

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Підсилювач звукової частоти потужністю 10 Вт*

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи *РАс-41*
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Пискальний С. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дедів І. Ю

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Марценюк А. С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В. Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

172 Телекомунікація та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Пискальому Сергію Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Підсилювач звукової частоти потужністю 10 Вт

Керівник роботи

Дедів Ірина Юріївна

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

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 2021 року № _____.

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи Потужність 10 Вт, опір навантаження 8 Ом, діапазон частот 20Гц - 16 000Гц, стерео, регулятор тембру двосмуговий, коефіцієнт спотворень до 2.9%..

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, основна частина, аналіз технічного завдання, аналіз відомих підсилювачів, обґрунтування технічного завдання, аналіз структурної схеми підсилювача, аналіз схеми електричної принципової, розрахунок електричної принципової схеми, вибір та обґрунтування компонентної бази, спеціальна частина (САПР), програмне забезпечення, безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Схема вузла структурна, схема вузла функціональна, схема електрична принципова, перелік елементів, креслення плати друкованої, креслення друкованого вузла, специфікація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Пилипець М. І д.т.н. професор, кафедра МТ	<i>[Підпис]</i> 10.06.11	<i>[Підпис]</i> 11.06.11

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та затвердження технічного завдання		
2	Аналіз технічного завдання, аналіз існуючих рішень на ринку		
3	Створення функціональної та структурної схем		
4	Створення та розрахунок схеми електричної принципової		
5	Вибір елементної бази		
6	Ручне компонування вузла		
7	Автоматичне трасування та ручне виправлення помилок		
8	Створення друкованого вузла		
9	Опис спеціальної частини		
10	Написання розділу безпеки життєдіяльності та основи охорони праці		
11	Огляд рецензента		
12	Попередній захист роботи		
13	Захист КР		

Студент

_____ (підпис)

Пискальний С. Р.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дедів І. Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема кваліфікаційної роботи: «Підсилювач звукових частот потужністю 10Вт». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАС-41. // Тернопіль, 2021р. //с.-64, рис.-16, табл.-0, бібліог. – 65, додат.-7.

Ключові слова: ПІДСИЛЮВАЧ, ЗВУКОВИХ, АУДІО СИСТЕМ РОЗРОБЛЯЄМО, РОЗРАХОВУЄМО ПЕРЕД ПІДСИЛЮВАЧ, КАСКАДИ.

У кваліфікаційній роботі було спроектовано та розраховано блок підсилення звукової частоти потужністю 10Вт, який є складовою аудіо системи. Діапазон частот 20Гц-16 000Гц; Працює в режимі стерео; Підсилювач на транзисторах. Було розроблена конструкторська документація, наведені розрахунки усіх каскадів.

Summary

Theme of qualification work: "Audio frequency amplifier with a power of 10 W". Bachelor's qualification work // Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, RA-41 group. // Ternopil, 2021 //p.-65, fig.-16, table-0, bibliog. - 65, appendix-7.

Key words: AMPLIFIER, SOUND, AUDIO SYSTEMS WE DEVELOP, CALCULATE BEFORE THE AMPLIFIER, CASCADES.

In the qualification work, a 10W audio frequency amplification unit, which is a component of the audio system, was designed and calculated. Frequency range 20Hz-16,000Hz; Works in stereo mode; Amplifier on transistors. Design documentation was developed, calculations of all cascades are given.

Зміст

Вступ	8
1 Основна частина	9
1.1 Аналіз технічного завдання	9
1.1.1 Аналіз відомих підсилювачів	9
1.1.2 Обґрунтування технічного завдання	11
1.1.3 Технічні характеристики вузла	12
1.2 Аналіз структурної схеми підсилювача	12
1.3 Аналіз схеми електричної принципової	14
1.4 Розрахунок електричної принципової схеми	16
1.4.1 Проектування і розрахунок вихідного каскаду	16
1.4.2 Вибір транзисторів вихідного каскаду	17
1.4.3 Вибір транзисторів передвихідного каскаду	20
1.4.4 Проектування та розрахунок каскадів попереднього підсилення	22
1.4.5 Вибір регулятора гучності та його розташування	23
1.4.6 Вибір схеми регулятора тембру та його розташування	24
1.4.7 Розрахунок кількості каскадів попереднього підсилення	25
1.4.8 Розподіл частотних спотворень по каскадах.	27
1.4.9 Розрахунок елементів вихідного двотактного каскаду	30
1.4.10 Розрахунок елементів каскаду попереднього підсилення	34
1.4.11 Електричний розрахунок елементів диференційного каскаду каскаду	40
1.4.12 Електричний розрахунок елементів регулятора тембру	43
1.5 Вибір та обґрунтування компонентної бази	45
1.6 Компоновка друкованого вузла пристрою	47
2 Спеціальна частина (САПР)	50
2.1 Програмне забезпечення	50
2.2 Проектування пристрою в Altium Designer	50

					<i>ПСР 2.032.001 ПЗ</i>			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Пискальний</i>				<i>Підсилювач звукової частоти Потужністю 10 Вт</i>	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Дедів</i>						6	64
<i>Н.конт</i>	<i>Марценюк</i>				<i>Пояснювальна записка</i>	<i>ТНТУ, ФПТ, каф.РТ, гр.РАс-31</i>		
<i>Зав.каф</i>	<i>Дунець</i>							

3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	56
3.1 Вимоги техніки безпеки при виготовленні та налаштуванні вузла	56
3.2 Причини виникнення електронебезпеки на виробництві	59
3.3 Надзвичайні ситуації: визначення причини, класифікація	60
Висновки	63
Список використаної літератури	64
Додатки	65

Вступ

Дякуючи прогресу, аудіо складова нашого життя стала набагато яскравішою. Тепер будь хто, в змозі послухати гурт, який виступає в іншому куточку планети. Музика, в прямому сенсі, навколо нас, вона лунає на роботі, вдома або на відпочинку. Жоден фільм не обходиться без якісного звукового супроводу, а жоден фестиваль без підсилювачів звукового сигналу з апаратурою на десятки Ват. Джерела звуку не в змозі видати таку потужність, для цього й існують підсилювачі потужності.

Підсилювачі потужності діляться за підсилюваним елементом, вони бувають: лампові (на електронних, електровакуумних лампах), транзисторні (на біполярних або польових транзисторах), інтегральні (на інтегральних мікросхемах) та гібридні (частина каскадів зібрана на напівпровідникових елементах, а частина на електронних лампах). Через ціну і популярність біполярних транзисторів, було обрано розробляти схему на них.

Підсилювачі часто складаються з двох блоків – попереднього підсилювача, та основного підсилювача звукового сигналу. Передпідсилювач повинен підсилити сигнал до потрібного рівня для основного підсилювача. Зачасту в першій частині встановлюється еквалайзер, та регулятор звуку. Іноді еквалайзер може бути окремим пристроєм. Навантаження також буває різним, від наушників до цілих комплексів акустичних систем на сотні Ом. Дані параметри враховуються при проектуванні.

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

1.1.1 Аналіз відомих підсилювачів

Аналізуючи ринок можна потрапити на підсилювачі на мікросхемі TDA7297. Дана мікросхема є досить популярна і використовується в багатьох портативних аудіо системах, особливо, які виготовлені в Китаї.

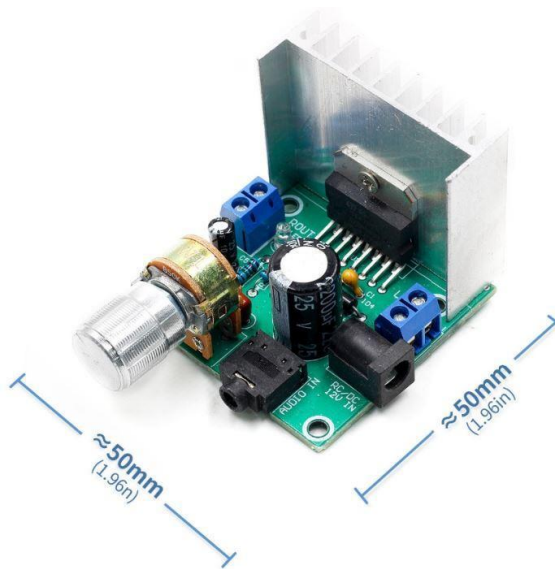


Рисунок 1.1 – Блок підсилювача звукової частоти на мікросхемі TDA7297

Потужність у даного виробу 15Вт, клас підсилення D. Масивний радіатор значно зменшує внутрішній об'єм аудіо колонки. Це приведе до погіршення звуку, особливо, у портативном сегменті, де габарити корпусу малі. При тому охолодження не буде реалізоване в повній мірі через герметичність систем, які виконані на технології пасивного дифузору.

Дана система підсилює тільки один канал і не підтримує режиму стерео, та вносить значні спотворення у сигнал. Частоти з якими здатен працювати даний підсилювач – 100Гц – 15 000Гц, це занадто малий діапаон, його не достатньо для відтворення якісного звукового сигналу.

Також популярний мініатюрний підсилювач потужності 10 Вт, який здатен відтворювати стерео сигнал. Дана схема має малі габарити та підходить для мініатюрних аудіо систем, зібраних в одному корпусі. Мікросхема РАМ8610 відноситься до підсилювачів класу D і вносить значні частотні спотворення; через малі габарити, встановити потрібний рівень дискретизації неможливо. Діапазон відтворювальних частот 100Гц – 16 000Гц, теж є знадто малим і не підходить для відтворення якісного звукового сигналу. Регулювання високих і низьких частот відсутнє

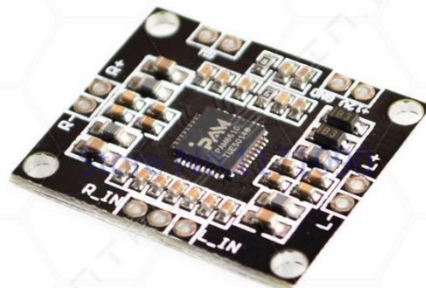


Рисунок 1.2 - Блок підсилювача звукової частоти на мікросхемі
РАМ8610

Найблищим конкурентом до виробу, який розробляється є аудіо підсилювач ХН-М164 потужністю 5 Вт.



Рисунок 1.3 - Блок підсилювача звукової частоти ХН-М164

Даний пристрій реалізований на двох операційних підсилювачах NE5532. Діапазон відтворюваних частот 60Гц - 18 000Гц, присутній регулятор тембру, працює у режимі стерео.

До не доліків можна віднести потребу в двохполярному живленні, яке важко реалізувати в малих аудіо системах, великі габарити та погану компоновання (нагріваючі елементи близько до електролітичних конденсаторів, які не стійкі до високих температур).

Отже, проаналізувавши ринок можна сказати, що дана кваліфікаційна робота є актуальною та конкурентно спроможною, може бути використаною у сфері мініатюрних аудіо систем.

1.1.2 Обґрунтування технічного завдання

Блок підсилення звукової частоти є частиною портативної аудіо системи, до неї висуваються обмеження у: габаритах, вазі, тепловиділенні, механічній стійкості та якості відтворення сигналу.

Розглянемо кожен пункт детальніше:

В основному при обробці сигналів в електричних звукових пристроях, намагаються внести мінімальний коефіцієнт спотворення сигналу. При цьому об'єктивна оцінка якості звукотехнічних пристроїв здійснюється по наступним основним показникам:

- відсоток лінійних спотворень;
- відсоток нелінійних спотворень;
- паразитна модуляція сигналу;
- відносний рівень перешкод (відношення сигнал/перешкода).

Виріб повинен бути стійкий до механічних впливів, таких як: вібрація, перевертання, легкі удари. При активній експлуатації такі моменти будуть траплятись, а тому над їх вирішенням потрібно задуматись ще при компонованні вузла.

Габарити не повинні бути більшими ніж корпус портативної аудіо системи і допускаються у межах до 130мм x 70мм, допускається вага до 500 г.

Тепловиділення повине бути мінімальне, тому що, корпус може бути герметично закритим і охолодження буде неефективним.

Розробка підсилювача здійснюється для переносного виробу. Використовувати однокантну схему для потужності 10 Вт недоцільно, вона значно збільшить кількість і масу акумуляторних батарей, також це значно збільшить габарити вузла. Обираємо двокантну схему.

Підсилювач має два канали, правий та лівий, тому подалі розрахунок буде проводитись для правого каналу потужністю 5 Вт. Лівий канал аналогічний і повинен бути таким ж для запобігання створення різниці звукового сигналу.

1.1.3 Технічні характеристики вузла

Номінальна потужність виробу, Вт	10;
Нелінійні спотворення,%.....	1,2;
Максимальний час експлуатації, год.....	8;
Нижня гранична частота, Гц.....	20;
Верхня гранична частота, Гц.....	16 000;
Опір динаміків, Ом.....	8;
Вихідний опір джерела сигналу, Ом.....	2;
Кількість каналів, шт.....	2;
Коефіцієнт гармонік , %.....	1,2;
Загальні частотні спотворення, дБ.....	2,9;

1.2 Аналіз структурної схеми підсилювача

У цьому розділі буде описано структуру роботи підсилювача звукового сигналу. На прикладі правого каналу

Підсилювач потужності складається з семи основних блоків:

- блок попереднього підсилення по схемі спільного емітера 1
- двосмуговий регулятор тембру

- блок попереднього підсилення по схемі спільного емітера 2
- регулятор гучності
- блок попереднього підсилення по схемі диференційного каскаду
- попередній каскад підсилення по схемі спільного колектора
- вихідний каскад підсилення по схемі спільного колектора

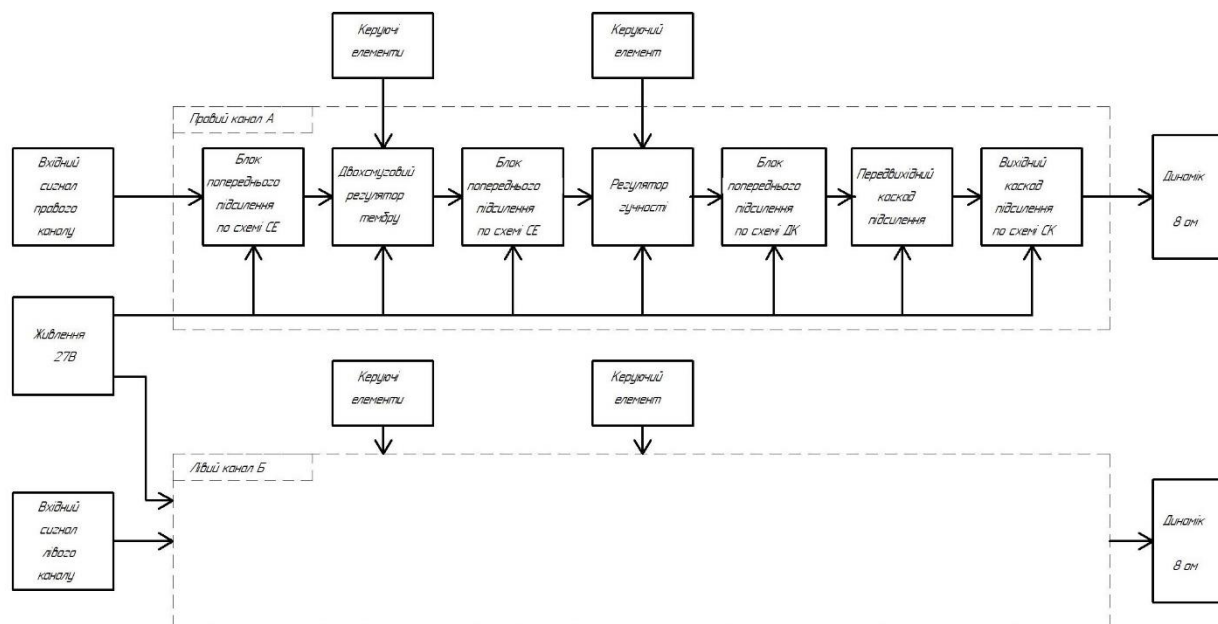


Рисунок 1.4 – Структурна схема підсилювача звукової частоти

Сигнал з джерела сигналу надходить на блок попереднього підсилення. Даний каскад узгоджує опір підсилювача з джерелом сигналу. Звідти підсилений сигнал надходить на двосмуговий регулятор тембру. На який впливають керуючі елементи які можуть міняти частотну характеристику підсилювача і впливати на амплітуду сигналу в залежності від його частоти. Далі сигнал підсилюється в ще одному каскаді попереднього підсилення після якого підсилений звуковий сигнал надходить на регулятор звуку, де він змінює свою амплітуду в залежності від керуючого елемента. Змінений сигнал надходить у останій перевихідний каскад зібраний по схемі диференційного каскаду з несиметричним входом і виходом. Даний каскад входить в петлю зворотнього відємного зв'язку, та додає додаткову температурну стабілізацію

підсилювача. Останні та максимальні стадії пісилення відбуваються в передвихідному та вихідному каскадах підсилення, які зібрані по схемі спільного колектора. Дані каскади об'єднані колом від'ємного зворотнього зв'язку й потрібні для узгодження сигналу з низькоомним навантаженням (близько 4-8Ом).

1.3 Аналіз схеми електричної принципової

Розглянемо роботу підсилювача детальніше на електричній принциповій схемі.

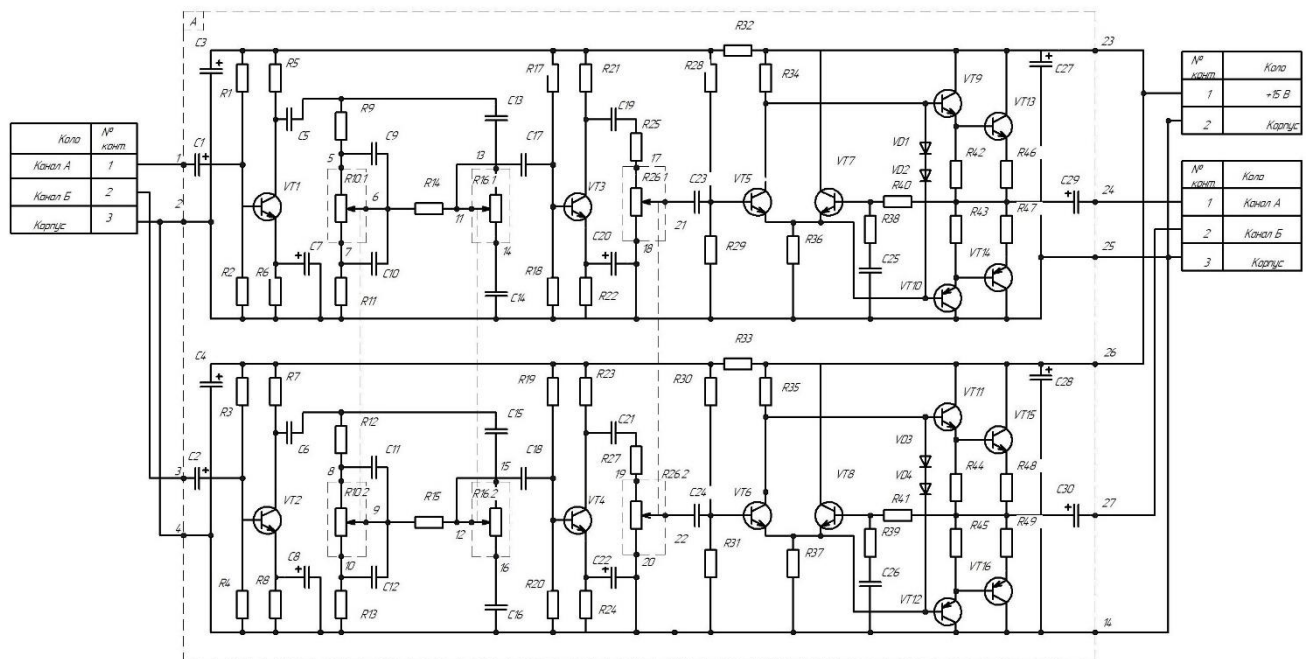


Рисунок 1.5 – Електрична принципова схема підсилювача звукової частоти

Сигнал з джерела подається на блок попереднього підсилення побудований по схемі спільного емітера (каскад на транзисторі VT1). Резистори R1, R2 – це базовий подільник напруги, який забезпечує початкове зміщення транзистора VT1. Конденсатор C1 є роздільним, і призначений для запобігання проходження постійного струму подільника на джерело сигналу.

Резистор R6 та конденсатор C7, включений в коло емітера виконує функцію емітерної термостабілізації початкового режиму роботи транзистора по постійному та змінному струмах.

Далі сигнал через роздільний конденсатор C5 надходить на блок двосмугового регулятора тембру. Змінний резистор R10 відповідає за високі частоти, R16 відповідає за низькі частоти. Далі через розділовий конденсатор C17 сигнал надходить на, ще один каскад попереднього підсилення побудований по схемі спільного емітера на транзисторі VT3. R17, R18 є подільником напруги для встановлення робочої точки транзистора, R22, C20 – емітерна термостабілізація. З даного каскаду через фільтр C19, надходить на блок регулятора гучності зібраного на постійному резисторі R25 та спареному потенціометрі (для правого і лівого каналів) R26 та розділовому конденсаторі C23. Після даного каскаду сигнал проходить через останій блок попереднього підсилення зібраному на диференційному каскаді. R17, R18 – задає режим роботи транзистора VT3, R22 – емітерна термостабілізація. Транзистор VT7 слугує для уведення ВЗЗ. На його базу через низькоомні резистори R40 та R38, потрапляє частина вихідного сигналу. C25 є також розділовим і слугує для запобігання ВЗЗ по постійному струмі. Фільтр по живленню C3, R32 є спільним і задає напругу для усіх каскадів попереднього підсилення. Далі сигнал знімається з колекторного навантаження R34 й поступає на передвихідні та вихідні каскади підсилення по схемі спільного колектору, які зібрані на VT9 VT10 та VT13 VT14 відповідно. В них відбувається підсилення сигналу до заданного рівня по струму. Підсилення по напрузі забезпечують передвихідні каскади. Резистори R42, R43 – є емітерним навантаженням передвихідного каскаду, і задають напругу зміщення для вихідного каскаду. Діоди VD1, VD2 задають напругу зміщення для комплементарних пар транзисторів VT9-VT10; VT13-VT14 та забезпечують температурну стабілізацію роботи цих транзисторів. R46, R47 створюють низькоомними резисторами великої потужності (5 Вт) місцевий ВЗЗ, що зменшує можливість виникнення

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
						15
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

лавиноподібного розігрівання транзисторів. Динамік під'єднується через розділовий конденсатор великої ємності для зменшення спотворення та запобіганню протікання постійної складової струму вихідних транзисторів.

1.4 Розрахунок електричної принципової схеми

1.4.1 Проектування і розрахунок вихідного каскаду

Режим роботи задає нелінійні спотворення і економічність в енергоспоживанні транзисторів. Що є важливим критерієм при створенні схеми.

При заданому рівні нелінійних спотворень 1,2% обираємо режим роботи АВ, даний режим сподиває значну кількість енергії, про те інші режими використовувати неможливо, бо вони вносять значні спотворення у звуковий сигнал.

Існує кілька типових схем підсилювачів: із спільним емітером, із спільним колектором, на основі диференційного каскаду.

Обираємо схему з спільним колектором. Дане включення транзистору вносить малі частотні спотворення, і дає добру узгоджувальність підсилювача з низькоомним навантаженням, що дозволить під'єднувати навантаження меншого опору ніж 8 Ом.

Недоліком даної схеми це коефіцієнт підсилення по напрузі, який менший одиниці. Тому підсилення по напрузі повинні забезпечити попередні каскади з спільним емітером.

Для додаткового зменшення нелінійних і частотних спотворень вибраної схеми включення транзисторів в схемі передбачається від'ємний зворотній зв'язок.

Глибину зворотнього зв'язку розраховую за формулою:

$$A = K_{z.cx} / K_{z.mz} \quad (1.1)$$

$$A = 3 / 1,2 = 2,5$$

$K_{Г.СХ} = K_{Г.СХ.ВІХ} + K_{Г.СХ.ПЕРЕДВ.}$ – коефіцієнт гармонік вибраної схеми включення транзисторів вихідного та передвихідного каскадів (з врахуванням режиму роботи). Для схем із спільним колектором вибирається в межах 1...5%. $K_{Г.СХ.ВІХ}$ та $K_{Г.СХ.ПЕРЕДВ.}$ приймаємо рівними 3%.

$K_{г.тз.}$ – заданий в технічному завданні коефіцієнт гармонік підсилювача, становить 1,2%.

Розрахована глибина ВЗЗ є допустимою оскільки знаходиться в межах $A = 1,5...8$.

В переносній апаратурі важко отримати двохполярне живлення достатньої потужності. Тому ми використовуємо однополярне живлення і навантаження повинно підключатись через роздільний конденсатор великої ємності щоб зменшити частотні спотворення при низьких частотах.

1.4.2 Вибір транзисторів вихідного каскаду

Вихідний каскад побудований на двотактній схемі. Тому доцільно проводити розрахунок транзисторів тільки на одне плече. Інше плече обираємо з комплементарних пар транзисторів які вказані в технічному описі до даних транзисторів

Розраховуємо амплітудне значення колекторної напруги при заданій вихідній потужності:

$$U_{Km} = \sqrt{(2P_{вих} R_n)} = \sqrt{(2 \cdot 10W \cdot 8 \text{ Ом})} = 12,65 \text{ В} \quad (1.2)$$

Знаходжу необхідну напругу джерела живлення:

$$E_k = 2(U_{Km} + U_{Kmin}) \quad (1.3)$$

U_{Kmin} - мінімальна (залишкова) напруга на колекторі, при якій почнеться лінійна ділянка вихідних статичних характеристик.

Величину U_{Kmin} визначоємо попередньо вибравши транзистор за максимально допустимою потужністю розсіювання:

$$P_{Kmax} > P_{вих} / 2 = 10 \text{ Вт} / 2 = 5 \text{ Вт} \quad (1.4)$$

Через те, що вихідний каскад двотактний враховується тільки половина вихідної потужності (5 Вт). Транзистор BD176 має максимальну потужність з радіатором $P_{Kmax} = 30 \text{ Вт} > 5 \text{ Вт}$ і може бути використаний у вихідному каскаді. Визначаємо по вихідних статичних характеристиках транзистора $U_{Kmin} = 0,8 \text{ В}$.

За формулою (1.3) розраховуємо необхідну напругу джерела живлення:

$$E_k = 2(12,65 + 0,8) \text{ В} = 26,9 \text{ В}$$

Розрахованне значення не є стандартним, а для спрощення розробки блоку живлення для усіх каскадів оберемо значення напруги з стандартного ряду в сторну збільшення і подалі розрахунок і підбір елементної бази будемо проводити з цим значенням $E_k = 27 \text{ В}$

Визначаємо амплітуду імпульсу колекторного струму вихідного транзистора при заданій потужності:

$$I_{Km} = U_{Km} / R_n = 12,65 \text{ В} / 8 \text{ Ом} = 1,6 \text{ А} \quad (1.5)$$

Розраховуємо середнє значення струму, який споживає від джерела живлення:

$$I_{cp} = I_{Km} / \pi = 1,6 \text{ А} / 3,14 = 0,51 \text{ А} \quad (1.6)$$

Розраховуємо потужність, яка споживається транзистором при номінальній вихідній потужності:

$$P_{сп} = E_k \cdot I_{сп} = 27B \cdot 0,51A = 13,77Bm \quad (1.7)$$

Розраховуємо потужність розсіювання на колекторі транзистора:

$$P_k = 0.5(P_{СП} - 0.5U_{Km} I_{Km}) \quad (1.8)$$

$$P_k = 1,824Bm$$

Обираємо транзистор з наступних умов:

$$P_k < P_{max} \quad (1.9)$$

$$I_{Km} < I_{Kmax} \quad (1.10)$$

$$E_k < (0.7 \dots 0.8) U_{Ke max} \quad (1.11)$$

$$10F_{\phi} << f_{Гр} \quad (1.12)$$

P_{max} – максимально допустима постійна потужність розсіювання транзистора з радіатором;

I_{Kmax} – максимально допустимий постійний струм колектора (з довідника);

U_{Kemax} – максимально допустима напруга «колектор – емітер» (з довідника);

$f_{Гр}$ – гранична частота коефіцієнту передачі струму в схемі із спільним емітером;

Перевіряю чи задовільняє умови попередньо вибраний транзистор BD176:

$$P_k = 1,824Bm < P_{max} = 30 Bm$$

$$I_{Km} = 1.6A < I_{K max} = 3 A$$

$$E_k = 27 \text{ В} < (0.7 \dots 0.8) U_{k\max} = 0.7 \cdot 45 \text{ В} = 31,5 \text{ В}$$

$$10F_\delta = 16 \text{ кГц} \ll f_{Tp} = 5 \text{ МГц}$$

Визначаємо коефіцієнт підсилення вихідного каскаду по потужності:

$$K_{P_{\text{вих}}} \approx 0,9 h_{21E \min} \approx 0.9 \cdot 70 \approx 49 \quad (1.13)$$

$h_{21E \min}$ – мінімальний коефіцієнт передачі струму вибраного транзистора (з довідника);

Знаходимо амплітуду вхідного струму вихідного каскаду:

$$I_{B_{\text{т вих}}} = I_{K_{\text{т}}} / h_{21E \min} \quad (1.14)$$

$$I_{B_{\text{т вих.}}} = 1,6 \text{ А} / 71 = 22,5 \text{ мА}$$

1.4.4 Проектування та розрахунок каскадів попереднього підсилення

Транзистори передвихідного каскаду працюють при менших потужностях. Їх потрібні тільки для підтримки основного каскаду підсилення. Їх економічніше обрати меншої потужності ніж для вихідного каскаду підсилення.

Визначаємо номінальну потужність розсіювання для передвихідних каскадів:

$$P_{k.\text{передвих}} = P_{\text{вих}} K_{P.\text{вих.}} = 10/49 = 0.204 \text{ Вт} \quad (1.15)$$

Розраховуємо необхідну амплітуду струму колектора транзистора передвихідного каскаду, враховуючи, що вихідний струм передвихідного каскаду є вхідним струмом для вихідного каскаду:

$$I_{K_{\text{т передвих}}} \approx I_{B_{\text{т вих.}}} \approx 22,5 \text{ мА} \quad (1.16)$$

Розрахунки дозволяють визначити критичні значення при яких буде працювати передвхідний каскад. За допомогою яких можемо обрати потрібний транзистор. Особливу увагу потрібно звернути на частоти у яких може працювати транзистор та коефіцієнт струму передачі. Дані параметри впливають на коефіцієнти спотворень.

$$P_{к.передвих} < P_{к.тах передвих} \quad (1.17)$$

$$E_k < (0.7 \dots 0.8) U_{Ке тах передвих} \quad (1.18)$$

$$I_{Кт передвих} < I_{К тах передвих} \quad (1.19)$$

$$10F_v \ll f_{Гр передвих} \quad (1.20)$$

$P_{К.тах.передвих}$, $U_{Ке тах передвих}$, $I_{К тах.передвих}$, $f_{Гр передвих}$ – параметри вибраного типу транзистора передвхідного каскаду (з довідника).

Перевіряю чи задовільнить умови транзистор BC807:

$$P_{к.передвих} = 0.21 \text{ Вт} < P_{к тах передвих} = 0.31 \text{ Вт}$$

$$E_k = 27 \text{ В} < (0.7 \dots 0.8) U_{Ке тах передвих} = 0.7 \cdot 45 \text{ В} = 31 \text{ В}$$

$$I_{Кт передвих} = 98 \text{ мА} < I_{К тах передвих} = 800 \text{ мА}$$

$$10F_v = 11 \text{ кГц} \ll f_{Гр передвих} = 100 \text{ МГц}$$

Даний транзистор задовільняє усі умови, тому з технічної документація, яка надана виробником визначаємо комплементарну пару транзисторів: BC807 та BC817.

Визначаємо коефіцієнт підсилення передвхідного каскаду по потужності:

$$K_{P передвих} \approx 0.9 h_{21E \text{ min передвих}} \quad (1.21)$$

$$K_{P передвих} \approx 0.9 \cdot 60 \approx 42$$

$h21E_{\min \text{ передвих}}$ – мінімальний коефіцієнт передачі вибраного транзистора (з довідника).

Знаходимо амплітуду вхідного струму передвихідного каскаду:

$$I_{B\text{т передвих}} = I_{K\text{т передвих}} / h21E_{\min \text{ передвих}} \quad (1.22)$$

$$I_{B\text{т передвих}} = 98 \text{ мА} / 60 = 0,37 \text{ мА}$$

1.3.5 Проектування та розрахунок каскадів попереднього підсилення.

Усі каскади попереднього підсилення складаються по схемі зі спільним емітером. Дана схема забезпечить максимальний коефіцієнт корисної дії та задасть потрібний рівень підсилення по напрузі. Транзистори не будуть працювати на граничних потужностях, тому спотворення будуть мінімальними.

Транзистори обираємо з наступних умов:

$$P_{\text{таx поперед}} > (8 \dots 10) P_{\text{к передвих}} / K_{\text{р передвих}} \quad (1.23)$$

$$I_{K \text{ таx поперед}} > (2 \dots 4) I_{B\text{т передвих}} \quad (1.24)$$

$$U_{K\text{е таx поперед}} > E_{\text{к}} \quad (1.24)$$

$$10F_{\text{в}} < f_{\text{Гр поперед}} \quad (1.25)$$

$P_{\text{таx поперед}}$, $I_{K \text{ таx поперед}}$, $U_{K\text{е таx поперед}}$ – довідникові параметри для вибраного типу транзисторів передвихідних каскадів які будуть взяті з технічної документації до даних транзисторів.

Велика кількість однакових елементів спрощує техпроцес виготовлення плати. Тому доцільно обрати один вид транзисторів для вихідних та передвихідних каскадів. Перевіряю відповідність умовам транзистора BC807:

$$P_{\text{таx поперед}} = 150 \text{ мВт} > (8 \dots 10) P_{\text{к передвих}} / K_{\text{р передвих}} = 0,31 \text{ мВт}$$

$$I_{K \text{ таx поперед}} = 100 \text{ мА} > (2 \dots 4) I_{B\text{т передвих}} = 800 \text{ мА}$$

$$U_{K\text{е таx поперед}} = 20 \text{ В} > E_{\text{к}} = 31 \text{ В}$$

$$10F_{\varepsilon} = 16\text{кГц} \ll f_{\text{Гр поперед}} = 100\text{ МГц}$$

Даний тип транзистора задовольняє всі вимоги що до нього висуваються.

Визначаємо коефіцієнт підсилення по потужності каскаду попереднього підсилення.

$$K_{\text{Pпоперед}} \approx 0.3(h_{21E_{\text{min поперед}}})^2 \quad (1.26)$$

$$K_{\text{Pпоперед}} \approx 0.3 \cdot (60)^2 \approx 1080$$

Розраховуємо коефіцієнт підсилення по потужності каскаду попереднього підсилення по схемі диференційного каскаду:

$$K_{\text{Pпоперед}} \approx 0.15(h_{21E_{\text{min поперед}}})^2 \quad (1.27)$$

$$K_{\text{Pпоперед}} \approx 0.3 \cdot (60)^2 \approx 540$$

Вхідний звуковий сигнал поступає від модуля Bluetooth або аудіовиходу із смартфона. У сучасних смартфонах опір джерела сигналу до 2 Ом і напруга сигналу сягає одного вольт, тому в використанні вхідного каскаду немає потреби.

1.4.5 Вибір регулятора гучності та його розташування

Обираємо схему пасивного регулятора гучності з плавним регулюванням на змінному резисторі. Дана схема регулятора гучності не буде вносити нелінійних і динамічних спотворень. І часто застосовується в промисловій апаратурі.

Так як регулятор гучності і регулятор тембру потрібно розділити хоча б одним каскадом попереднього підсилення для запобігання виникнення додаткових завад. То регулятор гучності вибираю встановити після другого каскаду попереднього підсилення (в колі емітера) перед диференційним

каскадом, такий варіант встановлення полегшить узгодження рівнів сигналу, виключить можливість перевантаження перших каскадів підсилювача.

Для регулятора гучності обираємо змінний резистор типу KLSA-WH148 двосекційний в одному корпусі, для одночасного регулювання правого і лівого каналів. З функціональною залежністю опору від кута повороту рухомого контакту. Опір даного резистора табличний і становить 10 кОм. Регулятор гучності під'єднується як потенціометер.

1.4.6 Вибір схеми регулятора тембру та його розташування

Використання регулятора тембру залежить від наступних факторів:

- діапазону відтворюваних частот
- номінальної вихідної потужності
- призначення підсилювача

Враховуючи вихідну потужність 10 Вт, та діапазон відтворюваних частот 20 – 16 000 Гц, робимо висновок про те, що регулятор тембру необхідно застосовувати як по високих частотах, так і по низьких частотах.

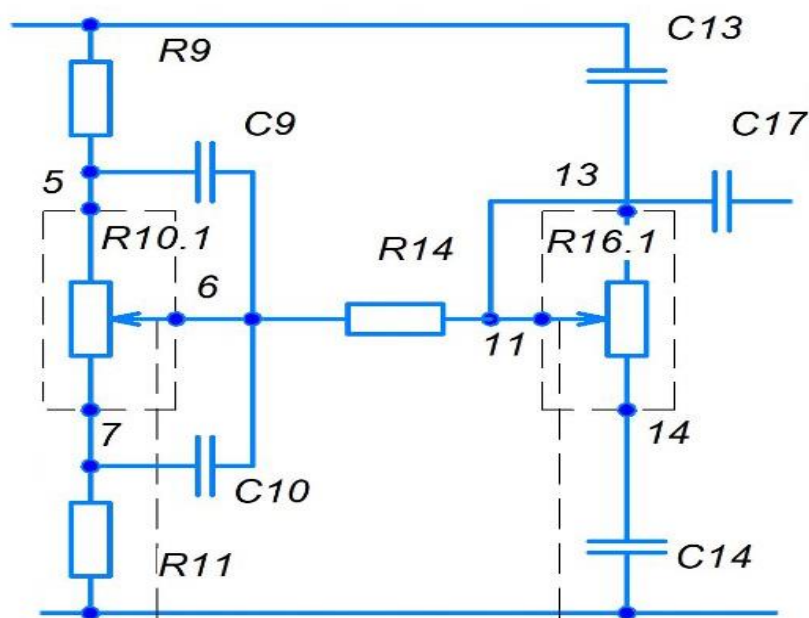


Рисунок 1.5 – Схема регулятора тембру

Згідно з технічного завдання потрібно вносити регулювання частот як по високих так і по низьких частотах. Обираємо схему пасивного універсального двосмугового регулятора тембру, оскільки дана схема не буде вносити динамічних і нелінійних спотворень. Дана схема використовується найчастіше в промислових підсилювачах.

Зміні резистори виведені з плати на корпус і є спареними для лівого і правого каналів. Як для високих так і низьких частот.

Як казалось вище, регулятор тембру і гучності потрібно розділити. Зазвичай регулятори тембру встановлюють між каскадами попереднього підсилення.

Враховуючи вищеперераховані фактори обираємо місце розташування регулятора тембру після першого каскаду попереднього підсилення.

1.4.7 Розрахунок кількості каскадів попереднього підсилення

Розрахунок потужності сигналу на вході підсилювача

$$P_{вх} = U_{ож}^2 / 4 R_{ож} \quad (1.28)$$

$$P_{вх} = (0.7 \text{ В})^2 / 4 \cdot 1.8 \text{ Ом} = 0.082 \text{ Вт}$$

Розраховуємо загального коефіцієнта підсилення:

$$K_{Рзаг} = P_{вих} A1 A2 A3 / P_{вх} \quad (1.29)$$

$A1$ – поправочний коефіцієнт, який враховує зменшення коефіцієнту підсилення по потужності внаслідок введення ВЗЗ.

$A2$ – поправочний коефіцієнт, який враховує зменшення коефіцієнту підсилення по потужності внаслідок введення регуляторів гучності та тембру.

$A3$ – поправочний коефіцієнт, який враховує зменшення коефіцієнту підсилення по потужності внаслідок інших факторів.

При введенні ВЗЗ з глибиною А, при умові, що коло ВЗЗ охоплює лише частину підсилювача (а у нашому випадку саме так і є) величина $A1=A2$.

Поправочний коефіцієнт $A2$ враховує вплив регуляторів тембру на коефіцієнт підсилення по потужності. Оскільки регулятор тембру повинен забезпечувати і «підйом» і «завал» АЧХ то затухання, які вносяться ним будуть становити:

$$N_{pm}(\partial B) = N + (\partial B) + (2 \dots 3) \partial B \quad (1.30)$$

$$N_{pm}(\partial B) = 20 \partial B + 2 \partial B = 22 \partial B$$

$$N_{pm}(раз) = 12,59$$

$N + (\partial B)$ – необхідний «підйом» АЧХ вибраного регулятора тембру (з завдання)

Для того щоб забезпечити необхідний підйом АЧХ потрібно забезпечити додаткове підсилення по потужності, тому загальний коефіцієнт підсилення попередніх каскадів повинен бути збільшений в $N_{рт}$ раз. Тому величина поправочного коефіцієнта $A2 = N_{рт}(раз)$.

$$K_{P_{заг}} = 6,25 \text{ Вт} \cdot 12,59 \cdot 1 / 68,8 \text{ мВт} = 1143,71$$

Загальну кількість каскадів попереднього підсилення знаходимо за формулою:

$$N_{non.nidc} = \frac{\lg K_{P_{заг}} - (\lg K_{P_{вих}} + \lg K_{P_{передв}} + \lg K_{P_{вихд}})}{\lg K_{P_{nonперед}}} \quad (1.31)$$

$$N_{non.nidc} = \frac{\lg 1143,71 - (\lg 49 + \lg 42 + \lg 540)}{\lg 1080} = 1,28$$

Розраховане за формулою (1.31) значення заокруглюємо до найближчого більшого цілого числа.

Згідно розрахунків необхідно використовувати 2 каскади попереднього підсилення. Але для розділення регулятора тембру і регулятора гучності вносимо додатково один додатковий каскад попереднього підсилення – диференційний каскад. Це дасть кращу узгоджувальність з вихідними каскадами, також температурну стабілізацію та кололо відємного зворотнього зв'язку.

У схемі буде 3 каскади попереднього підсилення. Два зібрані по схемі з спільним емітером і один диференційний каскад з несиметричним входом і виходом з додатковим ВЗЗ.

1.4.8 Розподіл частотних спотворень по каскадах

Розподіл частотних спотворень розраховуємо окремо для області низьких та високих частот. В області верхніх частот спотворення виникають через зменшення h_{21E} , а також через ємності колекторного переходу транзистора даного каскаду, емітерного переходу наступного каскаду, та ємності монтажу. При зростанні частоти опір цих ємностей зменшується, і вони шунтують вихід каскаду, це зумовлює спад підсилення на цих частотах.

Однотипні транзистори вносять однакові частотні спотворення, тому розрахунок проводимо для кожного типу транзистора. Транзистори двотактного каскаду також вносять однакові частотні спотворення, тому в цьому випадку розрахунок проводжу лише для одного плеча.

Коефіцієнт частотних спотворень на верхніх частотах, які вносяться біполярним транзистором розраховую за формулою:

$$M_{e.vt} = \sqrt{1 + \left(\frac{F_B}{f_{h21e}}\right)^2} \quad (1.32)$$

F_e – верхня робоча частота підсилювача, вказана в завданні (16кГц);

f_{h21e} – гранична частота передачі струму в схемі із спільним емітером, її розраховую за формулою:

$$f_{h21e} = f_{zp} / (1 + h_{21E_{max}}) \quad (1.33)$$

для BC817 гранична частота передачі струму становить:

$$f_{h21e_{BC817}} = 100 \text{ МГц} / (630 + 1) = 0,158 \text{ 478 МГц}$$

Враховуючи вищесказане, знаходимо величину частотних спотворень, що вносяться кожним транзистором, в області високих частот.

$$M_{BBD176} = \sqrt{1 + \left(\frac{16\,000 \text{ Гц}}{99\,009 \text{ Гц}} \right)^2} = 1,0129 \text{ (раз)} = 0,13 \text{ дБ}$$

$$M_{BBD175} = \sqrt{1 + \left(\frac{16\,000 \text{ Гц}}{158\,478 \text{ Гц}} \right)^2} = 1,0051 \text{ (раз)} = 0,05 \text{ дБ}$$

$$M_{BBD817} = M_{B.VT1} = M_{B.VT3} = M_{B.VT5} = M_{B.VT7} = M_{B.VT9} = M_{B.VT10}$$

$$M_{BBD176} = M_{B.VT13} = M_{B.VT14}$$

Визначаємо частотні спотворення на високих частотах, які вносять транзистори всього підсилювача

$$M_{B.VT\ 3A\Gamma} = 6 M_{BBD817} + 2 \cdot M_{BBD176} \quad (1.34)$$

$$M_{B.VT\ 3A\Gamma} = 0,05 \cdot 6 + 2 \cdot 0,13 = 0,56 \text{ дБ}$$

Розраховуємо частотні спотворення, які вносяться елементами схеми попередніх каскадів (Частотні спотворення які вносять каскади охоплені колом ВЗЗ не враховую)

Для схем із спільним емітером приймемо $M_{B.CX.CE} = 0.15$ дБ

Для схеми емітерного повторювача приймемо $M_{B.CX.ДК} = 0.15$ дБ

Знаходимо загальні частотні спотворення в області верхніх частот, які вносять елементи схеми кожного каскаду:

$$M_{B.CX.3AG} = 2 \cdot M_{B.CX.CE} + M_{B.CX.ДК}$$

$$M_{B.CX.3AG} = 2 \cdot 0.25 + 0.15 = 0.65 \text{ дБ}$$

Величину загальних частотних спотворень на верхніх частотах визначаємо за формулою:

$$M_{B.3AG} = M_{B.CX.3AG} + M_{B.VT.3AG} \quad (1.35)$$

$$M_{B.3AG} = 0.56 + 0.65 = 1.21 \text{ дБ}$$

Порівнюємо розраховану величину із проектною в технічному завданні:

$$M_{B.3AG} = 1.21 \text{ дБ} < M_{B.T3} = 2.9 \text{ дБ} \quad (1.36)$$

Проводимо розрахунок розподілу частотних спотворень на нижніх частотах

Частотні спотворення на нижніх частотах виникають через вплив конденсаторів: роздільних та блокувальних у колах емітерів.

На кожен роздільний конденсатор приймаю частотні спотворення на низьких частотах величиною $M_{H.Cp} = 0.4$ дБ

На кожен блокувальний конденсатор приймаю частотні спотворення на низьких частотах величиною $M_{H.Cбл} = 0.2$ дБ

розраховуємо величину загальних спотворень на низьких частотах:

$$M_{H.3A\Gamma} = N_1 \cdot M_{H.Cp} + N_2 \cdot M_{H.C6n} \quad (1.37)$$

$N_1 = 6$ – кількість розділових конденсаторів; $N_2 = 2$ – кількість блокувальних конденсаторів.

$$M_{H.3A\Gamma} = 6 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.2 = 2,8 \text{ (дБ)}$$

Порівнюємо розраховане значення з проєктованим в технічному завданні:

$$M_{H.3A\Gamma} = 2,8 \text{ дБ} \leq M_{H.T3} = 2,9 \text{ дБ} \quad (1.38)$$

Розрахована величина частотних спотворень на низьких частотах є меншою ніж проєктована. Отже можна прийняти що обрані схеми і типи транзисторів обрані правильно.

Більшість нелінійних спотворень вносять вихідні каскади підсилювача потужності. На усі попередні каскади відводжу нелінійні спотворення величиною: $K_{Г. \text{попер}} = 0.2\%$.

Величину нелінійних спотворень, що вносяться підсилювачем потужності розраховую за формулою:

$$K_{Г. \text{потужн}} = K_{Г. T3} - K_{Г. \text{Попер}} = 1,8\% - 0.2\% = 1,6\% \quad (1.39)$$

$K_{Г. T3}$ – коефіцієнт нелінійних спотворень, який був заданий при створенні технічного завдання для вузла."

1.4.9 Розрахунок елементів вихідного двотактного каскаду

Каскад працює в режимі АВ

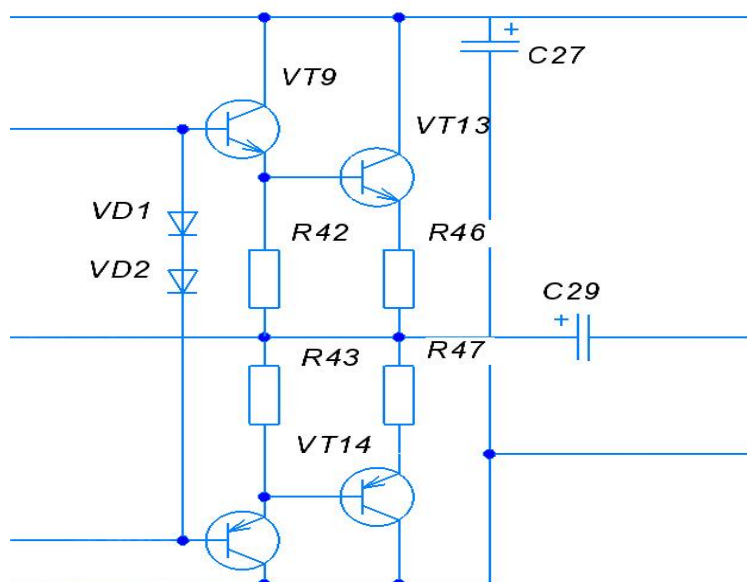


Рисунок 1.6 – Схема вихідного каскаду по схемі СК

Розрахунок каскаду ведеться на одне плече, для іншого плеча дані будуть аналогічні.

У вихідному каскаді застосовано транзистори великої потужності, та каскад працює в режимі АВ величину струму спокою вибираємо $I_{K0} = 40 \text{ мА}$.

Будуємо навантажувальну характеристики для вихідного транзистора.

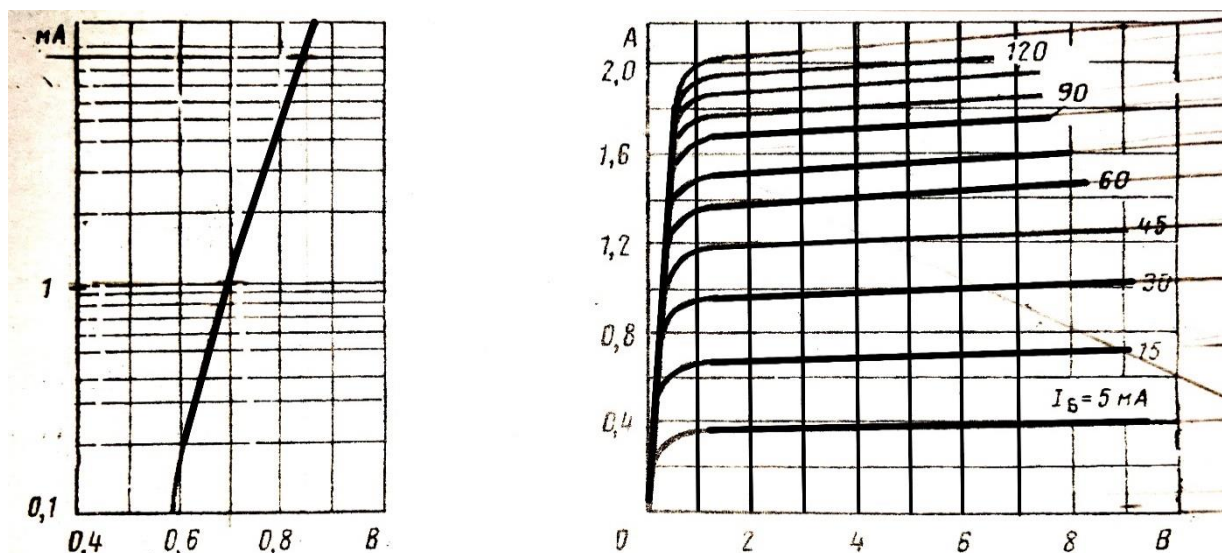


Рисунок 1.7 – Вхідні та вихідні характеристики транзисторів BD176, BD175

На вихідних статичних характеристиках вибраного типу транзистора проводимо навантажувальну пряму через точки а, б з координатами:

точка а: $U_{K0} = 0.5 E_K = 13,5B$; $I_K = I_{K0}$;

точка б: $U_{KE}=0$; $I_K = U_{K0}/R_H = 13,5 B/8 \text{ Ом} = 1,684 A$;

Знаходимо на навантажувальній прямій точку с, відклавши по осі струмів величину колекторного струму $I_{Kт}=1,60 A$

Через точки а, с проводимо додаткові гілки статичних характеристик і визначаю для них значення базових струмів $I_{ба}$ та $I_{бс}$, використовуючи для цього значення базових струмів сусідніх гілок:

$$I_{ба} = \frac{I_{Б2} \cdot X_1 + I_{Б1} \cdot X_1}{X_2 + X_1} = \frac{5 \text{ мА} \cdot 3 + 0 \cdot 12}{12 + 3} = 1 \text{ мА} \quad (1.40)$$

$$I_{бс} = \frac{I_{Б4} \cdot X_3 + I_{Б3} \cdot X_4}{X_3 + X_4} = \frac{90 \text{ мА} \cdot 3,5 + 75 \text{ мА} \cdot 2}{3,5 + 2} = 80,17 \text{ мА} \quad (1.41)$$

X_1, X_2, X_3, X_4 – відрізки виміряні в міліметрах,

$I_{б1}, I_{б2}, I_{б3}, I_{б4}$, – значення базових струмів на відповідних гілках характеристик.

На вхідній статичній характеристиці при $U_{KE}>0$ будуюмо точки a' та c' за їх координатами $I_{ба}$ та $I_{бс}$, з побудованої динамічної характеристики для точок a' та c' знаходимо величини режиму роботи базового кола по постійному та по змінному струму:

$$I_{б0} = 1 \text{ мА} \quad I_{бm} = 79 \text{ мА}$$

$$U_{Б0} = 0,7 \text{ В} \quad U_{Бm} = 0.2 \text{ В}$$

Знаходимо вхідний опір каскаду змінному струму між електродами база-емітер

$$R_{BX} = U_{Бm} / I_{бm} = 0.2 \text{ В} / 79 \text{ мА} = 2,5 \text{ Ом} \quad (1.42)$$

Розраховуємо ємність роздільного конденсатора в колі динаміка

Так як опір попереднього каскаду є дуже малим то приймаємо його рівним 0.

$$C_P = \frac{I}{2\pi F_H (R_{\text{вих.попер}} + R_{\text{вх.наст}}) \sqrt{M_H^2 - 1}} \quad (1.43)$$
$$C_P \geq \frac{I}{2 \cdot 3.14 \cdot 20 \text{Гц} (0 + 8 \text{Ом}) \sqrt{1.04712^2 - 1}} = 3200 \text{мкф}$$

За рядом E12 обираємо стандартну ємність конденсатора 3300 мкф. Вибираю конденсатор 3300uF 35V (16x26мм) «JCCON VENT»

Резистори R46, R47, R48, R49 створюють ВЗЗ що зменшує можливість виникнення лавиноподібного саморозігрівання транзисторів. На подоби до емітерної стабілізації. Вони становлять (0.5...10)Ом, щоб спад постійної напруги на них не перевищував десятих долей вольт. Ще дозволить зменшити колекторну напругу живлення і струм спокою транзисторів. Для більшої точності, їх номінали повинні підбиратися при виробництві. Потужність цих резисторів дуже велика (5 Вт).

$$R46 = R47 = R48 = R49 = 3.3 \text{ Ом} \quad (1.44)$$

Розраховуємо опори резисторів в колі емітера передвихідного каскаду. Дані резистори є навантаженням VT9 та VT10 й створюють напругу зміщення для транзисторів вихідного каскаду. Переважно їх опір становить в районі сотень Ом. Для більшої точності їх потрібно підібрати на виробництві при налаштуванні каскаду.

$$R45 = R44 = R42 = R43 = 220 \text{ Ом} \quad (1.45)$$

Розраховую потужність даних резисторів. Так як струм бази вихідного каскаду рівний струму в колі емітера, передвихідного каскаду.

$$P_{R24,25} = (I_{bm})^2 R_{24} \quad (1.46)$$

$$P_{розс.R3} = (0,079 \text{ A})^2 \cdot 220 \text{ Ом} = 1,25 \text{ Вт}$$

Обираю потужність резисторів $R_{45}, R_{44}, R_{42}, R_{43}$ згідно стандартного ряду потужностей - 2 Вт

Конденсатори C_{27}, C_{28} є блокувальними. По таблицям їх вибирають в межах $(10 \dots 500) \mu\text{Ф}$. Вибираю стандартний конденсатор SMD 220 мкФ 35В

1.4.10 Розрахунок елементів каскаду попереднього підсилення

Даний каскад побудований по схемі СЕ, він працює в режимі роботи А

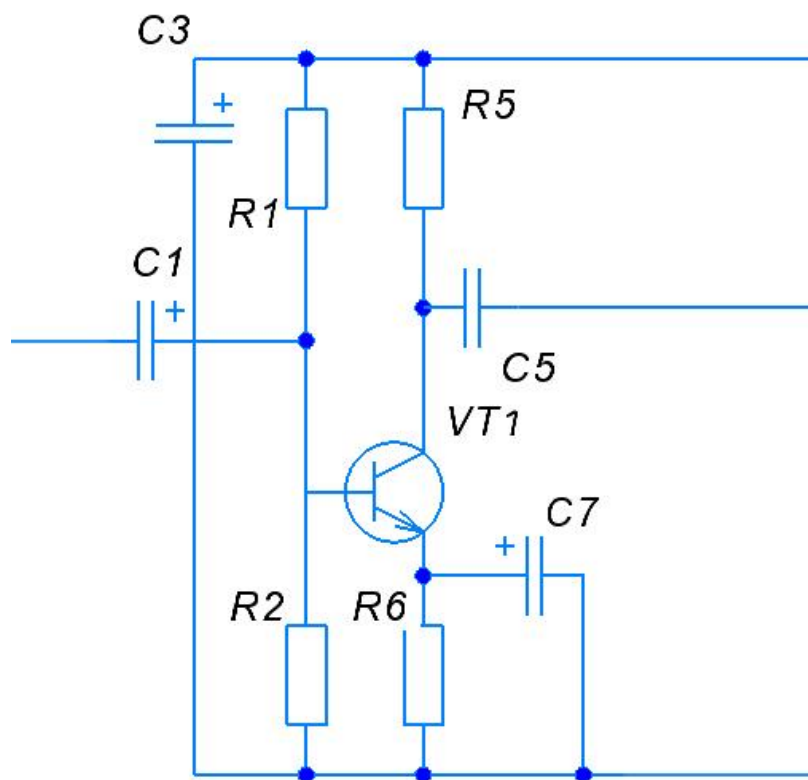


Рисунок 1.8 - Каскад із спільним емітером

Розрахунок напруги живлення каскаду з урахуванням падіння напруги на резисторі фільтра:

$$E_k' = (0.8 \dots 0.9) E_k = 23B \quad (1.47)$$

E_k – напруга живлення наступного по схемі каскаду. Розрахунок величини струму спокою колекторного кола:

$$I_{K0} \approx 1.4 I_{Bт \text{ передвих}} \quad (1.48)$$

$$I_{K0} = 1.4 \cdot 1,5 \text{ мА} = 2,1 \text{ мА}$$

$I_{Bт \text{ передвих}}$ – амплітуда базового струму передвихідного каскаду. Розрахунок опору колекторного навантаження транзистора:

$$R_k = 0.4 E_k' / I_{K0} \quad (1.49)$$

$$R_k = 0.4 \cdot 23 \text{ В} / 2,1 \text{ мА} = 4,7 \text{ кОм}$$

За рядом Е12 обираємо стандартний номінал опору $R_k = 4,7 \text{ кОм}$

Розраховую потужність розсіювання на колекторному резисторі:

$$P_{розс. R_k} = (I_{K0})^2 R_k \quad (1.50)$$

$$P_{розс. R_k} = (2,1 \text{ мА})^2 \cdot 4,7 \text{ кОм} = 20,7 \text{ мВт}$$

Обираємо потужність резистора згідно стандартного ряду 0.125Вт.

Розраховуємо опір резистора в колі емітера:

$$R_e = \Delta U_E / I_{K0} \quad (1.51)$$

$$R_e = 4.6B / 2,1 \text{ мА} = 2190 \text{ Ом}$$

$\Delta U_E = (0.1 \dots 0.2) E_k \approx 4.6B$ – необхідний спад напруги на резисторі R_e

У формулі прийнято $I_{E0} = I_{K0}$

За рядом E12 вибираю стандартний номінал емітерного резистора $R_e=2,2$ кОм.

Розраховую потужність розсіювання емітерного резистора:

$$P_{розс.Re} = (I_{K0})^2 R_e \quad (1.52)$$

$$P_{розс.Re} = (2,1 \text{ мА})^2 \cdot 2200 \text{ Ом} = 9,7 \text{ мВт}$$

Обираємо потужність резистора згідно стандартного ряду 0.125Вт.

Розраховуємо ємності блокувального конденсатора в колі емітера:

$$C_e \geq (10 \dots 20) / 2\pi f_n R_e \quad (1.53)$$

$$C_e \geq 15 / 2 \cdot 3.14 \cdot 20 \text{ Гц} \cdot 2200 \text{ Ом} = 54,2 \text{ мкФ}$$

За рядом E12 вибираю стандартну ємність $C_e=56$ мкФ. Номінальна напруга живлення повинна бути більшою за $0.5 E_k \approx 11,5$ В. Обираємо стандартний конденсатор SMD 56 мкФ 16В.

Розрахунок значення постійної напруги між колектором і емітером.

$$U_{K0} = E_k - I_{K0} R_3 - I_{K0} R_4 \quad (1.54)$$

$$U_{K0} = 23\text{В} - 2,1\text{мА} \cdot 4700 \text{ Ом} - 2,1\text{мА} \cdot 2200 \text{ Ом} = 8,51 \text{ В}$$

На вихідних статичних характеристиках вибраного транзистора (BC817) визначаю положення початкової робочої точки з координатами I_{K0} , U_{K0} .

Визначимо положення початкової робочої точки значення початкового струму бази:

$$I_{B0} = I_{B2} \cdot X_1 + I_{B1} \cdot X_2 / X_1 + X_2 \quad (1.55)$$

$$I_{B0} = 80\text{мкА} \cdot 10 + 40\text{мкА} \cdot 2 / 10 + 2 = 73 \text{ мкА}$$

I_{B2}, I_{B1} – значення базових струмів для відповідних гілок характеристик;
 X_1, X_2 – відстані виміряні в міліметрах.

На вхідній статичній характеристиці при $U_{KE} > 0$ визначимо точку спокою а' відклавши по осі струмів величину початкового струму бази.

Визначаю необхідну напругу зміщення $U_{B0}=0.7V$

Через точку а' проводжу дотичну та і визначаю прирости напруги і струму ΔI_B та ΔU_B :

$$\Delta I_B = 73 \text{ мкА};$$

$$\Delta U_B = 0.15 \text{ В.}$$

Розраховуємо вхідного опору транзистора по змінному струму:

$$R_{BX, \text{транз. CE}} = \Delta U_B / \Delta I_B \quad (1.56)$$

$$R_{BX, \text{транз. CE}} = 0.15 \text{ В} / 0.073 \text{ А} = 2,054 \text{ кОм}$$

Струм базового дільника обираємо з умови:

$$(3 \dots 10) I_{B0} \leq I_D < (0.1 \dots 0.15) I_{K0} \quad (1.57)$$

$$0,73 \text{ мА} \leq I_D < 0,294 \text{ мА}$$

Струм базового подільника Обираємо рівним $I_D = 0,2 \text{ мА}$. Розраховуємо опори резисторів базового дільника:

$$R1 = \frac{E_K - U_{B0} - \Delta U_E}{I_D + I_{B0}} \quad (1.58)$$

$$R1 = 23 \text{ В} - 0.7 \text{ В} - 4.6 \text{ В} / (0,2 + 0,73) \text{ мА} = 19,032 \text{ кОм}$$

За рядом E12 обираємо стандартне значення опору $R1 = 20 \text{ кОм}$.

$$R2 = \frac{U_{B0} + \Delta U_E}{I_D} \quad (1.59)$$

$$R2 = (0,7 + 4,6) \text{ В} / 0,2 \text{ мА} = 26,5 \text{ кОм}$$

За рядом Е12 вибираю стандартне значення опору $R2 = 27 \text{ кОм}$.
Розраховуємо потужність розсіювання даних резисторів:

$$P_{розс.} = (I_D)^2 R \quad (1.60)$$

$$P_{розс.R1} = (0,2 \text{ мА})^2 \cdot 20 \text{ кОм} = 0,8 \text{ мВт}$$

$$P_{розс.R2} = (0,2 \text{ мА})^2 \cdot 27 \text{ кОм} = 1,08 \text{ мВт}$$

Обираємо потужність резистора згідно стандартного ряду 0.125Вт.

Розрахунок фільтру живлення:

$$R_\Phi = E_K - E'_K / I_D + I_{K0} + I_\Sigma \quad (1.61)$$

$$I_\Sigma = n \cdot (I_D + I_{K0}) \quad (1.62)$$

$$R_\Phi = (27 - 23) \text{ В} / 3(0,2 + 2,1) \text{ мА} = 724 \text{ Ом}$$

n – кількість каскадів, що стоять перед розраховуваним і живляться від одного розв'язувального фільтра, в даному випадку $n = 3$

За рядом Е12 вибираю стандартний опір резистора $R_\Phi = 750 \text{ Ом}$.
Розраховуємо потужність розсіювання даного резистору

$$P_{розс.R\Phi} = (I_D + I_{K0} + I_\Sigma)^2 \cdot R_\Phi \quad (1.63)$$

$$P_{розс.R\Phi} = (3(0,2 + 2,1))^2 \text{ мА} \cdot 724 \text{ Ом} = 35 \text{ мВт}$$

Обираємо потужність резистора згідно стандартного ряду 0.125Вт.

Розраховуємо ємність конденсатора фільтра:

$$C_\Phi \geq (10 \dots 20) / 2\pi F_H R_\Phi \quad (1.64)$$

$$C_\Phi = 20 / 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \text{ Гц} \cdot 750 \text{ Ом} = 212 \text{ мкФ}$$

За рядом Е12 обираємо стандартне значення ємності $C_\phi=220$ мкф. Номінальна повина бути більшою ніж в джерела живлення. Тому обираємо стандартний конденсатор SMD 220 мкФ 35В.

Розраховуємо вхідний опір каскаду по змінному струму

$$R_{BX. CE} = R_D \cdot R_{BX. транз. CE} / R_D + R_{BX. транз. CE} \quad (1.65)$$

$$R_{BX. CE} = (11\,500 \cdot 2054) / (11\,500 + 2\,054) = 1742 \text{ Ом}$$

$R_D = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 11\,500 \text{ Ом}$ – опір базового дільника/ Розраховую вихідний опору каскаду по змінному струму:

$$R_{BIX. CE} = R_3 \cdot R_{BX. НАСТ.} / R_3 + R_{BX. НАСТ.} \quad (1.66)$$

$$R_{BIX. CE} = (11\,500 \cdot 800) / (11\,500 + 800) = 747 \text{ Ом}$$

$R_{BX. НАСТ.}$ – вхідний опір змінному струму наступного каскаду (приймаємо $R_{BX. НАСТ.} = 0,75 \text{ кОм}$).

Розрахунок коефіцієнту підсилення по напрузі на середніх частотах.
 S_0 – крутизна транзистора:

$$K_U = S_0 R_{BIX. CE} \quad (1.67)$$

$$S_0 = h_{21E} / (1 + h_{21E}) h_{11B} \quad (1.68)$$

$$S_0 = 100 / (1 + 100) 60 \text{ Ом} = 0,0017$$

$$K_U = 0,0017 \cdot 747 \text{ Ом} = 1,3$$

Розрахунок коефіцієнта підсилення по струму

$$K_I = h_{21E} R_3 / R_3 + R_{BX. НАСТ.} \quad (1.69)$$

$$K_I = 100 \cdot 4700 \text{ Ом} / (4700 + 800) \text{ Ом} = 85$$

Розрахунок коефіцієнта підсилення по потужності

$$K_P = K_U K_I = 1,3 \cdot 85 = 111 \quad (1.70)$$

$$K_P(\text{дБ}) = 10 \lg(K_P) = 20,5 \text{ дБ}$$

Умова того, щоб дане значення було більше ніж прийняте при розрахунку структурної схеми виконується.

Розраховую ємність роздільного конденсатора на вході каскаду

$$C_{P1} > 1 / 2\pi F_H (R_{\text{вих. попер}} + R_{\text{вх. се}}) \sqrt{(M_H^2 + 1)} \quad (1.71)$$

$$C_{P1} > 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \text{ Гц} (1742 + 742) \text{ Ом} \sqrt{(1,047^2 - 1)}$$

$$C_{P1} > 0,1032 \text{ мкф}$$

$R_{\text{вих. попер}}$ – вихідний опір попереднього каскаду, приймаємо

$$R_{\text{вих. попер}} = R_{\text{вих. се}} = 1742 \text{ Ом}$$

M_H – коефіцієнт частотних спотворень (в разях), які прийняті на даний роздільний конденсатор.

За рядом Е12 обираємо стандартну ємність $C_{P1} = 100 \text{ нф}$. Номінальна напруга конденсатора 16В. Розраховуємо ємність роздільного конденсатора на виході каскаду

$$C_{P2} > 1 / 2\pi F_H (R_{\text{вих. се}} + R_{\text{вх. наст}}) \sqrt{(M_H^2 + 1)} \quad (1.72)$$

$$C_{P2} > 1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \text{ Гц} (742 + 800) \sqrt{(1,047^2 - 1)}$$

$$C_{P2} > 0,166 \text{ мкф}$$

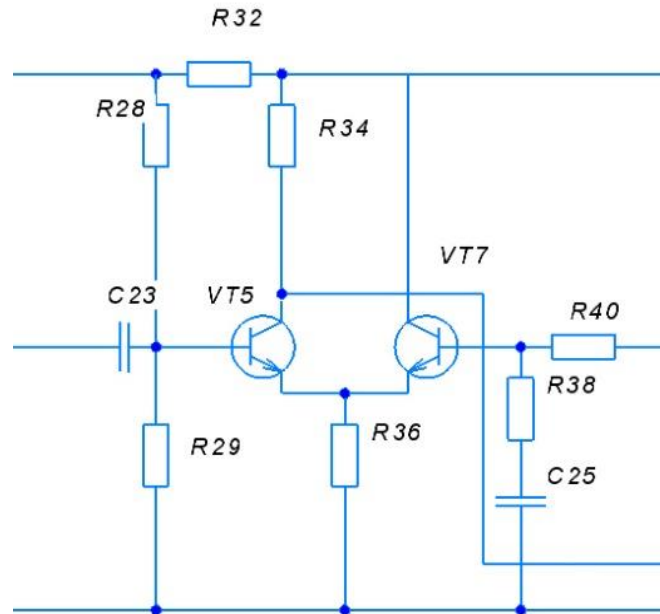
За рядом Е12 обираємо стандартний номінал ємності $C_{P2} = 180 \text{ нф}$. Обираємо стандартний конденсатор SMD на 16В

1.4.11 Електричний розрахунок елементів диференційного каскаду каскаду.

Головна відмінність від стандартної схеми диференційного підсилювача

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
						40
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

потужності полягає в тому що використовується несиметричний вхід і вихід. Сигнал поступає на базу VT1 і знімається з колектора даного транзистора. Напруга живлення для даного каскаду надходить з розв'язуючого фільтра попередніх каскадів підсилення.



Рисунки 1.9 – Диференційний каскаду.

Розрахунок колекторного струму:

$$I_{K0} \approx 1.4 I_{Bт \text{ передвих}} \quad (1.73)$$

$$I_{K0} = 1.4 \cdot 1,5 \text{ мА} = 2,1 \text{ мА}$$

Розраховуємо опір колекторного навантаження транзистора:

$$R_K = 0.4 E_K' / I_{K0} \quad (1.74)$$

$$R_K = 0.4 \cdot 23 \text{ В} / 2,1 \text{ мА} = 4,7 \text{ кОм}$$

За рядом E12 обираємо стандартний номінал опору $R_3 = 4,7 \text{ кОм}$.

Розраховуємо потужність розсіювання на колекторному резисторі:

$$P_{розс. R_K} = (I_{K0})^2 R_K \quad (1.75)$$

$$P_{розс. R_K} = (2,1 \text{ мА})^2 \cdot 4,7 \text{ кОм} = 20,7 \text{ мВт}$$

Обираємо потужність резистора згідно стандартного ряду 0.125Вт.
Розраховуємо опір резистора в колі емітера:

$$R_e = \Delta U_E / I_{K0} \quad (1.76)$$

$$R_e = 4.6 \text{ В} / 2,1 \text{ мА} = 2190 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_E = (0.1 \dots 0.2) E_K \approx 4.6 \text{ В} - \text{необхідний спад напруги на резисторі } R_e$$

Приймаємо $I_{E0} = I_{K0}$

За рядом Е12 вибираю стандартний номінал резисторів колі емітера
 $R_e = 2,2 \text{ кОм}$.

Розраховуємо потужність розсіювання емітерного резистора:

$$P_{розс. R_e} = (I_{K0})^2 R_e \quad (1.77)$$

$$P_{розс. R_e} = (2,1 \text{ мА})^2 \cdot 2200 \text{ Ом} = 9,7 \text{ мВт}$$

Потужність резистора обираємо згідно стандартного ряду, 0.125Вт.
Розраховуємо значення постійної напруги між колектором і емітером.

$$U_{K0} = E'_K - I_{K0} R_K - I_{K0} R_e \quad (1.78)$$

$$U_{K0} = 23 \text{ В} - 2,1 \text{ мА} \cdot 4700 \text{ Ом} - 2,1 \text{ мА} \cdot 2200 \text{ Ом} = 8,51 \text{ В}$$

Транзистор VT5 працює у такому ж режимі, що й транзистори у інших каскадах попереднього підсилення. Тому обираємо подільник і струм бази як в каскадах попереднього підсилення: $I_{B0} = 73 \text{ мкА}$; $R_1 = 20 \text{ кОм}$, $P_{R1} = 0.125 \text{ Вт}$; $R_2 = 26,5 \text{ кОм}$ $P_{R2} = 0.125 \text{ Вт}$;

Для створення напруги від'ємного зворотнього зв'язку, вихідний сигнал через дільнийник R43, R41, C23 поступає на базу VT7 який знаходиться в другому плечі. Оскільки його нижнє плече не вмикається в кого бази або емітера VT5 то дільнийник високоомний щоб не шутувати вихідний сигнал.

Для дотримання симетрії у диференційному каскаді обираємо дільнийник правого плеча таким ж, як і лівого: $R1 = 20 \text{ кОм}$, $P_{R1} = 0.125 \text{ Вт}$; $R2 = 26,5 \text{ кОм}$ $P_{R1} = 0.125 \text{ Вт}$;

Опори подільника знаходяться в діапазоні десятків кОм, тому умова великого опору подільника виконується.

Конденсатор C25 є роздільним, щоб R41 не сворював від'ємний зв'язок по постійній напрузі. Його ємність становить до кількох мкФ Обираємо стандартний конденсатор SMD 1 мкФ 35В

1.4.12 Електричний розрахунок елементів регулятора тембру

Нам потрібна можливість зміни високих і низьких частот. Беремо значення граничних частот з технічного завдання:

$$F_{\text{В}}=16\,000 \text{ Гц}$$

$$F_{\text{Н}}=20 \text{ Гц}$$

Величина резисторів R10 та R16 табличні, їх опір 150 кОм. Обираємо спарений резистор типу KLSA-WH148. Даний резистор дозволить одночасно регулювати правий і лівий канали.

Визначаємо відносту зміну підсилення напруги на нижніх частотах.

$$n_{\text{н}}=10^{N_{\text{н}}/20}=10 \quad (1.79)$$

Визначаємо коефіцієнт $b_{\text{н}}$

$$b_{\text{н}}=n_{\text{н}}^2-1=99 \quad (1.80)$$

Розраховуємо опори резисторів R9 та R11

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

$$R11 = R10 / b_n = 1.51 \text{ кОм} \quad (1.81)$$

$$R9 = R11 b_n = 15.1 \text{ кОм} \quad (1.82)$$

Обираємо резистори з стандартного ряду $R11 = 1.5 \text{ кОм}$; $R9 = 15 \text{ кОм}$, потужністю згідно стандартного ряду 0.125 Вт . Розраховую ємність конденсаторів $C9$ та $C10$:

$$C10 = I^6 / 2\pi F_H n_n^2 R11 = 0,053 \text{ мкФ} \quad (1.83)$$

За рядом E12 вибираю стандартний номінал ємності $C10 = 56 \text{ нФ}$.
Обираємо стандартний конденсатор SMD $56 \text{ нФ } 16\text{В}$

$$C9 = C10 / 10 = 5.6 \text{ нФ} \quad (1.84)$$

За рядом E12 вибираю стандартний номінал ємності $C9 = 5,6 \text{ нФ}$.
Обираємо стандартний конденсатор SMD $5,6 \text{ нФ } 16\text{В}$

Якщо підсилення верхніх і нижніх частот однакове то додаткові коефіцієнт можна уважати рівними.

$$n_g = n_n$$

$$b_g = b_n$$

Розраховуємо опір розв'язуючого резистора

$$R14 = 0,1 R16 = 15 \text{ кОм} \quad (1.85)$$

Обираємо резистори з стандартного ряду $R14 = 15 \text{ кОм}$, потужністю 0.125 Вт

Розраховуємо ємність конденсатора $C14$

$$C14 = I^{12} n_6 / 2\pi F_6 R14 = 66,3 \text{ нФ} \quad (1.86)$$

За рядом E12 обираємо стандартний номінал ємності $C14 = 68 \text{ нФ}$.
Вибираю стандартний конденсатор SMD 68 нФ 16В

Розрахунок ємності конденсатора $C13$

$$C13 = C14 / b_n = 0.686 \text{ нФ} \quad (1.87)$$

За рядом E12 обираємо стандартний номінал ємності $C14 = 680 \text{ пФ}$.
Вибираю стандартний конденсатор SMD 680 пФ 16В.

1.5 Вибір та обґрунтування компонентної бази

Для даної схеми в перу чергу було вирішено обирати легкодоступні SMD елементи, з хорошими характеристиками. Основні критерії підбору елементів:

- відповідність номіналів елементів вказаних в схемі електричній принциповій
- наявність даних елементів на ринку довгий час
- габарити даних елементів
- стабільність параметрів
- економічна вигода
- максимальна стандартизація

Головними елементами блоку підсилювача звукової частоти є комплементарна пара силових транзисторів вихідних кіл BD176 та BD175 (VT13-VT16). Вона задають робочі характеристики усього вузла і вносять найбільші спотворення сигналу і до них висуваються найбільші вимоги.

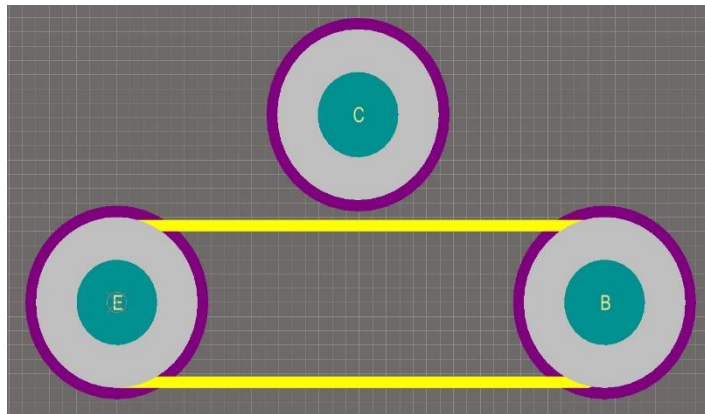
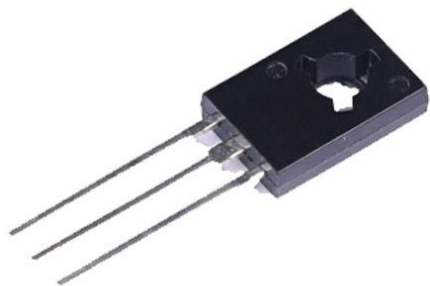


Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд і посадочне місце транзистора BD176

Основою передпідсилювача є транзистори BC807 (VT1-VT12), які використовуються в усіх інших каскадах. Дані транзистори малої потужності, з частотними характеристиками до 100 МГц з велики. Вони популярні на ринку і часто використовуються у високочастотній апаратурі.

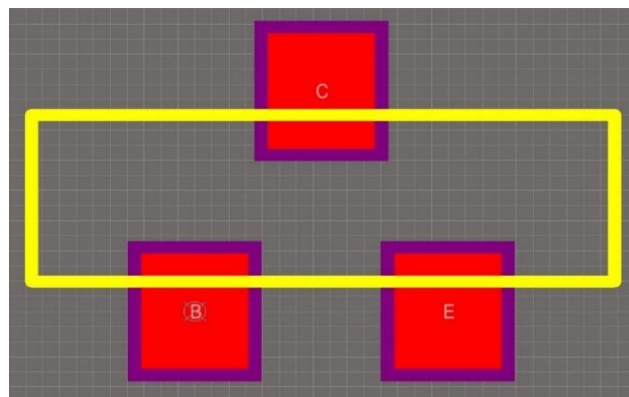


Рисунок 1.11 - Зовнішній вигляд і посадочне місце транзистора BC807

Для регулювання гучності й тембру потрібні спарені резистори, для одночасної плавної зміни параметрів в двох каналах. Для цього підходять резистори типу KLSA-WH148. Дані резистори легкодоступні і надійні. Вони закріплюються на корпусі, та провідниками з'єднуються з платою. Резистори можуть бути змінені в залежності від конструкції корпусу при збереженні значення опору.

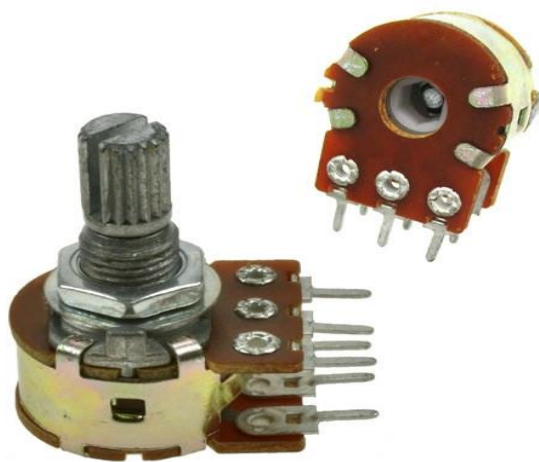


Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд спареного потертціометра типу KLSA-WH148

1.6 Компоновка друкованого вузла пристрою

Підсилювач звукових частот не є кінцевим виробом. Це тільки один з блоків аудіо системи.

Через вимоги у малих габаритах вузла в проектуванні не можна в повній мірі використати Функціонально-вузловий метод (плата ділиться на функціонально закінчені вузли які можуть бути окремо сконструйовані, вибудовані та протестовані) компонування. Вузол розробляється одним блоком.

Для спрощення виробництва було розміщено контактні площадки по краю друкованого вузла, це спростить зовнішнє з'єднання підсилювача з рештою блоків виробу та підвищить ремонтоздатність.

Габаритні елементи великої потужності та великою масою зміщено в сторону з двома кріпильними отворами. Це збільшить механічну стійкість конструкції.

Для спрощення процесу виготовлення друкованого вузла, усі елементи розміщено на одній стороні плати. Для даної сторони потрібно точність

виготовлення класу 3. Але для зворотньої сторони достатньо точності виготовлення класу 2.

Всі електрорадіоелементи, що використовуються в даному вузлі розміщені поверхневим монтажом крім: потенціометрів (R10, R16, R26), які виведені на корпус; силових транзисторів (VT13-VT16); проволочних резисторів великої потужності (R47-R49), вихідних електролітичних конденсаторів (C29, C30). Рекомендовано їх запаювати методом автоматизованої пайки «хвилею припою».

При автоматизованому проектуванні друкованої плати потрібно вказати мінімальні та максимальні параметри друкованих провідників, контактних площадок та відстані між ними.

Розраховуємо мінімальну дожину друкованого провідника:

$$B_{min} = \frac{I_{max}}{I_{don} \cdot t} = \frac{1.6 \text{ A}}{75 \text{ A/мм}^2 \cdot 0.02} = 0,16 \text{ мм} \quad (1.88)$$

I_{max} - максимальний струм який буде протікати через провідник,

Через вихідні транзистори проходить найбільший струм, тому можна припустити що максимальний струм це струм імпульсу колектора вихідного транзистора, який рівний 1.6А

I_{don} - 75А/мм² – густина струму для виготовлення плати комбінованим методом;

t = 0,2мм – товщина доріжки;

Обраховуємо мінімальну ширину друкованого провідника:

$$B_{min2} = \frac{P \cdot l \cdot I_{max}}{U_{don} \cdot t} = \frac{0,0175 \cdot 1,6 \cdot 0,1}{0,45 \cdot 0,2} = 0.03 \text{ мм} \quad (1.88)$$

P – питомий об'ємний опір, для друкованого провідника він рівний 0,0175 Ом·мм²/м;

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48

U_{don} – допустимий спад напруги на провідникову, обираємо табличне значення

Мінімальну товщину контактної площадки обираємо у два рази більшою ніж мінімальна ширина провідника й буде рівною 0.06мм.

Мінімальна відстань між провідниками, при напрузі меншою ніж 50 В, які надруковані на текстоліті. Можна умовно прийняти як половину товщини провідника, вона буде рівною 0.1мм

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
						49
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2 Спеціальна частина (САПР)

2.1 Програмне забезпечення

Для проектування та оформлення принципової схеми, друкованої плати та друкованого вузла було використано програмне забезпечення Altium Designer та КОМПАС-3D V17.

Altium Designer – система автоматизованого проектування друкованих плат (САПР), розроблена компанією Altium. Данне програмне забезпечення дозволяє створювати проекти електронних пристроїв з початку побудови принципової схеми до створення трьохвимірної моделі друкованого вузла.

Завдяки ідеї наскрізного проектування Altium Designer дозволяє реалізувати проекти електронних пристроїв починаючи із рівня принципових схем, моделювати отримані схеми, розробляти документацію необхідну для виготовлення друкованих плат, отримувати трьохвимірні моделі плат, відстежувати зміни у окремих частинах проекту, синхронізувати та підлагоджувати їх.

КОМПАС-3D V17 – програма для створення технічних малюнків, комплекту креслень, збірки з деталей та створення трьохвимірної графіки.

2.2 Проектування пристрою в Altium Designer

Проектування схеми починається з створення бібліотеки графічних позначень. Потрібно створити файл проекту, а до вибраного проекту додати документ «Schematic Library». Щоб це зробити потрібно натиснути правою кнопкою миші на файл проекту, вибрати команду «Add New to Project» і додати нову бібліотеку позначень. Після створення нового файлу потрібно зберегти даний файл в тій самій папці проекту, після зберегти файл проекту,

					<i>ПСР 2.032.001 ПЗ</i>	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		50

для його коректного відображення. Після того можна приступати до створення бібліотеки умовних позначень.

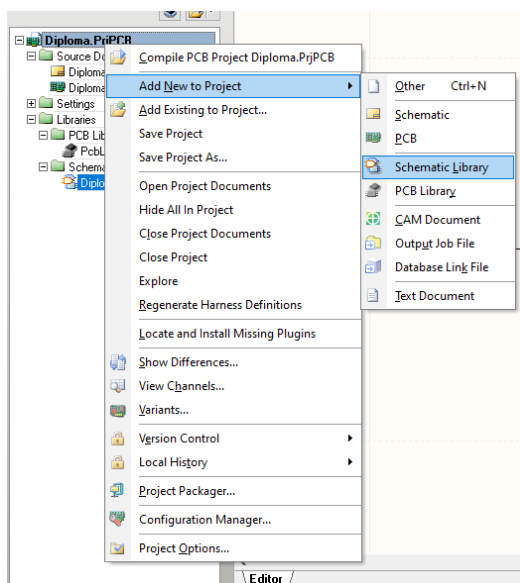


Рисунок 2.1 – Додавання до проекту файл бібліотеки графічних позначень

Робота з бібліотекою графічних позначень відбувається з допомогою панелі PCB Library, яка знаходиться в лівій частині екрану. На цій панелі можна вибрати компонент який входить в дану бібліотеку, подивитись кількість контактів компонента та їх нумерацію з описом. Нижче показано перелік посадочних місць який стосується вибраного елемента. Під кожною колонкою є три команди «Add», «Delete», «Edit». Вони дозволяють додати новий, видалити, та редагувати елементи відповідно.

В нижній середній частині екрану переважно знаходиться вкладка «Editor», тут інформація посадочних місць дублюється та описується більш детально. Також тут показано умовне зображення 3D моделі посадочного місця.

Перед початком роботи потрібно зайти в вкладку «Document options» (нажавши правою кнопкою миші на вільну ділянку робочого місця та навівши

мишку на «options»). Змінюємо налаштування на використання метричної системи числення. Та встановлюємо потрібний крок сітки.

Після створення графічного позначення елемента. У властивостях, в колонці «Default Designator» вказуємо позначення даного елемента на схемі, замість порядкового номеру ставимо знак «?». При автоматичній нумерації елементів він буде змінений на порядковий номер елемента на платі. У вікні «Models» оберемо відповідні посадочні площадки для даного елемента пізніше.

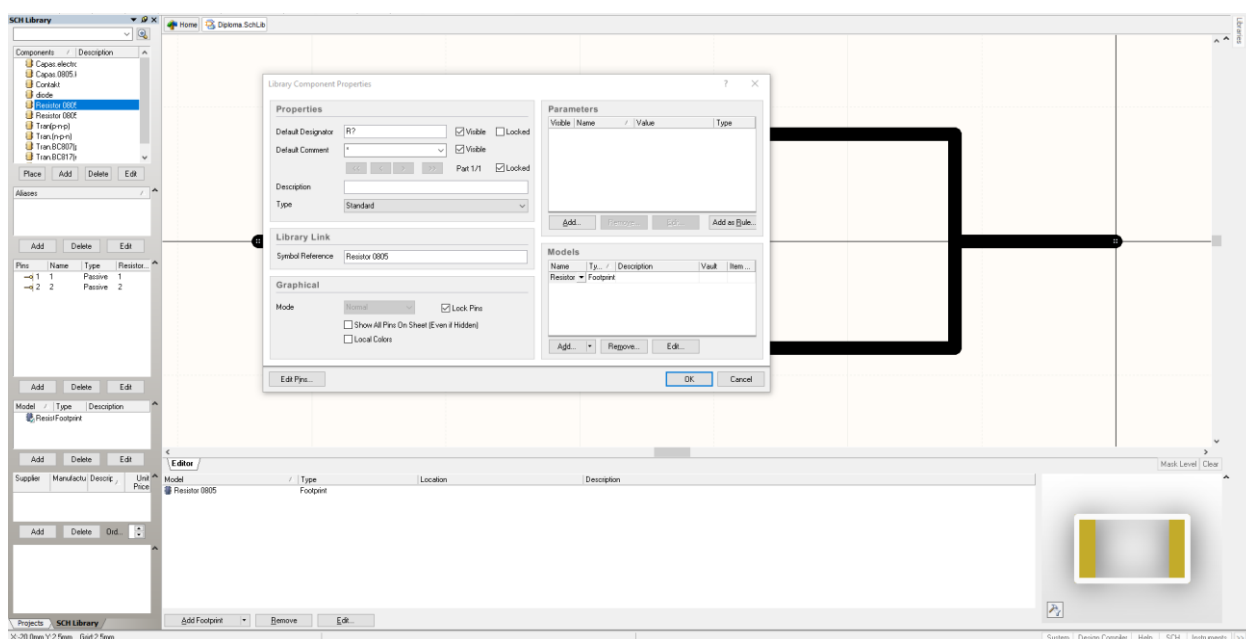


Рисунок 2.2 – Робоча панель бібліотеки графічних позначень та вікно властивостей компоненту

Наступний етап це створення бібліотеки посадочних місць. Як в попередньому етапі, до проекту ми додаємо новий файл «PCB Library».

Зліва на показана перелік елементів та характеристики усіх примітивів, які зображені в робочій зоні (контактні площадки, лінії, позначки).

Обираємо у верхній частині екрану площадку та встановлюємо її на вільному місці. Нажавши два рази на контактну площадку відкриється меню властивостей. Якщо це посадочне місце SMD елемента то обираємо шар Top Layer, в налаштуваннях Shape встановлюємо «Rectangular» і вказуємо розміри

контактної площадки. Головне у вкладці «Designator» вказати той самий порядковий номер (або літеру) контакту, який зазначений в бібліотеці графічних позначень. В майбутньому площадки можна копіювати на інші контакти, головне змінювати порядковий номер площадки. Умовне зображення габаритів компонента вказується на шарі «Top Overlay»

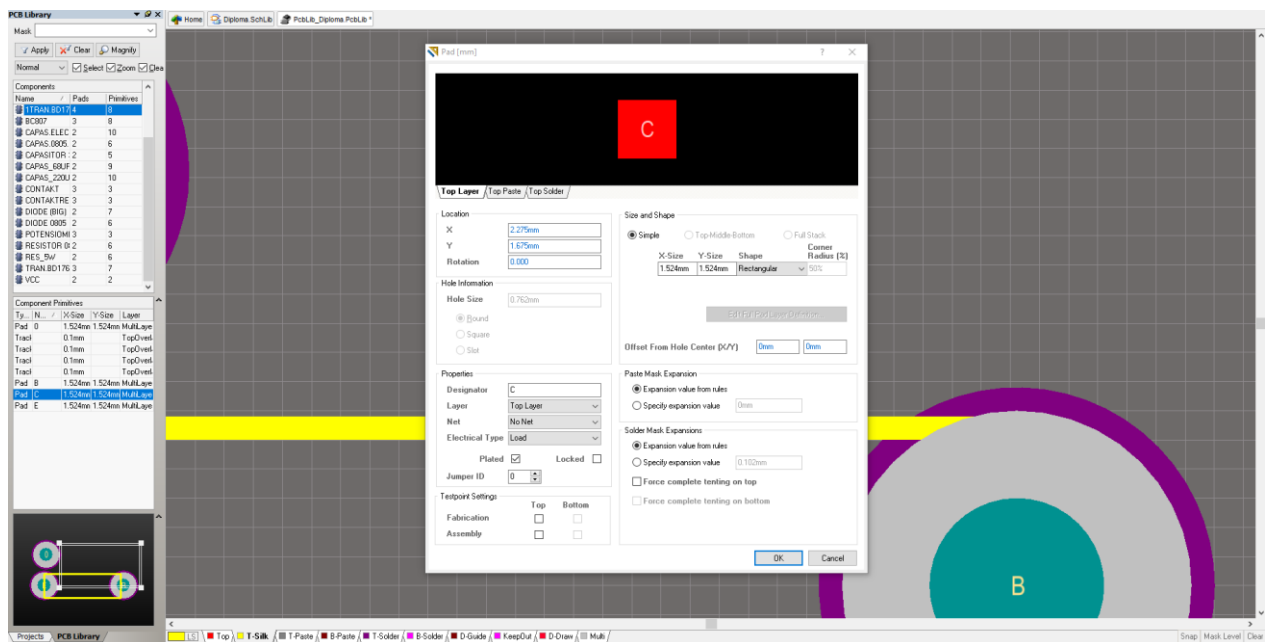


Рисунок 2.3 – Робоча панель бібліотеки посадочних місць та вікно властивостей компоненту

Коли бібліотека посадочних місць та умовних графічних позначень готові. Дану бібліотеку можна вибрати в вікні «Libraries» при створення принципової схеми і шляхом перетягування вносимо елементи на схему.

На схемі можна відкрити вікно властивостей документу, як при створенні графічних бібліотек. Тут потрібно вибрати яку модель посадочного місця потрібно використовувати (для транзисторів різної потужності різний тип посадочного місця). Також можна змінити порядковий номер і опис.

У верхній частині екрану, у вкладці «Tools», обираємо «Annotate schematic». Відкриється вікно властивостей автоматичного нумерування компонентів. Справа ми обираємо характер порядку нумерації й натискаємо

кнопку «Update Changes List». Після автоматичного нумерування зберігаємо зміни.

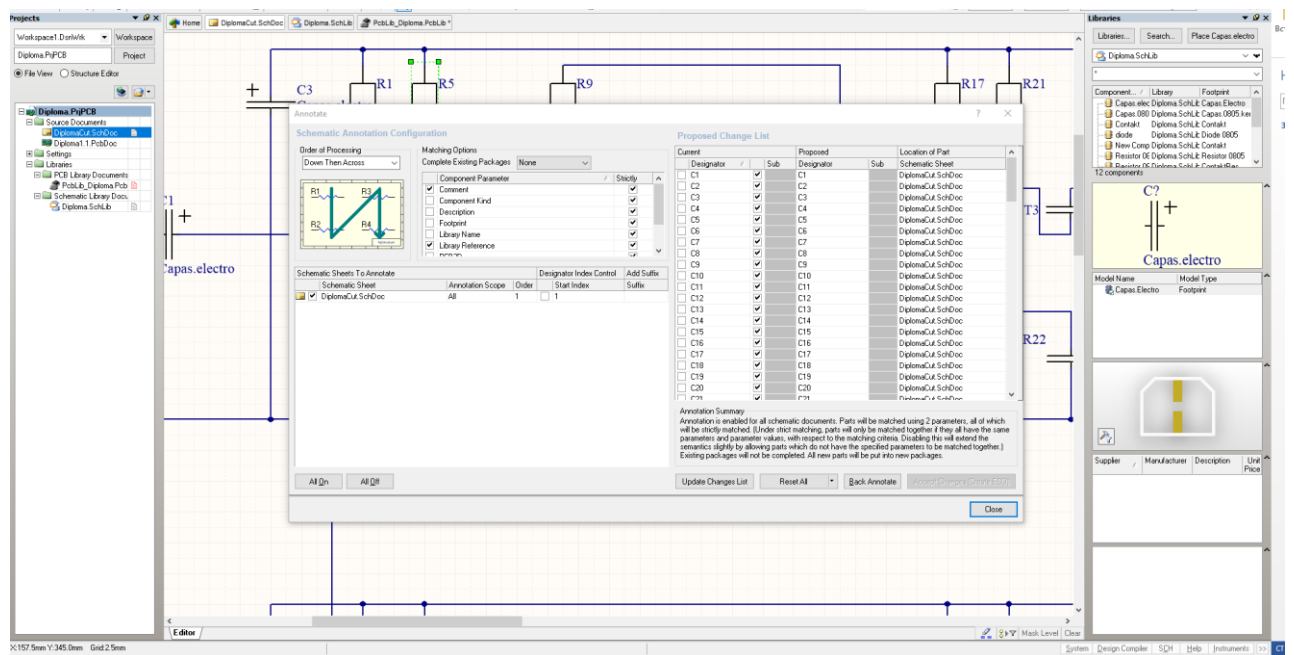


Рисунок 2.4 – Робоча панель при створенні принципової схеми на якій налаштовується автоматична нумерація елементів

Кінцевою стадією є створення друкованої плати. Імпортувавши зміни з файлу схеми ми приступаємо до ручного розташування елементів на платі. Усі елементи появляються в нижньому правому куті робочої зони на підложці, яку видаляємо.

Після розташування елементів потрібно встановити правила автоматичного трасування (максимальну і мінімальну ширину доріжки, мінімальні відстані, перехідні отвори, топологію трасування, тощо). Щоб це зробити переходимо в вкладку «Design» та обираємо «Rules».

Після встановлення потрібних правил можна розпочати автоматичне трасування. Переходимо в вкладку «Auto Route» обираємо «All».

Коли трасування закінчено приступаємо до ручного виправлення деяких нюансів в трасуванні. І якщо плата друкована задовільняє усі параметри то

можна уважати створення друкованого вузла завершене та імпортувати потрібну інформацію

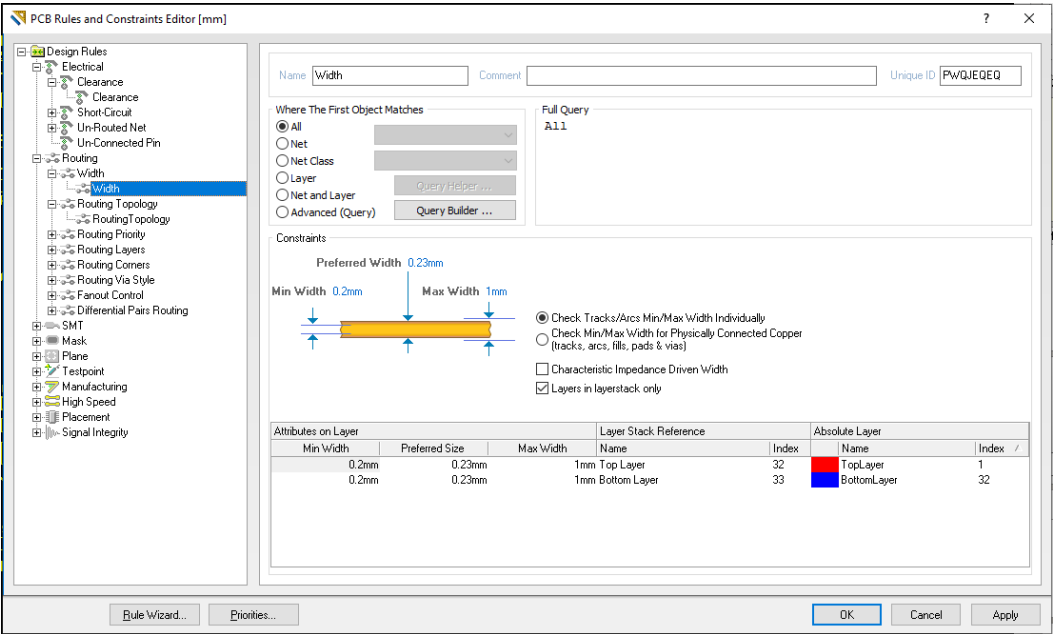


Рисунок 2.5 – Вікно встановлення правил автоматичного трасування

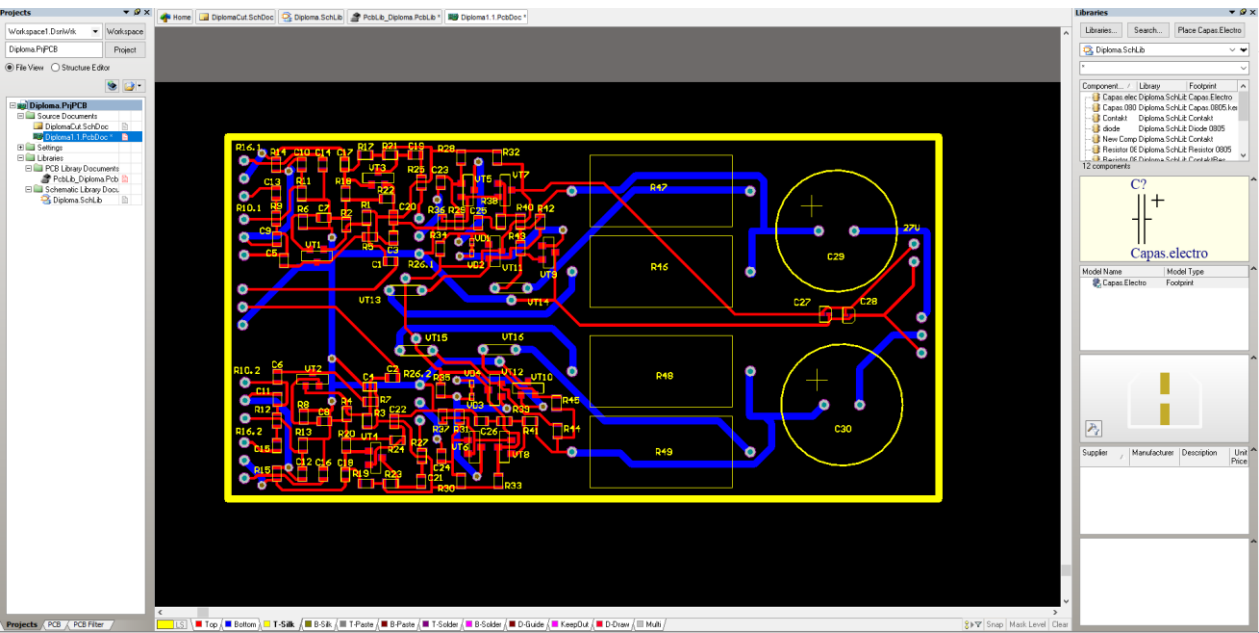


Рисунок 2.6 – Робоча зона створення друкованого вузла

3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

3.1 Вимоги техніки безпеки при виготовленні та налаштуванні вузла

Процес пайки супроводжується забрудненням повітряного середовища, робочих поверхонь, одягу і шкіри рук працюючих свинцем, це може призвести до свинцевим отруєнням організму і викликати зміни крові, нервової системи і судин. З метою попередження отруєнь свинцем ділянки пайки обладнуються відповідно до вимог санітарних правил.

Пайка - нероз'ємне з'єднання деталей за допомогою припою. Найбільш часто вживані припої - олов'яно-свинцеві (ПОС-18, ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61) і ПОСК-50, що містить свинець.

У приміщеннях, де проводиться паяння припоєм, що містить свинець, щоб уникнути попадання свинцю в організм не дозволяється зберігати особисті речі. Робоче місце пайки обладнується місцевою витяжною вентиляцією, що забезпечує концентрацію свинцю в робочій зоні.

Для запобігання опіків і забруднення свинцем шкіри рук працюючих повинні бути видані серветки для видалення зайвого припою з жала паяльника, а також пінцети для підтримки припаюємо дроти і для подачі припою до місця пайки, якщо відсутня автоматична подача.

При монтажних роботах, пов'язаних з небезпекою засмічення або опіку очей, передбачена видача працюючим захисних окулярів.

Для захисту від окислення місць пайки застосовують флюси: каніфольно-спиртові при пайці припоями ПОС-40, ПОС-61 і ПОС-50, хлористий цинк при пайці і лудженні припоями ПОС-18 і ПОС-30. Каніфоль подразнює шкіру, може викликати висипання, а хлористий цинк може викликати сильне подразнення, пропалювати шкіру і слизові оболонки.

Найбільш ефективними заходами, що попереджують професійні захворювання при пайці, є механізація і автоматизація паяльних робіт,

впровадження нових технологічних процесів: облудження методом занурення, виборча пайка і пайка хвилею припою (із застосуванням друкованого монтажу), що дозволяє повністю виключити зіткнення шкіри працівників зі свинцем і флюсами.

Необхідно відзначити, що при об'ємному монтажі все частіше застосовують метод накрутки проводу на вивід з гострими кромками без подальшої пайки. Накрутка проводиться спеціальним пістолетом, що створює десятикратну надійність з'єднання, і продуктивність такого монтажу в два з половиною рази вище, ніж при пайці. Цей метод виключає шкідливі для здоров'я випари свинцю, припою, флюсу та розчинників при промиванні місця пайки.

При виготовленні багатошарових друкованих плат (БШДП) проводиться механічна обробка шаруватих пластиків (різка, пробивання отворів). Працюючі на обробці шаруватих пластиків повинні дотримуватися правил техніки безпеки під час холодної обробки матеріалів.

Важливим чинником, що погіршує умови праці в механічних дільницях, є шум, вироблений працюючим обладнанням. Важливе значення має правильне і достатнє освітлення ділянок і робочих місць холодної обробки матеріалів.

Промивання плат проводиться в розчині ізопропилового спирту і ацетону. При використанні спирту і ацетону необхідно враховувати, що ці речовини є пожежонебезпечними і шкідливими для здоров'я.

Хімічне очищення плат проводиться розчинами фосфатів (тринатрійфосфат), натрієвої соди, натрієвого лугу. При постійній роботі з розчинами часті різноманітні хронічні подразнення шкіри. Дуже небезпечне попадання навіть найменших кількостей NaOH в очі.

У процесі хімічного міднення застосовуються шкідливі речовини: сірчана, соляна, азотна кислоти, хлорна мідь, хлористий палладій, гідроокис натрію, сегнетова сіль, трихлоретилен. Тому необхідно дотримуватись вимог правил безпеки.

Для травлення міді з пустих ділянок плат використовується ряд травників; хлорне залізо, персульфат амонію, хлорна мідь, сплав «Розе», хромовий ангідрид із сірчаною кислотою і ряд інших є токсичними речовинами. До роботи з цими травниками допускаються особи, навчені безпечним прийомом роботи і пройшли інструктаж на робочих місцях по роботі зі шкідливими і отруйними речовинами. У разі потрапляння травників на шкіру або слизову оболонку очей необхідно негайно рясно промити їх проточною водою або розчином квасців і змастити вазеліном або оливковою олією, а потім звернутися до медпункту.

Роботу з травниками проводиться в спецодязі (халат, фартух поліетиленовий, бавовняні й гумові рукавички) і захисних окулярах. Робочі місця обладнуються витяжною вентиляцією.

Монтаж радіоелектронного обладнання. Виготовлення каркасів, шасі обладнання на слюсарно-механічних ділянках необхідно проводити з дотриманням вимог техніки безпеки при холодній і гарячій обробці металів.

При монтажі радіоелектронного обладнання слід дотримуватися вимоги електробезпеки і працювати тільки справним електроінструментом (електродрилем, електропаяльником).

Електропаяльники і лампи для місцевого освітлення необхідно застосовувати із напругою не вище 220В. Для пониження мережевої напруги 220В слід застосовувати понижуючий трансформатор. Один кінець вторинної (понижувальної) обмотки трансформатора і металевий кожух необхідно заземлювати.

При живленні апаратури від цехової мережі слід застосовувати штепсельні роз'єми. У випадку несправності в мережевій проводці необхідно викликати електромонтера.

При монтажі радіоелементів забороняється:

- перевіряти наявність напруги і нагрів струмоведучих частин схеми;

- застосовувати для з'єднання блоків і приладів проводи з пошкодженою ізоляцією;
- виробляти пайку і установку деталей в обладнанні, що знаходиться під напругою;
- вимірювати напруги і струми переносними приладами з неізольованими проводами і щупами;
- підключати блоки та прилади до устаткування, що знаходиться під напругою;
- замінювати запобіжники у включеному обладнанні;
- працювати на високовольтних установках без захисних засобів.

Особлива небезпека виникає при встановленні силових транзисторів які під'єднуються до джерела живлення

3.2 Причини виникнення електробезпеки на виробництві

У правилах пристроїв електроустановок у викладено низку вимог до проектування й монтажу електроустановок, виконання яких забезпечує безпеку людей від ураження електричним струмом, а також надійність і безваріантність роботи електроустаткування, яке встановлене у виробничих приміщеннях.

Причинами, які викликають ураження людей електричним струмом, можуть бути такі: випадковий дотик або небезпечне наближення до струмопровідних частин, які перебувають під напругою; ураження полум'ям електричної дуги, яка виникає іноді при розриві ланцюга струму, коротких замикань; дотик до конструктивних не струмопровідних металевих частин електроустаткування, які зазвичай не знаходяться під напругою; але виявилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин.

Для запобігання ураженню електричним струмом потрібно періодично перевіряти обладнання (проводити технічний огляд) та проводити інструктажі персоналу.

3.3 Надзвичайні ситуації: визначення причини, класифікація

Класифікація надзвичайних ситуацій створена за постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004р. №368

Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру (далі — надзвичайна ситуація) за їх рівнями здійснюється для забезпечення організації взаємодії центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій у процесі вирішення питань, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями та ліквідацією їх наслідків.

Залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, надзвичайна ситуація класифікується як державного, регіонального, місцевого або об'єктового рівня.

Для визначення рівня надзвичайної ситуації встановлюються такі критерії:

- територіальне поширення та обсяги технічних і матеріальних ресурсів, що необхідні для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;
- кількість людей, які постраждали або умови життєдіяльності яких було порушено внаслідок надзвичайної ситуації;
- розмір заподіяних (очікуваних) збитків;

Державного рівня визнається надзвичайна ситуація:

- яка поширилась або може поширитися на територію інших держав;
- яка поширилась на територію двох чи більше регіонів України (Автономної Республіки Крим, областей, м. Києва та Севастополя), а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих регіонів, але не менш як 1 відсоток від обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація державного рівня за територіальним поширенням);
- яка призвела до загибелі понад 10 осіб або внаслідок якої постраждало понад 300 осіб (постраждали — особи, життю або здоров'ю яких було заподіяно

					<i>ПСР 2.032.001 ПЗ</i>	Арк
						60
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

шкоду внаслідок надзвичайної ситуації), чи було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 50 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби)

- внаслідок якої загинуло понад 5 осіб або постраждало понад 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки (оцінені в установленому законодавством порядку), спричинені надзвичайною ситуацією, перевищили 25 тис. мінімальних розмірів (на час виникнення надзвичайної ситуації) заробітної плати;

- збитки від якої перевищили 150 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

- яка в інших випадках, передбачених актами законодавства, за своїми ознаками визнається як надзвичайна ситуація державного рівня;

Регіонального рівня визнається надзвичайна ситуація:

- яка поширилась на територію двох чи більше районів (міст обласного значення) Автономної Республіки Крим, областей, а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих районів, але не менш як 1 відсоток обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація регіонального рівня за територіальним поширенням);

- яка призвела до загибелі від 3 до 5 осіб або внаслідок якої постраждало від 50 до 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 1 тис. до 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

- збитки від якої перевищили 15 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

Місцевого рівня визнається надзвичайна ситуація:

- яка вийшла за межі територій потенційно небезпечного об'єкта, загрожує довкіллю, сусіднім населеним пунктам, інженерним спорудам, а для її

ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості потенційно небезпечного об'єкта;

- внаслідок якої загинуло 1 — 2 особи або постраждало від 20 до 50 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 100 до 1000 осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 0,5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

- збитки від якої перевищили 2 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

Об'єктового рівня визнається надзвичайна ситуація:

- яка не вийшла за межі території потенційно небезпечного об'єкта та не загрожує сусіднім населеним пунктам

- немає загиблих осіб

- постраждало до 20 осіб або було порушено нормальні умови життєдіяльності до 100 осіб на тривалий час [7]

При виготовленні друкованого вузла, на території підприємства можуть виникнути надзвичайні ситуації об'єктового або місцевого рівнів.

Висновки

У даній кваліфікаційній роботі, було розроблено основну частину блоку портативної аудіо системи – підсилювач звукової частоти. Усі розрахунки велися згідно встановленого технічного завдання та вимог які висувались до даного вузла. Дані вимоги були спроектовані аналізуючи ринок і звіряючись із потенційними конкурентами.

Було розраховано усі елементи в каскадах підсилення, та було визначено їх граничні параметри. Встановлені частотні спотворення, які задають кожен елемент вузла в залежності від їх режимів роботи .

Основну увагу було зосереджено на серійному виробництві даного вузла в об'ємах підприємства. Проектування велося з урахуванням сучасної елементної бази в корпусі SMD, та легкодоступності матеріалів з добрим відношенням ціна\якість. Технологічний процес максимально стандартизований з великої кількості однакових конструкційних елементів, що істотно зменшить ціну виготовлення плати, та повністю відповідає існуючому рівню технологічності у нашому регіоні.

					<i>ПСР 2.032.001 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
						63
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

Список використаної літератури

1. Розрахунок підсилювачів звукових частот - ТК ТНТУ ім.І.Пулюя ФК ЕА, 2018р.
2. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/wzcj>
3. Навчальні матеріали [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://works.doklad.ru/view/JZFiozh6g28.html>
4. Підсилювачі звукових частот [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/wzco>
5. Розрахунок підсилювачів звукових частот - ТК ТДТУ, 2008р.
6. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка - ТНТУ ім.І.Пулюя ФК РС, 2021р.
7. Постанова №368 Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004р.

					<i>ПСР 2.032.001 ПЗ</i>	Арк
						64
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Додатки

					ПСР 2.032.001 ПЗ	Арк
						65
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ _____ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Підсилювач звукових частот потужністю 10 Вт»

Узгоджено:
Керівник кваліфікаційної роботи
Дедів І. Ю. _____
“ _____ ” _____ 20__ р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАС-41
П.І.Б. Пискальний С. Р
“ _____ ” _____ 20__ р.

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “ Підсилювач звукових частот ”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ університету про затвердження кваліфікаційної роботи № _____ від “ ____ ” _____ 20 ____ р.

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Пискальний С. Р. групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка підсилювача звукових частот потужністю 10 Вт, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення для даного підсилювача;
- вибір компонентної бази розроблювального підсилювача;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи підсилювача;

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Підсилювач повинен живитись від блоку акумуляторних батарей або стаціонарного блоку живлення, вихідна напруга яких може сягати в діапазоні 12 В – 30 В

4.1.2. Вихідна потужність на один канал повина сягати до 5 Вт

4.1.3. Коефіцієнт загальних спотворення повинен бути менше 2.9, коефіцієнт гармонік менше 1,2%

4.2. Технічні вимоги

4.2.1. Підсилювач повинен відповідати вимогам цього стандарту, а також технічній документації на підсилювач конкретного типу, затвердженій в установленому порядку.

4.2.2. Підсилювач звуку повинен забезпечувати задану потужність з моменту його включення.

4.2.3. Підсилювач повинен забезпечувати безперервну роботу протягом 24 годин при максимальній гучності, при нормальних кліматичних умовах.

4.2.4. Всі елементи підсилювача повинні бути захищені від струмів короткого замикання.

4.2.5. Опір ізоляції та її міцність між друкованим вузлом і провідними елементами живлення аудіо системи забезпечується виробником готового виробу.

4.2.6. За механічними і кліматичними умовами експлуатаційний підсилювач звуку повинен відповідати ГОСТ 22261 (група 4), кліматичного виконання УХЛ, категорії 3.1 ГОСТ 15150.

Граничні умови транспортування та зберігання - 5 по ГОСТ 15150. Час витримки в нормальних умовах - 24 год.

4.2.7. Кінцева комплектація встановлюється виробником готового виробу.

4.2.8. Напрацювання на відмову повинне бути не менше 12000 год.

4.2.9. Час відновлення після ремонту повинен бути не більше 1 год.

4.2.10. Середній термін служби повинен бути не менше 8 років.

Випробування на термін служби не проводять.

4.3. Правила приймання.

4.3.1. Підсилювач звуку повинен піддаватися приймально-здавальним та періодичним випробуванням.

4.3.2. При приймально-здавальних випробуваннях підсилювач звуку повинен піддаватися суцільному контролю. При невідповідності вимогам цього стандарту його повертають для усунення дефектів. Після усунення дефектів вузол висувають на повторні випробування. Результати повторних випробувань є остаточними.

4.3.3. Періодичним випробуванням піддають не менше трьох вузлів підсилювачів звук, що пройшли приймально-здавальні випробування. Періодичні випробування на відповідність всім пунктам даного стандарту проводять при випуску настановних партій і періодично один раз на два роки. При отриманні незадовільних результатів випробувань з'ясовують причини браку, усувають їх і проводять повторні періодичні випробування на подвоєному числі підсилювачів звуку. Якщо при повторних періодичних випробуваннях виявлено невідповідність хоча б одного виробу вимогам цього стандарту, приймання і відвантаження припиняють. Рішення про подальше виготовленні виробів та їх приймання беруть замовник та підприємство-виробник.

4.3.4. Випробування на надійність проводять не рідше одного разу на три роки. Вихідні дані при проведенні випробувань:

- Приймальний рівень $R_{\alpha} = 0.95$;
- Бракувальний рівень $R_{\mu} = 0.8$;
- Ризик виробника $\alpha = 0.1$;
- Ризик споживача $\beta = 0.2$.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- пояснювальна записка;
- структурна схема підсилювача звукових частот;
- функціональна схема підсилювача звукових частот;
- електрична принципова схема підсилювача звукових частот;
- друкована плата підсилювача звукових частот;
- друкований вузол підсилювача звукових частот.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	19.03.2021
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи, техніко-економічний аналіз	01.04.2021
3	Аналіз структурної та функціональної схеми	24.04.2021
4	Розрахунок основних вузлів у схемі джерела живлення високовольтного.	07.05.2021
5	Вибір компонентної бази для розроблюваного джерела живлення;	10.05.2021
6	Компоновка друкованого вузла	14.05.2021
7	Створення допоміжної документації	25.05.2021
8	Спеціальна частина	01.06.2021
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	11.06.2021
10	Нормоконтроль	11.06.2021
11	Попередній захист КР	11.06.2021
12	Захист КР	24.06.2021

Термін виконання кваліфікаційної роботи узгоджується з керівником і з графіком виконання.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання дипломного проекту в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення

[illegible]

Формат Зона Поз.	Позначення Найменування	Кільк.	Прим.
R3	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	1	
R4	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	1	
R5	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	1	
R6	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	1	
R7	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	1	
R8	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	1	
R9	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	1	
R10	KLS4-WH148-150к-1A-2-18T-B103-L15	1	
R11	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	1	
R12	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	1	
R13	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	1	
R14, R15	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	2	
R16	KLS4-WH148-150к-1A-2-18T-B103-L15	1	
R17	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	1	
R18	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	1	
R19	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	1	
R20	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	1	
R21	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	1	
R22	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	1	
R23	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	1	
R24	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	1	
R25	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 1k ±5% Royal OHM	1	
R26	KLS4-WH148-10к-1A-2-18T-B103-L15	1	
R27, R28	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 1k ±5% Royal OHM	2	
R29	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	1	
R30	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	1	
R31	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	1	
R32, R33	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 750 om ±5% Royal OHM	2	
R34, R35	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	2	
R36, R37	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	2	
R38, R39	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	2	
R40, R41	RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	2	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата
			ПСП 2.032.001 ПЕ
			Арк.
			2

[illegible]

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Найменування	Назва	Кін.	Примітка
		12		5W 150V 3.3 0m ±5% Royal OHM	4	R46-R49
		13		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 750 0m ±5% Royal OHM	2	R32, R33
		14		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 1k ±5% Royal OHM	3	R27,R28,
		15		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 1,5k ±5% Royal OHM	2	R11,R13,
		16		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 2,2k ±5% Royal OHM	6	R6,R8,R22
						R24,R36,R37
		17		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 4,7k ±5% Royal OHM	6	R5,R7,R23
						R21,R34,R35,
		18		KL S4-WH148-10k-1A-2-18T-B103-L 15	1	R26
		19		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 15k ±5% Royal OHM	4	R9,R12,R14,R15
		20		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 20k ±5% Royal OHM	11	R1,R3,R17,R19
						R30,R40,R41
						R42-R45
		21		RC 03 K 0805 GT-Q,1W 50V 27k ±5% Royal OHM	8	R2,R4,R18,R20,
						R29,R31,R38,R39
		22		KL S4-WH148-150k-1A-2-18T-B103-L 15	2	R10,R16
				<u>Діоди</u>		
		23		1N4148W 30V 1A PHILIPS	4	VD1-VD4
				<u>Транзистори</u>		
		24		BC817 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR	10	VT1-VT9,VT11
		25		BC807 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR	2	VT10,VT12
		26		BD176 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR	2	VT13,VT15
		27		BD175 FAIRCHILD SEMICONDUCTOR	2	VT14,VT16
Візм.	Лист	№ док-м.	Підп.	Дата	ПСР 2.032.001 СП	
					Лист	
					2	