

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

ЦИФРОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛІВ ЗВУКОВИХ ЧАСТОТ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ МІКРОСХЕМІ TDA7313

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка
ОП- Радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Вишнівський А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., доц., проф., каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«11» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«12» 06 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вишнівському Андрію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Цифровий підсилювач потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313»**

керівник роботи д.т.н., проф. професор каф. ІРТС Семенов А.О.

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20" 03. 2025 року № 97

2. Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: номінальна вихідна потужність 4×75 Вт; діапазон відтворених частот 20 Гц – 20 кГц; глибина регулювання гучності 78 дБ; регулювання тембру НЧ, СЧ, ВЧ ±14 дБ; баланс 64 дБ; номінальний опір навантаження 4 Ом; живлення – від автомобільного акумулятора номінальною напругою 12 В.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд підсилювачів потужності звукових частот на ІМС. Розробка електричної схеми пристрою. Електричні та конструкторські розрахунки. Моделювання каскадів пристрою на ЕОМ. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема включення TDA7256. Схема включення TDA2050. Схема включення LM3886. Вигляд конструкції підсилювача на ІМС 7560. Електрична схема блока мікропроцесора. Електрична схема блока аудіопроекторів. Електрична схема мікроконтролерного блоку. Типова структурна схема стабілізатора напруги на LM78XX. Схема блоку керування на МК PIC628A в моделюючій програмі Proteus.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., професор каф. ІРТС. Семенов А.О.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БКР.	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка графічної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025-12.06.2025	
11.	Захист БКР ЕК	13.06.2025-17.06.2025	

Студент


(підпис)

Вишнівський А.І.

Керівник роботи


(підпис)

Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Вишнівський А. І. Цифровий підсилювач потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 93 с. Українською мовою. Бібліогр.: 38 назв; Рис.: 18, Табл. 9.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження підсилювача потужності сигналів звукових частот на ІМС TDA7313 з мікроконтролерним керуванням. Проведено аналіз сучасного стану інтегральних мікросхем підсилювачів потужності звукових частот. Обґрунтовано вибір ІМС TDA7560 для досліджень. Розроблено високоякісний цифровий підсилювач потужності звукових частот на ІМС номінальної потужності 75 Вт і коефіцієнтом нелінійних спотворень 0,005%. Пристрій спроектовано з використанням ІМС іноземного виробництва. Реалізований варіант підсилювального модуля високоякісного мостового підсилювача потужності звукових частот на ІМС задовольняє вимогам технічного завдання. На основі отриманих результатів дослідження подано рекомендації щодо застосування ІМС TDA7313 у підсилювальній техніці.

Ключові слова: інтегральна мікросхема, підсилювач потужності, спотворення, вимірювання, звуковий сигнал.

ABSTRACT

Vyshnivskyi A. I.

Digital power amplifier of audio frequency signals on a specialised integrated circuit TDA7313. Bachelor's qualification work: VNTU, 2025. 93 p. In Ukrainian. Bibliography: 38 titles; Figures: 18, Table 9.

In the bachelor's thesis, the author developed and studied a power amplifier for audio frequency signals on TDA7313 ICs with microcontroller control. An analysis of the current state of integrated circuits for audio frequency power amplifiers was carried out. The choice of TDA7560 IC for research is substantiated. A high-quality digital audio frequency power amplifier with a nominal power of 75 W and a nonlinear distortion coefficient of 0.005% is developed. The device was designed using foreign-made ICs. The implemented variant of the amplifying module of a high-quality bridge power amplifier of sound frequencies on ICs meets the requirements of the technical task. Based on the results of the study, recommendations for the use of TDA7313 ICs in amplifying equipment are given.

Keywords: integrated circuit, power amplifier, distortion, measurement, sound signal.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ ЗВУКОВИХ ЧАСТОТ НА ІМС	11
1.1 Суть технічної проблеми, що виникла на сучасному етапі розвитку науки, техніки і технології	11
1.2 Огляд мікросхем підсилювачів потужності звукових частот	13
1.3 Огляд сучасних аудіопроцесорів	22
1.4 Практичні схеми сучасних цифрових підсилювачів потужності	32
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ	38
2.1 Обґрунтування та вибір ІМС підсилювача потужності звукових частот.....	38
2.2 Обґрунтування та вибір аудіопроцесора	41
2.3 Обґрунтування та вибір мікроконтролера	43
2.4 Перетворювач USB-UART на FTDI FT232RL	45
2.5 Розробка електричної принципової схеми цифрового підсилювача частот з мікроконтролерним керуванням.....	46
3 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ	48
3.1 Електричний розрахунок кварцового генератора	49
3.2 Електричний розрахунок блоку живлення	54
3.3 Конструкторський розрахунок топології друкованої плати	54
4 МОДЕЛЮВАННЯ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ НА ЕОМ	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	64
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	67

5.3 Пожежна безпека.....	73
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	82
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) кваліфікаційної роботи.....	91

ВСТУП

Актуальність теми.

Сьогодні однією з найпопулярніших і передових галузей науки і техніки є електроніка. Зараз надзвичайно важко знайти будь-який сектор промисловості, який не використовує електронні прилади, пристрої автоматизації та комп'ютери. Проте всього цього не було б без створення напівпровідникових приладів, у тому числі транзисторів і діодів, які є фундаментальними складовими сучасної електронної промисловості. Спочатку транзистор був призначений для точного підсилювача, він був розроблений для заміни великих електронних ламп і почав використовуватися як основний компонент логічних схем. Відтоді більшість електронних підсилювачів і активних компонентів будували на транзисторах або інших інтегральних схемах.

Підсилювачі потужності на мікросхемах призначені для збільшення потужності звукових сигналів. На вхід підсилювача надходить сигнал, гучність якого доповнюється напругою живлення. При різних діапазонах амплітуд (на виході вона повинна бути більше) форма сигналу на вході і виході повинна бути ідентичною. Проте деякі спотворення сигналу все ж трапляються, їх слід зменшити шляхом розробки схеми та вибору базового елемента.

Аналіз способів вирішення поставленої задачі.

Підсилювачі потужності зазвичай мають кілька каскадів, які за конструкцією подібні до каскадів попереднього підсилення та проміжних каскадів. Єдина невідповідність полягає в тому, що вхідний і проміжний каскади працюють в режимі розширення великого струму або напруги, тоді як вихідні каскади знаходяться в режимі перетворення імпедансу з амплітудою, близькою до 1,5-кратної амплітуди вхідного каскаду.

У рамках бакалаврської кваліфікаційної роботи створено цифровий підсилювач аудіо на основі мікросхеми TDA7313 з мікроконтролером в

якості управління. Він підходить для використання як у саундтреках до фільмів, різноманітних носіях, так і для домашнього прослуховування музики.

Метою роботи є створення бюджетного, відносно потужного та простого у використанні пристрою відтворення стереозвуку з програмним керуванням. Перевага даної розробки полягає в тому, що її можна змінювати як в ручному, так і в комп'ютеризованому режимах, останній з яких підключається до персонального комп'ютера. У створенні використано сучасний базовий елемент.

Об'єктом дослідження є процес перетворення енергії електричних сигналів в енергію акустичних сигналів в підсилювачі потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313.

Предмет дослідження – частотні та часові характеристики електричних і звукових сигналів підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313.

Для досягнення поставленої мети були розв'язані такі задачі:

- проведено аналіз сучасного стану техніки високоякісного звуковідтворення;
- проведено вибір та обґрунтування елементної бази;
- розроблено електричні схеми блоків цифрового підсилювача потужності звукових частот, а також друковані плати по цим схемах;
- написано програмне забезпечення для мікроконтролера PIC16F628A, правильність функціонування якого перевірено шляхом моделювання в Proteus.

Методи дослідження. Базуються на теорії математичного та імітаційного моделювання радіотехнічних схем і пристроїв.

Теоретична новизна отриманих результатів:

- отримав подальший розвиток цифрової обробки сигналів звукових частот за допомогою спеціалізованих інтегральних мікросхем під програмним керуванням по шині I2C.

Практична новизна отриманих результатів:

- запропоновано нову конструкцію цифрового підсилювача звукових частот з програмним керуванням гучності, басу та тембру в зазначених межах.

Особистий внесок автора. У бакалаврській дипломній роботі проведено розробку цифрового підсилювача потужності звукових сигналів, керованого I²C шиною. Такий підсилювач може бути використаний як для звукового супроводу кінофільму, для різного роду презентацій із звуковим супроводженням, а також для домашнього прослуховування музики.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

1 ОГЛЯД ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ ЗВУКОВИХ ЧАСТОТ НА ІМС

1.1 Суть технічної проблеми, що виникла на сучасному етапі розвитку науки, техніки і технології

Для проектування було отримано завдання розробити високоякісний підсилювач, який орієнтовно використовувати в домашніх умовах, в якості частини підсилювального модуля, домашнього кінотеатру.

Підвищення попиту на високоякісні пристрої підсилення звукових частот є наслідком розробки кращих за параметрами та дешевших за ціною підсилювачів. Сучасний підсилювач має відтворювати діапазон звукових частот (20 Гц .. 20,0 кГц), забезпечувати низький коефіцієнт нелінійних спотворень, необхідну потужність при оптимальному коефіцієнті корисної дії (максимально можливому), а також, за можливістю, мати цифрове керування.

Прилади цього типу популярні як на внутрішньому ринку України, так і за кордоном. Вихідна інформація для оформлення міститься в бакалаврській кваліфікаційній роботі.

У сфері високоточного відтворення звуку все ще існують проблеми, які не вирішені на поточному етапі розвитку:

- існують системи, які ефективно задовольняють потреби споживачів, як аматорів, так і професіоналів, щодо якості відтворення звуку, але вартість цих систем значна і недоступна більшості охочих.

- при незначному підвищенні якості витрати систем зростають набагато швидше; ця невідповідність змушує виробників шукати золоту середину між ціною та якістю.

- Конструктивні особливості індустріалізованих конструкцій підсилювачів мають парадокси, які вирішуються розробниками шляхом компромісу.

Останнім часом увага приділяється створенню нових принципів створення підсилювачів звукової частоти, які мають на меті вирішити існуючі проблеми економічного та конструктивного значення.

Найбільшою проблемою при проектуванні та розробці сучасних підсилювачів є покращення їх частотних і тривалих характеристик при мінімізації їх загального розміру та ваги.

Під час проектування потрібно враховувати ряд факторів:

- необхідність точного підбору вхідного імпедансу підсилювача для запобігання генерації другої гармоніки сигналу;
- підвищення лінійності і зниження колекторного імпедансу в каскаді посилення напруги за рахунок використання супербетатранзистора;
- обирання оптимального опору навантаження, адже біполярний транзистор має більший коефіцієнт нелінійних спотворень при роботі на навантаження опором 4 Ом, чим при восьмиомному навантаженні;
- виявлення того факту, що в звичайному вихідному каскаді на біполярних транзисторах величина постійного струму не робить вирішального впливу на якість посилення, що дійсно важливо - так ця напруга між емітерами транзисторів;
- польові транзистори в ППЗЧ, протягом багатьох років рекламовані як посилення, що мають кращу лінійність, насправді володіють в порівнянні з біполярні мі транзисторами гіршій лінійністю характеристик;
- у більшості ППЗЧ головним джерелом спотворень є не самі підсилювальні каскади, а наведення по шинах живлення і нестабільність джерела живлення;
- не дивлячись на численні публікації осцилограм, що зображають послідовність прямокутних імпульсів, спотворених перешкодами, заявлених як демонстрація перехідної характеристики при роботі підсилювача на навантаження, місткості, насправді подібні діаграми демонструють спотворення, викликані вихідною індуктивністю і імпедансом навантаження, і мало що говорять про стабільність посилення.

1.2 Огляд мікросхем підсилювачів потужності звукових частот

Одноканальні підсилювачі.

Мікросхема TDA7256 від SGS Thomson - це підсилювач потужності класу АВ, який має механізм захисту від короткого замикання на виході, цей механізм призначений для запобігання короткого замикання на виході, замикання на землю та короткого замикання напруги живлення. Мікросхема також має диференціальний вхід, режими Mute і Stand By. Він може працювати з навантаженням, яке має опір 4 або 2 Ом.

Основні електричні характеристики TDA7256:

Напруга живлення, В	8...18 (тип. 14,4);
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	80;
Вхідний опір, кОм	50;
Максимальна вихідна потужність(КГ=10%), Вт:	
$R_H=4 \text{ Ом}$	22;
$R_H=2 \text{ Ом}$	30;
Номінальна вихідна потужність(КГ=0,5%), Вт:	
$R_H=4 \text{ Ом}$	18;
$R_H=2 \text{ Ом}$	25.

Чіп знаходиться в корпусі Multiwatt 11, який встановлений на радіаторі, фланець підключений до загального проводу, але через особливості мікросхеми він повинен бути підключений до радіатора через слюдяний ізолятор.

Типова електрична схема включення TDA7256 показана на рис. 1.1.

Мікросхема TDA2050 є підсилювачем класу АВ 2050-х років. Він відрізняється від попереднього чіпа тим, що має більшу потужність виробляти електроенергію. Мікросхема також має вихідний захист від короткого замикання і термозахист.

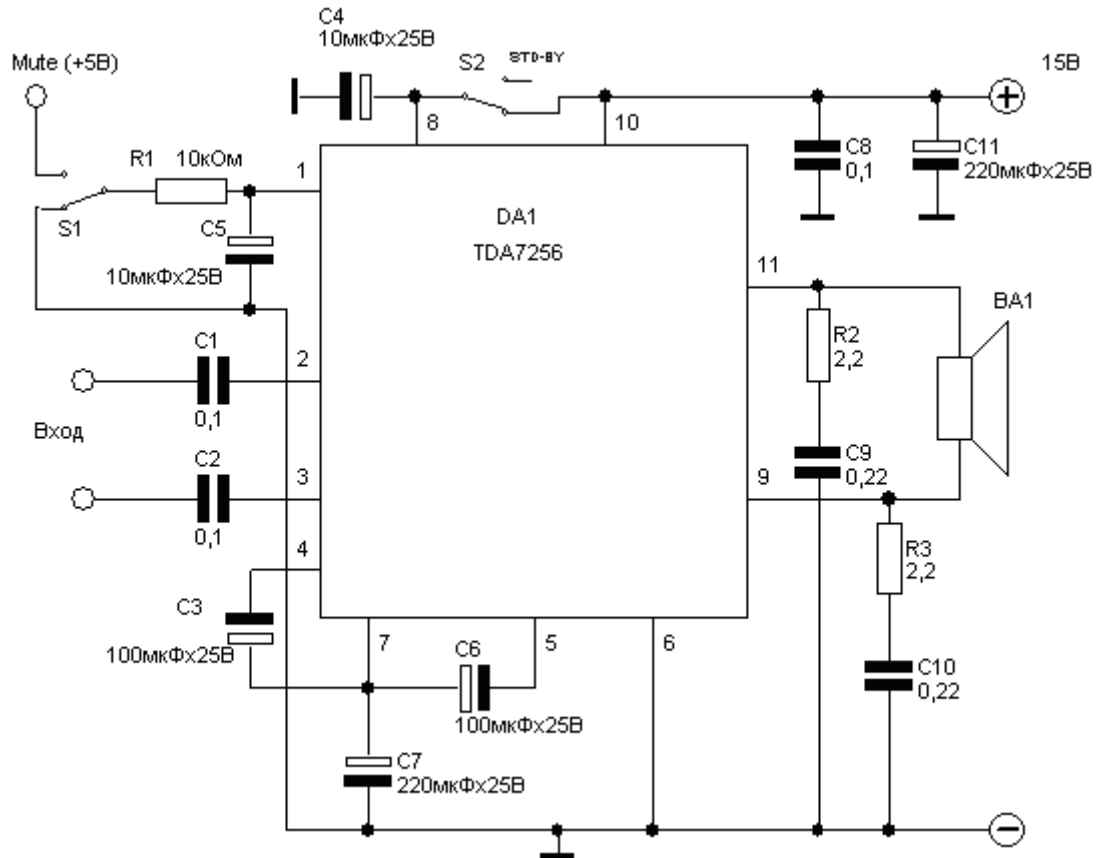


Рисунок 1.1 – Типова електрична схема включення TDA7256

Основні електричні характеристики TDA2050:

Напруга живлення, В	+/-4.5...25(тип.+/-22);
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	50;
Вхідний опір, кОм	500;
Максимальна вихідна потужність(КГ=10%), Вт:	35;
Номінальна вихідна потужність(КГ=0,5%), Вт:	28;
Діапазон відтворюваних частот, Гц	20...80000.

Типова електрична схема включення TDA2050 показана на рис. 1.2.

Чіп виконаний в корпусі Pentawatt V. За даними фірми виробника коефіцієнт гармонік складає всього 0,03% при вихідній потужності 24 Вт .

Двоканальні підсилювачі.

Їх перевагами є менший розмір підсилювача, менша вартість порівняно з одноканальними підсилювачами. Однак є і недоліки. За рахунок більшої потужності підвищується їх температура, знижується ККД.

Мікросхема TDA1557Q від Philips Semiconductors - це універсальний підсилювач, який перемикається між класами AB і BC. Він має схему, яка запобігає пожежі на виході та перегріву. Активовано режим Mute. Він доступний у варіанті DBS13P.

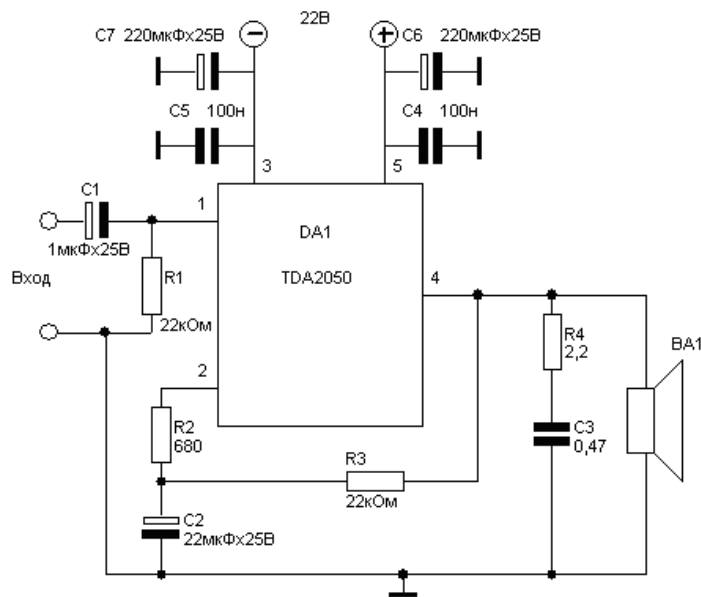


Рисунок 1.2 – Типова електрична схема включення TDA2050

Типова електрична схема включення TDA1557 зображена на рис. 1.3.

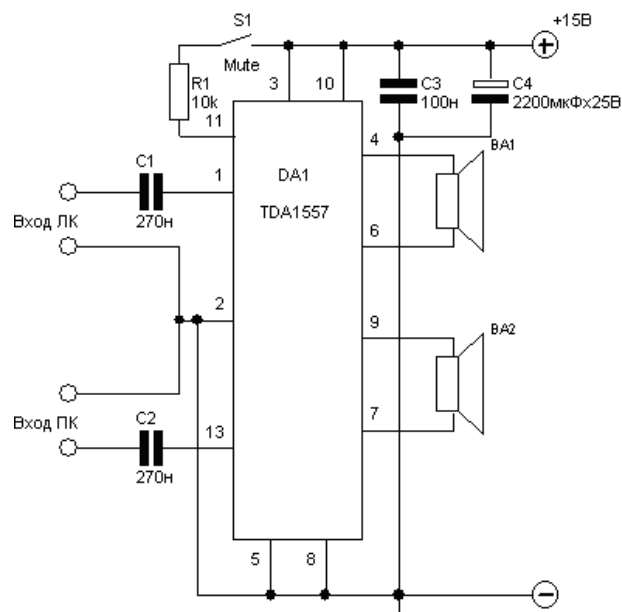


Рисунок 1.3 – Типова електрична схема включення TDA1557

Основні електричні характеристики TDA1557Q:

Напруга живлення, В	8...18(тип. 14,4);
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	80;
Вхідний опір, кОм	30;
Максимальна вихідна потужність(КГ=10%), Вт:	22;
Номинальна вихідна потужність(КГ=0,5%), Вт:	17;
Діапазон відтворюваних частот, Гц	20...15000.

Мікросхема TA82010 від Toshiba. Підсилювач з мостом призначений для запобігання короткого замикання на виході, замикання на землю та додаткової потужності. Ще одна перевага полягає в тому, що він також захищений від перегріву. Функції Mute і StandBy активовані. Мікросхема виготовлена в корпусі HZIP17-P.

Основні електричні характеристики TA8210:

Напруга живлення, В	9...18 (тип.14.4);
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	120;
Вхідний опір, кОм	30;
Максимальна вихідна потужність(КГ=10%), Вт:	22;
Номинальна вихідна потужність(КГ=0,5%), Вт:	15;
Діапазон відтворюваних частот, Гц	20...20000.

Типова електрична схема включення TA8210 показана на рис. 1.4.

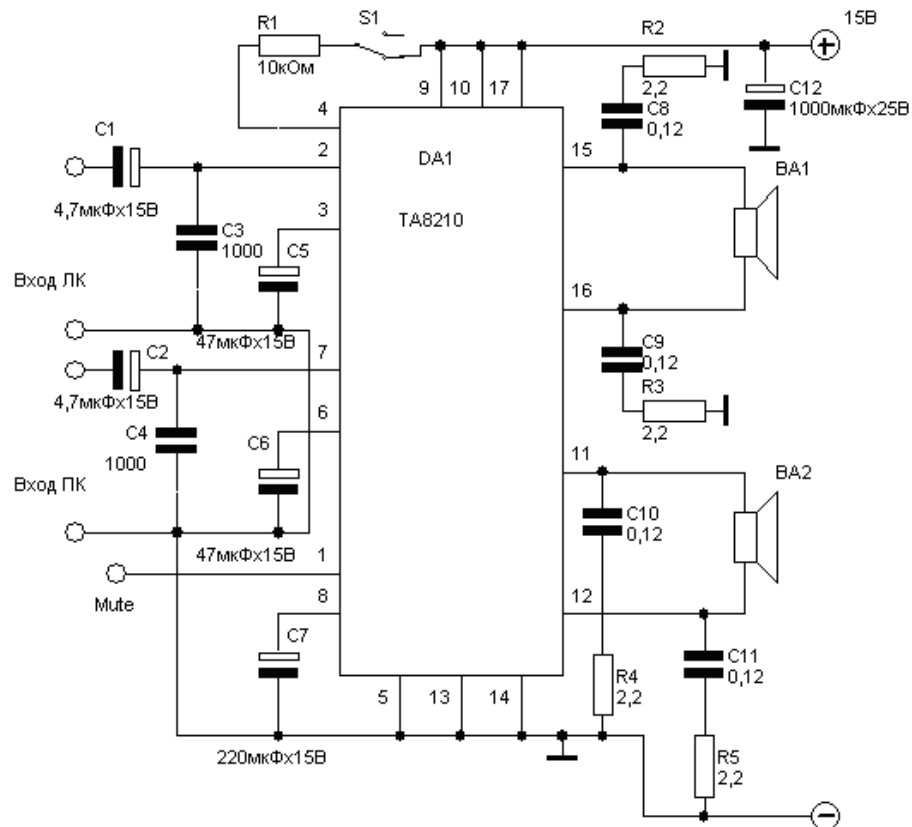


Рисунок 1.4 – Типова електрична схема включення TA8210

Чотириканальні підсилювачі призначені для використання в автомобільній промисловості.

TDA7560, виробництва SGS-Thomson. Підсилювачі потужності класу АВ мають механізм захисту від короткого замикання на виході, цей механізм призначений для запобігання короткого замикання виходу на землю і додаткового живлення, механізм також призначений для запобігання перегріву. Виконуються функції відключення звуку та зупинки. Крім того, бракує значних додаткових компонентів (рис.1.5). Мікросхема ефективна при навантаженні 2 Ом. Він доступний у 25-ватному пакеті з Flexiwatt.

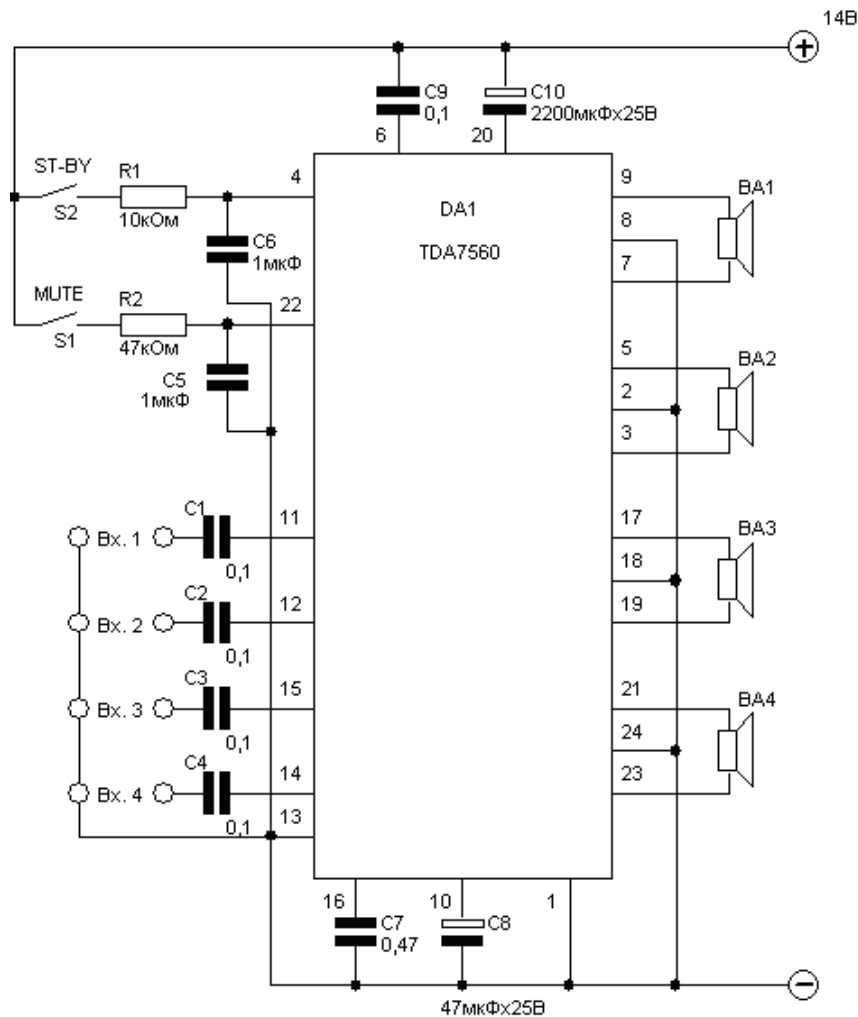


Рисунок 1.5 – Типова електрична схема включення TDA7560

Основні електричні характеристики TDA7560:

Напруга живлення, В	8...18 (тип. 14,4);
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	200;
Вхідний опір, кОм	100;
Максимальна вихідна потужність(КГ=10%), Вт:	
$R_H = 4 \text{ Ом}$	30;
$R_H = 2 \text{ Ом}$	55;
Номінальна вихідна потужність(КГ=0,5%), Вт:	
$R_H = 4 \text{ Ом}$	22;
$R_H = 2 \text{ Ом}$	41;
Діапазон відтворюваних частот, Гц	20...20000

Типова електрична схема включення TDA7560 показана на рис. 1.5.

Мікросхема TDA8571J є частиною групи Semiconductors від Philips. Підсилювач класу В для мостів. Повний набір засобів захисту від виходу та температури. Додаткові компоненти практично не потрібні. Пакет SOT411-1.

Основні електричні характеристики TDA8571J:

Напруга живлення, В	6...18 (тип.14.4)
Струм споживання за відсутності сигналу, мА	200
Вхідний опір, кОм	30
Максимальна вихідна потужність($K\Gamma=10\%$), Вт:	26
Номінальна вихідна потужність($K\Gamma=0,5\%$), Вт:	19
Діапазон відтворюваних частот, Гц	20...20000

Типова електрична схема включення TDA8571 показана на рис.1.6.

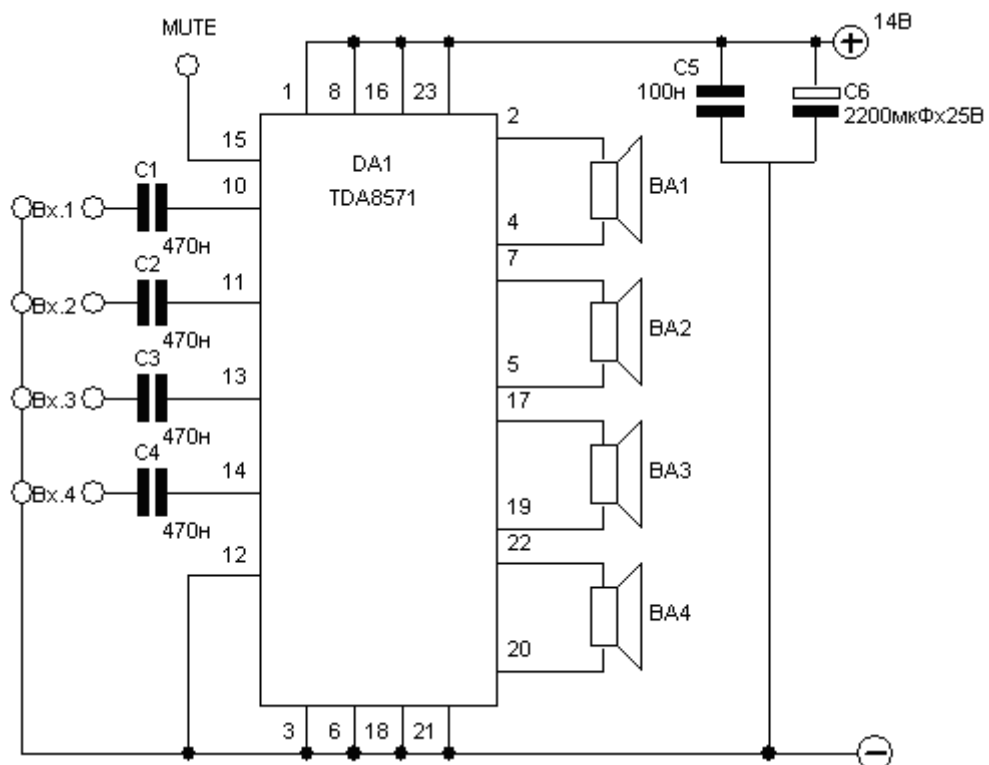


Рисунок 1.6 – Типова електрична схема включення TDA8571

Мікросхема TDA8591 виробництва Philips Semiconductors. На відміну від попереднього чіпа, він використовує навантаження 2 Ом і має більшу ємність.

Типова електрична схема включення TDA8591 показана на рис. 1.7

Основні електричні характеристики TDA8591:

Напруга живлення, В 8...18 (тип. 14,4);

Струм споживання за відсутності сигналу, мА 200;

Вхідний опір, кОм 70;

Максимальна вихідна потужність($K\Gamma=10\%$), Вт:

$R_H = 4 \text{ Ом}$ 28;

$R_H = 2 \text{ Ом}$ 47;

Номінальна вихідна потужність($K\Gamma=0,5\%$), Вт:

$R_H = 4 \text{ Ом}$ 22;

$R_H = 2 \text{ Ом}$ 34;

Діапазон відтворюваних частот, Гц 20...20000.

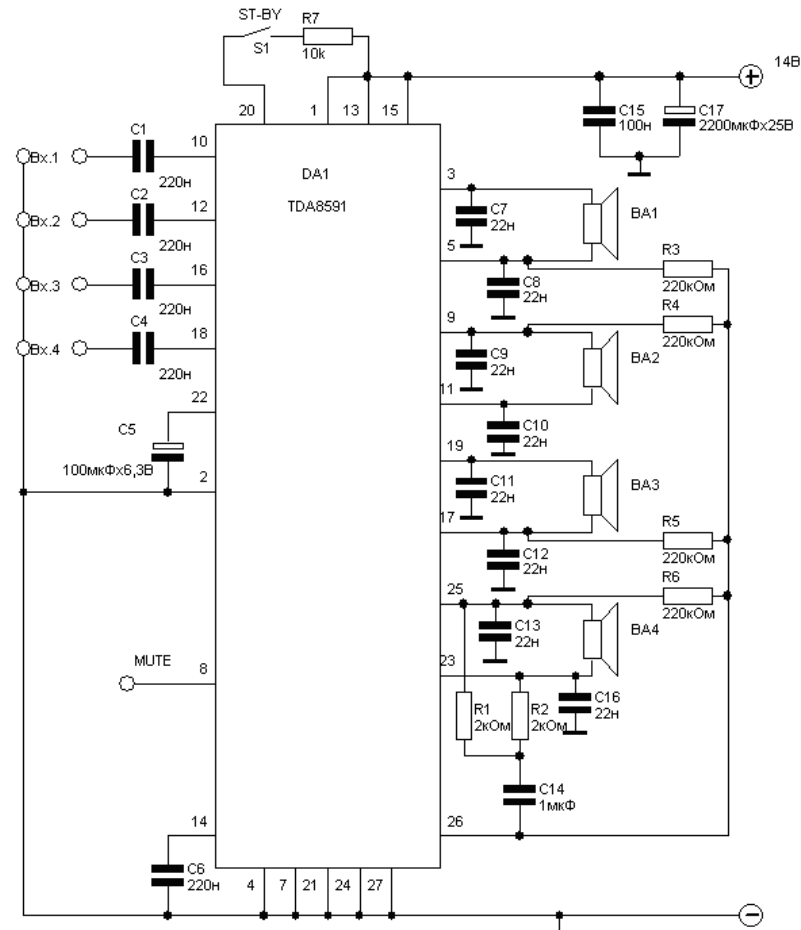


Рисунок 1.7 – Типова електрична схема включення TDA8591

Якщо схема знаходження постійної напруги на виході не потрібна, то більшість пасивних компонентів в схемі (R1-R6, C14) будуть непотрібними, а 26-й висновок мікросхеми підключається до загального проводу.

Мікросхема LM3886 є представником сімейства Overture, фірма “National Semiconductor”. За її допомоги можна отримати до 100 Вт миттєвої пікової синусоїдальної потужності, а це дорівнює 180 Вт звукової потужності.

Основні електричні характеристики LM3886:

Напруга живлення, В 8...18 (тип. 14,4);

Струм споживання за відсутності сигналу, мА 200;

Захист: від перегріву, перенавантаження, перенапруги.

Максимальна вихідна потужність($KГ=10\%$), Вт:

$R_H = 4 \text{ Ом}$ 180;

Відношення сигнал/шум, дБ 98..120;

Номінальна вихідна потужність($KГ=0,05\%$), Вт:

$R_H = 4 \text{ Ом}$ 100;

Діапазон відтворюваних частот, Гц 20...20000.

Типова електрична схема включення LM3886 показана на рис. 1.8.

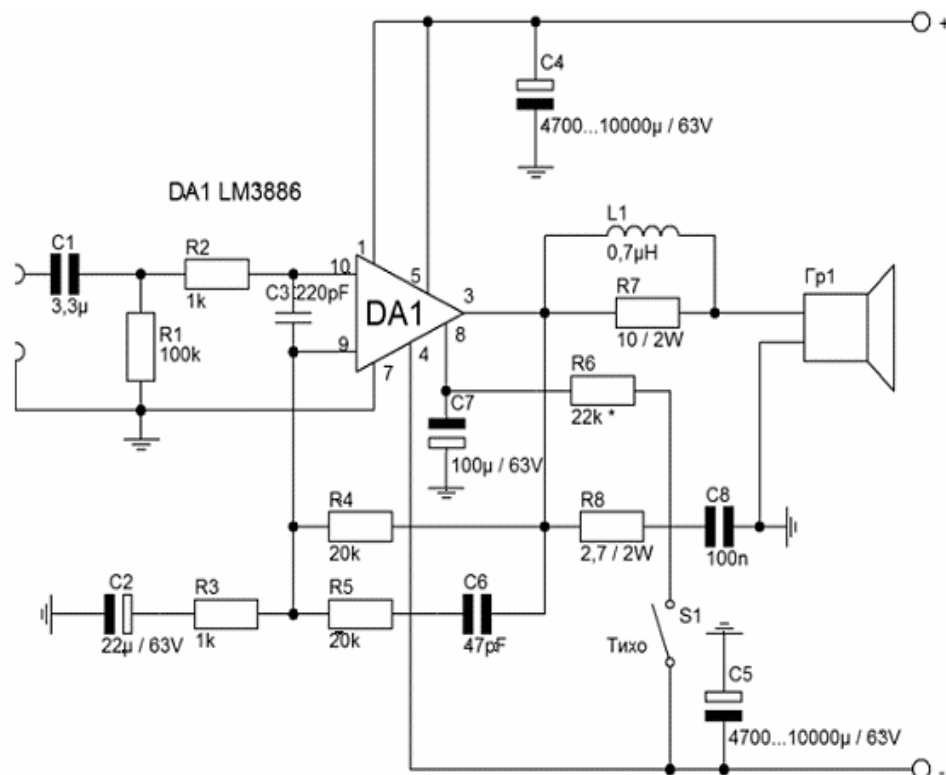


Рисунок 1.8 – Типова електрична схема включення LM3886

1.3 Огляд сучасних аудіо процесорів

Із усього спектру аудіо процесорів візьмемо для розгляду два найрозповсюдженіших аудіо процесора: TEA6360 та LMC1983.

ІМС LMC1983 фірми National Semiconductor представляє собою трьохканальний стереоселектор і регулятор гучності і тембру. Вона має 28 виводів, живиться від напруги 6 - 12 В і вносить в сигнал всього 0,008% нелінійних спотворень. У табл. 1.1 наведені її основні характеристики, на рис. 9 показані зовнішній вигляд і цоколевка, а на рис. 10 - функціональна схема і призначення висновків ІС LMC1983. Дана ІВ працює наступним чином.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики ІМС LMC1983

1	2
Параметр	Значення
Напруга живлення, В	9-16
Споживаний струм, мА	15
Максимальна вхідна напруга (діюча), В	2,0 (напрузі живлення 12 В)
Типове значення КНС, %	0,008 (при вхідній напрузі 0,3 В)
Розділення каналів, дБ	75
Послаблення рівня гучності при вимкненні гучності, дБ	105
Діапазон регулювання гучності, дБ	80 (з кроком 2 дБ)
Діапазон регулювання нижніх частот	± 12 (на частоті 100 Гц, з кроком 2 дБ)
Діапазон регулювання високих частот, дБ	± 12 (на частоті 10 кГц, з кроком 2 дБ)
Регулювання балансу каналів, дБ	0,2
Відношення сигнал / шум, дБ	95 (0 дБ = 1 В, дійсне значення)
Максимальна тактова частота, МГц	5

Внутрішній селектор входів і режимів ІМС LMC1983 діє як перемикач на два положення і чотири напрямки, який може вибрати один з трьох стереофонічних входів або режим вимкнення звуку (нульовий вхід). Він видає буферизований сигнал вибраного входу на виводи 7 і 22 відповідно через перемикач, що дозволяє вибрати стереофонічний або монофонічний (лівий або правий канал) режими. Сигнали, що видаються на виводи 7 і 22, можуть піддаватися зовнішнім перетворенням (наприклад, системою динамічного шумоподавлення) або можуть бути подані через конденсатор на виводи 8 і 21 ІМС. Сигнали, що надходять на виводи 8 і 21, проходять через здвоєний регулятор тембру і незалежні регулятори гучності, до того ж в цій ІМС може включатися тонкомпенсація. Вихідні сигнали через буферні підсилювачі подаються на виводи 13 і 16 ІМС.

Тактова частота	Дані
Цифровий вхід 1	Ідентифікація
Цифровий вхід 2	Напруга живлення
Вхід 1 лівого каналу	Вхід 1 правого каналу
Вхід 2 лівого каналу	Вхід 2 правого каналу
Вхід 3 лівого каналу	Вхід 3 правого каналу
Вихід селектора лівого каналу	Вихід селектора правого каналу
Вхід селектора лівого каналу	Вхід селектора правого каналу
Вхід регулятора тембру лівого каналу	Вхід регулятора тембру правого каналу
Вихід регулятора тембру лівого каналу	Вихід регулятора тембру правого каналу
Вихід ОП лівого каналу	Вихід ОП правого каналу
Гучність лівого каналу	Гучність правого каналу
Головний вихід лівого каналу	Головний вихід правого каналу
Шунт	Загальний

Рисунок 1.9 - Зовнішній вигляд і цоколівка ІМС LMC1983

На рис. 1.10 представлена функціональна схема ІМС LMC1983, а типова схема включення на рис. 1.11. Конденсатори по 8,2 нФ, включені між виводами 8 і 9 (20 і 21) і між виводами 10 і 11 (18 і 19), визначають частотну характеристику, а два RC-кола (56 кОм, 240 пФ, 220 нФ і 1 , 5 кОм), включені

між виводами 11 і 12 (17 і 18) і загальним проводом, утворюють корекцію регулятора гучності. Переключення селектора каналів та вимкнення звуку, а також регулювання тембру і гучності здійснюються за допомогою цифрових сигналів, що подаються на виводи 1, 27 і 28 по трипровідній інтерфейсній шині INTERMETAL (IM). При включенні живлення ІМС рівень гучності автоматично задається мінімальним, а регулятори тембру встановлюються в середнє положення (плоска частотна характеристика). Виводи 2 і 3 цифрового входу не є безпосередньою частиною керуючої схеми, вони лише дозволяють зовнішнім пристроям посилати однобітову інформацію до зовнішньої керуючої мікропроцесорної системи через вивід передачі даних 28.

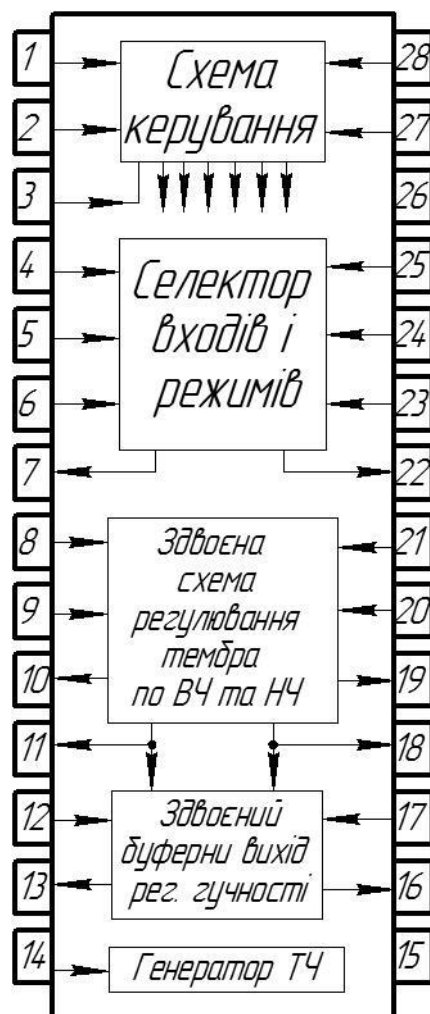


Рисунок 1.10 - Функціональна схема LMC1983

Тут необхідно зазначити, що оскільки ІМС LMC1983 використовує для керування мікропроцесор, то вона не підходить для замовних або дрібносерійних систем, а призначена для аудіосистем, що випускаються великими партіями, виробничі витрати при випуску яких (оскільки вони не використовують зовнішні змінні резистори або перемикачі та, взагалі, використовують дуже не велику кількість зовнішніх елементів) будуть зовсім невеликими. Інженери-розробники апаратури, які передбачають серйозну експлуатацію ІМС LMC1983, повинні врахувати таку інформацію, що стосується її цифрового керування.

Керуючі команди посилаються на ІМС LMC1983 у вигляді цифрових сигналів і подаються на виводи 1, 27 і 28 через трипровідну інтерфейсну шину ICM (рис. 1.12). Вивід 28 є входом послідовних даних. Команди надходять на цей вивід у вигляді 16-розрядних слів, у яких перші вісім розрядів - це адреса, призначена для вибору ІМС LMC1983 і однією з восьми її основних функцій, а інші вісім розрядів є словом даних, яке встановлює значення обраної функції.

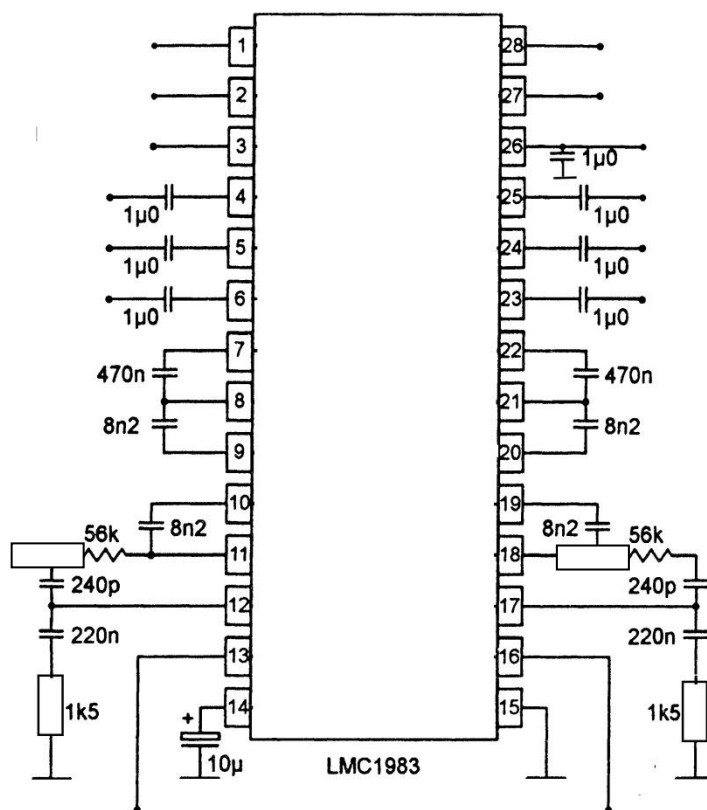


Рисунок 1.11 - Типова схема включення ІМС LMC1983

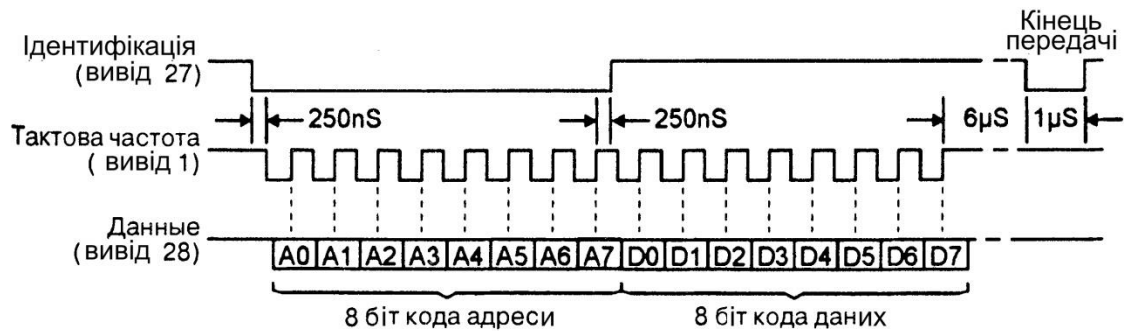


Рисунок 1.12 - Часова діаграма сигналів інтерфейсної шини INTERMETAL IMC LMC1983

Кожний з 16 біт приймається в ІМС по передньому фронту тактового сигналу, що подається на вивід 1, а сигнали на виведенні 27 (ідентифікація) дозволяють ІМС ідентифікувати адресну частину і дані 16-розрядного слова, що надходить на вивід 28, а також команду EOT (кінець передачі). На рис.1.13 показані часові діаграми інтерфейсної шини INTERMETAL IMC LMC1983, а в табл.1.2 перераховані 16-бітові коди програмування, що використовуються цією ІМС. Необхідно відзначити, що в розділах табл. 1.3, що стосуються регулювання тембру і гучності, перераховані коди тільки для деяких конкретних значень, а всі проміжні значення можна визначити, виходячи з цих даних. Регулювання тембру і гучності проводиться з кроком 2 дБ, і рівень гучності, наприклад -20 дБ, може бути встановлений при подачі коду XX001010 (тобто на десять двійкових ступенів більше, ніж код XX000000, що відповідає величині 0 дБ), а рівень гучності -60 дБ задається кодом XX011110 (на тридцять ступенів більше, ніж код, відповідний величині 0 дБ) і т.д.

Таблиця 1.2 - Перелік основних 16-розрядних кодів та їх функцій для інтерфейсу ІМ, використовуваного для роботи з ІМС LMC1983

	Функція	Дані (D7-D0)	Вибрана функція
01000000	Вибір вхідного сигналу і вимкнення звуку	XXXXXX00 XXXXXX01 XXXXXX10 XXXXXX11	Вхід 1 Вхід 2 Вхід 3 Вимкнення звуку
01000001	Гучність	XXXXXXXX0 XXXXXXXX1	Гучність вимкн. Гучність вімк.
01000010	Низькі частоти	XXXX0000 XXXX0011 XXXX0110 XXXX1001 XXXX11XX	-12дБ -6 дБ Лінійна характерист. +6 дБ + 12Б
01000011	Високі частоти	XXXX0000 XXXX0011 XXXX0110 XXXX1001 XXXX11XX	-12дБ -6 дБ Лінійна характерист. +6 дБ + 12Б
01000100	Гучність лівого каналу	XX000000 XX010100 XX101XXX XX11XXXX	0 дБ -40 дБ -60 дБ -80 дБ
01000101	Гучність правого каналу	XX000000 XX010100 XX101XXX XX11XXXX	0 дБ -40 дБ -60 дБ -80 дБ
01000110	Вибір режиму	XXXXX100 XXXXX101 XXXXX11X	Лівий, моно Сtereo Правий, моно
01000111	Зчитування коду з цифрових входів 1 або 2 інтерфейсної шини ІМ	XXXXXXXXD1D0	D0 - цифровий вхід 1 D1 - цифровий вхід 2

На цьому розгляд ІМС LMC1983 завершується. Переходимо до розгляду ІМС TEA6320.

TEA6320- це інтегральна схема-регулятор звукового сигналу, яка представляє собою звуковий двоканальний (стереофонічний) попередній підсилювач з цифровим керуванням по шині I2C. Використовується в системах Hi-Fi.

Основні функції аудіо процесора TEA6320:

- вибір одного з чотирьох стереоканалів або одного моно;
- можливість підключення зовнішнього шумоподавлювача;
- можливість підключення зовнішнього еквалайзера;

Регулювання гучності і балансу, діапазон регулювання: від -86 дБ до +20 дБ з кроком 1 дБ;

Регулювання рівня тембру високих та низьких частот, діапазон регулювання: від 15 дБ (12 дБ для середніх) до -12 дБ з кроком 1,5 дБ;

Тонкомпенсація при зміні рівня гучності;

Автоматичне вимкнення звуку при зниженні гучності до нуля;

Швидке ввімкнення та вимкнення звуку по шині I2C;

Швидке ввімкнення та вимкнення звуку по виходу MUTE;

Всі функції керування здійснюються по шині I2C;

Основні параметри мікросхеми наведені в таблиці XXX

Таблиця 1.3 - Основні параметри мікросхеми TEA6320

Параметр	По	Мі	Се	М	Од
Напруга	Uживл.	7,5	8,5	9,5	В
Струм споживання (Uживл. = 8,5 В)	Iживл	-	26	-	мА
Максимальна напруга на вході (Uживл = 8,5 В, K _Г < 0,1%)	-	-	2000	-	мВ
Коефіцієнт підсилення	Kпідс	-86	-	+20	дБ
Відношення (Сигнал + Шум)/Шум	(S+N)/N	-	105	-	дБ
Продавлення пульсацій	-	-	76	-	дБ
Розділення каналів	-	90	96	-	дБ
Температурний діапазон	-	-40	-	+85	°C

Призначення виводів мікросхеми TEA6320 приведено в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 - Призначення виводів мікросхеми TEA6320

По	Назва
SD	Лінія даних шини I2C
GN	Загальний для шини I2C
OU	Тиловий вихід лівого каналу
OU	Фронтальний вихід лівого каналу
TL	Конденсатор фільтра високих частот лівого каналу або вхід зовнішнього еквалайзера
B2L	Конденсатор фільтра нижніх частот лівого каналу або вхід зовнішнього еквалайзера
B1L	Конденсатор фільтра нижніх частот лівого каналу
IV	Вхід volume I, ліва керуюча частина
IL	Вхід loudness, ліва керуюча частина
QS	Вихід селектора входів лівого каналу
ID	Вхід D, лівий канал
M	Ввімкнення/вимкнення звуку
IC	Вхід C, лівий канал
IM	Вхід моно
IB	Вхід B, лівий канал
IA	Вхід A, лівий канал
IA	Вхід A, правий канал
IB	Вхід B, правий канал
CA	Електронний фільтр живлення
IC	Вхід C, правий канал
Vr	Опорна напруга (0,5 Uживл)
ID	Вхід D, правий канал
QS	Вихід селектора входів правого
IL	Вхід loudness правого каналу
IV	Вхід volume I, права керуюча частина
B1R	Конденсатор фільтра нижніх частот правого каналу
B2R	Конденсатор фільтра нижніх частот правого каналу або вхід зовнішнього еквалайзера
TR	Конденсатор фільтра високих частот правого каналу або вхід зовнішнього еквалайзера
OUTRF	Фронтальний вихід правого каналу
OUTRR	Тиловий вихід правого каналу
Vcc	Напруга живлення
SCL	Лінія синхронізації шини I2C

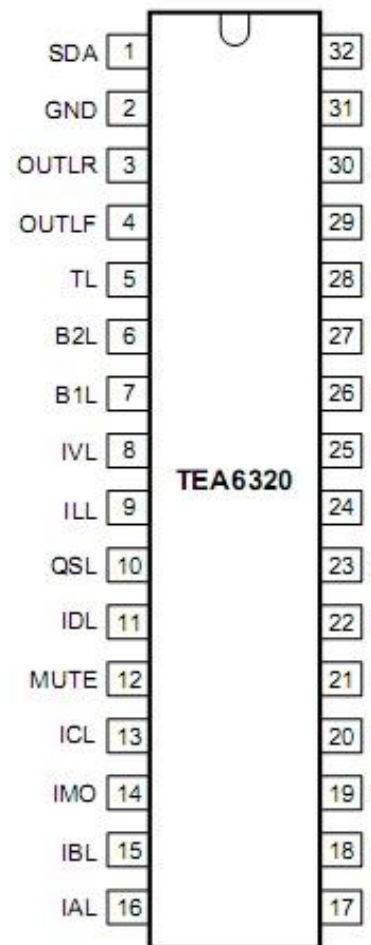


Рисунок 1.13 – Нумерація та назва виводів мікросхеми

Керування мікросхемою по шині I²C являє собою запис певних даних до внутрішніх регістрів мікросхеми.

Формат керуючого слова має вигляд:

S_SLAVE ADDRESS_A_SUBADDRESS_A_DATA_A_P,

Де: S – це стартовий імпульс;

SLAVE ADDRESS – це адреса (код) пристрою. Для випадку процесора TEA6360 його адреса буде 10000000;

A – це є роздільник полів керуючого слова (як відповідь на правильно прийнятий байт видається високий рівень пристроєм);

SUBADDRESS – це є адреса регістра керування параметром;

DATA – це дані встановлення величини параметра;

P – це стоповий імпульс, що вказує на закінчення видачі слова керування.

Значення байтів наведено в табл. 1.5 та 1.6 відповідно.

Контролер кожного разу видає керуюче слово, коли потрібно змінити той або інший параметр.

Початково здійснюється адресація самої мікросхеми. Для цього по лінії даних передається код пристрою.

Таблиця 1.5 - Перший байт - адреса пристрою

Ст. біт						Мол. біт		
1	0	0	0	0		1	0	АСК
							1 при записі	

Наступним кроком є адресація внутрішнього регістра TEA6320.

Таблиця 1.6 - Другий байт - субадреса

Функція	Ст. біт							Мол. біт
	7							0
Гучність	0							0
Регулятор правого	0							1
Регулятор лівого	0							0
Регулятор правого	0							1
Регулятор лівого тіла	0							0
Тембр НЧ	0							1
Тембр ВЧ	0							0
Переключення	0							1

Третій байт – це саме те значення яке буде записуватись в регістр що визначився на другому кроці. Значення третього байту наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Третій байт

Функція	Біт	Ст. біт							Мол. біт
									біт
Гучність									
Регулятор									
Регулятор									
Регулятор									
Регулятор									
Тембр НЧ									
Тембр ВЧ									
Переключення									

V0-V5 - загальне регулювання гучності. FFR-FFL - регулювання гучності правого і лівого переднього(фронтального) виходу; а FRR-FRL - правого і лівого заднього (тилового) виходу. Чим більше значення регістра , тим вищий рівень гучності. BAO-BA4 і TR0-TR4 – регулювання тембру високих та низьких частот відповідно. FCH – вибір каналу регулювання приглушення («1» — фронтальний, «0» - тилловий). MFN – ввімкнення/вимкнення звуку для обраного каналу (фронтальний або тилловий): «0» - звук вимкнений. SC2-SC0 – вибір джерела сигналу. GMU – керування загальним вимкненням звуку на всіх виходах: «0» - звук

ввімкнений, «1» - звук вимкнений. ZCM – точка автоматичного вимкнення звуку. LOFF – тонкомпенсація, вмикається коли встановлений «0».

Таблиця 1.8 - Вибір джерела сигналу

Вибраний вхід	SC2	SC1	SCO
Вхід А	1	1	1
Вхід В	1	1	0
Вхід С	1	0	1
Вхід D	1	0	0
Вхід моно	0	X	X

Таблиця 1.9 - Ввімкнення звуку

Функція	GMU	ZCM
Звук ввімкнено	0	0
Звук буде ввімкнено після слідуючого перетинання точки 0	0	1
Звук вимкнений	1	0
Звук буде вимкнено після слідуючого перетинання точки 0	1	1

З врахуванням всіх переваг та недоліків обох мікросхем обираємо більш функціональну та дешевшу TEA6320.

1.4 Практичні схеми сучасних цифрових підсилювачів потужності

Огляд сучасних публікацій, присвячених розробці цифрових підсилювачів, показав, що найбільшого поширення отримала ІМС TDA 7560. Це простий і надійний автомобільний підсилювач низької частоти, що володіє мінімальними коефіцієнтом нелінійних спотворень і рівнем власних шумів. Особливістю підсилювача є використання польових транзисторів у вихідних каскадах.



Рисунок 1.14 – Вигляд конструкції підсилювача на ІМС 7560

Підсилювач призначений для установки в автомагнітолі замість старого підсилювача низької частоти для підвищення її вихідної потужності, а також для проведення заходів на відкритому повітрі з використанням джерела живлення 12 В (аккумуляторної батареї), як основне джерело живлення апаратури.

Основні технічні характеристики:

Типова напруга живлення	14,4 В.
Робоча напруга живлення	6 - 18 В.
Струм у режимі спокою	200 мА.
Максимальна електрична вихідна потужність, при $R_H = 4 \text{ Ом}$, $U_H = 14,4 \text{ В}$	50 Вт.
при $R_H = 2 \text{ Ом}$, $U_H = 14,4 \text{ В}$	80 Вт.
Коефіцієнт підсилення по напрузі K_u :	26 дБ.
Вхідний опір:	100 кОм.
Діапазон відтворених частот	20 - 20000 Гц.
Розміри друкованої плати	51x50 мм.

Для побудови цифрового підсилювача потужності звукових частот потрібно обрати ІМС аудіопроцесора, сумісну з TDA7560. Огляд літературних джерел показав, що найбільш поширеними є аудіопроцесори (стереопроцесори) TDA7313 (TDA7439).

Розглянемо два приклади побудови на основі ІМС TDA7313 цифрових підсилювачів потужності з мікронтрлерним керуванням.

1) Цифровий 4-х каналний регулятор для підсилювача на TDA7313 (<http://www.radioland.net.ua/sxemaid-388.html>).

Програма розрахована на керування 2-ма стереопроцесорами TDA7313 утворюючи регулятор НЧ/ВЧ/гучності/балансу для квадро/стерео підсилювача. Для керування аудіопроцесорами використовується мікропроцесор PIC16F84, а для індикації режиму роботи застосований РКІ дисплей 7*2 (8*2 , 10*2) з контролером HD44780. Для індикації обраного аудіовходу є 3 світлодіода. У програмі передбачене збереження параметрів регулювання в енергонезалежній пам'яті. TDA7313 керується по шині I2C. Мікросхема TDA7313 має відносно гарні параметри, що дозволяє її використовувати в якісних підсилювачах (у даному підсилювачі використовувалися 4 мікросхеми TDA7294). Електричні схеми блоків цифрового підсилювача потужності подано відповідно на рис. 1.15 – рис. 1.17.

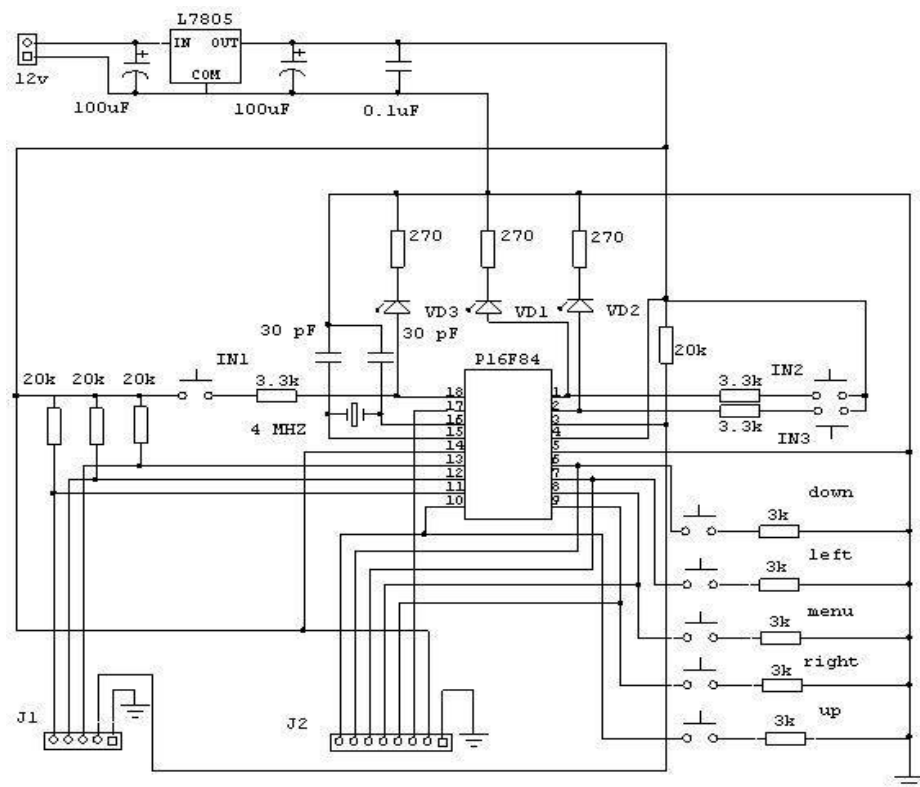


Рисунок 1.15 – Електрична схема блока мікропроцесора

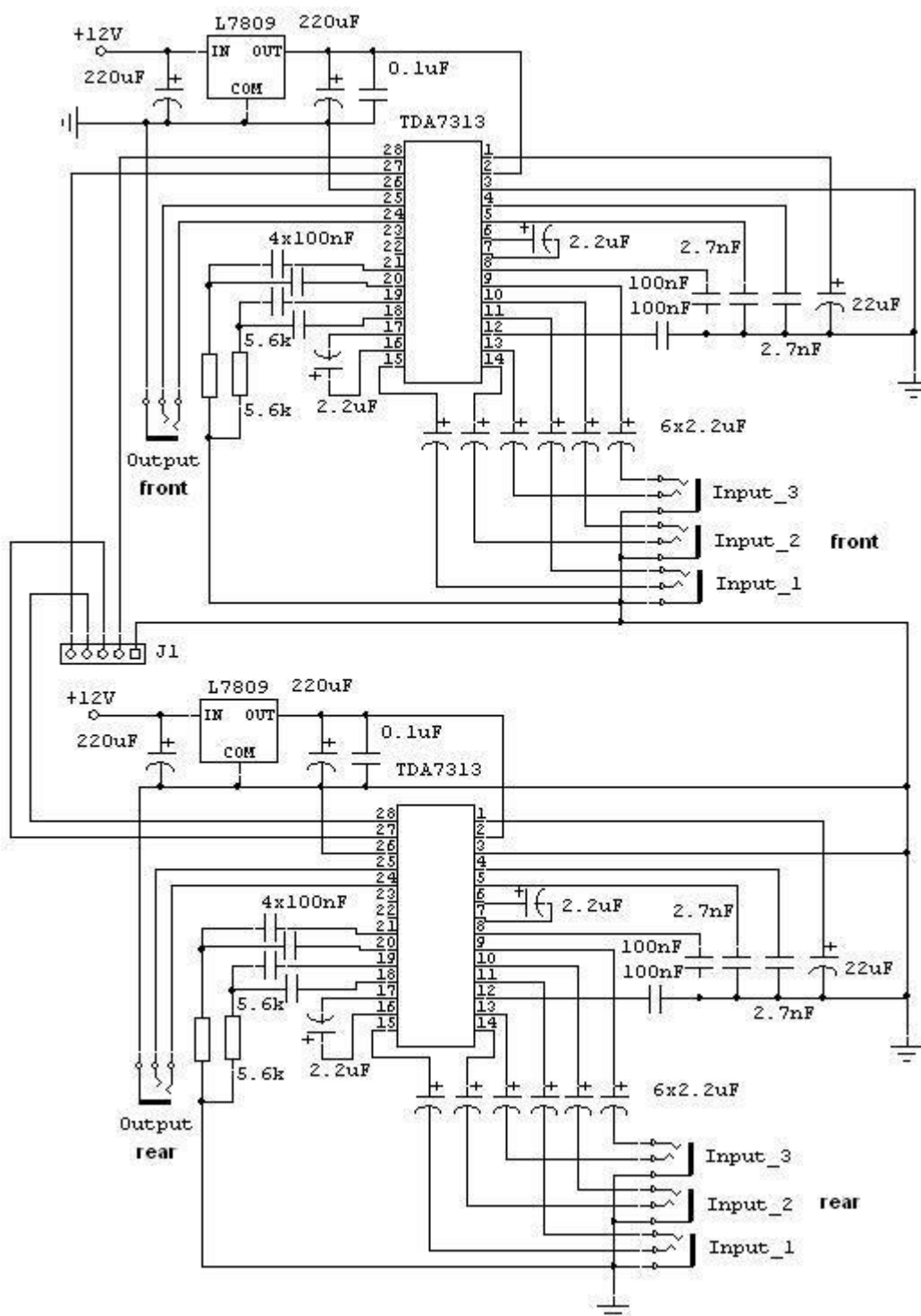


Рисунок 1.16 – Електрична схема блока аудіопроцесорів

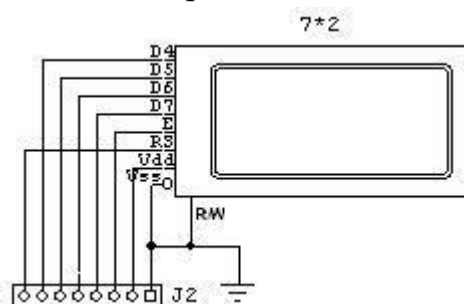


Рисунок 1.17 – Електрична схема блоку індикації

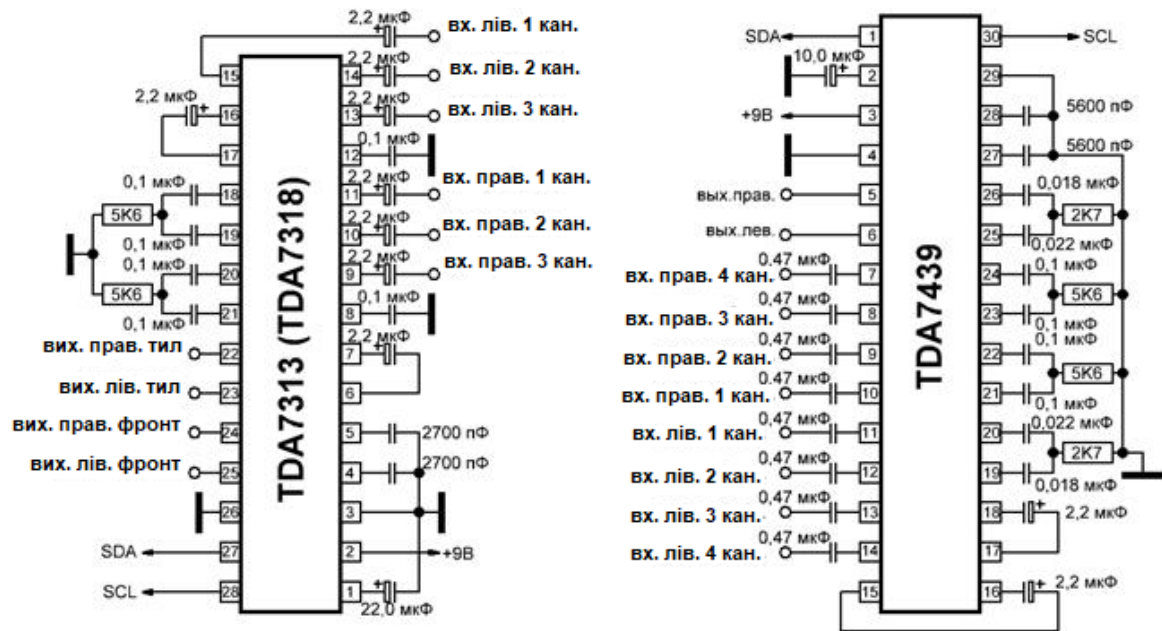


Рисунок 1.19 – Електрична схема блоку аудіопроцесора

У табл. 1.10 наведено основні технічні параметри цифрового темброблоку на основі аудіопроцесорів TDA7313 і TDA7439 з використанням мікроконтролера PIC16F628A.

Таблиця 1.10 – Основні параметри цифрового темброблоку на основі аудіопроцесорів TDA7313 і TDA7439

	TDA7313 (TDA7318)	TDA7439
Очікування	так	так
Гучність	64 рівня (−78,75...0dB)	48 рівнів (−47...0dB)
Високі	16 рівнів (−14...+14dB)	16 рівнів (−14...+14dB)
Середні	відсутні	16 рівнів (−14...+14dB)
Низькі	16 рівнів (−14...+14dB)	16 рівнів (−14...+14dB)
Баланс	64 рівня (−64...0dB)	80 рівнів (−80...0dB)
Передпідсилювач	0 и 11,25dB	фіксовано 28dB
Каналів	3 шт.	4 шт.
Приглушення	так	так

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Обґрунтування та вибір ІМС підсилювача потужності звукових частот

З наведеного вище аналізу сучасних ІМС підсилювачів потужності звукових частот обираємо TDA7560. Мікросхеми TDA7560 являють собою мостовий чотириканальний підсилювач потужності звукових частот з високою вихідною потужністю. Працює він в режимі АВ і призначений для застосування в автомобільній звуковідтворювальній апаратурі. На рис. 2.1 наведено блок-діаграму внутрішньої будови ІМС TDA7560

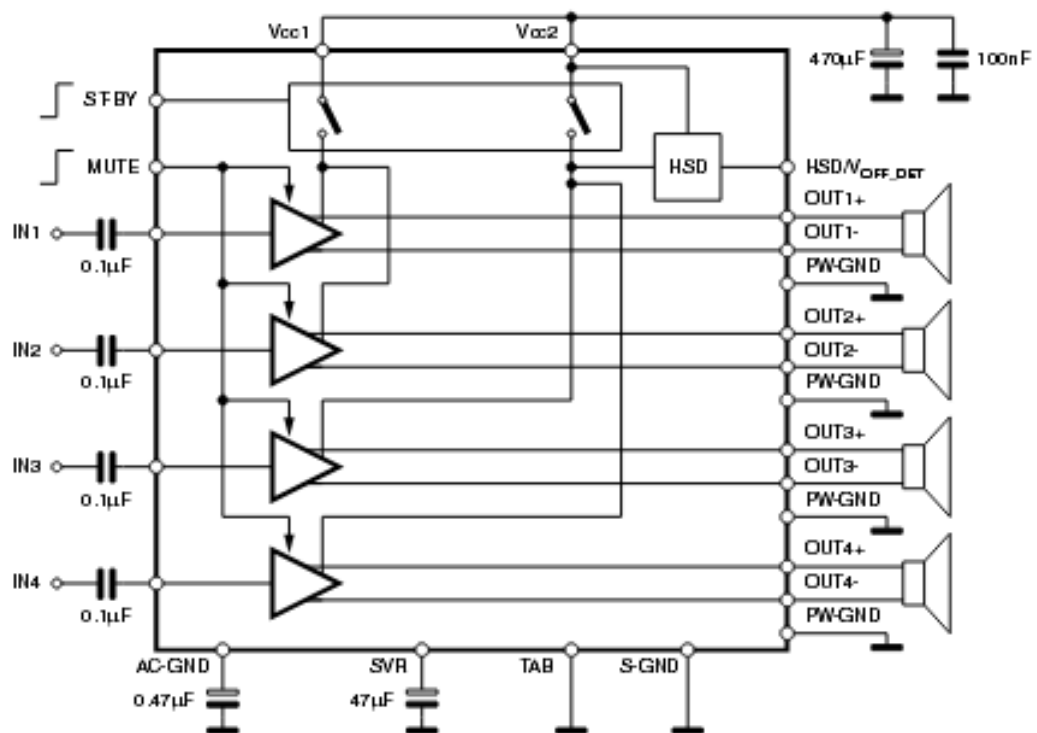


Рисунок 2.1 – Блок-діаграма будови ІМС TDA7560

Конструктивно підсилювач виконаний у пластмасовому корпусі Flexiwatt25 з 25-ю твердими лудженими виводами (рис. 2.2). Задня плоска сторона корпуса - металева тепловодна пластина. Цією стороною мікросхему кріплять до масивної стінки апарата, попередньо покривши площу стику теплопровідним змащенням. Маса приладу - не більше 10 гр.

Типову схему включення ІМС TDA7560 подано на рис. 2.3.

Основні технічні характеристики TDA7384 і TDA7560 наведено в табл. 2.1.

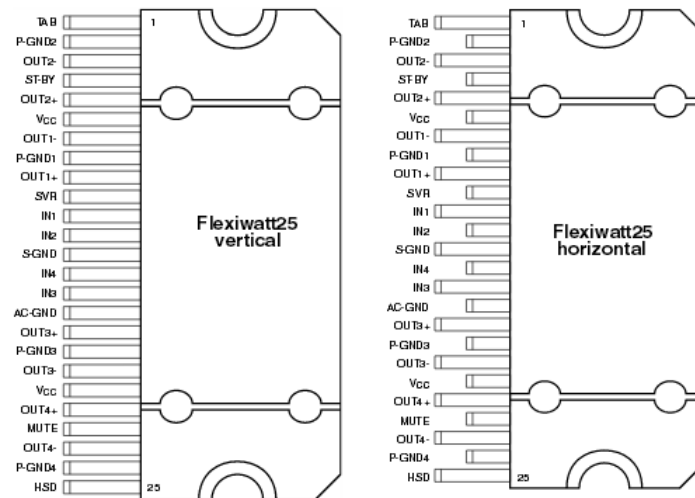
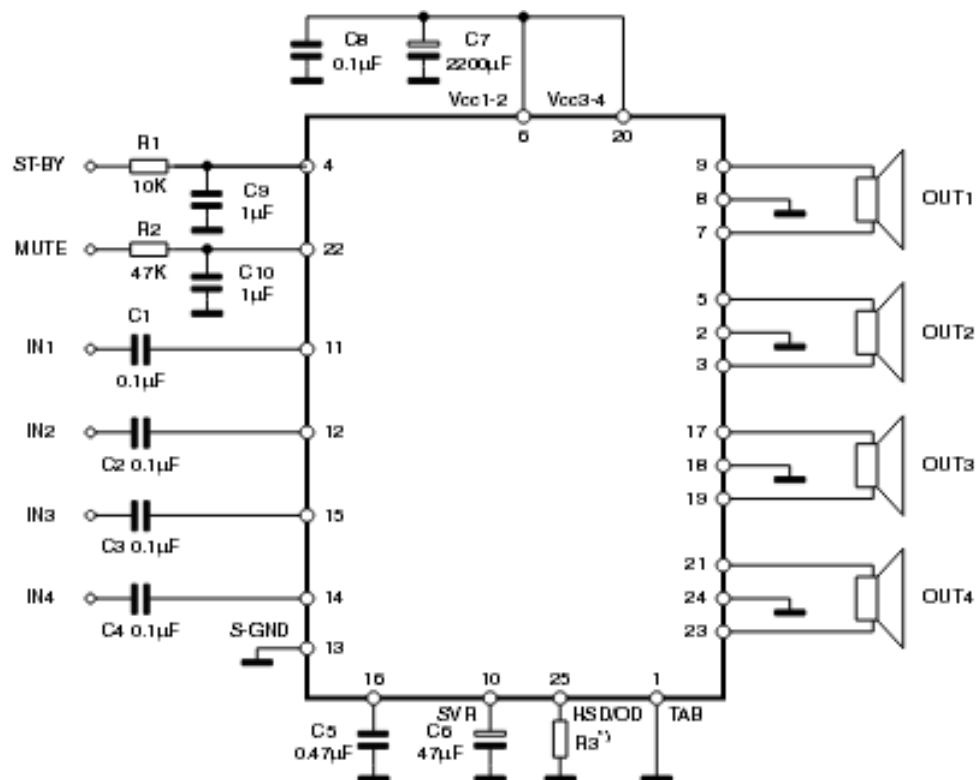


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд і цоколювка TDA7560



^{*)} R3 = 10kΩ to be placed when pin 25 is used as offset detector.

Рисунок 2.3 – Типова схема включення TDA7560

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики TDA7384 і TDA7560

ПАРАМЕТР	TDA7384	TDA7560
Споживаний струм, мА, під час відсутності сигналу при відключеному навантаженні	120...350	120...320
типове значення	190	190
Коефіцієнт підсилення по напрузі, дБ, мінімальний	25...27	25...27
типове значення	26	26
Розкид значень коефіцієнта підсилення по каналах, дБ, не більше	±1	±1
Вихідна потужність одного каналу, Вт, не менш, при напрузі живлення 13,2 В и коефіцієнті нелінійних перекручувань 10% на навантаження: 4 Ом 2 Ом	22 не вкл.	25 45
Вихідна потужність одного каналу, Вт, не менш, при напрузі живлення 13,2 В и коефіцієнті нелінійних перекручувань 0,8% на навантаження: 4 Ом 2 Ом	17 не вкл	19 34
Коефіцієнт нелінійних перекручувань, % (типове значення), при вихідній потужності 4 Вт	0,04	0,006
Найбільша напруга власних шумів, мкВ, у частотній смузі від 20 Гц до 20 кГц	70	70
типове значення	50	50
Найменше значення верхньої частоти смуги пропущення, кГц, при вихідній потужності 0,5 Вт	100	200
Нижня частота смуги пропущення, Гц, при ємності вхідних розділових конденсаторів 0,22 мкФ	20	20
Вхідний опір, кому, не менше	70	70
типове значення	100	120
Споживаний струм по виводу 4 у режимі "Stand-By", мкА	100	75
Зменшення рівня вихідного сигналу при переході в режим "Mute", дБ, не менше, при вихідній потужності 4 Вт	80	80
типове значення	90	90
Споживаний струм по виводу 22 у режимі "Mute", мкА	5...20	7...18
характеристики отримані при напрузі живлення 14,4 В, опорі навантаження 4 Ом, частоті вхідного сигналу 1 кГц, температурі навколишнього середовища 25°C.		
Граничні експлуатаційні значення		
Найбільша напруга живлення без вихідного сигналу, В	28	28
Найбільша імпульсна напруга живлення, В, при тривалості імпульсу не більше 50 мс	50	50

Продовження таблиці 2.1 – Основні технічні характеристики TDA7384 і TDA7560

Найбільша амплітуда вихідного імпульсного струму, А, при частоті вихідного сигналу 10 Гц і шпаруватості 10	4,5	9
при одиночних імпульсах тривалістю не більше 100 мкс	5,5	10
Максимальна вихідна потужність одного каналу, Вт (типове значення)	40	55
Найбільша розсіювана потужність, Вт, при температурі корпусу 70°C	80	80
Тепловий опір кристал-теплівідводна пластина, °C/Вт, не більше	1	1
Найбільша температура кристала, °C	150	150

2.2 Обґрунтування та вибір аудіопроцесора

Основні характеристики аудіопроцесора TDA7313:

- коефіцієнт нелінійних спотворень (гармонік) = 0,01%;
- відношення сигнал/шум = 106 дБ
- коефіцієнт ослаблення сусіднього каналу = 103 дБ;
- наявність 3-х стереовходів.

Блок-діаграма внутрішньої будови аудіопроцесора TDA7313 наведено на рис. 2.4. Цоколювка та призначення виводів аудіопроцесора TDA7313 наведено на рис. 2.5.

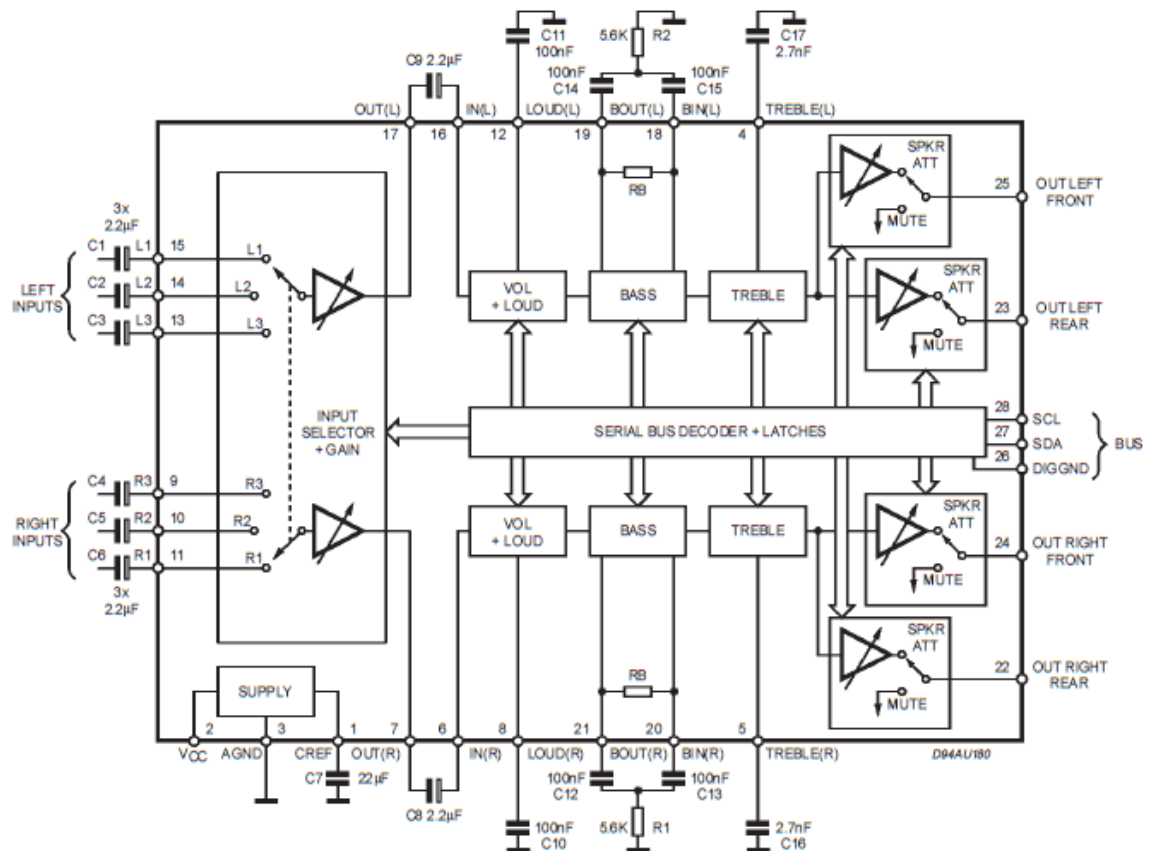


Рисунок 2.4 – Блок-діаграма внутрішньої будови аудіопроцесора
TDA7313

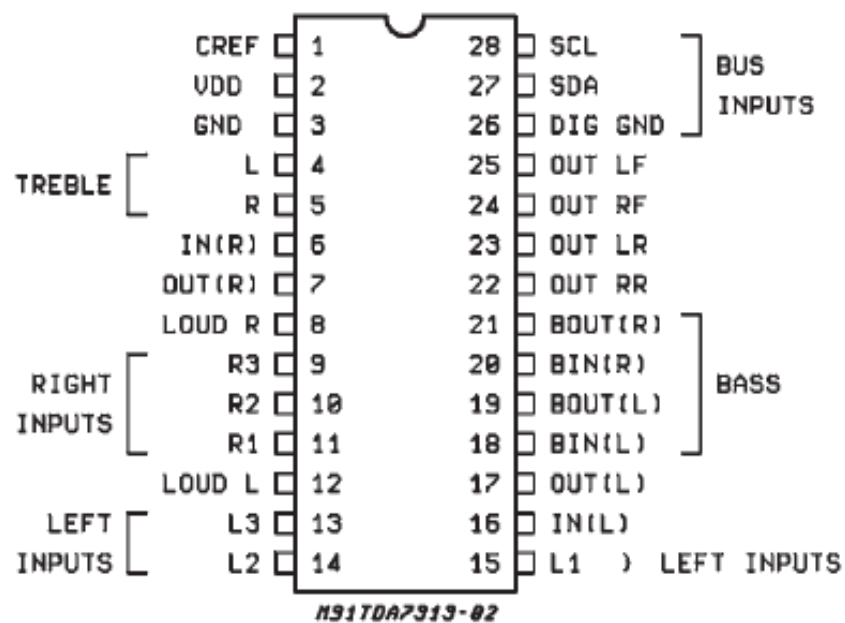


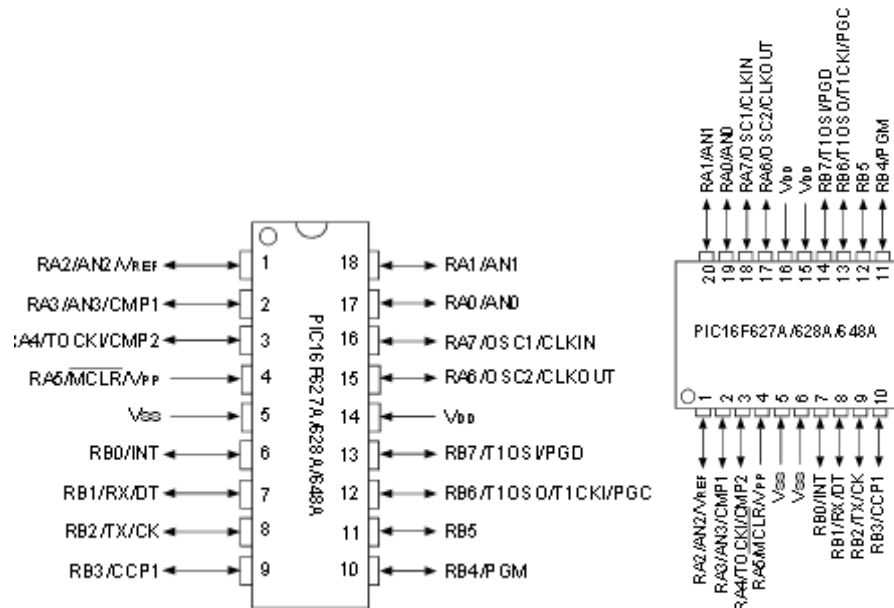
Рисунок 2.5 – Цоколювка та призначення виводів аудіопроцесора
TDA7313

2.3 Обґрунтування та вибір мікроконтролера

Для керування цифровим підсилювачем потужності по шині I2C оберемо мікроконтролер PIC16F628, основні параметри якого наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні параметри МК PIC16F628

Швидкодія	Максимальна тактова частота (МГц)	20
Пам'ять	Flash пам'ять програм (слів)	2048
	Пам'ять даних (байт)	224
	EEPROM пам'ять даних (байт)	128
Периферія	Таймери	TMR0, TMR1, TMR2
	Компараторів	2
	Модулів ССР	1
	Послідовний інтерфейс	USART
	Програмоване джерело опорної напруги	Присутнє
Додаткові характеристики	Кількість джерел переривань	10
	Кількість портів введення/виведення	16
	Напруга живлення (В)	3,5 – 5,0
	Детектор пониженої напруги живлення	Наявний
	Корпус	18-вивідний DIP, SOIC 20-вивідний SSOP



18-вивідний DIP, SOIC

20-вивідний SSOP

Рисунок 2.6 – Цоколювка та призначення виводів ІМС PIC16F628

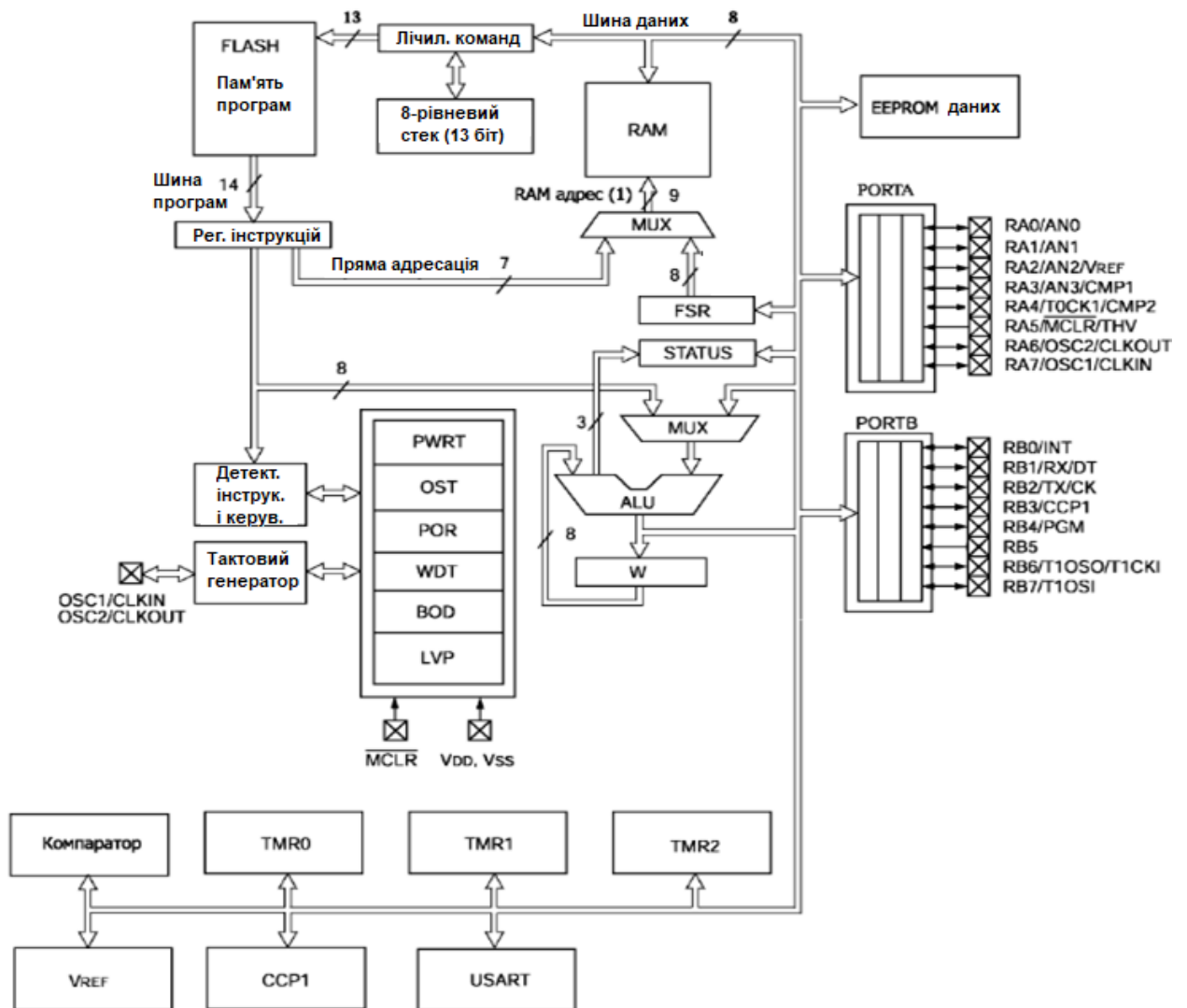


Рисунок 2.7 – Спрощена структура МК PIC16F628

2.4 Перетворювач USB-UART на FTDI FT232RL

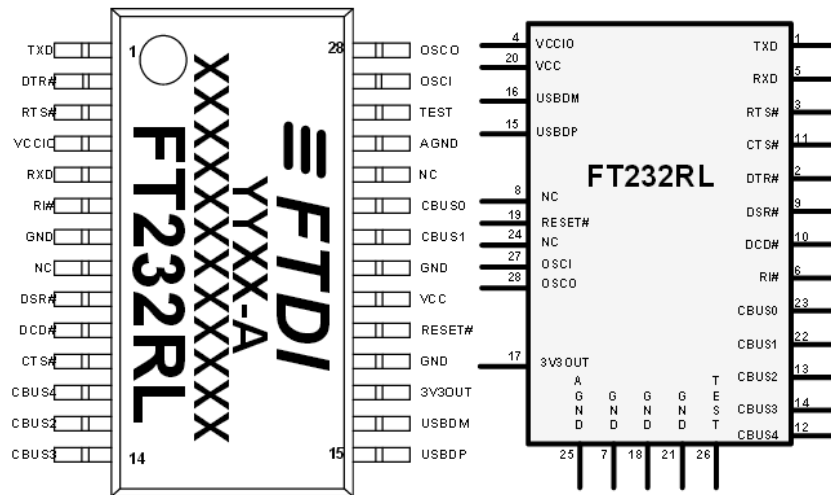


Рисунок 2.8 – Варіанти виконання та цоколювка ІМС FT232RL

З метою керування з персонального комп'ютера режимами підсилення розроблюваного пристрою обираємо стандартний перетворювач USB-UART на FTDI FT232RL, варіанти виконання та цоколювка якого наведено на рис. 2.8. Блок-діаграма внутрішньої будови ІМС FT232RL подано на рис. 2.9.

2 FT232R Block Diagram

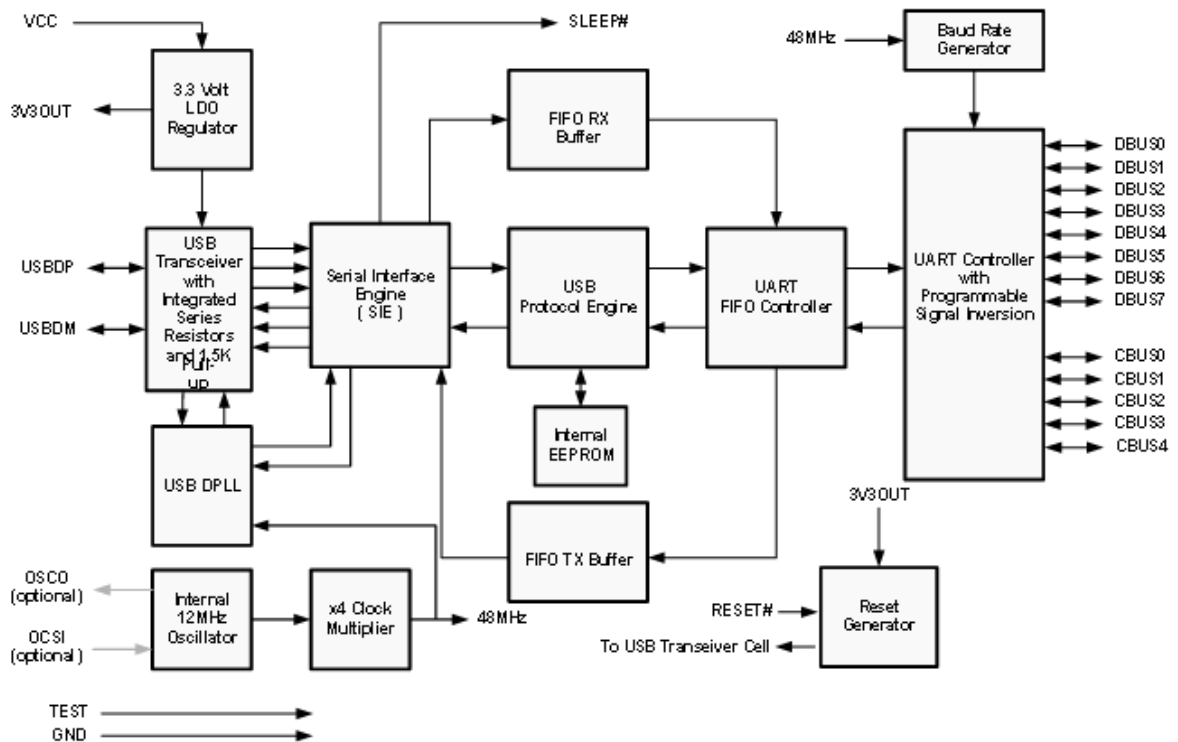


Рисунок 2.9 – Блок-діаграма внутрішньої будови FT232RL

2.5 Розробка електричної принципової схеми цифрового підсилювача частот з мікроконтролерним керуванням

Розроблюваний пристрій буде складатися з двох основних блоків: 1) блок аудіопроцесора з інтегральним підсилювачем потужності; 2) мікроконтролерний блок з перетворювачем USB-UART на FTDI FT232RL. Електричні принципові схеми цих блоків наведено відповідно на рис. 2.10 і рис. 2.11.

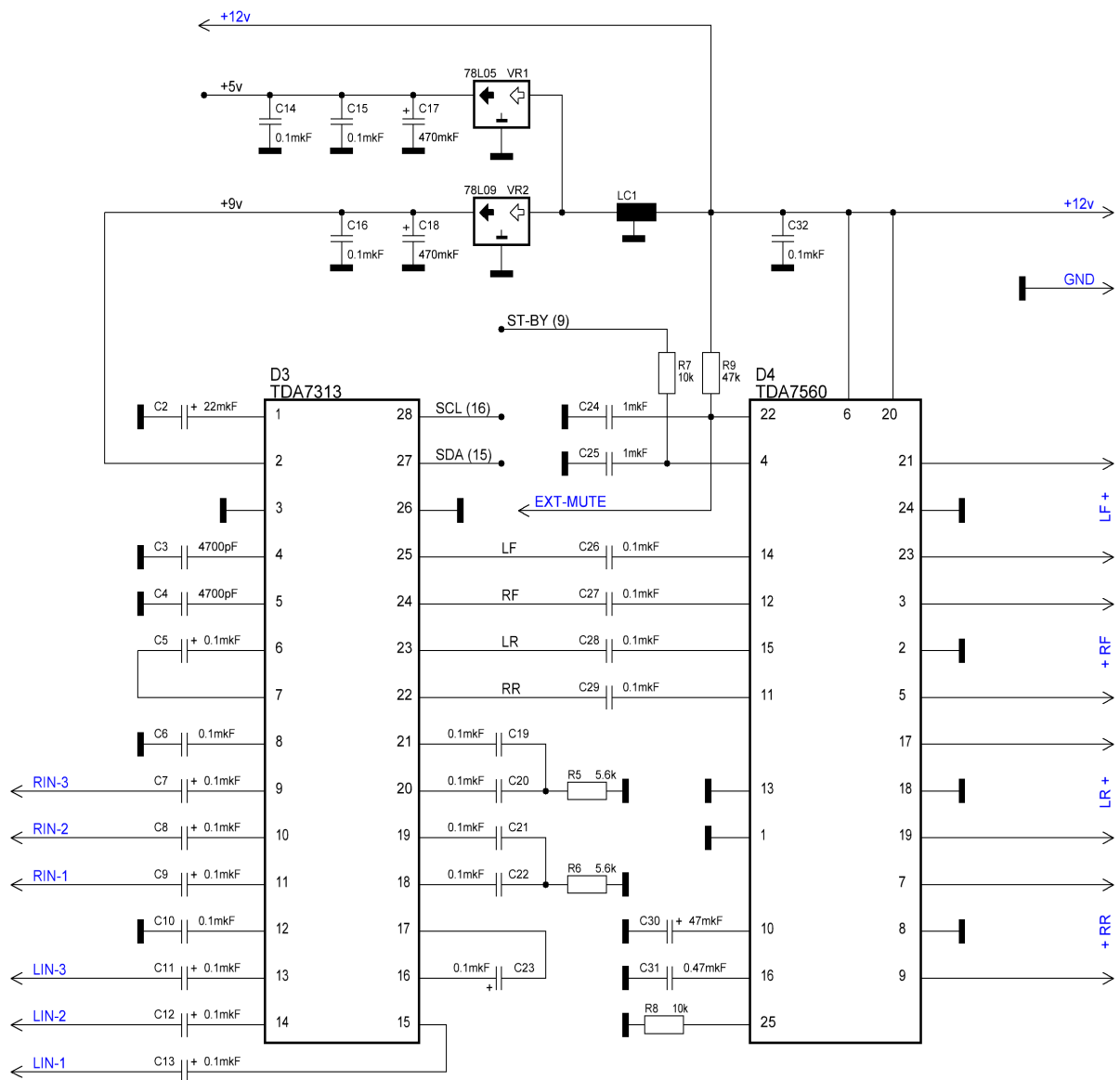


Рисунок 2.10 – Електрична схема блоку аудіопроцесора з інтегральним підсилювачем потужності

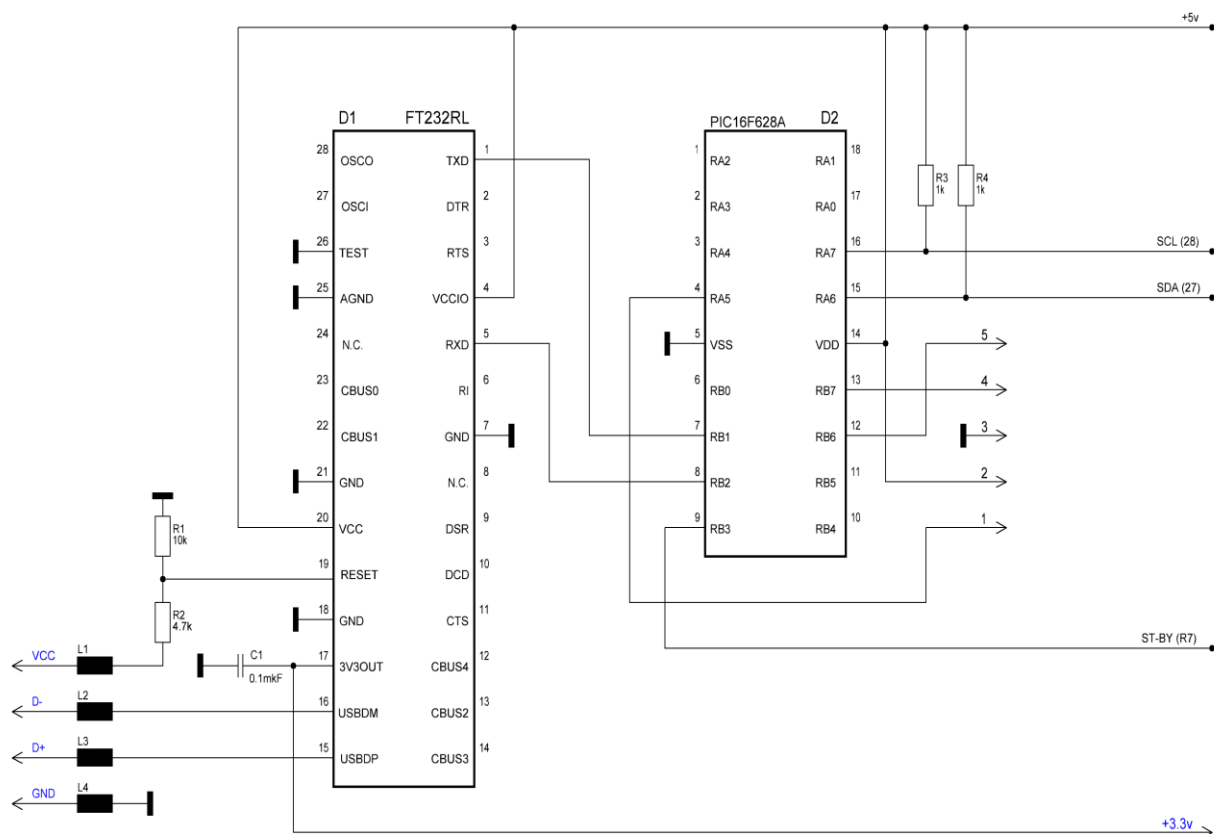


Рисунок 2.11 – Електрична схема мікроконтролерного блоку з перетворювачем USB-UART

3 ЕЛЕКТРИЧНІ ТА КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Електричний розрахунок кварцового генератора

Генератор, який керує мікроконтролером, походить від мікросхеми PIC16F628A. Він включає в себе генератор, який призначений для роботи разом із зовнішнім кварцовим генератором. Схема задаючого генератора показана на рис. 3.1.

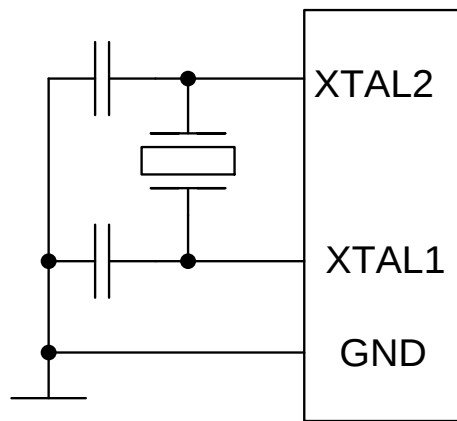


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема задавального генератора

У схемі використовується кварц типу РК-101 з частотою 4 МГц. Інші параметри, пов'язані з цим елементом налаштування часу, визначаються за наступною формулою

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L_{KB} C1 C2}{C1 + C2}}} \text{ [МГц]}.$$

Використовуючи інформацію [1], обчислюємо індуктивність кварцового генератора, яка становить 0,15 мГн.

Співвідношення ємностей конденсаторів C1:C3 щодо стабільності повинно бути в межах 2...4.

Після цього, якщо C3 ідентичний 18 пФ, то C1 є

$$C1 = \frac{C3}{4\pi^2 F^2 L_{KB} C3 - 1} [n\Phi],$$

$$C1 = \frac{18 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 3,14^2 \cdot (4 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 10^{-12} - 1} = 25 (n\Phi).$$

Будемо вважати, що конденсатор С1 такий же, як і конденсатор С3, і для точного розрахунку частоти підключимо підстроювальний конденсатор С2 послідовно з С1. З посилання на статтю [16] ми вибираємо наступні конденсатори:

Створено перший, третій і п'ятий типи К10-196-М33-18 пФ.

Тип С2 КТ4-25 (6...25) пФ.

На екрані осцилографа видно, що період коливань дорівнює $T=220$ нс, що є частотою коливань.

$$f_{ГЕН.} = 1/T = 1/220 \cdot 10^{-9} = 4.55 \text{ МГц},$$

Це наближено дорівнює 4 МГц. Амплітуда вихідних коливань дорівнює 5,6 В. Цього цілком достатньо для нормальної роботи мікроконтролера.

3.2 Електричний розрахунок блоку живлення

Вхідні дані для розрахунків:

- Тип компенсаційного стабілізатора LM 7805.
- споживана потужність = 9 Вт;
- Мінімальна вхідна напруга UVX становить 11,5 В.
- максимальна вхідна напруга UVX 14,6 В;
- вихідна напруга після стабілізатора UVX = 5 В;
- коефіцієнт пульсацій, пов'язаний зі стабілізованою напругою, становить 0,5%.

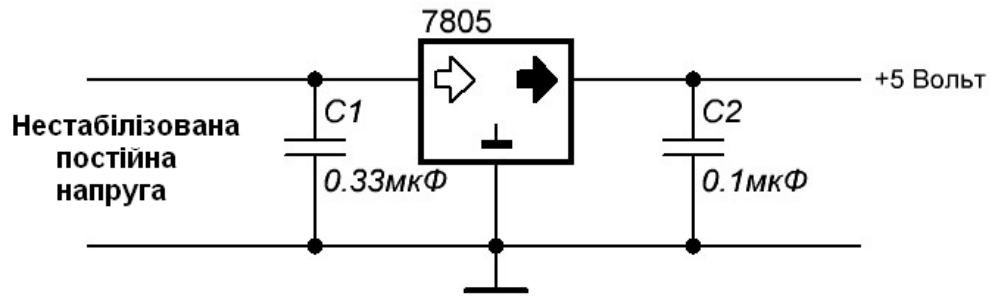


Рисунок 3.2 – Типова структурна схема стабілізатора напруги на LM78XX

Щоб розрахувати загальний стабілізатор напруги на мікросхемі LM7805, ми будемо використовувати програмне забезпечення "Regulator design v1.2", це програмне забезпечення дозволяє розрахувати резистори, що використовуються в типовому механізмі перемикачання, і вибрати конденсатори. Розрахунки проілюстровані на рис.3.3.

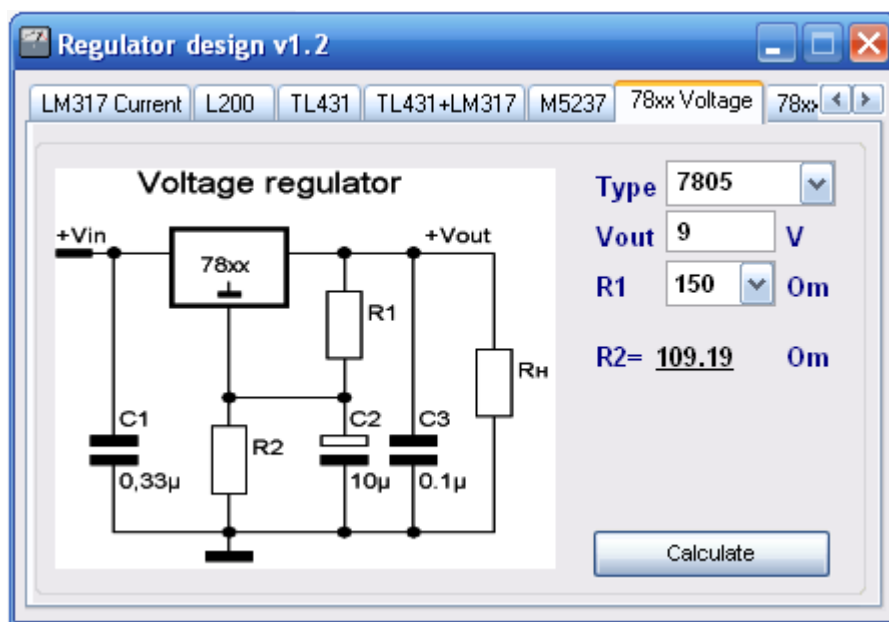


Рисунок 3.3 – Скриншот вікна програми «Regulator design v1.2»

Вибираємо C1, C3 типу K73-9-M750 і C2 типу K50-36. Резистори складаються типу C2-23-0,25.

На рис. 3.4 зображено електричну схему стабілізатора напруги, який створено за допомогою конструкції EWB 5.12.

Вибираємо найменші значення параметрів компонента при напрузі 14В.

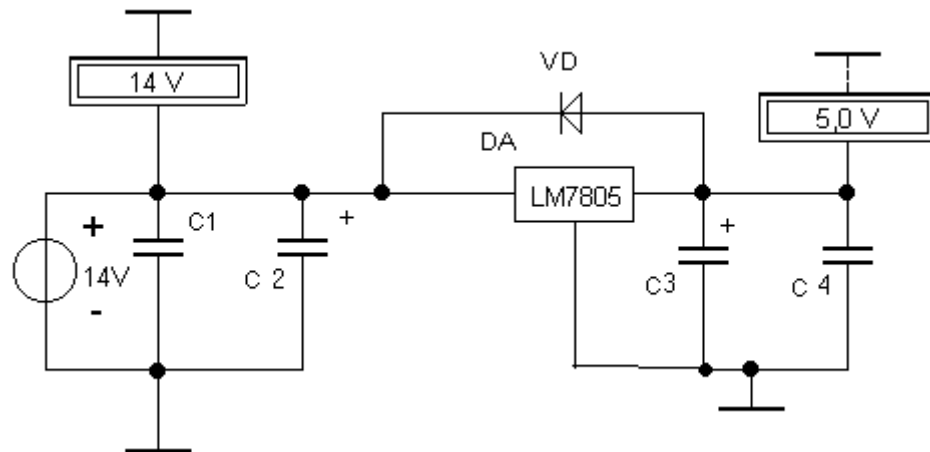


Рисунок 3.4 – Електрична схема стабілізатора напруги на ІМС LM7805, яка спроектована в EWB 5.12

Обрахуємо ємність конденсаторів C1 та C2

$$C1 = C2 = \frac{1}{2\pi f_B} [\text{мкФ}],$$

де $f_B = 100$ Гц це частота биття для діодного моста.

$$C1 = C2 = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 100} = 1592 (\text{мкФ}),$$

Ми робимо припущення, що $C1 = C2 = 2000$ мкФ є постійними. Вибираємо конденсатори C1, C2 типу К50-6-2000 мкФ-25В з запасом 10%.

Конденсатор гарантує тривалу стабільність мікросхеми. Коли U_{OUT} становить 5 вольт, ємності C3 і C4 є можливими значеннями.

$$C3 \geq 100 \text{ пФ}; \quad C4 \geq 1 \text{ мкФ}.$$

Ємність конденсатора становить 100 пікофарад, або 1 мікрофарад.

При струмі навантаження більше 100 мА мікросхему КРЕН8Б необхідно розмістити на радіаторі.

Ми вибираємо типи електронних компонентів, які хочемо використовувати.

C1, C2 - K50 - 6 - 2000 мкФ - 25В $\pm$ 10%;

C3 - K50 - 6 - 1 мкФ - 25 В $\pm$ 10%;

C4 - K10 - 0,01 мкФ - 50 В $\pm$ 5%;

DA1 – LM7855;

VD1 – KD105A.

За показаннями радіовимірювальних приладів на рис. 3.4 з вибраними значеннями елементів схема працює надійно.

Вхідні дані для розрахунків:

- Тип мікросхеми компенсації 78L09;
- споживана потужність = 9 Вт;
- Мінімальна вхідна напруга UVX становить 11,5 В.
- максимальна вхідна напруга UVX 14,4 В;
- вихідна напруга після стабілізатора UVX = 9 В;
- коефіцієнт пульсацій, пов'язаний зі стабілізованою напругою, становить 0,5%.

Щоб розрахувати загальний стабілізатор напруги на мікросхемі KREN12A, ми будемо використовувати програму «Regulator design v1.2», яка полегшує розрахунок резисторів у типовій схемі комутації та вибір конденсаторів. Розрахунки проілюстровано на рис.3.5.

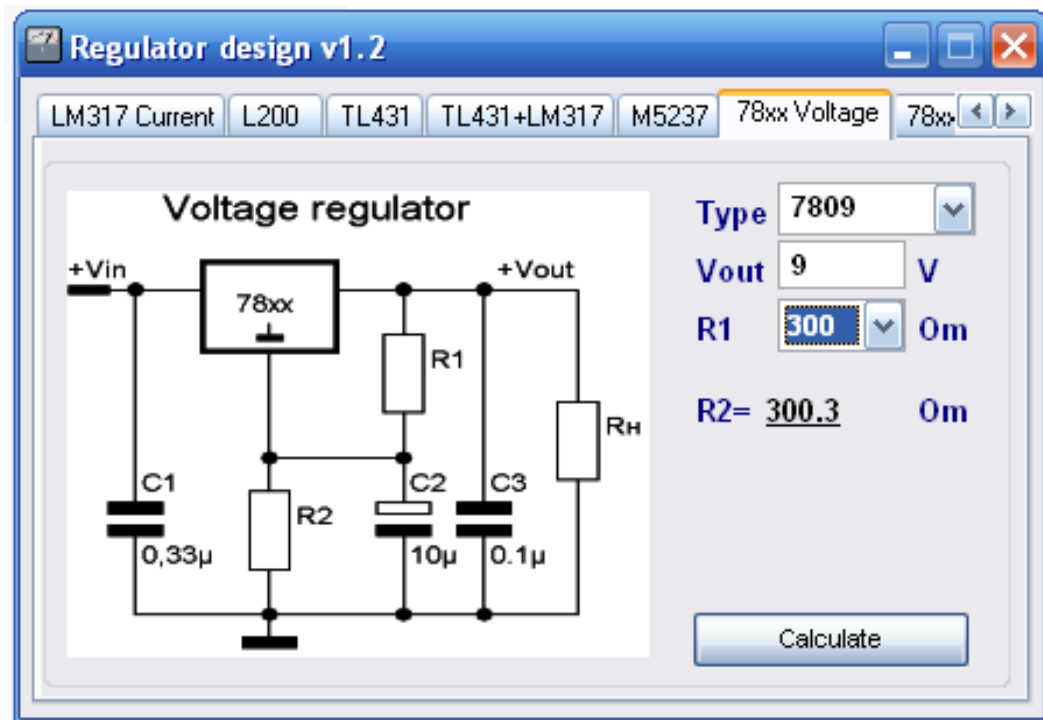


Рисунок 3.5 – Скриншот вікна програми «Regulator design v1.2»

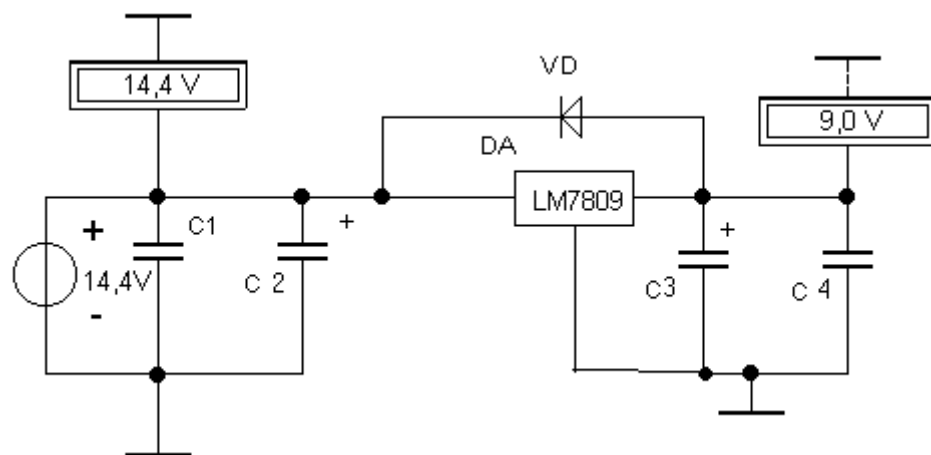


Рисунок 3.6 – Електрична Схема стабілізатора напруги на ІМС КР142ЕН18А, яка спроектована в EWB 5.12

Обрахуємо ємність конденсаторів C1 та C2

$$C5 = C6 = \frac{1}{2\pi f_B} [\mu\text{кФ}],$$

де $f_B = 100$ Гц це частота биття для діодного моста.

$$C5 = C6 = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 100} = 1592 (\mu\text{кФ}),$$

Ми припускаємо $C5 = C6 = 2000$ мкФ. Вибираємо конденсатори $C1, C2$ типу К50-6-2000 мкФ-25В з запасом 10%.

Конденсатор гарантує тривалу стабільність мікросхеми. Коли U_{OUT} становить 5 вольт, ємності $C7$ і $C8$ є можливими значеннями.

$$C7 \geq 100 \text{ пФ}; \quad C8 \geq 1 \text{ мкФ}.$$

Отже $C7$ перевищує 100 пФ, $C8$ перевищує 1 мкФ.

При струмі навантаження більше 100 мА мікросхему КРЕН8Б необхідно розмістити на радіаторі.

Ми вибираємо типи електронних компонентів, які хочемо використовувати.

$C5, C6$ - К50 - 6 - 2000 мкФ - 25В $\pm 10\%$;

$C7$ - К50 - 6 - 1 мкФ - 25 В $\pm 10\%$;

$C8$ -К10-0,01 мкФ-50 В+5%;

DA1 LM7911;

VD1 – KD 105A.

За показаннями радіочастотних приладів на рис. 3.6 з вибраними значеннями елементів схема працює.

3.3 Конструкторський розрахунок топології друкованої плати

3.3.1 Вибір матеріалу друкованої плати

Матеріал підкладки для друкованої плати вибирається згідно ГОСТ 10316-78 і ГОСТ 23751-79, які базуються на технічних вимогах.

В якості підкладки для друкованої плати розробленого модуля використовується одностороння фольга зі скловолокна, оскільки це єдиний варіант, який дозволяє створити односторонню підкладку. Марка склопластику: СФ–1,5–35. Висота фольги: 35 мікрометрів. Товщина субстанції з фольгою: 1,5 мм. Малюнок дошки щільно заповнений, тому для запобігання відриву доріжок використовується скловолокно, міцність

зчеплення фольги з основою більша, ніж сила зчеплення фольги з гетинаксом. Міцність зчеплення обраної марки скловолокна становить 300 г/3 мм. Гетинакс менш ефективний, ніж скловолокно, як за фізичними, так і за електричними властивостями.

3.3.2 Розрахунок діаметра контактних площадок

Мінімальний діаметр контактних площадок обраховуємо за умови збереження її цілісності при просвердлюванні дірок. Обрахунок здійснюється за формулою

$$D_{\min} = D'_{\min} + 1,5 \cdot a \text{ [мм]},$$

де a – це товщина фольги друкованої плати;

$D'_{\min}$ – це мінімальний ефективний діаметр площадки, яки визначається по формулі

$$D'_{\min} = 2 \cdot (b + d_{\max}/2 + d_{\text{отв}} + d_{\text{к.п.}}) \text{ [мм]},$$

де b – це запасний пояс друкованої плати. Найменше значення для другого класу точності друкованих плат становить $b = 0,2$ мм.

$d_{\max}$ – це максимальний діаметр просвердленого отвору.

У випадку металізованих отворів діаметром до 1 мм припустима похибка розміру отвору $\Delta d = 0,05$ мм. Отже, при величині отвору $d = 0,2$ мм

$$d_{\max} = d + \Delta d = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ (мм)};$$

де $d_{\text{отв}}$ – це похибка положення отворів на друкованій платі;

$d_{\text{отв.мін}}$ – це похибка для плат з розміром сторони до 180...360 мм, яка дорівнює не більше 0,2 мм (приймаємо $d_{\text{отв}} = 0,1$ мм);

$d_{\text{к.п.}}$ – це похибка положення контактної площадки на платі; величина якої $d_{\text{к.п.}}$ не повинна перевищувати 0,3 мм. Приймаємо $d_{\text{к.п.}} = 0,15$ мм. Тоді

$$D'_{\min} = 2 \cdot (0,2 + 0,25/2 + 0,1 + 0,15) = 1,85 \text{ (мм)};$$

$$D_{\min} = 1,85 + 1,5 \cdot 0,05 = 1,93 \text{ (мм)}.$$

Обираємо діаметр контактної площадки $D = 2,0$ мм.

3.3.3 Обрахунок ширини провідників

Мінімальна ширина провідників обраховується за умови зберігання достатнього зчеплення провідника з діелектриком, що залежить від виду і якості адгезійного матеріалу та гальваностійкості фольги. Отже

$$T_{\min} = t'_{\min} + 1,5 \cdot a \text{ [мм]},$$

де $t'_{\min}$ - це мінімальна ефективна ширина провідника. Для випадку плат другого класу точності матимемо

$$t'_{\min} = 0,45 \text{ мм},$$

у такому разі

$$T_{\min} = 0,45 + 1,5 \cdot 0,15 = 0,525 \text{ (мм)}.$$

Довжину силового і загального провідників приймемо $t_2 = 2,5$ мм, а довжину інших $t_1 = 1$ мм. При однаковому навантаженні 30 А/мм^2 провідники на платах, виготовлених комбінованим способом, не нагріваються вище $25,5^\circ\text{C}$, якщо температура навколишнього середовища $(20...25)^\circ\text{C}$. Вказано максимальну силу струму, яка може пройти через провідники друкованої плати.

$$I_0 = g \cdot t \cdot a \text{ [мм]}.$$

Обрахуємо допустимі струми для обраної товщини та обраної ширини друкованих провідників

$$a = 0,05 \text{ мм}, \quad t_1 = 1 \text{ мм}, \quad t_2 = 2,5 \text{ мм}.$$

$$I_1 = 30 \cdot 1 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ (А)}.$$

$$I_2 = 30 \cdot 2,5 \cdot 0,05 = 4,7 \text{ (А)}.$$

Максимальний струм, що протікає через провідники t_1 , становить близько 10 мА , що суттєво менше допустимого значення $1,5 \text{ А}$. Для інших

провідників найбільший струм сягає 150 мА, що також значно нижче граничного значення 4,7 А. Таким чином, при заданих параметрах провідників їх перегрів не відбуватиметься, що свідчить про правильний вибір їх ширини.

3.3.4 Обрахунок мінімальної відстані між провідниками та контактними площадками

Величина мінімальної відстані між провідниками і контактними площадками обраховується по формулі

$$S'_{\min} = l - (D_{\max}/2 + 7 \cdot d_{\text{к.п.}}) + (1/2 \cdot t_{\max} + \Delta t),$$

де l – це відстань між центрами контактних площадок;

$D_{\max}$ – це максимальні розміри контактних площадок

$$D_{\max} = D + \Delta D,$$

де ΔD – це похибка виготовлення контактної площадки (для випадку другого класу точності $\Delta D = 0,2$ мм). У такому разі

$$D_{\max} = 2 + 0,2 = 2,2 \text{ (мм)},$$

$t_{\max}$ – це максимальна ширина провідника

$$t_{\max} = t + \Delta t,$$

де Δt – це допуск на виготовлення друкованого провідника (для випадку двосторонніх друкованих плат другого класу точності $\Delta t = 0,15$ мм). У такому разі

$$t_{\max} = 1 + 0,15 = 1,15 \text{ (мм)}.$$

Тоді

$$S'_{\min} = 2,5 - (2,2/2 + 0,15) + (1,15/2 + 0,1) = 0,575 \text{ (мм)}.$$

Величина мінімальної відстані між двома контактними площадками становить

$$S''_{\min} = 2 \cdot l - D_{\max} + 2d_{\text{к.п.}},$$

$$S''_{\min} = 2 \cdot 2,5 - 2,2 + 2 \cdot 0,15 = 2,5 \text{ (мм)}.$$

Величина мінімальної відстані між двома провідниками $S'''_{\min}$ становить

$$S'''_{\min} = 2 \cdot l - (t + 2 \cdot \Delta t + d_{\text{к.п.}} \cdot (-2)),$$

$$S'''_{\min} = 2 \cdot 2,5 - (0,1 - 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,1) = 4,4 \text{ (мм)}.$$

Найменша відстань між двома частинами дошки візерунка становить 0,575 мм. Ця відстань вважається достатньо великою, щоб дозволити перевищити безпечну робочу напругу на 14,4 В, максимальну практичну робочу напругу. У розробленій схемі це максимальне значення 14,4 В. В результаті ймовірність електричного пробоя між двома провідниками виключена.

Створимо топографію друкованої плати за допомогою програми Sprint Layot 5.0. Sprint-Layout — найпростіший, але найефективніший метод позначення односторонніх і двосторонніх друкованих схем. Ця програма містить усі необхідні функції (крім автоматичного розвідника), які дозволяють створити топологічно складну плату з максимальним розміром 300x300 мм. Sprint-Layout дозволяє зберігати файли у форматах Gerber і Excellon, які є звичайними для передачі даних під час виробництва друкованих плат.

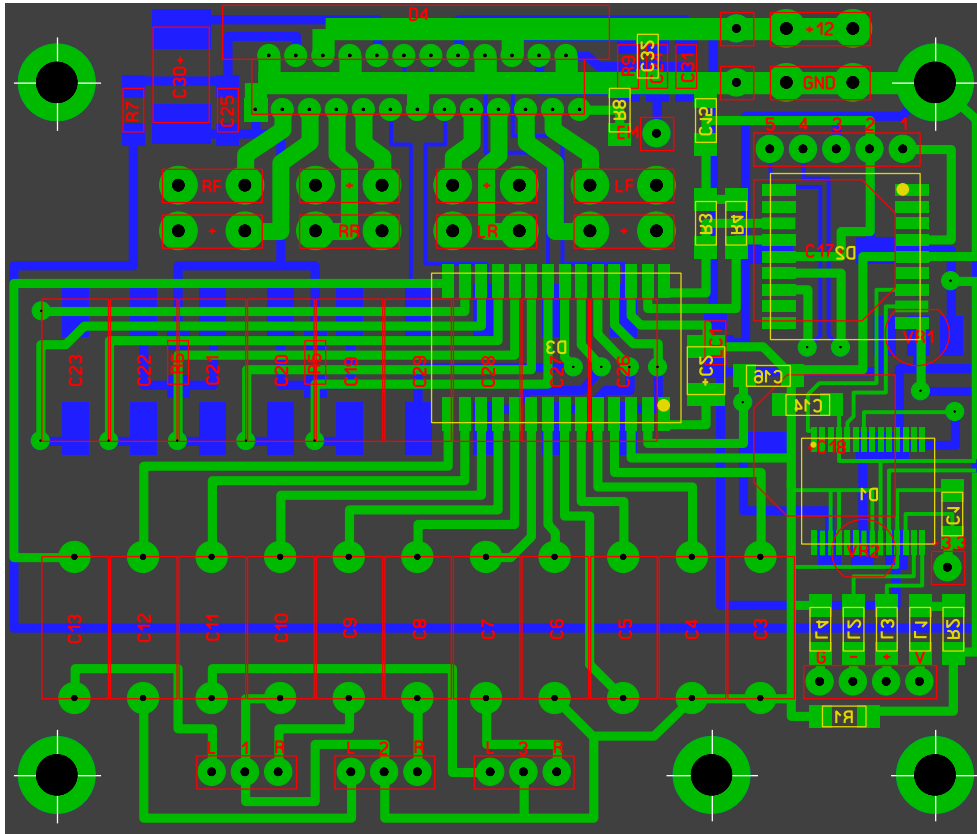


Рисунок 3.7 – Топологія друкованої плати блоку аудіопроцесора з інтегральним підсилювачем потужності

SL має інструменти, які дозволяють формувати контактні майданчики різної форми (як входні, так і поверхневі), провідники, багатокутники, текст тощо. Розміри компонентів можна змінювати в широкому діапазоні. Для кожної сторони друкованої плати передбачено два компоненти - шар провідника та шар маркування. Шар паяльної маски створюється автоматично. Також можна автоматично створювати колективну шину, проводити тестування мереж тощо. Внутрішня автоматизована (але, на жаль, не автоматична) трасування полегшить розподіл провідників. Бібліотека SL містить різні загальні розміри електронних компонентів. При бажанні цю бібліотеку можна легко доповнити.

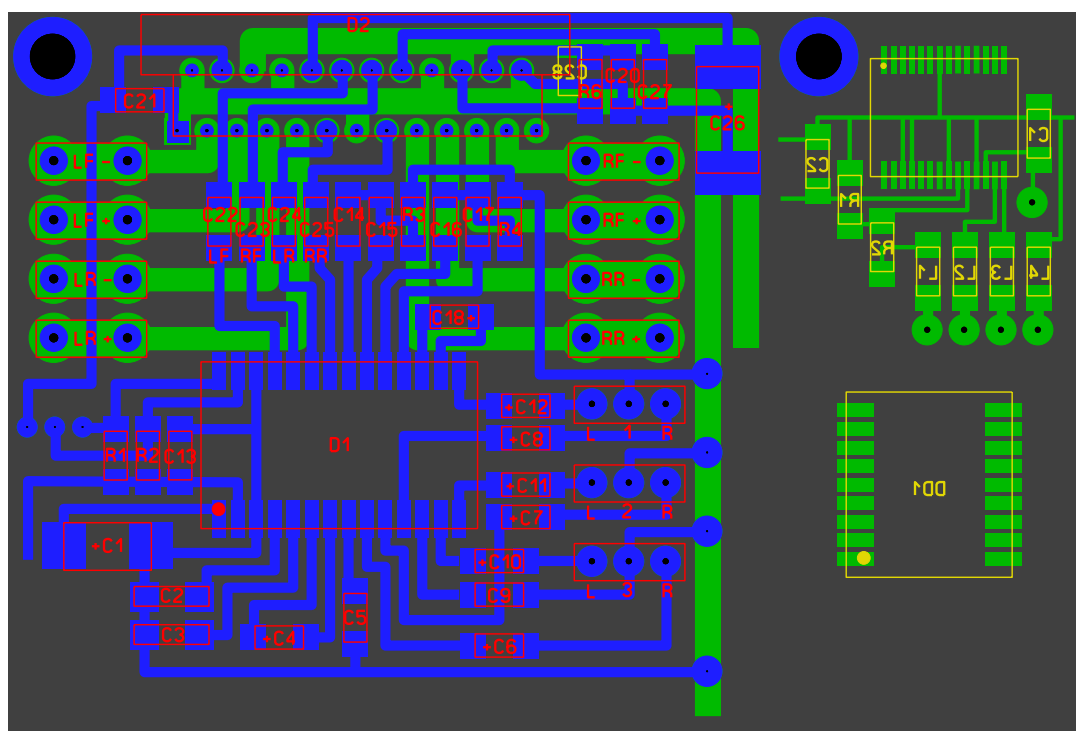


Рисунок 3.8 – Топологія друкованої плати мікроконтролерного блоку з перетворювачем USB-UART

4 МОДЕЛЮВАННЯ КАСКАДІВ ПРИСТРОЮ НА ЕОМ

Для перевірки взаємодії апаратної частини блоку керування та програмного забезпечення використовується моделювання роботи у програмному середовищі PROTEUS VSM.

Схема блоку керування для моделювання роботи у середовищі PROTEUS VSM наведена на рис. 4.1.

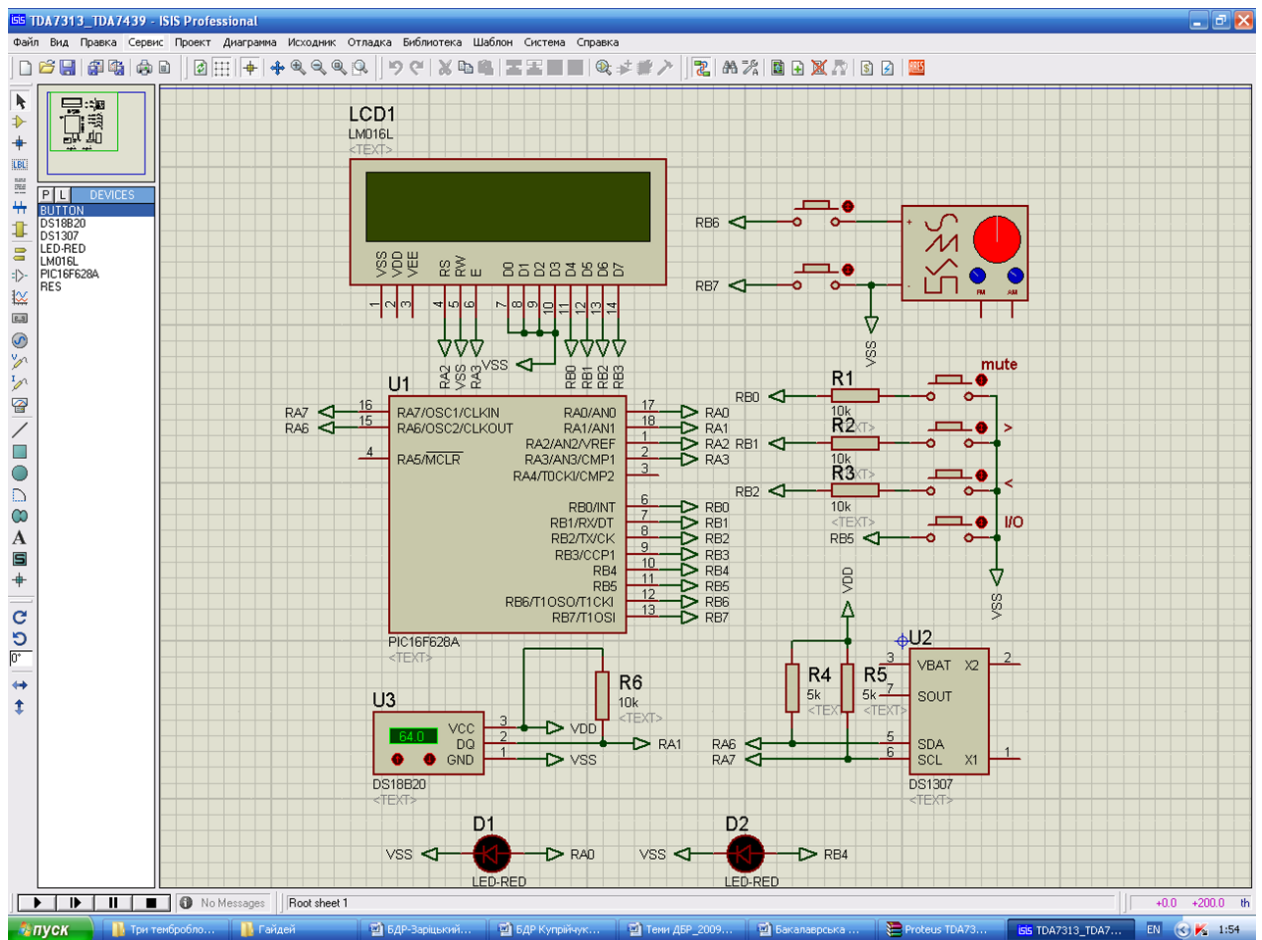


Рисунок 4.1 – Схема блоку керування на МК PIC628A в моделюючій програмі Proteus

Проведемо моделювання режимів роботи індикатора при регулюванні параметрів різних звукових каналів. Регулювання здійснюється програмним способом за допомогою мікроконтролера PIC16F628A. На рис. 4.2 наведено

результати комп'ютерного моделювання. Як видно з рис. 4.2 пристрій працює в зазначених режимах і має правильну індикацію.



Рисунок 4.2 – Результати комп'ютерного моделювання мікроконтролерного блоку цифрового підсилювача звукових частот

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Трудова діяльність є не тільки ключовою та найбільш відповідальною сферою суспільного життя, але й фундаментальною передумовою існування людської цивілізації. Ефективна праця становить основу як індивідуального, так і колективного розвитку, визначаючи динаміку суспільних відносин. З огляду на це, першочерговим завданням кожної демократичної держави є створення сприятливих умов для здійснення трудової діяльності та забезпечення її всебічного захисту. Сучасні виробничі процеси, що характеризуються використанням складного обладнання, техніки та передових технологій, об'єктивно підвищують потенційний ризик травмування або виникнення професійних захворювань внаслідок взаємодії працівника з виробничими засобами та елементами. Саме тому, приділення належної уваги комплексу заходів, спрямованих на охорону життя та здоров'я працюючих, набуває особливої актуальності.

Розробка цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313 відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. В приміщенні, згідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, можуть бути наявні такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [23]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

На основі зазначених факторів приймаємо рішення щодо безпечного виконання роботи, а також визначаємо заходи у галузі гігієни праці та виробничої санітарії, які спрямовані на забезпечення безпечних та комфортних умов праці.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Відповідно до положень частини першої статті 6 Закону України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII, встановлено обов'язковість відповідності умов праці на кожному робочому місці, безпеки технологічних процесів, експлуатованого обладнання та інших засобів виробництва, стану застосовуваних засобів колективного та індивідуального захисту, а також санітарно-побутових умов чинним законодавчим вимогам у сфері охорони праці.

Основна частина нормативних вимог, що регламентують умови праці працівників, які використовують персональні комп'ютери та відповідне програмне забезпечення у своїй діяльності, визначена на рівні державних стандартів. До ключових з них належать: НПАОП 0.00-7.15-18 (встановлює обов'язкові вимоги щодо забезпечення безпеки та збереження здоров'я працівників при використанні візуальних дисплейних терміналів), ДСТУ 8604:2015 (затверджений наказом Про прийняття нормативних документів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими нормативними документами, національних стандартів України та змін до національних стандартів України від 21.12.2015 № 204. Цей державний стандарт визначає загальні ергономічні вимоги до організації робочого місця при виконанні робіт у сидячому положенні), ДСН 2.3.6.037-99 (встановлюють гранично допустимі рівні виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку на робочих місцях), ДСН 3.3.6.042-99 (визначають оптимальні та допустимі параметри мікроклімату (температура, вологість, швидкість руху повітря, теплове випромінювання) у виробничих приміщеннях) [24].

Відповідно до нормативних документів, працівники мають право на працю в умовах, що не становлять загрози для їхнього життя і здоров'я. Зобов'язаність забезпечити безпеку та здоров'я працівників покладається на роботодавця, який має планувати та здійснювати всі необхідні заходи для запобігання і мінімізації ризику професійних захворювань та травм на робочому місці.

Організація робочого місця, обладнаного комп'ютером, має специфічні вимоги, зумовлені особливостями трудової діяльності. Тривале перебування в статичному сидячому положенні може провокувати виникнення фізичного дискомфорту та проблем з опорно-руховим апаратом, зокрема зі спиною. Монітор слід розміщувати на рівні очей, а клавіатуру та маніпулятор – у зручному положенні, що мінімізує напруження м'язів рук та спини. Дотримання ергономічних принципів, що включають правильну робочу позу та оптимальне розташування обладнання, сприяє зниженню ймовірності травмувань та розвитку професійних захворювань, одночасно підвищуючи рівень комфорту та продуктивність праці.

Розміри робочого столу: висота – 725 мм, ширина – 600 -1400 мм, глибина – 800 – 1000 мм, що відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98. Робочий стіл для ПК має простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм. Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці забезпечує добру видимість монітору, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900 – 1300 мм, по глибині 400 – 500 мм.

Оскільки в приміщенні лише три робочі місця, обладнані ПК, тому необхідності відділяти їх одне від одного перегородками висотою 1,5 – 2 м немає.

Мінімальні вимоги безпеки під час роботи [25]:

- перед початком роботи обов'язково очищати екранні пристрої від

пилу та інших речовин;

- після закінчення роботи відключити екранні пристрої від електричної мережі. У випадку аварійної ситуації негайно відключіть екранний пристрій від електричної мережі;

- недопустимо виконання технічного обслуговування, ремонту та налагодження екранних пристроїв безпосередньо на робочому місці під час роботи з ними,

- не слід робити самостійні зміни в конструкції або налаштовувати технічні параметри екранних пристроїв при нехарактерних сигналах чи інших несправностях.

5.1.2 Електробезпека приміщення

У досліджуваному приміщенні для електроживлення персональних комп'ютерів, периферійного обладнання та засобів для їхнього обслуговування, ремонту та налагодження функціонує групова трипровідна електрична мережа. Ця мережа включає три провідники: фазний, нульовий робочий та нульовий захисний. Функціональне призначення нульового захисного провідника полягає у забезпеченні заземлення електрообладнання.

Нульовий захисний провідник прокладається безпосередньо від стійки групового розподільного щита до штепсельних розеток. Критично важливим є недопущення електричного з'єднання нульового робочого та нульового захисного провідників під одним контактним затискачем у розподільному щиті. Мінімально допустима площа поперечного перерізу як нульового робочого, так і нульового захисного провідника повинна бути еквівалентною або більшою за площу поперечного перерізу фазового провідника. Усі провідники, що використовуються в електромережі, повинні мати технічні характеристики, що відповідають номінальним параметрам мережі, умовам навколишнього середовища, способу прокладання, температурному режиму експлуатації та характеристикам встановлених захисних апаратів [26].

Усе обладнання, включаючи персональні комп'ютери, периферійні пристрої, апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади та світильники, повинні відповідати відповідному класу зони та мати апаратуру захисту від короткого замикання та інших аварійних режимів. Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно виключити можливість виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, де це можливо, використовувати негорючу ізоляцію.

Приміщення, в якому проводилася розробка цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313, вважається безпечним, оскільки у ньому відсутні фактори підвищеної та особливої небезпеки на робочому місці.

На робочому місці категорично забороняється експлуатація кабелів та проводів з порушеною або відсутньою ізоляцією, застосування саморобних подовжувачів, а також використання нестандартних електронагрівальних пристроїв для опалення приміщення. Неприпустимим є використання пошкоджених штепсельних розеток, розподільних та з'єднувальних коробок, вимикачів та інших електроустановчих виробів, а також освітлювальних ламп, що мають ознаки потемніння або деформації колби. Крім того, необхідно суворо дотримуватися інструкцій та рекомендацій виробників щодо безпечної експлуатації електроапаратури та приладів.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – це сукупність метеорологічних характеристик, до яких належать температура повітря, відносна вологість, швидкість повітряного потоку та інтенсивність теплообміну з навколишніми поверхнями, що мають високу температуру. Зазначений комплекс параметрів має значний вплив на фізіологічний стан працівників та процеси їхнього

теплообміну з навколишнім виробничим середовищем. Трудова діяльність розробника цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313, згідно з гігієнічною класифікацією праці, належить до категорії 1а. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.1. [27]

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

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

З метою оптимізації мікрокліматичних параметрів та регулювання балансу позитивних і негативних іонів у повітрі приміщення, рекомендується застосування систем і пристроїв для зволоження та штучної іонізації повітря, або інших адекватних технологічних рішень. На поточний момент в Україні відсутні законодавчо встановлені гранично допустимі концентрації вуглекислого газу в повітрі житлових, офісних та громадських будівель. Однак, у разі фіксації перевищення прийнятих рівнів вмісту вуглекислого газу, тривалість робочого дня співробітників підлягає скороченню щонайменше на 10% відповідно до чинних нормативних положень.

Для забезпечення оптимального мікроклімату в приміщенні передбачено використання системи кондиціонування повітря, а також центральну систему опалення. Проводиться також систематичне вологе прибирання приміщення для збереження комфортних умов працівників.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Негативний вплив шкідливих речовин на людський організм проявляється лише за умови перевищення їхньої фактичної концентрації в повітряному середовищі встановлених гранично допустимих значень для кожної конкретної сполуки. У приміщенні, де здійснюється розробка

цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313, потенційними забруднювачами повітря є фенол, аерозольні частинки пилу, озон та вуглекислий газ. Основними джерелами надходження цих речовин є офісне обладнання та зовнішнє атмосферне повітря, що є шляхом проникнення пилу до внутрішнього простору. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [28], які присутні в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	25	10	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення якості повітря в робочій зоні досягається за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання і вологого прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Тривале виконання завдань за комп'ютером та робота з документацією в умовах недостатнього освітлення може спричинити значне зорове перенапруження. Нормативні вимоги до рівня освітленості та коефіцієнта природної освітленості (КПО) регламентуються ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», який містить конкретні значення для штучного освітлення та КПО для природного і комбінованого освітлення (з урахуванням специфіки розробки цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313 – наведені в таблиці 5.4). [29]

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

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

Організація робочого простору розробника повинна виключати пряме потрапляння світлового потоку в органи зору. З метою захисту очей від надмірно яскравого світла застосовуються локальні світлофільтри, що належать до засобів індивідуального захисту очей. Обов'язковою умовою є проходження цими фільтрами випробувань у акредитованих лабораторіях та

наявність щорічного гігієнічного сертифіката, що підтверджує їхню безпечність та відповідність встановленим стандартам.

Щодо штучного освітлення приміщення, доцільно використовувати систему загального рівномірного освітлення. У випадках одночасного використання великої кількості документів доцільним є встановлення додатково світильників місцевого освітлення. Світильники місцевого освітлення слід встановлювати так, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, і освітленість екрана не повинна перевищувати 300 лк. Для забезпечення нормованих значень освітленості у приміщенні важливо регулярно мити вікна і світильники, а також своєчасно замінювати лампи, які перегоріли.

5.2.4 Виробничий шум

Вплив акустичного шуму на людський організм значно посилюється з упровадженням високопродуктивного обладнання та автоматизації виробничих процесів, що передбачає використання верстатів і агрегатів з підвищеними швидкостями функціонування. З позиції охорони праці, шум кваліфікується як стресовий фактор та універсальний біологічний подразник, що чинить негативний вплив на всі фізіологічні системи, особливо на центральну нервову та серцево-судинну. Проблема шумового впливу на працівників є важливим аспектом у сфері охорони праці, і на виробників покладається відповідальність за реалізацію заходів щодо зниження шумового навантаження на робочих місцях та забезпечення адекватними засобами індивідуального захисту від шуму. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99. Нормативні значення шуму, які не можуть бути перевищені, зважаючи на особливості розробки цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313, наведені у таблиці 5.5 [30].

Таблиця 5.5 - Рівень звукового тиску

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

Перелік організаційно-технічних заходів щодо обмеження несприятливого впливу шуму та вібрації на працюючих наведено в ДСН 2.3.6.037-99 та ДСН 3.3.6.039-99, серед яких зменшення шуму та вібрації на шляху розповсюдження засобами ізоляції та поглинання, наприклад, за рахунок використання гумових, поролонових, інших шумо- чи вібропоглинаючих матеріалів, або інших матеріалів аналогічного призначення, що дозволені для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Рівень напруженості електростатичного поля на робочих місцях, зокрема в області екрана дисплея, поверхонь обладнання, клавіатури та друкувального пристрою, повинен відповідати встановленим нормативам та не перевищувати гранично допустимих значень. Інтенсивність впливу електромагнітного випромінювання від персонального комп'ютера на організм працівника залежить від низки факторів, серед яких: частотний спектр, тривалість експозиції, характер та режим випромінювання, площа опромінюваної поверхні тіла, а також індивідуальні фізіологічні особливості. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівників детально регламентуються у таблиці 5.6 [31].

Таблиця 5.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля 60 кГц до 3 мГц	50	5	
Напруженість електромагнітного поля 3 кГц до 30 мГц	20		
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 50 мГц	10	0,3	
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 300 мГц 5	5		
Напруженість електромагнітного поля 300 кГц до 300 гГц			10Вт/кв. м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 — 280 нм)			0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280 — 320 нм)			0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 — 400 нм)			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 нм			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм			35,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу			20кВ/м

Для зменшення впливу електромагнітного поля на розробника, важливо використовувати тільки високоякісну техніку з сертифікатами якості та дотримуватися встановленого робочого графіку за комп'ютером.

5.3 Пожежна безпека

Неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що завдає матеріальних збитків, називають пожежею. Запобігання пожеж здійснюється головним чином шляхом виключення можливості утворення горючих або

вибухонебезпечних середовищ і джерел запалювання. На випадок пожежі на підприємстві повинна бути пожежний захист для запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від нього. Метою пожежної безпеки об'єкта є попередження виникнення пожежі на визначеному чинними нормативами рівні, а у випадку виникнення пожежі – обмеження її розповсюдження, своєчасне виявлення, гасіння пожежі, захист людей і матеріальних цінностей [32].

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

До причин, що можуть спричинити пожежу в приміщенні, відносяться:

– перевантаження електромережі і перегріву струму несучих частин та з'єднань;

– порушення правил експлуатації техніки.

Система запобігання пожежі передбачає:

- періодичний контроль цілісності ізоляції;
- наявність спеціальних місць для куріння;
- періодичне проведення інструктажів з протипожежної безпеки;
- незахаращення приміщення горючими матеріалами;
- наявність системи захисту від атмосферної електрики.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Приміщення оснащене вуглекислотними вогнегасниками – на території 300 м² 4 вогнегасника (в кожному відділі і на сходовому марші). Також у коридорі встановлений пожежний гідрант з рукавом, який підключений до системи водопостачання.

Вогнегасники слід встановлювати у легкодоступних та помітних місцях (коридорах, біля входів або виходів з приміщень тощо), а також у пожежонебезпечних місцях, де найбільш вірогідна поява осередків пожежі. При цьому необхідно забезпечити їх захист від попадання прямих сонячних

променів і безпосередньої (без загороджувальних щитків) дії опалювальних та нагрівальних приладів.

Використані вогнегасники, а також вогнегасники із зірваними пломбами необхідно негайно направляти на перезарядження або перевірку. Вогнегасники, відправлені з об'єкта на перезарядження, повинні бути замінені відповідною кількістю заряджених вогнегасників.

Пожежні щити (стенди) повинні забезпечувати:

- захист вогнегасників від потрапляння прямих сонячних променів, а також захист знімних комплектуючих виробів від використання сторонніми особами не за призначенням (для щитів та стендів, установлюваних поза приміщеннями);
- зручність та оперативність зняття (витягання) закріплених на щиті (стенді) комплектуючих виробів.

Для зазначення місця розміщення первинних засобів пожежогасіння слід встановлювати вказівні знаки згідно з чинними державними стандартами. Знаки повинні бути розміщені на видних місцях на висоті стандартами. Знаки повинні бути розміщені на видних місцях на висоті 2–2,5 м від рівня підлоги як всередині, так і поза приміщеннями (за потреби) [33].

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської дипломної роботи було розроблено цифровий підсилювач потужності звукової частоти 4×75 Вт на ІМС TDA7313 з мікроконтролерним керуванням. Вибрано сучасну елементну базу для побудови такого підсилювача. Проведено літературний огляд сучасних технічних засобів підсилення сигналів звукових частот із застосуванням цифрової та мікроконтролерної техніки.

Пристрій був розрахований з використанням сучасних ІМС іноземного виробництва. Їх використання дозволило значно спростити будову цифрового підсилювача потужності звукових частот та зменшити кількість пасивних компонентів в електричній схемі, що призвело до зменшення габаритних розмірів та підвищення надійності пристрою.

Для перевірки вірності проведених розрахунків проводилося моделювання блоку управління пристрою на основі мікроконтролера PIC16F628A. Результати моделювання підтвердили правильність розробленого програмного забезпечення МК.

Реалізований варіант цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313 задовольняє всім вимогам індивідуального завдання. При його реалізації на практиці за рахунок розкиду параметрів активних та пасивних компонентів можна очікувати відхилення деяких параметрів від отриманих при розрахунках. Перевагою розробленого цифрового підсилювача потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313 є можливість сполучення з персональним комп'ютером або ноутбуком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мовчанюк А. В., Лащевська Н. О. Схемотехніка 2. Аналогова схемотехніка: практикум: навч. посіб. для студентів спец. 172 «Електронні комунікації та радіотехніка». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 32 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/f944f65a-7bab-4b8e-9184-a55c3995a833/content>.
2. Кичак В. М., Рудик В. Д., Семенов А. О., Семенова О. О. Аналогова та інтегральна схемотехніка: навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 248 с. – Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/download/178/321/352-1?inline=1>
3. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. та ін. Схемотехніка електронних систем. Кн. 1: Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: підручник. – 2-ге вид., допов. і переробл. – Київ: Вища школа, 2004. – 366 с. – Режим доступу: https://chtyvo.org.ua/authors/Boiko_Vitalii/Skhemotekhnika_elektronnykh_system_Knyha_1_Analohova_skhemotekhnika_ta_impulsni_prystroji/.
4. Голубєва І. П., Порєва Г. С. Схемотехніка. Частина 1. Аналогова схемотехніка: програма навч. дисципліни. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 18 с. – Режим доступу: <https://me.kpi.ua/downloads/Syllabuses/Bachelor/AST.pdf>
5. Кафедра електронної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Схемотехніка-2. Аналогова схемотехніка: навч. матеріали. – Режим доступу: <https://ee.kpi.ua/uk/edu/anaschem>
6. Кафедра електронної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Схемотехніка-1. Аналогова схемотехніка: навч. матеріали. – Режим доступу: <https://ee.kpi.ua/~yk/as/>
7. Кафедра електроніки та комп'ютерних технологій ЛНУ ім. Івана Франка. Аналогова та цифрова схемотехніка: навч. курс. – Режим доступу: <https://electronics.lnu.edu.ua/course/analohova-ta-tsyfrova-skhemotekhnika/>

8. Кафедра електронної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Основи цифрової та аналогової схемотехніки: навч. посіб. – Режим доступу: <https://auekieee.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/06/ПО-7-ОСНОВИ-ЦИФРОВОЇ-ТА-АНАЛОГОВОЇ-СХЕМОТЕХНІКИ.pdf>

9. Кафедра електронної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Схемотехніка. Частина 2. Аналогова схемотехніка: навч. посіб. – Режим доступу: <https://re.kpi.ua/wp-content/uploads/2023/12/zo-17.2.pdf>

10. Житомирський державний технологічний університет. Курс: Аналогова схемотехніка: навч. матеріали. – Режим доступу: <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=5688>

11. Гордзій Н. В. Розробка лампового підсилювача звукових частот з мікроконтролерним керуванням // Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 2016. – С. 183. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/16642>

12. Вознюк В. П., Денисюк К. О., Коваль В. А. Підсилювач потужності звукових частот з мікроконтролерним керуванням // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – №1. – С. 31–35. – Режим доступу: https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2013_1/31voz.pdf

13. Смірнов В. В., Смірнова Н. В., Пархоменко Ю. М. Програмування мікроконтролерних систем : навч. посіб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 150 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/bitstreams/db11251a-b293-4575-8898-af1491f143f7/download>

14. Дослідження трьохсмугового підсилювача потужності звукової частоти // Матеріали конференції Житомирського державного технологічного університету. – 2019. – С. 187–190. – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/02/187-1.pdf>

15. Підсилювач звукових частот // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Підсилювач_звукових_частот

16. Повний посібник із класів підсилювачів потужності // LibreTexts. – 2022. – Режим доступу: <https://uk.hwlibre.com/повний-посібник-із-класів-підсилювачів-потужності/>
17. Підсилювач звукових частот: типи, класи та класифікація за категоріями // FAQUKR. – Режим доступу: <https://ua.faukr.com/12792-pidsiljuvach-zvukovih-chastot-tipi-klasi-ta-klasifikacija-za-kategorijami.html>
18. Підсилювач потужності з драйвером // LibreTexts. – 2022. – Режим доступу: [https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Електротехніка/Електроніка/Книга %3A_Лабораторний_посібник_-Напівпровідникові_прилади-Теорія_та_застосування\(Fiore\)/27%3A_Підсилювач_потужності_з_драйвером](https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Електротехніка/Електроніка/Книга_%3A_Лабораторний_посібник_-Напівпровідникові_прилади-Теорія_та_застосування(Fiore)/27%3A_Підсилювач_потужності_з_драйвером)
19. Реферат: Підсилювач звукових частот // Комунікаційні технології. – Режим доступу: <https://myreferatik.in.ua/work/8144581/pidsiluvac-zvukovih-castot>
20. Модуль підсилювача на SSM2167 для електретних мікрофонів // Arduino.ua. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4381-modyl-predysilitelya-na-ssm2167-dlya-elektretnih-mikrofonov>
21. Підсилювач звукових частот (ПЗЧ) стерео 2x120W на мікросхемі ТРА3116 // RCS Components. – Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/pidsyliuvach-zvukovykh-chastot-pzch-stereo-2x120w-na-mikroskhemi-tpa3116_175000.html
22. Загальна характеристика підсилювачів електричних сигналів // Studfile.net. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10256765/>
23. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених [наказом](#) Міністерства охорони здоров'я України від 08 квітня 2014 року № 248.
24. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018,

IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.

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

26. Директива № 90/270/ЕЕС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями. Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>

27. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ. Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

28. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

29. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

30. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

31. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень». Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

32. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

33. Про охорону праці Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.
Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

34. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». Режим доступу:

https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

35. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=77160

36. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82176

37. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>

38. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек.
URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

ЦИФРОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛІВ ЗВУКОВИХ ЧАСТОТ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ МІКРОСХЕМІ TDA7313

Виконав: студент 4-го курсу, групи ТКР-216
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Вишнівський А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф. проф., каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2025 р.

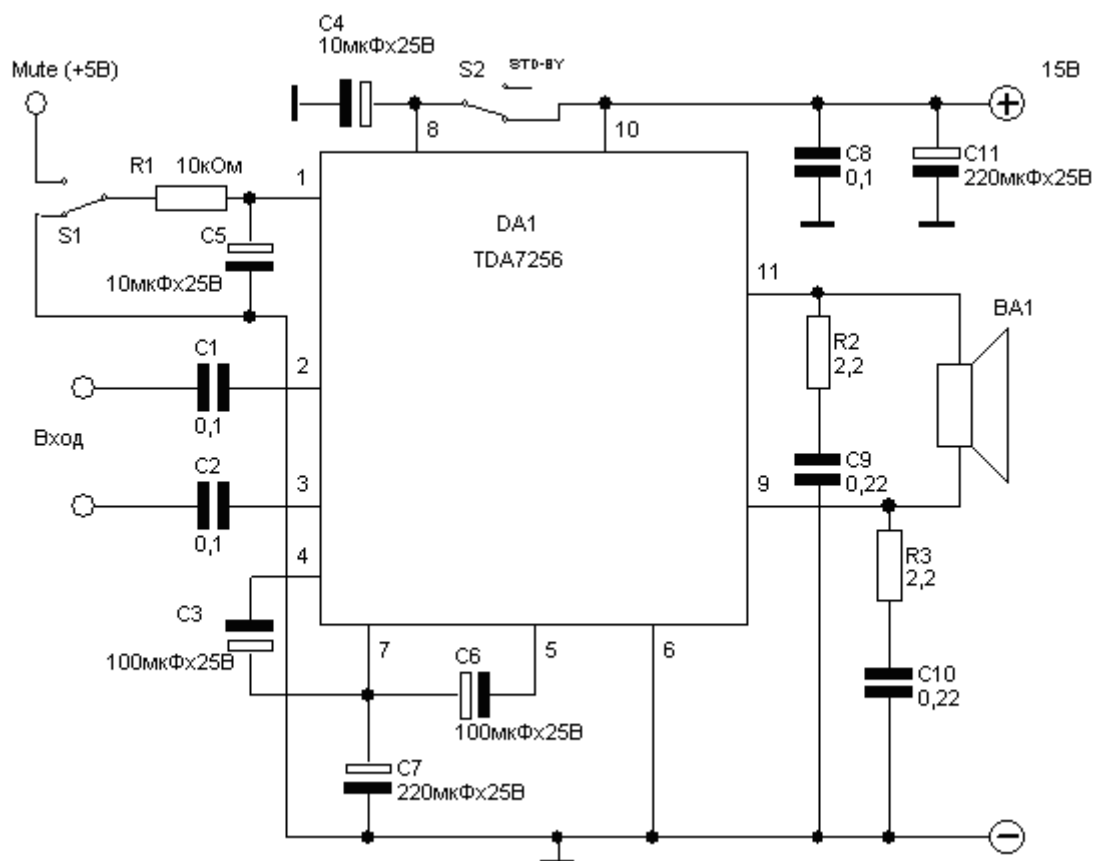


Рисунок 1 – Схема включения TDA7256

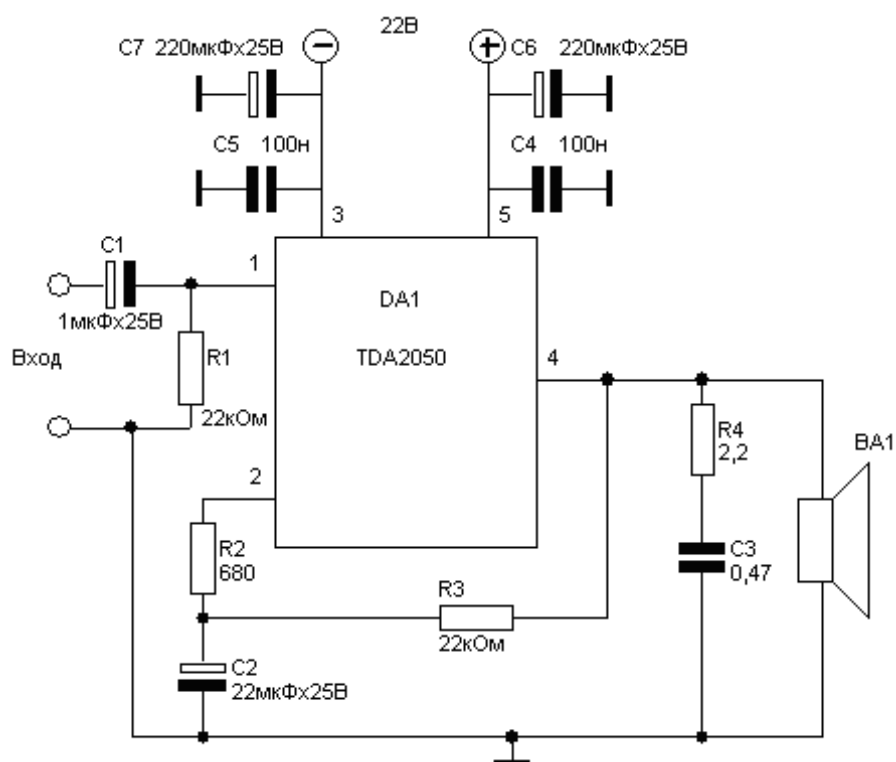


Рисунок 2 – Схема включения TDA2050

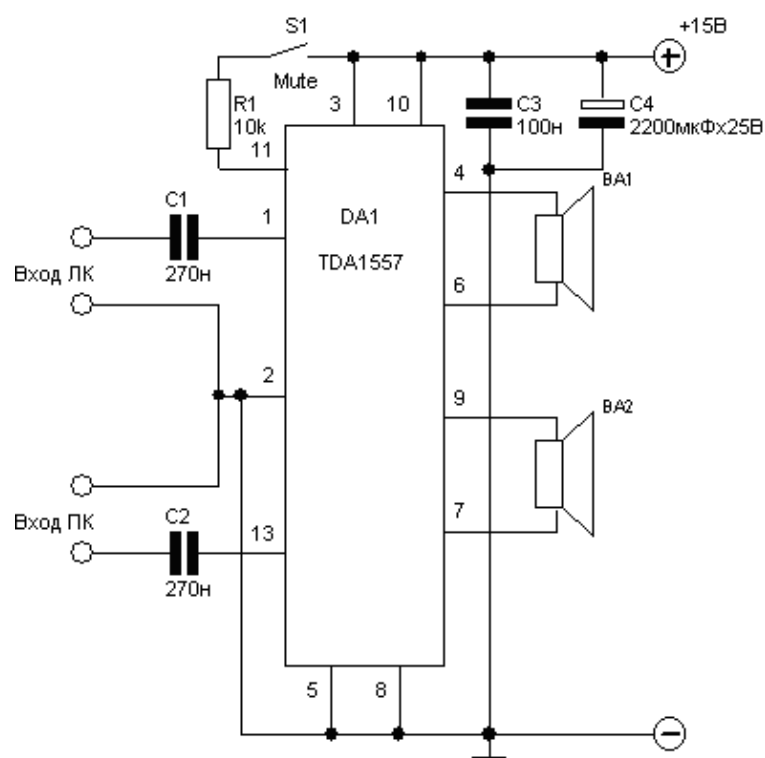


Рисунок 3 – Схема включения TDA1557

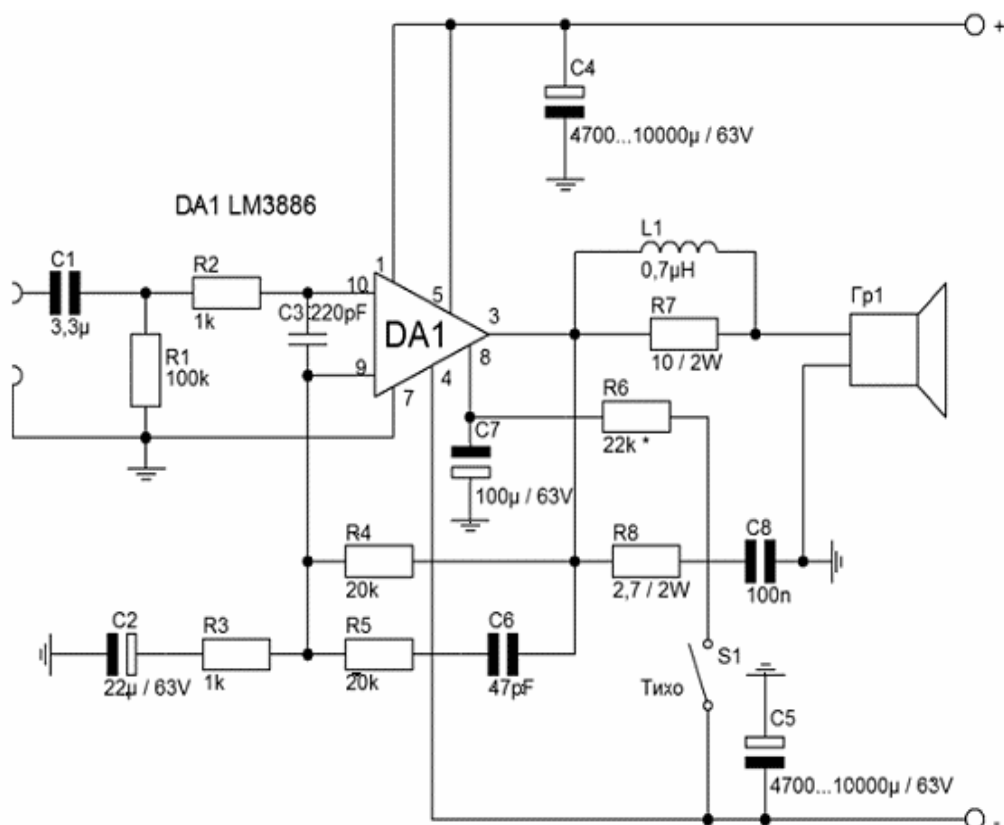


Рисунок 4 – Схема включения LM3886

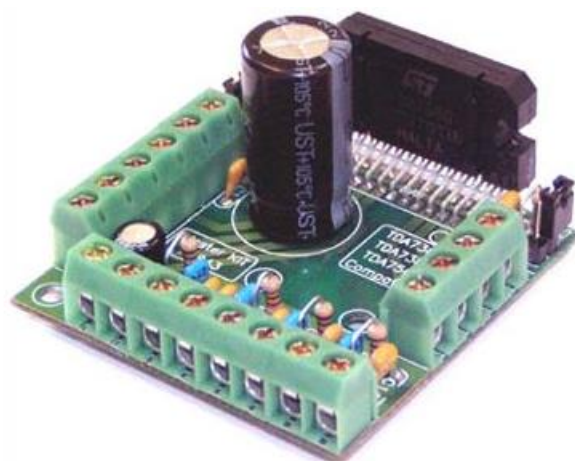


Рисунок 5 – Вигляд конструкції підсилювача на ІМС 7560

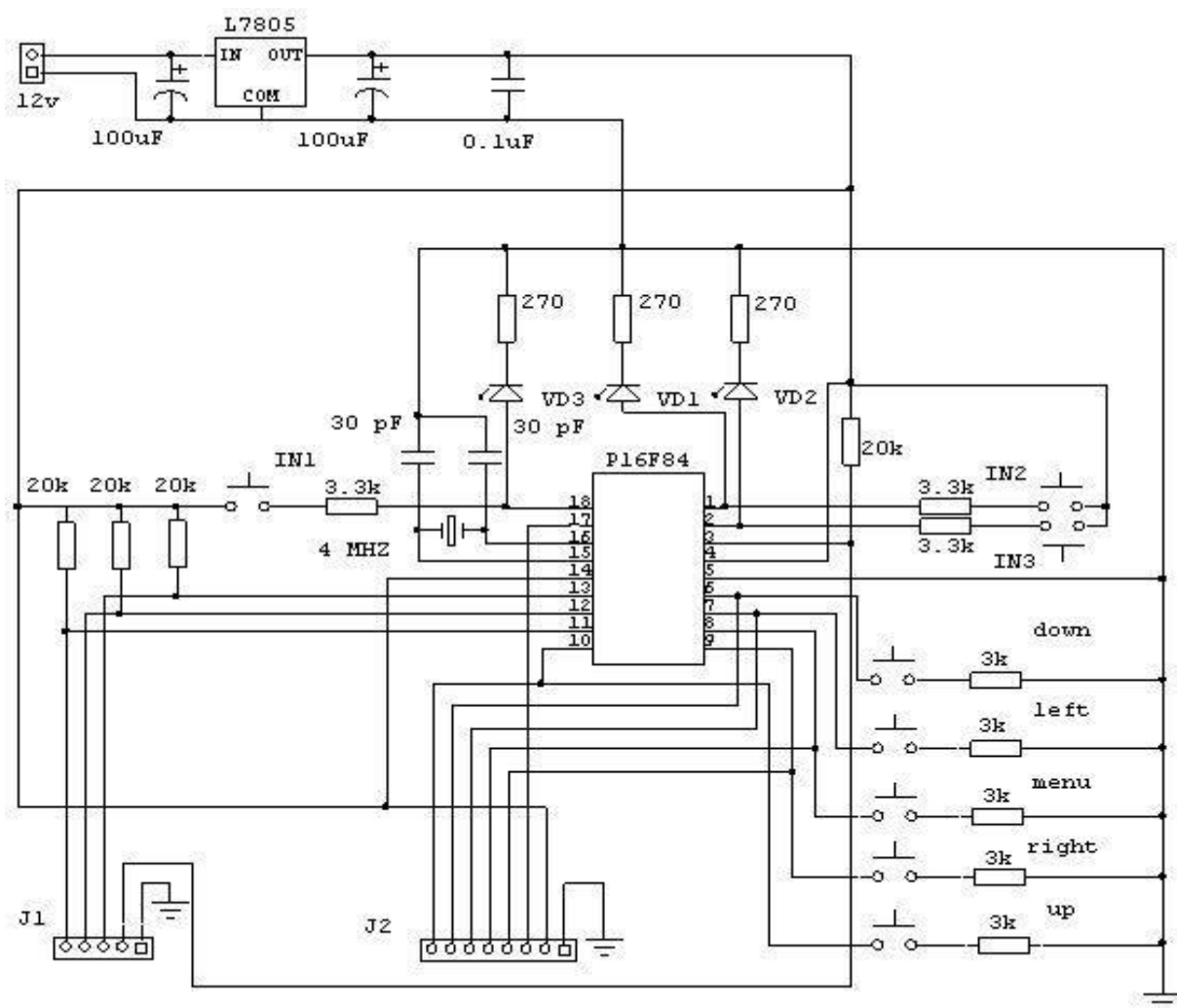


Рисунок 6 – Електрична схема блока мікропроцесора

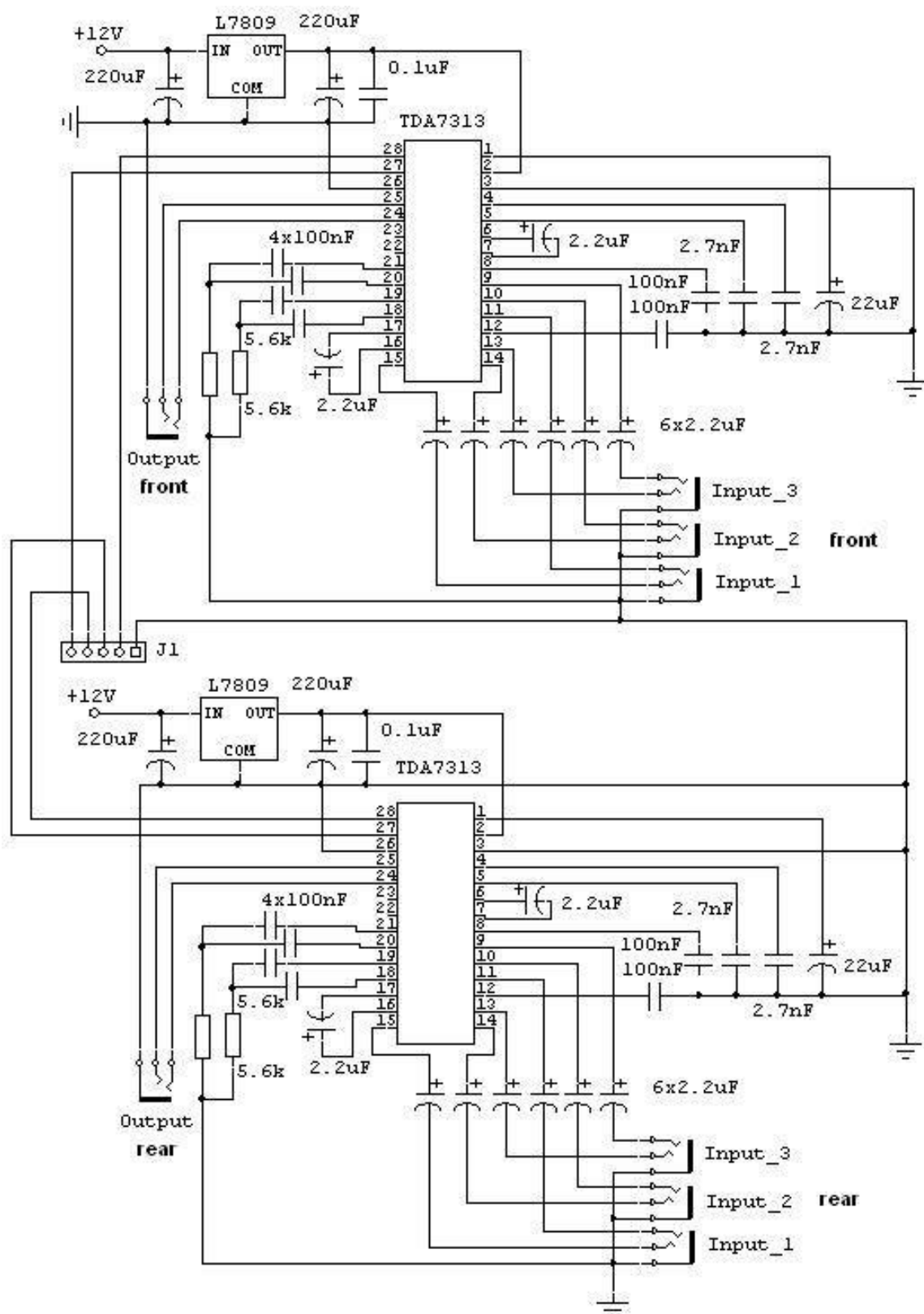


Рисунок 7 – Електрична схема блока аудіопроцесорів

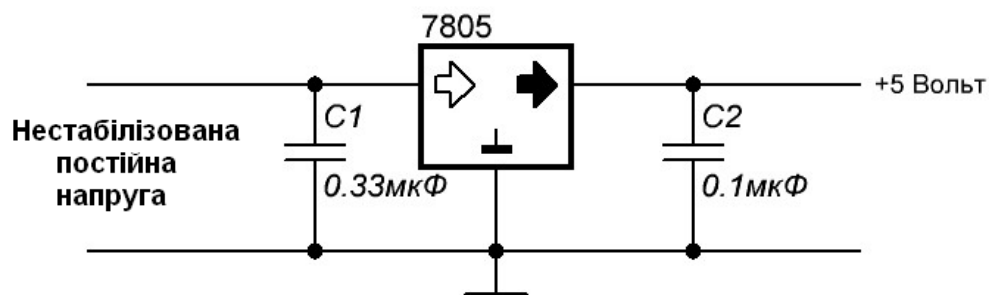


Рисунок 10 – Типова структурна схема стабілізатора напруги на LM78XX

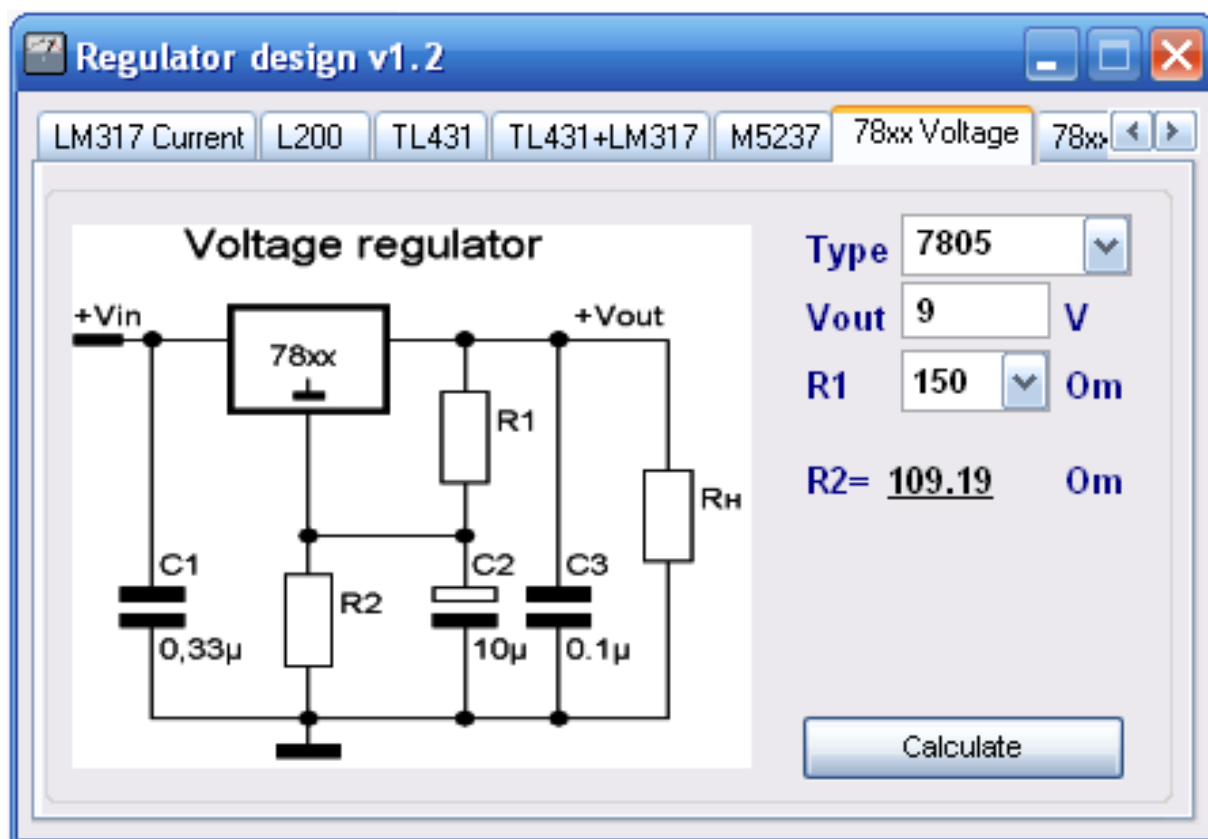


Рисунок 11 – Вікно розрахунку програми «Regulator design v1.2»

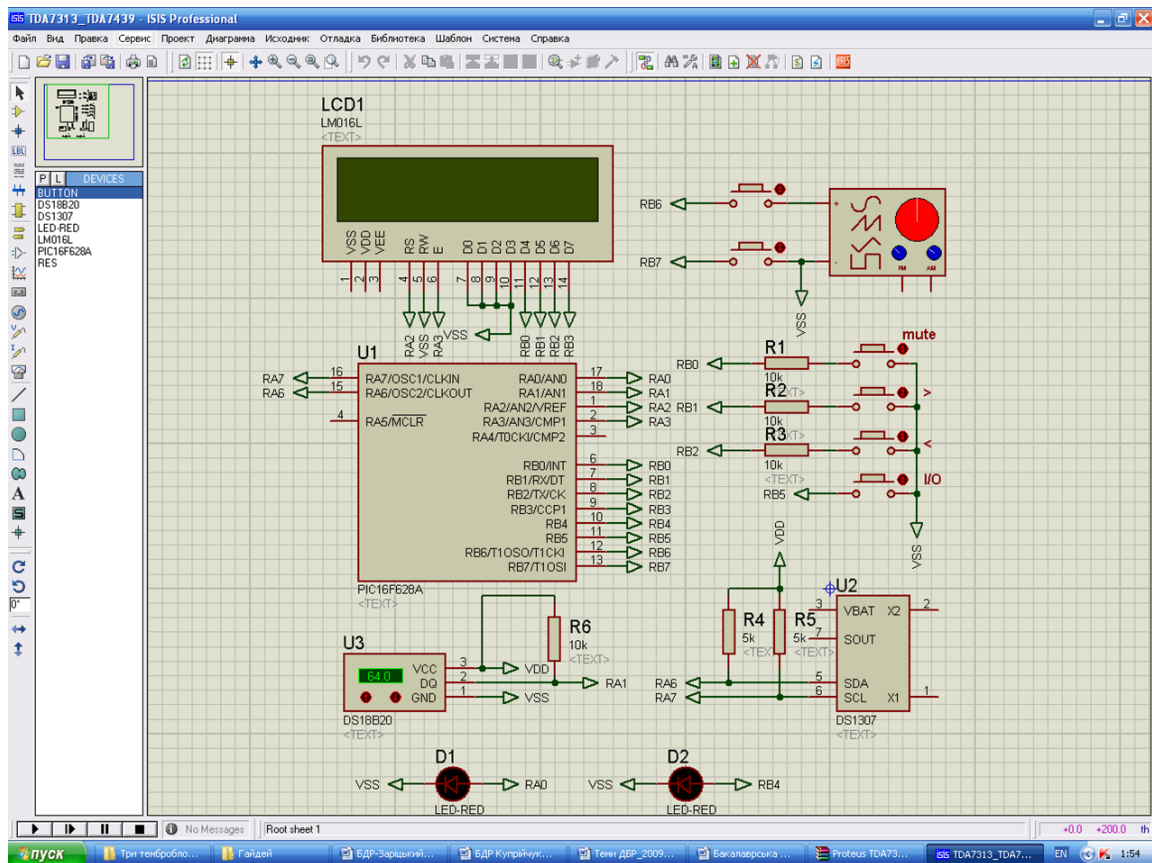


Рисунок 12 – Схема блоку керування на МК PIC628A в моделюючій програмі Proteus

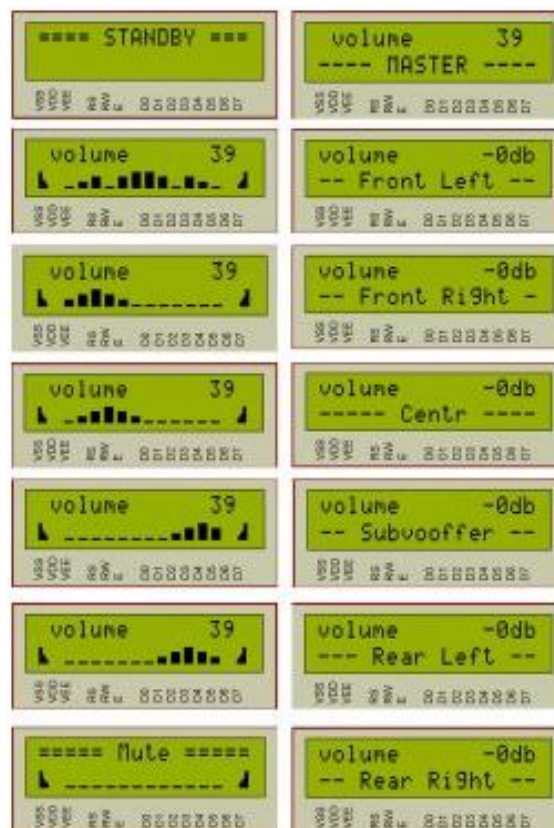


Рисунок 13 – Результати комп'ютерного моделювання мікроконтролерного блоку цифрового підсилювача звукових частот

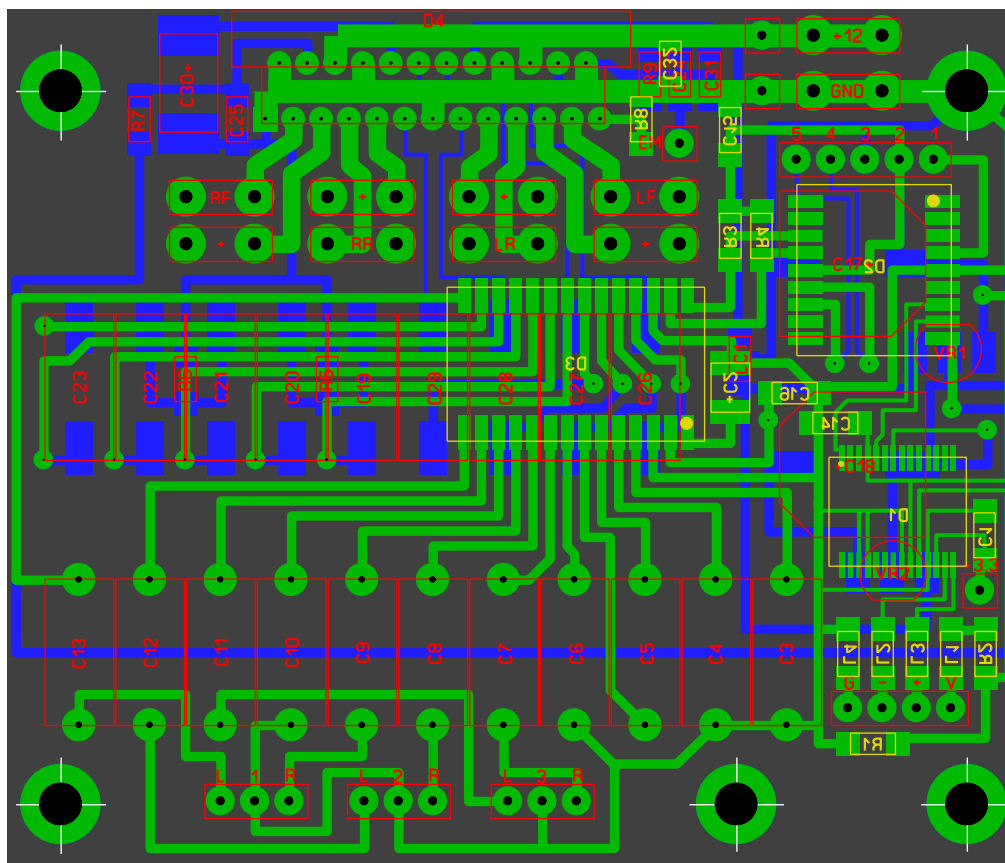


Рисунок 14 – Топологія друкованої плати блоку аудіопроцесора з інтегральним підсилювачем потужності

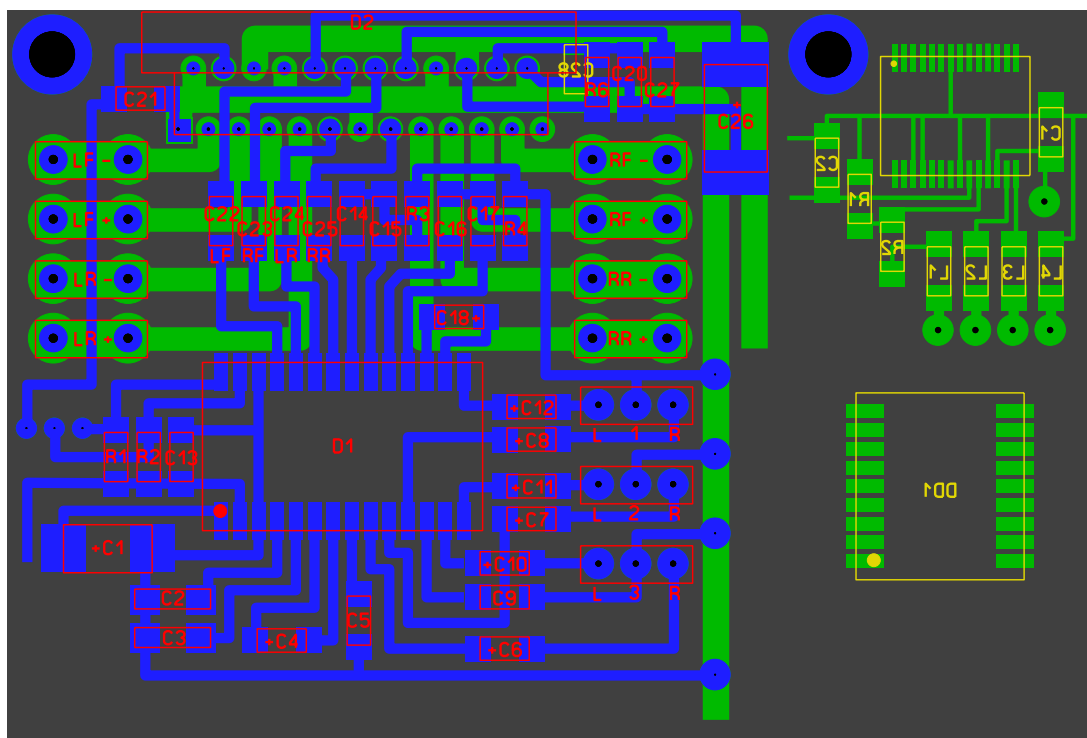


Рисунок 15 – Топологія друкованої плати мікроконтролерного блоку з перетворювачем USB-UART

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ЦИФРОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛІВ ЗВУКОВИХ
ЧАСТОТ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНІЙ ІНТЕГРАЛЬНІЙ МІКРОСХЕМІ
TDA7313**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Цифровий підсилювач потужності сигналів звукових частот на спеціалізованій інтегральній мікросхемі TDA7313»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
 (бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ІРТС
 (кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
 системою StrikePlagiarism 6.68%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

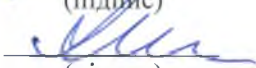
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
 (прізвище, ініціали, посада)

Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
 (прізвище, ініціали, посада)


 (підпис)


 (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку  Семенов А.О.
 (підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  Семенов А.О. – д.т.н., професор, каф. ІРТС
 (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач  Вишнівський А.І.
 (підпис) (прізвище, ініціали)