

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором
на світлодіодній стрічці

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

(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Пітус Д.О. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Паляниця Ю. Б. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Хвостівська Л. В. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Дунець В. Л. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Дедів Л. Є. (прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дунець В. Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ Бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Пітусу Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці

Керівник роботи _____ Паляниця Юрій Богданович к.т.н. доц. кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Номінальна потужність: 25 Вт (4 Ом), напруга живлення: 24 В, чутливість: 250 мВ, коефіцієнт гармонік: $\leq 0,45\%$, співвідношення сигнал/шум: 77 дБ, вихідний опір: 0,15 Ом, кількість каналів: 1 (моно), тип візуалізації: світлодіодна стрічка.

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

1. Розрахункова частина

2. Спеціальна частина (САПР)

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

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

1. Структурна схема приладу

2. Схема електрична принципова

3. Креслення друкованої плати

4. Складальне креслення друкованого вузла

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Пітус Д. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паляниця Ю. Б.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці». Кваліфікаційна робота бакалавра// Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РА-41. // Тернопіль, 2025р. // с.-71, рис.-42, табл.-22, бібліог.-33, додат.-8.

Ключові слова: ЗВУКОВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ПІДСИЛЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ ЗВУКОВОЇ ЧАСТОТИ, СВІТЛОВИЙ ВІЗУАЛІЗАТОР, СВІТЛОДІОДНА СТРИЧКА, МІКРОКОНТРОЛЛЕР.

Роботу присвячено розробці підсилювача потужності звукової частоти, що поєднує ефективне аналогове підсилення сигналу з інтегрованою системою його світлодіодної візуалізації. Пристрій побудовано на сучасній елементній базі та оснащено темброблоком для ручного регулювання амплітудно-частотної характеристики низьких і високих частот. У складі пристрою реалізовано візуалізацію рівня сигналу в реальному часі з можливістю подальшого розширення функціональних можливостей.

Підсилювач орієнтований на використання в умовах домашніх аудіосистем, мультимедійних інсталяцій, а також може бути застосований у демонстраційних або напівпрофесійних середовищах. Основні технічні параметри: вихідна потужність – до 25 Вт, вихідний опір: 0,15 Ом, коефіцієнт гармонік – $\leq 0,45\%$, чутливість – 250 мВ, співвідношення сигнал/шум – 77 дБ.

ANNOTATION

Theme of the qualification work: "Sound frequency power amplifier with light visualizer on LED strip". Bachelor's qualification work // Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RA-41 // Ternopil, 2025 // p.-71, fig.-42, tab.-22, bibl.-33, app.-8.

Keywords: AUDIO AMPLIFIER, AUDIO FREQUENCY POWER AMPLIFIER, LIGHT VISUALIZER, LED STRIP, MICROCONTROLLER.

The qualification work focuses on developing an audio frequency power amplifier that efficiently amplifies analog signals and integrates LED visualization. Built on a modern element base, the device is equipped with a tone unit that allows for manual adjustment of the amplitude-frequency response of low and high frequencies. The device provides real-time signal level visualization and has the potential for further functional expansion.

This amplifier is designed for use in home audio systems and multimedia installations and can also be used in demonstration or semi-professional settings. The main technical parameters are as follows: output power of up to 25 W, harmonic distortion of $\leq 0.45\%$, sensitivity of 250 mV, and a signal-to-noise ratio of 77 dB.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Основна Частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Розробка структурної схеми підсилювача звукового сигналу.....	14
1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми підсилювача звукового сигналу.....	16
1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази.....	24
1.5 Компоновка друкованого вузла підсилювача звукового сигналу.....	38
1.6 Висновки до розділу 1.....	49
2 Спеціальна Частина (САПР).....	50
2.1 Вибір САПР.....	50
2.2 Використання САПР при проектуванні друкованого вузла.....	51
2.3 Висновки до розділу 2.....	60
3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	61
3.1 Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності при експлуатації підсилювача підсилювача потужності звукової частоти.....	61
3.2 Заходи захисту від ураження електричним струмом.....	63
3.3 Висновки до розділу 3.....	65
Висновки.....	66
Список використаних джерел.....	67
Додатки	

					ПДО 2.032.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці	Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Пітус Д. О.					6	
Перевір.		Паляниця Ю. Б.				ТНТУ, гр. РА-41		
Реценз.		Дедів Л. Е.						
Н. Контр.		Хвостівська Л. В.						
Затв.		Дунець В. Л.						

Вступ

У сучасному світі відтворення якісного звуку є невіддільною складовою побутових, мультимедійних і професійних аудіосистем. Зростання вимог до якості звучання, а також посилення інтеграції аналогових пристроїв з цифровими засобами управління створюють умови для розробки нових, більш складних схемотехнічних рішень у галузі підсилення звукових сигналів. Попри активний розвиток цифрових технологій, аналогове підсилення залишається критично важливим завдяки його незамінним характеристикам, таким як низький рівень шуму, висока лінійність, природність звучання і точність передачі аудіосигналів.

Актуальність використання аналогових підсилювачів зумовлена їх здатністю передавати звукові сигнали без втрати якості, що є особливо важливим для аудіофілів, професійних звукорежисерів і музикантів. Сучасні підсилювачі не лише забезпечують достатню потужність для різних типів акустичних систем, але й вирізняються додатковими функціональними можливостями. Серед таких функцій – регулювання тембру, що дозволяє індивідуально налаштовувати звучання відповідно до особистих переваг слухачів та акустичних особливостей приміщень, а також інтеграція цифрових засобів візуалізації, які підвищують зручність і функціональність використання пристроїв.

У межах цієї кваліфікаційної роботи реалізовано проєкт підсилювача потужності звукової частоти з вбудованим світловим візуалізатором, що дозволяє відображати частотний спектр і рівень гучності аудіосигналу в реальному часі, подібно до цифрового еквайзера. Візуалізацію забезпечує мікроконтролер, що аналізує аналоговий сигнал, перетворює його в цифрову форму та виводить результати на світлодіодну матрицю. Такий підхід дозволяє користувачу миттєво оцінювати зміни в аудіоспектрі під час налаштування звучання.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						7
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Проект створений із застосуванням сучасної елементної бази, яка включає транзисторні каскади, стабілізатори напруги, інтегрований темброблок і цифровий блок візуалізації. Розробка електричної принципової схеми враховує сумісність аналогових і цифрових компонентів, що гарантує компактність конструкції, простоту монтажу і надійність пристрою в цілому.

Проведений аналіз ринку виявив недостатню представленість пристроїв, що поєднують аналогове підсилення та цифрову візуалізацію сигналу в реальному часі. Саме тому запропонований у роботі підсилювач має високу актуальність та практичну цінність, оскільки його можна застосовувати як у домашніх умовах, так і в професійних навчальних або демонстраційних середовищах.

Таким чином, розроблений у рамках дипломного проекту підсилювач звукової частоти з вбудованим частотно-амплітудним візуалізатором представляє сучасне, багатофункціональне рішення, яке поєднує в собі високу якість звучання, зручність користування та технологічну ефективність.

Під час роботи над проектом було здійснено комплексний аналіз аналогів, вибір сучасної компонентної бази, розроблено структурну та принципову схеми, виконано ретельні розрахунки параметрів друкованого монтажу та реалізовано цифрову візуалізацію частотно-амплітудного спектру сигналу. Використання інтегрованого темброблоку та стабілізаторів напруги забезпечило стабільність і точність роботи пристрою, а цифровий блок на мікроконтролері зробив його максимально зручним у застосуванні. Завдяки поєднанню аналогової та цифрової частин, створений пристрій може бути успішно використаний як в побутових, так і професійних умовах, підвищуючи комфорт і ефективність взаємодії з аудіообладнанням.

1 Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

По-перше, якісне та зручне відтворення звуку є однією з ключових потреб сучасного користувача побутової техніки. У період активного розвитку цифрових технологій та персоналізованих мультимедійних рішень зростає попит на доступні, функціональні та енергоефективні аудіопристрої. Все частіше виникає потреба в поєднанні класичних аналогових схемотехнічних рішень з сучасними цифровими засобами індикації й візуалізації, що дозволяє не лише чути звук, а й бачити його зміну в реальному часі.

По-друге, у побутових умовах перевага надається саме компактним і водночас універсальним пристроям, які забезпечують базове регулювання параметрів сигналу та дають можливість візуального контролю за його рівнем. На відміну від стандартних підсилювачів, що виконують лише функцію посилення, інтеграція світлового візуалізатора дозволяє значно розширити можливості пристрою у контексті взаємодії з користувачем, особливо в умовах низької освітленості або при навчанні.

По-третє, розвиток мікроконтролерної техніки дає змогу реалізувати елементи керування, індикації та обробки сигналів з високим ступенем точності без суттєвого збільшення габаритів чи складності пристрою. Використання відкритих платформ, таких як Arduino, дозволяє реалізувати гнучке програмне налаштування логіки візуалізації.

В підсумку, розробка недорогого, функціонального підсилювача потужності звукової частоти з можливістю візуалізації рівня сигналу є актуальним напрямом в галузі побутової електроніки. Такий пристрій знаходить застосування у мультимедійних інсталяціях, навчальних проєктах, а також у повсякденному використанні як частина персональної аудіосистеми.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						9
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

У зв'язку з цим сформульовано технічне завдання, згідно з яким об'єктом розробки став одно канальний підсилювач потужності, що працює з навантаженням 0,15 Ом, номінальною вихідною потужністю до 25 Вт та має вбудований світлодіодний візуалізатор сигналу, реалізований на базі мікроконтролера. Також у пристрої передбачено темброблок для налаштування АЧХ, живлення здійснюється від джерела постійної напруги 24 В, а внутрішній стабілізаційний каскади формує необхідний рівень напруги у 5 В для мікроконтролера. Очікувана чутливість складає 250 мВ, коефіцієнт гармонік не гірше ніж 0,45 %, співвідношення сигнал/шум не менше 77 дБ.

До основних вимог, які формують технічне завдання, належать:

- можливість роботи у побутових умовах;
- інтеграція аналогової обробки сигналу з цифровим блоком візуалізації;
- простота реалізації за допомогою наскрізного монтажу;
- сумісність із типовою компонентною базою;
- компактність, надійність, низька собівартість виготовлення;
- стабільна робота при змінних рівнях сигналу.

Проект призначено як для домашнього використання, так і для напівпрофесійних демонстраційних або навчальних цілей, де важлива візуалізація звуку в реальному часі. Враховуючи загальні вимоги до електроакустичних систем, особливу увагу зосереджено на точності АЧХ, лінійності сигналу та ергономіці користувача. У зв'язку з цим у схемі реалізовано темброблок з ручним регулюванням рівнів високих і низьких частот.

Важливу функцію в контексті персоналізованих перцептуальних переваг відіграє темброблок, оскільки він дає можливість коригувати АЧХ під індивідуальні вподобання, зокрема підвищити рівень підсилення звукового сигналу у діапазоні близькому до 3 КГц, що містить найбільший рівень інформативності людського мовлення [7].

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						10
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

З метою оцінки доцільності реалізації пристрою було проаналізовано декілька побутових підсилювачів, які мають набір функцій, наближених до поставленого технічного завдання.

UKC AX-699BT [32] виробляється компанією UKC. Цей підсилювач побудований на мікросхемі TDA7297, підтримує стереовивід з двоканальним виходом потужністю по 25 Вт, має вбудовану підтримку FM, USB, SD-карт і Bluetooth. Оснащений цифровим світлодіодним дисплеєм, який відображає рівень сигналу контекстну інформацію, таку як тривалість пісні, тощо. Має базовий темброблок з можливістю регулювання низьких і високих частот. Корпус виконаний з металалу. Вигляд даного підсилювача зображений на рисунку 1.1. Вартість такого підсилювача складає приблизно \$25.



Рисунок 1.1 – Підсилювач UKC AX-699BT

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики UKC Bluetooth/FM/USB

Кількість каналів	2
Потужність	25 Вт
Входи	AUX, USB, SD, FM, Bluetooth
Індикація сигналу	Цифровий світлодіодний індикатор
Темброблок	НЧ/ВЧ – 12 дБ
Живлення	12 В

UKC SN-799BT [33] Підсилювач з розширеним функціоналом від того ж виробника. Також має 2 канали по 25 Вт, як і попередній, але має додаткові мікрофонні входи, FM-приймач, USB/SD, Bluetooth. Оснащений LED-індикатором рівня гучності у вигляді градації дБ. Система тембрування аналогічна до попереднього пристрою. Основна перевага – більша кількість входів, але надлишкова функціональність не потрібна в цільовій домашній системі. Має металевий корпус, Зображення даного підсилювача представлена на рисунку 1.2. Орієнтовна вартість підсилювача \$38.



Рисунок 1.2 – Підсилювач UKC SN-799BT

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики UKC SN-799BT

Кількість каналів	2
Потужність	25 Вт
Входи	XLR, 2RCA, AUX, USB, SD, FM, Bluetooth
Індикація сигналу	LED-індикатор
Темброблок	НЧ/ВЧ – 12 дБ
Живлення	12 В

Power Dynamics PDM25 PA виробляється компанією Power Dynamics [18]. Цей підсилювач належить до серії малопотужних професійних пристроїв

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		12

і забезпечує вихідну потужність 25 Вт на навантаження 4 Ом при живленні 24 В постійного струму. Підтримує стереозвук, має вбудовані входи типу AUX і XLR. Оснащений цифровим світлодіодним індикатором, аналогічним до UKC. Вбудований темброблок забезпечує незалежне регулювання низьких та високих частот. Підсилювач виконаний у металевому корпусі з ефективним тепловідводом. Зовнішній вигляд підсилювача наведено на рисунку 1.3. Середня ціна такого підсилювача становить близько \$100



Рисунок 1.3 – Підсилювач Power Dynamics PDM25

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики Power Dynamics PDM25

Кількість каналів	2
Потужність	25 Вт
Входи	AUX, XLR, USB, Bluetooth
Індикація сигналу	Цифровий світлодіодний індикатор
Темброблок	НЧ/ВЧ – 12 дБ
Живлення	100 В

Аналіз технічного завдання та ринку побутових підсилювачів свідчить про наявність певної ніші для пристроїв, які б поєднували в собі: компактність, доступну ціну, якісне підсилення, а також візуалізацію сигналу взагалом. Жоден із розглянутих аналогів не реалізує повноцінну систему візуалізації амплітуди сигналу в реальному часі на основі спектрального або псевдоспектрального аналізу.

Перевагою проєкту є наявність функціонально повного темброблоку, а також програмованої візуалізації спектрограми рівнів сигналу спектру звукової частоти та вартість реалізації виробу значно нижча, ніж у наведених аналогів, навіть базового класу.

Таким чином, розробка одноканального підсилювача потужності звукової частоти з цифровим блоком індикації є доцільним, конкурентоспроможним і актуальним технічним рішенням.

1.2 Розробка структурної схеми підсилювача звукового сигналу

Структурна схема підсилювача потужності звукової частоти, зображена на рисунку 1.4, ілюструє логічну побудову та взаємодію функціональних частин пристрою. Вона дозволяє відобразити загальні принципи роботи вузлів, окреслити шляхи проходження сигналу та живлення, а також показати цифрово-аналоговий зв'язок у системі за допомогою блок-схем або схем взаємозв'язків.

В основі побудови пристрою лежить ідея поєднання класичного аналогового каскаду послідовного підсилення з мікроконтролерним модулем для візуалізації сигналу. Схема включає в себе такі блоки: блок вхідного повторювача, темброблок, диференційний підсилювач, схему зміщення, блок цифрового оброблення, матричний візуалізатор, двотактний підсилювальний каскад, двотактний вихідний підсилювальний каскад та блок живлення.

Сигнал звукової частоти подається на вхідний каскад, реалізований у вигляді стокового повторювача на польовому транзисторі. Така конфігурація забезпечує високий вхідний опір, що мінімізує вплив джерела сигналу на роботу схеми та запобігає спотворенням.

Після цього сигнал передається до темброблоку, який забезпечує регулювання рівнів низьких і високих частот, дозволяючи адаптувати звук до індивідуальних уподобань користувача.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						14
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Далі сигнал підлягає послідовному підсиленню через диференційний підсилювач, двотактний підсилювальний каскад та вихідний двотактний підсилювач.

Диференційний каскад, працюючи на парі транзисторів, формує необхідне підсилення з високою стабільністю.

Проміжний двотактний підсилювальний каскад виконує функцію узгодження та підготовки сигналу для подачі на двотактний вихідний каскад.

Двотактна структура дозволяє чергування фаз струму, що забезпечує більш ефективну передачу енергії до навантаження, зменшення спотворень та підвищення КПД.

Наявність схеми зміщення дозволяє стабілізувати робочі точки транзисторів і запобігати їх тепловому розбігу, що особливо важливо для вихідних каскадів, де теплове навантаження значне.

Паралельно з аналоговим трактом функціонує цифровий блок, реалізований на базі мікроконтролера. Аналоговий сигнал, пройшовши темброблок, надходить на вхід аналого-цифрового перетворення, після чого здійснюється аналіз рівня сигналу, масштабування та подальше керування світлодіодною матрицею.

Сучасні підходи до цифрової обробки дозволяють ефективно виконувати ці завдання з мінімальними затримками. Як зазначено у наукових статтях аудіо-візуальні дані можна обробляти за допомогою цифрових засобів у часовому, спектральному (частотному) просторах, просторі власних складових та із застосуванням інтелектуальних підходів, таких як засоби машинного навчання" [12, 20]. Це підкреслює потенціал подальшого розвитку подібних систем у напрямку інтелектуальної адаптації індикації.

Живлення підсилювача здійснюється від джерела постійної напруги +24 В. Для живлення аналогових каскадів формується напруга +18 В за допомогою імпульсного стабілізатора, а для цифрової частини – стабілізовані +5 В, що подаються через лінійний стабілізатор. Поділ живлення та правильне

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		15

фільтрування живильних ліній сприяє зниженню перешкод і покращенню якості сигналу.

У підсумку, розроблена структурна схема повністю узгоджується з вимогами технічного завдання. Функціональні модулі взаємодіють послідовно та забезпечують узгоджену обробку сигналу, підсилення і візуалізацію звукового сигналу. Принцип дії пристрою є коректним щодо визначених вимог, що підтверджує його технічну придатність до реалізації.

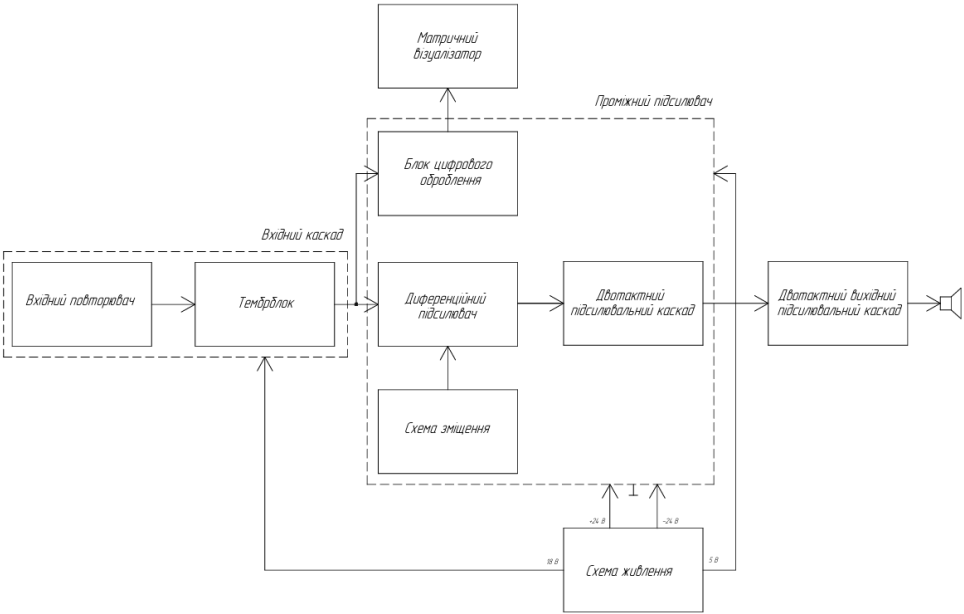


Рисунок 1.4 – Структурна схема підсилювача потужності звукової частоти зі світлодіодним візуалізатором

1.3 Проектування і розрахунок вузлів електричної принципової схеми підсилювача звукового сигналу

Принципова електрична схема є основним технічним документом, що визначає з'єднання між електричними елементами пристрою підсилювача потужності звукової частоти. Вона відображає повну функціональну взаємодію вузлів пристрою, зокрема вхідного каскаду, темброблоку, каскадів підсилення, блоку живлення та цифрового вузла з візуалізацією. Кожен елемент схеми

позначений умовно-графічними символами із відповідними позиційними позначеннями.

Аналоговий звуковий сигнал надходить на вхід пристрою через роз'єм XS1, після чого потрапляє зі змінного резистора R1, що виконує роль регулятора гучності до стокового повторювача на транзисторі VT1, який забезпечує максимальний вхідний опір схеми та постійний (мінімальний) вихідний опір каскаду, що є життєво важливим для мінімізації рівня нелінійних та фазових спотворень [8] Цей каскад формує високий вхідний опір і працює як буфер.

Далі сигнал поступає до темброблоку, складеного на транзисторах VT2–VT3 та RC-ланцюгах, що утворюють фільтри високих та низьких частот резистори R5-R11, конденсатори C3-C5. Регулювання тембру за нижчими частотами здійснюється змінним резистором R6, по вищим - змінним резистором R9. Блок регулювань живиться від загального джерела через стабілізатор напруги, в якому використані транзистор польовий VT4 і стабілітрон VD1. Використання польового транзистора дозволило при простій побудові стабілізатора отримати дуже малу амплітуду пульсацій. З виходу темброблоку сигнал проходить через роздільний конденсатор C6 і надходить на каскади підсилення.

Першим етапом підсилення є диференційний каскад на VT5–VT7 з резисторами R16–R19, який відповідає за стабільність коефіцієнта підсилення. Застосування в підсилювачі потужності глибокого негативного зворотного зв'язку по постійному струму, що здійснюється через резистор R20 дозволяє отримати хорошу стабільність робочої точки вихідного каскаду.

Далі сигнал проходить до проміжний підсилювачів на польових транзисторах VT6, VT9, та подається на двотактний вихідний каскад на потужних транзисторах VT13–VT14, які встановлюються на обрані до них радіаторів та працюють у класі АВ. Їх бази керуються через елементи формування струму зміщення VT8, VT10–VT12 та резистори R15–

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						17
Зм	Арк	№ док	Підпис	Дат		

R26, транзистор V11 виконує функцію термостабілізуючого елемента, резистор R22 - підлаштовувальний.

Паралельно працює цифровий блок на базі мікроконтролера U2, який оцифровує сигнал із темброблоку через вхід аналоговий A0. Після обробки, дані передаються на адресну світлодіодну матрицю U3. Для реалізації алгоритму аналізу та візуалізації аудіосигналу на базі мікроконтролера було розроблено програмний код, який здійснює перетворення аналогового сигналу, виконання швидкого перетворення Фур'є, поділ спектру на вісім частотних смуг і вивід відповідного зображення на світлодіодну матрицю 8×8.

Програма використовує бібліотеки Adafruit_NeoMatrix [1] для управління світлодіодною матрицею та arduinoFFT [3] для спектрального аналізу. Завдяки вбудованому АЦП мікроконтролера, сигнал зчитується з аналогового входу A0 з частотою 40 кГц, перетворюється у частотну область, після чого кожна з частотних смуг відображається у вигляді кольорових стовпчиків на матриці. Для підвищення інформативності візуалізації застосовано градієнтне забарвлення та пікові індикатори. Код програми наведено у Додатку А.

Мікроконтролер живиться через стабілізатор напруги DA1, який також буде розміщений на окремому радіаторі задля оптимізації теповідводу та отримує живлення від джерела +18 В понижувального перетворювача постійного струму U1. Для пониження напруги до рівня придатного для живлення проміжних каскадів підсилення Звукової частоти у +18 В використано понижувальний перетворювач постійного струму U1, який, будучи імпульсним, є набагато ефективнішим, ніж лінійні стабілізатори [17].

На рисунках нижче наведено фрагменти електричної принципової схеми, які відповідають кожному з функціональних блоків структурної схеми. (рис. 1.5 – 1.14)

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						18
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

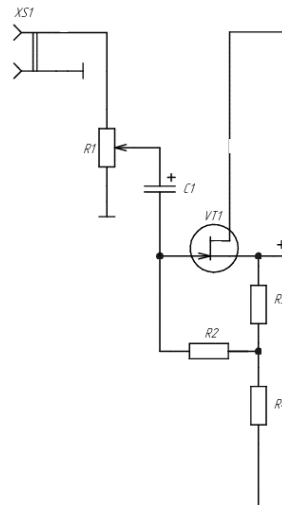


Рисунок 1.5 – Схемотехнічний вузол вхідного повторювача

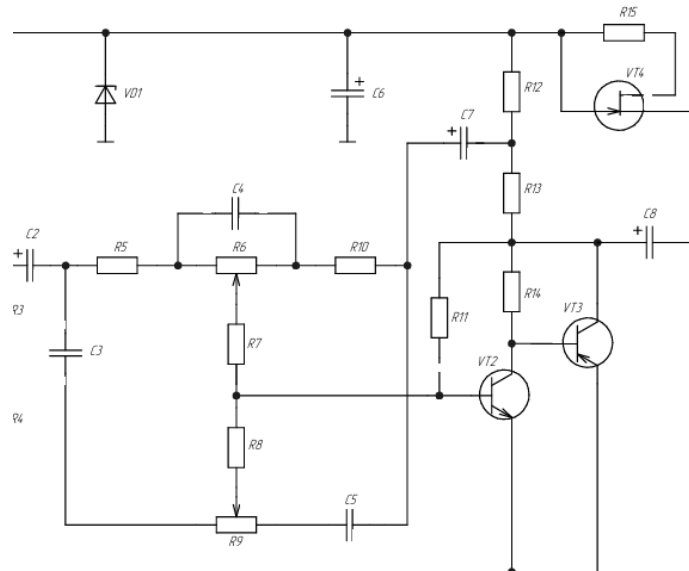


Рисунок 1.6 – Схемотехнічний вузол темброблоку

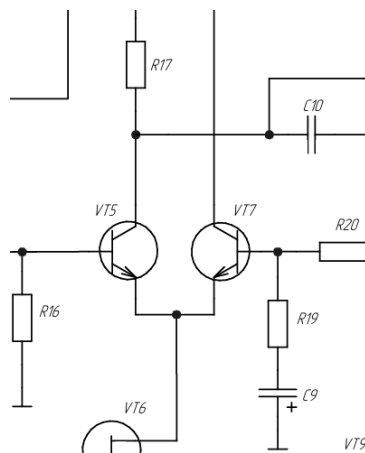


Рисунок 1.7 – Схемотехнічний вузол диференційного підсилювача

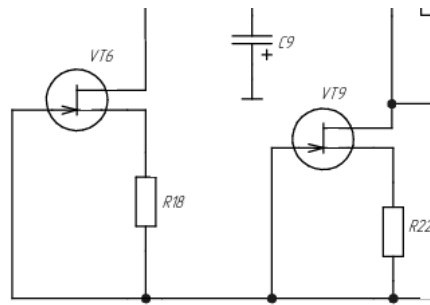


Рисунок 1.8 – Схемотехнічний вузол схеми зміщення

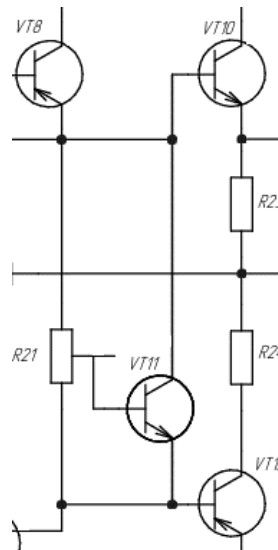


Рисунок 1.9 – Схемотехнічний вузол двотактного підсилювального каскаду

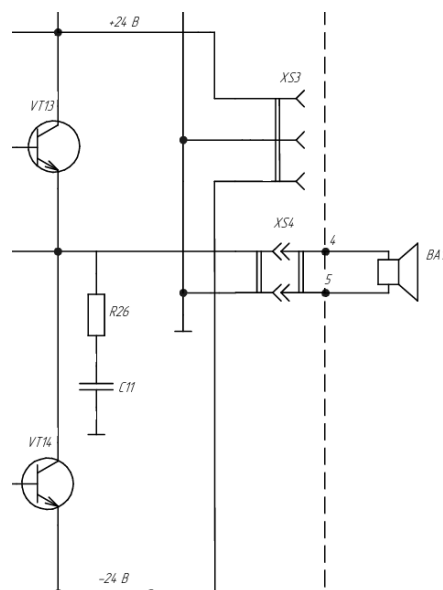


Рисунок 1.10 – Схемотехнічний вузол двотактного вихідного підсилювального каскаду

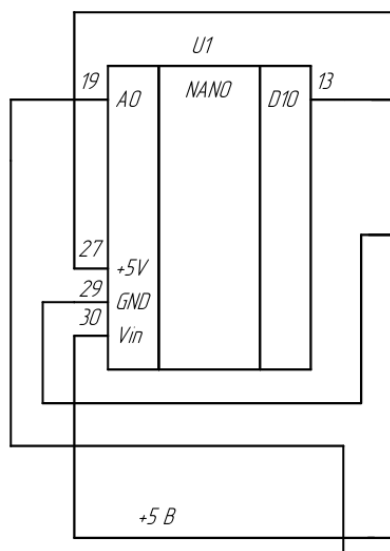


Рисунок 1.11 – Схемотехнічний вузол цифрової обробки

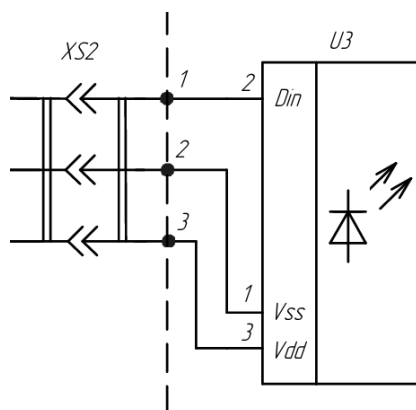


Рисунок 1.12 – Схемотехнічний вузол матричного візуалізатора

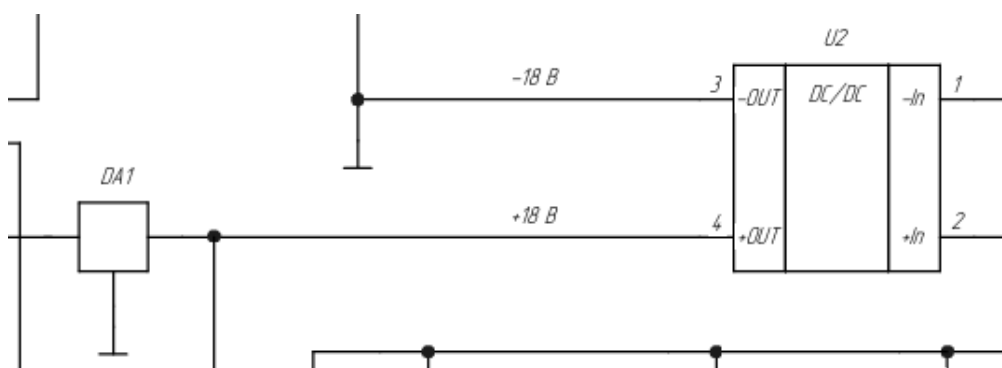


Рисунок 1.13 – Схемотехнічний вузол стабілізаторів живлення

Для розрахунку було обрано блок темброблоку (рисунок 1.6), оскільки він є критичним з погляду регулювання АЧХ. Розрахунок проводиться відповідно до моделі активного темброблоку зі змінним підсиленням ± 15 дБ. Амплітудне значення підсилення:

$$\Delta H = 10^{\frac{A_{\text{дБ}}}{20}} \quad (1.1)$$

$$\Delta H = 10^{\frac{14}{20}} \approx 5$$

де ΔH – амплітудне відношення сигналу;

$A_{\text{дБ}}$ – регулювання у децибелах, що складає ± 15 дБ;

10 – основа логарифмічної шкали.

У низькочастотному каналі використано елементи $R_5 = 5.1$ кОм, $R_6 = 200$ кОм, $R_7 = 39$ кОм, $C_4 = 33$ нФ. R_6 та R_7 формують подільник напруги. Для розрахунку еквівалентного опору використано формулу:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_6 \cdot R_7}{R_6 + R_7} \quad (1.2)$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{2000000 \cdot 39000}{2000000 + 39000} \approx 32636 \text{ Ом}$$

де $R_{\text{екв}}$ – еквівалентний опір, що бере участь у підсиленні;

R_6, R_7 – резистори у подільнику.

Коефіцієнт підсилення визначається як:

$$\Delta H_{\text{нч}} = \frac{R_{\text{екв}}}{R_5} \quad (1.3)$$

$$\Delta H_{\text{нч}} = \frac{32636}{5100} \approx 5.8$$

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		22

де R_5 – постійний резистор у сигнальній лінії.

У децибелах:

$$A_{\text{НЧ}} = 20 \cdot \log_{10}(5.8) \approx 15 \text{ дБ} \quad (1.4)$$

З цього випливає що забезпечено регулювання низьких частот виконано на рівні ± 15 дБ.

У високочастотному каналі використано елементи $R_9 = 200 \text{ кОм}$, $R_8 = 5.1 \text{ кОм}$, $C_3 = C_5 = 2.2 \text{ нФ}$. R_9 та R_8 утворюють еквівалентний опір:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_9 \cdot R_8}{R_9 + R_8} \quad (1.5)$$
$$R_{\text{екв}} = \frac{2000000 \cdot 5100}{2000000 + 5100} \approx 4970 \text{ Ом}$$

Амплітудний коефіцієнт ВЧ-каскаду визначається за формулою для фільтра першого порядку:

$$\Delta H_{\text{НЧ}} = \frac{1}{2\pi f C R_{\text{екв}}} \quad (1.6)$$
$$\Delta H_{\text{НЧ}} = \frac{1}{2\pi \cdot 20000 \cdot 2.2 \cdot 10^{-9} \cdot 4970} \approx 5.5$$

де f – частота регулювання ВЧ = 20 кГц;

C – ємність конденсаторів.

У децибелах:

$$A_{\text{НЧ}} = 20 \cdot \log_{10}(5.5) \approx 15 \text{ дБ} \quad (1.7)$$

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						23
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Таким чином обидва регулятори частот виконано на рівні ± 15 дБ, що відповідає заданому значенню у ± 15 дБ та відповідає технічному завданню проекту.

На вході темброблоку повинна спадати падати напруга, тому падіння додатково розхаровується за наступною формулою:

$$U_{BX} = k \cdot U_{Ном} \quad (1.8)$$

$$U_{BX} = 6.6 \cdot 46.5 = 307 \text{ мВ}$$

1.4 Вибір і обґрунтування компонентної бази

Під час побудови пристрою підсилювача потужності звукової частоти з візуалізацією сигналу ключовим етапом стала розробка та підбір елементної бази. Основними критеріями відбору виступали: електричні параметри, габарити, температурна стабільність, сумісність із сучасною елементною базою, доступність компонентів на ринку та надійність.

У таблицях 1.4 – 1.17 наведено характеристику основних елементів пристрою, а також критерії їх вибору згідно з технічними вимогами.

Таблиця 1.4 – Польовий транзистор MMBFJ201 [15]

Позиційне позначення	VT1, VT6, VT9
Тип елемента та його позначення	N-канальний польовий транзистор MMBFJ201
Компанія-виробник	ON Semiconductor
Критерії вибору	Високий вхідний опір, лінійність, низький шум
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.14
Технічні властивості та ключові характеристики	
Максимальна напруга стік-витік	40 В
Максимальний струм стоку	7...60 мА
Напруга відсічення затвор-стік	-3.0...-6.0 В
Опір каналу у відкритому стані	125 Ом

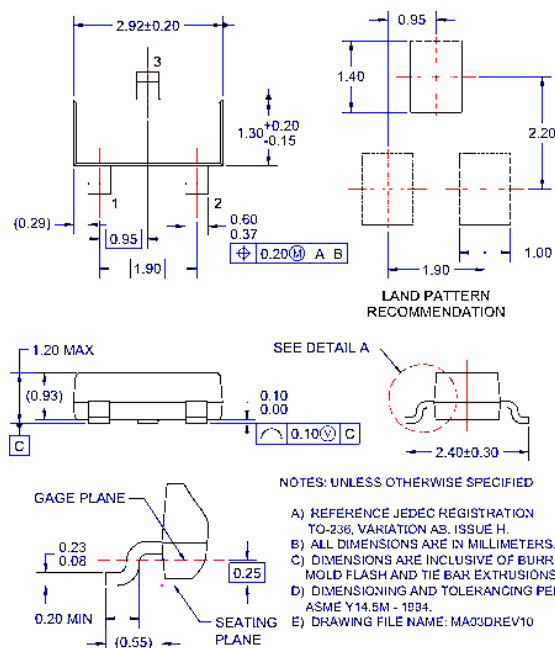


Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу транзистора MMBFJ201 [15]

Ці транзистори забезпечує високий вхідний опір і низький вихідний опір, що критично важливо для точного відтворення сигналу без спотворень у вхідному каскаді.

Таблиця 1.5 – Польовий транзистор MMBFJ175LT1G [14]

Позиційне позначення	VT4
Тип елемента та його позначення	N-канальний польовий транзистор BC846BLT1G
Компанія-виробник	ON Semiconductor
Критерії вибору	Високий коефіцієнт підсилення, частотна стабільність, низький шум
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.15
Технічні властивості та ключові характеристики	
Гранична напруга між колектором і емітером	65 В
Максимальний струм колектора	100 мА
Коефіцієнт статичного підсилення струму	110 ... 770 мВ
Гранична частота підсилення	100 МГц

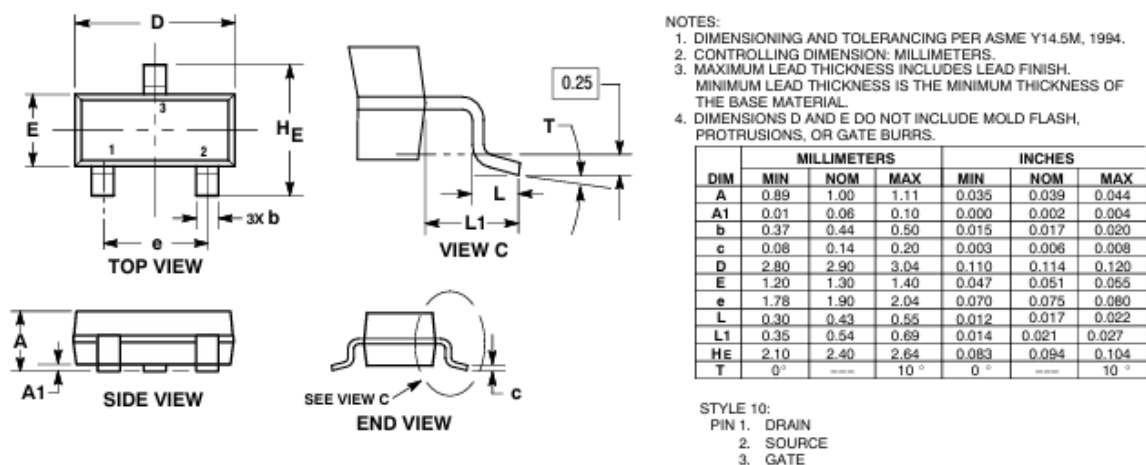
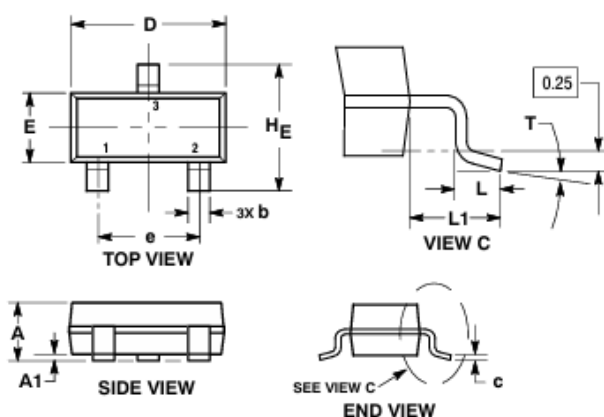


Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу транзистора MMBFJ175LT1G [14]

Обраний транзистор використано для формування стабільного живлення темброблоку. Його параметри забезпечують низьку амплітуду пульсацій без використання складних стабілізуючих схем.

Таблиця 1.6 – NPN біполярний транзистор BC846BLT1G [13]

Позиційне позначення	VT5, VT7, VT10
Тип елемента та його позначення	NPN біполярний транзистор BC846BLT1G
Компанія-виробник	ON Semiconductor
Критерії вибору	Мінімальні пульсації живлення, надійна стабілізація при малих токах
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.16
Технічні властивості та ключові характеристики	
Максимальна напруга стік-витік	30 В
Максимальний струм стоку	200 мА
Напруга відсічення затвор-стік	-0.8...-3.0 В
Опір каналу у відкритому стані	4 Ом



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
 3. MAXIMUM LEAD THICKNESS INCLUDES LEAD FINISH. MINIMUM LEAD THICKNESS IS THE MINIMUM THICKNESS OF THE BASE MATERIAL.
 4. DIMENSIONS D AND E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS, OR GATE BURRS.

DIM	MILLIMETERS			INCHES		
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
A	0.89	1.00	1.11	0.035	0.039	0.044
A1	0.01	0.06	0.10	0.000	0.002	0.004
b	0.37	0.44	0.50	0.015	0.017	0.020
c	0.08	0.14	0.20	0.003	0.006	0.008
D	2.80	2.90	3.04	0.110	0.114	0.120
E	1.20	1.30	1.40	0.047	0.051	0.055
e	1.78	1.90	2.04	0.070	0.075	0.080
L	0.30	0.43	0.55	0.012	0.017	0.022
L1	0.35	0.54	0.69	0.014	0.021	0.027
HE	2.10	2.40	2.64	0.083	0.094	0.104
T	0°		10°	0°		10°

STYLE 6:
PIN 1. BASE
2. EMITTER
3. COLLECTOR

Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу транзистора BC846BLT1G [13]

Ці транзистори формують диференційний каскад, що забезпечує точне балансування вхідних сигналів. Їхня стабільність, частотні характеристики та низький шум ідеально підходять для звукових підсилювачів.

Таблиця 1.7 – NPN кремнієві потужні транзистори TIP35C [16]

Позиційне позначення	VT13–VT14
Тип елемента та його позначення	NPN кремнієвий потужний транзистор TIP35C
Компанія-виробник	ON Semiconductor
Критерії вибору	Висока потужність, допустимий струм до 25 А, придатність для роботи в класі АВ
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.17
Технічні властивості та ключові характеристики	
Максимальна напруга колектор-емітер	100 В
Здатність колектора пропускати безперервний струм до	25 А
Максимальний імпульсний струм колектора	40 А
Максимальна потужність розсіювання	125 Вт

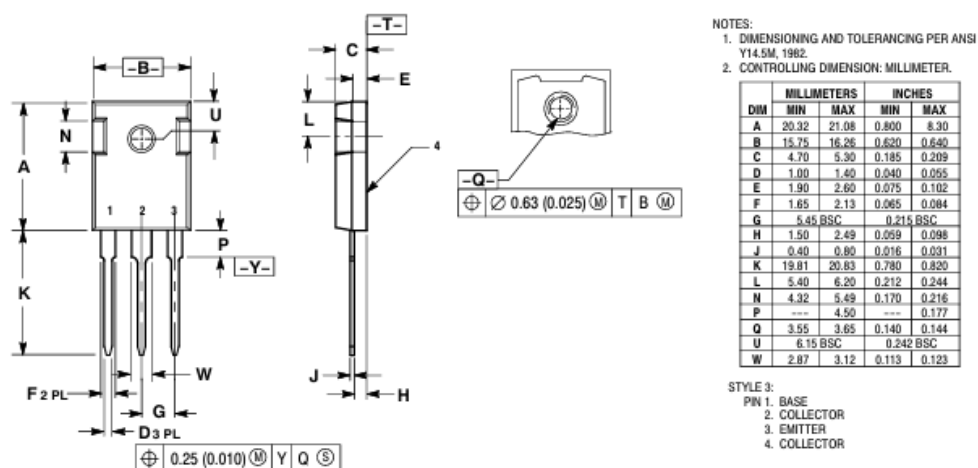


Рисунок 1.17 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу транзистора TIP35C [16]

Транзистори встановлюються у двотактному вихідному каскаді, де потрібна висока потужність і термостійкість. Їх характеристик достатньо для роботи на максимальному навантаженні з надійним відведенням тепла через радіатори.

Таблиця 1.8 – Модуль мікроконтролера Arduino Nano [2]

Позиційне позначення	U2
Тип елемента та його позначення	Модуль мікроконтролера Arduino Nano
Компанія-виробник	Arduino
Критерії вибору	Компактність, кількість портів вводу/виводу, наявність аналогових входів
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.18
Технічні властивості та ключові характеристики	
Напруга живлення	5 В
Тактова частота	16 МГц
Обсяг флеш-пам'яті	32 КБ
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	8

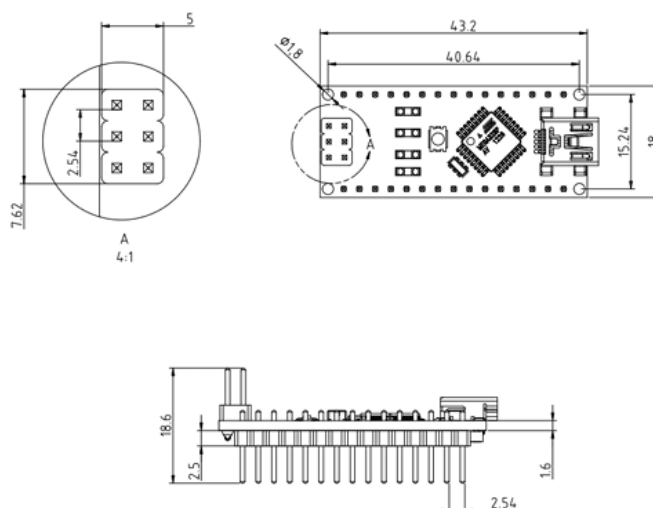


Рисунок 1.18 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу мікроконтролера Arduino Nano [2]

Arduino Nano забезпечує гнучкість у цифровому блоці пристрою. зчитує аналоговий сигнал, виконує обчислення та керує світлодіодною індикацією. Його компактність і популярність у розробках спрощує інтеграцію в плату.

Таблиця 1.9 – Стабілізатор напруги UA7805CKCS [19]

Позиційне позначення	DA1
Тип елемента та його позначення	Лінійний стабілізатор напруги UA7805CKCS
Компанія-виробник	Texas Instruments
Критерії вибору	Стабільність вихідної напруги, допустима потужність, внутрішній захист
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.19
Технічні властивості та ключові характеристики	
Вхідна напруга	до 35 В
Вихідна напруга	5 В
Максимальний струм навантаження	2 А
Захист від перевантаження	Вбудований

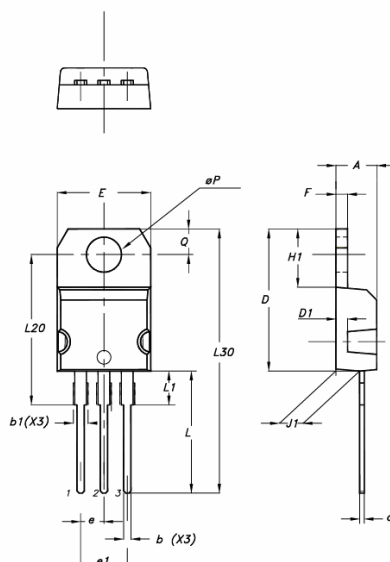


Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу стабілізатор напруги UA7805CKCS [19]

UA7805 забезпечує стабільне живлення для цифрової частини підсилювача. Його застосування дозволяє уникнути високочастотних шумів і спрощує захист від коротких замикань і перегріву.

Таблиця 1.10 – Стабілітрон BZX55C10 [21]

Позиційне позначення	VD1
Тип елемента та його позначення	Стабілітрон на BZX55C10
Компанія-виробник	Vishay Semiconductors
Критерії вибору	Формування стабільної опорної напруги, температурна стабільність
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.20
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальна напруга стабілізації	10 В
Допустиме відхилення стабілізації	$\pm 5\%$
Максимальний струм стабілізації	20 мА
Максимальна потужність розсіювання	500 мВт

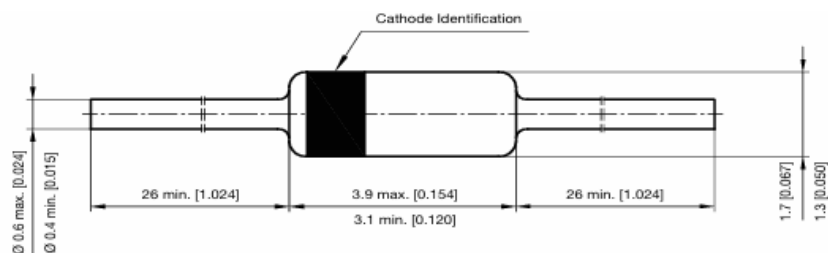


Рисунок 1.20 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу стабілітрона
BZX55C10 [21]

Цей стабілітрон слугує джерелом сталої референтної напруги для живлення чутливих вузлів схеми у блоці живлення темброблоку. Високий рівень температурної стабільності та достатній допустимий струм забезпечують надійність у довготривалій роботі.

Таблиця 1.11 – Аудіороз’єм PJ-208C [23]

Позиційне позначення	XS1
Тип елемента та його позначення	TRS роз’єм аудіо 2.5 мм PJ-208C
Компанія-виробник	XKB Connection
Критерії вибору	Компактність, стандартне аудіо-з’єднання, простота монтажу
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.21
Технічні властивості та ключові характеристики	
Тип контактів	3 контакти (Tip-Ring-Sleeve)
Монтаж	Монтаж на друковану плату, кутовий
Номінальний струм	0.5 A
Діелектрична міцність	30 B

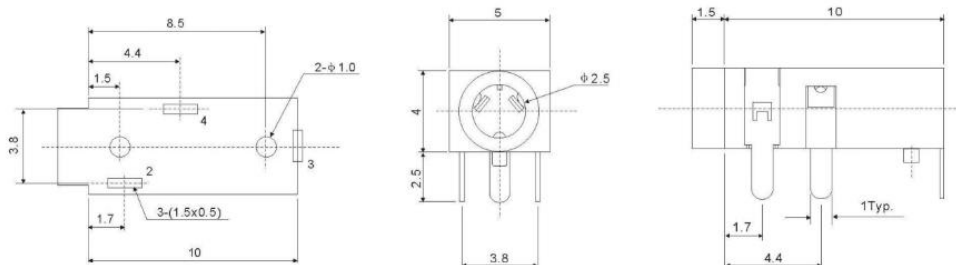


Рисунок 1.21 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу аудіороз’єму
PJ-208C [23]

Цей аудіороз’єм забезпечує зручне з’єднання аналогового джерела звуку з основною схемою. Його компактний розмір, кутове компонування та типова конфігурація забезпечують сумісність з більшістю побутових аудіо систем.

Таблиця 1.12 – Роз’єм 87439-0300 [9]

Позиційне позначення	XS2
Тип елемента та його позначення	Роз’єм для плати (3-контактний) 87439-0300
Компанія-виробник	Molex
Критерії вибору	Зручність підключення світлодіодної матриці, надійна фіксація провідників
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.22
Технічні властивості та ключові характеристики	
Кількість контактів	3
Монтаж	Монтаж на друковану плату
Струм	до 5 А
Напруга	до 250 В

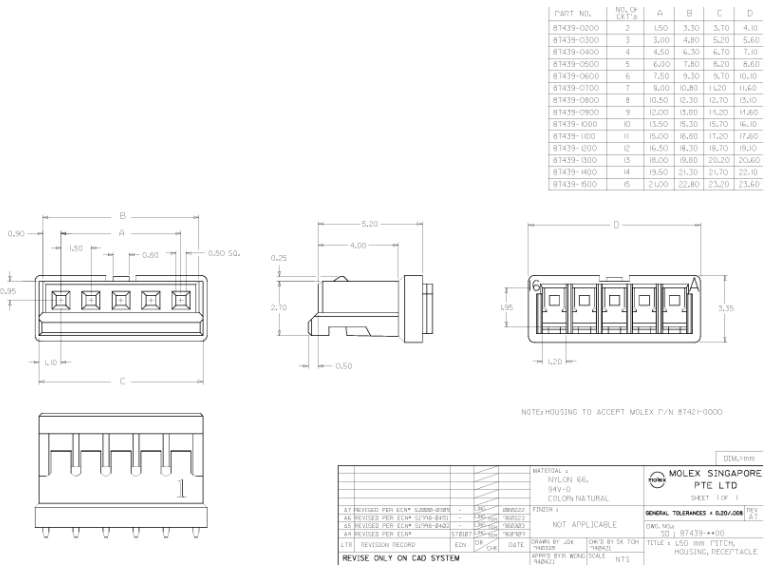


Рисунок 1.22 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу роз’єму 87439-0300 [9]

Роз’єм забезпечує стабільне й надійне підключення мікроконтролера до світлодіодної матриці, витримуючи робочі струми модуля з запасом. Механічна фіксація захищає від роз’єднання під час експлуатації.

Таблиця 1.13 – Роз’єм живлення 1716130000 [22]

Позиційне позначення	XS3
Тип елемента та його позначення	Роз’єм живлення друкованої плати 1716130000
Компанія-виробник	Weidmuller
Критерії вибору	Зручність монтажу, захищеність, допустима напруга живлення
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.23
Технічні властивості та ключові характеристики	
Кількість контактів	3
Монтаж	Монтаж на друковану плату, кутовий
Струм	до 17.5 А
Номінальна напруга	до 320 В

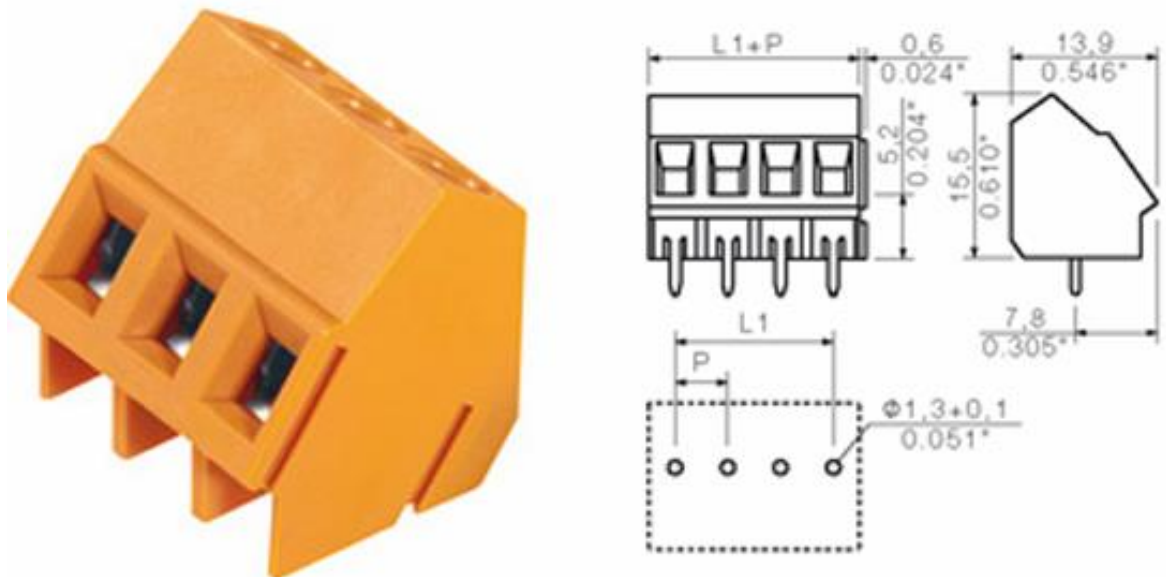


Рисунок 1.23 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу роз’єму живлення 1716130000 [22]

Цей роз’єм призначено для надійного підключення джерела живлення до плати. Він витримує струм понад 10 А, що з надлишком відповідає навантаженню пристрою, і забезпечує надійний контакт протягом тривалого часу.

Таблиця 1.14 – Регульований резистивний елемент 3852A-282-103AL [5]

Позиційне позначення	R1
Тип елемента та його позначення	Регульований резистивний елемент 3852A-282-103AL
Компанія-виробник	Bourns
Критерії вибору	Регулювання аналогового сигналу, лінійна характеристика, довговічність
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.24
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальний опір	100 кОм
Тип характеристики	Лінійна (тип В)
Механічний ресурс	≥ 15 000 обертів
Метод монтажу	Панельний / на друковану плату

3851A/3852A

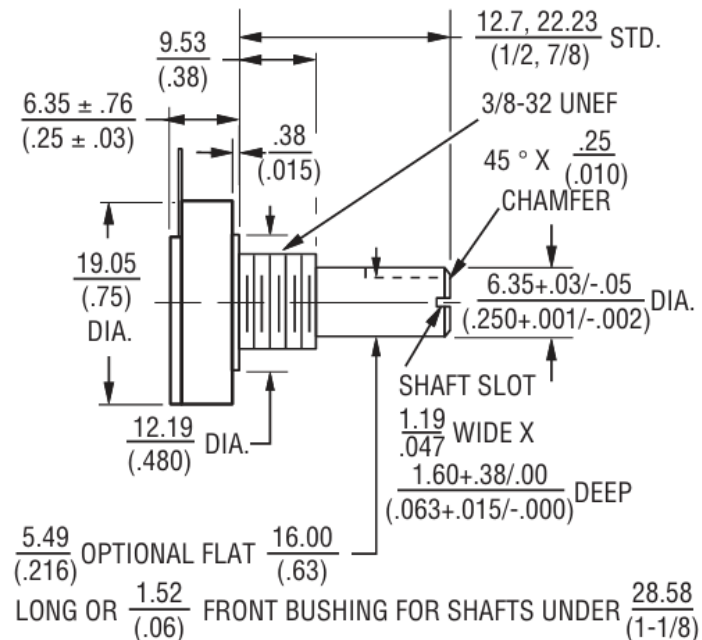


Рисунок 1.24 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу змінного резистора 3852A-282-103AL [5]

Резистор використовується для регулювання загального рівня гучності. Має лінійну характеристику, що забезпечує передбачувану зміну амплітуди сигналу, а також надійний механізм з довгим строком служби.

Таблиця 1.15 – Змінний резистор PTD902-1220F-A204 [6]

Позиційне позначення	R6, R9
Тип елемента та його позначення	Змінний резистор PTD902-1220F-A204
Компанія-виробник	Bourns
Критерії вибору	Висока точність, плавне регулювання, придатність для НЧ/ВЧ ланцюгів
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.25
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номінальний опір	200 кОм
Тип характеристики	Логарифмічна
Ступінь захисту	IP 54
Метод монтажу	На друковану плату

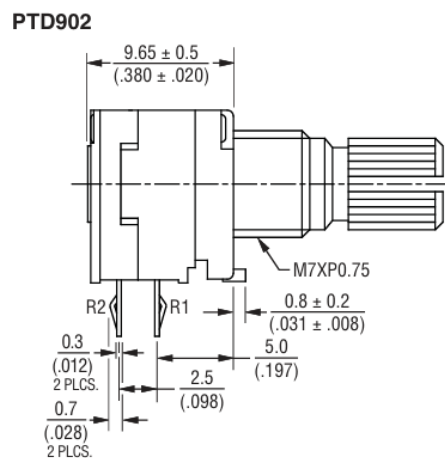


Рисунок 1.25 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу змінного резистора PTD902-1220F-A204 [6]

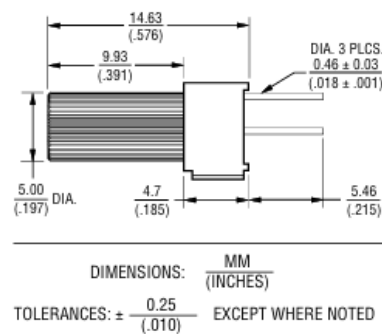
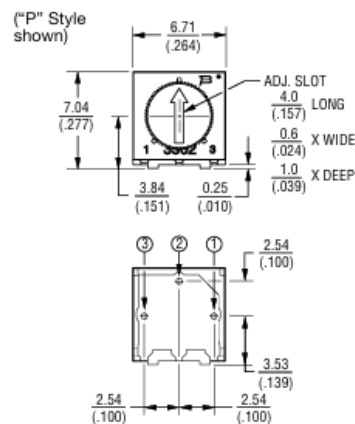
Дані резистори відповідають за регулювання АЧХ у темброблоці. Завдяки логарифмічній характеристиці забезпечується комфортне відчуття зміни частоти для слуху людини. Великий номінал дає змогу охопити широкий діапазон корекції.

Таблиця 1.16 – Підлаштовувальний резистор 3362P-1-102TLF [4]

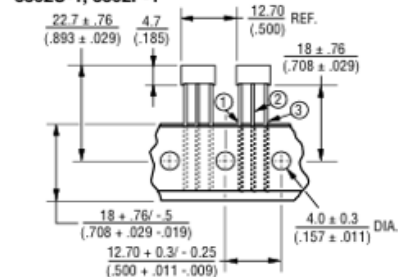
Позиційне позначення	R22
Тип елемента та його позначення	Підлаштовувальний резистор 3362P-1-102TLF

Компанія-виробник	Bourns
Критерії вибору	Точне налаштування зміщення, мініатюрність
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.26
Технічні властивості та ключові характеристики	
Номинальний опір	1 кОм
Максимальна потужність	0.5 Вт
Робоча температура	-55...+125 °C
Кількість обертів підлаштування	Однооборотний

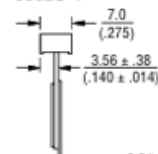
Top adjust models 3362F, H, P, R and U are available with a knob for finger adjustment. Add suffix letter "T" to order code.



TOP ADJUST
3362U-1, 3362P-1



SIDE VIEW
3362U-1



SIDE VIEW
3362P-1



Meets EIA Specification 468.

750/REEL
1000/BOX

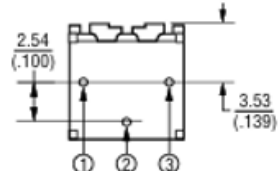


Рисунок 1.26 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу підлаштовувального резистора 3362P-1-102TLF [4]

Цей елемент використовується в ланцюзі зміщення вихідного каскаду. Невелика потужність і стабільні параметри дозволяють точно задати робочу точку транзисторів VT13–VT14.

Таблиця 1.17 – Конденсатор GRM188R71H [10, 11]

Позиційне позначення	C3 – C5
Тип елемента та його позначення	Конденсатор GRM188R71H
Компанія-виробник	Murata
Критерії вибору	Стабільність ємності, робота у фільтрах нижніх та високих частот
Конструктивні особливості елемента	див. рисунок 1.27
Технічні властивості та ключові характеристики	
Ємність	0.033 мкФ – 2.2 нФ
Робоча напруга	50 В
Температурний коефіцієнт	X7R
Відхилення ємності	±10 %

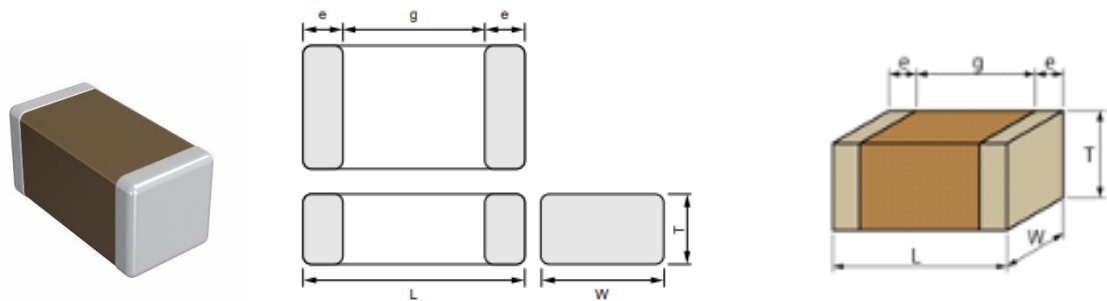


Рисунок 1.27 – Зовнішній вигляд і розміри корпусу конденсатора GRM188R71H [10, 11]

Використовуються у високочастотному та низькочастотному фільтрах темброблоку забезпечуючи стабільність параметрів і точність номіналу які критично важливі для уникнення фазових спотворень при підсиленні високих частот та температурних змін, що важливо для якісного формування АЧХ.

Усі підібрані елементи відповідають вимогам технічного завдання, забезпечують надійну, довготривалу та енергоефективну роботу пристрою, а також дозволяють реалізувати задану функціональність підсилювача та цифрової обробки. При цьому обрані компоненти мають відповідність за електричними характеристиками, розмірами та умовами експлуатації. Їх використання гарантує стабільну роботу як аналогових, так і цифрових структурних блоків підсилювача.

1.5 Компоновка друкованого вузла підсилювача звукового сигналу

Компоновка друкованого вузла є критичним етапом при проектуванні будь-якого електронного пристрою. Вона визначає просторове розміщення електричних елементів на друкованій платі, їхню взаємодію та топологічну структуру з'єднань. Саме на етапі компоновки закладаються основні характеристики виробу: функціональність, електромагнітна сумісність, тепловий режим, рівень надійності та зручність подальшого обслуговування пристрою. Правильно спроектована компоновка дозволяє оптимізувати довжину провідників, зменшити кількість перехідних отворів, підвищити електричну стійкість і зменшити вплив перешкод, також важливо дотримуватись ергономіки плати.

До процесу компоновки включається не лише топологічне розміщення елементів, а й визначення типу плати, вибір монтажної технології, класу точності, матеріалу підкладки, трасування провідників, розрахунок електричних зазорів і перерізів доріжок. Всі ці чинники враховуються як єдиний взаємопов'язаний комплекс, що безпосередньо впливає на якість та надійність друкованого вузла.

Після визначення загальних принципів побудови друкованого вузла постає питання вибору типу конструкції плати. У сучасному електронному проектуванні використовують односторонні, двосторонні та багатошарові друковані плати. Тип плати залежить від складності пристрою, кількості елементів, їхнього розташування та вимог до електричних характеристик.

У даному випадку було прийнято рішення застосувати двосторонню друковану плату. Рішення було зумовлене значною кількістю електронних компонентів, серед яких: каскади на транзисторах, аналогові вузли, блоки живлення та мікроконтролер.. В таблиці 1.18 наведений список ЕРЕ підсилювача.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						38
Зм	Арк	№ док	Підпис	Дат		

Таблиця 1.18 — Список ЕРЕ друкованої плати підсилювача

№	Назва групи елементів	К-ть штук
1	Резистори постійні	21
1	Резистори змінні	4
2	Модулі та збірки	3
3	Схеми інтегральні аналогові	1
4	Конденсатори електролітичні	4
5	Конденсатори керамічні	7
6	Роз'єми	4
7	Транзистори	13
8	Стабілітрони	1

Двостороннє виконання дозволяє ефективно організувати розміщення елементів, зменшити габарити плати, розвести сигнальні та силові тракти окремими шарами, а також оптимізувати щільність монтажу. Тип конструкції друкованої плати безпосередньо пов'язаний із класом точності, який визначає мінімально допустимі відстані між провідниками, діаметри отворів, ширину доріжок та вимоги до контролю якості. На підставі аналізу складності пристрою, технологічних можливостей виготовлення та щільності монтажу для даного виробу обрано 2-й клас точності, що повністю відповідає технічним вимогам та забезпечує достатню точність при виготовленні та монтажі. Доцільність цього вибору підтверджується класифікацією, наведеною в таблиці 1.19.

Таблиця 1.19 – Характеристика класів точності друкованих плат

Клас точності	Сфера застосування	Основний матеріал
1	Плати, що містять дискретні компоненти при невисокій густоті компонування. (1 і 2-а групи складності)	Фольгований гетинакс

2	Друковані плати з дискретними елементами і ІМС із середньою щільністю монтажу (2-4 - а групи складності)	Фольгований скло-текстоліт
3	Друковані плати з ІМС і високою щільністю монтажу (3 і 4-а групи складності)	Фольгований склотекстоліт з товщиною фольги 20-35 мкм
4, 5	Друковані плати з ВІС, СВІС, ІМС і високою щільністю монтажу (5-а група складності)	Термостійкі діелектрики, що труються, з надтонкою фольгою

Габаритні розміри друкованої плати є одним з найважливіших параметрів, що визначають фізичні межі електронного пристрою, а також впливають на зручність монтажу, розміщення елементів і відведення тепла. Розміри плати залежать від кількості і типу елементів, їхнього розташування, а також від вимог до компактності кінцевого виробу.

З урахуванням структурної схеми підсилювача, кількості радіоелементів, наявності мікроконтролера, роз'ємів, блоку понижувача напруги та необхідності збереження логіки проходження сигналу, було прийнято рішення встановити габарити друкованої плати на рівні 140×100 мм.

Ці розміри забезпечують:

- достатню площу для комфортного розміщення всіх елементів без порушення міжелементних відстаней;
- можливість оптимального зонування за функціональними блоками;
- відповідність загальноприйнятим стандартам розмірів для корпусів аналогічного призначення.

Таке рішення дозволяє ефективно організувати монтаж без ускладнення конструкції і збереження технологічності виготовлення та подальшого обслуговування пристрою.

Матеріал основи друкованої плати відіграє ключову роль у забезпеченні механічної міцності, термостійкості, електроізоляційних властивостей та

надійності виробу загалом. Правильний вибір діелектрика дає змогу мінімізувати вплив зовнішніх чинників на електричні характеристики схеми, забезпечити термостабільність та точність трасування.

У даному випадку як основу для виготовлення плати було використано склотекстолітовий матеріал типу FR-4, який є найбільш поширеним матеріалом у галузі виробництва друкованих плат.

Його головними перевагами є:

- висока механічна міцність;
- стійкість до температур до 130–140 °С;
- гарні діелектричні властивості;
- стійкість до вологи;
- стабільність геометричних розмірів.

Товщина шару мідної фольги для даного проекту становить 35 мкм, що є стандартним значенням для 2-го класу точності й цілком достатньо для навантаження струмами до 1 А. Загальна товщина основи FR-4 обрана на рівні 1.5 мм, що дозволяє зберігати жорсткість плати при її розмірах 140×100 мм та наявності наскрізних отворів для ТНТ-монтажу.

Використання матеріалу FR-4 є технічно обґрунтованим рішенням, що відповідає вимогам надійності, довговічності та технологічності при масовому виготовленні друкованих плат.

Найменший допустимий проміжок між провідними доріжками на платі визначається нормами електроізоляції, класом точності, методом виготовлення та робочою напругою схеми. Недотримання цієї відстані може призвести до електричного пробоя або паразитного зв'язку між провідниками, що є критичним для аналогових пристроїв.

Для забезпечення надійної роботи пристрою при номінальній робочій напрузі до 24 В, а також з урахуванням вибору 2-го класу точності, розрахунок виконується за наступною формулою:

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						41
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

$$L_{\min} = \frac{C_k}{K} \quad (1.9)$$

$$L_{\min} = \frac{0.5}{1.25} = 0.4 \text{ мм}$$

де $C_k = 0.5$ – конструктивний коефіцієнт для другого класу точності;

$K = 1.25$ – коефіцієнт складності пристрою та щільності монтажу.

Отже, мінімальна міжпровідникова відстань при даних умовах становить 0.4 мм. Такий допуск дозволяє дотриматися ізоляції між елементами навіть за щільного розміщення та забезпечує надійність плати у тривалому режимі експлуатації.

На основі значень напруги між провідниками та вибраного класу точності визначено допустимі зазори між струмопровідними частинами плати, включаючи міжпровідникові відстані та зазори між краями струмопровідних елементів і контуром друкованої плати.

Контактний майданчик на платі створюється для забезпечення надійного з'єднання з провідниками чи виводами навісних елементів – ділянку із розширеною шириною, яка виконує функцію точки припаювання або кріплення.

Тип контактної площадки обирається залежно від способу монтажу: планарного або наскрізного. Найбільш типовою є кругла форма КП – вона найзручніша з технологічної точки зору і забезпечує рівномірне розтікання припою. При цьому овальна форма використовується в ситуаціях, коли потрібно підвищити механічну надійність або покращити розподіл струму.

Для кожного типу монтажного або перехідного з'єднання визначається мінімально допустимий діаметр контактної площадки. Цей діаметр обчислюється за формулою:

$$D_{\text{і еф}} = 2(b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta d + \delta p) \quad (1.10)$$

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		42

$$D_{i\text{ еф}} = 2(0,045 + 0,45 + 0,05 + 0,15) = 1,39 \text{ мм}$$

де $b_M = 0,045$ мм – відстань від краю отвору до краю контактної площадки;

$d_{\max} = 0,9$ мм – максимальний діаметр просвердленого отвору, мм;

$\delta d = 0,05$ мм, $\delta p = 0,15$ мм – допустимі відхилення при розташуванні контактних отворів і площадок.

Ефективний мінімальний діаметр визначається з урахуванням процесу травлення провідного шару під паяльною маскою (підтравлення складає близько 70 % від товщини провідного шару). Оскільки $H_{\text{пр}}$ (товщина фольги плюс товщина осаджуваної міді = 0,035 мм) Оскільки $H_{\text{пр}}$ змінюється залежно від типу плати, при визначенні найменшого діаметра контактної площадки необхідно враховувати обрану технологію виготовлення. Метод нанесення паяльної маски теж визначає значення мінімального діаметра контактної площадки. $D_{\min}$

При використанні фотохімічного методу в рамках комбінованої позитивної чи напівадитивної технології захисна маска наноситься особливим чином:

$$D_{\min} = D_{i\text{ еф}} + 1,5H_{\text{пр}} + 0,03 \quad (1.11)$$

$$D_{\min} = 1,39 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,4725 \text{ мм}$$

У процесі виготовлення за комбінованим позитивним методом товщина шару осадженої міді зазвичай становить 15–25 мкм. Найбільший допустимий діаметр контактної ділянки визначається з урахуванням виробничого допуску:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (1.12)$$

$$D_{\max} = 1,4725 + 0,04 = 1,5125 \text{ мм}$$

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						43
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Після розрахунків площу майданчика збільшують так, щоб без врахування отвору вона становила не менше 2,5 мм² для перших двох класів точності, а для третього і четвертого - 1,6 мм²

Контактні майданчики розміщуються поблизу кожного отвору для монтажу, а в разі металізації з обох боків плати. Якщо контактна площадка потрапляє в область екранування, її формують із вирізами (у вигляді секторів або кілець), щоб уникнути стікання припою на екран у процесі паяння. розтікання припою на екран під час пайки.

Якісне з'єднання можливо лише тоді, коли контактна поверхня має площу не більшу за 8 мм². У зв'язку з цим, контактні майданчики вирізаються у відповідний спосіб, коли вивід підключається до екрану або широкої провідникової доріжки.

У разі індивідуального проектування прямокутних майданчиків їх слід виконувати на 0,1–0,4 мм ширшими за відповідні виводи, а інтервали між ними мають відповідати стандартам точності першого-другого класу. Розміри прямокутних контактних майданчиків для елементів без корпусів та з плоскими виводами визначаються виходячи з геометрії компонентів, які підлягають пайці, а Проміжок між контактними майданчиками встановлюється з урахуванням технічних параметрів обладнання та навантаження в ланцюгах.

Для перехідних отворів з метою збільшення щільності монтажу Діаметр отвору мінімізують у межах можливого, виходячи з рівномірного нанесення електроліту, від чого залежить якість мідного шару, яка впливає на якість осадження міді на діелектрик

Мінімальний розмір металізованого отвору встановлюється на основі класу точності плати і обчислюється за відповідною формулою:

$$d_{\min} = \gamma H_{\Pi} \quad (1.13)$$

$$d_{\min} = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ мм}$$

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		44

де $\gamma = 0,5$ – відносна товщина ДП;

$H_{\Pi} = 1,5$ мм – товщина ДП із врахуванням фольги.

Щоб визначити мінімальний припустимий діаметр переходу, користуються виразом:

$$d_{\text{пер}} = d_{\text{min}} + |\Delta d| \quad (1.14)$$
$$d_{\text{пер}} = 0,75 + 0,05 = 0,8 \text{ мм}$$

де $|\Delta d| = 0,05$ – припустиме найбільше відхилення діаметра отвору при розрахунку.

Для перехідних отворів значення Δd слід вибирати як для неметалізованих отворів.

Монтажний отвір проєктують більшим за діаметр виводу настільки, щоб забезпечити умови для якісної пайки та автоматичного складання. Його розмір повинен перевищувати розмір виводу настільки, щоб відповідати технологічним вимогам пайки та автоматичного складання, і розраховується за наступною формулою:

$$d_{\text{монт}} = d_{\text{вив}} + |\Delta d| + r \quad (1.15)$$
$$d_{\text{монт}} = 0,9 + 0,1 + 0,3 = 1,3 \text{ мм}$$

де $d_{\text{вив}} = 0,9$ – діаметр (для прямокутних виводів - розмір по найбільшій стороні) виводу ЕРЕ;

$r = 0,3$ – проміжок між діаметром отвору для монтажу та виводом ЕРЕ.

Величину Δd для монтажних отворів визначено на основі таблиці, що враховує діаметр, методи металізації, тип покриття й спосіб оплавлення. Оплавлення слід враховувати при нанесенні покриттів (ПОС-61 і сплав Розе) гарячим методом (для ДП, виготовлених фотоспособами) або гальванічним з

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						45
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

наступним оплавленням (комбінований позитивний спосіб або напівадитивна технологія).

Значення контрольного зазору r зазвичай коливається від 0,1 до 0,4 мм і визначається залежно від таких факторів: Чим менше проміжок, тим більше капілярний ефект і, відповідно, краще пайка в монтажному отворі. З іншого боку, велика величина проміжку полегшує автоматизацію складальних робіт. Тому під час автоматичного монтажу елементів доцільно використовувати металізовані отвори із зазором приблизно 0,4 мм.

Перевіримо відповідність розмірів отвору та виводу за допомогою наступного рівняння:

$$d_{\text{монт}} = \gamma H_{\Pi} + |\Delta d| + r \quad (1.16)$$

$$d_{\text{монт}} = 0,75 + 0,1 + 0,3 = 1,15 \text{ мм}$$

Розрахунок $d_{\text{монт}}$ діаметру отвору з металізацією визначають за наступною формулою:

$$d_{\text{монт}} = d_{\text{вив}} + |\Delta d| + r + 2h_{\text{м}} \quad (1.17)$$

$$d_{\text{монт}} = 0,9 + 0,1 + 0,3 + 2 \cdot 0,025 = 1,35 \text{ мм}$$

де $h_{\text{м}} = 0,025$ – товщина металевого шару.

Розмір неметалізованого отвору встановлюється згідно з виразом (1.13), враховуючи, що при автоматичному збиранні оптимальним є зазор $r = 0,4$ мм. У розрахунках можна прийняти величину металізації 0,05-0,025. Стандартні розміри монтажних отворів підбираються з відповідного ряду значень: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5, а для перехідних: 0,7; 0,9; 1,1 мм.

Щодо перехідних отворів, слід здійснювати розрахунок, який підтвердить їхню здатність проводити потрібний електричний струм. Мідне покриття всередині отворів зазвичай має товщину в межах 20–25 мікрометрів.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						46
Зм	Арк	№ док	Підпис	Лат		

Розмір свердла для металізованого отвору зазвичай не вказується у кресленнях, а встановлюється згідно з технологічними нормами виготовлення плати. Якщо не вимагається висока точність, діаметр свердла приймають більшим за номінальний розмір монтажного отвору на 0,1–0,2 мм.:

$$d_{\max} = d_{\text{монт}} + (0,1 \dots 0,2) \quad (1.18)$$

$$d_{\max} = 1,3 + 0,1 = 1,4 \text{ мм}$$

Це значення застосовується безпосередньо на етапі свердління. Ширина струмопровідних доріжок повинна забезпечувати безпечне проходження необхідного струму без перевищення допустимих параметрів без перегріву та з дотриманням електричних і механічних параметрів. Для цього необхідно враховувати максимальний струм, що проходить по провіднику, та допустиму щільність струму для шару міді. Щоб знайти мінімально можливу ширину провідника при допустимому падінні напруги, використовують співвідношення:

$$t_{\max} = \frac{I_{\max}}{h \cdot j_{\text{доп}}} \quad (1.19)$$

$$t_{\max} = \frac{0,8}{0,035 \cdot 15} \approx 1,52 \text{ мм}$$

де: $I_{\max} = 0,8$ – граничне значення постійного струму;

$j_{\text{доп}} = 15$ – максимально дозволена щільність за таблицею 1.20;

$h = 0,035$ – товщина провідного шару друкованого провідника.

Отже, мінімальна ширина ефективна провідників, які проводять струм до 0.8 А, повинна становити не менше 1.52 мм. Для сигнальних ліній, де струм значно менший, допускається зменшення ширини до 0.4 мм, що відповідає обраному класу точності.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

Таблиця 1.20 – Допустимий струм залежно від способу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги t , мкм	Допустима густина струму, $j_{\text{доп}}$, А/мм ²	Питомий опір ρ , Ом·мм ² /м
Хімічний: внутрішні шари БДП, зовнішні шари ОДП, ДПП	20, 35, 50	15	0,050
Комбінований позитивний	20, 35, 50	48	0,0175
Електрохімічний	—	25	0,050

Якщо провідник складається з одного мідного шару, його мінімальну ширину визначають через формулу:

$$t_{\min} = \frac{\rho I_{\max} l}{h U_{\text{доп}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,8 \cdot 30}{0,035 \cdot 0,2} \approx 6 \text{ мм} \quad (1.20)$$

де $\rho = 0,0175$ – питомий опір міді;

$l = 30$ – довжина провідника;

$U_{\text{доп}} = 0,2$ – максимально дозволена робоча напруга.

Відповідно до таблиці 1.21, мінімально допустимий інтервал між провідниками $S_{\min}$ становить 0,45 мм.

Таблиця 1.21 – Мінімально допустимий інтервал між провідниками

Параметри	Клас точності друкованої плати				
	1	2	3	4	5
Мінімальне значення номінальної ширини провідника $t_{\min}$, мм	0,60	0,45	0,25	0,15	0,10

1.6 Висновки до розділу 1

У даному розділі було проведено аналіз сучасних аналогів підсилювачів потужності звукового сигналу, що дозволило визначити актуальність розробки нового пристрою з поліпшеними технічними та функціональними характеристиками. На основі результатів аналізу були окреслені основні вимоги та сформовано структурну схему майбутнього виробу.

Виконано обґрунтований вибір елементної бази пристрою, зокрема транзисторів, мікроконтролера, стабілізатора напруги, стабілітрона, змінних та постійних резисторів, керамічних та електролітичних конденсаторів, роз'ємів, елементів керування і підібрано радіатори тепловідводу для елементів які можуть перегріватись під час активної роботи приладу. Проведені розрахунки основних вузлів принципової електричної схеми підтвердили правильність та доцільність обраних компонентів.

Крім того, було здійснено розрахунок параметрів компоновки друкованого вузла, включно з визначенням габаритних розмірів плати, ширини провідників, діаметрів отворів та контактних площадок, що гарантує високий рівень технологічності та надійності розробленого підсилювача.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						49
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2.1 Вибір САПР

Для проектування підсилювача потужності звукового сигналу з темброблоком та цифровою індикацією було обрано систему автоматизованого проектування Altium Designer [31].

Altium Designer – це комплексне програмне середовище, призначене для розробки та створення електронних пристроїв різної складності, яке об'єднує в собі широкий спектр засобів для проектування електричних схем, топології друкованих плат, створення бібліотек електронних компонентів та підготовки проектів до виробництва.

Однією з головних переваг програми є можливість створення як індивідуальних, так і універсальних бібліотек компонентів, які можна багаторазово використовувати в різних проектах. Інтерфейс користувача підтримує роботу з шаблонами, модулями, стандартними типорозмірами посадкових місць та умовними графічними позначеннями згідно з нормами ЄСКД. Для даного проекту ключовими факторами вибору саме Altium Designer стали:

- Гнучкі інструменти для трасування друкованих плат, що дають змогу оптимально розташувати компоненти підсилювача, забезпечити належні зазори та уникнути перехресних завад сигналу;
- Розвинена система бібліотек електронних компонентів, що спростила процес пошуку та інтеграції обраних елементів;
- Наявність функції 3D-моделювання, яка дозволяє наочно оцінити конструктивні особливості та провести аналіз компонування елементів на платі;

- Можливість детального розрахунку ширини провідників, діаметрів отворів та контактних майданчиків відповідно до заданих параметрів струмового навантаження та точності виготовлення.

Застосування Altium Designer під час виконання дипломної роботи забезпечило високий рівень точності у процесі проектування, суттєво підвищило ефективність роботи над електричною схемою та друкованим монтажем. Завдяки використанню цього програмного комплексу вдалося значно скоротити час розробки та оптимізувати конструктивні параметри пристрою.

Таким чином, вибір цієї САПР повністю виправдав себе, дозволивши створити якісний та професійно оформлений проект підсилювача потужності звукового сигналу.

2.2 Використання САПР при проектуванні друкованого вузла

До початку проектування було виконано попереднє налаштування графічного редактора Schematic Library, включно з вибором одиниць вимірювання, налаштуванням сітки, параметрів автонумерації та інших опцій (див. рис. 2.1).

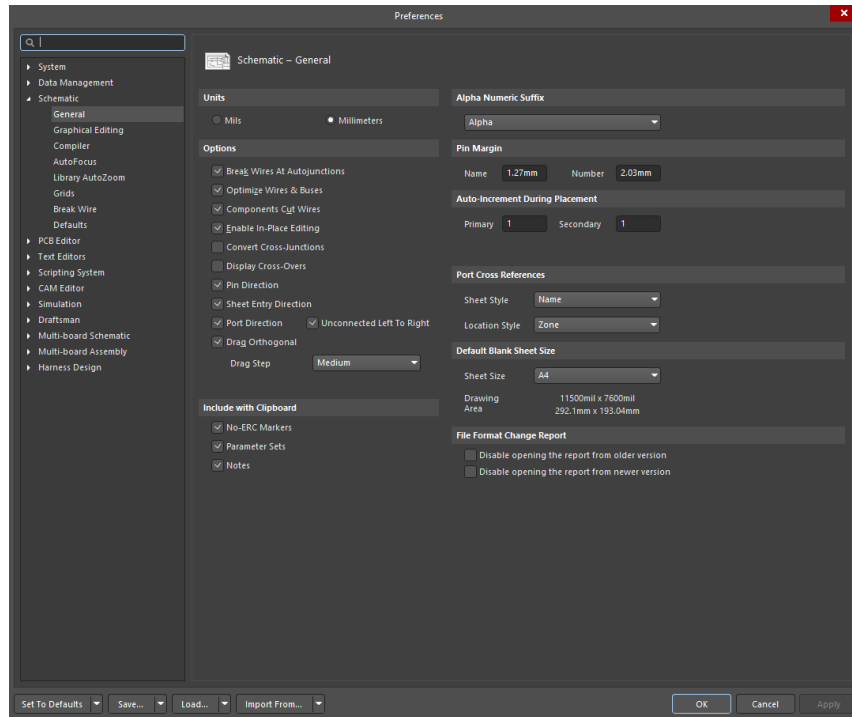


Рисунок 2.1 – Вікно налаштування редактора УГП

На першому етапі проектування було створено новий проєкт, до якого додано бібліотеки схематичну Schematic Library та друкованої плати PCB Library. Далі було створено умовно графічні позначення електрорадіоелементів підсилювача потужності, які повинні мати вигляд згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 [27].

Створення посадкових місць для компонентів виконано у середовищі PCB Library шляхом формування посадкових елементів відповідно до габаритів і конструкційних параметрів, наданих у документації на компоненти та відповідає методикам, викладеним у ДСТУ 2646-94 [1]. Частину компонентів взято з бібліотек, а інші створено вручну.

Завершальним етапом стало проведення перевірки усіх компонентів бібліотеки за допомогою інструмента Library Component Rule Check. У відповідному вікні було активовано перевірку на відсутність критичних помилок, таких як дублювання пінів або відсутність прив'язки (Рис. 2.2). Результати наведено на рисунку 2.3.

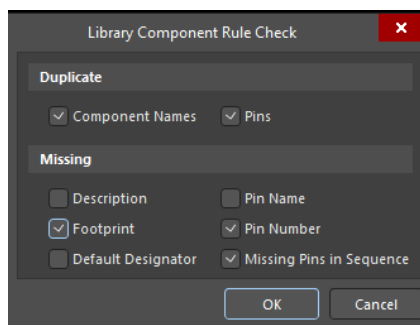


Рисунок 2.2 – Вікно перевірки компонентів Library Rule Check

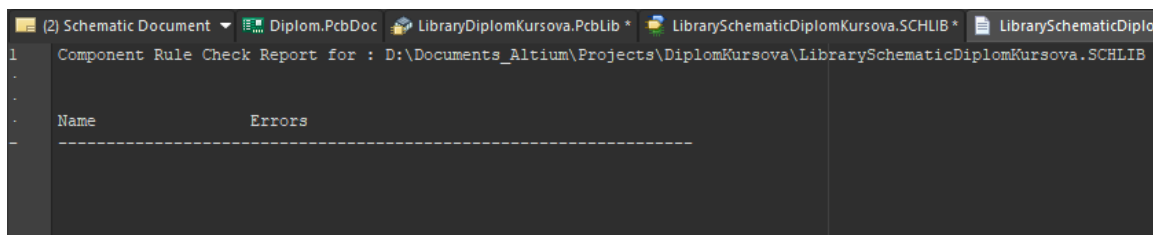


Рисунок 2.3 – Вікно результатів перевірки компонентів

Після перевірки бібліотек компонентів потрібно створити електрично принципову схему для того щоб можна було застосувати автоматичне трасування друкованої плати.

Для побудови такої схеми в середовищі Altium Designer застосовується інструмент «Schematic Editor», який дозволяє розміщувати необхідні елементи, поєднувати їх провідниками, а також додавати підписи, примітки та інші графічні елементи. Після відкриття робочої області було виконано налаштування координатної сітки. Встановлено сітку з кроком 2.5 мм, що відповідає вимогам до правильного компонування елементів на схемі: усі об'єкти мають бути розміщені на вузлах сітки, кратних 2.5 мм [3132].

Наступним етапом стало розміщення на принциповій схемі усіх необхідних компонентів. Всі елементи, що входять до складу електричної схеми, були додані із попередньо створеної бібліотеки. Після розміщення компонентів було виконано їх з'єднання за допомогою інструмента «Place Wire». Після чого виконано імпорт проєкту у документ друкованої плати.

Процес з'єднання елементів здійснювався з дотриманням логіки побудови схеми, (Рис. 2.4). Після завершення з'єднань виконано нанесення нумерації позицій елементів.

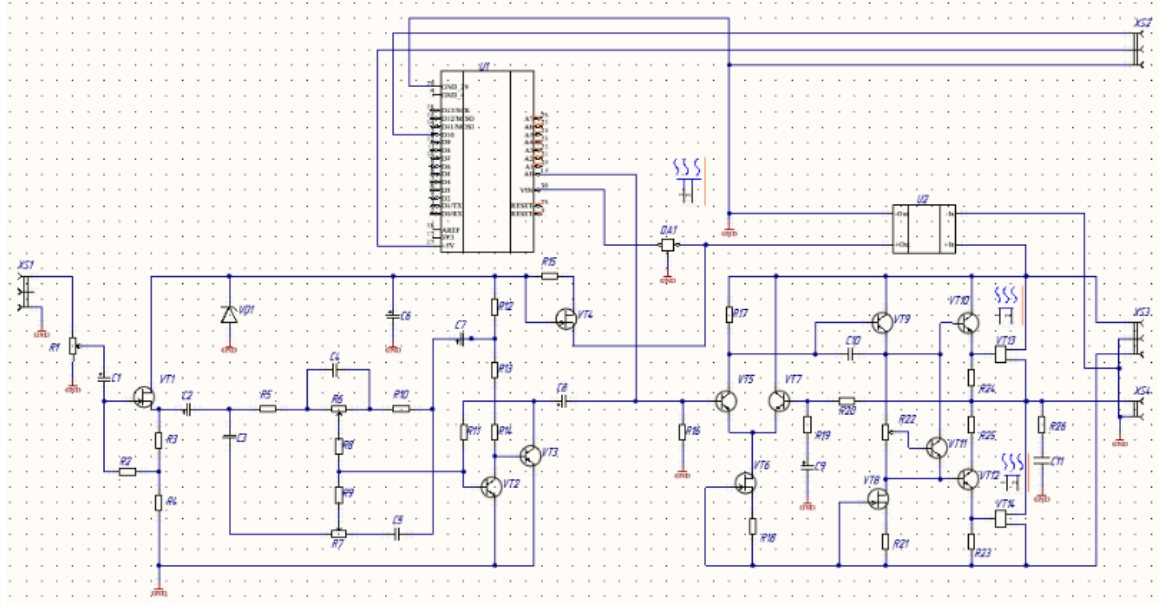


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова, розроблена в середовищі Altium Designer

Наступним було виконано генерацію переліку елементів (BOM). Список містить тип, кількість, позначення та інші характеристики компонентів, що використовувались у схемі (Рис. 2.5) та було проведено перевірку схеми на наявність логічних помилок та конфліктів за допомогою інструмента “Electrical Rule Check (ERC)”. Результати перевірки наведено на рисунку 2.6

Bill of Materials for PCB Document [Diplom.PcbDoc]						
[No Variations] Preview						
Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity	
1	ECEAT1CA1011	Aluminum Electroly...	C1	FP-RAD-TH-D_6_3_...	ECEAT1CA1011	1
2	EEU-FR1H4R7	Cap Aluminum Lyt...	C2, C7, C8	EEU-FR1H4R7	EEU-FR1H4R7	3
3	GRM188R71H222K...	GRM188R71H222K...	C3, C5	CAPC1608X90X35N...	GRM188R71H222K...	2
4	GRM188R71H333K...	GRM188R71H333K...	C4	CAPC1608X90X35N...	GRM188R71H333K...	1
5	EEEFK1E101P	CAP ALUM 100UF 2...	C6	FP-FKE-MFG	EEEFK1E101P	1
6	T491D475M050AT	Tantalum Surface...	C9	KEMT-T491-D_L	T491D475M050AT	1
7	GRM1555C1H270J...	GRM1555C1H270J...	C10	CAPC1005X55X25LL...	GRM1555C1H270J...	1
8	GJM1555C1HR15BB...	Multi-Layer Cerami...	C11	FP-GJM155-0_05-M...	GJM1555C1HR15BB...	1
9	UA7805CKCS	IC REG LINEAR 5V 1...	DA1	FP-KCS0003B-MFG	UA7805CKCS	1
10	3852A-282-103AL	Diameter Panel Co...	R1	BOUR-3852A-282-1...	3852A-282-103AL	1
11	MFR-25F8F52-560K	Resistor MFR-25FB...	R2, R3, R4, R5, R8,...	RESAD1100W55168...	MFR-25F8F52-560K	17
12	3296W-1-253LF	TRIMMER 25K OH...	R6, R7	FP-3296W-MFG	3296W-1-253LF	2
13	MFR-25F8F52-2K21	Axial Resistor, 2.21...	R12, R16, R17, R20	RESA60-630X240	MFR-25F8F52-2K21	4
14	RC0603FR-07K7L	Chip Resistor, 2.7 K...	R14	RES1608X55X25LL...	RC0603FR-07K7L	1
15	3296W-1-102LF	Square Trimptot(R)...	R22	BOUR-3296W-1-3	3296W-1-102LF	1
16	MODULE_ARDUIN...	Small, complete, a...	U1	MODULE_ARDUIN...	ARDUINO_NANO	1
17	LM2596	DC/DC Step-down...	U2	LM2596	LM2596	1
18	BZX55C10-TR	DIODE ZENER 10V...	VD1	FP-SB-V-3906_04-0...	BZX55C10-TR	1
19	MMBFJ201	JFET N-CH 40V 350...	VT1, VT6, VT8	FP-318BM-IPC_C	MMBFJ201	3
20	BC547B	Amplifier Transisto...	VT2	ONSC-TO-92-3-29-11	BC547B	1
21	BC857BLT1G	General Purpose Tr...	VT3	ONSC-SOT-23-3-31...	BC857BLT1G	1
22	MMBFJ175L1G	JFET Chopper, P-C...	VT4	ONSC-SOT-23-3-31...	MMBFJ175L1G	1
23	BC846BLT1G	General Purpose Tr...	VT5, VT7, VT10	ONSC-SOT-23-3-31...	BC846BLT1G	3
24	BC327-025G	Amplifier Transisto...	VT9	ONSC-TO-92-3-29-11	BC327-025G	1
25	MMBT3904WT1G	General Purpose Tr...	VT11	ONSC-SC-70-3-419...	MMBT3904WT1G	1

Рисунок 2.5 – Список елементів та їхні параметри

Messages						
Class	Document	Source	Message	Time	Date	No.
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetC8_1 has no driving source (Pin C8-1, Pin R16-2, Pin U1-19, Pin VT5-1)	21:48:23	12.06.2025	10
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetDA1_1 has no driving source (Pin DA1-1, Pin U2-4, Pin VT4-2)	21:48:23	12.06.2025	11
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_3 has no driving source (Pin U1-3)	21:48:23	12.06.2025	12
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_20 has no driving source (Pin U1-20)	21:48:23	12.06.2025	13
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_21 has no driving source (Pin U1-21)	21:48:23	12.06.2025	14
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_22 has no driving source (Pin U1-22)	21:48:23	12.06.2025	15
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_23 has no driving source (Pin U1-23)	21:48:23	12.06.2025	16
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_24 has no driving source (Pin U1-24)	21:48:23	12.06.2025	17
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_25 has no driving source (Pin U1-25)	21:48:23	12.06.2025	18
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_26 has no driving source (Pin U1-26)	21:48:23	12.06.2025	19
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Net	NetU1_28 has no driving source (Pin U1-28)	21:48:23	12.06.2025	20
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid C9 at 270mm,100.08mm	21:48:23	12.06.2025	21
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid C11 at 345mm,101.06mm	21:48:23	12.06.2025	22
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid DA1 at 236.35mm,167.5mm	21:48:23	12.06.2025	23
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid Pin DA1-2 at 225.35mm,163mm	21:48:23	12.06.2025	24
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid Pin DA1-3 at 220.85mm,167.5mm	21:48:23	12.06.2025	25
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid Pin R1-2 at 38.81mm,135.08mm	21:48:23	12.06.2025	26
[Warnin]	PrintsupovaShem	Compile Off	grid Pin R1-3 at 35mm,140.41mm	21:48:23	12.06.2025	27

Рисунок 2.6 – Результати перевірки схеми на помилки (ERC)

Наступною стадією стала розробка друкованої плати. Для цього в середовищі Altium Designer було відкрито редактор PCB. Перш ніж перейти до розміщення елементів, необхідно було сформувавши робочу область плати. У редакторі PCB була задана прямокутна область з розмірами 140 мм по ширині та 100 мм.

З метою зручності під час компоновання плати було встановлено сітку з кроком 2,5 мм, що забезпечує кратність відстаней між виводами компонентів.

Після цього здійснено налаштування шарів друкованої плати FR-4, встановлено кількість шарів 4, товщину плати 1.5 мм та товщину фольги 35 мкм.

Розташування елементів здійснювалося вручну, з урахуванням функціонального поділу пристрою та прагнення до мінімізації довжини з'єднань. На рисунку 2.7 зображено зовнішній вигляд плати після завершення етапу компоновки.

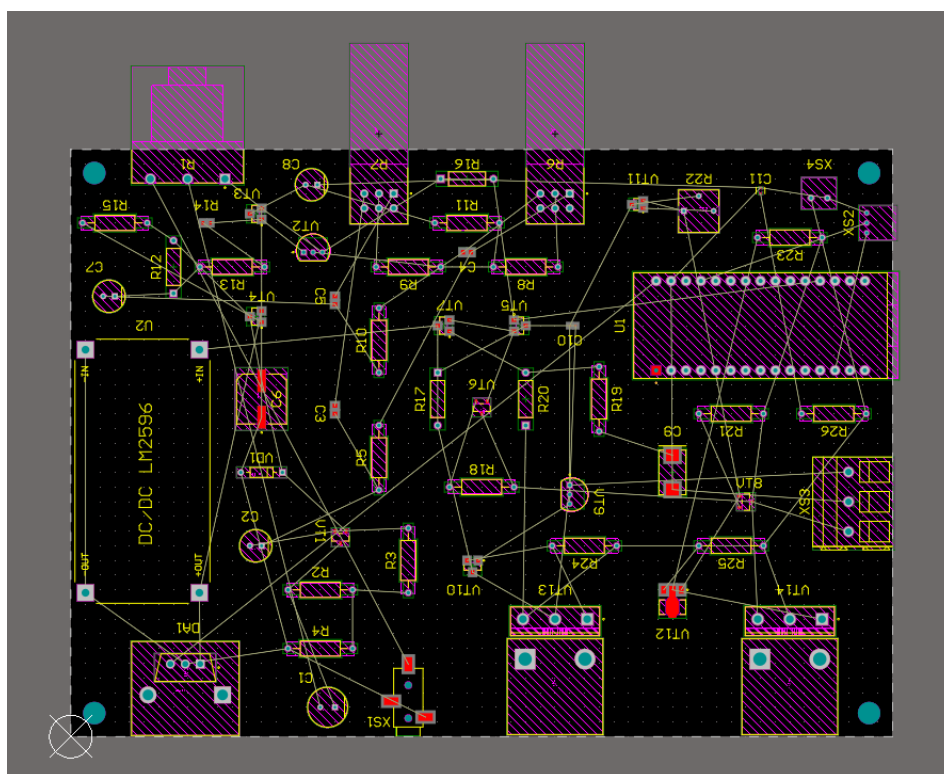


Рисунок 2.7 – Вигляд плати після розміщення елементів

Перед початком етапу трасування було виконано налаштування проєктних правил. У меню Rules відкрито вікно «PCB Rules and Constraints Editor» (див. рис. 2.8), де були встановлені параметри відповідно до вимог другого класу точності, обраного для даного проєкту, рис 2.9.

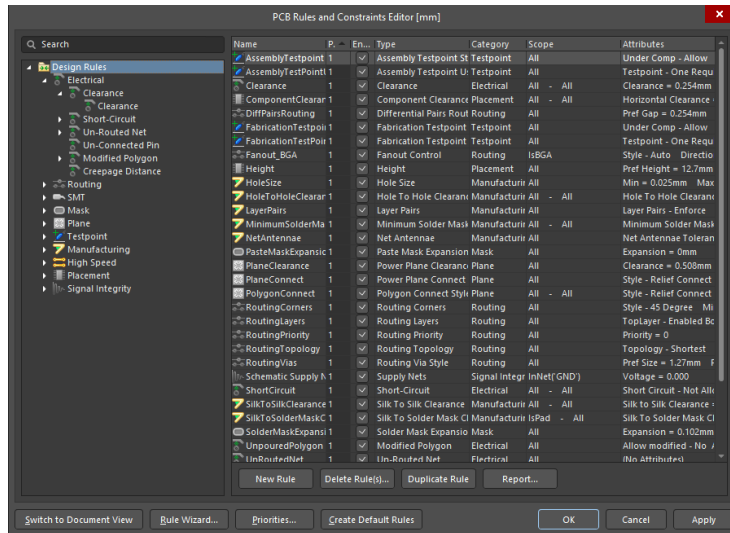


Рисунок 2.8 – Вікно PCB Rules and Constraints Editor

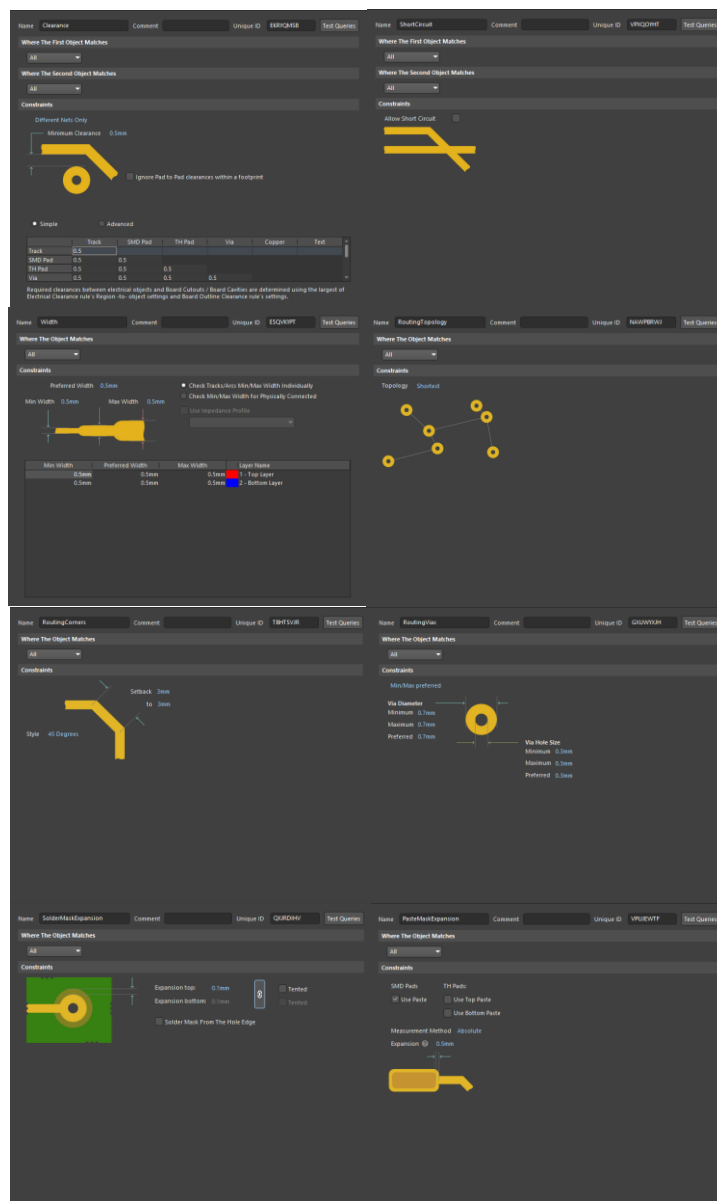


Рисунок 2.9 – Вікна параметрів правил трасування

Процес трасування провідників розпочався з автоматичного прокладання, яке згодом було частково скориговано вручну. Для запуску автотрасування застосовано команду Route → Auto Route → All. На рисунку 2.10 наведено вікно Situs Routing Strategies, у якому були перевірені параметри трасування та натиснуто кнопку «Route All».

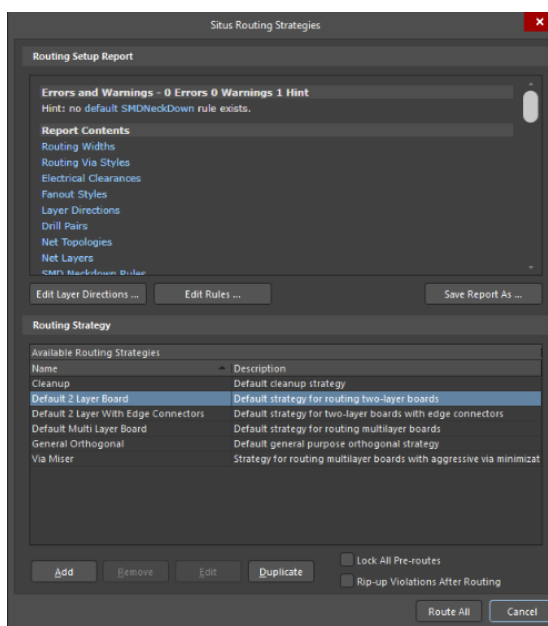


Рисунок 2.10 – Вікно Situs Routing Strategies

У результаті автоматичного режиму трасування програма самостійно виконала прокладання основних електричних з'єднань згідно з створеною принциповою схемою. У тих зонах, де необхідно було дотриматися заданої ширини доріжок або забезпечити симетричність трас, застосовувалися засоби ручного редагування маршрутів.

На рисунку 2.11 представлено фінальний вигляд прокладених провідників на друкованій платі підсилювального модуля.

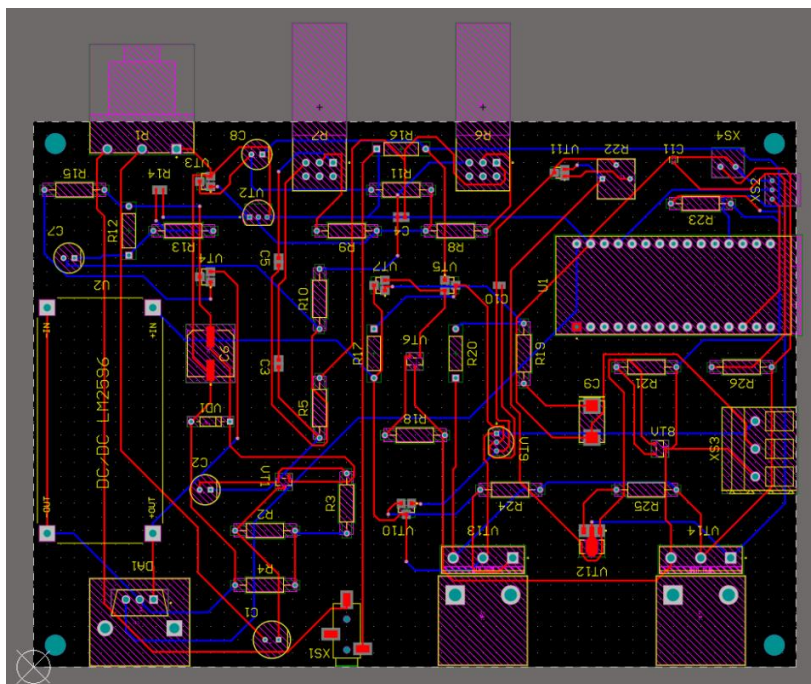


Рисунок 2.11 – Трасовані з'єднання на друкованій платі

Після завершення трасування була проведена перевірка відповідності встановленим правилам за допомогою Design Rule Check (DRC), що підтвердило правильність прокладки з'єднань та відсутність критичних помилок. Результати перевірки подано на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Результати DRC перевірки плати підсилювача

На завершальному етапі активовано 3D-перегляд друкованої плати на рисунку 2.13 для оцінки правильності розміщення компонентів і перевірки посадкових місць. Остаточний вигляд друкованої плати наведено в додатку Б:

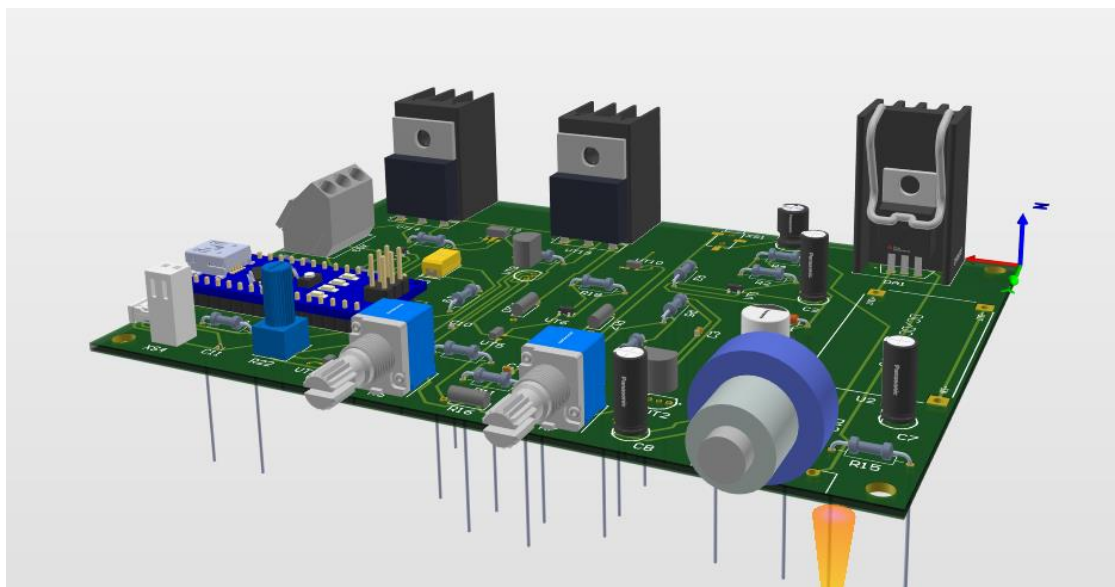


Рисунок 2.14 – 3D-модель зібраної друкованої плати

2.3 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто використання САПР Altium Designer для проєктування друкованого вузла підсилювача звукового сигналу. Завдяки застосуванню Altium Designer було забезпечено ефективне створення схеми, налаштування правил трасування та оптимізацію розміщення компонентів. Виконано перевірки на помилки за допомогою функцій ERC, DRC та LRC, що забезпечило високу точність і надійність проєкту. Обраний матеріал для плати склотекстоліт FR-4 відповідає вимогам до технологічних та електричних характеристик пристрою. В результаті було отримано повний комплект конструкторської документації, який готовий до подальшого виробництва.

3 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

3.1 Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності при експлуатації підсилювача потужності звукової частоти

При розробці підсилювача потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором особлива увага приділяється ергономіці конструкції, що безпосередньо впливає на зручність і безпеку використання пристрою в побутових умовах. Форм-фактор корпусу, розміщення органів керування, індикації та підключення виконано з урахуванням анатомічних, антропометричних і психофізіологічних особливостей людини, яка взаємодіє з пристроєм.

Основні ергономічні вимоги реалізовано через:

- застосування симетричного розміщення елементів управління, що дозволяє однаково комфортно керувати пристроєм як правшам, так і лівшам.
- індикацію звукового сигналу реалізовано за допомогою світлодіодної стрічки, розташованої у фронтальній частині корпусу на рівні очей користувача. Це забезпечує швидке візуальне сприйняття змін аудіосигналу без необхідності слухового контролю, що особливо зручно під час демонстрацій.
- захищені кути та ребра корпусу, що знижує ризик випадкових травм при транспортуванні або установці.
- герметичну поверхню корпусу, яка не має відкритих технологічних прорізів і запобігає проникненню пилу, сторонніх предметів або випадковому контакту з елементами схеми.

Пристрій розрахований на експлуатацію у закритих сухих приміщеннях з температурним діапазоном $+10...+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносною вологістю до 75% при

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						61
Зм	Арк	№ док-м	Підпис	Дат		

+25 °С. Рівень освітлення, необхідний для комфортного сприйняття візуальної індикації, повинен бути не менше 300 лк відповідно до ДСТУ ISO 6385:2005 [28]. При цьому контрастність між стрічкою та фоном підсилює сприйняття і знижує втомлюваність очей.

Для підтвердження нормативного рівня освітлення проведено розрахунок необхідного світлового потоку (рис. 3.1). При площі робочої зони $S = 1,5 \text{ м}^2$, освітленості $E = 300 \text{ лк}$ та коефіцієнті запасу $K = 1,5$ отримаємо:

$$\Phi = E \times S \times K = 300 \times 1,5 \times 1,5 = 675 \text{ лм.} \quad (3.1)$$

Світлодіодний світильник, встановлений над пристроєм, повинен створювати освітлення з потоком не менше 700 лм за умови кута розсіювання 120°.

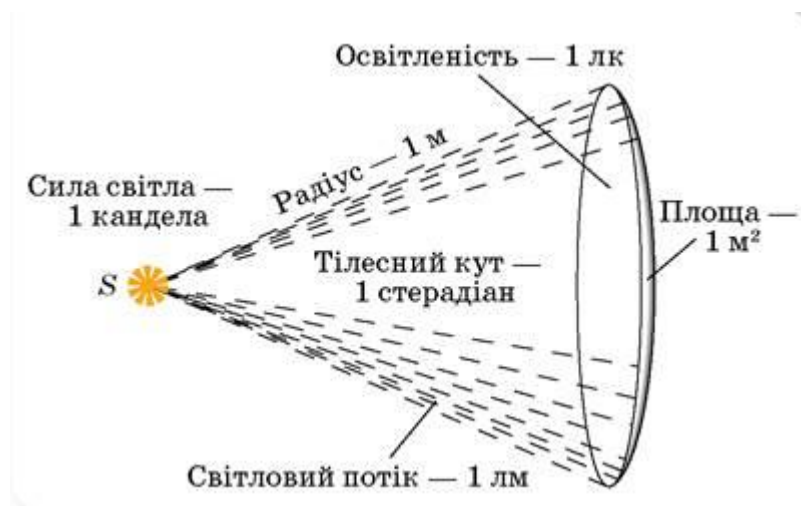


Рис. 3.1 – Співвідношення потоку світла та площі.

Використання мікроконтролера в схемі дозволило реалізувати адаптивні алгоритми зміни яскравості індикації, що мінімізує ризик подразнення зору при довготривалому перегляді. Частота оновлення світлодіодів перевищує 60 Гц, що усуває ефект мерехтіння та супроводжуючий дискомфорт. Конструкція дає змогу користувачу перебувати в полі індикації в межах оптимального кута зору без ризику втоми зорового аналізатора.

Висота встановлення пристрою обрана з урахуванням середнього положення сидячого користувача – на рівні 1,0–1,2 м від підлоги (відповідно до ДСТУ ISO 6385:2005) [28]. Це дозволяє забезпечити оптимальний кут зору на світлодіодну матрицю візуалізатора.

3.2 Заходи захисту від ураження електричним струмом

Підсилювач потужності та елементи візуалізатора працюють від низьковольтного джерела живлення з вихідною напругою до 24 В, що відповідає вимогам безпечного електроживлення до електроустановок з напругою до 1000 В постійного струму. Як нормативний документ прийнято ДСТУ EN 61140:2016 "Захист від ураження електричним струмом" [26].

Живлення пристрою реалізовано через зовнішній адаптер, який відповідає класу безпеки II з подвійною ізоляцією, що виключає пряме підключення до мережі 220 В.

Усі струмоведучі частини розміщено в герметичному корпусі з деревоволокнистої плити (ДВП) товщиною 3 мм, що є діелектричним матеріалом і додатково ізолює електричні вузли. Ступінь захисту корпусу оцінюється на рівні IP20 згідно з ДСТУ EN 60529:2014 [25]. Пристрій не має зовнішніх металевих частин, які можуть опинитися під напругою, що не передбачає потреби у заземленні.

Під час стендового тестування, яке виконується у лабораторних умовах, передбачено використання додаткового захисту у вигляді:

- захисного ізоляційного килимка під місцем встановлення пристрою;
- обмеження доступу до внутрішніх елементів за допомогою пломб або маркування «Не відкривати під напругою»;
- використання понижувального трансформатора класу безпеки II для захисту персоналу від випадкового ураження при несправності адаптера.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						63
Зм	Арк	№ док	Підпис	Дат		

З метою запобігання тепловому навантаженню дратові з'єднання виконані на основі мідного багатожильного проводу з перерізом не менше 0,35 мм², відповідно до ДСТУ EN 60228:2015 [24].

Для оцінки ризику ураження електричним струмом використано метод матричного аналізу ризиків (табл. 3.1), де ймовірність події оцінено як "низьку", а наслідки – "помірні" (легка травма). Отримано рівень ризику: прийнятний. Впроваджені технічні й організаційні заходи знижують ризик до мінімального.

Таблиця 3.1 – Оцінка ризику ураження електричним струмом

Ймовірність / Наслідки	Легкі	Середні	Важкі
Висока	СР	В	ВН
Середня	Н	СР	В
Низька	П	Н	СР

Позначення: П – прийнятний, Н – низький, СР – середній ризик, В – високий, ВН – вкрай небезпечний.

Для захисту мікроконтролера від електростатичних розрядів передбачено заземлення через антистатичний браслет. Компоненти електромонтажу виконано з матеріалів категорії UL94-V0 – це клас вогнестійкості полімерів, що характеризується самозагасанням протягом 10 секунд після припинення дії полум'я. Відповідну характеристику описано у [30].

Випробування пристрою в умовах надлишкової вологості не планується. Проте всі з'єднання оброблено силіконовим компаундом для запобігання короткому замиканню у разі випадкового потрапляння вологи. Такий рівень ізоляції дозволяє зберігати експлуатаційну безпеку без використання

герметичного корпусу. В умовах домашнього використання це забезпечує додаткову безпеку без необхідності застосування герметичного корпусу.

3.3 Висновки до розділу 3

У процесі розробки підсилювача потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором враховано ключові аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці. Особлива увага приділялася ергономіці, електробезпеці та інженерно-психологічним характеристикам конструкції, які прямо впливають на комфорт та безпеку користувача під час експлуатації пристрою в побутових умовах.

Завдяки продуманому розміщенню органів керування, використанню безпечних матеріалів і конструктивній ізоляції усунено ризики ураження електричним струмом та механічних травм. Застосування мікроконтролера дозволило реалізувати адаптивну світлову індикацію, яка відповідає фізіологічним можливостям людини, не впливає на втому зору та забезпечує ефективний візуальний контроль за режимом роботи пристрою.

Здійснений розрахунок освітленості підтвердив відповідність робочої зони нормативним вимогам щодо рівня яскравості. Використані елементи живлення та електромонтажу відповідають вимогам чинних стандартів з електробезпеки. Матеріали корпусу забезпечують базову механічну і електричну ізоляцію.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						65
Зм	Арк	№ док	Підпис	Дат		

Висновки

Робота з реалізації підсилювача потужності звукової частоти з вбудованим світловим візуалізатором є актуальним технічним рішенням у сфері аудіоелектроніки. Під час виконання кваліфікаційної роботи було розроблено пристрій, який поєднує в собі високоякісне підсилення звукового сигналу та сучасну цифрову візуалізацію. Проєкт включає ретельне планування та оптимізацію схемотехнічних рішень, вибір компонентної бази, а також застосування сучасних підходів до компоновки друкованої плати та налаштування всіх ключових параметрів.

Використання САПР Altium Designer дозволило успішно здійснити всі етапи розробки — від створення електричних схем до фінального проектування друкованої плати з високою щільністю монтажу. Зокрема, завдяки цифровій індикації рівня сигналу та інтегрованому темброблоку, пристрій пропонує нові функціональні можливості для користувача, що дозволяють налаштовувати звук за індивідуальними вподобаннями та мати візуальне уявлення про характеристики аудіосигналу в реальному часі.

Аналіз наявних аналогів показав, що жоден з розглянутих пристроїв не має подібної функціональності, що підтверджує новизну і доцільність запропонованого рішення. Розроблений підсилювач потужності звукової частоти з вбудованим візуалізатором є конкурентоспроможним продуктом, що має великий потенціал для застосування у домашніх аудіосистемах, навчальних лабораторіях і демонстраційних виставках.

Виконаний дипломний проєкт не тільки продемонстрував можливості інтеграції аналогових та цифрових технологій у сфері підсилення звукового сигналу, але й дозволив досягти високого рівня технологічності, надійності та ефективності в проектуванні електронних пристроїв.

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						66
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Список використаних джерел

1. Adafruit NeoMatrix [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/libraries/adafruit-neomatrix/> (дата звернення: 14.05.2025).
2. Arduino Nano (FTDI, 5V, 16MHz, DIP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://makerhero.com/img/files/download/NANO-Datasheet.pdf> (дата звернення: 14.05.2025).
3. ArduinoFFT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/libraries/arduinofft/> (дата звернення: 14.05.2025).
4. Bourns. Змінний резистор Bourns 3362P-1-102TLF [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/BOUR/BOUR-S-A0008793914/BOUR-S-A0008793914-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).
5. Bourns. Змінний резистор Bourns 3852A-282-103AL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/30106/385126-30106314.pdf?src-supplier=Onlinecomponents.com> (дата звернення: 14.05.2025).
6. Bourns. Змінний резистор Bourns PTD902-1220F-A204 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.snapeda.com/parts/MFR-25FBF52-5K1/Yageo/datasheet/> (дата звернення: 14.05.2025).
7. Dozorska, O., Yavorska, E., Dozorskyi, V., Pankiv, I., Dediv, I., & Dediv, L. (2019, February). The Method of Indirect Restoration of Human Communicative Function. In *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)* (pp. 1–4). IEEE. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070605549&origin=recordpage>
8. Khvostivska, L., Khvostivskyi, M., Dediv, I., Yatskiv, V., & Palaniza, Y. (2023, June). Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. *CEUR Workshop*

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк 67
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

Proceedings. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172028660&origin=recordpage>

9. Molex 87439-0300 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/MOLE/MOLES59611/MOLES59611-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

10. Murata. Конденсатор Murata GRM188R71H222KA01D [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/MURE/MURE-S-A0004386736/MURE-S-A0004387666-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

11. Murata. Конденсатор Murata GRM188R71H333KA61D [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/MURE/MURE-S-A0004386736/MURE-S-A0004387666-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

12. Nykytyuk, S. Oleksiivna, Sverstiuk, A. S., Klymnyuk, S. I., Pyvovarchuk, D. S., & Palaniza, Y. B. (2023). Approach to prediction and receiver operating characteristic analysis of a regression model for assessing the severity of the course Lyme borreliosis in children. *Rheumatology*, 61(5), 345–352. <https://doi.org/10.5114/reum/173115>

13. ON Semiconductor. Транзистор BC846BLT1G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/ONSM/ONSM-S-A0009451914/ONSM-S-A0009451914-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

14. ON Semiconductor. Транзистор MMBFJ175LT1G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/ONSM/ONSM-S->

[A0002809754/ONSM-S-A0002809754-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit](#) (дата звернення: 14.05.2025).

15. ON Semiconductor. Транзистор MMBFJ201 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/ONSM/ONSM-S-A0003392874/ONSM-S-A0003590799-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

16. ON Semiconductor. Транзистор TIP35C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/985/tip35a-d-985519.pdf?src-supplier=Digikey> (дата звернення: 14.05.2025).

17. Palianytsia, Y., Dunets, V., & Khvostivska, L. (2023, November). Modeling of Phased Array Antenna for Data Transmission in Urban Environment. In *ITTAP* (pp. 370–381). <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85184364453&origin=recordpage>

18. Power Dynamics PDM25 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sonomateriel.com/power-dynamics-pdm25-amplificateur-100v-25w-bluetooth-mp3-usb-aux-avec-telecommande#additional> (дата звернення: 14.05.2025).

19. Texas Instruments UA7805CKCS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/SGST/SGSTS51092/SGSTS51092-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

20. Velychko, D., Osukhivska, H., Palaniza, Y., Lutsyk, N., & Sobaszek, Ł. (2024). Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(2), 296–304. <https://doi.org/10.12913/22998624/184343>

21. Vishay. Стабілітрон BZX55C10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheet.ciiva.com/pdfs/VipMasterIC/IC/VISH/VISH-S-A0007853513/VISH-S-A0007853513-1.pdf?src-supplier=IHS+Markit> (дата звернення: 14.05.2025).

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		69

22. Weidmuller 1716130000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/945/1716130000.pdf> (дата звернення: 14.05.2025).
23. ХКВ Connection PJ-208C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jbl-ec.com/pj-208c-trs-audio-jack-2-5mm-through-hole-right-angle-product/> (дата звернення: 14.05.2025).
24. ДСТУ EN 60228:2015. Провідники кабелів. – [Чинний від 2016-01-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2015. – 56 с.
25. ДСТУ EN 60529:2014. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (код IP). – [Чинний від 2015-01-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2014. – 105 с.
26. ДСТУ EN 61140:2016. Захист від ураження електричним струмом. Загальні вимоги до встановлення та координації електроустановок. – [Чинний від 2017-01-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 125 с.
27. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60892 (дата звернення: 14.05.2025).
28. ДСТУ ISO 6385:2005. Основні принципи ергономіки для проектування робочих систем. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 48 с.
29. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102586 (дата звернення 14.05.2025).
30. Киянка О. О., Сливка І. Я. Основи ергономіки та безпеки праці : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львів. нац. ун-ту, 2021. – 264 с.
31. Офіційний сайт Altium Designer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.altium.com> (дата звернення: 14.05.2025).

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		70

32. UKC AX-699BT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/500594019/p500594019/> (дата звернення: 14.05.2025).

33. UKC SN-799BT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/447135863/p447135863/> (дата звернення: 14.05.2025).

					ПДО 2.032.001 ПЗ	Арк
						71
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

ДОДАТКИ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“ _____ ” _____ 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему: «Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором
на світлодіодній стрічці»

Узгоджено:
Керівник дипломного проекту
Паляниця Ю.Б. _____
“ _____ ” _____ 2025р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”
Студент групи РА-41
Пітус Д.О. _____
“ _____ ” _____ 2025р.

Тернопіль, 2025

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці”

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

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Пітус Денис Олександрович групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка підсилювача потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці, що включає в себе:

- розробка схемотехнічного рішення розроблювального приладу;
- вибір компонентної бази розроблювального підсилювача;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи підсилювача;
- проектування друкованого вузла та друкованої плати приладу

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1. Основні параметри

4.1.1. Номінальна потужність: 25 Вт (4 Ом);

4.1.2. Напруга живлення: 24 В;

4.1.3. Чутливість: 250 мВ;

4.1.4. Коефіцієнт гармонік: $\leq 0,45\%$;

4.1.5. Співвідношення сигнал/шум: 77 дБ;

4.1.6. Вихідний опір: 0,15 Ом;

4.1.7. Кількість каналів: 1;

4.1.8. Діапазон регулювання тембру, у дБ:
низькі/високі частоти - ± 15 ;

4.1.9. Тип візуалізації: світлодіодна стрічка.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

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

6 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 – Стадії та етапи виконання КР

№ етапу	Назва етапу виконання КР	Термін виконання
1	Розробка та затвердження технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання, підбір бібліографічних матеріалів, необхідних для виконання роботи	
3	Розробка структурної схеми приладу	
4	Розробка схеми електрично принципової	
5	Розрахунок основних вузлів у схемі приладу	
6	Вибір компонентної бази приладу	
7	Компоновка друкованого вузла	
8	Створення допоміжної документації	
9	Розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності	
10	Нормоконтроль	
11	Перевірка роботи на анти плагіат	
12	Попередній захист КР	
13	Захист КР	

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

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

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

Додаток А – Лістинг коду для візуалізації аудіосигналу

```
#include <Adafruit_NeoMatrix.h>
#include <arduinoFFT.h>

#define SAMPLES 64
#define SAMPLING_FREQ 40000
#define AMPLITUDE 18
#define AUDIO_IN_PIN A0
#define LED_PIN 10
#define NOISE 0
#define NUM_BANDS 8
#define TOP 8

unsigned int sampling_period_us;
byte peak[NUM_BANDS] = {0};
int prevBarHeights[NUM_BANDS] = {0};
int bandValues[NUM_BANDS] = {0};
float vReal[SAMPLES];
float vImag[SAMPLES];
unsigned long newTime;

ArduinoFFT<float> FFT = ArduinoFFT<float>(vReal, vImag,
SAMPLES, SAMPLING_FREQ);

Adafruit_NeoMatrix matrix = Adafruit_NeoMatrix(
    8, 8, LED_PIN,
    NEO_MATRIX_TOP + NEO_MATRIX_RIGHT +
    NEO_MATRIX_COLUMNS + NEO_MATRIX_PROGRESSIVE,
```

```

    NEO_GRB + NEO_KHZ800
);

uint16_t gradientColor(int height) {
    float position = (float)height / (float)TOP;
    int r, g, b;
    if (position < 0.5) {
        r = (int)(position * 2 * 255);
        g = 255;
        b = 0;
    } else {
        r = 255;
        g = (int)((1.0 - (position - 0.5) * 2) * 255);
        b = 0;
    }
    return matrix.Color(r, g, b);
}

void setup() {
    matrix.begin();
    matrix.setBrightness(64);
    sampling_period_us = round(1000000.0 / SAMPLING_FREQ);
}

void loop() {
    matrix.clear();
    for (int i = 0; i < NUM_BANDS; i++) bandValues[i] = 0;
}

```

```

for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
    newTime = micros();
    vReal[i] = analogRead(AUDIO_IN_PIN);
    vImag[i] = 0;
    while (micros() - newTime < sampling_period_us) {};
}

FFT.windowing(FFT_WIN_TYP_HAMMING, FFT_FORWARD);
FFT.compute(FFT_FORWARD);
FFT.complexToMagnitude();
for (int i = 2; i < (SAMPLES / 2); i++) {
    if (vReal[i] > NOISE) {
        if (i <= 2) bandValues[0] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 3) bandValues[1] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 5) bandValues[2] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 7) bandValues[3] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 9) bandValues[4] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 13) bandValues[5] += (int)vReal[i];
        else if (i <= 18) bandValues[6] += (int)vReal[i];
        else bandValues[7] += (int)vReal[i];
    }
}

for (byte band = 0; band < NUM_BANDS; band++) {
    int barHeight = bandValues[band] / AMPLITUDE;
    if (barHeight > TOP) barHeight = TOP;
    barHeight = ((prevBarHeights[band] * 1) + barHeight)/2;
}

```

```

    prevBarHeights[band] = barHeight;

    if      (barHeight > peak[band]) peak[band] =
barHeight;

    else if (peak[band] > 0)           peak[band]--;

    int peakPos = TOP - peak[band] - 1;

    int gradientHeight = min(peak[band] + 1, TOP);

    for (int y = 0; y < gradientHeight; y++) {

        int pixelY = TOP - y;

        if (pixelY == peakPos) continue;

        uint16_t col = gradientColor(y);

        matrix.drawPixel(band, pixelY, col);

    }

    matrix.drawPixel(band, peakPos, matrix.Color(255, 255,
255));

}

for (int x = 0; x < NUM_BANDS; x++) {

    matrix.drawPixel(x, TOP, matrix.Color(255, 255, 255));

}

matrix.show();

}

```

Додаток Б – Друковані плати розроблені в САПР Altium Designer

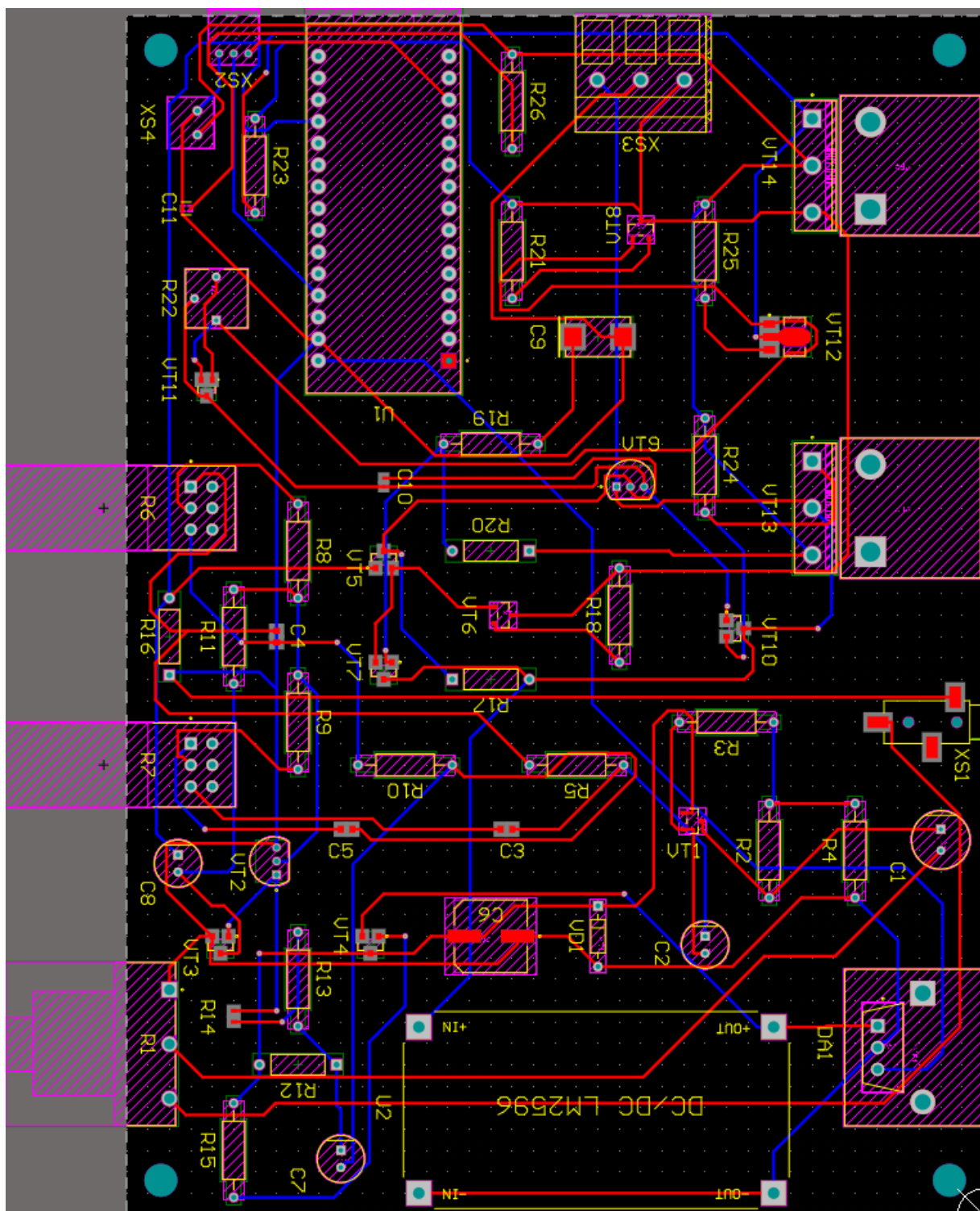


Рисунок Б1 – друкована плата робоча частина, усі шари

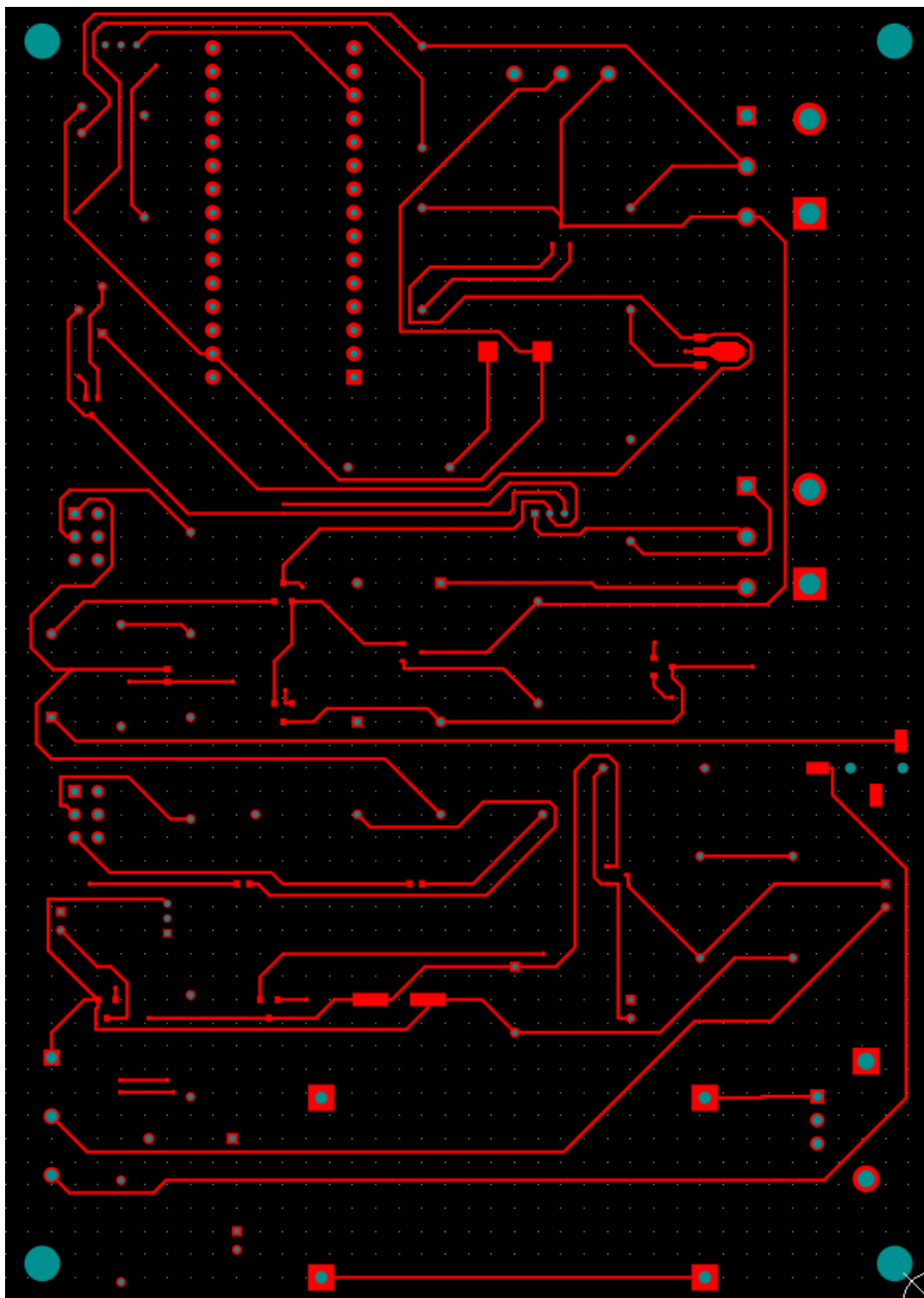


Рисунок Б2 – друкована плата робоча частина, шар Top

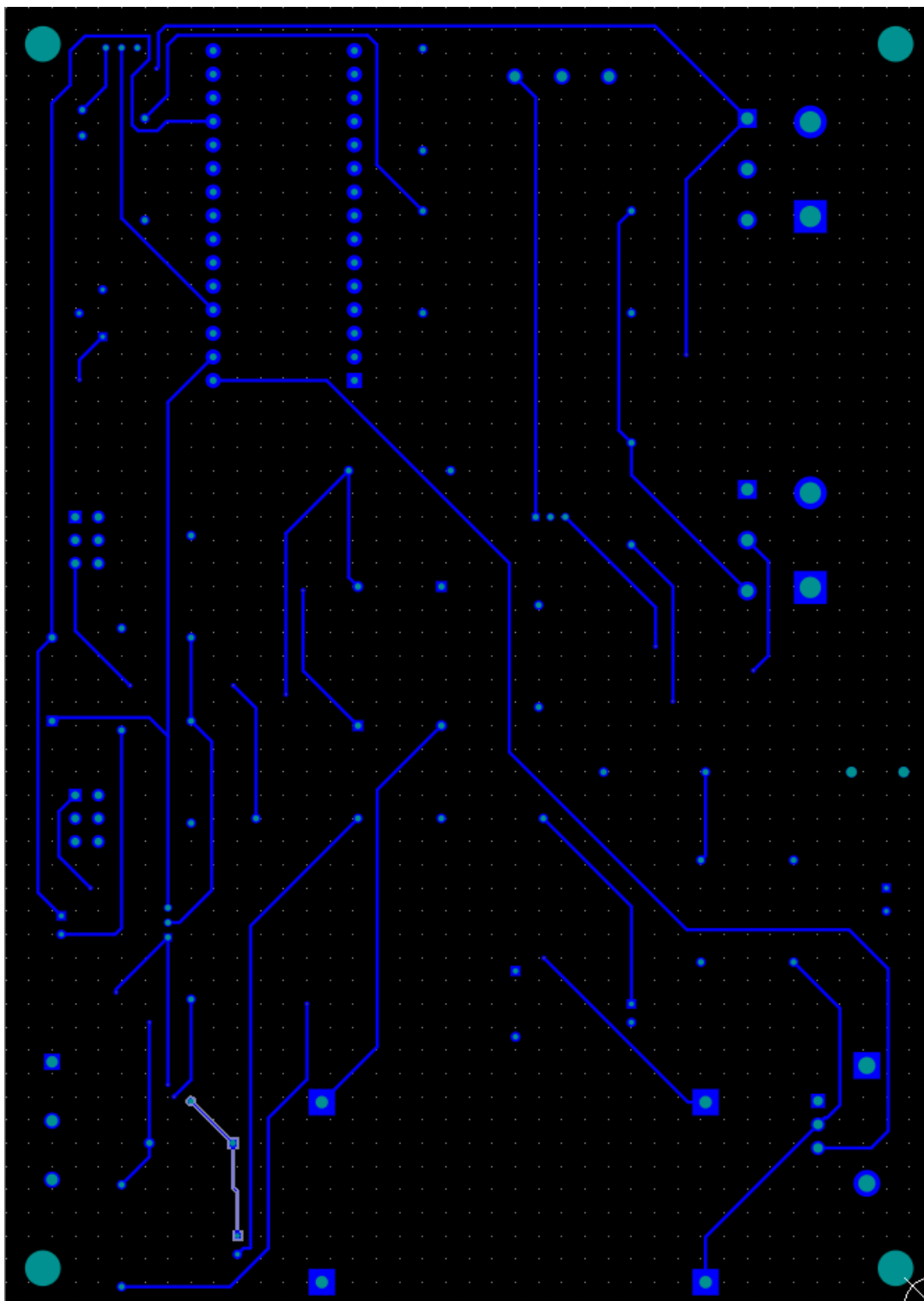


Рисунок Б3 – друкована плата робоча частина, шар Bottom

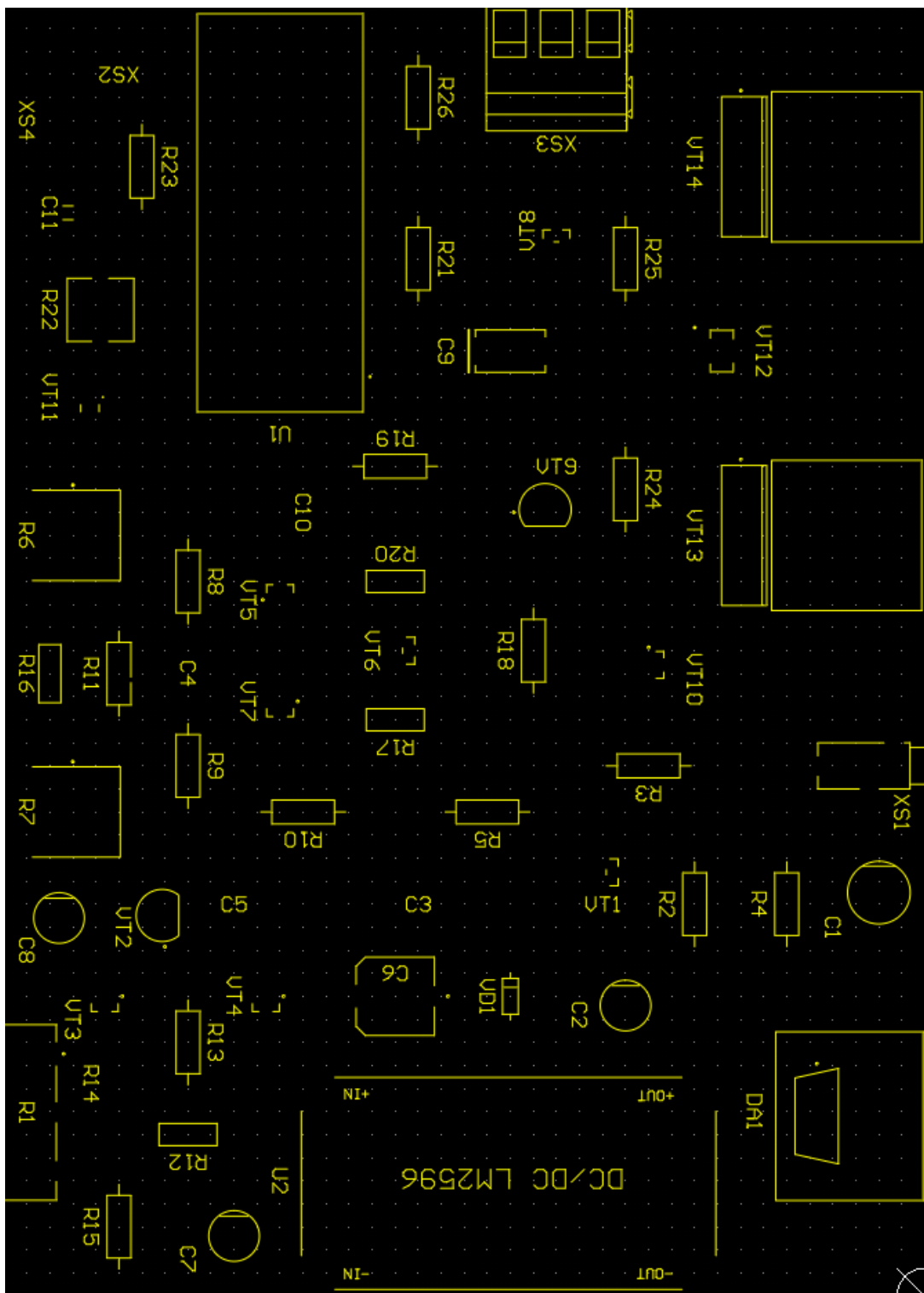


Рисунок Б4 – друкована плата робоча частина, шар Overlay

Поз. позн.	Назва	Кіл.	Примітка
	<u>Гучномовець</u>		
	SUFR6325 Sure electronics		
BA1	SUFR6325, AA-SP15121 2.5, 4 Ом, 25 Вт	1	
	<u>Схема інтегральна аналогова</u>		
	UA7805 Texas Instruments		
DA1	UA7805CKCS, 5 В, 2 А, TO-220	1	
	<u>Конденсатори</u>		
	ECE Panasonic		
	EEU Panasonic		
	EEE Panasonic		
	GRM Murata		
	GJM Murata		
	T491 KEMET		
C1	ECE-A1CKA101I, 1 мкФ, 16 В, ±20%	1	
C2, C7-C8	EEU-FR1H4R7, 4.7 мкФ, 50 В, ±20%	3	
C3, C5	GRM188R71H222KA01D, 2200 пФ, 50 В, ±15% X7R	2	
C4	GRM188R71H333KA61D, 0.033 мкФ, 50 В, ±10%, X7R	1	
C6	EEE-FK1E101P, 100 мкФ, 25 В, ±20%	1	
C9	T491D4 75M050AT, 4.7 мкФ, 50 В, ±20%	1	
C10	GRM1555C1H270JA01D, 27 пФ, 50 В, ±5%, COG	2	
C11	GJM1555C1HR15BB01D, 0.15 пФ, 50 В, ±10%, COG, ±0.1 пФ	1	
C12	NPO-220пФ±5%	1	
	<u>Модулі та з'їрки</u>		
U1	LM2596	1	
U2	FTDI, 5V, 16MHz, DIP "Arduino Nano"	1	
ПДО 2.032.001 ПЕЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис
Розробив	Пітус Д. О.		
Перевірив	Палайниця Ю. Б.		
Н. Контр	Хвостівська Л. В.		
Затвер.	Дунець В. Л.		
Реценз.	Дедів Л. Є.		
Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці			
Перелік елементів			
Літ.	Аркцш	Аркцшів	
Н	1	4	
ТНТУ, гр. РА-41			

[illegible]

[illegible]

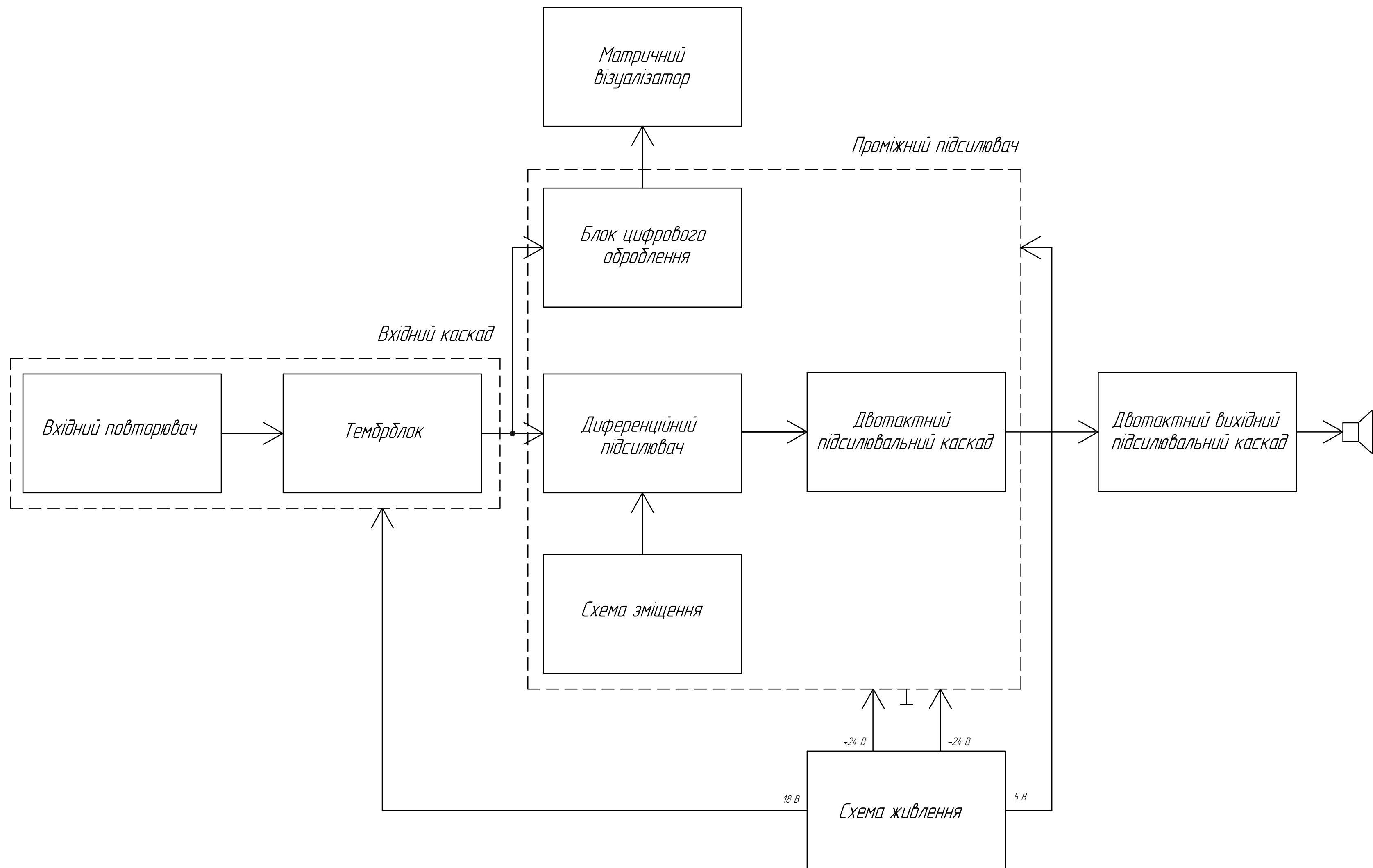
			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				GRM Murata		
				GJM Murata		
				T491 KEMET		
		3		ECE-A1CKA101I, 1 мкФ, 16 В,	1	C1
				±20%		
		4		EEU-FR1H4R7, 4.7 мкФ,	3	C2, C7-C8
				50 В, ±20%		
		5		GRM188R71H222KA01D,	2	C3, C5
				2200 нФ, 50 В, ±15% X7R		
		6		GRM188R71H333KA61D,	1	C4
				0.033 мкФ, 50 В, ±10%,		
				X7R		
		7		EEE-FK1E101P, 100 мкФ,	1	C6
				25 В, ±20%		
		8		T491D4 75M050AT, 4.7 мкФ,	1	C9
				50 В, ±20%		
		9		GRM1555C1H270JA01D,	2	C10
				27 нФ, 50 В, ±5%, COG		
		10		GJM1555C1HR15BB01D, 0.15 нФ,	1	C11
				50 В, ±10%, COG, ±0.1 нФ		
		11		NPO-220нФ±5%	1	C12
				<u>Модулі та збірки</u>		
		12		LM2596	1	U1
		13		FTDI, 5V, 16MHz, DIP	1	U2
		14		RGB, WS2812B, 5V, 64 LEDs	1	U3
				<u>Стаділітрони</u>		
				BZX55 Vishay		
				Semiconductors		

					ПДО 2.032.001	Арк. 2
ЗмН	Арк	№ докум	Підпис.	Дата		

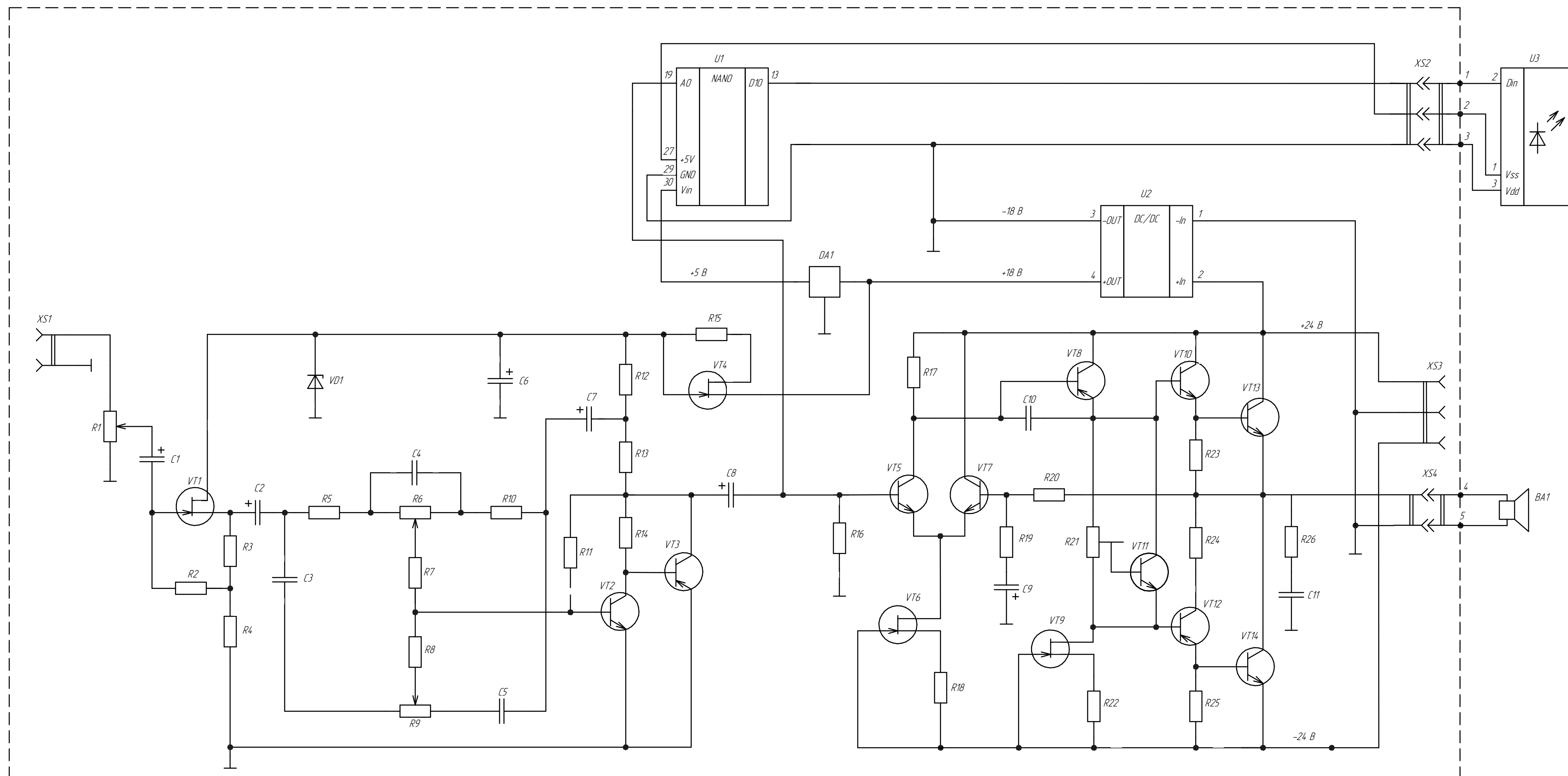
			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
		15		BZX55C10, 10 В,		VD1
				0.5 Вт, DO-35		
				<u>Транзистори</u>		
				MMBFJ ON Semiconductor		
				BC547 ON Semiconductor		
				BC846 ON Semiconductor		
				BC327 ON Semiconductor		
				MMBT390 ON Semiconductor		
				2SA1419 ON Semiconductor		
				TIP35 ON Semiconductor		
		16		MMBFJ201, N-канал,	3	VT1, VT6, VT9
				польовий, SOT-23		
		17		BC547B, NPN, 45 В, 100 мА,	1	VT2
				TO-92		
		18		BC857BLT1G, PNP, 45 В,	1	VT3
				100 мА, TO-236AB		
		19		MMBFJ175LT1G, N-канал	1	VT4
				польовий, TO-236		
		20		BC846BLT1G, NPN, 65 В,	3	VT5, VT7, VT10
				100 мА, TO-236		
		21		BC327-025G, PNP, 45 В,	1	VT8
				800 мА, TO-92		
		22		MMBT3904WT1G, NPN, 40 В,	1	VT11
				600 мА, TO-236		
		23		2SA1419S-TD-E, PNP, 160 В,	1	VT12
				1.5 А, TO-24AA		
		24		TIP35C, NPN, 100 В, 25 А,	2	VT13-VT14
				TO-218		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	ПДО 2.032.001	
						Арк.
						3

[illegible]

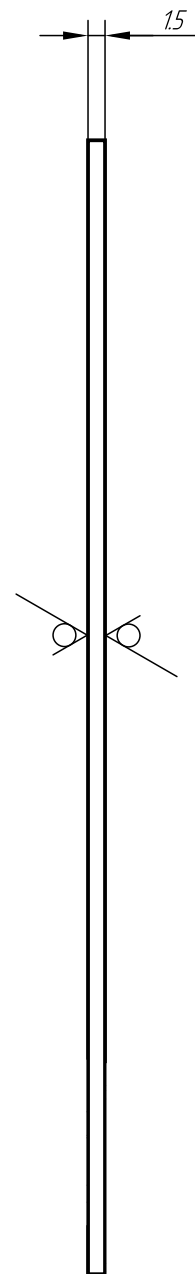
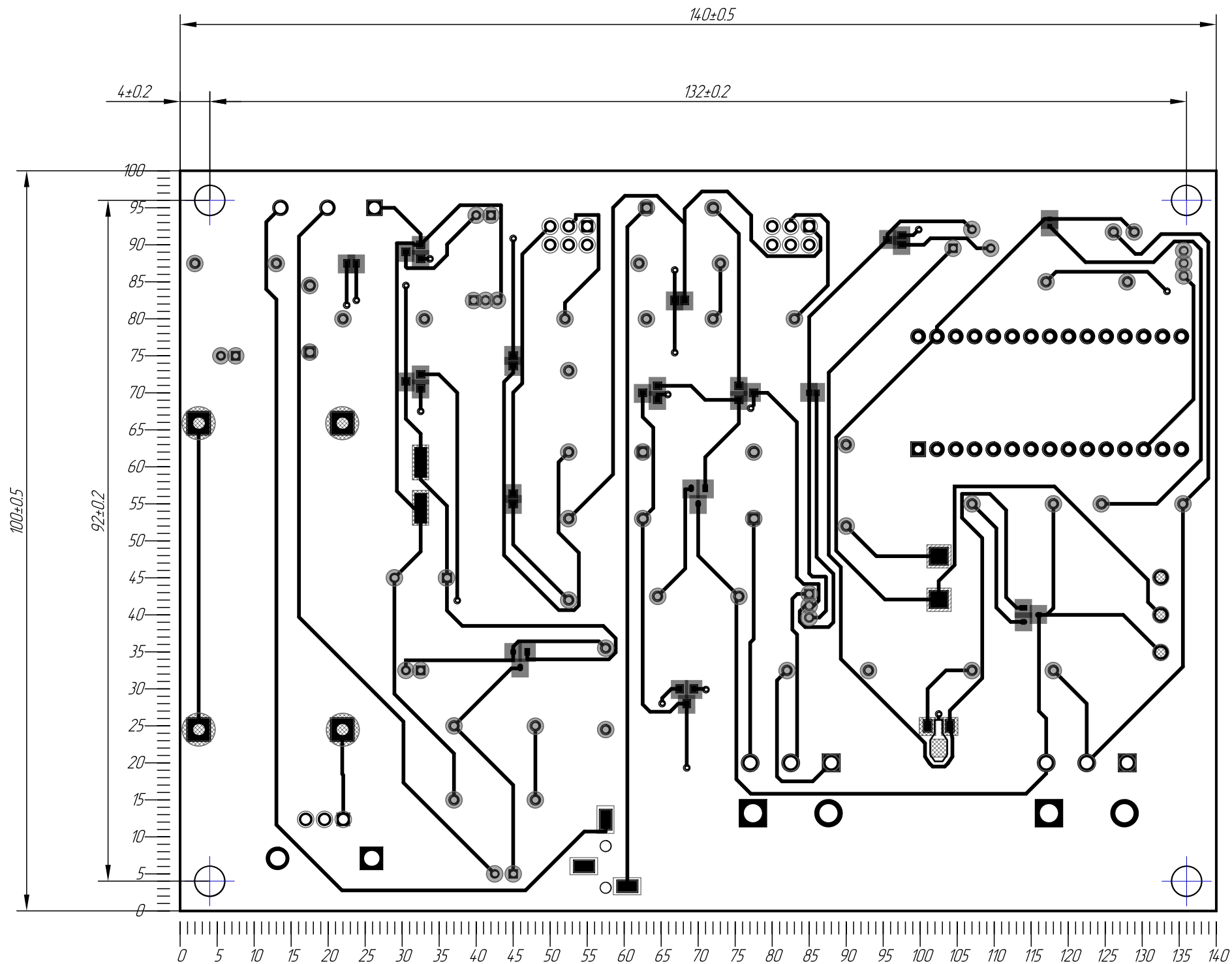
[illegible]



					ПДО 2.032.001 Е1				
					Підслювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці	Лім.		Маса	Масштаб
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата					
Розроб.	Пітус Д.О.								
Перев.	Палайниця								
Конс.									
Н.контр.	Хвостівська				Схема структурна	Лист		Листів	1
Затв.	Дичець В.П.					ТНТУ, гр. РА-41			
Рецен.	Дедів Л.Є.								

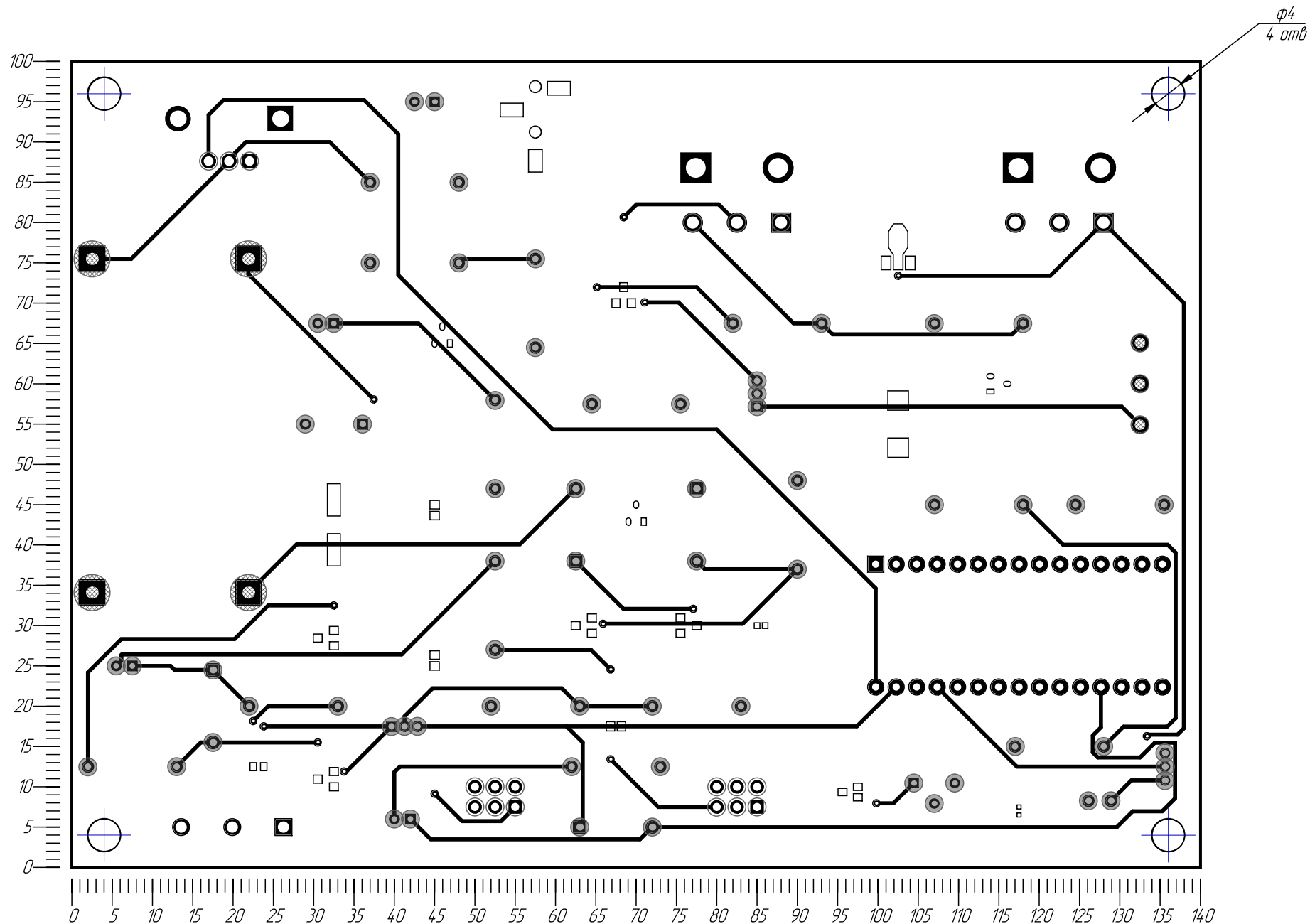


						ПДО 2.032.001 ЕЗ		
Зм.	Лист	№ док-м.	Підп.	Дата	Підслювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці	Літ.	Маса	Масштаб
Разроб.	Питус Д.О.							
Перев.	Паляниця							
Конс.								
Н.контр.	Хвостівська							
Затв.	Дунець В.П.				Схема електрично принципова	Лист	Листів 1	
Рецен.	Дедів ЛЕ.					ТНТУ, гр. РА-41		



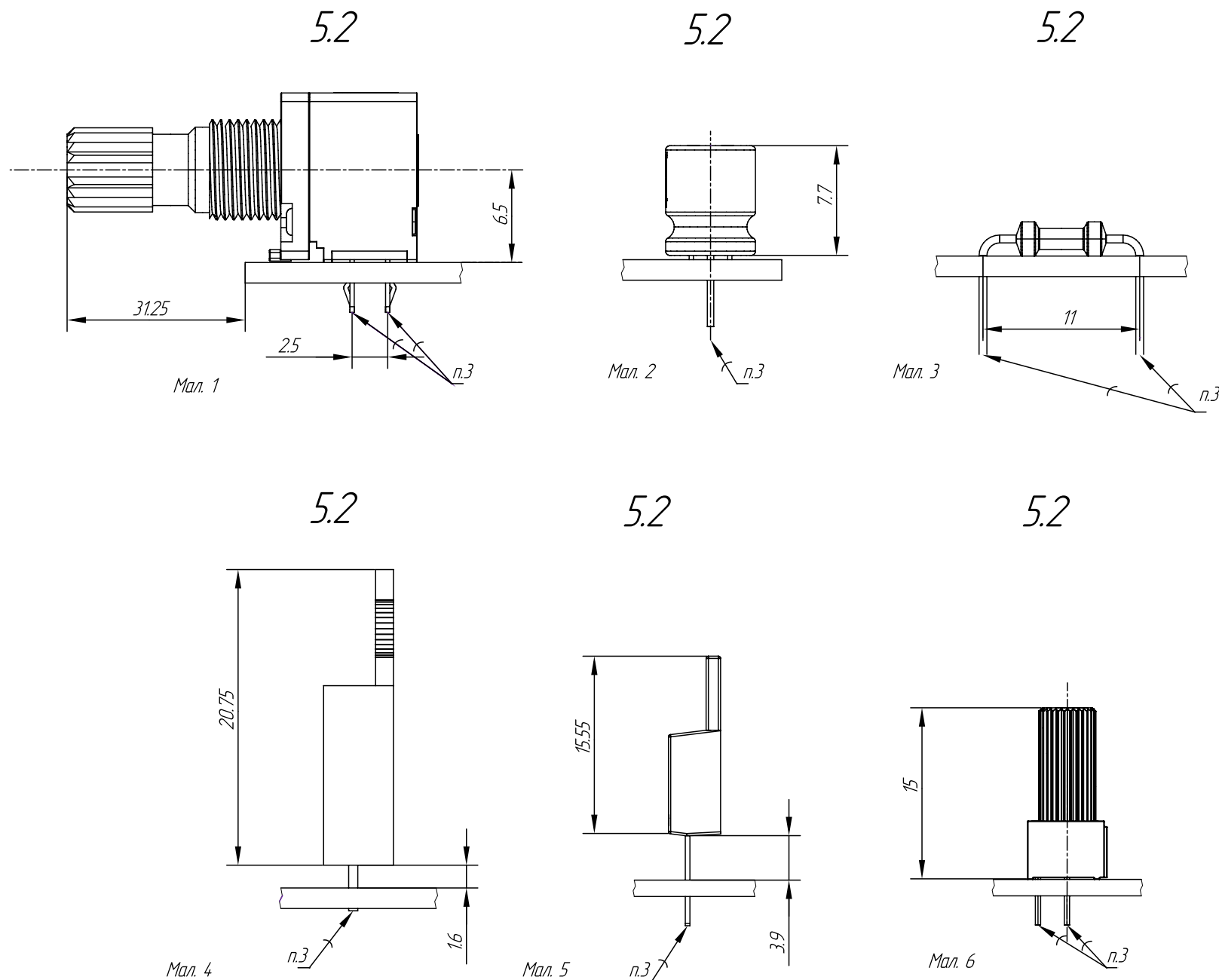
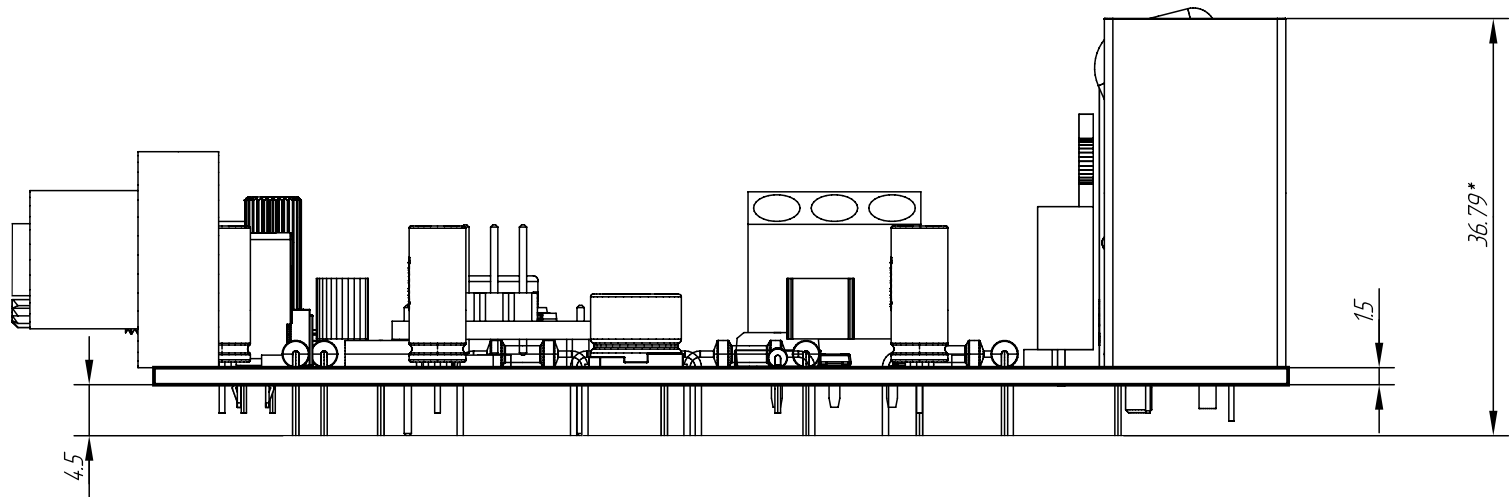
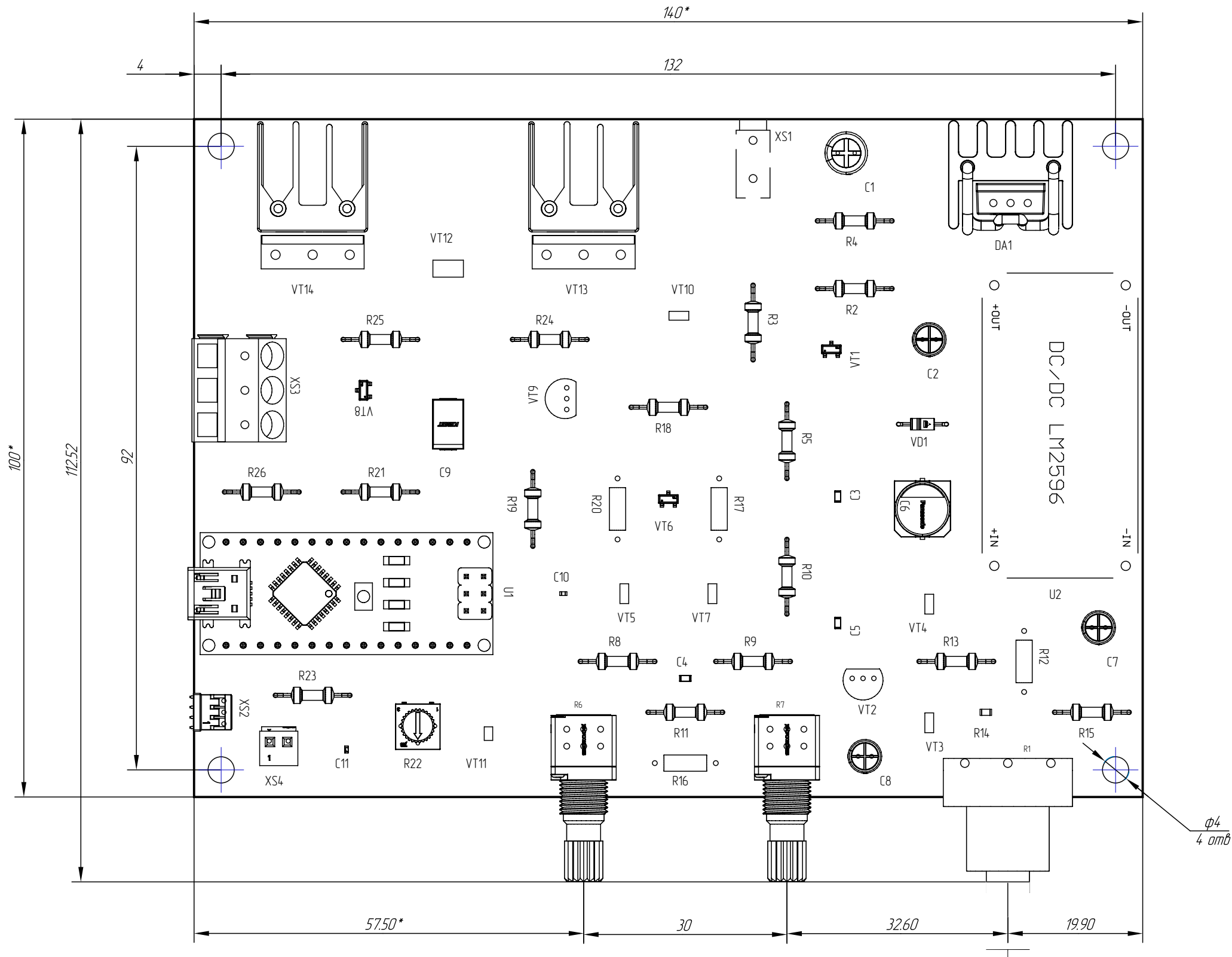
Таблиця отворів

Умовне позначення отвору	Діаметр отвору, мм	Діаметр контактної площадки, мм	Наявність металізації отворів	Кількість отворів
●	0.9	1.5	металіз.	75
○	1.0	2.0	металіз.	66
⊗	1.0	2.5	металіз.	7
■	—	1.0x0.5	—	37
□	—	2.35x2.2	—	3
▨	—	4.0x1.6	—	2
▩	—	1.5x2.65	—	5



- *Разміри для довідок
- Клас точності 3
- Крок координатної сітки 1,25 мм.
- Плату виконати комбінованим позитивним способом.
- Конфігурація друкованих провідників згідно креслення.
- Параметри отворів див. таблицю 1.
- Друкований вузол покрити лаком УР-231
ТУ 6-21-14-90
- Гартувати штамп ВТК, маркувати заводський номер фарбою маркувальною
ТНФ-01 білою,
УІТУ29-02-890-88 шрифт 2,5-ПрЗ
ГОСТ 26.020-80.
- Контактні площадки покрити припоєм ПОС-61.

						ПДО 2.032.001					
						Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці <i>Плата друкована</i>	Лім.		Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Т				0,2		
Розроб.		Пітус Д.О.									
Перев.		Паляниця Ю.Б.									
Конс.						Аркуш		Аркушів 1			
Н.контр.		Хвостівська Л.В.				ТНТУ, гр. РА-41					
Затв.		Дунець В.Л.									
Рецен.		Дедів Л.Е.									



- *Разміри для довідок
- Підготовку до монтажу виконати згідно ДСТУ 2779
- Встановлення елементів виконати згідно ДСТУ 2783. Елементи: R6, R7, встановити згідно мал.1; C1, C2, C6, C7 згідно мал.2; R постійні згідно мал. 3; VT13 – VT14 згідно мал. 4; DA1 згідно мал.5; R22 – згідно мал. 6. інші елементи – згідно креслення. Крок координатної сітки 2.5 мм.
- Пайку елементів виконувати у відповідності з ОСТ4.070.054.267. Паяти припаєм ПОС-61 ДСТУ 2784.
- Паста КПТ-8 ОСТ21 831-65
- Маркувати номер, дату, літеру зміни – шрифт 2,5 Н.О.010.007. Фарбою маркувальною ТУМС-01 чорною У1ТУУ 2-02-890-79.
- Друкований вузол покрити лаком УР-231 ТУ 6-21-14-90
- Друковані провідники умовно не показані
- Елементи з схемним позначенням показані умовно.

						ПДО 2.032.001 СК			
						Підсилювач потужності звукової частоти зі світловим візуалізатором на світлодіодній стрічці Складальне креслення			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.	Літис Д. О.					Т			
Перев.	Паляниця Ю.Б.								
Конс.						Аркуш			
Н.контр.	Хвостівська Л.В.								
Затв.	Дунець В.Л.					Аркушів			
Рецен.	Дедів Л.Е.								
						1			
						ТНТУ, гр. РА-41			