

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки

Кафедра інформаційних технологій та програмування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь бакалавр

спеціальність 171 „Електроніка”

(шифр і назва спеціальності)

на тему „Розробка блоку підсилювача звукової частоти”

Виконав: студент групи ЕЛ-21бд

(підпис)

М. С. Кудренко

(ініціали і прізвище)

Керівник

(підпис)

І. С. Тюндер

(ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри

(підпис)

О. І. Захожай

(ініціали і прізвище)

Рецензент О. І. Захожай

Київ – 2025

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут (факультет) інформаційних технологій та електроніки
Кафедра інформаційних технологій та програмування
Освітній ступінь бакалавр
спеціальність 171 „Електроніка”
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Захожай О.І.
“___” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кудренко Максим Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка блоку підсилювача звукової частоти

керівник роботи Тюндер Ірина Сергіївна, ст. викл.

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

затверджений наказом університету від “27” травня 2025 року
№67/15.15-

С

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єктом даної роботи є процес розробки блоку звукового підсилювача на мікросхемі TDA1518BQ. Схема електрична принципова, та умови експлуатації.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Аналіз технічного завдання, з висвітленням наступних питань: призначення та склад виробу, аналізу елементної бази. Розробка конструкції пристрою: визначення розмірів друкованої плати, розрахунки друкарського монтажу, розрахунки теплового режиму та розрахунок надійності пристрою, етап трасування плати. Технологія вироблення блоку та друкованої плати. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) слайди презентації

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.03.2025р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної Роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Одержання завдання на виконання роботи	30.03.25	виконано
2	Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи	06.04.25	виконано
3	Аналіз технічного завдання	13.04.25	виконано
4	Розробка конструкції блоку	20.04.25	виконано
5	Розробка технології виготовлення блоку	27.04.25	виконано
6	Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником	04.05.25	виконано
7	Здача готової пояснювальної записки на кафедру	08.06.25	виконано
8	Укладання доповіді і презентації	10.06.25	виконано

Студент

_____ М. С. Кудренко
підпис (ініціали і прізвище)

Керівник роботи

_____ І. С. Тюндер
підпис (ініціали і прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:
сторінок – 54 , рисунків – 46 , таблиць – 17 , джерел – 13 , додатків – 1,
мова – українська.

Об'єкт розробки – Підсилювач на мікросхемі TDA1518BQ

Мета роботи - розробити конструкцію виготовлення виробу на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання.

У дипломному проекті була розроблена конструкція блоку. Проведено конструктивні розрахунки, розрахунки теплового режиму і надійності пристрою. При проектуванні друкованої плати і випуску конструкторської документації широко використовувалися можливості САПР KiCad.

ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, МІКРОСХЕМА, РЕЗИСТОР, ДІОД, КОНДЕНСАТОР, ТРАНЗИСТОР, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ДРУКОВАННИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, ПЕРЕХІДНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, НАДІЙНІСТЬ, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, ТРАСУВАННЯ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	8
1.1 Аналіз призначення і складу виробу.....	8
1.2 Аналіз схеми електричної принципової.....	9
1.3 Аналіз умов експлуатації.....	10
1.4 Аналіз елементної бази.....	12
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	21
2.1 Вибір типу і розмірів друкованої плати.....	21
2.2 Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	22
2.2.1 Визначення мінімальної ширини друкованих провідників.....	23
2.2.2 Розрахунок діаметру перехідного отвору.....	23
2.2.3 Визначення діаметрів монтажних отворів та контактних майданчиків.....	24
2.2.4 Розрахунок надійності.....	26
2.2.5 Перевірочний розрахунок теплового режиму.....	28
2.3 Трасування плати.....	29
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКУ.....	47
3.1 Метод виготовлення друкованої плати.....	47
3.2 Технологія виготовлення блоку.....	49
ВИСНОВОК.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	52
ДОДАТОК А.....	54

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

НЧ – низькі частоти

СЧ – середні частоти

ВЧ – високі частоти

ДП – друкована плата

SMD – surface mount device, компонент поверхневого монтажу

САПР - Система автоматизованого проєктування

ВСТУП

У рамках цього дипломного проєкту передбачається дослідження звукових підсилювачів, а також розробка друкованої плати. Звукові підсилювачі є основними елементами аудіоапаратури, Вони забезпечують посилення звукових сигналів та їх обробку для відтворення звуку. Розробка та вдосконалення таких пристроїв є важливим складовим елементом розвитку електронних аудіосистем, а проєктування друкованих плат є невід'ємною частиною процесу виготовлення таких приладів.

Мета дослідження: Дослідити принципи роботи звукових підсилювачів та освоїти процес проєктування друкованих плат для підсилювачів звуку.

Об'єкт дослідження: Звуковий підсилювач як електронний прилад, що здійснює посилення аудіосигналу для подальшого відтворення звуку.

Предмет дослідження: Процес проєктування та виготовлення друкованої плати, включаючи вибір елементної бази, трасування та виготовлення плати.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз призначення і складу виробу

Підсилювачі – пристрої, які збільшують амплітуду або потужність вхідного сигналу для подальшого відтворення або обробки. Вони використовуються у аудіо, телекомунікації та радіоелектроніці, забезпечуючи чистий і потужний сигнал. Ціль цього дипломного проєкту виготовлення блока підсилювача потужності аудіосигнала для салону легкового автомобіля [2; 4].

Трьохканальний підсилювач потужності – пристрій, призначений для підсилення аудіосигналу, з розділенням на канали для низьких та середньо-високих частот. Завдяки цьому можна досягти балансу між потужністю басів і чистотою середніх/високих частот, що є актуальним у замкнутому просторі [1].

Таблиця 1.1 – Параметри трьохканального підсилювача

Сумарний діапазон відтворюваних частот	12 – 20000 Гц
Максимальна вихідна потужність (КНІ=10%, $R_H=4$ Ом, $U_P=14$ В)	
СЧ-ВЧ канали	2x12 Вт
НЧ-канал	24 Вт
Номінальна потужність (КНІ=0.2%)	
СЧ-ВЧ канали	2x8 Вт
НЧ-канал	14 Вт
Максимальний споживаний струм	8 А

Блок підсилювача складається з двох частин: металевого корпусу та друкованої плати.

Металевий корпус, який захищає друковану плату від механічних пошкоджень, виконує роль пасивного охолоджувача для мікросхем, а також слугує екраном від електромагнітних перешкод. Окрім цього, він базово захищає від пилу та вологи.

Друкована плата, яка містить в собі дві мікросхеми TDA1518BQ, де перша використовується як стереопідсилювач для СЧ та ВЧ каналів та має вихідну потужність до 12 Вт, а друга для підсилення низькочастотного каналу, яка розвиває до 24 Вт при 4 Ом навантаженні. В конструкцію блока входить система розподілу сигналу на правий та лівий канал звуку.

Оскільки ця схема передбачає ще один динамік для низьких частот (басів), потрібно його надійно вмонтувати в автомобіль. Підсилювач належить до класу мобільних пристроїв, тому його потрібно закріпити там, де буде достатньо вентиляції і буде забезпечений захист від механічних пошкоджень, наприклад в багажнику або під сидінням. Він підключається до штатного роз'єму для стереосигналу, а живлення інтегрується в електроживлення авто для стабільної роботи. Підсилювач з'єднується з динаміками, надаючи покращене та потужніше відтворення звуку.

1.2 Аналіз схеми електричної принципової

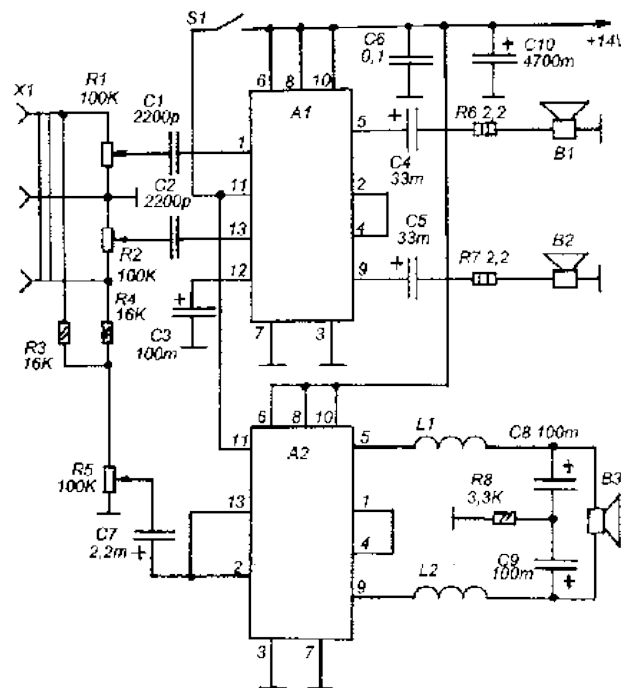


Рисунок 1.1 – Схема електрична принципова підсилювача.

Стереосигнал надходить через роз'єм X1, а потенціометри R1, R2, відповідають за налаштування стереобалансу та рівня СЧ та ВЧ каналів. Сигнали, що пройдуть через конденсатори C1, C2 з невеликою ємністю, потраплять на синфазні входи підсилювачів у мікросхемі A1, яка працює в двоканальному режимі. Режим роботи мікросхеми TDA1518BQ встановлюється шляхом замикання контактів на мікросхемі: двоканальний режим - з'єднання виводу 2 з 4, режим моста, який дозволяє підсилювати сигнал з вищою потужністю – з'єднання виводів 4 з 1 та 2 з 13. Часткове завалення низьких частот відбувається вже на входах через низьку ємність C1, C2, а основне завалення НЧ – на виході за рахунок фільтрів ВЧ, які складаються з конденсаторів C4-C5, резисторів R6-R7, а також опір динаміків, з частотою розділу близько 400 Гц. Для НЧ каналу на мікросхемі A2, суматор на резисторах R3-R4 та конденсаторі C10 формує моносигнал, який регулюється за допомогою потенціометра R5, а вхідний фільтр НЧ, що складається з котушок L1, L2, опору динаміка та паралельних конденсаторів C8, C9, забезпечує завал частот вище 500 Гц.

Підсилювачу потрібен високий струм, тому вимикач у схемі не передбачено, він постійно під'єднаний до центрального живлення, але при розмиканні S1, переходить у режим очікування та споживає менше 1 мА. + 12В на виводи двох мікросхем, надходять з антенного виходу магнітоли.

1.3 Аналіз умов експлуатації

Даний пристрій відноситься до класу мобільної електронної апаратури та для нього передбачено встановлення в транспортному засобі – в автомобілі. Пристрій буде використовуватись в помірного кліматі, тому доцільно використовувати класифікацію умов навколишнього середовища відповідно до міжнародного стандарту МЕК 60172-3-5 (умови для транспорту) [3].

Основні класи умов експлуатації:

1. - Кліматичні умови – клас 5K2

- Робоча температура від -25°C до 55°C , при цьому можливе короткочасне підвищення температури вище граничного значення внаслідок прямого сонячного опромінювання корпусу, особливо при його встановленні поблизу вікон або в салоні без належної вентиляції.

Відносна вологість: може досягати до 95%, що матиме високий ризик утворення водного конденсату на поверхні елементів. У зв'язку з цим можливе використання вологозахисного лаку або можна провести герметизацію корпусу.

2. - Механічні впливи – клас 5M2

Умови експлуатації в транспортному засобі супроводжуються постійним механічним навантаженням у вигляді вібрації та ударів.

Вібрація є типовим фактором під час руху, наприклад на дорогах з нерівним покриттям. Тривалі вібрації можуть спричинити пошкодження пайки, роз'ємів, а також пошкодження самої плати. Щоб знизити ризики, потрібно надійно закріпити корпус за допомогою гвинтів та бажано використовувати демпфуючі матеріали для зниження коливань [3].

Ударні навантаження виникають під час гальмування, прискорення або наїзду на перешкоди. Корпус пристрою має бути виконаний з міцного матеріалу, здатного витримувати такі дії без деформацій.

3. Атмосферні впливи – клас 5B1

У середовищі експлуатації можливе потрапляння пилу, бруду, а також вплив вологи у вигляді конденсату. Це актуально для тих пристроїв які встановлюються у багажному відділенні. Для надання пристрою довготривалої роботи необхідно передбачити герметичний корпус, та провести заходи з захисту від пилу та вологи внутрішніх елементів [3].

Врахування умов експлуатації є дуже важливим при проектуванні мобільної електроніки для транспортних засобів. Відповідність вимогам цих класів буде гарантувати надійність та довговічність пристрою. Усі рішення щодо вибору матеріалів, способів монтажу, та засобів захисту мають базуватись на цих класифікаціях.

1.4 Аналіз елементної бази

A1, A2 – Мікросхема TDA1518BQ

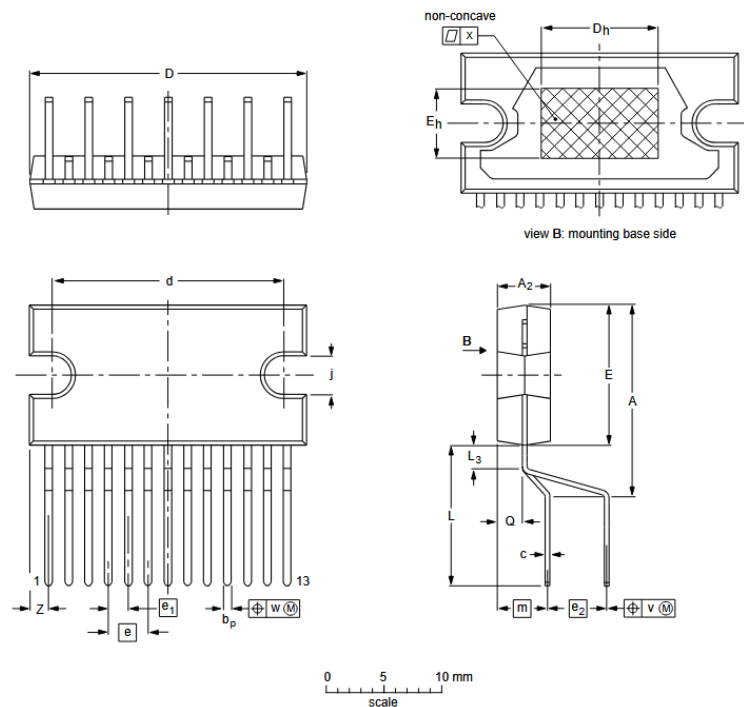


Рисунок 1.2 – Габарити TDA1518BQ

Таблиця 1.2 – Характеристики мікросхеми TDA1518BQ

Параметр	Стерео (2×12 Вт)	Режим моста (24 Вт)
Вихідна потужність (THD = 0,5%)	2×5 Вт	17 Вт
Вихідна потужність (THD = 10%)	2×6 Вт	22 Вт
Діапазон частот (-3 дБ)	45 Гц – 20 кГц	45 Гц – 20 кГц
Коефіцієнт підсилення (закритий контур)	40 дБ	46 дБ
Придушення пульсацій живлення (ON/mute/standby)	48 / 48 / 80 дБ	48 / 48 / 80 дБ
Вхідний опір	60 кΩ	30 кΩ
Рівень шуму (ON, RS = 0 Ω)	150 μВ	200 μВ
Поділ каналів	40 дБ	—
Напруга живлення	8,1 – 18 В	8,1 – 18 В

Максимальний струм споживання	8 А	8 А
Ширина корпусу	24.0 мм	
Крок між выводами	3.4 мм	
Мінімальна відстань між выводами	1.7 мм	

C1, C2 – Конденсатор 2A223J 2200 пФ

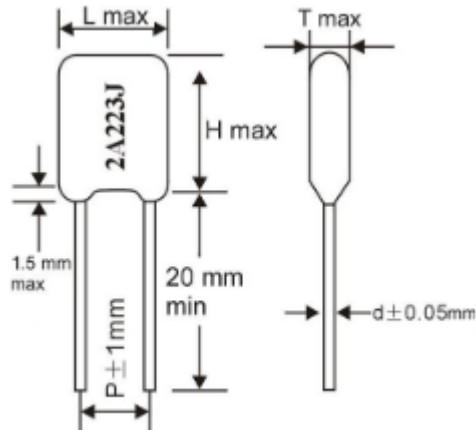


Рисунок 1.3 – Конденсатор 2A223J 2200 пФ 100В

Таблиця 1.3 – Характеристики конденсатора 2200 пФ

Матеріал діелектрика	поліетилентерефталат
Номінальна напруга	100 В
Діапазон номіналів ємностей	0.001 ~ 0.22 мкФ
Допустиме відхилення ємності	±5%
Коефіцієнт загасання	≤ 0.01 (1 кГц)
Температурний діапазон	-40 ~ +85°C
Довжина корпусу	6.5 мм
Ширина корпусу	4.0 мм

C3, C8, C9 – Електролітичний конденсатор SMD JCK 25В 100мкФ

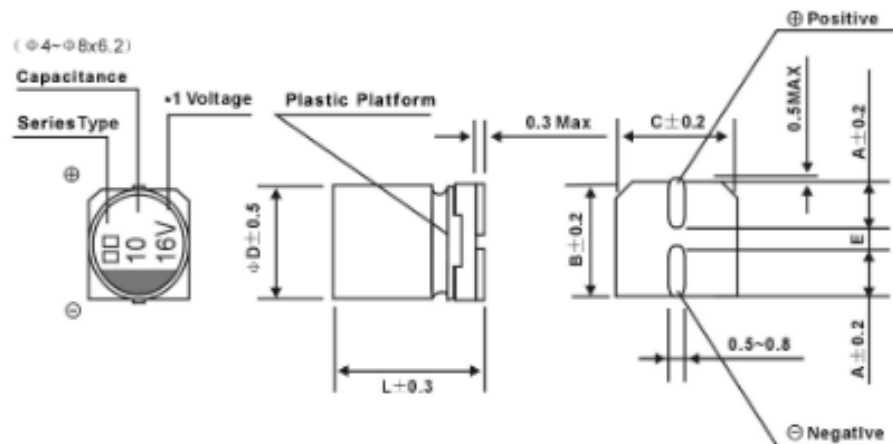


Рисунок 1.4 – Розміри конденсатора SMD JCK

Таблиця 1.4 – Характеристики конденсатора SMD JCK 25В 100 мкФ

Робоча напруга	25В
Номінальна ємність	100 мкФ
Допуск номінальної ємності	20%
Робоча температура	-40...105
Тангенс кута втрат	0.16%
Струм витоку	3 мкА
Діаметр корпусу (D)	6.3 мм
Довжина корпусу (L)	7.7 мм

С4, С5 - Електролітичний конденсатор ЕСАР 33мкФ 25В

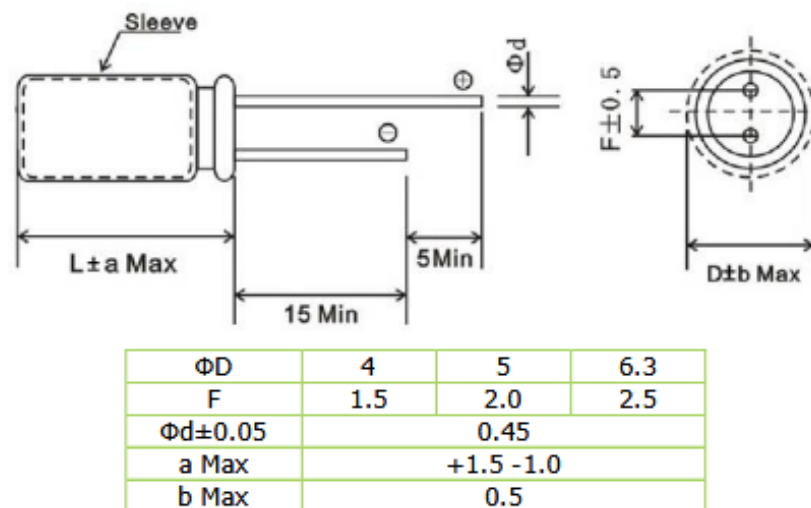


Рисунок 1.5 – Розміри конденсатора ЕСАР 33 мкФ 25 В

Таблиця 1.5 – Характеристики конденсатора ЕСАР 33 мкФ 25 В

Робоча напруга	25 В
Номінальна ємність	33 мкФ
Допуск номінальної ємності	20 %
Робоча температура	-40...85 °С
Тангенс кута втрат	0.15 %
Струм витоку макс.	11 мкА
Діаметр корпусу (D)	5 мм
Довжина корпусу (L)	7 мм

С7 – Електролітичний конденсатор SMD 293D 2.2 мкФ 25В

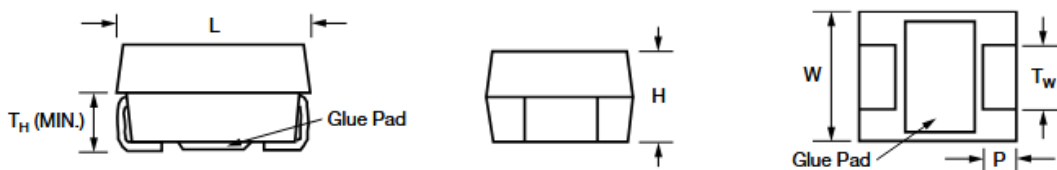


Рисунок 1.6 – Розміри конденсатора SMD серії 293

Таблиця 1.6 – Характеристики конденсатора 293D

Робоча напруга	25 В
Номінальна ємність	2.2 мкФ
Допуск номінальної ємності	10 %
Робоча температура, °C	-55...85 °C / +125
Тангенс кута втрат, %	6 %
Струм витoku макс.	0.5 мкА
Ширина корпусу, W	3.2 мм
Довжина корпусу, L	1.6 мм

С10 – Електролітичний конденсатор JNE1E472M10002200250

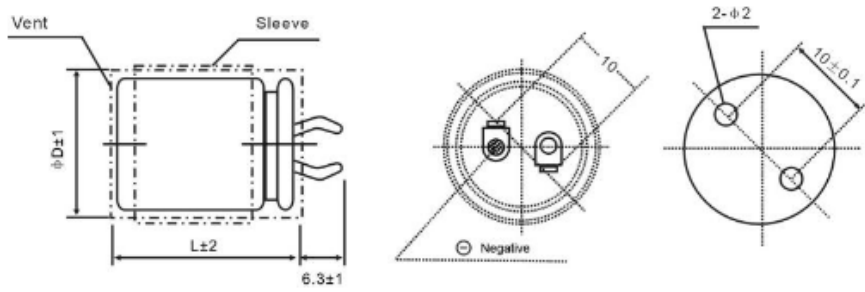


Рисунок 1.7 – Розміри конденсатора JNE1E472M10002200250

Таблиця 1.7 – Характеристики конденсатора JNE

Робоча напруга	25 В
Номінальна ємність	4700 мкФ
Допуск номінальної ємності	20 %
Робоча температура	-40...105 °C
Тангенс кута втрат	0.3 %
Виводи/корпус	Snap-in
Діаметр корпусу	22 мм
Довжина корпусу	25 мм

С6 – Конденсатор керамічний Y5V

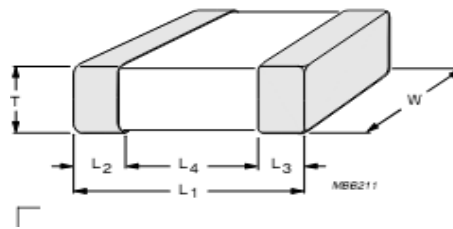


Рисунок 1.8 – Розміри конденсатора Y5V

Таблиця 1.8 – Характеристики конденсатора Y5V

Виводи/корпус	0805
Робоча напруга	50 В
Номінальна ємність	0.1 мкФ
Допуск номінальної ємності	20 %
Температурний коефіцієнт ємності	Y5V
Робоча температура	-30...85 °C
Довжина корпусу	2 мм
Ширина корпусу	1.25 мм

R1, R2, R5 – Змінний резистор 16K1-A100K

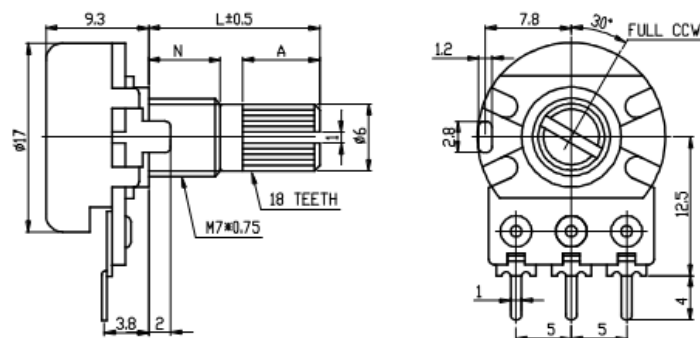


Рисунок 1.9 – Розміри змінного резистора 16K1-A100K

Таблиця 1.9 – Характеристики змінного резистора

Номінальний опір	100 кОм
Точність	10 %
Функціональна характеристика	Логарифмічна
Номінальна потужність	0.2 Вт
Максимальна робоча напруга	150 В
Робоча температура	-10...70 °C
Кут повороту повзунка	300 °
Довжина повзунка	20 мм
Глибина корпусу	9.3 мм
Ширина корпусу	12.5 мм

R3, R4 – Резистор SMD 1206

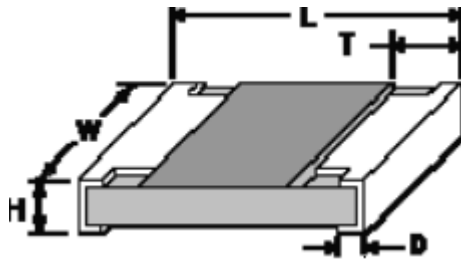


Рисунок 1.10 – Розміри резистора SMD 1206

Таблиця 1.10 – Характеристики резистора SMD 1206

Номінальний опір	16 кОм
Точність	5 %
Номінальна потужність	0.25 Вт
Максимальна робоча напруга	200 В
Робоча температура	-55...125 °C
Довжина корпусу	3.2 мм
Ширина корпусу	1.6 мм

R6, R7 – Резистор PR02000202208JA100

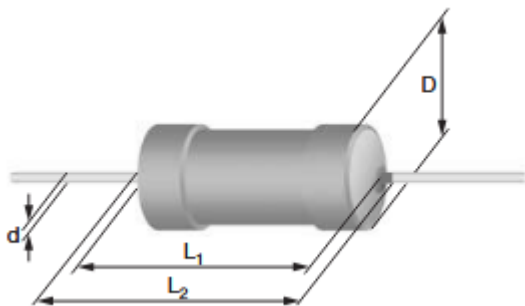


Рисунок 1.11 – Розміри резистора PR02000202208JA100

Таблиця 1.11 – Характеристики резистора PR02

Опір	2.2 Ом
Похибка	±5 %
Температурний коефіцієнт	250 ppm/°C
Максимальна робоча напруга (DC)	500 В
Потужність	2 Вт
Розмір	3.9×12 мм

R8 – Резистор SMD 0805 3.3 кОм 0,125 Вт

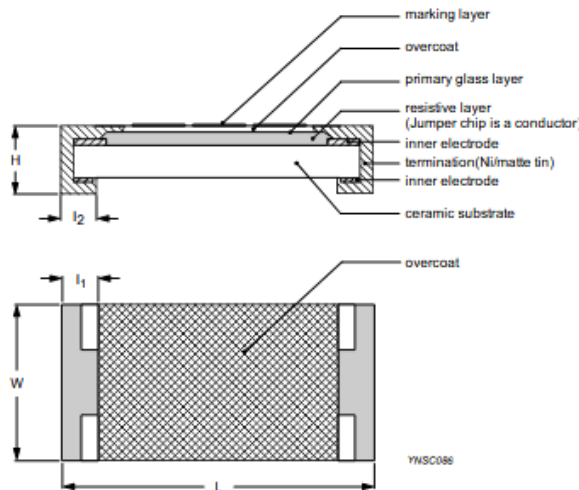


Рисунок 1.12 – Розміри резистора SMD 0805

Таблиця 1.12 – Характеристики резистора SMD 0805

Номинальний опір	3.3 кОм
Точність	5 %
Номинальна потужність	0.125 Вт
Максимальна робоча напруга	150 В
Робоча температура	-55...155 °C
Довжина корпусу	2 мм
Ширина корпусу	1.25 мм

L1, L2 – Котушки індуктивності CDCSAB0420-100M

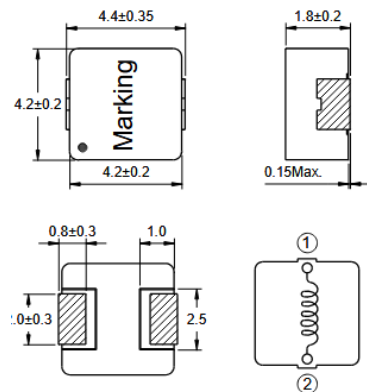


Рисунок 1.13 – Розміри котушок серії CDCSAB0420

Таблиця 1.13 – Характеристики котушки CDCSAB0420-100M

Номінальна індуктивність	10 мкГн
Допуск номінальної індуктивності	20 %
Активне опір	0.282 Ом
Робоча температура	-40...125 °C
Довжина корпусу	4.4 мм
Ширина корпусу	4.2 мм

X1 – Роз’єм 3.5 стерео ASJ-107-B

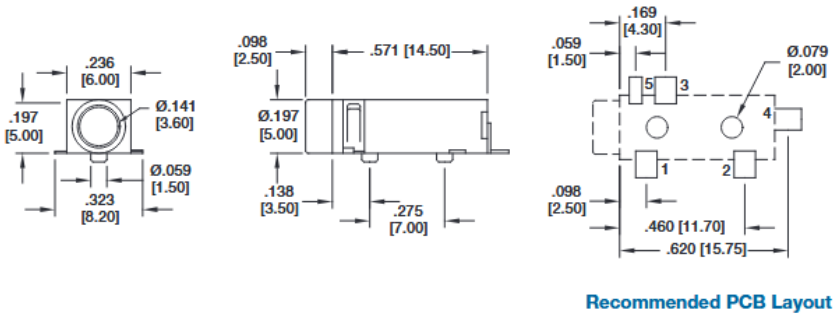


Рисунок 1.14 – Розміри роз’єму 3.5 ASJ

Таблиця 1.14 – Характеристики роз’єму 3.5 ASJ-107-B

Стандарт	3.5 мм
Кількість позицій	5 позицій
Конфігурація вимикача	Перемикачений
Покриття контакту	Золото
Номінальна напруга	30 VDC
Матеріал контакту	Мідь (латунь)
Ширина корпусу	14.5 мм
Довжина корпусу	6 мм

S1 – Перемикач KCD1-101

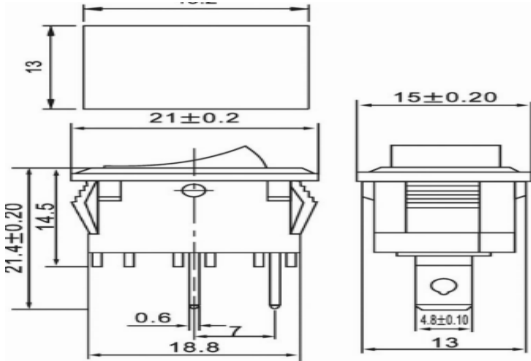


Рисунок 1.15 – Розміри перемикача KCD1-101

Таблиця 1.15 – Характеристики перемикача KCD1-101

Робоче напруга постійне	250 В
Максимальний комутуємий постійний струм	6 А
Кількість контактів в контактній групі	2
Кількість контактних груп	1
Алгоритм роботи	on-off
Робоче напруга	250 В
Граничне напруга	1500 В
Робочий струм	6 А
Довжина корпусу	18.8 мм
Ширина корпусу	13 мм

В результаті аналізу технічного завдання та елементної бази спроектуємо двосторонню друковану плату з використанням третього класу точності.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

2.1 Вибір типу і розмірів друкованої плати

Друковану плату будемо виготовляти використовуючи 3 клас точності. Цей клас характеризується шириною друкованого провідника у 0,25 мм та відстанню між краями сусідніх елементів друкованого рисунка у 0,25 мм. Крок координатної сітки – 1,25 мм, що забезпечить достатню точність і зручність при трасуванні. Крок розміщення елементів встановимо 1,25 мм, з урахуванням класу точності.

Для визначення орієнтовної площі друкованої плати можемо скористатися формулою:

$$S = K_y \cdot \sum_{i=1}^n S_i l \quad (2.1)$$

де S_i – площа i -го елемента;

K_y – коефіцієнт запасу площі плати (від 1 до 3);

n – кількість елементів.

Розрахуємо площу груп елементів:

$$S_R = 3 \cdot (9,3 \cdot 12,5) + 2 \cdot (3,2 \cdot 1,6) + 2 \cdot (3,9 \cdot 12) + 2 \cdot 1,25 = 455,09 \text{ мм}^2$$

S_R – загальна площа усіх резисторів;

$$S_C = 2 \cdot (4,0 \cdot 6,5) + 3 \cdot \left(\pi \cdot \left(\frac{6,3}{2} \right)^2 \right) + 2 \cdot \left(\pi \cdot \left(\frac{5}{2} \right)^2 \right) + \pi \cdot \left(\frac{3,2}{2} \right)^2 + \pi \cdot \left(\frac{22}{2} \right)^2 + 1,25 \cdot 2 = 575,45 \text{ мм}^2$$

S_C – загальна площа усіх конденсаторів;

$$S_L = 2 \cdot (4,4 \cdot 4,2) = 36,96 \text{ мм}^2 \text{ – загальна площа усіх котушок індуктивності;}$$

$$S_A = 2 \cdot (4,6 \cdot 24) = 220,8 \text{ мм}^2 \text{ – загальна площа усіх мікросхем;}$$

$$S_X = 14,5 \cdot 6 = 87,0 \text{ мм}^2 \text{ – площа роз'єму;}$$

$S_s = 18,8 \cdot 13 = 244,4 \text{ мм}^2$ – площа перемикача;

За формулою 2.1 ми отримаємо:

$$S_{\text{ДП}} = (455,09 + 575,45 + 36,96 + 220,8 + 87,0 + 244,4) \cdot 2 = 3239,4 \text{ мм}^2$$

У результаті розрахунків, визначено що мінімальний розмір ДП становить 60х60 мм. Проте з метою покращення зручності розміщення електронних компонентів та трасування друкованих провідників, збільшмо розмір плати до 80х80 мм.

2.2 Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу

При виготовленні друкованих плат необхідно забезпечити надійну роботу електронного пристрою, тому кожен параметр, від товщини фольги до допусків на отвори впливає на механічну надійність та стабільність самих з'єднань. Недотримання таких вимог може призвести до механічних пошкоджень елементів, плати або коротких замкнень.

Для виготовлення друкованої плати вибираємо склотекстоліт FR4, який має наступні характеристики:

- товщина фольги 35 мкм;
- допустима щільність струму $I_{\text{доп}} = 20 \text{ А/мм}^2$;
- питомий опір $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;
- мінімальне значення номінальної ширини провідника $b = 0,6 \text{ мм}$;
- відношення діаметра отвору до товщини плати $\gamma \geq 0,4$;
- допуск на отвори $\Delta d = +0 / 0,10 \text{ мм}$;
- допуск на ширину провідника $b = \pm 0,05 \text{ мм}$ (без покриття) $\pm 0,10 \text{ мм}$ (з покриттям);
- допуск на розташування отворів $d = 0,08 \text{ мм}$;
- допуск на розташування провідників на двосторонній друкованій платі (ДДП) $\delta_1 = 0,05 \text{ мм}$;

- Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика $b_m = \geq 0,10$ мм;

Конструктивні обмеження відповідають третьому класу точності.

2.2.1 Визначення мінімальної ширини друкованих провідників

На ширину друкованих провідників впливають максимальний струм живлення, шин заземлення та допустиме падіння напруги в сигнальних ланцюгах, а також технології виготовлення та клас точності плати.

Визначимо мінімальну ширину b_{minI} , мм, провідника по постійному струму за формулою:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{I_{доп}} h_{\phi}, \quad (2.2)$$

I_{max} – макс. постійний струм у провідниках, А;

$I_{доп}$ – допустима щільність струму А/мм² ;

h_{ϕ} – товщина провідника (товщина фольги), мм;

$$b_{minI} = \frac{8}{20} \cdot 0,035 \geq 0,014 \text{ мм}^2$$

Шину живлення та землі слід прокладати шириною 0,5 мм задля надійної провідності та зменшення падінь напруги. Сигнальні провідники треба прокласти шириною 0,3 мм, тому що вони передають невеликі струми та менш критичні до опору провідників.

2.2.2 Розрахунок діаметру перехідного отвору

Перехідні отвори зазвичай важливі для багат шарових плат, оскільки вони дають змогу переносити електричне з'єднання між шарами.

Розрахунок діаметру перехідного отвору виконується за цією формулою:

$$d_{\pi} \geq \gamma \cdot H_{\pi}$$

де γ – відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини плати;

H_{Π} - товщина плати.

$$d_{\Pi} \geq 0,33 \cdot 1,5 \geq 0,495 \text{ мм}^2 = 0,5 \text{ мм}^2$$

2.2.3 Визначення діаметрів монтажних отворів та контактних майданчиків

Контактний майданчик отвору на ДП слугує для надійної пайки виводів навісних компонентів та забезпечує надійний електричний контакт між провідниками на різних сторонах плати. Внаслідок особливостей травлення фольги виникає бічне підточування, яке зменшує реальні розміри друкованого малюнка і може послабити адгезійний шар між фольгою та діелектриком. Це може призвести до відшаровування тонких провідників плати.

$$d_{\max A, R6, R7, C4, C5} = 0,75 + 0,1 + 0,2 \geq 1,05 = 1,1$$

$$d_{\max C10} = 2 + 0,1 + 0,2 \geq 2,3 = 2,5$$

$$d_{\max C1, C2} = 0,05 + 0,1 + 0,2 \geq 0,35 = 0,5$$

$$d_{\max C4, C5} = 0,45 + 0,1 + 0,2 \geq 0,75 = 1,1$$

$$d_{\max R1, R2, R5} = 1 + 0,1 + 0,2 \geq 1,3 = 1,5$$

$$d_{\max R6, R7} = 0,78 + 0,1 + 0,2 \geq 1,08 = 1,1$$

Згрупуємо всі елементи у групу діаметрів отворів

$$d_1 = 1,1 \text{ мм}^2$$

$$d_2 = 1,5 \text{ мм}^2$$

$$d_3 = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$d_4 = 2,5 \text{ мм}^2$$

$$D = (d + \Delta d_B) + 2b + \Delta t_B + 2\Delta d_T + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_H^2} \quad (2.3)$$

де d – діаметр отвору

Δd_B – верхнє граничне відхилення діаметру отвору

b – гарантійний поясок контактного майданчика

Δd_T – підтравлювання діелектрика (для багатошарових плат $\approx 0,03$ мм);

T_d – діаметральне значення позиційного припуску розміщення центрів отворів відносно номінального положення

Δt_B – верхнє граничне відхилення ширини провідника

T_D – діаметральне значення позиційного припуску розміщення контактних майданчиків відносно номінального значення

Δt_H – нижнє граничне відхилення ширини провідника

$$D_{d1} = (1,1 + 0,05) + 2 \cdot 0,10 + 0,10 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + (-0,10)^2} \\ \approx 1,64 \text{ мм}^2$$

$$D_{d2} = (1,5 + 0,05) + 2 \cdot 0,10 + 0,10 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + (-0,10)^2} \\ \approx 2,04 \text{ мм}^2$$

$$D_{d3} = (0,5 + 0,05) + 2 \cdot 0,10 + 0,10 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + (-0,10)^2} \\ \approx 1,04 \text{ мм}^2$$

$$D_{d4} = (2,5 + 0,05) + 2 \cdot 0,10 + 0,10 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + (-0,10)^2} \\ \approx 3,04 \text{ мм}^2$$

Оскільки на платі використовуються SMD-компоненти, розрахуємо діаметр контактних майданчиків, відповідно до їхніх розмірів та вимог монтажу.

$$X_{C3,C8,C9} = kH + M + D = 0,4 \cdot 7,7 + 2,2 + 0,2 = 5,48 \text{ мм}^2$$

$$Y_{C3,C8,C9} = B + 0,2H = 6,6 + 0,2 \cdot 7,7 = 8,14 \text{ мм}^2$$

$$Z_{C3,C8,C9} = 2kH + L = 2 \cdot 0,4 \cdot 7,7 + 7,7 = 13,86 \text{ мм}^2$$

$$X_{C7} = 0,4 \cdot 2,8 + 2,4 + 0,2 = 3,72 \text{ мм}^2$$

$$Y_{C7} = 4,3 + 0,2 \cdot 2,8 = 4,86 \text{ мм}^2$$

$$Z_{C7} = 2 \cdot 0,4 \cdot 2,8 + 7,3 = 9,54 \text{ мм}^2$$

$$X_{C6} = 0,3 \cdot 1,25 + 0,7 + 0,2 = 1,27 \text{ мм}^2$$

$$Y_{C6} = 2,0 \cdot 0,2 \cdot 1,25 = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$Z_{C6} = 2 \cdot 0,3 \cdot 1,25 + 2 = 2,75 \text{ мм}^2$$

$$X_{R3,R4} = 0,3 \cdot 0,60 + 0,50 + 0,2 = 0,88 \text{ мм}^2$$

$$Y_{R3,R4} = 1,60 + 0,2 \cdot 0,60 = 1,72 \text{ мм}^2$$

$$Z_{R3,R4} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,60 + 3,20 = 3,56 \text{ мм}^2$$

$$X_{R8} = 0,3 \cdot 0,50 + 0,35 + 0,2 = 0,7 \text{ мм}^2$$

$$Y_{R8} = 1,25 + 0,2 \cdot 0,50 = 1,35 \text{ мм}^2$$

$$Z_{R8} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,50 + 2,0 = 2,3 \text{ мм}^2$$

$$X_{L1,L2} = 0,4 \cdot 1,8 + 2,0 + 0,1 = 2,82 \text{ мм}^2$$

$$Y_{L1,L2} = 4,2 + 0,2 \cdot 1,8 = 4,56 \text{ мм}^2$$

$$Z_{L1,L2} = 2 \cdot 0,4 \cdot 1,8 + 4,4 = 5,84 \text{ мм}^2$$

$$X_{X1} = 0,4 \cdot 5,0 + 1,0 + 0,1 = 3,1 \text{ мм}^2$$

$$Y_{X1} = 14,5 + 0,2 \cdot 5,0 = 15,5 \text{ мм}^2$$

$$Z_{X1} = 2 \cdot 0,4 \cdot 5,0 + 6,0 = 10 \text{ мм}^2$$

2.2.4 Розрахунок надійності

Головним чинником ефективності у пристрої є його надійність, яка оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи.

Надійність – означає здатність об'єкта виконувати задані функції протягом певного часу, підтримуючи необхідні характеристики експлуатації у допустимих межах відповідно до встановлених режимів роботи, умов використання, зберігання та транспортування.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані для розрахунку надійності пристрою

№	Назва	Число конт.	Кількість ел.	Інтенсивність відмов	Коеф. навантаження	$N \cdot \lambda \cdot \alpha$
1	TDA1518BQ	13	2	0,7	1	1,4
2	Конденсатор 2A223J	2	2	0,1	1	0,2
3	Конденсатор JCK	2	3	0,1	1	0,3
4	Конденсатор ECAP	2	2	0,3	1,5	0,9
5	Конденсатор 293D	2	1	0,5	1	0,5
6	Конденсатор JNE1E	2	1	0,1	1	0,1
7	Конденсатор Y5V	2	1	0,15	1	0,15
8	Перемінний резистор 16K1-A100K	3	3	0,02	1,2	0,072
9	Резистор 1206	2	2	0,01	1	0,02
10	Резистор PR02	2	2	0,02	1,2	0,048
11	Резистор 0805	2	1	0,01	1	0,01
12	Котушка індуктивності CDCSAB0420	2	2	0,03	1,5	0,09
13	Роз'єм ASJ-107-B	5	1	0,05	1	0,05
14	Перемикач KCD1-101	2	1	0,05	1	0,05

Підсумуємо значення сумарної інтенсивності відмов:

$$\lambda_{\Sigma} = 0.2 + 0.3 + 0.9 + 0.5 + 0.1 + 0.15 + 0.072 + 0.02 + 0.048 + 0.01 + 0.09 + 0.05 = \frac{2,44}{1000000} = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ год}$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи для 1000 годин за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-2,44 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,997563$$

Також розрахуємо ймовірність відмови за наступною формулою:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,997563 = 0,002437$$

Таблиця 2.2 – Імовірності відмов і безвідмовної роботи пристрою

Час наробітку на відмову, ч	Імовірність безвідмовної роботи, P(t)	Імовірність відмови, Q(t)
1	0,999998	0,000002
1000	0,997563	0,002437
2000	0,995132	0,004868
3000	0,992707	0,007293
4000	0,990287	0,009713
5000	0,987874	0,012126
6000	0,985467	0,014533
7000	0,983065	0,016935
8000	0,980669	0,019331
9000	0,978279	0,021721
10000	0,975895	0,024105
15000	0,964062	0,035938
20000	0,952372	0,047628

Розрахуємо середній наробіток на відмову за наступною формулою:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,44 \cdot 10^{-6}} \approx 409836 \text{ год.}$$

В середньому пристрій буде працювати 408836 годин, що становить приблизно 46 років до першої відмови.

За результатами проведених розрахунків, середня ймовірність безвідмовної роботи після 20000 годин експлуатації ставить 0,95, що відповідає вимогам технічного завдання.

2.2.5 Перевірочний розрахунок теплового режиму

Розрахунок здійснювався в програмі “teplo.exe”. Вхідними даними до розрахунку є:

- розміри блоку;
- температура навколишнього середовища;
- потужність, що розсіюється в блоці;

- дані про елементи критичних до перегріву, тощо.

У розроблюваному пристрої найбільш тепловиділяючим елементом є мікросхема TDA1518BQ, яка має номінальну споживану потужність 44 Вт, а гранична робоча температура становить $+150^{\circ}\text{C}$.

Розрахунки, наведені в додатку А, за результатами яких можна зробити висновок про можливість застосування природного охолодження в проєктованому пристрої, що отримані результати задовольняють температурним критеріям експлуатації електронних компонентів, а обраний спосіб охолодження є доцільним.

2.3 Трасування плати

Трасування плати здійснювалося за допомогою KiCad, яка є безкоштовним програмним забезпеченням для розробки електронних схем та друкованих плат.

Після запуску KiCad, потрібно створити новий проєкт, що є першим кроком у процесі проєктування. Для цього йдемо у меню File, обрати New Project, після чого система запропонує вказати місце збереження та ім'я нового проєкту.

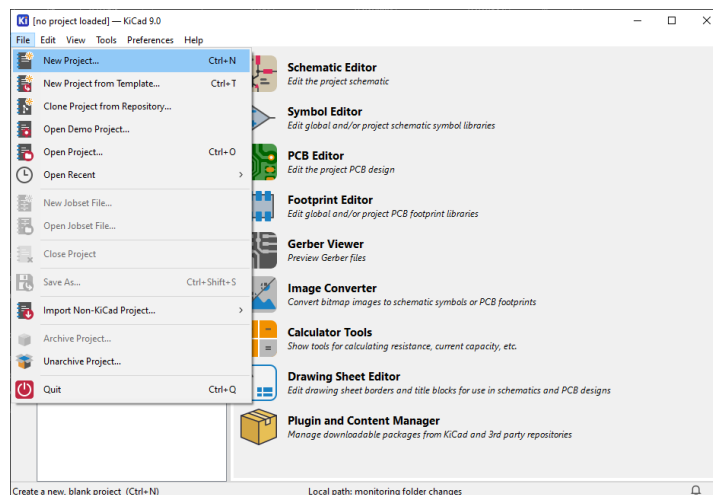


Рисунок 2.1 – Головне меню KiCad.

Оскільки в базовій бібліотеці компонентів KiCad не містить символу мікросхеми TDA1518BQ, потрібно самостійно створити представлення елемента. Скористаємось інструментом Symbol Editor для створення нового символу.

У Symbol Editor першим кроком є створення нової бібліотеки символів. Потрібно створити нову бібліотеку символів для нашого проєкту, відкриваємо File, та обираємо New Library.

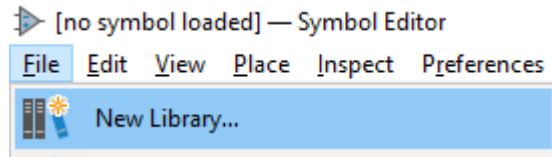


Рисунок 2.2 – Створення нової бібліотеки символів

Після вибору, програма запропонує обрати, чи створювати бібліотеку лише для поточного проєкту, чи зробити її глобальною, тобто доступною для всіх майбутніх розробок. У данному випадку було обрано лише для проєкту. Тепер зберігаємо файл бібліотеки.

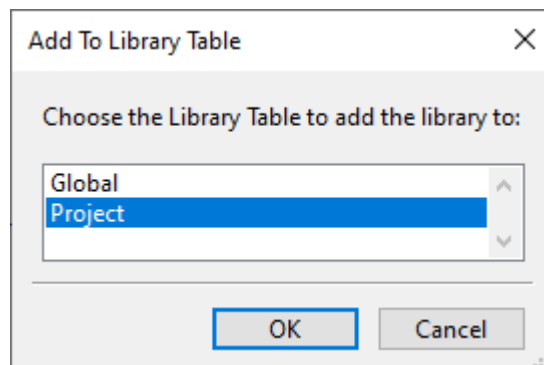


Рисунок 2.3 – Вибір бібліотеки

Після створення та збереження бібліотеки, наступним кроком буде створення нового символу для нашої мікросхеми. У списку Libraries потрібно знайти щойно створену бібліотеку. Обравши її, натискаємо правою кнопкою миші на назві та обираємо New Symbol.

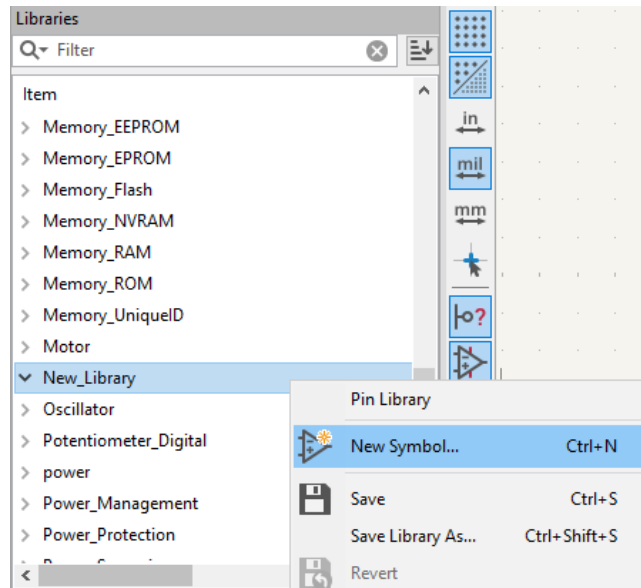


Рисунок 2.4 – Створення нового символу

У діалоговому вікні, потрібно ввести ім'я символу, у нашому випадку це TDA1518BQ, після чого натискаємо ОК.

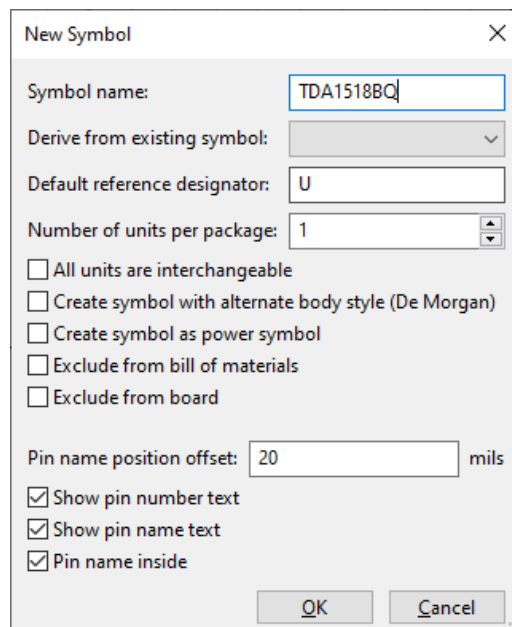


Рисунок 2.5 – Параметри нового символу

Намалюємо прямокутник, до якого додамо виводи з даташиту нашої мікросхеми, використовуючи інструменти Draw Rectangles та Draw Pins які знаходяться у правій частині програми.

У вікні редактора символів починаємо побудову графічного представлення мікросхеми. Зазвичай це прямокутник, який символізує корпус на схемі. Використаємо інструмент Draw Rectangle, розташований з правого боку.

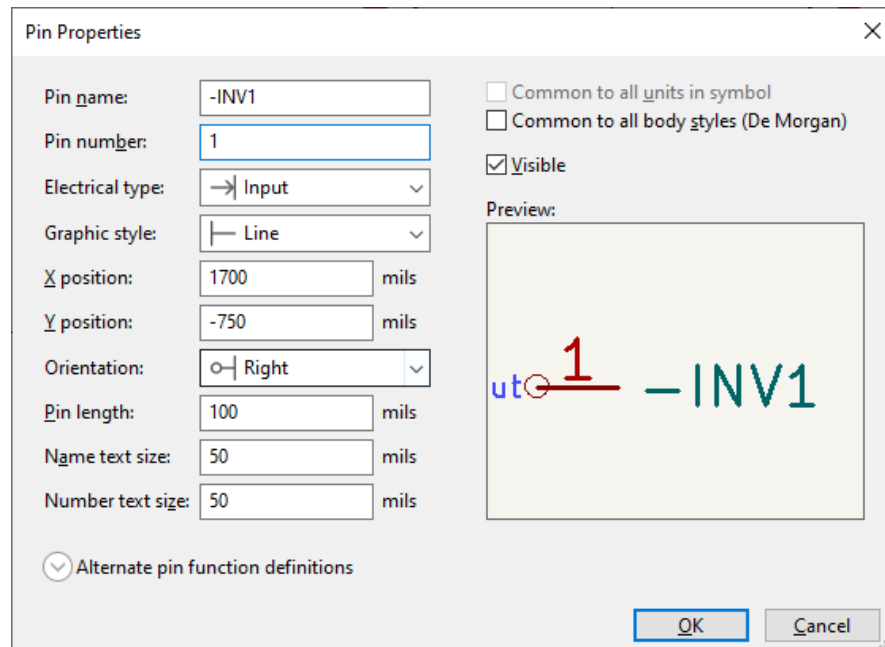


Рисунок 2.6 – Створення виводу мікросхеми

Далі орієнтуючись на даташит мікросхеми, додаємо відповідні виводи, кожен з яких має своє ім'я, номер та тип (вхід, вихід, живлення). Використаємо Draw Pin, який знаходиться на панелі інструментів. Кожен вивід розміщуємо уздовж меж прямокутника, з урахуванням їх призначення. Назви та номери пінів мають збігатися, щоб коректно з'єдналися під час створення схеми.

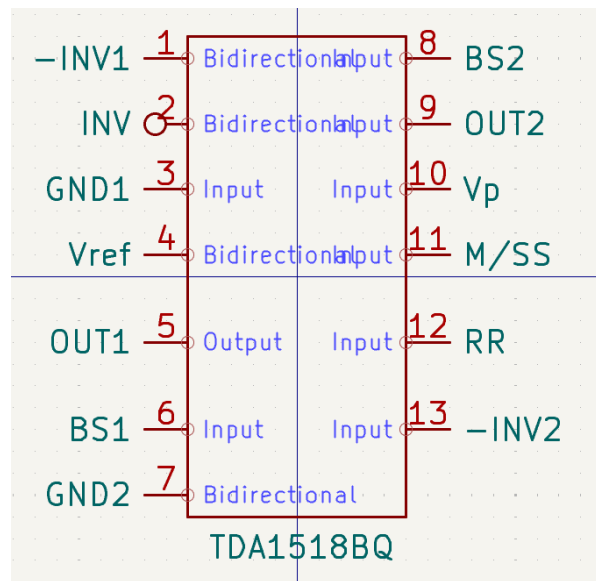


Рисунок 2.7 – Кінцевий вигляд мікросхеми

Після завершення побудови графічного символу мікросхеми в Symbol Editor, ми отримуємо представлення компоненту, яке буде використовуватись на електричній принциповій схемі.

Однак для повноцінного проектування цього недостатньо. Також треба створити фізичне розташування виводів на платі, тобто створити її посадочне місце (Footprint), переходимо до Footprint Editor.

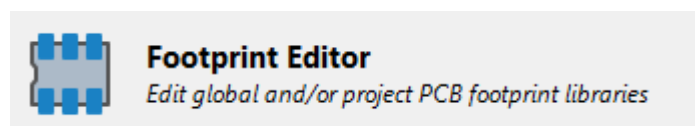


Рисунок 2.8 – Програма для створення посадкових місць

Аналогічно до створення бібліотеки символів, для організації посадкових місць необхідно створити нову бібліотеку посадочних місць. Після створення бібліотеки можна перейти до створення нового посадочного місця. Для полегшення процесу скористаємось інструментом Footprint Wizard, який автоматизує генерацію типових геометрій корпусів.

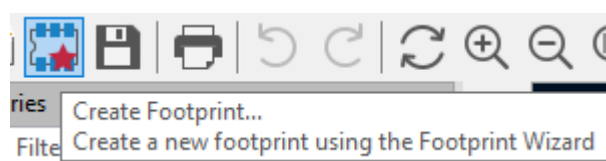


Рисунок 2.9 – Майстер створення посадкових місць

Для нашої мікросхеми обираємо шаблон S-DIP – як найбільш близький за геометрією.

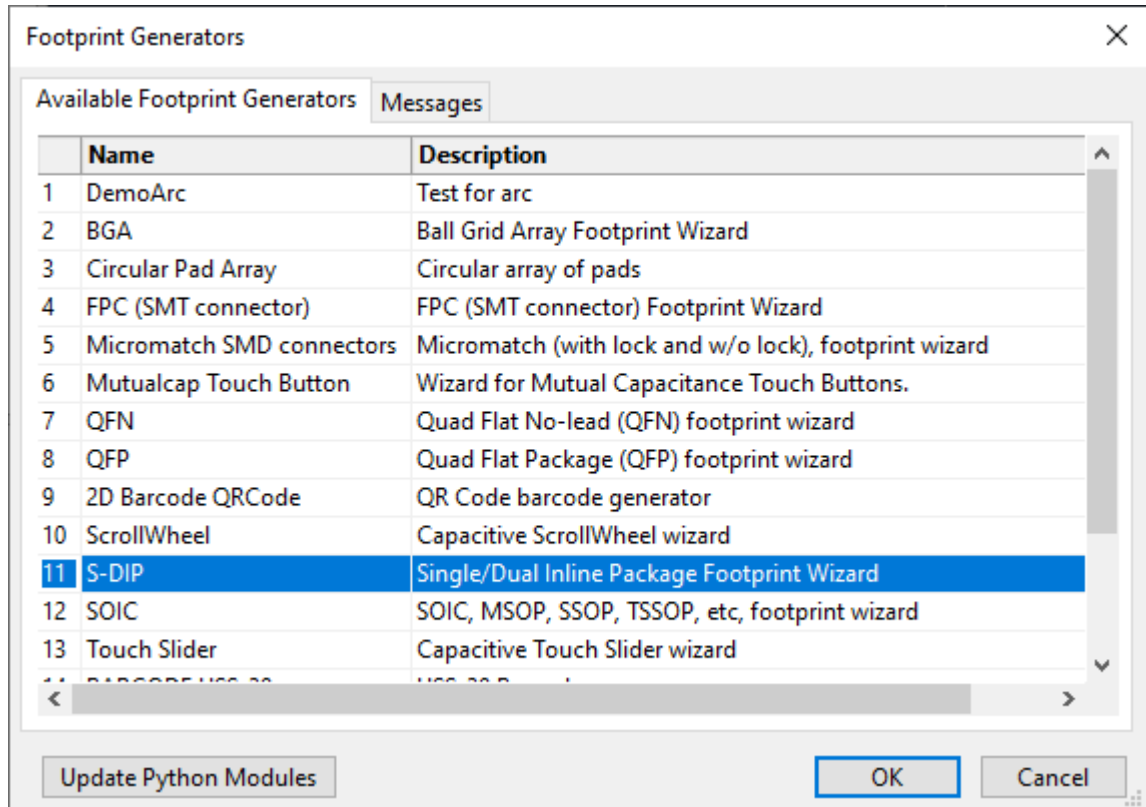


Рисунок 2.10 – Вибір типу мікросхеми

Незважаючи на те, що мікросхема має 13 виводів, майстер не підтримує створення корпусів з не парною кількістю виводів, тож у полі Pad Count встановлюємо значення у 14 виводів. Надлишковий вивід згодом можна буде видалити вручну після генерації.

Далі вносимо необхідні параметри згідно з даташитом:

- pad pitch (крок між выводами в ряду) – 1.7 мм;
- row spacing (відстань між рядами) – 5.08 мм;

Ці налаштування забезпечують точну відповідність корпусу мікросхеми.

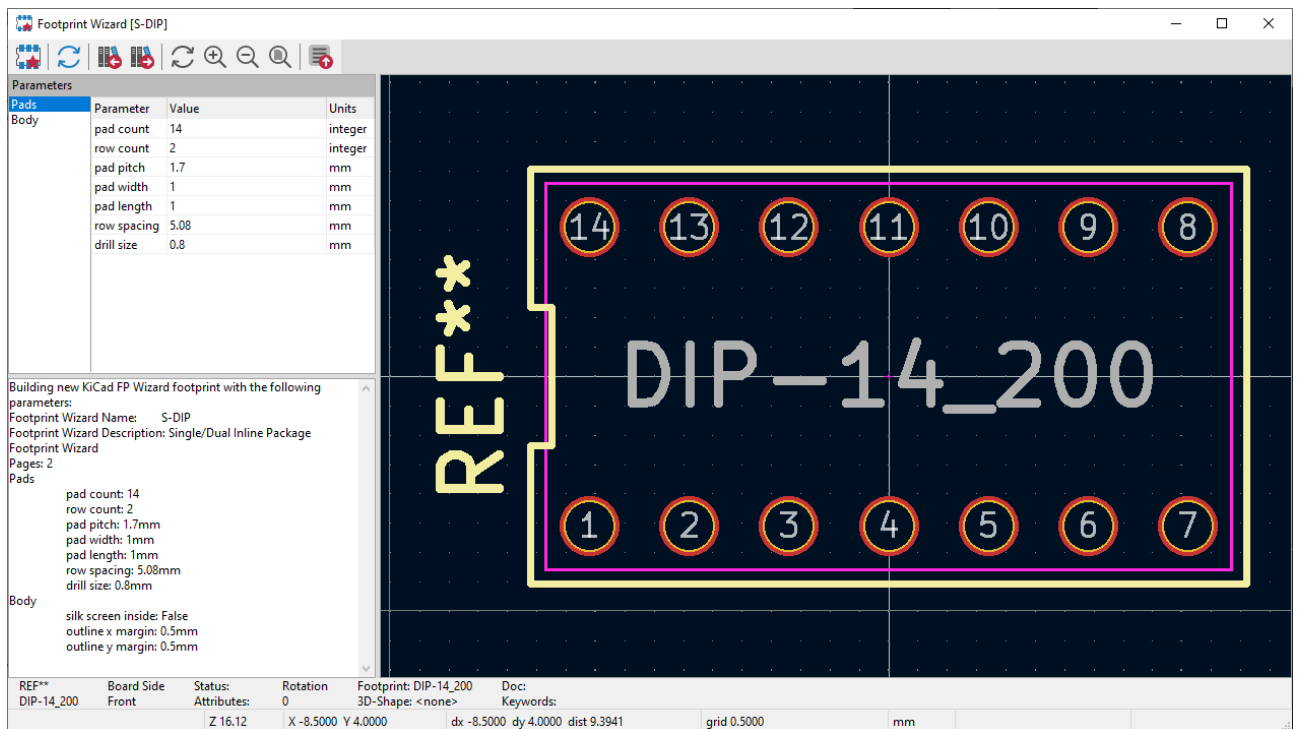


Рисунок 2.11 – Майстер створення посадкових місць

Експортуємо до редактора за допомогою кнопки .

Тепер зробимо кілька ручних коригувань для точної відповідності. Видаляємо зайвий 14-й вивід, далі слід перемістити виводи, щоб вони відповідали реальному розташуванню виводів. Зберігаємо та виходимо.

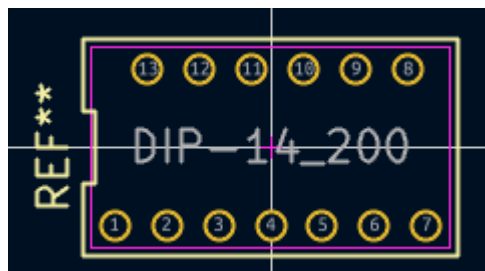


Рисунок 2.12 – Кінцевий вигляд посадкового місця мікросхеми

Після створення символ та посадочного місця, ми можемо інтегрувати її до електричної принципової схеми за допомогою Schematic Editor.

У Schematic Editor переходимо до розміщення елементів на схемі, натиснувши Place Symbol. У вікні пошуку вибираємо створений нами символ з бібліотеки, після вибору розміщуємо символ на схемі.

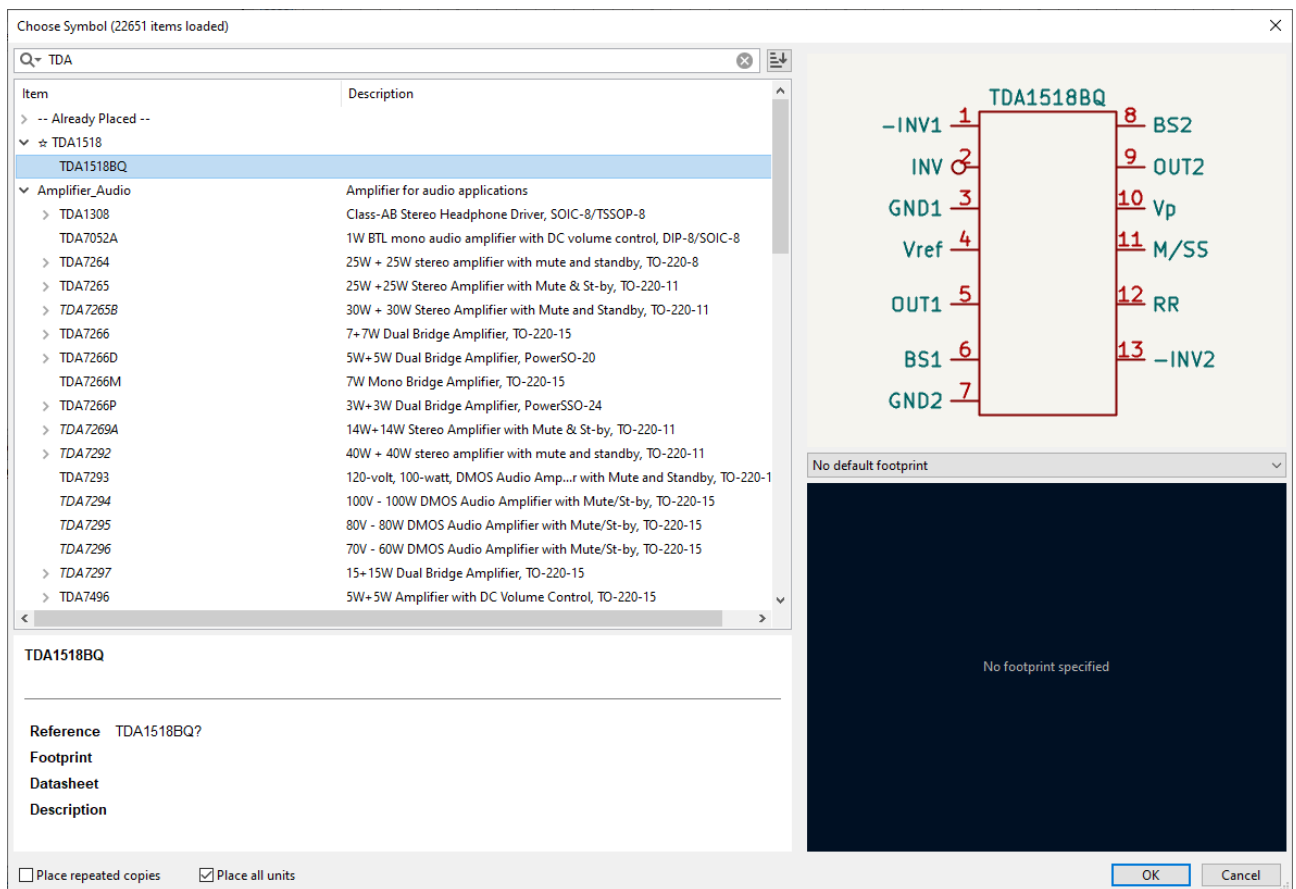


Рисунок 2.13 – Призначення посадкового місця

Далі треба призначити посадочне місце для символу. Виділяємо символ мікросхеми на схемі, відкриваємо її властивості (двічі клацнувши по символу), і у полі Footprint, вибираємо посадкове місце, яке було створено у Footprint Editor. Це встановить зв'язок між символом та його представленням на платі.

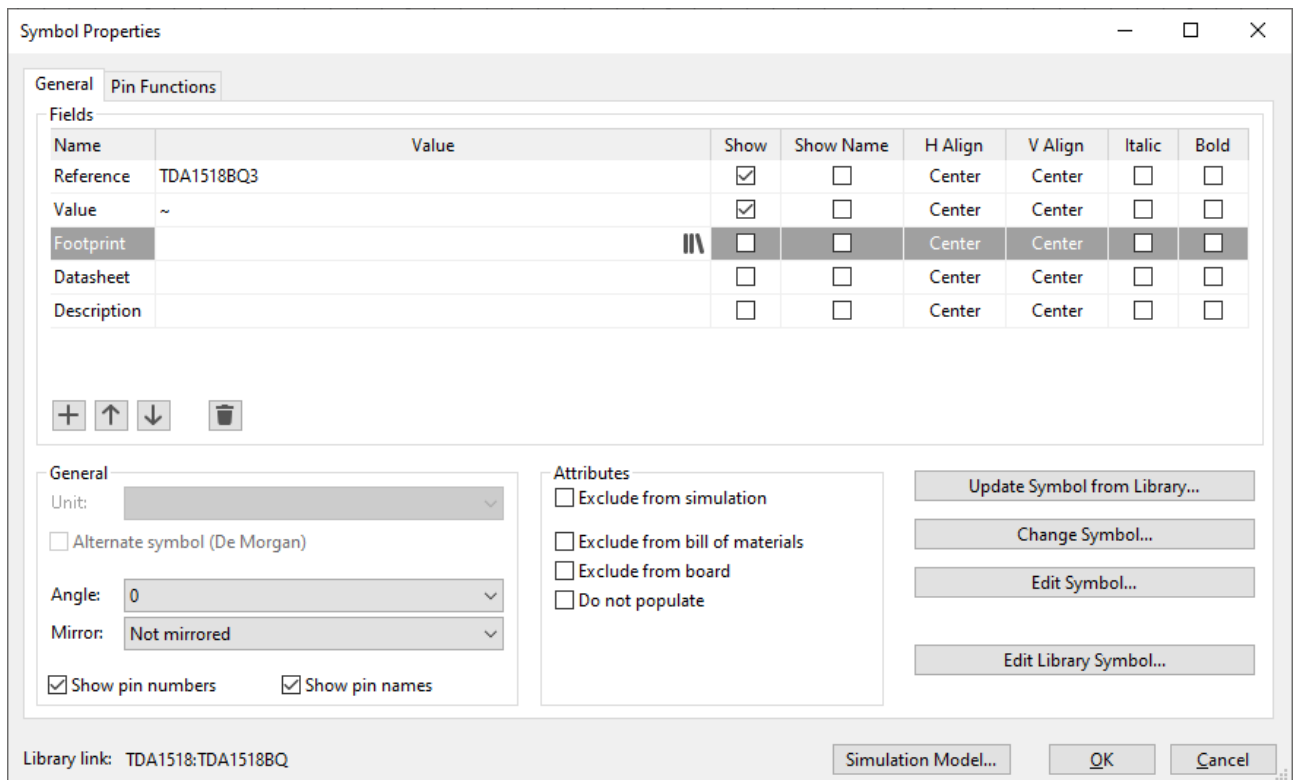


Рисунок 2.14 – Параметри символу мікросхеми

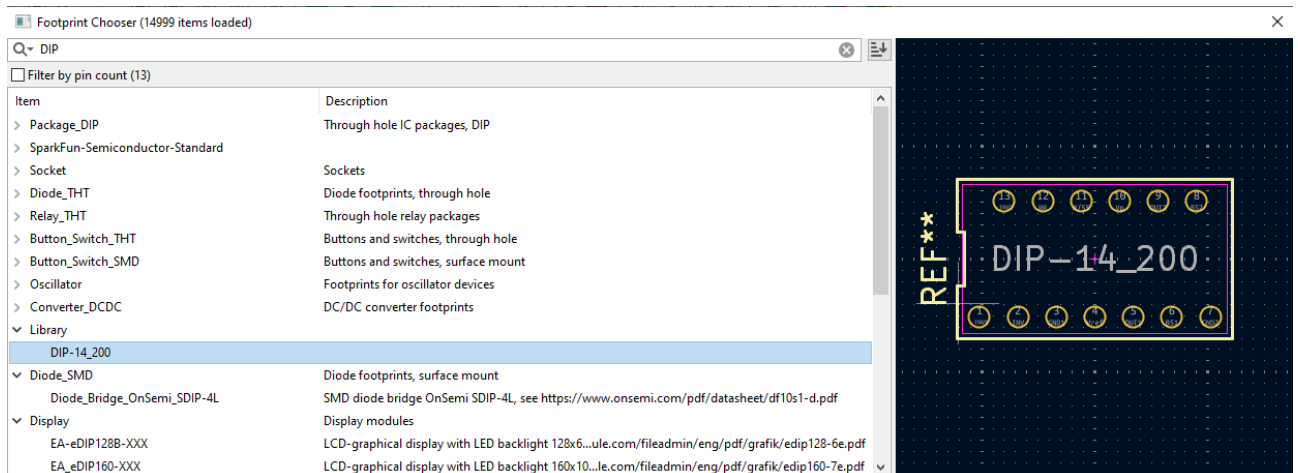


Рисунок 2.15 – Вибір новоствореного посадкового місця

Після цього розміщуємо усі інші елементи схеми, призначаємо їм відповідні посадкові місця, та завершуємо побудову електричної принципової схеми.

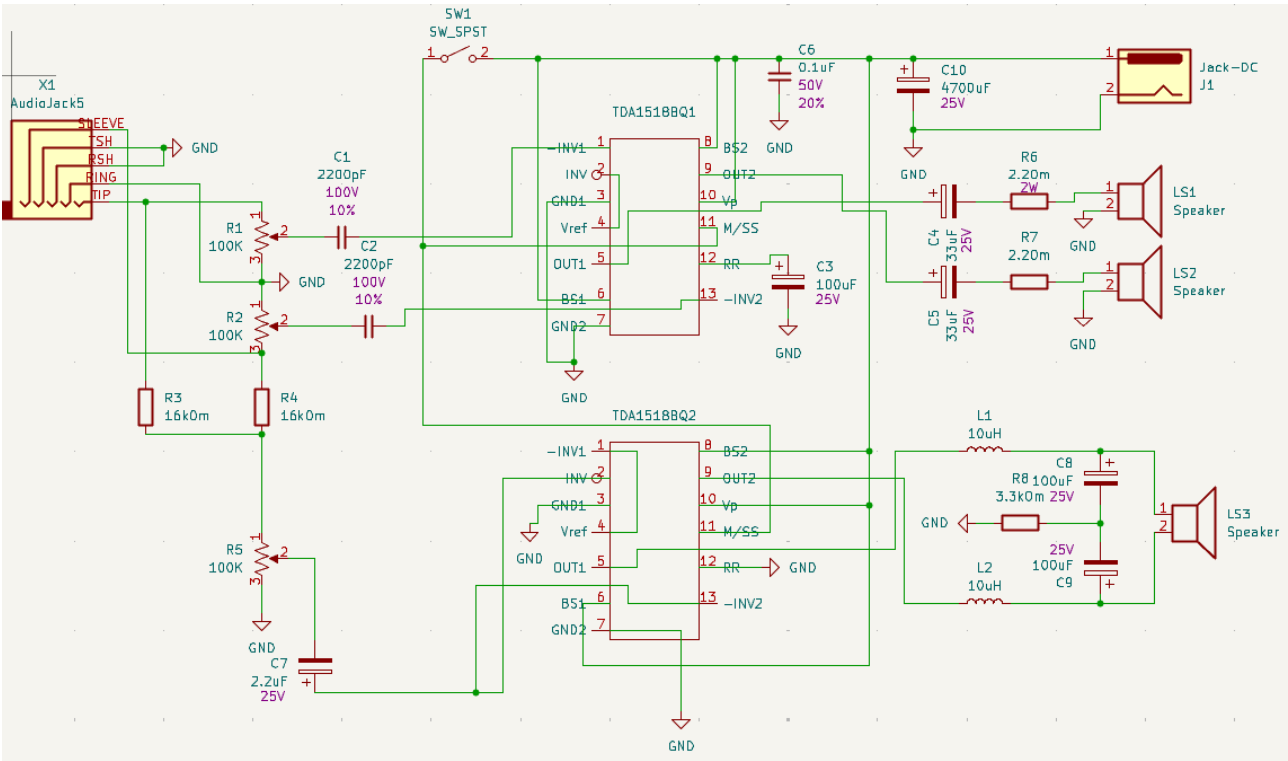


Рисунок 2.16 – Схема електрична принципова

Коли схема готова, потрібно експортувати список електричних з’єднань (Netlist). Це можна зробити через меню File, Export, Netlist. У вікні що відкриється, натискаємо Export Netlist та зберігаємо файл. Цей файл буде використано на наступному етапі.

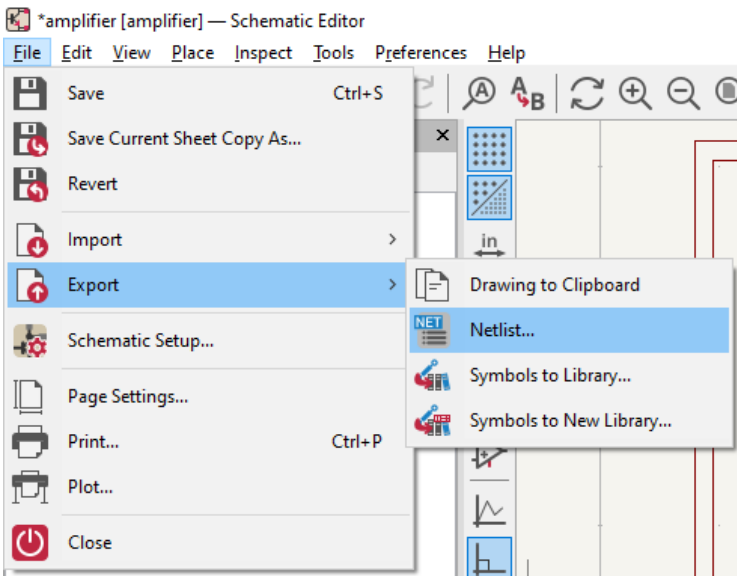


Рисунок 2.17 – Експорт файлу з’єднань

Проектування друкованої плати здійснюється за допомогою PCB Editor.



Рисунок 2.18 – Програма створення друкованих плат.

Після відкриття редактору першим кроком є визначення меж плати, що окреслюють форму та розміри. Обираємо шар Edge.Cuts та за допомогою Draw Rectangle малюємо контур, що відповідає зазначеним розмірам. За потреби можна додати технічні отвори (для кріплення), використовуючи Draw Circles, розміщуючи їх на тому ж шарі.

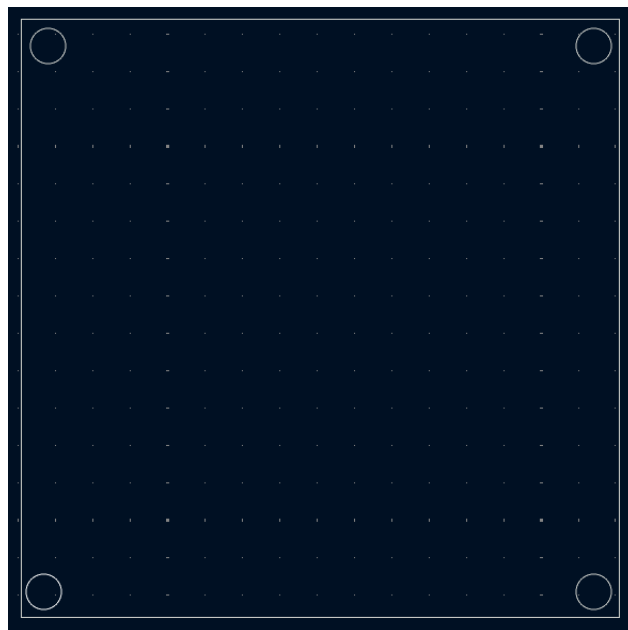


Рисунок 2.19 – Контур плати з монтажними отворами

Далі імпортуємо список з'єднань, щоб додати всі компоненти, які були призначені в схемі. Відкриваємо меню File, Import, Netlist, обираємо файл, натискаємо Update PCB, після чого компоненти з'являться на платі у згрупованому вигляді.

Програма підсвічує логічні зв'язки між виводами у вигляді тонких ліній, які слугують підказками для з'єднання.

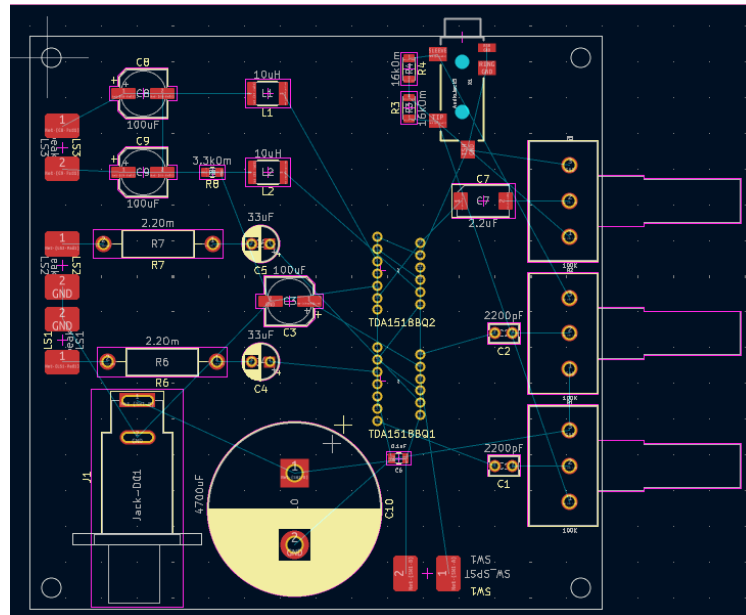


Рисунок 2.22 – Розташовані компоненти

Для створення провідників між компонентами використаємо інструмент Route Single Track. З його допомогою можна поетапно прокладати кожен провідник вручну, дотримуючись підсвітки зв'язків.



Рисунок 2.23 – Демонстрація підсвітки зв'язків

У цьому проєкті передбачено використання двосторонньої ДП, що дозволяє нам прокладати провідники як на верхньому, так і на нижньому шарі плати.

Верхній шар плати представлений як F.Cu – позначається червоним кольором, а нижній шар B.Cu – позначається блакитним кольором.

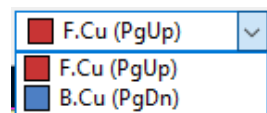


Рисунок 2.24 – Обрання шару плати

У випадку, коли необхідно з'єднати SMD-компонент з іншими частинами схеми, але провідники на верхній стороні перехрещуються, нам потрібно перевести провідник на іншу сторону плати.

Потрібно використати перехідний отвір – спеціальний металізований отвір, що з'єднує провідники на різних шарах плати. Його можна розмістити за допомогою інструмента Place Vias, який доступний на панелі інструментів.

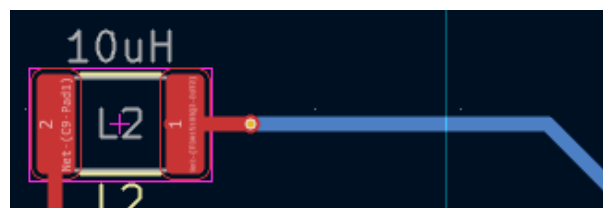


Рисунок 2.25 – Металізований отвір

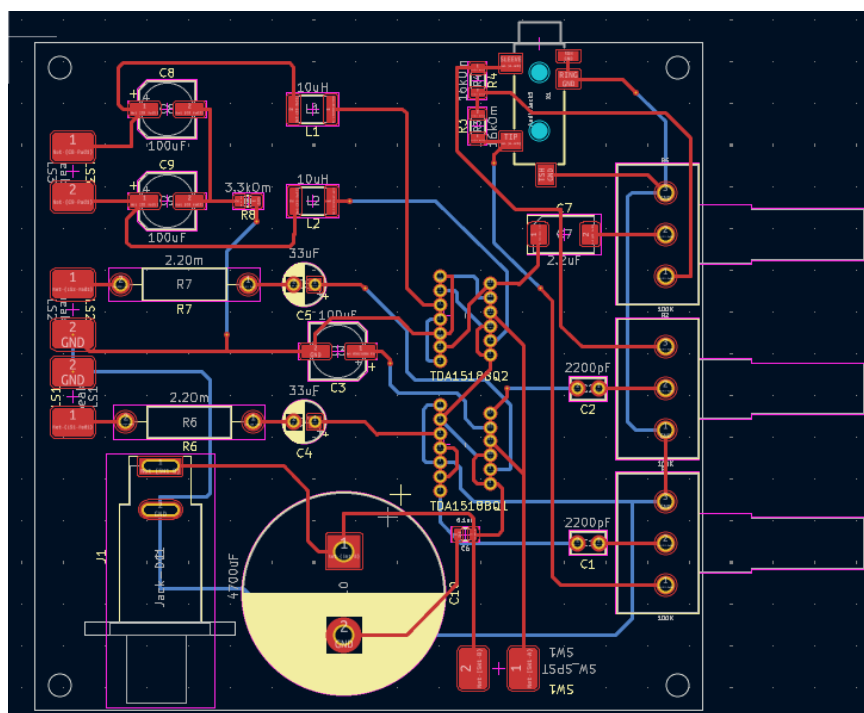


Рисунок 2.26 – Розведена ДП

Після завершення трасування та збереження файлу плати, у KiCad є можливість переглянути ДП у тривимірному вигляді, що дозволяє візуально оцінити розміщення компонентів, провідників, та загальний вигляд плати.

Щоб перейти до 3D-перегляду, потрібно перейти до меню View, та натиснути 3D Viewer.

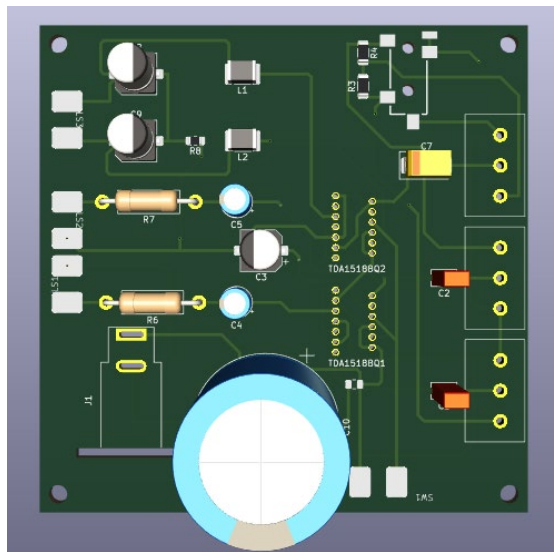


Рисунок 2.27 – 3D вигляд плати

Після завершення трасування, дуже важливо виконати перевірку дизайну (Design Rule Check), щоб переконатися у відсутності помилок, які можуть призвести до несправностей під час виготовлення плати.

Переходимо у меню Inspect, натискаємо Design Rules Checker, у вікні що відкриється натискаємо Run DRC. Якщо на платі є помилки або попередження, то вони будуть відображені у списку, а також підсвічені на платі.

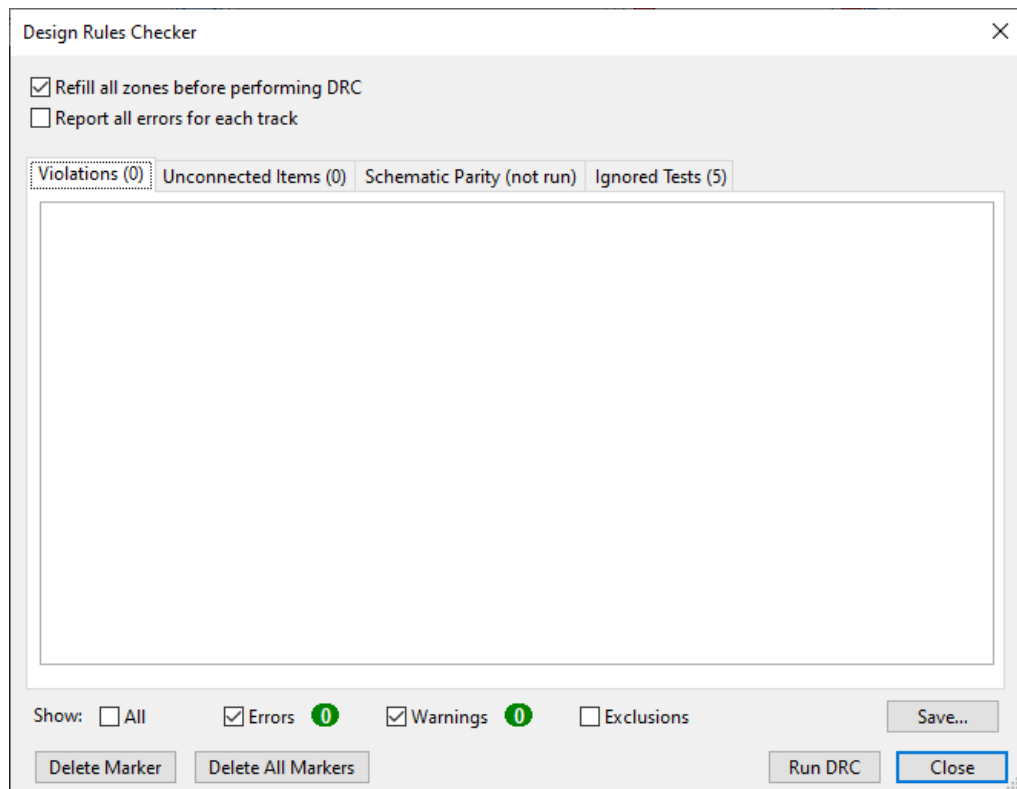


Рисунок 2.28 – Перевірка помилок дизайну плати

Якщо планується самостійне виготовлення ДП за допомогою ЛПТ – перенесення тонера з лазерного принтеру на текстоліт за допомогою нагріву, потрібно надрукувати відповідні шари плати. Для цього переходимо у меню File, потім натискаємо Print.

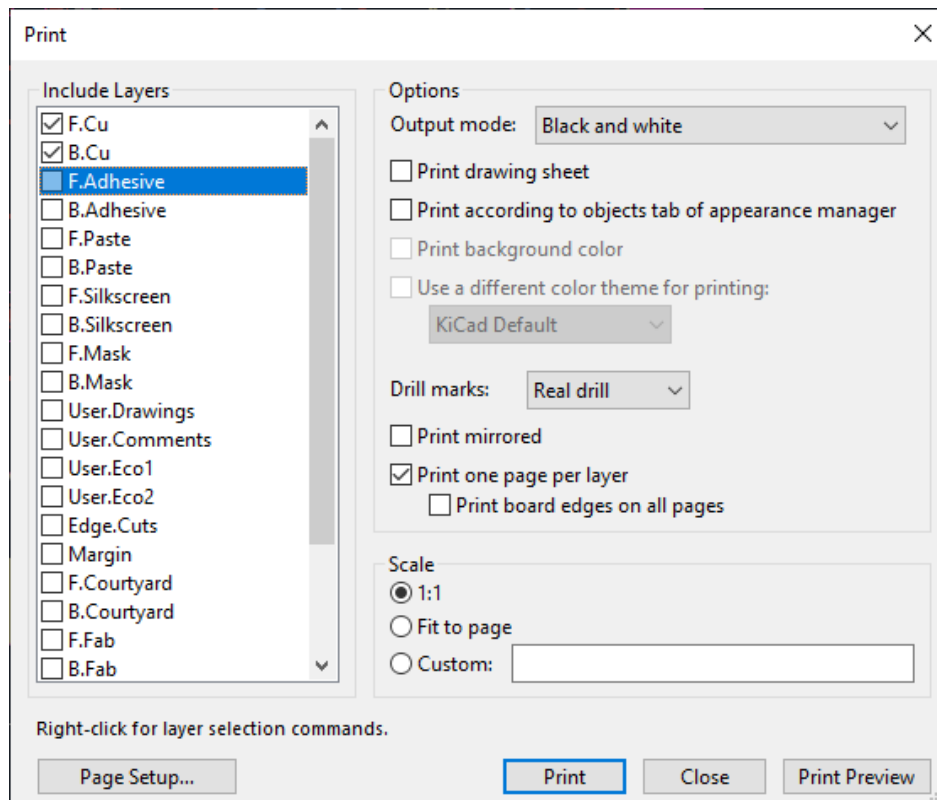


Рисунок 2.29 – Роздрукування для ЛПТ

У вікні друку вибираємо шари F.Cu та B.Cu, роздрукуємо кожен окремо, тому що для нижнього шару потрібно використати дзеркальне відображення (Print mirrored). Якщо потрібно експортувати у PDF файл, натискаємо Print, та в якості принтеру обираємо (Microsoft Print to PDF).

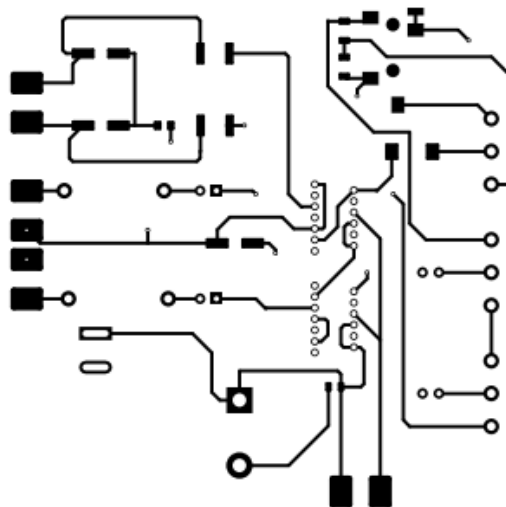


Рисунок 2.30 - Верхня сторона плати

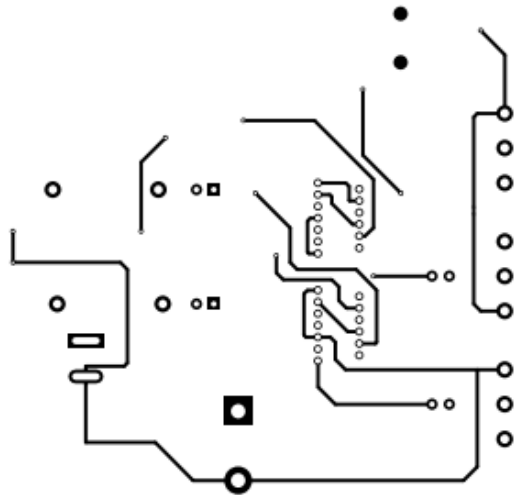


Рисунок 2.31 - Нижня сторона плати

Таким чином за допомогою усіх засобів розробки програми KiCad ми можемо з легкістю моделювати друковані плати зі зручним розташуванням радіоелементів, а також створювати багатошарові плати з можливістю експортування моделей для подальшого виробництва на спеціалізованому обладнанні.

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКУ

3.1 Метод виготовлення друкованої плати

Друковані плати виготовляють із використанням хімічних, гальванічних або комбінованих методів. Комбінований підхід поєднує хімічне осадження та електрохімічне нарощування провідного шару.

У якості основи використовується двосторонній матеріал з мідною фольгою (FR-4). Формування друкованих провідників відбувається шляхом видалення надлишків міді методом фотолітографії та хімічного травлення, як у стандарті IPC-2221.

Металізація отворів виконується у два етапи, перший в якому наноситься тонкий шар міді хімічним методом, після чого у другому етапі товщина шару збільшується шляхом гальванічного осадження, відповідно до IPC-6012.

Монтаж виводів електронних компонентів здійснюється методом пайки, при якому монтажні отвори заповнюються припоєм.

Для виготовлення друкованої плати підсилювача обрано комбінований позитивний метод. Відповідно до IPC-2221, технологічний процес містить наступні етапи:

- нарізка заготовок;
- свердління базових та металізованих отворів;
- металізація діелектрика хімічним методом;
- нанесення фоторезисту;
- експонування;
- проявлення;
- гальванічне осадження міді;
- нанесення припою;
- зняття фоторезисту та травлення непокритих ділянок;
- нанесення припою;

- нанесення захисного покриття;
- візуальний огляд;
- тестування друкованих провідників плати;

Різання діелектриків проводиться за допомогою лазера, що виконується без механічних пошкоджень. Лазерне різання гарантує отримання плати з чистими краями без відколів та швидко, що є перевагою для серійного виробництва.

Для утворення отворів використовувалось свердління, оскільки пробиття отворів не дає їх металізувати.

Для нанесення провідного шару потрібно провести хімічну металізацію поверхні, після цього проводиться електролітичне осадження міді до товщини 5-8 мкм.

Формування рисунків друкованих провідників використовуються технологія фоторезисту. Використання фоторезисту наступне: на поверхню плати наносять шар фоторезисту, після чого на нього накладають шаблон і проводять експонування (засвічення). Освітлені (або неосвітлені) ділянки видаляються за допомогою розчинника – найчастіше це розчин їдкого натрію (NaOH). Фоторезисти поділяються на позитивні та негативні. У позитивних друковані провідники на платі відповідають затемненим ділянкам шаблону, а у негативних – прозорим. Більш поширені позитивні, оскільки вони вважаються зручнішими у використанні.

Гальванічна металізація здійснюється при струмі 1,5-5 А/дм² для міднення, та напрузі близько 6 В, і дозволяє сформувати покриття. Процес гальванічної металізації починається з закріплення плати на підвісках які також виконують роль струмопідвода та опускають у гальванічну ванну з електролітом між анодами. Аноди виготовляють з металу для покриття та захищають хлоровою тканиною, щоб уникнути утворення шламу, а підвіска виступає у ролі катода. Перед покриттям плати змочують електролітом для надійного контакту, та розташовують місце з'єднання з анодами вище рівня електроліту.

Оплавлення припою металізованих отворів та площини проводиться гарячим повітрям, яке рівномірно нагріває поверхню плати. У якості припою застосовують тонкий шар паяльної пасти (BS458) або металевий припій (BD-366), товщиною 8-10 мкм.

Далі проводиться контроль ДП, для оцінки якості виготовлення. Якість виробу визначається тим, наскільки точно він відповідає вимогам креслень, технічних умов, а також галузевих та державних стандартів.

3.2 Технологія виготовлення блоку

Даний пристрій є саморобною конструкцією, розробленою для одиничного виготовлення, і не призначений для серійного виробництва. Але може бути перероблений для багатосерійного виробництва через оптимізацію елементної бази. Це накладає специфічні вимоги до вибору технології виготовлення, обладнання.

Підготовка друкованої плати включає в себе етапи:

- підготовка шаблону плати та заготовки текстоліту відповідного розміру
- перенесення провідників на текстоліт з використанням фоторезисту або лазерно-праскової технології.
- травлення плати
- свердління отворів для компонентів
- лудіння контактних майданчиків
- візуальний контроль якості

Для якісного монтажу необхідно провести підготовку електронних компонентів, що включає:

- розпакування та сортування компонентів
- вхідний контроль параметрів за допомогою вимірювальних приладів (мультиметра)

- підготовка виводів компонентів наскрізного монтажу (обрізка за розміром, лудіння)

Корпус пристрою також підлягає підготовчим операціям, які включають виготовлення монтажних отворів:

- виготовлення отворів для монтажу ДП
- виготовлення отворів для виводів змінних резисторів, які забезпечують регулювання параметрів пристрою
- виготовлення отворів для вхідного роз'єму 3.5 мм та джерела живлення.

Монтаж компонентів на ДП здійснюється вручну. Пайка виводів компонентів наскрізного монтажу з контактними майданчиками плати виконуються паяльником, а компонентів поверхневого монтажу здійснюються паяльним феном, або якщо розширити контактні майданчики то пайка можлива звичайним паяльником.

Після пайки плата очищується (відмивається) від залишків флюсу за допомогою ізопропілового спирту або ультразвукової ванни з спеціальними розчинами для забезпечення надійності контактів.

Після завершення монтажу наступає етап функціонального тестування приладу.

Для захисту плати від вологи та зовнішніх впливів використовується нанесення захисного покриття. Тут доречне використання ізоляційного лаку PLASTIK 71, який надає вологозахист та підвищує довговічність пристрою.

Для забезпечення механічного захисту, плата монтується у виготовлений корпус. У корпусу є такі важливі функції як, захист плати від ударів, вібрації, пилу та першого слою захисту від вологи, а також він запобігає випадковому короткому замиканню або дотику до струмопровідних елементів. Також металевий корпус може слугувати в якості радіатора для високотемпературних елементів.

ВИСНОВОК

При виконанні дипломного проєкту було розроблено підсилювач звукової частоти на базі мікросхеми TDA1518BQ. Через температурну складову мікросхеми були виконані розрахунки для визначення оптимального способу охолодження. Також була розрахована надійність пристрою, вона становить приблизно 46 років, до першої відмови. Крім того, була розписана технологія виготовлення блоку пристрою. Також було освоєно САПР KiCad у якому проходило ознайомлення та набуття практичних навичок з трасувань плат, створення елементів для бібліотек, та роботи зі схемою електрично принциповою. В результаті отримано готову базу, для створення робочого пристрою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баженов В. Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
2. Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. та ін. Схемотехніка електронних систем: у 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: підручник. 2-ге вид., допов. і переробл. – Київ: Вища школа, 2004. – 366 с.: іл. ISBN 966-642-192-5 (кн. 1), ISBN 966-642-193-3.
3. Міжнародний електротехнічний комітет. МЕК 60721-3-5:1997. Класифікація умов навколишнього середовища. Частина 3-5: Класи специфічних умов навколишнього середовища. Транспорт. – Женева: ІЕС, 1997. – 30 с.
4. Наскрізна розробка інтелектуальної техніки. Частина 2: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» / Я. Л. Зінгер, Ю. Ф. Адаменко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 105 с.
5. Підсилювачі електричних сигналів [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=32479>; <https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=32479>
6. Регулювання підсилювачів звукових частот [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://radio-vtc.inf.ua/doc/less3_1.htm](http://radio-vtc.inf.ua/doc/less3_1.htm
7. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Львів: «Новий Світ — 2000», 2006. – 208 с.

8. Як підібрати підсилювач [Електронний ресурс] — Режим доступу:
[https://web.archive.org/web/20170224221107/](https://web.archive.org/web/20170224221107/https://www.arendazvuka.kiev.ua/uk/korisne/25-yak-pidibraty-pidsyliuvach.html)
<https://www.arendazvuka.kiev.ua/uk/korisne/25-yak-pidibraty-pidsyliuvach.html>;
 [https://web.archive.org/web/20170224221107/](https://web.archive.org/web/20170224221107/https://www.arendazvuka.kiev.ua/uk/korisne/25-yak-pidibraty-pidsyliuvach.html)
<https://www.arendazvuka.kiev.ua/uk/korisne/25-yak-pidibraty-pidsyliuvach.html>
9. Jawitz M. W. Printed circuit board materials handbook / W. M. Jawitz — K: 1997. — 784 с.
10. Khandpur R. S. Printed Circuit Boards Design, Fabrication, and Assembly / S. R. Khandpur — K: 2006. — 691 с.
11. Momot A., Skladchykov I. The use of EfficientNet models in infrared image classification / A. Momot, I. Skladchykov // XXI Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна: збірник матеріалів конференції. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — С. 204-207.
12. PCB Defects | kaggle [Електронний ресурс] // Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. — Режим доступу:
<https://www.kaggle.com/datasets/akhatova/pcb-defects>
<https://www.kaggle.com/datasets/akhatova/pcb-defects>
13. PCB inspection and testing techniques [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://medium.com/supplyframe-hardware/pcb-inspection-and-testing-techniques-30631a885109>(<https://medium.com/supplyframe-hardware/pcb-inspection-and-testing-techniques-30631a885109>)

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Вихідні дані до теплового розрахунку

Параметр	Значення
1-й горизонтальний розмір корпусу блоку, мм	80,00
2-й горизонтальний розмір корпусу блоку, мм	80,00
Вертикальний розмір корпусу блоку, мм	26,50
Температура навколишнього середовища, град	25,00
Кількість елементів	2
Коефіцієнт заповнення	0,3
Потужність, що розсіюється в блоці, Вт	44
Потужність, що розсіюється 1 елементом	22
Площа 1-го елемента, кв.мм	110,4

Таблиця А2 – Результати розрахунку

Параметр	Значення
Температура нагрітої зони, град	98,24
Температура повітря в блоці, град	96,20
Температура поверхні 1-го елемента, град	101,21