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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи Рас-41
спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Дідинець О.Р. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Химич Г.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Дідинець О.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти

Керівник роботи Химич Григорій Петрович, старший науковий співробітник кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» квітня 2026 року № 4/9 -198

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення... 220В, ККД... 85%, Діапазон робочих температур - 10…+30°С, Плавне регулювання напруги.. від 0…до 30В.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;
розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,
розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,
а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,
розробка компоновки друкованого вузла.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Структурна схема;
2. Схема електрична принципова;
3. Друкована плата;
4. Друкований вузол;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., доц. каф.МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання роботи	28.04.2026	
2	Аналіз отриманого завдання	05.05.2026	
3	Виконання розділу 1	15.05.2026	
4	Виконання розділу 2	26.05.2026	
5	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2026	
6	Оформлення презентаційного матеріалу	04.06.2026	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	06.06.2026	
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026	
9	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент _____ Дідинець О.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Химич Г.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дідинець О.Р. «Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РАс-41,//Тернопіль, 2026. //с.-63, рис.-35, бібліог,-29.

Ключові слова: ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ПІДСИЛЮВАЧ, ЗВУКОВА ЧАСТОТА, НАПРУГА ЖИВЛЕННЯ, ВИХІДНА НАПРУГА.

У даній роботі розроблено імпульсне джерело живлення, призначене для використання у підсилювачі звукової частоти з метою забезпечення стабільного та надійного електроживлення аудіоапаратури при високій енергоефективності.

Під час виконання роботи було проаналізовано технічне завдання, визначено основні вимоги до імпульсного джерела живлення та сформульовано його основні функціональні характеристики з урахуванням особливостей роботи аудіопідсилювачів. Розроблено структурну схему пристрою, яка відображає взаємодію основних функціональних блоків, зокрема випрямляча, імпульсного перетворювача, системи керування та вузлів стабілізації вихідної напруги.

Виконано розрахунок та проєктування основних вузлів електричної принципової схеми, підібрано параметри елементів силової частини та системи керування, а також здійснено перевірку відповідності отриманих рішень заданим технічним вимогам щодо рівня пульсацій, коефіцієнта корисної дії та здатності працювати під навантаженням.

Здійснено обґрунтований вибір елементної бази з урахуванням робочих режимів, теплових втрат, електромагнітної сумісності та вимог до надійності, що є особливо важливим для аудіосистем високої якості.

На завершальному етапі виконано компонування друкованої плати пристрою, яке забезпечує оптимальне розміщення компонентів силової та

керуючої частин, зменшення електромагнітних завад та підвищення стабільності роботи джерела живлення.

Спеціальна частина роботи присвячена вибору та обґрунтуванню використання систем автоматизованого проєктування для розробки імпульсного джерела живлення підсилювача звукової частоти.

У висновках узагальнено результати роботи, підтверджено ефективність запропонованих рішень та їх придатність для практичного використання в аудіотехніці.

ANNOTATION

Didynets O.R. "Switching power supply for an audio frequency amplifier". Bachelor's qualification work // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Group RAS-41, //Ternopil, 2026. //p.-63, fig.-35, bibliog,-29.

Keywords: POWER SOURCE, AMPLIFIER, AUDIO FREQUENCY, SUPPLY VOLTAGE, OUTPUT VOLTAGE.

In this work, a switching power supply has been developed, intended for use in an audio frequency amplifier in order to ensure stable and reliable power supply of audio equipment with high energy efficiency.

During the work, the technical task was analyzed, the main requirements for the switching power supply were determined and its main functional characteristics were formulated taking into account the peculiarities of the operation of audio amplifiers. A structural diagram of the device has been developed, which reflects the interaction of the main functional blocks, in particular the rectifier, pulse converter, control system and output voltage stabilization units.

The calculation and design of the main units of the electrical schematic diagram have been performed, the parameters of the power part and control system elements have been selected, and the compliance of the obtained solutions with the specified technical requirements for the level of ripple, efficiency and ability to work under load has been verified.

A reasonable selection of the element base has been made, taking into account operating modes, heat losses, electromagnetic compatibility and reliability requirements, which is especially important for high-quality audio systems.

At the final stage, the layout of the device's printed circuit board has been performed, which ensures optimal placement of the components of the power and control parts, reduction of electromagnetic interference and increase of the stability of the power source.

A special part of the work is devoted to the selection and justification of the use of automated design systems for the development of a pulsed power source for an audio frequency amplifier.

The conclusions summarize the results of the work, confirm the effectiveness of the proposed solutions and their suitability for practical use in audio engineering.

Зміст

Вступ……..7
1. Основна частина ……..…..8
1.1 Аналіз технічного завдання …….…….....8
1.2 Аналіз структурної схеми виробу …….....…….....10
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою……....13
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази……....16
1.5 Компоновка друкованого вузла пристрою…….....34
1.6 Висновок до розділу 1.....38
2. Спеціальна частина…….....……40
2.1 Обгрунтування використання та вибору САПР для проектування ……...40
2.2 Висновок до розділу 2.....51
3. Охорона праці та безпека життєдіяльності …….....52
3.1 Вплив діяльності людини на довкілля .....…….....….....52
3.2 Особливості заходів електробезпеки на підприємствах …….....…...55
3.3 Висновок до розділу 3.....58
Висновки.....59
Список використаних джерел.....60
Додатки

					ДОР 2.089.001 Е1		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дідинець			Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти Пояснювальна записка	Літ.	Арк. 6 / Аркушів 62
Перевір.		Химич					
Рецензент						ТНТУ, гр.РАс-41 м. Тернопіль	
Н. Контр.		Хвостівська					
Затверд.							

Вступ

Актуальність роботи зумовлена широким застосуванням підсилювачів звукової частоти в аудіотехніці та потребою в ефективних джерелах живлення, які забезпечують стабільну вихідну напругу при високому коефіцієнті корисної дії. Імпульсні джерела живлення дозволяють зменшити габарити та масу пристроїв, знизити теплові втрати та підвищити енергоефективність аудіосистем, що особливо важливо для сучасної електронної апаратури.

Ступінь наукової розробки Питання проєктування імпульсних джерел живлення для аудіопідсилювачів достатньо широко розглянуті в науково-технічній літературі. Існують різні підходи до побудови схем перетворювачів напруги, методів стабілізації та зменшення електромагнітних завад. Разом із тим, постійний розвиток елементної бази та вимог до якості звуку потребує подальшого вдосконалення схемотехнічних рішень і оптимізації параметрів таких пристроїв.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка імпульсного джерела живлення для підсилювача звукової частоти, що забезпечує стабільні вихідні параметри, високий коефіцієнт корисної дії та мінімальний рівень електромагнітних завад при роботі в складі аудіоапаратури.

Об'єкт є схема електрична принципова, друкована плата та друкований вузол та схема електрична структурна імпульсного джерела живлення для підсилювача звукової частоти.

Предмет є схема електрична принципова пристрою, технічні характеристики проектованого приладу, принцип роботи, параметри, функціональні можливості.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання розробленого імпульсного джерела живлення в підсилювачах звукової частоти різного класу. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити енергоефективність аудіосистем, зменшити їх габарити та покращити стабільність живлення, що позитивно впливає на якість відтворення звуку.

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

Технічні характеристики приладу:

1. Напруга живлення……..…..…220В;
2. Частота електромережі, Гц……50±10%;
3. Допустима вологість, %.....88;
4. Межі регулювання вихідної напруги, В .....…….0 ... 12;
5. Межі регулювання вихідного струму, А ..... 0,1 ... 2,5;
6. Межі вимірювання напруги вбудованого вольтметра, В 0 ... 19,99;
7. вхідний опір вольтметра, МОм 10;
8. Маса……...…….0,5 кг;
9. Габаритні розміри ……....……180х150х80 мм;
10. Діапазон робочих температур……..-10…+30°С;
11. ККД……..……..…….85%.

Актуальність розробки імпульсного джерела живлення для підсилювача звукової частоти обумовлена необхідністю забезпечення високої енергоефективності, стабільності вихідних параметрів та зменшення габаритів сучасної аудіоапаратури. Використання імпульсної технології дозволяє досягти високого коефіцієнта корисної дії (до 85%), що є особливо важливим для підсилювачів, які працюють у широкому діапазоні навантажень та змінних режимів роботи.

Розроблюваний пристрій живиться від стандартної електромережі змінного струму з напругою 220 В і частотою 50 Гц ±10%, що забезпечує його універсальність та можливість експлуатації в побутових умовах. Конструкція пристрою повинна бути розрахована на роботу в умовах підвищеної вологості до 88%, а також у діапазоні температур від -10 до +30 °С, що відповідає типовим умовам експлуатації електронної апаратури.

Основними функціональними вимогами до пристрою є можливість регулювання вихідної напруги в межах 0…12 В та вихідного струму від 0,1 до 2,5 А, що дозволяє використовувати джерело живлення для різних режимів роботи підсилювача звукової частоти. Вбудований вольтметр з діапазоном вимірювання 0…19,99 В та вхідним опором 10 МОм забезпечує точний контроль вихідної напруги без суттєвого навантаження на коло.

До конструктивних вимог також належать обмеження по масі (до 0,5 кг) та габаритних розмірах (180×150×80 мм), що вказує на необхідність компактного розміщення елементів і використання сучасної елементної бази. Високий коефіцієнт корисної дії на рівні 85% є ключовим показником ефективності, який визначає доцільність застосування імпульсної схемотехніки замість лінійних стабілізаторів.

1.2 Аналіз структурної схеми виробу

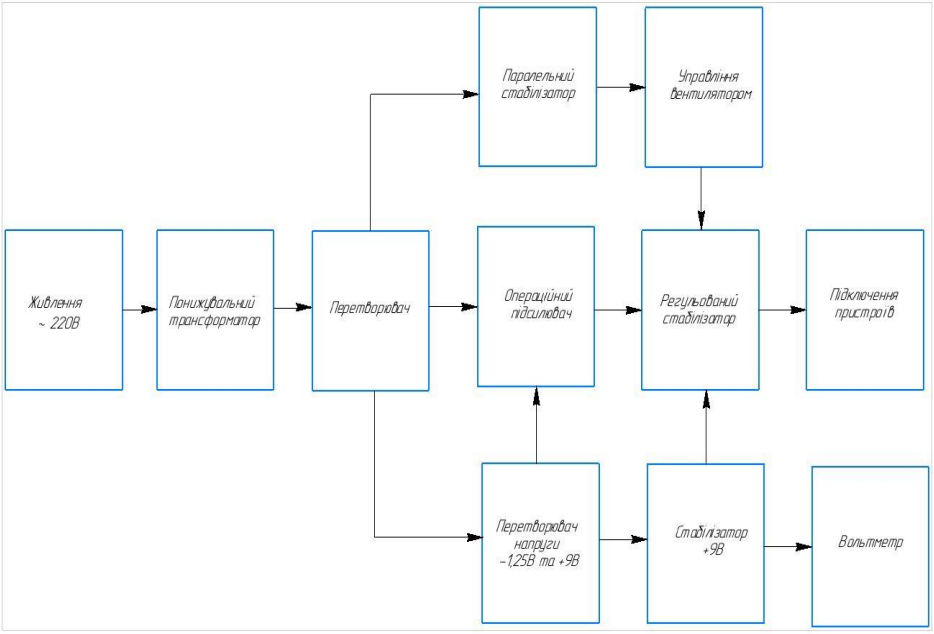

Рисунок 1.1-Схема електрична структурна

Структурна схема та функції блоків:

- Живлення ~220 В - первинне джерело змінної напруги, яке подається від електромережі.

- Понижувальний трансформатор - знижує мережеву напругу до рівня, придатного для подальшої імпульсної обробки. Забезпечує гальванічну розв’язку.

- Перетворювач - виконує високочастотне перетворення енергії, формуючи імпульси для подальшої стабілізації.

- Паралельний стабілізатор - забезпечує згладжування пульсацій та підтримання сталої напруги на виході перетворювача.

- Операційний підсилювач - виконує функцію контролю та порівняння еталонної напруги з реальною, формуючи сигнал зворотного зв’язку для стабілізації.

- Перетворювач напруги - формує необхідні рівні живлення для різних каскадів підсилювача (наприклад, ±30 В для силових каскадів).

-Управління вентилятором - автоматично регулює охолодження залежно від температури чи навантаження, забезпечуючи стабільність роботи.

- Стабілізатор +9 В - формує допоміжну напругу для живлення малопотужних вузлів (логіка, індикація).

- Регульований стабілізатор - дозволяє отримати змінну напругу для живлення допоміжних пристроїв або тестових режимів.

- Вольтметр - виконує контроль вихідної напруги, забезпечуючи візуальний моніторинг роботи джерела.

- Блок підключення пристроїв - забезпечує інтерфейс для живлення зовнішніх модулів та підсилювачів, включаючи захист від перевантаження.

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми пристрою

Змінна напруга з вторинної обмотки II мережевого трансформатора TV1 надходить на діодний міст VD1, де відбувається її випрямлення. Отримана пульсуюча напруга згладжується фільтрувальними конденсаторами C3 і C4, що зменшують рівень пульсацій і забезпечують більш стабільну напругу

постійного струму. Світлодіод HL1 виконує функцію індикатора подачі живлення та сигналізує про ввімкнений стан пристрою.

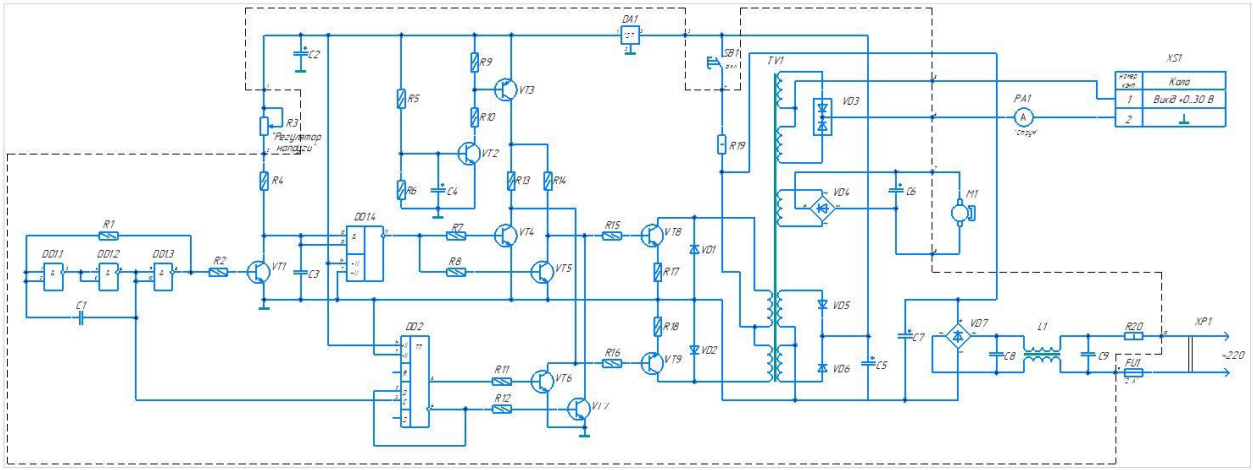

Рисунок 1.2-Схема електрична принципова

Стабілізація вихідної напруги здійснюється за допомогою мікросхеми DA5, яка працює як регульований стабілізатор. Контроль роботи вихідного каскаду та стану навантаження реалізовано через транзистор VT2 та світлодіод HL2, що формують індикатор наявності пульсацій вихідної напруги.

Як еталонне джерело напруги використовується мікросхема паралельного стабілізатора DA2. Вона забезпечує опорну напругу для вузла керування вентилятором охолодження M1 (через транзистор VT1), а також для системи обмеження вихідного струму. До складу вузла обмеження струму входить резистивний датчик струму R11, підсилювач постійного струму DA4.1, диференційний підсилювач DA4.2 та підсилювальний каскад на транзисторі VT3. Ці елементи формують систему зворотного зв’язку, яка керує стабілізатором напруги DA5 та обмежує вихідний струм при перевантаженні.

Для контролю вихідної напруги на навантаженні використовується вимірювальний прилад PV1 (вольтметр). У положенні перемикача SA2.1 «I» вхід вольтметра підключається через дільник R14–R13 до виходу підсилювача постійного струму DA4.1, напруга на якому пропорційна падінню напруги на датчику струму R11 та коефіцієнту підсилення, визначеному ланцюгом негативного зворотного зв’язку (R10, R12).

У положенні «U» вольтметр підключається безпосередньо до виходу стабілізатора DA5 і вимірює вихідну напругу джерела живлення. У положенні «Uзовн» прилад підключається до зовнішнього гнізда XS3 для контролю напруги у зовнішніх колах живлення.

Формування допоміжних напруг здійснюється за допомогою мікросхеми DA1, яка реалізує перетворювач з вихідними напругами −1,25 В та +9 В. Схема побудована за принципом інвертуючого перетворювача, де як накопичувальний елемент використовується обмотка I трансформатора T2. Імпульси негативної полярності випрямляються діодом VD3, після чого стабілізована напруга −1,25 В формується мікросхемою DA1. Через фільтр L1C10 ця напруга подається на емітер транзистора VT3 та змінний резистор R20, що дозволяє встановлювати мінімальний рівень вихідної напруги, рівний нулю.

Напруга з обмотки II трансформатора випрямляється діодом VD2, фільтрується конденсатором C5 та подається на вхід стабілізатора DA3, на виході якого формується стабілізована напруга +9 В, що використовується для живлення вимірювального вольтметра PV1.

Режим стабілізації вихідної напруги забезпечується операційним підсилювачем DA4.2. У нормальному режимі, коли напруга на інвертуючому вході перевищує напругу на неінвертуючому, вихід підсилювача має низький рівень, світлодіод HL3 не світиться, а транзистор VT3 залишається закритим і не впливає на резистор R20.

При зростанні вихідного струму збільшується напруга на виході DA4.1, яка подається на вхід DA4.2. Коли вона перевищує опорний рівень, на виході DA4.2 з’являється сигнал, світлодіод HL3 вмикається, а транзистор VT3 відкривається. Це призводить до шунтування резистора R20 і зниження вихідної напруги, що реалізує режим стабілізації струму.

Положення цього режиму регулюється змінним резистором R3, а світіння HL3 сигналізує про його активацію.

Індикатор пульсацій побудований на транзисторі VT2. За відсутності пульсацій транзистор перебуває у відкритому стані, і напруга на його колекторі недостатня для світіння HL2. При появі пульсацій змінна складова через конденсатор C9 і резистор R6 надходить на базу VT2, що викликає його періодичне закривання. У результаті напруга на колекторі зростає, і світлодіод HL2 починає світитися. Завдяки високій частоті пульсацій (близько 100 Гц) світіння сприймається як безперервне. Чутливість індикатора регулюється підлаштуванням резистора R7.

Система керування вентилятором охолодження M1 реалізована на транзисторі VT1. Терморезистор RK1 з негативним температурним коефіцієнтом разом із підлаштувальним резистором R5 утворює дільник опорної напруги, що подається на базу VT1. Терморезистор встановлено в тепловому контакті з радіатором стабілізатора DA5.

У разі підвищення температури опір терморезистора зменшується, що призводить до відкривання транзистора VT1 і подачі живлення на вентилятор M1. Швидкість обертання вентилятора зростає пропорційно температурі радіатора. При зниженні температури транзистор закривається, і вентилятор автоматично вимикається.

Для розрахунку стабілізаторів напруги на ІМС, як правило, необхідні наступні початкові дані: номінальне значення вихідної напруги $U_{ст\ вих\ ном}$; граничні значення вихідної напруги $U_{ст\ вих\ min}$, $U_{ст\ вих\ max}$; мінімальний і максимальний струми навантаження $I_{н\ min}$, $I_{н\ max}$; температурна нестабільність напруги вхідної α_U; нестабільність вихідної напруги $K_{нстU}$ або коефіцієнт пульсацій вихідної напруги $K_п$; коефіцієнт стабілізації напруги $K_{стU}$; внутрішній опір стабілізатора $R_{ст\ вих}$; температурний коефіцієнт γ.

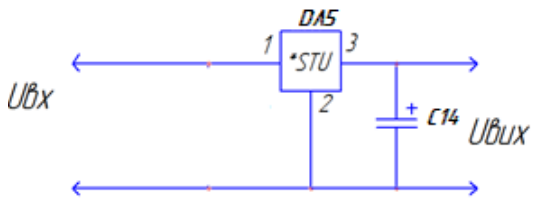

Рисунок 1.3 – Електрична принципова схема стабілізатора і конденсатора

Вибір ІМС виконується за заданими $U_{СТ\ ВИХ}$, $I_{СТ\ ВИХ\ max}$, $K_{СТU}$, γ, $R_{СТ\ ВИХ}$ із таблиці 1.1. Бажано віддавати перевагу тим ІМС, які працюють з меншою кількістю зовнішніх елементів. При цьому повинні виконуватися наступні умови

$$U_{ІМС\ ВИХ} \geq U_{СТ\ ВИХ}$$

$$I_{ІМС\ ВИХ\ max} \geq I_{Н\ max}$$

$$K_{ІМС\ СТU} \geq K_{СТU}$$

Було обрано стабілізатор LT1084IT "Linear" ", який має параметри такі як в КР142ЕН1Г.

Незалежно від типу обраної ІМС визначаємо наступні параметри

$$U_{СТ\ ВХ\ min} \equiv U_{СТ\ ВИХ\ max} + U_{СТ\ ПД} \quad (1.1)$$

$$U_{СТ\ ВХ\ min} \equiv 5{,}1 + 2{,}5 = 7{,}6\ \ В$$

$$U_{СТ\ ВХ} \equiv \frac{U_{СТ\ ВХ\ min}}{1-\alpha_{-}} \quad (1.2)$$

$$U_{СТ\ ВХ} \equiv \frac{7{,}6}{1-0{,}03} = \frac{7{,}6}{0{,}997} = 7{,}62\ \ В$$

$$U_{СТ\ ВХ\ max} \equiv U_{СТ\ ВХ}(1+\alpha_{(+)}) \quad (1.3)$$

$$U_{СТ\ ВХ\ max} \equiv 7{,}62(1+0{,}03) = 7{,}62 + 1{,}03 = 8{,}65\ \ В$$

де α(+), α(-) – найбільше позитивне та негативне відносне змінювання вхідної напруги.

Можливі граничні значення ККД

$$\eta_{max} \equiv \frac{U_{СТ\ ВХ\ max}}{U_{СТ\ ВХ\ min}} \quad (1.4)$$

$$\eta_{max} \equiv \frac{8{,}65}{7{,}6} = 1{,}14$$

$$\eta_{min} \equiv \frac{U_{СТ\ ВХ\ min}}{U_{СТ\ ВХ\ max}} \quad (1.5)$$

$$\eta_{\max} \equiv \frac{7,6}{8,65} = 0,89$$

Передбачається, що струм споживаний стабілізатором є малим $I_{СТ\ ВИХ} \equiv I_{СТ\ ВХ}$.

Визначення ємності конденсатора за формулою:

$$C_0 = \frac{H}{rK_{\ddot{I}\ 0}} \qquad (1.6)$$

де C_0 – ємність, мкФ;

Коефіцієнт пульсацій $К_{п0}$=0,03 %;

r – опір, Ом.

$$C_0 = \frac{30}{1 \cdot 0,03} = 1000(мкФ)$$

Розраховуємо робочу напругу:

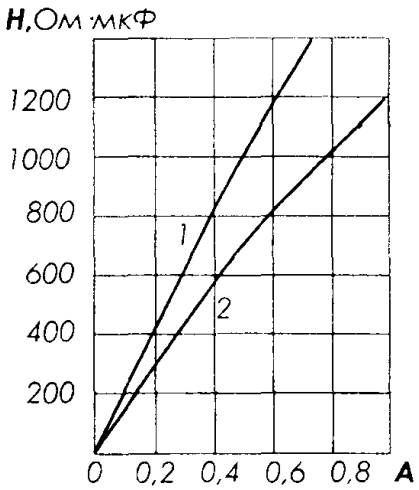

Рисунок 1.4 – Графік для визначення коефіцієнта Н:

$$U_{роб} = \sqrt{2}U_{2x} \qquad (1.7)$$

$$U_{роб} = 1,4 \cdot 10 = 14(В)$$

Вибираємо тип конденсатора з довідника за параметрами $C_{0\ ном}$ і $U_{роб}$. Вибираємо електролітичний конденсатор типу b41828- 16 В-1000 мкФ 10% "Epcos"номінальною ємністю 1000 мкФ та на робочу напругу 16 В.

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

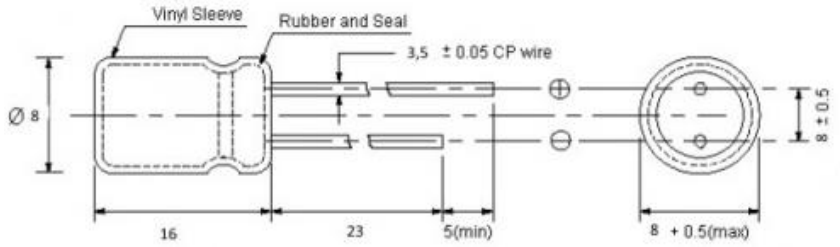

Рисунок 1.5 - Габаритні розміри конденсатора типу b41828"Epcos"

У конструкції виробу застосовуються електролітичні конденсатори типу B41828 "Epcos", встановлені на позиціях C3–C10 та C14. Це оксидно-електролітичні алюмінієві елементи, які, попри значні відхилення номінальної ємності, забезпечують достатні електричні характеристики для стабільної роботи пристрою. Використання саме цього типу конденсаторів сприяє автоматизації процесу виготовлення виробу, а їх головне функціональне призначення полягає у виконанні ролі фільтруючих елементів, що згладжують пульсації та стабілізують напругу живлення електронних вузлів.

Основні параметри конденсаторів B41828 "Epcos" такі:

номінальна напруга становить 10–16 В, а діапазон номінальної ємності охоплює значення від 4,7 до 2200 мкФ. Допуск ємності складає ±20%, що є типовим для електролітичних конденсаторів і не впливає на якість роботи виробу. Термін служби визначається приблизно у 2000 годин, що відповідає стандартним умовам експлуатації. Робочий температурний діапазон досить широкий — від –55 °C до +105 °C, що дозволяє використовувати їх у різних кліматичних умовах. Тангенс кута втрат дорівнює 0,14 %, що свідчить про прийнятний рівень енергетичних втрат у процесі роботи.

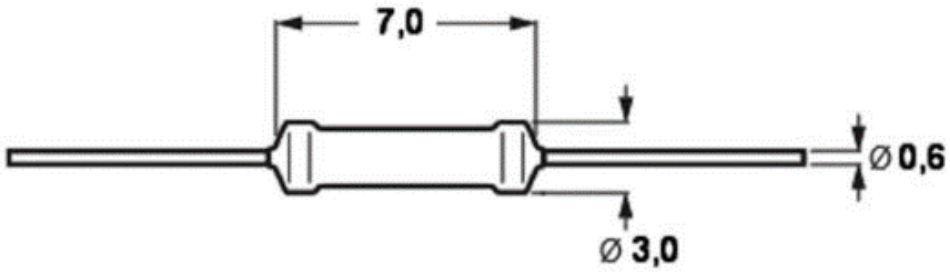

Рисунок 1.6 - Габаритні розміри резисторів MFP "Yageo"

Для реалізації резистивних елементів оптимальним рішенням є використання постійних резисторів типу MFP "Yageo", які встановлені на позиціях R1–R2, R4, R6, R8–R11, R13–R19 (див. рис. 2.2). Ці резистори відзначаються високою стабільністю параметрів та мінімальною залежністю опору від зовнішніх факторів — температури, частоти та напруги. Їх компактні габарити у поєднанні з високою надійністю роблять їх універсальними елементами для роботи в електричних колах постійного, змінного та імпульсного струмів. Саме тому вони широко застосовуються у сучасних схемах, де потрібна точність і довговічність.

Основні параметри резисторів MFP "Yageo" такі:

номінальна потужність становить 0,125–0,25 Вт, що відповідає умовам роботи у малопотужних колах. Діапазон номінальних опорів охоплює значення від 1 Ом до 10^{-6} Ом, що забезпечує гнучкість у виборі необхідних характеристик. Допустиме відхилення опору складає ±10%, що є прийнятним для більшості практичних застосувань. Максимальна робоча напруга сягає 200 В, а діапазон робочих температур становить від –60 °C до +70 °C, що дозволяє експлуатувати резистори у різних кліматичних умовах та режимах роботи.

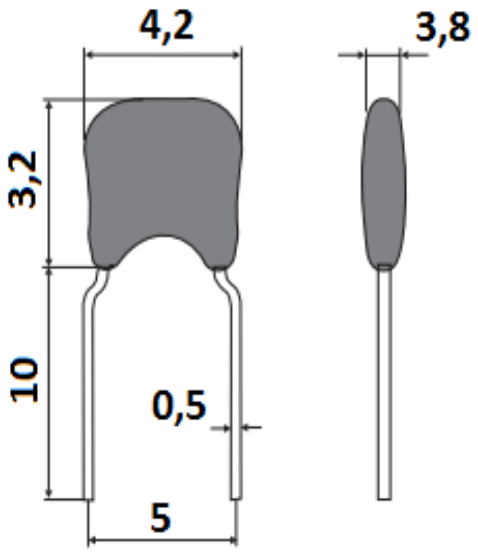

Рисунок 1.7 - Габаритні розміри b37979 "Epcos"

У даному виробі застосовуються керамічні конденсатори постійної ємності типу B37979, які встановлені на позиціях C1–C2 та C11–C13. Вони призначені для роботи як у колах постійного, так і змінного струму, а також у режимах імпульсних сигналів. У даній схемі ці конденсатори виконують кілька важливих функцій: вони є задаючими елементами, що формують тривалість імпульсів скидання та запуску контуру; виконують роль розділяючих конденсаторів, забезпечуючи коректне розділення сигналів; а також входять до складу коливальних контурів, де визначають параметри генерації та стабільність роботи. Завдяки малим габаритам, низькій вартості та широкій доступності конденсатори цього типу є оптимальним вибором для практичного застосування. Вони характеризуються добрими електричними параметрами та легко замінюються аналогами зі схожими характеристиками, що значно спрощує процес виготовлення та ремонту виробу.

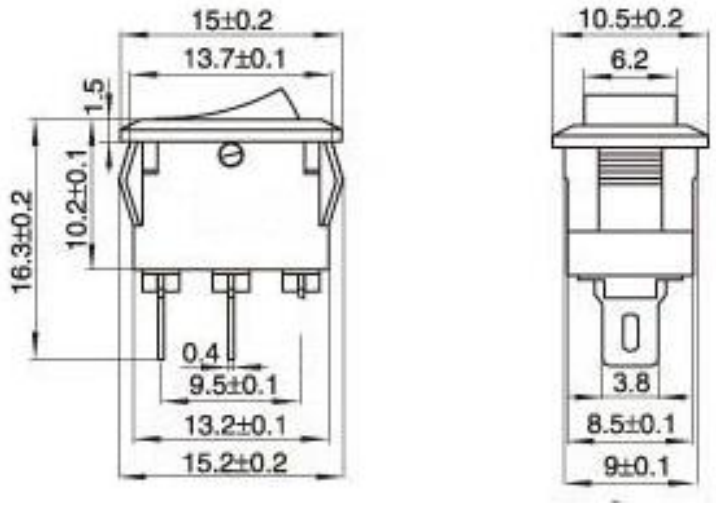

Рисунок 1.8 - Габаритні розміри перемикача

Перемикач PSM7-1-0 (SA1) використовується у даному виробі для виконання основної функції — включення та виключення приладу (див. рисунок 2.4). Це електромеханічний елемент, який забезпечує надійне керування живленням та відповідає вимогам до експлуатації у побутових і промислових електронних пристроях. Завдяки своїй конструкції перемикач характеризується високою механічною міцністю та стабільними електричними параметрами, що гарантує довготривалу роботу без втрати функціональності. Він здатний витримувати значні навантаження, забезпечуючи безпечне та ефективне керування електричними колами.

Основні технічні характеристики перемикача такі: максимальний струм становить 3 А, а максимальна робоча напруга сягає 250 В. Контактний опір не перевищує 50 мОм, що забезпечує мінімальні втрати енергії у процесі роботи. Механічна міцність перемикача оцінюється у 10 000 циклів, що свідчить про його довговічність. Опір ізоляції складає не менше ніж 100 мОм, а діелектрична інтенсивність витримує напругу понад 1500 В протягом однієї хвилини, що підтверджує високий рівень електробезпеки. Додатково контактний опір у робочому режимі дорівнює приблизно 0,03 Ом. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –25 °C до +85 °C, що дозволяє експлуатувати перемикач у різних кліматичних умовах. Він також витримує

напругу 1500 В змінного струму частотою 50 Гц протягом однієї хвилини, що підтверджує його відповідність вимогам до ізоляційної міцності.

Таким чином, перемикач PSM7-1-0 (SA1) поєднує надійність, довговічність та високі електричні характеристики, забезпечуючи стабільне та безпечне керування живленням у складі електронного виробу.

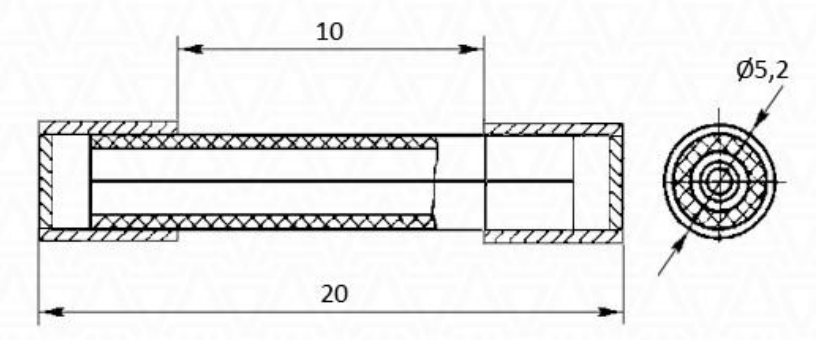

Рисунок 1.9 - Габаритні розміри запобіжника ZH214-015

Запобіжник FU1 типу ZH214-015 є найпростішим апаратом, призначеним для захисту електричного кола від коротких замикань та значних перевантажень (див. рисунок 1.10). Його застосування є надзвичайно поширеним як у побутових, так і в промислових електроустановках. Запобіжники можуть інтегруватися у комплектні пристрої та використовуватися в різних кліматичних умовах, включаючи середовища з підвищеним рівнем механічних впливів. Вони забезпечують різні ступені захисту, що дозволяє адаптувати їх до конкретних умов експлуатації. Конструктивно запобіжник складається з трьох основних частин: фарфорової основи з металевою різьбою, плавкої вставки та бойка, який забезпечує механічну фіксацію та роботу елемента.

Основні технічні характеристики запобіжника такі: матеріалом корпусу є кераміка, що забезпечує високу термостійкість та електроізоляційні властивості. Номінальна напруга становить 240 В, а номінальний робочий струм дорівнює 0,5 А. Контакти виконані у циліндричній формі, що забезпечує надійність з’єднання. Довжина корпусу складає 30 мм, а діаметр — 6 мм, що робить запобіжник компактним і зручним для монтажу. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –60 °C до +100 °C, що дозволяє

експлуатувати його у різних кліматичних поясах та умовах навколишнього середовища.

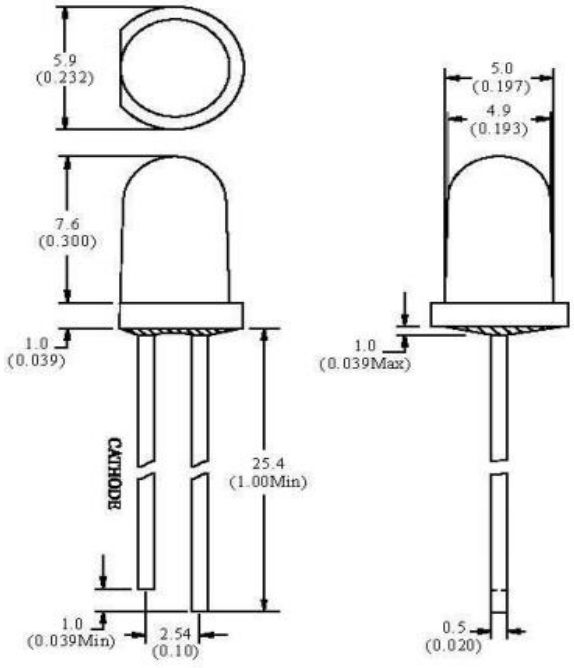

Рисунок 1.10 – Габаритні розміри світлодіода L-1503GT -HL

У даному приладі використовується світлодіод типу L-1503GT (HL1–HL3), який виконує функцію світлодіодної індикації (див. рисунок 2.6). Це напівпровідниковий елемент, що перетворює електричну енергію на світлове випромінювання та забезпечує візуальне відображення стану роботи пристрою. Світлодіоди такого типу характеризуються високою надійністю, низьким енергоспоживанням та тривалим терміном служби, що робить їх оптимальними для використання у сучасних електронних схемах. Завдяки широкому куту випромінювання вони забезпечують рівномірне світіння, добре помітне навіть при різних умовах освітлення.

Основні технічні характеристики світлодіода GNL-AL307SRD такі: пряма напруга становить 1,9 В, а прямий струм дорівнює 30 мА, що відповідає стандартним умовам роботи для індикаторних світлодіодів. Кут випромінювання сягає 180°, забезпечуючи широкий сектор видимості. Колір свічення — червоний, із довжиною хвилі 660 нм, що відповідає спектральній області червоного світла. Такі параметри дозволяють використовувати

світлодіод як ефективний індикатор стану роботи електронного виробу, забезпечуючи чітку та зрозумілу сигналізацію для користувача.

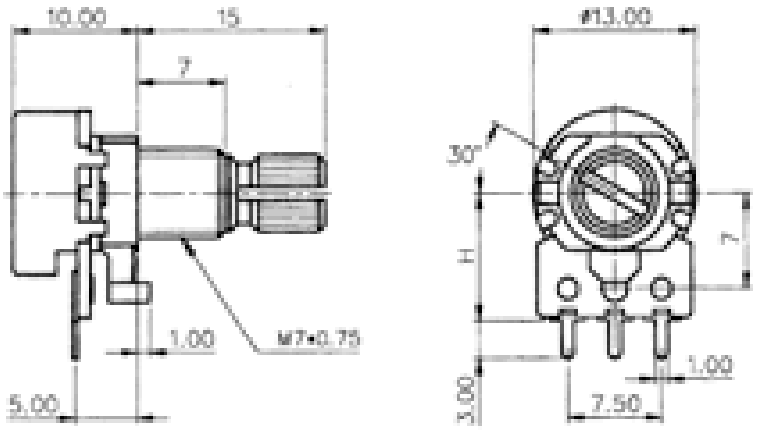

Рисунок 1.11 – Габаритні розміри змінного резистора 16К1

У даному приладі застосовуються змінні резистори R3 та R20 типу 16К1 (див. рисунок 1.11), які мають лінійну характеристику та відзначаються низькою вартістю, що робить їх економічно вигідними для використання у різних електронних схемах. Потенціометр 16К1 виконаний на основі вуглецевого шару та оснащений металевим валом, що забезпечує зручність регулювання та довговічність конструкції. Основне його призначення полягає у використанні в електричних колах для визначення та задання напруги, а також електрорушійної сили (ЕРС), що дозволяє точно налаштовувати параметри роботи пристрою.

Технічні характеристики змінного резистора 16К1 такі: номінальний опір може становити 5,7 кОм, 100 Ом або 1 МОм залежно від конкретної модифікації, що забезпечує гнучкість у виборі потрібних параметрів. Допустиме відхилення опору від номінального значення складає ±20%, що є типовим для змінних резисторів і не впливає на якість їх роботи у більшості практичних застосувань. Потенціометр є однооборотним, що означає простоту конструкції та надійність у використанні. Максимальна робоча напруга сягає 150 В, що дозволяє застосовувати його у колах із середнім

рівнем навантаження. Кут повороту резистора становить 300° ±5°, що забезпечує плавне та точне регулювання параметрів.

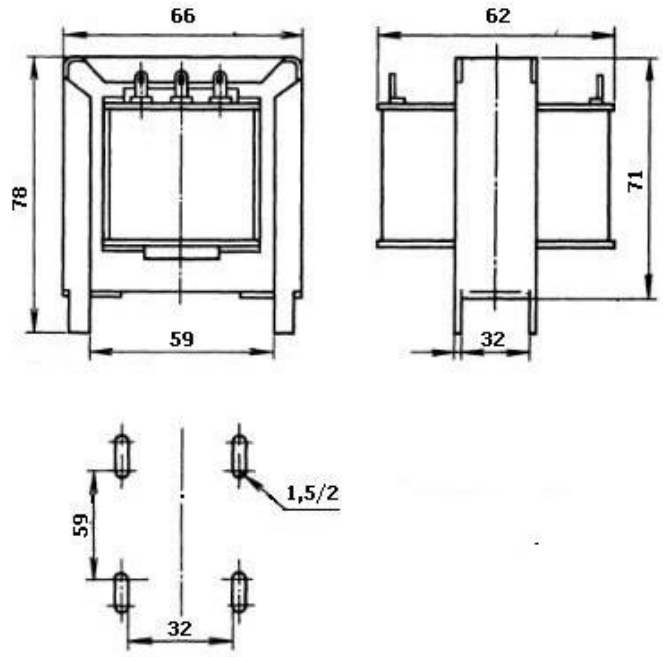

Рисунок 1.12 – Габаритні розміри трансформатора B78386-P1116-A "

У даному виробі використовується лінійка трансформаторів живлення B78386-P1116-A (TV1), призначених для друкованого монтажу (див. рисунок 1.13). Ці трансформатори представлені моделями різної потужності та забезпечують широкий спектр напруг вторинних обмоток, що дозволяє застосовувати їх у різних електронних схемах. Конструкція каркаса передбачає посилену ізоляцію між первинною та вторинною обмотками, що гарантує високий рівень електробезпеки та надійність роботи навіть у складних умовах експлуатації. Завдяки компактності та універсальності вони є оптимальним рішенням для використання у сучасних пристроях, де потрібна стабільна та безпечна передача енергії.

Основні технічні характеристики трансформатора B78386-P1116-A такі: вихідна напруга становить 12 В, а вихідний струм дорівнює 2 А, що забезпечує живлення більшості малопотужних електронних схем. Електрична міцність ізоляції між первинною та вторинною обмотками сягає 4000 В, а між вторинними обмотками — 600 В, що підтверджує високий

рівень захисту від пробою. Напруга живлення трансформатора складає 220 В, що відповідає стандартній мережі змінного струму. Допустимі відхилення вторинних напруг не перевищують ±5%, що забезпечує стабільність параметрів та точність роботи електронних вузлів.

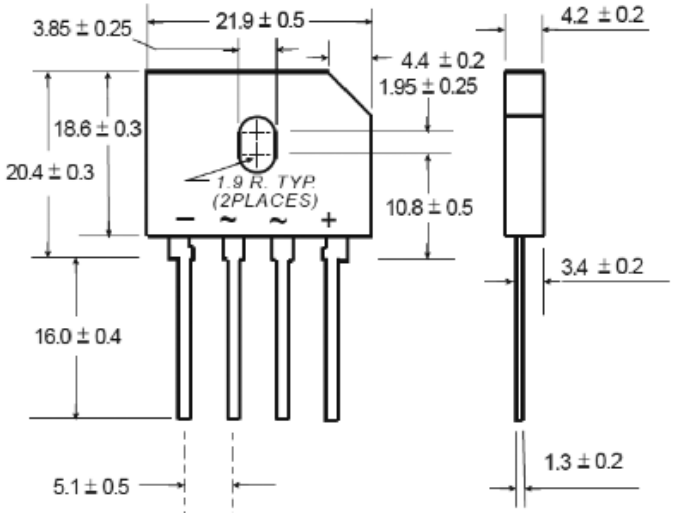

Рисунок 1.13 – Габаритні розміри діода RS507

У даному виробі використовується діодний міст RS507 – VD1, який призначений для випрямлення струмів промислової частоти 50/60 Гц. Це напівпровідниковий елемент у пластиковому корпусі з гнучкими дротяними висновками, що забезпечують зручність монтажу на друковану плату. Завдяки своїй конструкції він поєднує компактність, простоту встановлення та високі електричні характеристики, що робить його ефективним і надійним компонентом у схемах живлення. Діодний міст здатний працювати в умовах значних навантажень, забезпечуючи стабільне перетворення змінного струму на постійний.

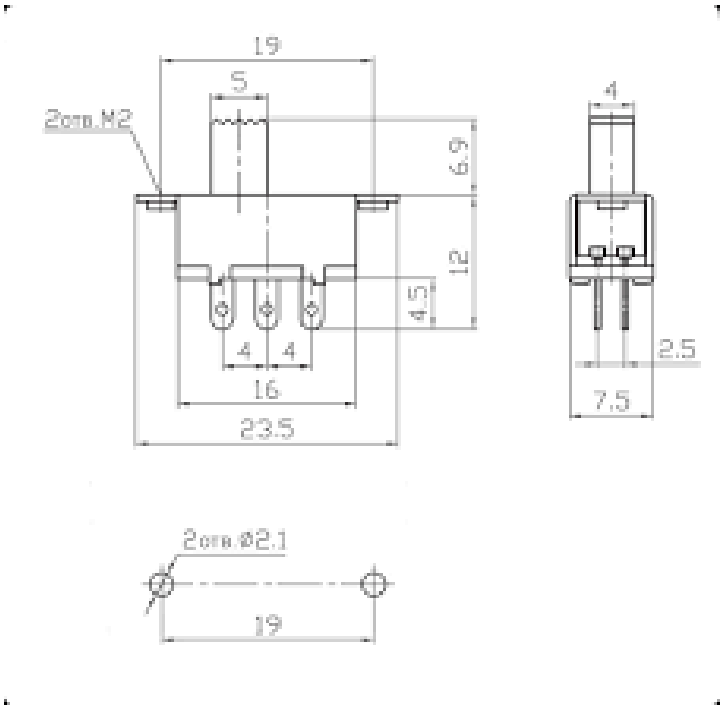

Рисунок 1.14– Габаритні розміри перемикача KBB40-2P2W

У даному виробі використовується моторний перемикач KBB40-2P2W, який має конфігурацію 6р.ON-ON та призначений для роботи при струмі 0,5 А і напрузі до 250 В. Це електромеханічний елемент, що забезпечує надійне перемикання електричних кіл, відзначається компактністю та простотою монтажу. Завдяки своїй конструкції він застосовується у схемах, де потрібне чітке та стабільне керування режимами роботи. Перемикач характеризується високою електричною міцністю та достатнім рівнем ізоляції, що гарантує безпечну експлуатацію навіть у складних умовах.

Основні технічні характеристики перемикача KBB40-2P2W такі: спосіб монтажу — під пайку, виконання — пряме. Він має дві контактні групи, кожна з яких містить по три контакти, а алгоритм роботи відповідає схемі «2×перемикаючий», що дозволяє здійснювати надійне перемикання між двома станами. Опір ізолятора становить не менше ніж 100 МОм, а опір контактів не перевищує 0,1 Ом, що забезпечує мінімальні втрати енергії. Робоча напруга дорівнює 250 В, а максимальна витримувана напруга сягає 1100 В змінного струму протягом однієї хвилини. Робочий струм складає 0,5 А. Температурний діапазон експлуатації охоплює значення від –50 °C до +55 °C, що дозволяє використовувати перемикач у різних кліматичних умовах.

Вага елемента становить 12 г, що робить його компактним і зручним для інтеграції у друковані плати.

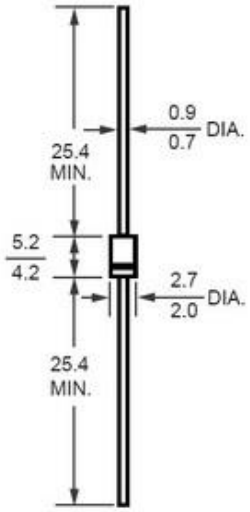

Рисунок 1.15 – Габаритні розміри діода 1N5819

У даному виробі застосовуються діоди 1N5819 (VD2, VD3), які належать до кремнієвих діодів із бар'єром Шотткі. Основне їх призначення полягає у використанні в швидкодіючих імпульсних пристроях та схемах перетворення змінної напруги, де потрібна висока швидкість перемикання та низьке падіння напруги. Завдяки своїм характеристикам вони здатні працювати з максимально допустимим середнім прямим струмом до 1 А, що робить їх ефективними у малопотужних випрямних колах. Діоди випускаються в литому пластиковому корпусі типу DO-41 з гнучкими висновками, що забезпечує простоту монтажу у друковані плати. Для зручності ідентифікації на корпусі нанесена кільцева мітка зі сторони катодного виводу.

Основні технічні характеристики діодів 1N5819 такі: матеріалом напівпровідникової структури є кремній. Максимальна постійна та імпульсна зворотна напруга становить 40 В.

Максимальний прямий випрямлений струм дорівнює 1 А, а максимально допустимий прямий імпульсний струм сягає 25 А, що дозволяє витримувати короткочасні перевантаження. Зворотний струм при температурі 25 °C не перевищує 1000 мкА, а падіння прямої напруги

складає лише 0,6 В, що є типовим для діодів Шотткі. Загальна ємність переходу становить 110 пФ, що забезпечує швидкодію елемента. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –65 °С до +125 °С, що дозволяє експлуатувати діоди у різних кліматичних умовах. Монтаж здійснюється в отвір, корпус відповідає стандарту DO-41, а маса елемента є незначною, що робить його зручним для інтеграції у компактні схеми.

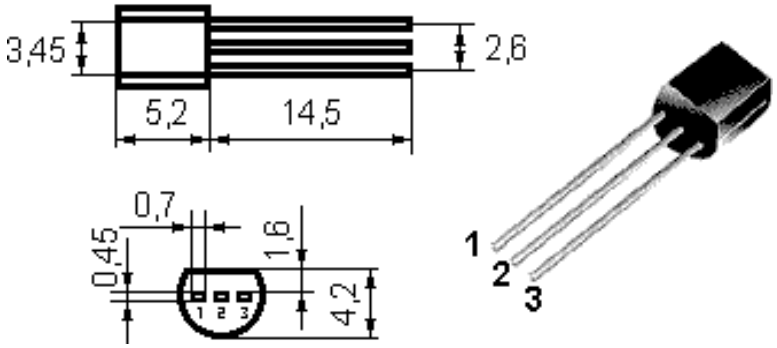

Рисунок 1.16 – Габаритні розміри транзистора KSP2222ATA

У складі виробу використовується біполярний транзистор KSP2222ATA, який належить до структури типу NPN. Він характеризується базовою напругою колектора 75 В та здатністю пропускати колекторний струм до 600 мА, що робить його придатним для застосування у підсилювачах загального призначення та різних схемах комутації. Завдяки своїм параметрам транзистор забезпечує стабільну роботу при середніх навантаженнях і може використовуватися як у підсилювальних каскадах, так і у схемах перемикання сигналів.

Основні технічні характеристики транзистора KSP2222ATA такі: максимальна напруга колектор-база при розімкненому емітері становить 75 В, а максимальна напруга колектор-емітер при розімкненій базі дорівнює 40 В. Максимально допустимий струм колектора сягає 0,6 А. Статичний коефіцієнт передачі струму h_{21e}

має мінімальне значення 100, що забезпечує достатнє підсилення сигналів. Гранична частота коефіцієнта передачі струму становить 300 МГц, що дозволяє використовувати транзистор у високочастотних схемах.

Максимальна потужність, яку він здатний розсіювати, дорівнює 0,625 Вт. Конструктивно транзистор виконаний у корпусі TO-92, вага якого складає близько 0,5 г, що робить його компактним і зручним для монтажу на друковані плати.

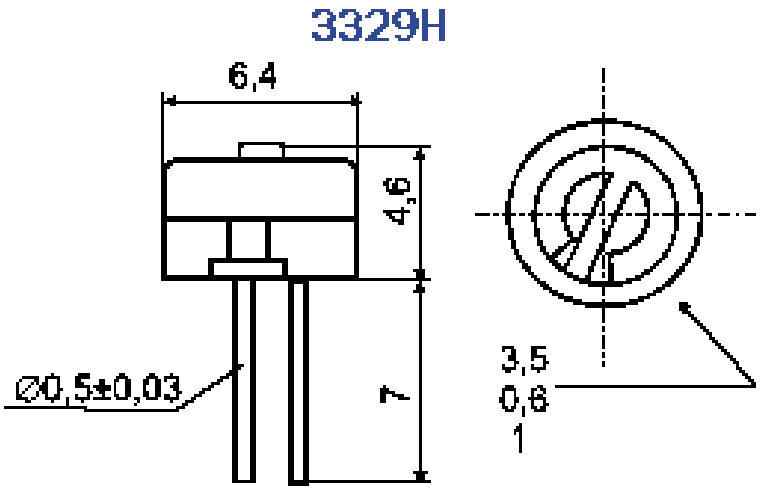

Рисунок 1.17 – Габаритні розміри резистора підстроювального

У складі виробу використовується підлаштувальний резистор 3329H, який належить до однооборотних, не дротяних елементів у корпусованому виконанні з вивідним монтажем. Його основне призначення полягає у точному налаштуванні параметрів електронних схем, де потрібна можливість корекції опору для досягнення оптимальних режимів роботи. Завдяки компактності та простоті конструкції він зручний у використанні та забезпечує стабільність характеристик при тривалій експлуатації. Потужність резистора становить 0,5 Вт, що відповідає умовам роботи у малопотужних електронних колах.

Основні параметри резистора 3329H такі: номінальне відхилення опору складає 10%, що є типовим для підлаштувальних елементів. Максимальна постійна напруга, яку він витримує, дорівнює 500 В. Температурний коефіцієнт опору становить ±250, що визначає зміну параметрів при коливаннях температури. Резистор має високу стійкість до механічних впливів: гранична вібрація знаходиться у діапазоні 10–500 Гц при амплітуді

0,75 мм та прискоренні 6 g, а ударостійкість сягає 390 м/с² при 4000 циклах. Максимальна потужність, яку він здатний розсіювати при температурі 70 °C протягом 1000 годин, становить 200 мВт. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –55 °C до +125 °C, що дозволяє експлуатувати резистор у різних кліматичних умовах.

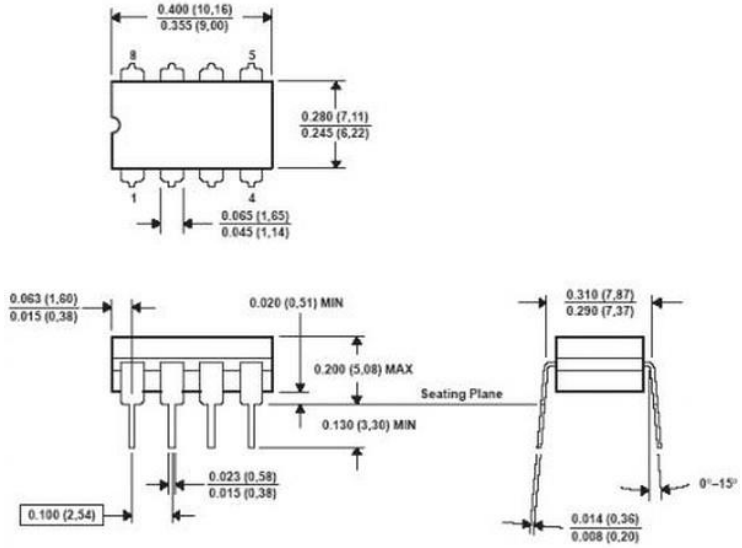

Рисунок 1.18 –Габаритні розміри мікросхеми MC34063ABN

У складі виробу використовується інтегральна мікросхема MC34063ABN (DA1), яка є універсальним перетворювачем напруги у корпусі DIP-8. Це багатофункціональний елемент, здатний працювати у режимах пониження (step-down), підвищення (step-up) та інверсії напруги. Завдяки своїй конструкції та широкому діапазону робочих параметрів мікросхема застосовується у джерелах живлення, стабілізаторах та схемах перетворення енергії, забезпечуючи компактність, надійність та економічність. Її використання дозволяє реалізувати ефективні рішення для живлення електронних пристроїв із різними вимогами до напруги та струму.

Основні технічні характеристики MC34063ABN такі: діапазон вхідних напруг становить від 3 до 40 В, що забезпечує гнучкість у застосуванні. Вихідна напруга може регулюватися у межах від 1,25 до 38 В, а максимальний вихідний струм сягає 1,5 А, що дозволяє живити малопотужні та середньопотужні навантаження. Робоча частота мікросхеми складає 42

кГц, що забезпечує достатню швидкодію для більшості практичних застосувань. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –40 °C до +85 °C, що дозволяє експлуатувати її у різних кліматичних умовах. Конструктивно мікросхема виконана у корпусі DIP-8, вага якого становить близько 1 г, що робить її компактною та зручною для монтажу на друковані плати.

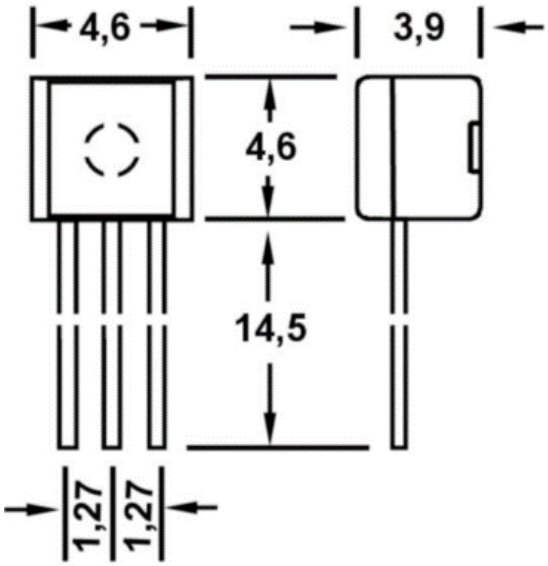

Рисунок 1.19 – Габаритні розміри мікросхеми TL431ACLP

У складі виробу використовується інтегральна мікросхема TL431ACLP (DA2), яка є джерелом опорної напруги з визначеними тепловими характеристиками. Її головна особливість полягає у можливості встановлення вихідної напруги в широкому діапазоні — від 2,5 В до 36 В, що робить її універсальним елементом для різних схем стабілізації. Завдяки активній схемі виходу мікросхема може застосовуватися як ефективна альтернатива стабілітронам, забезпечуючи точність та стабільність роботи.

Низька залежність параметрів від температури гарантує стабільність у всьому діапазоні встановлюваних напруг, що особливо важливо для прецизійних електронних пристроїв. Виробник пропонує три класи точності з початковими допусками при температурі 25 °C — 0,5%, 1% та 2%, що дозволяє обрати оптимальний варіант залежно від вимог до точності.

Основні технічні характеристики TL431ACLP такі: корпус виконаний у стандарті TO-92-3, монтаж — вивідний, що забезпечує простоту інтеграції у

друковані плати. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –25 °C до +85 °C, що дозволяє експлуатувати мікросхему у різних умовах. Вихідний струм становить до 100 мА, а струм катода — від 1 мА, що відповідає вимогам до малопотужних стабілізаторів. Пристрій має один канал, вхідна напруга дорівнює 2,5 В, а вихідна може регулюватися у межах від 2,495 В до 36 В. Допустиме відхилення ємності складає ±1%, що забезпечує точність роботи у схемах стабілізації.

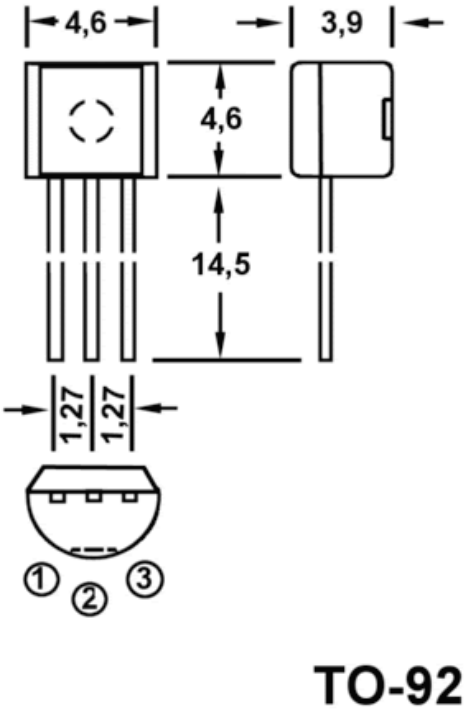

Рисунок 1.20 – Габаритні розміри мікросхеми LM2931AZ

Мікросхема LM2931AZ-5.0 (DA3) є стабілізатором позитивної напруги з фіксованим вихідним значенням 5,0 В. Вона призначена для використання у схемах живлення пам’яті, резервних джерелах живлення, МОП-схемах та інших електронних пристроях, де потрібна стабільна напруга живлення. Завдяки своїй конструкції та компактному виконанню у корпусі TO-92, цей стабілізатор легко інтегрується у друковані плати та забезпечує надійну роботу навіть у складних умовах експлуатації. Його застосування дозволяє підтримувати стабільність параметрів живлення, що є критично важливим для коректної роботи чутливих електронних вузлів.

Основні технічні характеристики LM2931AZ-5.0 такі: полярність виходу — позитивна, тип виходу — фіксований, кількість виходів — один. Вихідна напруга становить 5 В, а максимальний струм навантаження сягає 0,1 А. Падіння напруги при вихідному струмі 0,1 А складає приблизно 0,6 В, що відповідає параметрам малопотужних стабілізаторів. Максимальна вхідна напруга може досягати 40 В, що забезпечує гнучкість у застосуванні. Робочий температурний діапазон охоплює значення від –40 °C до +125 °C, що дозволяє експлуатувати мікросхему у різних кліматичних умовах. Корпус виконаний у стандарті TO-92, вага елемента складає близько 0,3 г, що робить його компактним і зручним для монтажу.

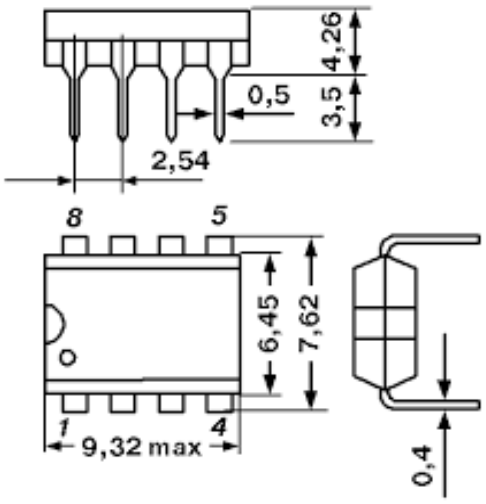

Рисунок 1.21 – Габаритні розміри мікросхеми LM358AN

Мікросхема LM358AN / NOPB (DA4) є універсальним операційним підсилювачем загального призначення, виконаним у корпусі DIP-8. Це подвійний підсилювач, який може працювати як з однополярним, так і з двополярним живленням у діапазоні від 1,5 до 16 В, а також стабільно функціонує при стандартній напрузі 3,3 В. Завдяки своїй конструкції він широко застосовується у схемах підсилення сигналів, аналогових обчисленнях, генераторах та фільтрах. У температурному діапазоні від 0 °C до +70 °C характеристики залишаються стабільними, проте при виході за ці межі можливі відхилення параметрів, що слід враховувати при проектуванні.

Основні технічні характеристики LM358AN / NOPB такі: виробник — Texas Instruments; тип мікросхеми — операційний підсилювач; кількість каналів — два, що дозволяє реалізувати подвійні схеми підсилення. Смуга пропускання становить 1 МГц, що відповідає застосуванню у схемах загального призначення. Швидкість наростання напруги дорівнює 0,1 В/мкс, що забезпечує адекватну роботу у низькочастотних застосуваннях. Робоча напруга охоплює діапазон від 3 до 32 В, що робить мікросхему універсальною для різних джерел живлення. Монтаж здійснюється методом THT, корпус — DIP-8, вага елемента складає близько 0,3 г. Робочий температурний діапазон — від 0 °C до +70 °C, що відповідає стандартним умовам експлуатації.

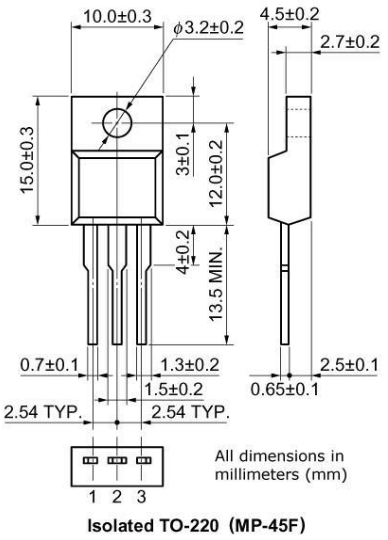

Рисунок 1.22– Габаритні розміри мікросхеми LT1084IT

Мікросхема DA5 є лінійним регулятором напруги з малим падінням напруги, що забезпечує стабільне живлення електронних пристроїв навіть при значних навантаженнях. Завдяки своїй конструкції вона здатна підтримувати вихідну напругу у широкому діапазоні та гарантувати надійну роботу системи. Виконання у корпусі TO-220-3 з вивідним монтажем робить регулятор зручним для інтеграції у друковані плати та дозволяє застосовувати його у різних схемах живлення. Висока допустима робоча температура та значний

вихідний струм роблять цей елемент придатним для використання у потужних електронних вузлах.

Основні технічні характеристики DA5 такі: робочий температурний діапазон охоплює значення від –40 °C до +150 °C, що забезпечує експлуатацію у складних кліматичних умовах. Мінімальна межа струму становить 5,5 А, а вихідний струм дорівнює 5 А, що дозволяє живити навантаження середньої потужності. Кількість регуляторів — один, що відповідає стандартному виконанню. Падіння напруги при струмі 5 А складає лише 1,3 В, що є низьким показником для лінійних стабілізаторів і забезпечує ефективність роботи. Діапазон вхідних напруг становить від 2,55 В до 30 В, а вихідна напруга може регулюватися у межах від 1,25 В до 28,5 В, що робить регулятор універсальним для різних схем живлення.

Таким чином, лінійний регулятор DA5 поєднує компактність, високу надійність та низьке падіння напруги, забезпечуючи стабільне живлення електронних пристроїв у широкому діапазоні умов експлуатації.

1.6 Компоновка друкованого вузла пристрою

Компоновка друкованого вузла імпульсного джерела живлення для підсилювача звукової частоти є одним із ключових етапів проєктування, оскільки безпосередньо впливає на електричні характеристики пристрою, його надійність, тепловий режим, рівень електромагнітних завад та зручність експлуатації і ремонту. З урахуванням високочастотного характеру роботи імпульсного перетворювача особливу увагу приділено правильному розміщенню силових і сигнальних вузлів, мінімізації паразитних зв’язків та оптимізації струмових контурів.

У даному проєкті друкована плата виконана як двостороння, що дозволяє значно підвищити щільність компонування елементів, зменшити довжину провідників та покращити електричні характеристики силових ланцюгів. Використання двох шарів металізації дає можливість організувати повноцінні полігони живлення та загальної шини (GND), що є критично

важливим для зниження рівня шумів та пульсацій у схемі.

Загальні принципи компонування.

При розміщенні елементів плати основним принципом є функціональне зонування, при якому пристрій умовно поділяється на кілька логічних блоків:

- вхідний випрямляч та фільтр;
- імпульсний силовий перетворювач;
- вузол стабілізації та зворотного зв’язку;
- вимірювальні та індикаторні вузли;
- система захисту та охолодження.

Таке розділення дозволяє мінімізувати взаємний вплив високочастотних силових сигналів на чутливі вимірювальні кола та забезпечити стабільну роботу всього пристрою.

Розміщення силової частини.

Силова частина імпульсного джерела живлення (діодний міст, силові транзистори, дроселі, фільтруючі конденсатори) розміщується максимально компактно, з мінімальною довжиною струмових доріжок. Це дозволяє:

- зменшити індуктивність провідників;
- знизити рівень високочастотних перешкод;
- зменшити втрати енергії;
-підвищити стабільність роботи при великих струмах навантаження.

Особлива увага приділяється контуру «випрямляч – ключовий транзистор – дросель – конденсатор», який повинен мати мінімальну площу, щоб зменшити випромінювання електромагнітних завад.

Розміщення вузлів керування.

Схеми керування (операційні підсилювачі, компаратори, вузли зворотного зв’язку) розміщуються окремо від силових елементів у зоні з мінімальним рівнем перешкод. Доріжки, що передають аналогові сигнали зворотного зв’язку, виконуються максимально короткими та захищаються від впливу силових струмів.

Заземлення для аналогової частини організовується окремим полігоном або «зірковою» топологією з єдиною точкою з’єднання з силовою землею.

Вимірювальні та індикаторні кола.

Вузли вимірювання напруги та струму, а також індикаторні елементи (вольтметр, світлодіоди стану) розташовуються в зоні з мінімальними завадами. Їхні ланцюги мають бути добре ізольовані від імпульсних струмів, щоб забезпечити точність вимірювань і стабільність індикації.

Особлива увага приділяється входам вимірювальних приладів, які підключаються через резистивні дільники для зменшення впливу перешкод та захисту вимірювальних мікросхем.

Організація заземлення.

Правильна система заземлення є критично важливою для імпульсного джерела живлення. На двосторонній платі зазвичай застосовується суцільний полігон «землі» на одній зі сторін або комбінована система заземлення.

Реалізується принцип розділення:

- силова земля (великі струми);

- сигнальна земля (керування та вимірювання).

З’єднання цих зон виконується в одній точці для мінімізації паразитних наведень.

Теплове проєктування.

Оскільки імпульсне джерело живлення працює з високими струмами, важливо забезпечити ефективне відведення тепла. Силові транзистори та стабілізатори встановлюються на радіатори, а на платі передбачаються:

- широкі струмові доріжки;

- полігони міді для розсіювання тепла;

- теплові отвори (thermal vias) для передачі тепла на нижній шар.

Компонування виконується таким чином, щоб тепловиділяючі елементи не впливали на термочутливі вузли.

Особливості двосторонньої плати.

Використання двосторонньої друкованої плати дозволяє:

- скоротити довжину силових і сигнальних трас;

- зменшити паразитні індуктивності;

- підвищити щільність монтажу;

- покращити електромагнітну сумісність.

На верхньому шарі зазвичай розміщуються компоненти, а нижній використовується переважно для суцільних полігонів живлення та сигналів заземлення.

Комбінований метод виготовлення плати.

Комбінований метод виготовлення друкованої плати передбачає поєднання декількох технологій:

- фотолітографічного методу для формування провідників високої точності;

- механічного свердління для монтажних отворів;

- хімічного травлення для формування доріжок;

- металізації отворів для забезпечення електричного з’єднання шарів;

- паяльної маски для захисту провідників від окиснення та коротких замикань.

Такий підхід забезпечує високу точність виготовлення, надійність міжшарових з’єднань та довговічність друкованого вузла.

Таким чином, грамотна компоновка друкованої плати імпульсного джерела живлення для підсилювача звукової частоти є критично важливою для забезпечення стабільної роботи пристрою.

Використання двосторонньої плати та комбінованого методу виготовлення дозволяє досягти високої щільності монтажу, знизити рівень електромагнітних завад, підвищити ефективність тепловідведення та забезпечити надійність роботи пристрою в цілому.

1.7 Висновок до розділу 1

У першому розділі виконано комплексний аналіз технічного завдання, структурної та принципової схем джерела живлення для мікроконтролерних пристроїв, а також проведено розрахунок основних функціональних вузлів. У процесі дослідження детально розглянуто вимоги до стабільного живлення цифрових і мікроконтролерних схем, визначено основні параметри роботи джерела живлення та критерії його ефективності й надійності.

Проаналізовано структурну схему пристрою живлення, встановлено призначення кожного функціонального блоку та їх взаємодію в загальній системі. Підтверджено, що запропонована структура забезпечує необхідні режими перетворення, стабілізації та фільтрації напруги, що відповідає вимогам технічного завдання. Описано принцип роботи основних вузлів, зокрема випрямляча, фільтрації, стабілізатора та захисту від перевантажень, а також оцінено їх надійність у складі єдиної системи.

Виконано розрахунок ключових електричних параметрів вузлів джерела живлення, що дозволило підтвердити їх відповідність заданим технічним характеристикам мікроконтролерних схем, зокрема вимогам до стабільності напруги, рівня пульсацій та навантажувальної здатності. Також проведено розрахунки елементів друкованого монтажу, що забезпечують мінімальні втрати енергії та коректну роботу пристрою в різних режимах навантаження.

Здійснено аналіз елементної бази сучасного ринку електронних компонентів, у результаті чого підібрано оптимальні рішення з урахуванням показників надійності, вартості, енергоефективності та доступності.

Обґрунтовано вибір кожного елемента схеми відповідно до його функціонального призначення в системі живлення мікроконтролера.

Розроблено компоновку друкованої плати джерела живлення, яка забезпечує компактність конструкції, зручність монтажу та ефективне тепловідведення. Перевірено відповідність компоновки вимогам електромагнітної сумісності та технічного завдання.

2 Спеціальна частина

2.1 Обгрунтування використання та вибору САПР для проектування

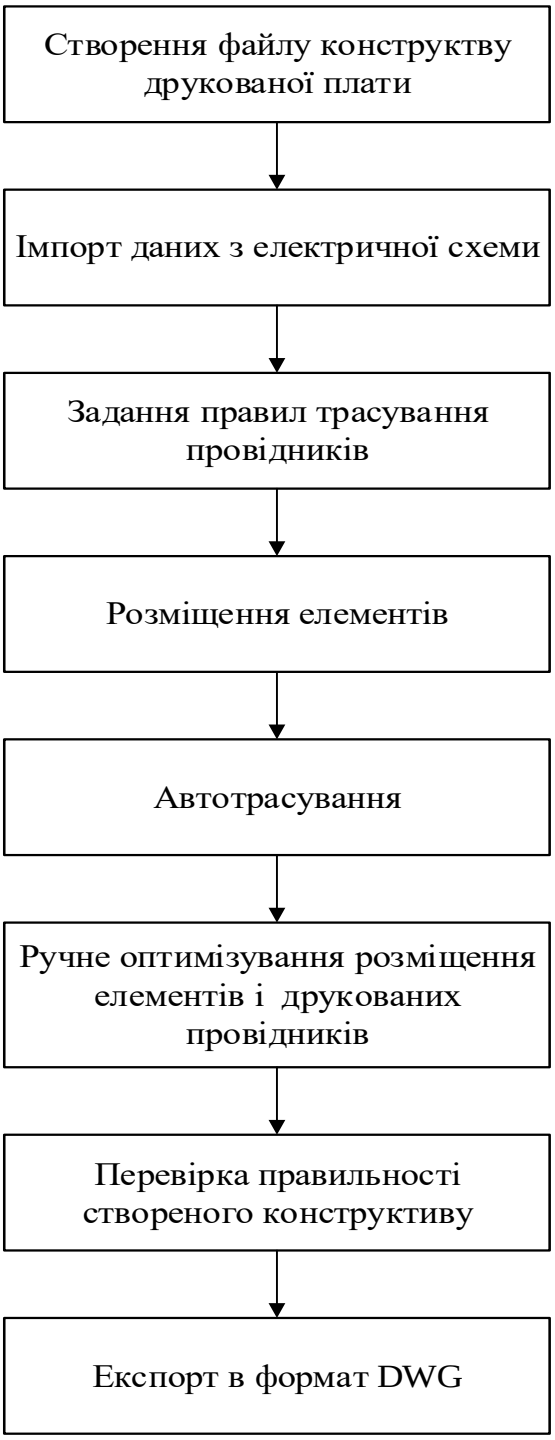

Рисунок 2.1 – Створення конструктиву друкованої плати в Altium Designer

Створення нового компонента у бібліотеці принципових схем починається з додавання його до списку. Для цього в панелі SCH Library під переліком наявних елементів натискається кнопка Add, після чого у відкритому діалоговому вікні вводиться назва майбутнього компонента. Після підтвердження дії новий елемент автоматично з’являється у бібліотеці та стає доступним для редагування.

Подальший процес формування компонента можна умовно поділити на три основні етапи:

Встановлення висновків (Pin placement).

Для додавання виводів використовується команда Place → Pin. Відразу після її активації новий висновок «прив’язується» до курсора, що дозволяє розмістити його у потрібному місці. На цьому етапі слід натиснути клавішу Tab, щоб відкрити вікно властивостей виводу. Тут задається його назва та позиційне позначення, яке відповідає номеру контакту корпусу мікросхеми. Обов’язковим параметром є довжина виводу, яка повинна бути кратною 2,5 мм. Інші характеристики — такі як електричний тип чи спеціальні символи — можуть бути визначені пізніше.

При розташуванні виводу він позначається великим вертикальним хрестом, що вказує на його геометричну прив’язку, а маленький діагональний хрестик позначає електричне закінчення контакту.

Розробка графіки символу.

На цьому етапі креслиться умовне графічне позначення компонента, яке відображатиметься на схемі. Воно має бути зрозумілим, стандартизованим та відповідати прийнятим нормам електронної документації.

Задання параметрів (атрибутів).

Завершальний етап включає введення додаткових характеристик компонента — його імені, опису, електричних властивостей та інших атрибутів, що забезпечують коректне відображення та використання елемента у проекті.

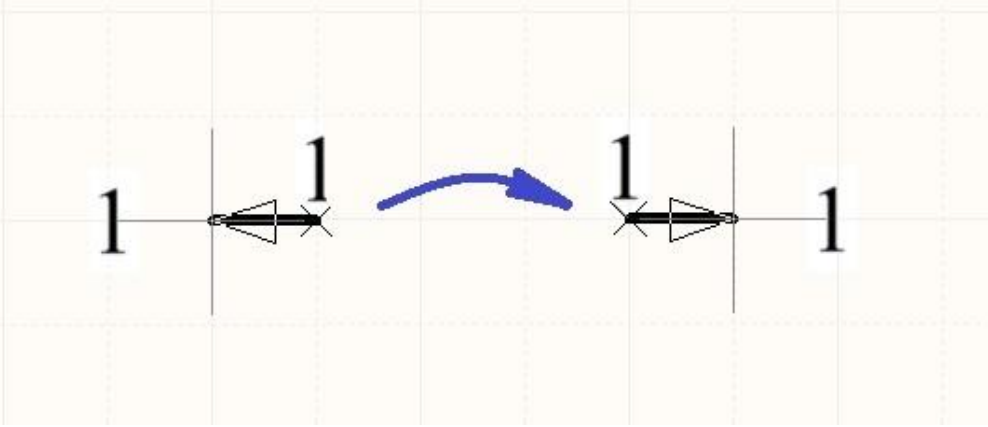

Рисунок 2.2- Установка виводу

Перший етап створення символу компонента передбачає розміщення його висновків. Для коректного орієнтування першого контакту необхідно виконати поворот на 180°, що здійснюється натисканням клавіші Space. Після цього висновок встановлюється натисканням лівої кнопки миші. У момент розташування на електричному закінченні виводу з'являються чотири білі точки, які позначають місце з'єднання. На прикладі (мал. 3) встановлюються три висновки, причому для третього контакту слід відобразити інверсію. Це робиться у властивостях компонента: в параметрі Outside Edge вибирається значення Dot, що відповідає символу інверсії.

Другий етап полягає у створенні графічного позначення компонента (УГП). Для цього застосовуються стандартні інструменти креслення: Line, Ellipse, Arc тощо. У нашому випадку використовується команда Place → Line, за допомогою якої креслиться прямокутник (див. мал. 3). Параметри лінії можна змінювати безпосередньо під час малювання, натиснувши клавішу Tab. Товщина задається умовними значеннями: Smallest, Small, Medium, Large, де, наприклад, параметр Small відповідає товщині 2,54 мм.

При побудові графіки доступні п'ять режимів малювання, між якими можна перемикатися клавішею Space. У процесі креслення часто виникає потреба змінити крок сітки. Для цього використовується клавіша G, яка циклічно перемикає значення між 1 мм, 2,5 мм та 5 мм. Якщо необхідно встановити інший крок, слід натиснути комбінацію V → G та у випадаючому меню обрати команду Set Snap Grid.

Після створення першої осередки мікросхеми потрібно повторити описані дії для формування решти осередків. При цьому позиційні позначення виводів на символі повинні відповідати реальним номерам контактів корпусу. Для додавання нової осередки всередині одного компонента використовується команда Tools → New Part.

Окремо слід розглянути встановлення прихованих висновків. Для цього знову застосовується команда Place → Pin, після чого натисканням клавіші Tab відкривається вікно властивостей. Тут задається назва та позначення контакту, активується опція Hide, а в полі Connect To вводиться назва електричного ланцюга, до якого цей висновок буде автоматично підключатися. Додатково для прихованих контактів у полі Part Number зазвичай встановлюється значення 0, що означає відсутність належності до конкретної осередки мікросхеми.

У результаті виконаних дій формується повний символ компонента з усіма видимими та прихованими висновками, графічним позначенням та коректними параметрами, як показано на малюнку 2.3.

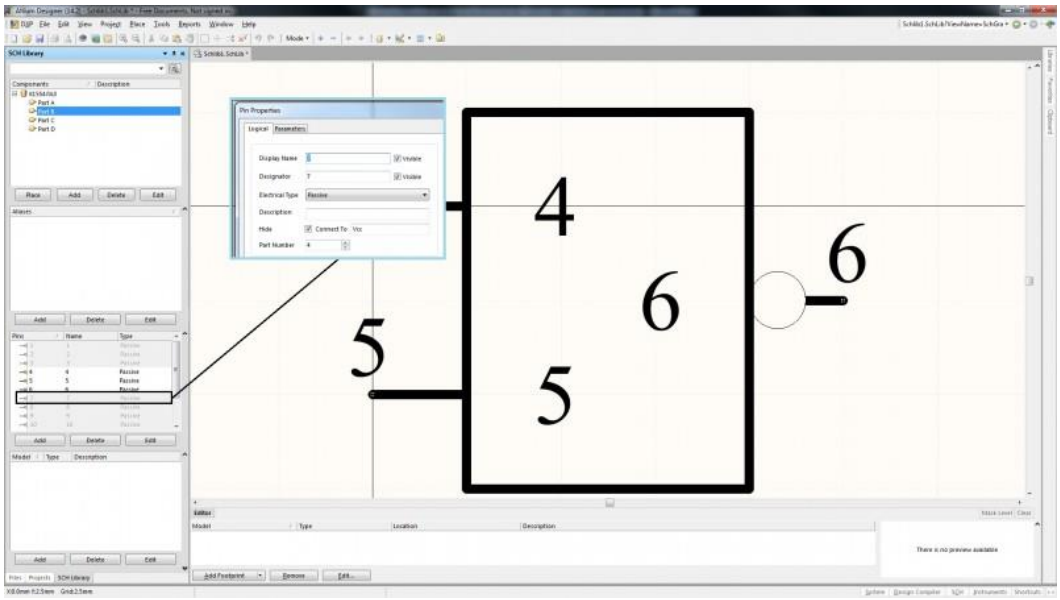

Рисунок 2.3 -Установка прихованих контактів

У середовищі Altium Designer точка прив’язки символу визначається початком координат робочої області, що позначене перехрестям у центрі екрану. Позиційне позначення компонента (RefDes) система автоматично розташовує над корпусом мікросхеми, забезпечуючи його коректну ідентифікацію на схемі.

Третім етапом створення символу є додавання атрибутів, які надалі використовуються для формування текстової документації — зокрема, переліків елементів та специфікацій. У програмі PCAD цей крок виконувався останнім, під час роботи з додатком Library Executive. У Altium Designer, завдяки зміненій структурі бібліотек, атрибути компонента задаються вже на етапі його створення. Для цього необхідно двічі клацнути мишею на назві елемента у панелі SCH Library, після чого відкривається вікно властивостей. Тут задається префікс позиційного позначення та, за потреби, додаються додаткові параметри, що використовуватимуться при складанні специфікації та списку елементів. Після підтвердження змін кнопкою OK бібліотеку можна зберегти, натиснувши піктограму із зображенням дискети.

При створенні посадочного місця для корпусів типу DIP доцільно скористатися вбудованим майстром — Component Wizard. Для цього у панелі PCB Library слід натиснути правою кнопкою миші на списку посадочних місць та обрати пункт Component Wizard. Відкриється вікно привітання майстра, після чого потрібно натиснути кнопку Next для переходу до покрокового процесу створення посадочного місця.

Таким чином, завершальний етап створення символу включає додавання атрибутів, налаштування RefDes та формування посадочних місць за допомогою майстра. Це забезпечує повну готовність компонента до використання у схемотехнічному проектуванні та подальшому виготовленні друкованої плати.

Рисунок 2.4- Активація Component Wizard

У наступному вікні необхідно вибрати тип компонента виберіть Dual Inline Packages (DIP). Тип одиниць - Metric (mm). Клацніть Next.

Рисунок 2.5- Вибір типу EPE і системи одиниць

У наступному вікні необхідно налаштувати параметри металізованого отвори і контактних майданчиків з урахуванням розміру перетину висновків компонента і класу точності ПП. У зв'язку з цим виберемо:

Зовнішній діаметр металізованого отвори - 0.9 мм.

Внутрішній діаметр металізованого отвори - 0.9 мм.

Діаметр контактної площадки - 2 мм (рис.2.6).

Натисніть Next.

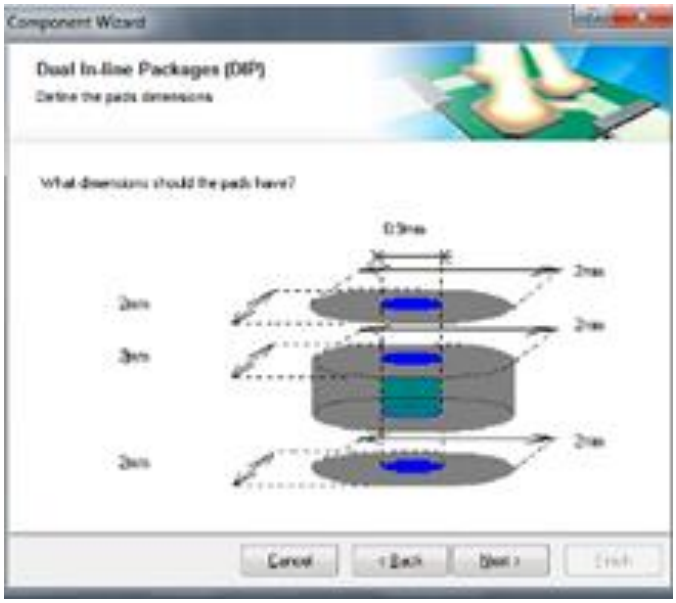

Рисунок 2.6- Налаштування параметрів металізованого отвору

У наступних вікнах необхідно налаштувати параметри:

Відстані між контактами - відстань між сусідніми висновками - 2.5 мм, відстань між рядами висновків - 15 мм.

Ширина лінії, що позначає межі елементу - 0.2 мм.

Число висновків - 16.

Ім'я посадкового місця - DIP 16.

Натисніть Finish. Необхідно зберегти бібліотеку на жорсткому диску командою File> Save As ...

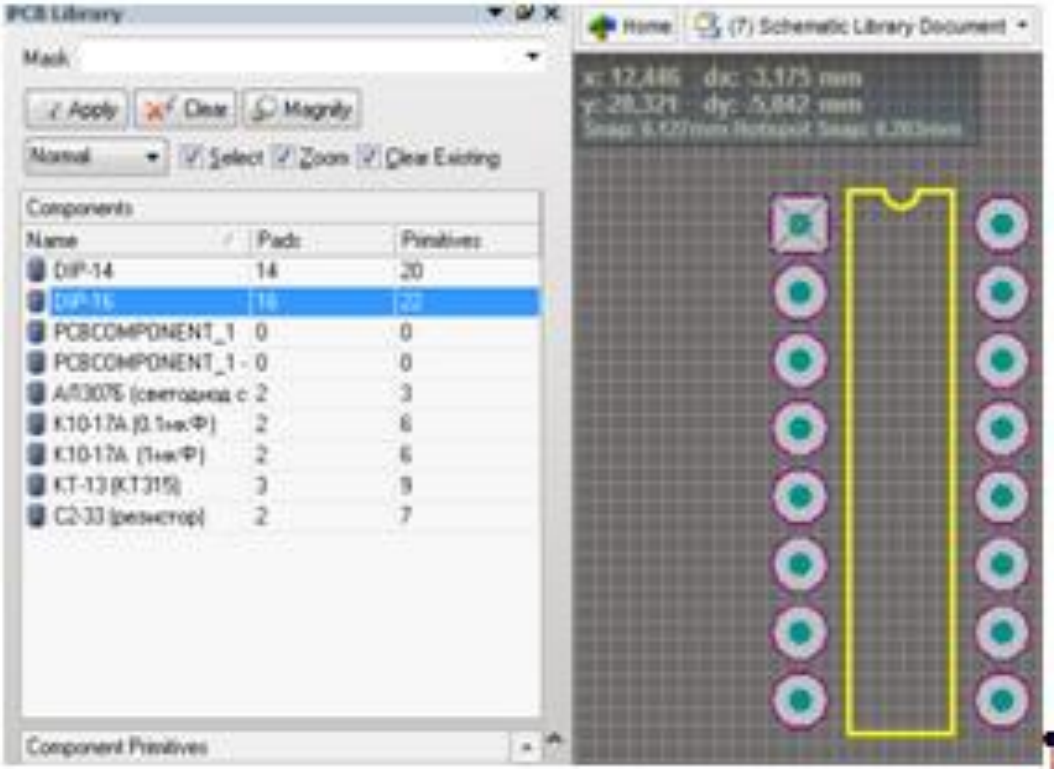

Рисунок 2.7 -Створене посадочне місце DIP 16

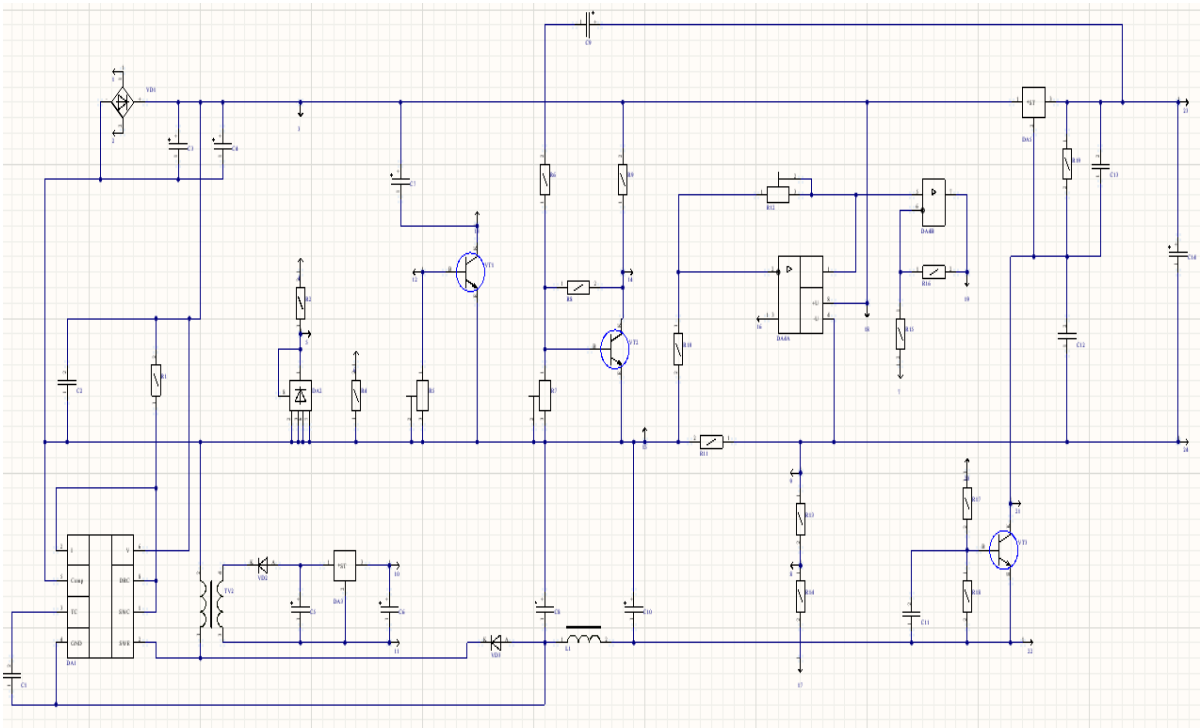

Рисунок 2.8 - Створення електричної принципової схеми в системі автоматизованого проектування Altium Designer

Процес формування креслення друкованої плати у середовищі Altium Designer розпочинається зі створення нового документа плати. Для цього використовується команда File → New → PCB, яка відкриває порожній файл із базовими параметрами. Наступним кроком є початкове налаштування робочого середовища через меню Design → Board Options. У діалоговому вікні необхідно встановити метричну систему вимірювання, обравши пункт Metric у полі Unit, після чого підтвердити вибір натисканням кнопки OK.

Для коректного розташування графічних об’єктів застосовується система проектних сіток. Виклик команди здійснюється натисканням клавіші G, після чого з контекстного меню задається потрібний крок сітки, що визначає точність позиціонування елементів на кресленні.

Передача інформації з електричної принципової схеми у файл плати виконується командою Design → Update PCB. У результаті відкривається вікно Engineering Change Order, де послідовно необхідно виконати три операції: Validate Changes (перевірка змін), Execute Changes (застосування змін) та Close (закриття вікна).

Після цього у документі плати автоматично з’являються посадочні місця всіх компонентів та лінії електричних зв’язків між ними.

Далі здійснюється налаштування параметрів провідників, відстаней та контактних майданчиків. Для цього використовується команда Design → Rules, яка відкриває редактор PCB Rules and Constraints Editor. У розділі Electrical → Clearance задається мінімально допустима відстань між монтажною площадкою та друкованим провідником, що визначає електричну ізоляцію та запобігає коротким замиканням. У розділі Routing → Width встановлюється необхідна товщина друкованого провідника, яка залежить від струмового навантаження та технологічних вимог виробництва.

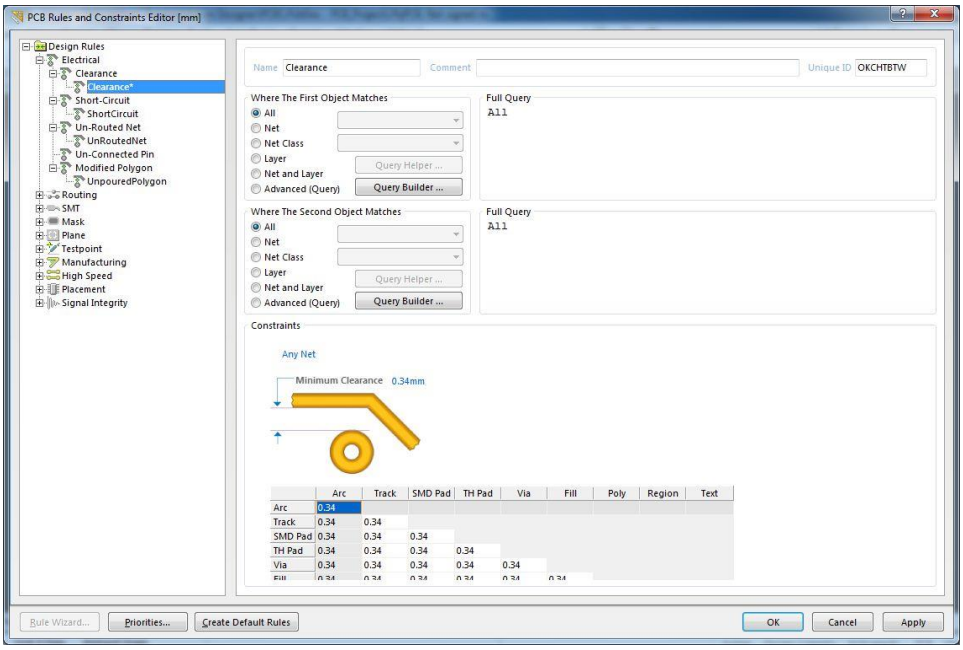

Рисунок 2.9 – Задання мінімальної відстані між елементами друкованого монтажу

Формування друкованих провідників у середовищі Altium Designer може здійснюватися як вручну, так і за допомогою автоматизованих засобів трасування. У найпростішому випадку користувач підводить курсор до монтажного отвору потрібного компонента та натискає ліву клавішу миші. У результаті починає формуватися друкований провідник, який з’єднує вибраний контакт із наступним елементом схеми.

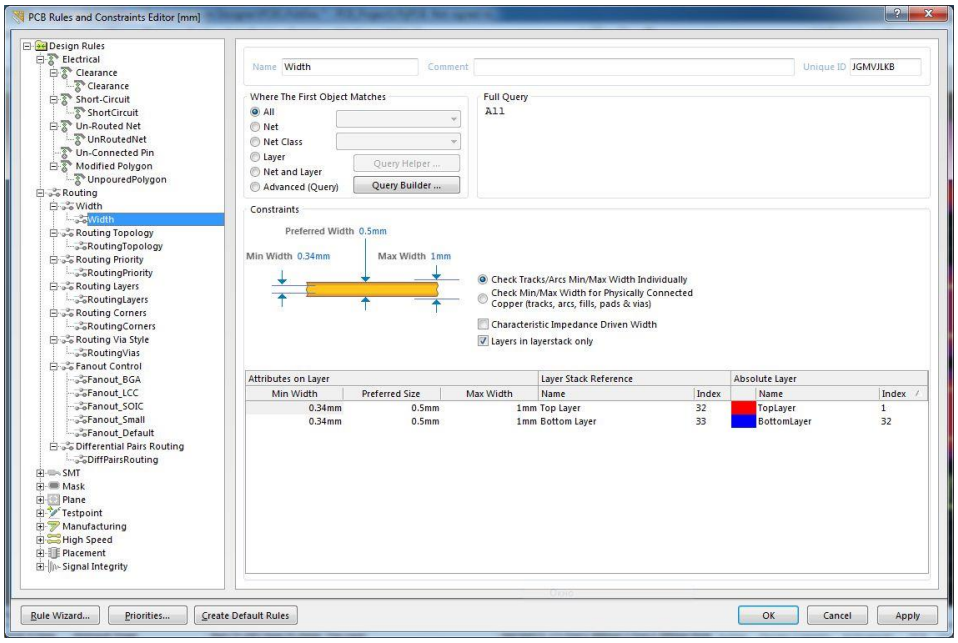

Рисунок 2.10 – Задання ширини друкованого провідника

Для прискорення процесу проектування застосовується функція автоматичного трасування. Вона викликається командою Auto Route → All, після чого відкривається діалогове вікно Situs Routing Strategies. У цьому вікні можна обрати одну з типових стратегій трасування, що пропонуються системою, або ж налаштувати власну, враховуючи специфіку топології плати та вимоги до електричних з’єднань.

Завершальним етапом є запуск процедури автоматичного формування провідників. Для цього достатньо натиснути кнопку Route All, після чого програма виконає трасування всіх з’єднань відповідно до обраної стратегії. У результаті на кресленні плати з’являється повна мережа друкованих провідників, що забезпечує електричний зв’язок між елементами відповідно до принципової схеми.

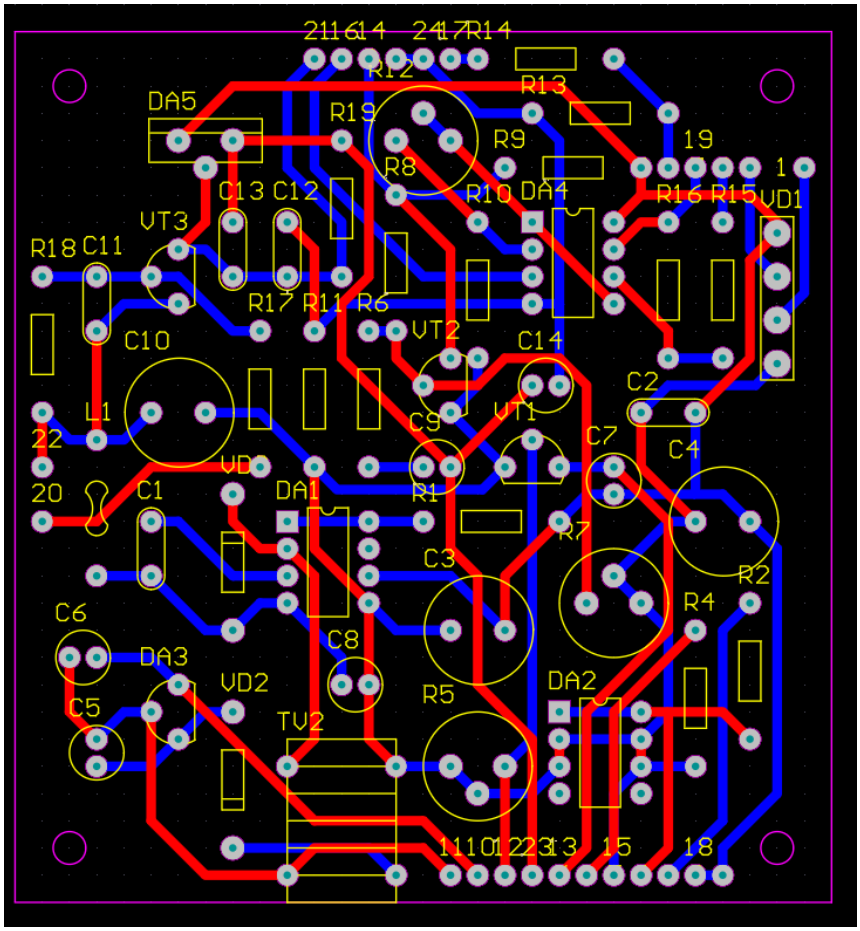

Рисунок 2.11 – Друковані провідники які створені командою Interactive Routing

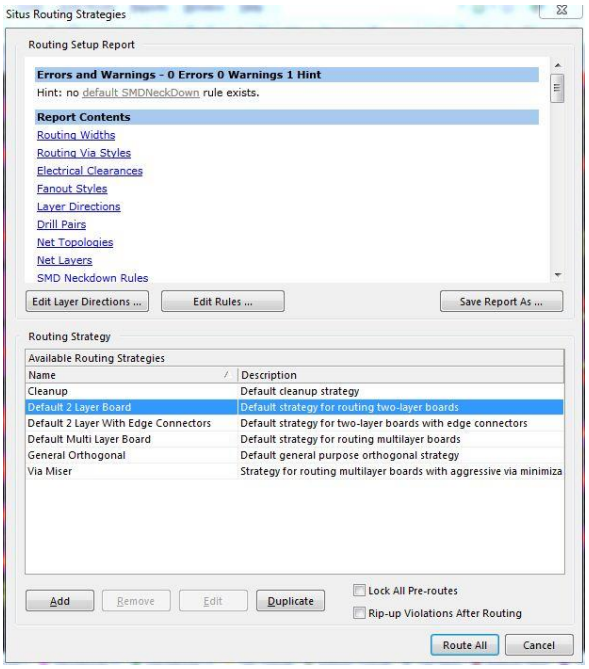

Рисунок 2.12 – Вікно вибору стратегій автоматичного трасування друкованих провідників

Після трасування необхідно перевірити конструктив ДП на наявність помилок командою Tools→Design Rule Check і натиснувши кнопку Run Design Rule Check запустимо перевірку конструктиву ДП. Якщо після завершення виконання команди не появилось вікно System Message значить перевірка завершилась успішно і на конструктиві ДП не знайдено помилок.

2.2 Висновки до розділу 2

У другому розділі дослідження акцент зроблено на особливостях процесу проектування друкованих плат, де визначальними чинниками виступають вибір системи автоматизованого проектування (САПР) та побудова тривимірної моделі плати.

Насамперед проведено порівняльний аналіз різних програмних середовищ, у ході якого оцінено їх функціональні можливості, переваги та обмеження. Вибір конкретної системи здійснювався на основі комплексу критеріїв: рівень функціональності, зручність інтерфейсу, відповідність технічним вимогам проєкту та економічна доцільність. Обрана платформа забезпечує повний цикл розробки — від створення електричної принципової

схеми до генерації 3D-моделі плати. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість помилок, скоротити час проектування та підвищити ефективність робочого процесу.

Детально розглянуто етапи побудови тривимірної моделі:

- Розміщення компонентів на робочому полі з урахуванням топологічних вимог;

- Трасування провідників відповідно до правил проектування та електричних обмежень;

- Перевірка на помилки та усунення конфліктів, що можуть виникати між елементами та з’єднаннями.

3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

3.1 Вплив діяльності людини на довкілля

Техносфера – це регіон біосфери в минулому, перетворений людиною за допомогою прямого або непрямого впливу технічних засобів з метою найкращої відповідності своїм матеріальним і соціально-економічним потребам.

Створюючи техносферу, людина прагнула до підвищення комфортності довкілля, до зростання комунікабельності, до забезпечення захисту від природніх негативних впливів. Усе це позитивно вплинуло на умови життя і в сукупності з іншими факторами – на тривалість життя людей.

Але нераціональна господарська діяльність, багаторазово підсилена здобутками науково-технічного прогресу, призвела до пошкодження і вичерпання природних ресурсів, зміни регенераційних механізмів біосфери, деформації сформованого протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на планеті, порушення динамічної рівноваги глобальної земної соціоекосистеми. Існує декілька класифікацій природних ресурсів. Згідно з природничою класифікацією, ресурси поділяються на природні групи: водні, повітряні, ґрунтові, рослинні, тваринні, мінеральні, кліматичні [25].

За природноекономічною класифікацією ресурси поділяються на ті, які використовуються в матеріальному виробництві, і ті, що використовуються в невиробничій сфері.

За іншою класифікацією природні ресурси поділяються на невичерпні і вичерпні, а останні на відновлювальні, важковідновлювальні та невідновлювальні.

Відновлюваними вважають біологічні ресурси, атмосферне повітря, поверхневі води. До важковідновлюваних можна віднести ґрунти, підземні води, деякі гірські породи, природні ландшафти. Практично невідновлювальними є переважна більшість корисних копалин та види організмів, що вже зникли на Землі.

Загальна характеристика впливу людини на природні ресурси: а) наслідки впливу на атмосферушляхом забруднення [26]:

- парниковий ефект – глобальне потепління клімату за рахунок збільшення вмісту вуглекислого газу в повітрі;

- утворення озонових дір;

- зменшення прозорості атмосфери та збільшення хмарності;

- смог тобто димні тумани, які виникають внаслідок хімічних реакцій в повітрі при його забрудненні великою кількістю пилу та газів;

- кислотні дощі, які утворюються при викиданні в повітря сірчистих сполук і оксидів азоту;

- корозія металевих конструкцій;

- порушення фотозахисту рослин.

б) наслідки впливу на водні ресурсишляхом їх забруднення:

- зменшення кількості якісної, чистої прісної води;

- порушення життєдіяльності живих організмів водойм;

- вимирання окремих видів організмів (жаб, комах, риб);

- порушення ланцюгів живлення у біоценозах (історично складена сукупність тварин і рослин, що населяють територію з більш-менш однаковими умовами існування).

в) наслідки впливу на ґрунтшляхом його забруднення:

- зменшення території, що вкрита рослинністю;

- зменшення площі лісів;

- зниження родючості ґрунтів та опустелювання, пилові бурі, селі;

- погіршення умов росту та розвитку рослинного світу;

- міграція небезпечних речовин в гідросферу;

-накопичення небезпечних речовин в біологічних ланцюгах живлення.

г) вплив діяльності людини на корисні копалини.

Забрудненням називають внесення в якесь середовище нових, не характерних для нього фізичних, хімічних і біологічних агентів, перевищення їхнього природного середнього багаторічного рівня в середовищі. Об'єктом забруднення є атмосфера, вода, ґрунт. Непрямими жертвами забруднення є люди, тварини, рослини, мікроорганізми.

Забруднення навколишнього середовища поділяють на природні, викликані якимись природними причинами (космічний пил, пожежі, виверження вулканів тощо) та антропогенні, що виникають в результаті діяльності людей [25].

Серед антропогенних виділяють забруднення: - механічні (тверді частинки та предмети в біосфері); - хімічні (хімічні елементи, різні сполуки, отруйні речовини промислового і побутового призначення); - фізичні (шуми, вібрація, зміни теплових, електричних, радіаційних, світлових полів у природному середовищі); - біологічні (різні організми, бактеріологічна зброя, нові віруси).

Фізичні забруднення поділяються на такі типи: - теплове (термальне) – виникає в результаті підвищення температури середовища, головним чином у зв'язку з промисловими викидами нагрітого повітря, відхідних газів і води; - світлове – порушення природної освітленості місцевості внаслідок впливу штучних джерел світла, що призводить до аномалій у житті рослин і тварин; - шумове – утворюється через збільшення інтенсивності створюваності шуму надприродного рівня; - електромагнітне – виникає у разі зміни електромагнітних властивостей середовища (від ліній електропередач, радіо й телебачення, роботи деяких промислових установок) й приводить до глобальних і місцевих географічних аномалій і змін у тонких біологічних структурах; - радіоактивне – пов'язане з перевищенням природного рівня

вмісту в середовищі радіоактивних речовин. Це було враховано в системі геопозиціонування за GPS даними

3.2 Особливості заходів електробезпеки на підприємствах

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електро-безпеки:

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяються на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають [27]:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блоківки безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездат-ність електроустановок, зменшує вірогідність потраплянь людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз із пошкодженою ізоляцією. Розрізняють ізоляцію [27]:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;

- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

- подвійну — складається з робочої і додаткової;

- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту як і подвійна.

При розробці електроустановок опір ізоляції приймається в межах 1 кОм/В, якщо технічними умовами не передбачені більш жорсткі вимоги відповідно до чинних актів. З метою забезпечення працез-датності електроустановок і безпечної їх експлуатації прово-диться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектри-чними втратами. В установках, напругою більше 1000 В, проводять всі види випробування ізоляції, а при напрузі до 1000 В — контролюється тільки електричний опір і електрична міцність. Виділяють приймально-здавальні випробування, післяремонтні (реконструкція і капітальний ремонт) і міжремонтні в терміни, встановлені чинними нормативами залежно від типу електро-установки і умов її експлуатації. Так, опір переносних світильників, що живляться від електромережі, електрифікованого ручного інст-ру-менту, контролюється кожні 6 місяців, зварю-вального облад-нання – кожні 12 місяців. При цьому опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм, а для електрофікованого інструменту – 1 МОм [28].

Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язані з дотиком до струмовідних частин електробус-тановок (близько 55%). Якщо в установках до 1000 В небезпека електротравм пов'язана, переважно, з дотиком до неізольованих струмовідних елементів електроустановок, то за напруги більше 1000 В електротравми можливі і при дотику до ізольованих струмовідних частин. Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є застосування захисних огороджень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління спожи-вачами електроенергії), розміщення неізольованих струмовідних частин на недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом висоті, різного роду пристосуваннями тощо, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення [29].

Застосування блоківок безпеки. Блоківки безпеки застосовуються в електроустановках, експлуатація яких пов'язана з періодичним доступом до огороджених струмовідних частин (випробувальні і дослідні стенди, установки для випробування ізоляції підвищеною напругою), в комутаційних апаратах, помилки в оперативних переключеннях яких можуть призвести до аварії і нещасних випадків, в рубильниках, пусковій апаратурі, автоматичних вимикачах, які працюють в умовах підвищеної небезпеки (електроустановки на плавзасобах, в гірничодобувній промисловості).

Призначення блоківок безпеки: унеможливити доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попередити помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допустити порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання без попереднього відключення його від джерела живлення. Основними видами блоківок безпеки є механічні, електричні і електромагнітні [27].

Механічні блоківки безпеки виконуються, переважно, у вигляді механічних конструкцій (стопори, замки, пружинно-стержневі і гвинтові конструкції тощо), які не дозволяють знімати захисні огородження електроустановок, відкривати комутаційні апарати без попереднього зняття з них напруги.

Електричні блоківки забезпечують розрив мережі живлення спеціальними контактами, змонтованими на дверях огородження, розподільчих щитів і шаф, кришках і дверцятах кожухів електро-обладнання. При дистанційному управлінні електроуста-новкою ці контакти доцільно включати в мережу управління пускового апарата послідовно з органами пуску. В такому разі подача напруги на установку органами пуску буде неможливою до замикання контактів електричних блоківок.

3.3 Висновки до розділу 3

Розроблено імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти та детально розглянуто два критично важливих аспекти сучасної діяльності: вплив людини на навколишнє середовище та специфіку заходів електробезпеки на підприємствах. Аналіз цих питань дозволяє зробити низку узагальнюючих висновків.

Висновки

У результаті виконання роботи на тему «Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти» було досягнуто поставленої мети — розроблено пристрій, призначений для забезпечення стабільного, надійного та енергоефективного живлення аудіопідсилювальних систем.

У процесі роботи проведено аналіз технічного завдання, на основі якого визначено основні вимоги до імпульсного джерела живлення, його функціональні можливості та основні електричні параметри. Відповідно до цих вимог розроблено структурну схему пристрою, яка відображає склад основних функціональних блоків та принцип їх взаємодії.

Виконано проєктування електричної принципової схеми та проведено необхідні розрахунки її вузлів, що дозволило забезпечити задані вихідні характеристики, стабільність роботи та високий коефіцієнт корисної дії пристрою. Здійснено вибір і технічне обґрунтування елементної бази з урахуванням режимів роботи, теплових навантажень, електромагнітної сумісності, доступності компонентів та економічної доцільності їх використання. На основі розробленої принципової схеми виконано компонування друкованої плати пристрою, яке забезпечує раціональне розміщення елементів силової та керуючої частин, зручність монтажу та зменшення рівня електромагнітних завад, що є важливим для аудіотехніки.

У спеціальній частині роботи проведено аналіз сучасних систем автоматизованого проєктування та обґрунтовано вибір програмного забезпечення для схемотехнічного та конструкторського проєктування імпульсного джерела живлення. Використання обраної САПР дозволило підвищити якість проєктування, скоротити терміни розробки та забезпечити ефективне формування конструкторської документації.

У розділі з охорони праці та безпеки життєдіяльності розглянуто вплив діяльності людини на навколишнє середовище та особливості заходів електробезпеки під час експлуатації електронного обладнання.

Список використаних джерел

1. Сайт схеми пристрою [електронний ресурс] – Режим доступу https://radiolub.com/page/zhurnal-radio-2005-8 (дата звернення 4.04.2026).

2. Програма для розрахунку [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://eguru.tk.te.ua/mod/resource/view.php?id=60057(дата звернення 4.04.2026).

3. Конденсатор ECAP [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.radiolibrary. com /reference/transformers-tn/tn20.html(дата звернення 1.04.2026).

4. Резистор MFP [електронний ресурс] – Режим доступу: URL https://www.chipdip. com /product/elc10d101e www.cityradio.narod. (дата звернення 3.04.2026).

5. Конденсатор NPO [електронний ресурс] – Режим доступу: URL http://ippart.com/download/3655a026-13e6-4b56-a0bb-8fd05df9b19d.pdfwww.radio-portal..www.vprl.. (дата звернення 1.04.2026).

6. Світлодіод L-1503GT [електронний ресурс] – Режим доступу http://www.platan./shop/part/PBS-4.html. (дата звернення 3.04.2026).

7. Змінний резистор 16к1 [електронний ресурс] – Режим доступу: URL http://www.rct. com /catalog/box-header-connector/pbs-4.html. (дата звернення 4.04.2026).

8. Резистор підстроювальний 3329H [електронний ресурс] – Режим доступу: URL http://studies.in.ua/bjd-zaporojec/1211-173-osnovn-tehnchn-ta-organzacyn-zahodi-schodo-proflaktiki-virobnichogo-travmatizmu-ta-profesynoyi-zahvoryuvanost.html(дата звернення 4.04.2026).

9. Перемикач ASV-09-102 "Jietong Switch" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.chipdip. com /product/asw-09-102-red(дата звернення 1.04.2026).

10. Кнопка PBS-11A "Jietong Switch" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/leg-12_62137.html(дата звернення 1.04.2026).

11. Діод 1N4448 "Diotec" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://eandc./catalog/detail.php?ID=3809(дата звернення 1.04.2026).

12. Кварцовий резонатор ZTB-6,5МГц [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.platan. com /cgi-bin/qwery.pl/id=995635956(дата звернення 1.04.2026).

13. Мікросхема CD4093BE "Texas Instruments" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://www.tme.eu//details/l7812cp/stabilizatory-napriazheniia-nereguliruemye/stmicroelectronics/(дата звернення 1.04.2026).

14. Мікросхема bt91531 "NXP" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://relecom.com.ua/Home/Product?nomenclatureId=70460(дата звернення 1.04.2026).

15. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни ”Основи радіоелектроніки”. Ч.1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 - Радіоелектронні апарати : . / . — Тернопіль : ТНТУ , 2014 — 89 с.

16. Дунець В. Л. Математична модель та метод опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні для підвищення точності кардіодіагностичних систем / Дунець В.Л. . — Тернопіль , 2013 — 20 с. — Режим доступу: http://

17. Програма для розробки схем “Altium Designer” [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http: //eguru.tk.te.ua/course/view.php?id=819

18. Дунець В.Л. Математична модель та метод опрацювання електрокардіосиґналу при фізичному навантаженні для підвищення точності кардіодіагностичних систем. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи / В.Л.Дунець — Тернопіль, 2013. — 22 с.

19. Дунець В.Л., Хвостівський М.О., Сверстюк А.С., Хвостівська Л.В. Математичне та алгоритмічно-програмне забезпечення опрацювання електрокадіосигналів при фізичному навантаженні у кардіодіагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2022. 136 с.

20. Dunets V. L. Алгоритм оцінювання завадозахищеності каналу зв'язку / В. Л. Дунець, Н. І. Шилівський, О. Ю. Щирба, Д. О. Гуменюк, Т. В. Чирський // XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій", 7-8 грудня 2022 року. — Т. : ТНТУ, 2022. — С. 162. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку).

21. Програма для розробки схем "Altium Designer" [електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http: //eguru.tk.te.ua/course/view.php?id=819

22. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи автоматизованого проектування радіоелектронних засобів" для студентів спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / укл. : Л. В. Хвостівська, В. Л. Дунець. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. - 109 с.

23. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни "Основи радіоелектроніки". Ч.1. Для студентів напряму підготовки 6.050902 - Радіоелектронні апарати : . / . — Тернопіль : ТНТУ , 2014 — 89 с.

24. Дунець В. Л. Математична модель та метод опрацювання електрокардіосигналу при фізичному навантаженні для підвищення точності кардіодіагностичних систем / Дунець В.Л. . — Тернопіль , 2013 — 20 с.

25. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. – К.: Каравела, 2007.

26. Основи охорони праці. / Під ред. Ткачука К.Н., Халімовського Н.О. – К.: Основа, 2006.

27. Охорона праці. / За ред. В.П.Кучерявого. – Львів: Оріяна – Нова, 2007

28. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. – К.: Центр учбової літератури, 2009

29. Геврик Є.О. Охорона праці. – К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003.

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“____”_____2026 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Химич Г.П._____
“____”_____2026р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РАс-41
Дідинець О.Р._____
“____”_____2026р.

Тернопіль, 2026

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “ Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти ”

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

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Дідинець Олександр Романович групи РАс-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення для даного приладу ;
- вибір компонентної бази імпульсного джерело живлення для підсилювача звукової частоти;
- розрахунок і вибір компонентів імпульсного джерело живлення для підсилювача звукової частоти;

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти повине бути розраховане на живлення від джерела живлення яке видає ~220 В.

4.1.2. Вихідна напруга і максимальний струм навантаження повинні відповідати значенням, наведеним ПЗ.

4.2. Технічні вимоги

4.2.1. Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти повине відповідати вимогам стандарту, а також технічній документації на конкретного типу, затвердженій в установленому порядку.

4.2.2. Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти повине забезпечувати задану потужність з моменту включення.

4.2.3. Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти повине забезпечувати безперервну роботу протягом 24 годин при номінальному струмі навантаження і номінальній напрузі джерела живлення при нормальних кліматичних умовах.

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

4.2.5. Електрична міцність і опір ізоляції між корпусом і мережевими

контактами, а також між корпусом і контактами, повинні відповідати вимогам ДСТУ 22261.

4.2.6. За механічними, кліматичними і експлуатаційними умовами повинен відповідати ДСТУ 22261 (група 4).

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

4.2.7. У комплект приладу повинно входити: лабораторний блок живлення, комплект запасних частин. До комплекту докладають паспорт.

4.2.8. Напрацювання на відмову повинне бути не менше 20000 год.

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

4.2.10. Середній термін служби повинен бути не менше 6 років. Випробування на термін служби не проводять.

4.3. Правила приймання.

4.3.1. Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти повине піддаватися періодичним випробуванням.

4.3.2. При випробуваннях повинен піддаватися суцільному контролю. При невідповідності вимогам цього стандарту його повертають для усунення дефектів. Після усунення дефектів зарядне висувають на повторні випробування. Результати повторних випробувань є остаточними.

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

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

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

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації:

- пояснювальна записка;
- структурна схема пристрою;
- електрична принципова схема пристрою;
- друкована плата пристрою;
- друкований вузол.

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Формування технічного завдання	10.03-20.03
2	Збір інформації	15.03-1.04
3	Аналіз технічного завдання	15.03-22.03
4	Створення структурної схеми	22.03-2.04
5	Аналіз структурної схеми	25.03-5.04
6	Проектування схеми електричної принципової	5.04-20.04
7	Аналіз схеми електричної принципової	15.04-25.04
8	Підбір та формування електричної бази і компонентів	20.04-1.05
9	Опис схеми електричної принципової, її принцип роботи	25.04-5.05
10	Розрахунок електричних параметрів елементів	1.05-10.05
11	Компоновка друкованого вузла	10.05-15.05
12	Розрахунок та компановка друкованої плати	12.05-18.05
13	Розрахунок собівартості пристрою	18.05-25.05
14	Обгрунтування використання та вибору САПР для проектування	25.05-28.05
15	Опис шляхів збереження працездатності і підвищення продуктивності на підприємстві	25.05-3.06
16	Формування висновків	3.06-4.06
17	Компонування кваліфікаційної роботи	3.06-9.06
18	Направлення роботи на перевірку”антиплагіат”	10.06
19	Захист роботи	24.06

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

7.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	b37979-1500 пФ ±5% "Epcos"	1	
C2	b37979-0,1 мкФ ±5% "Epcos"	1	
C3, C4	b41828-16 В-4700 мкФ ±10% "Epcos"	2	
C5, C6	b41828-10 В-10 мкФ ±10% "Epcos"	2	
C7	b41828-16 В-68 мкФ ±10% "Epcos"	1	
C8	b41828-10 В-10 мкФ ±10% "Epcos"	1	
C9	b41828-16 В-100 мкФ ±10% "Epcos"	1	
C10	b41828-6,3 В-1000 мкФ ±10% "Epcos"	1	
C11	b37979-0,1 мкФ ±5% "Epcos"	1	
C12	b37979-2,2 мкФ ±5% "Epcos"	1	
C13	b37979-0,1 мкФ ±5% "Epcos"	1	
C14	b41828-16 В-1000 мкФ ±10% "Epcos"	1	
	Мікросхеми		
DA1	MC34063ABN "ST Microelectronics"	1	
DA2	TL431ACLP "Texas Instruments"	1	
DA3	LM2931AZ "ON Semiconductor"	1	
DA4	LM358AN/NOPB "Texas Instruments"	1	
DA5	LT1084IT "Linear"	1	
FU1	Запобіжник ZH214-015-0.5 А-250 В "Zhenhui"	1	
HL1...HL3	Світлодіод L-1503GT "Kingbright"	3	
L1	Дросель B82141A1102K000-100 мкгН ±10% "Epcos"	1	

Перш. використ.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Дідинець		
Перевір.		Химич		
Н.контр.		Хвостівська		
Затверд.				

ДОР 2.089.001 ПЕЗ

Імпульсне джерело живлення для підсилювача звукової частоти

Перелік елементів

Літ.	Аркуш	Аркушів
Н	1	3

ТНТУ РАс-41

м. Тернопіль

Копіював

Формат А4

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
M1	Вентилятор EC12025H12B "Evercool"	1	
PV1	Вольтметр ACA-20PC-2-AC1-RL-C "Murata"	1	
	Резистори		
R1	MFP-0,25-1 Ом ±10% "Yageo"	1	
R2	MFP-0,125-1 кОм ±10% "Yageo"	1	
R3	16K1-B50K-10 кОм "Song Huei"	1	
R4	MFP-0,125-200 Ом ±10% "Yageo"	1	
R5	3329H-1-1 кОм "Bourns"	1	
R6	MFP-0,125-300 Ом ±10% "Yageo"	1	
R7	3329H-1-100 кОм "Bourns"	1	
R8	MFP-0,125-100 кОм ±10% "Yageo"	1	
R9	MFP-0,125-3 кОм ±10% "Yageo"	1	
R10	MFP-0,125-510 Ом ±10% "Yageo"	1	
R11	MFP-0,125-1 Ом ±10% "Yageo"	1	
R12	3329H-1-100 кОм "Bourns"	1	
R13	MFP-0,125-100 кОм ±10% "Yageo"	1	
R14	MFP-0,125-9,9 мОм ±10% "Yageo"	1	
R15	MFP-0,125-2 кОм ±10% "Yageo"	1	
R16	MFP-0,125-820 кОм ±10% "Yageo"	1	
R17, R18	MFP-0,125-510 Ом ±10% "Yageo"	1	
R19	MFP-0,125-120 Ом ±10% "Yageo"	1	
R20	16K1-B50K-1 кОм "Song Huei"	1	
	Перемикачі		
SA1	PSM7-1-0 "Wealth Metal Factory"	1	
SA2	KBB40-2P2W "Jietong Switch"	1	

Підпис і дата | Інв. № дубл. | Зам. інв. № | Підпис і дата | Інв. № ориг.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Трансформатори		
TV1	FWPTEE30H-751J "Ferriwo"	1	
TV2	B78386-P1116-A "Epcos"	1	
	Діоди		
VD1	RS507 "DC Components"	1	
VD2, VD3	1N5819 "ST Microelectronics"	2	
VT1...VT3	Транзистор KSP2222ATA "Fairchild"	3	
XP1	Шнур мережевий LT-322 H05VV-F 3*0.75 "Lian Dung"	1	
XS1...XS4	Зажим 15EDGKM-5.08-04P "Degson"	4	

Підпис і дата | Інв. № дубл. | Зам. інв. № | Підпис і дата | Інв. № ориг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДОР 2.089.001 ПЕЗ	Арк. 3

Копіював Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				Документация		
А4			ДОР 2.089.001 ПЕ3	Перелік елементів		
А1			ДОР 2.089.001 Е3	Схема електрична принципова		
А2			ДОР 2.089.001 СК	Вузол друкований		
				Деталі		
А2		1	ДОР 2.089.001	Плата друкована	1	
БК		2	ДОР 2.089.001.001	Перемичка	24	
				Інші вироби		
				Конденсатори		
		5		b37979-1500 пФ ±5% "Epcos"	1	С1
		6		b37979-0,1 мкФ ±5% "Epcos"	3	С2,С11,С13
		7		b37979-2,2 мкФ ±5% "Epcos"	1	С12
		8		b41828-10 В-10 мкФ ±10% "Epcos"	3	С5,С6,С8
		9		b41828-16 В-68 мкФ ±10% "Epcos"	1	С7
		10		b41828-16 В-100 мкФ ±10% "Epcos"	1	С9
		11		b41828-6,3 В-1000 мкФ ±10% "Epcos"	1	С10
		12		b41828-16 В-1000 мкФ ±10% "Epcos"	1	С14
		13		b41828-16 В-4700 мкФ ±10% "Epcos"	2	С3, С4
				Мікросхеми		
		15		LM2931AZ "ON Semiconductor"	1	DA3

Перш. використ.

Довід. №

Підпис і дата

Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № ориг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Дідинець		
Перевір.		Химич		
Н.контр.		Хвостівська		
Затверд.				

ДОР 2.089.001

Вузол друкований

Літ.	Аркуш	Аркушів
Н	1	2

ТНТУ РАс-41

м. Тернопіль

Копіював

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
		16		LM358AN/NOPB "Texas Instruments"	1	DA4
		17		LT1084IT "Linear"	1	DA5
		18		MC34063ABN "ST Microelectronics"	1	DA1
		19		TL431ACLP "Texas Instruments"	1	DA2
		21		Дросель B82141A1102K000–		
				100 мкгН ±10% "Epcos"	1	L1
				Резистори		
		23		3329H–1–1 кОм "Bourns"	1	R5
		24		3329H–1–100 кОм "Bourns"	2	R7, R12
		25		MFP–0,125–1 Ом ±10% "Yageo"	2	R1, R11
		26		MFP–0,125–120 Ом ±10% "Yageo"	1	R19
		27		MFP–0,125–200 Ом ±10% "Yageo"	1	R4
		28		MFP–0,125–300 Ом ±10% "Yageo"	1	R6
		29		MFP–0,125–510 Ом ±10% "Yageo"	3	R10,R17,R18
		30		MFP–0,125–1 кОм ±10% "Yageo"	1	R2
		31		MFP–0,125–2 кОм ±10% "Yageo"	1	R15
		32		MFP–0,125–3 кОм ±10% "Yageo"	1	R9
		33		MFP–0,125–100 кОм ±10% "Yageo"	2	R8, R13
		34		MFP–0,125–820 кОм ±10% "Yageo"	1	R16
		35		MFP–0,125–9,9 мОм ±10% "Yageo"	1	R14
		37		Трансформатори B78386–P1116–A "Epcos"	1	TV2
				Діоди		
		39		1N5819 "ST Microelectronics"	2	VD2, VD3
		40		RS507 "DC Components"	1	VD1
		42		Транзистор KSP2222ATA "Fairchild"	3	VT1...VT3

Підпис і дата | Інв. № дубл. | Зам. інв. № | Підпис і дата | Інв. № ориг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДОР 2.089.001	Арк. 2

Копіював Формат А4