апарату:

1. Забороняється самостійно вскривати корпус апарату.
2. Забороняється самостійно замінювати випромінювачі на випромінювачі іншого типу.
3. При пошкодженні корпусу чи захисних оболонок звернутися до сервісного обслуговування.

Висновки до розділу 5

В данному розділі було сформовано основні ключові небезпеки, які можуть виникнути при експлуатації, та сервісному обслуговуванні апарату, перераховані технічні рішення проектування, які націлені на зниження та усунення небезпек, особливо небезпеки механічного типу (високий вихідний рівень звукового тиску), та небезпеки займання. Були перераховані нормативні норми згідно нормативних документів, та перераховано необхідні заходи, для унеможливлення небезпек. Крім того була розглянута електронебезпека, та розроблені критерії по її усуненню.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ВИСНОВКИ

В ході реалізації завдань дипломного проектування, які були поставлені перед розробкою, та вивченням теоретичних відомостей, вдалося виконати всі вищезазначенні пункти. В ході розробки було вивчено літературні відомості, стосовно базових функціонально – технічних принципів, принципів схемотехнічного проектування і моделювання, а також різновиди аналогів аналогових слухових апаратів і особливостей їхньої будови.

Були вивчені базові принципи побудови аудіограм, обраховані порогові рівні звукового тиску, і сформовано очікувані технічні характеристики, згідно розроблених методів і застосувань відповідної бази елементів.

Спираючись на очікувані характеристики була розроблена принципова схема апарату, яка розроблялася з вимог компактності, та електромагнітної сумісності. На етапі проектування апарату була смодельована робота основних блоків схеми, а також підібрана елементарна база за якою проводилось проектування.

Також в ході проектування була створена принципова функціональна блок – схема, яка описує принципи дії кожного функціонального блоку апарату. Вивчення аналогів дало змогу спроектувати пристрій з позиції актуальності і інноваційності.

При проектуванні апарату, окрім планових покращень вихідних характеристик, були вирішені технічні проблеми волого, та пило – захисту, індикації ввімкнення, та захисту від сплутання полярності. Отриманий пристрій було протестовано на відповідність технічним нормам, на відповідність заявленим характеристикам, було перевірено роботоспроможність основних вузлів схеми.

В розділі охорони праці були перераховані головні небезпеки, при експлуатації апарату, було прийнято технічні заходи по мінімізації небезпек, і сформовано інструкцію експлуатації слухового апарату.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66

В результаті проектування, отримали пристрій, який за характеристиками є кращім, ніж доступні аналоги, крім того має збільшений функціонал, а саме: Збільшена кількість вихідних каналів – 2 (стерео), замість 1 (моно), це було зроблено за рахунок зкомпактнення схеми (за допомогою елементів поверхневого монтажу); Була розширена полоса пропускання, завдяки використанню новітньої елементарної бази, це також дало змогу зменшити рівень вихідного шуму, гармонічних і інтермодуляційних спотворювань. Також розширення полуси пропускання вдалося досягти за допомогою використання сучасних низькоомних телефонів високої чутливості.; Надано можливість корегувати вихідну АЧХ по обом каналам, що дає змогу підлаштовуватися під індивідуальні особливості пацієнта, покращити якість життя, та зповільнити деградацію слуху. Данна конструкція дає змогу стояти на рівні сучасних слухових апаратів, а за певними показниками, як затримка сигналу і дешевизна, перевищувати їх.

В звідній таблиці (табл 4.2.1) було продемонстровано порівняльну характеристику результатів тестування апарату, що показує кращі характеристики по відношенню до аналогів аналогових слухових апаратів, і запланованих характеристик. Крім того в порівнянні з аналогами розроблений пристрій зменшує вирогідність дезорієнтації в просторі, розширює діапазон робочих частот, дає змогу більш прицизійно підлаштовувати АЧХ, та дає змогу суттєво зменшити габарити аналогового слухового апарату, при цьому розширивши функціонал.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.ДСТУ EN 60118-0:2019 Електроакустика. Слухові апарати. Частина 0. Вимірювання характеристик слухових апаратів (EN 60118-0:2015, IDT; IEC 60118-0:2015, IDT), 20 стр.
- 2.Наказ від 06.08.2019 № 237 Про прийняття національних стандартів та прийняття зміни до національного стандарту, затв. каб. мін,2 стр.
- 3.ДСТУ EN ISO 13485:2018 Медичні вироби. Система управління якістю. Вимоги до регулювання (EN ISO 13485:2016, IDT; ISO 13485:2016, IDT). 95 стр.
4. Інструкція з експлуатації: «Behind-the-Ear-Instruments Simens Triano SP user guide», 2015. 42с.
- 5.«Якими бувають слухові апарати? » сайт сертифікованої клініки «Аудіомед». [Електроннийресурс]. 2016 Режим доступу: URL: <https://www.audiomed.ru/info/kakimi-byvayut-slukhovye-apparaty/>.
6. «К548УН3 - підсилювач для мініатюрних слухових апаратів з максимальним вихідним акустичним тиском до 132 дБ» [Електроннийресурс]. 2018 Режим доступу: URL: <http://0s.o53xo.ofzhultsou.dresk.ru/reference/micro/548/un3.shtml>
7. Ефрусси М. М. «Слухові апарати і аудіометри», 1975. 97 ст.
8. Unitron, 360™ «Керівництво по експлуатації заушного слухового апарату»,2016. 32с.
9. Мневєць А. В., Демчук Г. В., «ключові небезпеки сучасних слухових апаратів іможливі заходи їх вирішення на етапі проектування», ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ. - 2019. 254ст.-261.
10. Мневєць А. В., Зубков С.В., «Методи поліпшення характеристик слухових апаратів на основі застосування сучасної елементарної бази електронних компонентів.» - 2020. 3ст.

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

11. «dB HL - Sensitivity to Sound - Clinical Audiograms» [Електроннийресурс]. 2020 Режим доступу: URL:<http://auditoryneuroscience.com/acoustics/clinical-audiograms>
12. «звуковий тиск, або що таке гучність» [Електроннийресурс]. 2015 Режим доступу: URL: <http://art-complex.ru/pages/osobennosti-aku/>
13. Марлен Багатто, «Огляд рекомендацій по використанню слухових апаратів дітьми з односторонньою туговухістю» -2017. 50 ст.
14. Шахова О.Г., Пелих Є.В., Козловська С.Є., Зайцев В.А. «атлас аудіограм» -2016. 31с.
15. «Technical Specifications for HI-PRO 2 UniversalHearing Instrument Programming Interface», 2016. 2 ст.
16. «EasyEDA Tutorial», 2017. 164 ст.
17. «LA3600 Datasheet», 2016, 6 ст.
18. «MAX9814 Datasheet Microphone Amplifier with AGC and Low-Noise Microphone Bias», 2017, 14 ст.
17. «TDA 1308 Class AB stereo headphone driver. Datasheet», 2002, 16 ст.
18. «Micro-Cap 12 Electronic Circuit Analysis Program User's Guide», 2018, 232 ст.
19. «JBLT110BT Bluetooth Headset User Manual », 2016, 19 ст.
20. « EM6022P Electret Condenser Microphone», 2017, 5ст.
21. «Інтермодуляційні спотворення - невловимий ворог» [Електроннийресурс]. 2017 Режим доступу: URL: [http://www.sound-consulting.net/ru/?page\\_id=1468](http://www.sound-consulting.net/ru/?page_id=1468)

					<b>БМ61.07.2505.1191</b>	Лис
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

# ДОДАТОК А

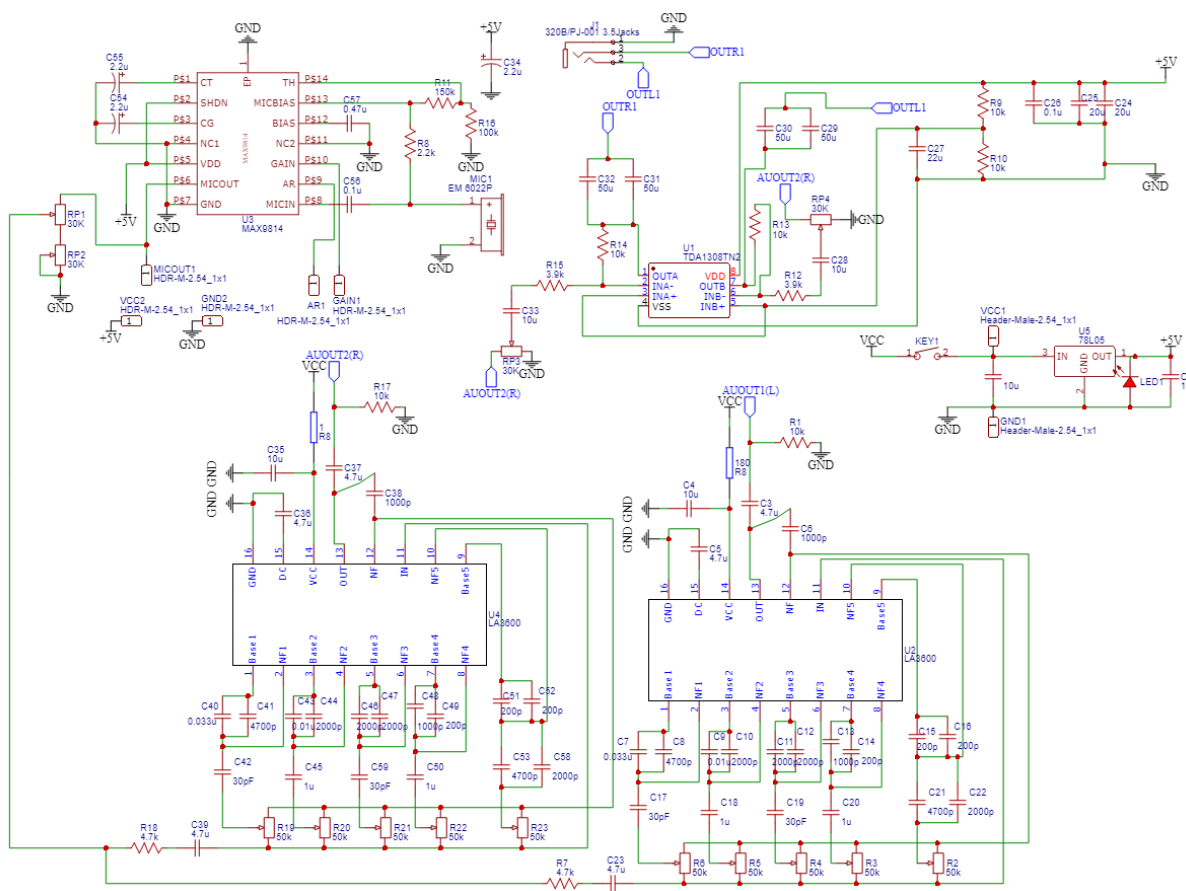


Рисунок А.1 – Принципова схема аналогового слухового апарату зі змінною АЧХ

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**БМ61.07.2505.1191**

Лис  
70