

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

До захисту допущено:

Зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

« » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньою програмою «Інтелектуальні технології радіоелектронної
техніки», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

на тему Імпульсне джерело живлення лампових пристроїв

Виконав:

студент IV курсу, групи РЕ-12

Чуйко Андрій Євгенович

Прізвище, ім'я, по батькові



Керівник:

старший викладач

Титенко Олександр Трофимович

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові



Рецензент

доцент, каф. РТС, к.т.н, професор

Піддубний Володимир Олексійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові



Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

 Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Чуйку Андрію Євгеновичу

1. Тема проєкту **«Імпульсне джерело живлення лампових пристроїв»**

2. Керівник проєкту старший викладач Титенко О. Т., затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1840-с

Строк подання студентом проєкту від 17.06.2025 року

3. Вихідні дані до проєкту: Напруга живлення +12В, струм до 4 А, наявність роз'єма Jack 6,3 мм

4. Зміст пояснювальної записки 1)Огляд існуючих рішень, 2) Розробка схеми електричної принципової 3) проектування друкованого вузла 4)Конструювання корпусу та пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Складальний кресленик плати, складальний кресленик пристрою, презентація 10 сторінок.

6. Дата видачі завдання 14 квітня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	14.04.25-06.05.25	Виконано
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.25-10.05.25	Виконано
3	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	11.05.25-18.05.25	Виконано
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.25-23.05.25	Виконано
5	Розробка друкованої плати	24.05.25-29.05.25	Виконано
6	Розробка конструкторської документації	30.05.25-05.06.25	Виконано
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.25-09.06.25	Виконано

Студент



Чуйко А.Є.

Керівник



Титенко О.Т.

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 51 сторінки, включає 16 рисунки, 5 таблиць, 8 креслення, 17 посилань, 12 додатків.

В дипломному проєкті розроблено імпульсне джерело живлення лампового гітарного підсилювача

Мета роботи – розробка пристрою, плати з компонентами та корпусу для приладу.

Особливістю дипломного проєкту є створення імпульсного джерела живлення для лампових пристроїв із вбудованою системою аналізу сигналів та автоматичного їх перемикавання, що не має успішних аналогів. Після пошуку схожих аналогічних рішень було здійснено аналіз ТЗ. Визначено необхідний функціонал та схемотехнічні особливості. Проведено пошук елементної бази, яка забезпечує потрібний функціонал та електричні характеристики, після чого складено перелік елементів. На основі отриманих результатів розроблено структурну схему, схему електричну принципову. Проведено конструкторські розрахунки габаритних розмірів друкованої плати. На основі розрахунків розроблено друкований вузол, конструкцію корпусу пристрою, складено специфікацію друкованої плати, та специфікацію на пристрій. Перевірено працездатність за допомогою розрахунків та практичним шляхом. Отримані результати відповідають вимогам, зазначеним в ТЗ.

Дипломний проект виконаний відповідно до вимог нормативних документів КПІ ім. Ігоря Сікорського та діючих державних стандартів.

Ключові слова: підсилювач, лампи, гітарний звук, джерело живлення.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 51 pages, includes 16 figures, 5 tables, 8 drawings, 17 references, 12 appendices.

In the diploma project, a switching power supply for a tube guitar amplifier was developed

The purpose of the work is to develop a device, a board with components, and a case for the device.

The peculiarity of the thesis project is the creation of a switching power supply for tube devices with a built-in signal analysis and automatic switching system that has no successful analogues.

After searching for similar analogous solutions, the technical specifications were analyzed. The required functionality and circuitry were determined. A search was conducted for an element base that provides the required functionality and electrical characteristics, after which a list of elements was compiled. Based on the results obtained, a structural diagram and a circuit diagram were developed. Design calculations of the overall dimensions of the printed circuit board were carried out. Based on the calculations, the printed assembly, the design of the device case, the PCB specification, and the device specification were developed. The performance was checked by calculations and in practice. The obtained results meet the requirements specified in the TOR.

The diploma project was carried out in accordance with the requirements of the regulatory documents of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute and current state standards.

Keywords: amplifier, tubes, guitar sound, power supply

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: Імпульсне джерело живлення лампових
пристроїв**

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ	4
1 ОГЛЯД ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ПРИБОРУ	
.....	5
1.1 Основна мета створення пристрою	5
1.2 Актуальність теми.....	6
1.3 Аналіз технічного завдання	6
1.4 Структурна схема.....	7
1.5 Опис роботи пристрою	8
2 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ.....	10
2.1 Обґрунтування схеми ІБЖ	10
2.2 Обґрунтування схеми електричної принципової підсилювача ..	19
3 РОЗРАХУНОК ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	28
3.1 Обґрунтування друкованої плати	28
3.2 Виготовлення друкованої плати	28
3.3 Матеріал основи друкованої плати.....	29
3.4 Клас точності та необхідне забезпечення	29
3.5 Вид друкованої плати.....	29
3.6 Розташування компонентів на платі.....	29
3.7 Розрахунок друкованої плати	30

					<i>PE12.43611.001 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Чуйко А.Є.</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Титенко О.Т.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

3.8 Розрахунок площі та її габаритних розмірів	30
3.9 Розрахунок ДП ІБЖ	34
4 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ	40
4.1 Огляд ДП лампового підсилювача.....	40
4.2 Огляд ДП ІБЖ	42
4.3 Огляд корпусу пристрою.....	43
Висновок	48
Перелік джерел посилань	50
Додаток А.....	51
Додаток Б.....	55
Додаток В.....	56
Додаток Г	57
Додаток Ґ.....	58
Додаток Д.....	59
Додаток Е.....	60
Додаток Є.....	61
Додаток Ж.....	62
Додаток З.....	63
Додаток И.....	64
Додаток І	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДДП — двостороння друкована плата

ДП — друкована плата

ОП — операційний підсилювач

ПЗ — пояснювальна записка

РЕА — радіоелектронна апаратура

ТЗ — технічне завдання

ТУ — технічні умови

ІБЖ — імпульсний блок живлення

РЕБ — радіо електронна боротьба

ФНЧ — фільтр низьких частот

					РЕ12.43611.001 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах електронні системи постійно еволюціонують, інтегруючись у різноманітні сфери – від побутових пристроїв до критичних військових комплексів. Особливо важливими є вакуумно-лампові прилади, які завдяки високій лінійності й стійкості до високочастотних перешкод використовуються в аудіо- та радіотехнічних рішеннях[1]. Традиційні трансформаторні блоки живлення для таких систем відзначаються значними габаритами, масою та інтенсивним тепловиділенням. Натомість імпульсні джерела живлення (ІБЖ) забезпечують високу щільність потужності при компактних розмірах, знижене енергоспоживання та ефективне розсіювання тепла завдяки застосуванню високочастотних ключових схем і оптимізованих фільтрів[2]. Крім того, широкі діапазони вхідних напруг і вбудовані системи корекції коефіцієнта потужності підвищують стабільність роботи навіть за нестабільної мережевої лінії.

У межах цього дипломного проєкту передбачено розробку імпульсного джерела живлення для вакуумно-лампових пристроїв із вихідними ланками +300 В для анодів та +6,3 В для ниток розжарення. Проєкт охоплює вибір оптимальної топології ІБЖ, інтеграцію модуля з анодними та нитковими ланками ламп, реалізацію захистів від перевантажень і коротких замикань, а також забезпечення функції плавного запуску і гальванічної розв'язки між ланками. Очікується, що результати дослідження дозволять порівняти електричні характеристики та експлуатаційну надійність нового рішення з класичними лінійними блоками живлення, підтвердивши переваги ІБЖ у лампових системах.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ПРИСТРОЮ

1.1. Основна мета створення пристрою

Ідея створення вакуумно-лампового гітарного підсилювача з імпульсним джерелом живлення обумовлена необхідністю вдосконалення систем, які традиційно використовують трансформаторні блоки, зокрема в радіолокаційних станціях із електровакуумними лампами. Перед розробкою було проведено комплекс випробувань вакуумних ламп у пульсуючому режимі: визначено їхні пікові струми, запас міцності при стрибках напруги та довговічність у режимі коротких імпульсів. Це дозволило встановити граничні параметри робочих режимів та сформулювати технічні вимоги до джерела живлення.

Традиційні лінійні вироби демонструють низький ККД (60–70 %) через суттєві втрати на розсіювання в силових елементах і потребують великих трансформаторів і фільтрів для згладжування вихідних пульсацій, що утруднює досягнення компактних розмірів та ускладнює терморегулювання. Імпульсні схеми, навпаки, застосовують високочастотні ключі (MOSFET, IGBT) та спеціалізовані ШІМ-контролери з активним коригуванням коефіцієнта потужності (PFC), що забезпечує щільність потужності, вищу ніж у лінійних, а також зниження втрат та рівня тепловиділення[3]. Використання топологій напівмосту й резонансної LLC із високочастотним трансформатором гальванічно розв'язує входи й виходи, зменшує електромагнітні перешкоди й спрощує компонування фільтрів для відповідності стандартам ЕМІ/ЕМС. Широкий діапазон вхідних напруг гарантує стабільність вихідних ланок +300 В для анодів і +6,3 В для ниток розжарення навіть за значних флуктуацій мережі.

1.2. Актуальність теми

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Раніше в радіолокаційних станціях використовувалися традиційні лінійні (трансформаторні) блоки живлення, які хоч і забезпечували надійність, проте мали суттєві недоліки: великі габарити, значна вага та обмежений діапазон вхідних напруг. Зі зростанням вимог до мобільності, швидкості реагування на пускові струми передавача та економії енергії, з'явилася необхідність замінити лінійні рішення на імпульсні джерела живлення (ІБЖ). Їхні ключові переваги – зменшення об'єму й маси енергоблоку до 50 %, підвищення ККД до 90–95 %, підтримка коливань вхідної напруги ± 15 % без втрати стабільності, зниження тепловиділення, вбудована корекція коефіцієнта потужності та гальванічна розв'язка високовольтних і низьковольтних ланок – роблять ІБЖ оптимальними для сучасних високовольтних лампових каскадів.

Щоб наочно перевірити переваги ІБЖ у застосуванні до вакуумно-лампових пристроїв, у межах дипломного проєкту запропоновано розробити гітарний ламповий підсилювач із живленням від готового імпульсного модуля. Для цього обрано блок із вихідними напругами +300 В та +6,3 В і вбудованими захистами від перенапруги і перевантаження[4]. Розроблено принципову електричну схему інтеграції модуля з анодними та нитковими ланками ламп і передбачено функцію плавного запуску (soft-start), що пом'якшує пусковий стрес на нитки розжарення та збільшує ресурс ламп. Окрім того, спроектовано екранований корпус ІБЖ із використанням феритових елементів у точках входу/виходу кабелів для додаткового придушення високочастотних завад. Такий підхід дає змогу уніфікувати компоненти, знизити експлуатаційні витрати й забезпечити стабільну якість звукового сигналу порівняно з традиційними трансформаторними джерелами.

1.3. Умови експлуатації пристрою

Згідно з технічним завданням (ТЗ), метою виконання дипломної роботи є розробка імпульсного джерела живлення для вакуумно-лампових пристроїв. Призначення розробленого модуля полягає в гарантованому формуванні високовольтної анодної (+300 В) і низьковольтної ниткової (+6,3 В) напруги за

умов коливань вхідної мережі та динамічних змін навантаження.					Арк.
					6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

PE12.43611.001 ПЗ

Кліматичні умови експлуатації імпульсного джерела живлення передбачені для помірного клімату зі середньомісячними екстремумами температур від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, відповідно до основних кліматичних виконань РЕА за ГОСТ 15150–69. Пристрій відноситься до стаціонарних РЕА, призначених для роботи на відкритому повітрі.

1.4 Структурна схема

Структурна схема пристрою наведена на рис. 1.1.

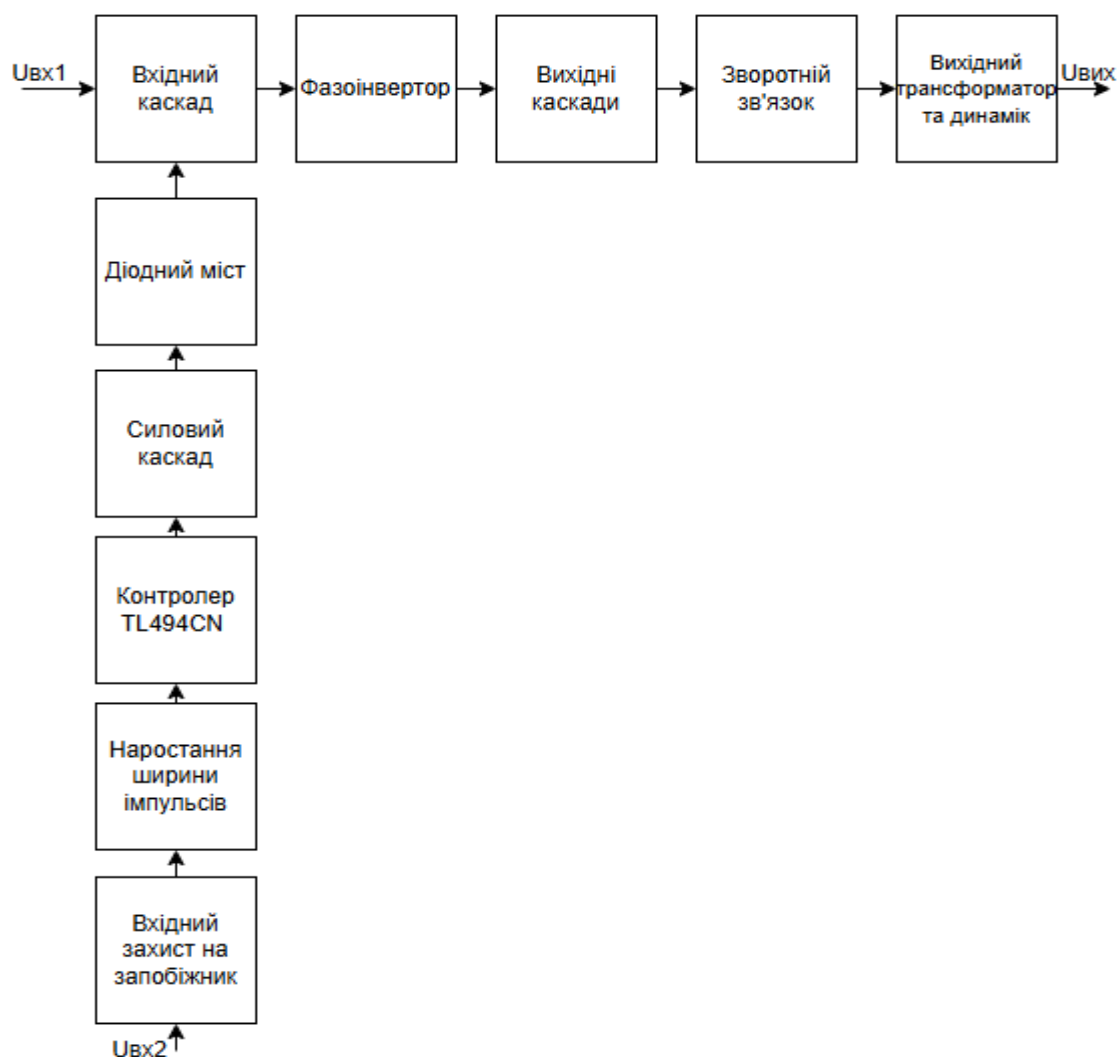


Рисунок 1.1 — Структурна схема пристрою

Структурна схема (рис. 1.1.) дає зрозуміти в якому порядку повинен працювати пристрій та які функції необхідно виконувати під час експлуатації

					Арк.
					7
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	

лампового гітарного підсилювача з імпульсним джерелом живлення. Зі схеми видно два первинні входи: $U_{вх1}$ – аудіосигнал з електрогітари; $U_{вх2}$ – напруга живлення +12 В від батарейного джерела.

Після надходження $U_{вх2}$ на вхід здійснюється захист і soft-start, що обмежує пускові струми. Далі ШІМ-контролер формує керуючі імпульси для push-pull силового каскаду[5], первинна обмотка високочастотного трансформатора перетворює +12 В в імпульси високої напруги, які випрямляються мостом і згладжуються накопичувальними конденсаторами. В результаті на виході живильної частини утворюються дві стабільні лінії живлення для ламп: анодна $U = +300$ В та ниткова $U = +6,3$ В.

Паралельно $U_{вх1}$ надходить на вхідний каскад підсилення, проходить через фазоінвертор і вихідні лампові ступені, після чого через аудіо трансформатор[6] формується вихідний звук $U_{вих}$.

У схемі присутні такі сигнали та напруги:

- $U_{вх1}$ – аудіосигнал з гітари;
- $U_{вх2}$ – живляча напруга +12 В для перетворення;
- $U_{вих}$ – підсилений аудіосигнал на виході пристрою.

1.5 Опис роботи пристрою

Згідно зі структурною схемою пристрою (рис. 1.1) видно, що на вході передбачено два сигнали: $U_{вх1}$ – аудіосигнал з електрогітари, та $U_{вх2}$ – живляча напруга +12 В від батарейного джерела. Напруга $U_{вх2}$ спочатку надходить на ланку soft-start, де RC-контур обмежує пускові струми, після чого ШІМ-контролер формує імпульси для push-pull MOSFET-ключів.

Імпульси високої частоти через первинну обмотку HF-трансформатора передаються на дві вторинні обмотки: одна забезпечує +6,3 В для розігріву ниток ламп, інша – +300 В для анодних кіл.

Кожна вторинка під'єднана до швидкодіючого випрямляча та накопичувальних конденсаторів, що згладжують пульсації до рівня десятків

					Арк.
					8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

PE12.43611.001 ПЗ

мілівольт на +6,3 В та до 0,5 В на +300 В.

Паралельно аудіосигнал $U_{вх1}$ надходить на перший ламповий каскад, проходить через фазоінвертор і вихідні лампи, а потім через вихідний трансформатор формується кінцевий звук $U_{вих}$.

SMPS-модуль оснащений вбудованими захистами OVP (від перенапруги), OCP (від перевантаження за струмом) і OTP (від перегріву), а також автоматичним блокуванням ключів при короткому замиканні та відновленням роботи після усунення аварії, що гарантує надійну та безпечну експлуатацію підсилювача.

2. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

2.1. Обґрунтування схеми електричної принципової імпульсного

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

блока живлення

Схема імпульсного джерела живлення реалізована за двотактною (push-pull) топологією, у якій головним керуючим елементом виступає ШІМ-контролер TL494CN. Цей контролер забезпечує генерацію стабільної частоти, широтно-імпульсну модуляцію керуючих сигналів для транзисторів, а також реалізацію ряду захисних функцій — від м'якого пуску до запобігання одночасному відкриттю обох силових ключів[7].

Після подачі живлення на пристрій через вимикач та запобіжник, напруга фільтрується на входних конденсаторах C6 та C7, що згладжують можливі імпульсні завади і короточасні перепади напруги. Одночасно резистивно-ємнісний ланцюг (R7–C1) формує затримку старту, забезпечуючи м'який запуск: контролер протягом кількох мілісекунд утримує виходи вимкненими, поки заряд конденсатора C1 не знизить рівень сигналу на вході dead-time control до заданого порогу, дозволяючи генерацію імпульсів.

Імпульси формуються генератором на базі внутрішнього пилоподібного генератора, частота якого задається елементами RC-ланцюга (наприклад, резистором R8 та конденсатором C3). Частота осцилятора зазвичай знаходиться в межах 20–50 кГц, а фактична частота перемикання силових ключів — удвічі нижча. Завдяки протифазному характеру керування, кожен з двох MOSFET-транзисторів (VT3, VT4) відкривається по черзі, комутуючи відповідну половину первинної обмотки трансформатора T1.

Вихідні каскади контролера TL494 не забезпечують достатнього струму для надійного керування затворами силових MOSFET-ключів, тому між ними встановлено біполярні транзисторні драйвери (VT1 і VT2). Вони працюють у режимі інверсного підсилення: коли вихід контролера активний, відповідний драйвер відкривається і подає заряд на затвор силового ключа.

Після закінчення імпульсу затвор через резистор витягується до «землі»,

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

надійно закриваючи ключ. Такий підхід дозволяє ефективно керувати потужними транзисторами навіть при роботі на високих частотах[8].

Силові ключі VT3 і VT4 (наприклад, IRL3705L) по черзі підключають свої половини первинної обмотки трансформатора до загального проводу. Центр цієї обмотки з'єднаний із шиною +12 В, тому під час роботи кожен MOSFET подає на свою частину обмотки імпульс з амплітудою, що дорівнює живленню. Завдяки такому режиму утворюється чергова (протифазна) подача енергії в трансформатор, що забезпечує симетричне перемагнічування сердечника і знижує ризик його насичення[9].

У вторинному ланцюгу трансформатора встановлена високовольтна обмотка, яка забезпечує необхідне підвищення напруги до рівня близько 300 В. Для перетворення цієї напруги у стабільну постійну використано мостову схему випрямлення на швидкодіючих діодах UF4004, які добре підходять для роботи на високих частотах завдяки низькому зворотному часу відновлення. Випрямлена напруга додатково згладжується конденсатором великої ємності (на схемі може не бути позначений), що дозволяє уникнути пульсацій та забезпечити стабільне живлення анодного кола ламп[10].

Захисні елементи відіграють ключову роль у забезпеченні надійної та безпечної роботи. Запобіжник FU1 встановлюється на вході схеми і перериває ланцюг при перевищенні допустимого струму. Діод VD1 додатково захищає бази драйверних транзисторів від перенапруг, які можуть виникати внаслідок індуктивних навантажень.

У типовому режимі навантаження MOSFET-транзистори VT3/VT4 працюють поперемінно, передаючи імпульсну енергію в трансформатор, який на виході формує підвищену напругу.

Відсутність зворотного зв'язку означає, що стабілізація вихідної напруги здійснюється лише за рахунок властивостей трансформатора та стабільного

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, що у випадку лампового підсилювача цілком припустимо.

Таким чином, дана схема реалізує ефективне перетворення енергії від джерела 12 В (наприклад, акумулятора або адаптера) у стабільну високу напругу 300 В, що дозволяє застосовувати її для живлення лампових підсилювачів низької частоти. Конструктивна простота, використання поширених елементів та висока енергоефективність роблять таку топологію привабливою для застосування у портативній аудіотехніці, а також у випадках, де недоцільно використовувати габаритні трансформаторні джерела живлення.

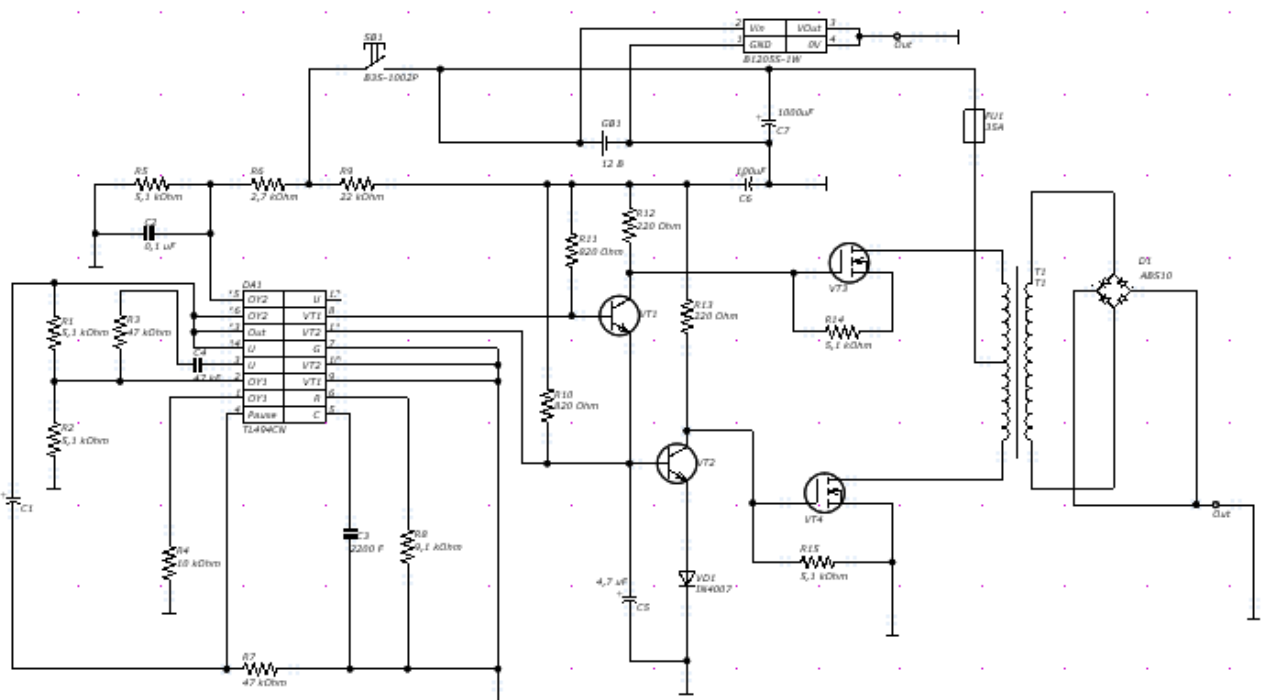


Рисунок 2.1 — Структурна схема блока живлення

2.1.1 Захист від глибокого розряду (R1, R2)

Резистори R1 і R2 формують ділник напруги, який визначає поріг мінімально допустимої напруги живлення. При падінні напруги нижче 8 В мікросхема автоматично вимикає перетворювач, запобігаючи глибокому розряду акумулятора.

2.1.2 Плавний запуск (R6, C1)

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

RC-ланцюг із R6 та C1 забезпечує «м'який старт» ШІМ-контролера. Конденсатор поступово заряджається при включенні живлення, що зменшує тривалість «мертвого часу» і запобігає різкому струмовому кидку.

2.1.3 Задавання частоти генерації (R7, C3)

Частота ШІМ-генератора задається за допомогою резистора R7 та конденсатора C3. При номіналах 68 кОм і 150 пФ частота роботи становить приблизно 40 кГц, що є оптимальним для трансформаторного перетворення.

2.1.4 Зворотний зв'язок (R11, R12)

Ці резистори формують дільник, який передає зразок вихідної напруги на вхід контролера для її стабілізації. DA1 порівнює його з опорною напругою і регулює ширину імпульсів.

2.1.5 Силові ключі (VT1, VT2)

MOSFET-транзистори керують током через первинні обмотки трансформатора. Вони відкриваються по черзі, формуючи протифазні імпульси на трансформаторі для генерації високовольтної напруги.

2.1.6 Мікросхема керування (DA1 – TL494)

Виконує генерацію імпульсів, регулювання ширини імпульсу, керування транзисторами та стабілізацію вихідної напруги. Має вбудовані підсилювачі помилки, осцилятор і стабілізатор 5 В.

2.1.7 Трансформатор T1

Перетворює імпульсну напругу з 12 В у ≈ 300 В. Має симетричні первинні обмотки і містить високовольтну вторинну. Забезпечує гальванічну розв'язку та трансформацію енергії.

2.1.8 Випрямляч (VD3–VD6)

Чотири діоди формують мостову схему випрямлення. Вони швидко перемикаються, перетворюючи імпульсну напругу трансформатора в стабільне постійне живлення для анодного кола.

2.1.9 Фільтрація живлення (C7)

Конденсатор великої ємності згладжує пульсації напруги на вході,

стабілізуючи +12 В перед подачею на силову частину схеми.

					Арк.
					13
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	

PE12.43611.001 ПЗ

2.1.10 Модуль стабілізованого живлення B1205S-1W

Це DC-DC-модуль, який перетворює напругу 12 В у стабільні 5 В з вихідною потужністю до 1 Вт. Використовується для живлення логічних або допоміжних кіл, забезпечуючи гальванічну розв'язку. Має компактні розміри та підходить для живлення мікроконтролерів або реле.

Таблиця 2.1 – Вибір компонентів для імпульсного блока живлення

Назва	Фото компоненту	Характеристика	Кількість
Резистор RC0805F51 01		— Опір – 5,1кОм; — Допуск – $\pm 1\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °C до +155 °C;	5
Резистор RC0603FR		— Опір – 10кОм; — Допуск – $\pm 1\%$; — Потужність – 0,1 Вт; — Температура від -55 °C до +155 °C;	1
Резистор RC0805F R		— Опір – 47кОм; — Допуск – $\pm 1\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °C до +155 °C;	2
Резистор RC0805J R		— Опір – 2,7кОм; — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °C до +155 °C;	1

Продовження таблиці 2.1 – вибір компонентів для імпульсного блока живлення

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		14

Резистор RC0805J R		— Опір – 9,1кОм; — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	1
Резистор RC0805J R		— Опір – 22 Ом; — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	1
Резистор RC0805F R		— Опір – 820 Ом; — Допуск – $\pm 1\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	2
Резистор RC0805JR		— Опір – 220 Ом; — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	2
Діод 1N4007		— Струм – 1 А — Максимальна зворотна напруга – 1000 В — Діапазон робочих температур від -55 °С до +150 °С	1

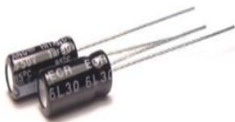
Продовження таблиці 2.1 – вибір компонентів для імпульсного блока живлення

					РЕ12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		15

Конденсатор GRM033R6 0J104KE19J		— Ємність – 0,1мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від -55 °C до +155 °C;	1
Конденсатор GCE188R 72A103KA 01D		— Ємність – 0,01 мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від -55 °C до +155 °C;	1
Конденсатор 885012106 018		— Ємність – 2200 мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від -55 °C до +155 °C;	1
Конденсатор 860011378 007		— Ємність – 47 мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від -40 °C до +105 °C;	1
DC DC Перетворювач B1205S-1W		— Вхідна напруга – 12 В DC — Вихідна напруга – 6 В DC — Потужність – 1 Вт — Температурний діапазон – –45...+85 °C	1

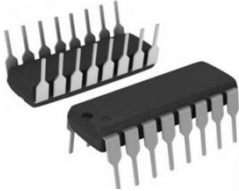
Продовження таблиці 2.1 – вибір компонентів для імпульсного блока живлення

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16

Конденсатор ECR4R7M 2AB		— Ємність – 4,7мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1
Конденсатор ECA2DHG 101B		— Ємність – 100 мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1
Конденсатор ECR102M 10B		— Ємність – 1000 мкФ; — Допуск – $\pm 10\%$; — Напруга – 6,3 В; — Температура від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1
Діодний міст ABS10		— Кількість діодів – 4 — Тип випрямляча – однофазний міст — Максимальна зворотна напруга – 1000 В — Максимальна пряма напруга V_F – 0,95 В	1

Продовження таблиці 2.1 – вибір компонентів для імпульсного блока живлення

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

Запобіжник 0679L5000 -05		— Номінальний струм – 1 А — Номінальна напруга – 125 V — Діапазон робочих температур – від -55 °C до +125 °C	1
Кнопка FS M8JH		— Тактильна — Приємна на дотик	1
Мікросхема TL494CN		— Вбудований стабілізатор – 5 В — Корпус – DIP-16 — Температура від -40 °C до +105 °C;	1
Транзистор BC547		— Кількість діодів – 4 — Тип випрямляча – однофазний міст — Максимальна зворотна напруга – 1000 В — Максимальна пряма напруга VF – 0,95 В	4
Вихідний трансформатор		— Потужність – 136 Вт — Маса – 83г	1

2.2. Обґрунтування схеми електричної принципової лампового гітарного підсилювача

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		18

Розробка електричної принципової схеми (рис. 2.2) здійснювалась на основі класичної архітектури ультралинейного лампового підсилювача, адаптованої під гітарний сигнал. Напруга живлення обрана в межах 300–350 В для забезпечення оптимального анодного потенціалу в лампах типу 6П14П (EL84), які працюють у двотактному режимі з ультралинейним включенням. Живлення анодів здійснюється через первинну обмотку вихідного трансформатора Т1, а філаменти ламп отримують 6,3 В змінного струму з окремої обмотки. Для фільтрації пульсацій використано електролітичні конденсатори (100–200 мкФ) та шунтувальні дрібноємні конденсатори (0,1–0,15 мкФ) для придушення ВЧ-шумів[11].

Вхідний каскад реалізовано на лампі 6Н2П. Перший триод підсилює гітарний сигнал до рівня, необхідного для керування фазоінвертором, який побудований на другому триоді тієї ж лампи та виконаний за схемою з розділеним навантаженням. Посилений сигнал розділяється на дві протифазні складові, які подаються на сітки вихідних ламп. Для забезпечення стабільної роботи фазоінвертора використано катодний резистор з шунтувальним електролітом, а також конденсатор малої ємності між анодом і катодом для запобігання самозбудженню[12].

Вихідний каскад побудовано на двох пентодах 6П14П, з'єднаних у двотактній конфігурації "push-pull". Другі сітки живляться від відводів первинної обмотки трансформатора, що забезпечує ультралинейний режим роботи. Катоди ламп підключено через спільний резистор автосміщення (120 Ом), шунтований конденсатором для стабілізації та зменшення НЧ-спотворень. [13]

Підбір ламп проводився з урахуванням близького значення катодного струму.

До вихідного каскаду введено глобальну негативну зворотну зв'язок, яка зменшує нелінійні спотворення та покращує частотну характеристику. Її глибина визначається номіналами послідовного резистора (22 кОм) і

конденсатора (0,1 мкФ).

					PE12.43611.001 ПЗ		Арк.
							19
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			

Компоненти підібрані з урахуванням забезпечення необхідної амплітуди, лінійності та звукового характеру. Анодні резистори забезпечують потрібний коефіцієнт підсилення, роздільні конденсатори визначають НЧ-відсічення, а додаткові малі ємності в ланцюгах ЗЗ[14] і фазоінвертора[15]– стабільну роботу в усьому діапазоні.

У практичній реалізації враховано симетрію обмоток трансформатора, екранування та розміщення компонентів для мінімізації наводок і шумів. Лампи підбиралися попарно для рівномірного навантаження в двотактному каскаді.

У результаті було створено підсилювач потужністю до 12 Вт на 4 Ом з високою лінійністю, низьким рівнем спотворень ($<0,5\%$) і зручною схемотехнікою для впровадження у друковану плату.

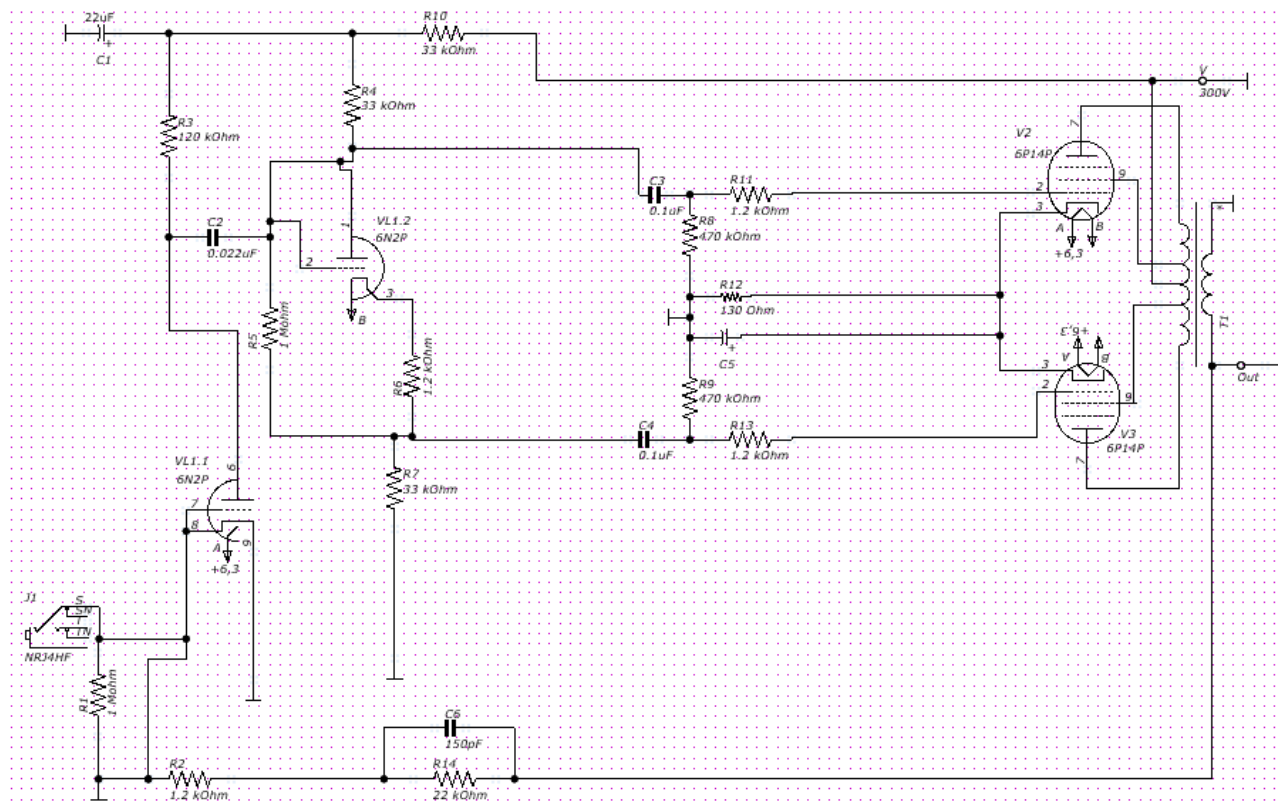


Рисунок 2.2 — Структурна схема лампового гітарного підсилювача

2.2.1 Лампа VL1 (6N2П)

Подвійний триод VL1 формує вхідний та фазоінверсний каскади. Перший триод (VL1.1) підсилює аудіосигнал з входу через регулятор гучності R1.

Анодне навантаження — резистор R2, а катодний резистор R3 із паралельним

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

електролітом забезпечує автозміщення та температурну стабільність. Другий триод (VL1.2) працює як фазоінвертор за схемою з розділеним навантаженням (R9 і R10). Конденсатор C6 між анодом і катодом знижує ймовірність самозбудження у ВЧ-діапазоні, забезпечуючи стабільну роботу.

2.2.2 Вихідні лампи VL2, VL3 (6П14П)

Пентоди утворюють двотактний підсилювач потужності з ультралинейним включенням. На сітки подаються протифазні сигнали з VL1.2. Аноди приєднані до кінців первинної обмотки трансформатора T1, екрани підключені до UL-відводів. Катоди з'єднані через резистори R13, R14, які задають струм спокою та формують автозміщення. Таке включення забезпечує високу лінійність, низький рівень спотворень і стійкість до перевантажень.

2.2.3 Вихідний трансформатор T1

Трансформатор узгоджує вихідний опір ламп з навантаженням (2–4 Ом). Первинна обмотка має відводи для ультралинейного режиму. Вторинна обмотка підключена до гучномовця. Наявність UL-відводів створює локальний зворотній зв'язок, що згладжує АЧХ і знижує нелінійні спотворення.

2.2.4 Джерело живлення

Живлення реалізоване через трансформатор T2 з двома вторинними обмотками. Високовольтна (до 300 В) подається через випрямляч VD1–VD4 та згладжується фільтром C4–C5. Низьковольтна (6,3 В) забезпечує розжарення ламп; у ланцюзі VL1 додатково встановлено R11 для зменшення напруги та зниження шуму. Дрібноємні шунти зменшують ВЧ-наводки від мережі.

2.2.5 Катодні резистори (R3, R10, R13, R14)

Ці елементи створюють автозміщення для ламп у кожному каскаді. Вони стабілізують робочі точки та компенсують температурні зміни. Паралельно

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлені електролітичні конденсатори (50–200 мкФ) покращують підсилення у НЧ-діапазоні.

2.2.6 Анодні резистори (R2, R9)

Забезпечують необхідне анодне навантаження для тріодів VL1.1 та VL1.2, визначаючи рівень підсилення та симетрію протифазних сигналів.

2.2.7 Елементи тонкорекції (R4–R8, C2, C3)

Формують фільтри низьких і високих частот. Через потенціометри користувач може змінювати баланс частот для отримання бажаного тембру. R5 і C2 – регулювання басів; R7 і C3 – контроль високих частот.

2.2.8 Глобальний ЗЗ (R12)

Резистор R12 разом із можливим конденсатором формує ланцюг зворотної зв'язки від виходу трансформатора до входу. Це вирівнює АЧХ, знижує гармоніки й стабілізує підсилювач при зміні навантаження.

2.2.9 Розжарення (R11)

Опір у ланцюзі розжарення знижує напругу ниток VL1, зменшуючи гул та електромагнітні наведення, особливо критичні для вхідних каскадів.

2.2.10 Міжкаскадні конденсатори (C1, C6)

Ці конденсатори ізолюють постійну складову між каскадами, передаючи лише змінний сигнал. C1 – між VL1.1 і VL1.2; C6 – між фазоінвертором і сітками вихідних ламп.

2.2.11 Фільтрація живлення (C4, C5 + шунти)

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

C4 і C5 забезпечують згладжування пульсацій після випрямлення. Паралельні дрібноємні конденсатори усувають високочастотні завади, покращуючи якість живлення.

2.2.12 Вхідний каскад

Сигнал з гітари надходить на потенціометр R1, далі – на VL1.1 для початкового підсилення. Це дозволяє налаштувати рівень сигналу перед фазоінверсією та вихідним каскадом.

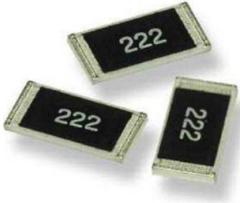
2.2.13 Ультрالیнійна і негативна зворотна зв'язок

Поєднання локальної зворотної зв'язки (через UL-відводи) і глобального ЗЗ забезпечує підвищену лінійність, стабільну АЧХ і контроль над спотвореннями в широкому діапазоні частот.

Таблиця 2.2 – Вибір компонентів для лампового гітарного підслювача					Арк.
PE12.43611.001 ПЗ					23
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	

Назва	Фото компоненту	Характеристика	Кількість
Вакуумна лампа 6Н2П		— Напруга живлення – до 300 В; — Струм анода– 9 мА; — Коефіцієнт підсилення – 35; — Внутрішній опір – 62 кОм; — Крутість характеристики – 2,2 мА/В;	1
Вакуумна лампа 6П14П		— Анодна напруга – 250 В; — Анодний струм – 48 мА; — Напруга розжарювання – 6,3 В; — Струм розжарювання – 760 мА;	2
Конденсато р 86001137 8007		— Номінальна ємність – 22 мкФ; — Робоча напруга – 400 В; — Температура -40 °С до +85 °С;	1
Конденсато р GRM033R6 0J104KE19J		— Ємність – 0,1 мкФ; — Робоча напруга – 6,3 В; — Допуск – $\pm 10\%$; — Діапазон робочих температур – від -55 °С до +85 °С;	1

Продовження таблиці 2.2— вибір компонентів для імпульсного блока живлення

Конденсатор 86001137 8007		— Ємність – 50 мкФ; — Робоча напруга – 20 В; — Діапазон робочих температур – від -40 °С до +105°С;	1
Конденсатор GCM1885C 1H151JA16 D		— Ємність – 150 пФ; — Допуск – $\pm 5\%$; — Напруга – 50 В; — Температура від -55 °С до +125 °С;	1
Резистор 35221M0F T		— Номінальний опір – 1 МОм; — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,125 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	2
Резистор 35221K2JT		— Номінальний опір – 1,2 кОм — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 0,5 Вт; — Максимальна напруга 0,95 В	4
Резистор CPF0402B1 20KE1		— Номінальний опір – 120 кОм — Допуск – $\pm 5\%$; — Потужність – 1 Вт; — Температура від -55 °С до +155 °С;	1

Продовження таблиці 2.2— вибір компонентів для імпульсного блока

живлення

Резистор 350233KJT		— Номінальний опір – 33 кОм; — Допуск – $\pm 5\%$; — Температура від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$	2
Резистор CRGP2512F 470K		— Опір – 470 кОм; — Допуск – $\pm 1\%$; — Напруга – 150 В; — Температура від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;	2
Резистор RP73PF2A1 30RBTDF		— Номінальний опір – 130 Ом; — Допуск – $\pm 0.1\%$; — Потужність – 0,25 Вт; — Температура від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1
Резистор 350222KFT		— Номінальний опір – 22 кОм — Допуск – $\pm 1\%$; — Потужність – 2 Вт; — Температура від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1
Конденсато р KCM55R5C 2J223JDL1 К		— Номінальна ємність – 22 нФ — Допуск – 105%; — Робоча напруга – 50 В; — Температура від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$;	1

Продовження таблиці 2.2— вибір компонентів для імпульсного блока живлення

Вихідний трансформатор		— Вихідна потужність – 40 Вт; — Первинна обмотка – 8 кОм — Вторинна обмотка – 8, 16 Ом	1
------------------------	---	--	---

3 РОЗРАХУНОК ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

3.1 Обґрунтування друкованої плати

3.2 Виготовлення друкованої плати

Для виготовлення друкованої плати (ДП) було обрано позитивний комбінований метод, який поєднує хімічний і електрохімічний способи обробки. Цей підхід дозволяє ефективно формувати провідні доріжки на фольгованому з обох боків діелектричному матеріалі, шляхом селективного видалення шару міді, що утворює необхідний електричний рисунок.

Металізація отворів виконується за допомогою хімічного міднення, після чого застосовується електрохімічне нарощування шару міді, що забезпечує необхідну провідність і міцність з'єднань між шарами. Такий метод дозволяє досягти високої точності виготовлення — до 0,2 мм, хоча його точність може знижуватись через бокове підтравлювання провідників[16].

До недоліків цього способу належать значні витрати на утилізацію та регенерацію міді, а також потенційна загроза для довкілля через використання хімічних речовин. Втім, незважаючи на ці обмеження, позитивний комбінований метод залишається основним у виробництві двосторонніх друкованих плат із перехідними отворами та широко використовується в сучасній електронній промисловості[17].

3.3 Матеріал основи друкованої плати

В якості матеріалу основи друкованої плати обрано двосторонній FR-4 2 35/35-1,6. Склотекстоліт забезпечує достатню електричну та механічну міцність, температурні параметри, та стійкість до хімічних речовин. Він є найпоширенішим матеріалом для основи друкованої плати та підходить для середньої та високої щільності монтажу, але має достатньо високу вартість в порівнянні з аналогами.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		28

3.4 Клас точності та необхідне забезпечення щільності монтажу

Проектування друкованої плати буде виконуватись за третім класом точності. Цей клас доцільно застосовувати для розробки ДДП за умови низької та середньої щільності компоновки елементної бази.

За щільністю розміщення провідникового рисунку вибирається третій клас точності, оскільки він забезпечує достатню точність проектування. Конструктивні розміри третього класу точності приведено в таблиці 3.1.1 згідно з ГОСТ 23751-86.

Таблиця 3.1 — клас точності згідно з ГОСТ 23751-86

Параметри	Розмір (мм)
1 Ширина друкованих провідників	0,35
2 Прогалина між провідниками	0,35
3 Відношення діаметру отвору до товщини плати	0,3
4 Гарантійний поясок	0,1

3.5 Вид друкованої плати

Необхідно передбачити можливість монтажу компонентів з обох сторін плати, що дозволить зменшити габаритні розміри друкованої плати, за рахунок більш щільної компоновки. Враховуючи цей фактор, обирається двостороння ДП з металізованими перехідними отворами, що забезпечить розташування компонентів поверхневого монтажу та PLS роз'ємів з обох сторін плати.

3.6 Розташування компонентів на платі

Щоб забезпечити автоматизацію складальних операцій, що має велике значення для серійного випуску РЕА, обрано варіанти встановлення ЕРЕ на друкованій платі та формовки їх виводів з рекомендованих ГОСТ 29137-91, ОСТ4.091.124–79.

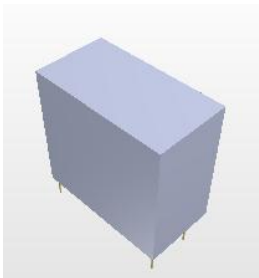
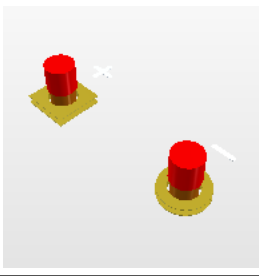
Параметри для розрахунку площі друкованої плати наведено в таблиці

3.7 Розрахунок друкованої плати

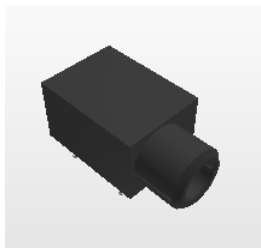
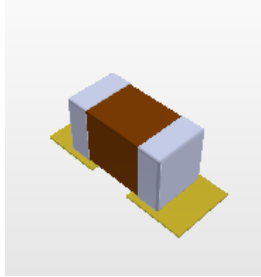
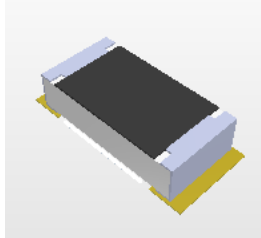
3.8 Розрахунок площі та обґрунтування її габаритних розмірів(лампового підсилювача)

Перед початком розробки друкованої плати, необхідно розрахувати достатню площу ДП S_m , якої вистачить, щоб розмістити потрібну компонентну базу з урахуванням її розмірів, кріпильних отворів, та ширини друкованих провідників усіх присутніх на схемі рівнів сигналу. Першим етапом необхідно визначити габаритні розміри усіх компонентів, що використовуються.

Таблиця 3.2 – Вхідні дані розрахунку площі друкованої плати

Назва	Позначення	Кількість	3D footprint	Загальна Площа,мм ²
Вакуумна лампа 6н2п та 6п14п	VL1-VL4	3		1656
Вихідний трансформатор	T1	1		3960
Конектор	U6, UOut	2		86

Продовження таблиці 3.2- Вхідні дані розрахунку площі друкованої плати

Роз'єм Jack 6,3	J1	1		568
Конденсатори керамічні	C1,C5	2		186
Конденсатор(SMD)	C2-C4, C6	4		12
Резистори	R1-R14	14		238

При визначенні необхідної площі плати, визначаються її габаритні розміри. Для цього необхідно враховувати допустимі розміри плати, виходячи з вибраного класу точності та щільності, допустимих габаритів приладу, максимального співвідношення сторін, умов габаритних розмірів та експлуатації, що поставлені в ТЗ.

Визначивши розміри кожного компоненту шляхом аналізу технічної документації, безпосередньо визначається площа кожного елементу, та розраховується загальна площа, яку займають відповідні компоненти, в залежності від їх розмірів, кількості, та корпусу. Необхідна площа для їх встановлення визначається за формулою:

$$S_{ПЛ} = S_{МГ} + 1,5S_{СГ} + 2S_{ВГ} + S_{КР} \text{ , (3.1)}$$

Де: $S_{ПЛ}$ - площа друкованої плати;

$S_{МГ}$ - площа малогабаритних компонентів;

$S_{СГ}$ - площа середньогабаритних компонентів;

$S_{ВГ}$ - площа великогабаритних компонентів;

$S_{КР}$ - площа кріпильних отворів.

Для знаходження площі друкованої плати необхідно скористатись формулою 3.2. До малогабаритних компонентів можемо віднести резистори, конектор(для проводів) та вивідні конденсатори та конденсатори, що знаходяться у корпусах SMD 0805, 1206. До середньо габаритних компонентів можна віднести вхідний роз'єм для джеку 6,3мм. До крупно габаритних компонентів можна віднести вакуумні лампи та вихідний трансформатор. Маємо усі необхідні параметри, які наведено в таблиці 3.2. Таким чином, можемо підставити відомі параметри.

Згідно з таблицею 3.2 площа, яку займають малогабаритні компоненти:

- Резистори: $S_p = 238 \text{ мм}^2$
- Конденсатори керамічні: $S_{KK} = 186 \text{ мм}^2$;
- Конденсатори (SMD): $S_{Ksmd} = 12 \text{ мм}^2$;
- Конектор(для проводів): $S_k = 86 \text{ мм}^2$;

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		32

Знайдемо загальну площу, яку займають малогабаритні компоненти:

$$S_{MG} = S_p + S_{KK} + S_{Ksm} + S_k = 238 + 186 + 12 + 86 = 522 \text{ мм}^2;$$

Таким чином, площа яку займають малогабаритні компоненти:

$$S_{MG} = 522 \text{ мм}^2$$

Згідно з таблицею 3.2 площа, яку займають середньо габаритні компоненти:

- Роз'єм для джеку 6,3мм: $S_{роз} = 568 \text{ мм}^2$

Таким чином, площа яку займають середньогабаритні компоненти:

$$S_{роз} = 568 \text{ мм}^2$$

Згідно з таблицею 3.2 площа, яку займають великогабаритні компоненти:

- Вакуумні лампи: $S_{VL} = 1656 \text{ мм}^2$
- Вихідний трансформатор: $S_T = 3960 \text{ мм}^2$

Відповідно, маючи необхідні параметри, визначимо загальну площу, яку займають великогабаритні компоненти:

$$S_{BG} = S_{VL} + S_T = 1656 + 3960 = 5616 \text{ мм}^2$$

Площа, яку займають допоміжні зони: $S_{KP} = a * b = 6 * 6 = 36 \text{ мм} ;$

Маючи усі необхідні результати, підставимо отримані параметри в формулу 3.1, та отримаємо загальну площу плати:

$$S_{пл} = \frac{S_{MG} + 1,5 * S_{кр} + 2 * S_{BG} + S_{кр}}{1,5} = \frac{522 + 1,5 * 568 + 2 * 5616 + 36}{1,5} = 8428 \text{ мм}^2$$

Для допоміжних зон необхідно виділяти конкретну площу на площині плати. Такі зони необхідні для коректного розміщення компонентної бази та кріпильних отворів, за допомогою яких плата буде кріпитися до корпусу.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

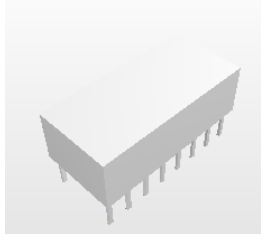
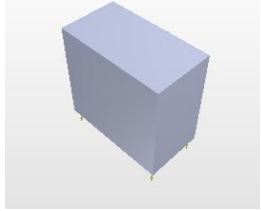
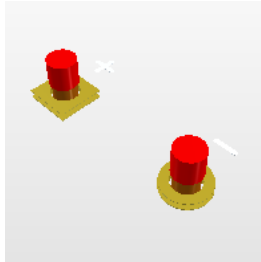
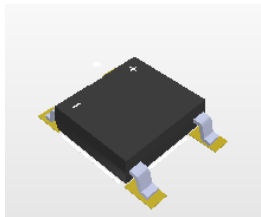
На основі отриманих результатів загальної площі плати, оптимальні розміри друкованої плати є 49х172 мм. Для пристрою, що розроблюється, прийнято рішення обрати двосторонню друковану плату з розмірами 60х150 мм. Вибір таких розмірів обумовлюється забезпеченням менш щільної компоновки елементної бази, друкованих провідників та забезпечення більшої площі кріпильних отворів.

3.9 Розрахунок площі та обґрунтування її габаритних розмірів (імпульсного блока живлення)

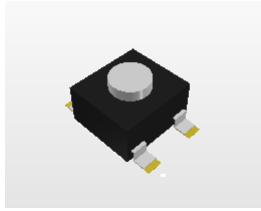
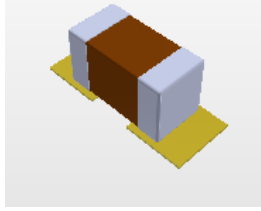
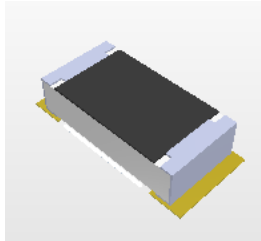
Перед початком розробки друкованої плати, необхідно розрахувати достатню площу ДП S_m , якої вистачить, щоб розмістити потрібну компонентну базу з урахуванням її розмірів, кріпильних отворів, та ширини друкованих провідників усіх присутніх на схемі рівнів сигналу. Першим етапом необхідно визначити габаритні розміри усіх компонентів, що використовуються.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

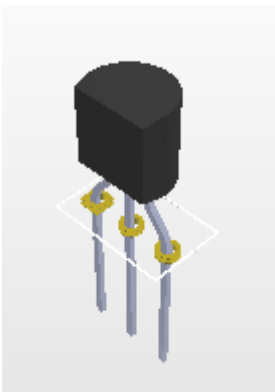
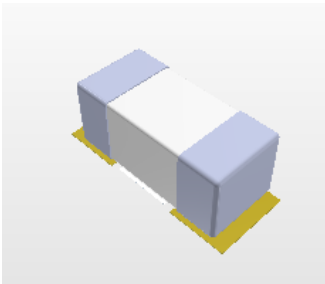
Таблиця 3.3 – Вхідні дані розрахунку площі друкованої плати

Назва	Позначення	Кількість	3D footprint	Загальна Площа, мм ²
Імпульсний регулятор напруги	DA1	1		171
Вихідний трансформатор	T1	1		2275
Конектор	UOut, GB1	2		86
Діодний міст	D1	1		43

Продовження таблиці 3.3 – Дані розрахунку площі друкованої плати

Кнопка	SB1	1		67
Конденсатори керамічні	C1,C5, C6, C7	4		372
Конденсатор(SMD)	C2,C4, C3	3		9
Резистори	R1-R15	15		255
Діод	VD1	1		40

Продовження таблиці 3.3 – Дані розрахунку площі друкованої плати

Транзистори	VT1- VT4	4		92
Запобіжник	FU1	1		22

При визначенні необхідної площі плати, визначаються її габаритні розміри. Для цього необхідно враховувати допустимі розміри плати, виходячи з вибраного класу точності та щільності, допустимих габаритів приладу, максимального співвідношення сторін, умов габаритних розмірів та експлуатації, що поставлені в ТЗ.

Визначивши розміри кожного компоненту шляхом аналізу технічної документації, безпосередньо визначається площа кожного елементу, та розраховується загальна площа, яку займають відповідні компоненти, в залежності від їх розмірів, кількості, та корпусу. Необхідна площа для їх встановлення визначається за формулою:

$$S_{ПЛ} = S_{МГ} + 1,5S_{СГ} + 2S_{ВГ} + S_{КР} \text{ , (3.1)}$$

Де: $S_{ПЛ}$ - площа друкованої плати;

$S_{МГ}$ - площа малогабаритних компонентів;

$S_{СГ}$ - площа середньогабаритних компонентів;

S_{BG} - площа великогабаритних компонентів;

S_{KP} - площа кріпильних отворів.

Для знаходження площі друкованої плати необхідно скористатись формулою 3.3. До малогабаритних компонентів можемо віднести резистори, конектор(для проводів, конденсатори, запобіжник, діод. До середньогабаритних компонентів можна віднести діодний міст, кнопку, транзистори. До крупногабаритних компонентів можна віднести мікросхему регулятора напруги та вихідний трансформатор. Маємо усі необхідні параметри, які наведено в таблиці 3.3. Таким чином, можемо підставити відомі параметри.

Згідно з таблицею 3.3 площа, яку займають малогабаритні компоненти:

- Резистори: $S_p = 255 \text{ мм}^2$
- Конденсатори керамічні: $S_{KK} = 372 \text{ мм}^2$;
- Конденсатори (SMD): $S_{Ksmd} = 9 \text{ мм}^2$;
- Конектор(для проводів): $S_k = 86 \text{ мм}^2$;
- Запобіжник $S_z = 22 \text{ мм}^2$
- Діод $S_d = 40 \text{ мм}^2$

Знайдемо загальну площу, яку займають малогабаритні компоненти:

$$S_{MG} = S_p + S_{KK} + S_{Ksmd} + S_z + S_k + S_d = 255 + 372 + 9 + 86 + 22 + 40 = 784 \text{ мм}^2;$$

Таким чином, площа яку займають малогабаритні компоненти:

$$S_{MG} = 784 \text{ мм}^2$$

Згідно з таблицею 3.3 площа, яку займають середньогабаритні компоненти:

- Транзистори: $S_{TP} = 92 \text{ мм}^2$
- Діодний міст: $S_{DM} = 43 \text{ мм}^2$
- Кнопка: $S_{KH} = 67 \text{ мм}^2$

Знайдемо загальну площу, яку займають середньогабаритні компоненти:

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{CG} = S_{mp} + S_{\partial M} + S_{KH} = 92 + 43 + 67 = 202 \text{ мм}^2;$$

Таким чином, площа яку займають середньогабаритні компоненти:

$$S_{\text{роз}} = 202 \text{ мм}^2$$

Згідно з таблицею 3.3 площа, яку займають великогабаритні компоненти:

- Регулятор напруги: $S_{pH} = 171 \text{ мм}^2$
- Вихідний трансформатор: $S_T = 2275 \text{ мм}^2$

Відповідно, маючи необхідні параметри, визначимо загальну площу, яку займають великогабаритні компоненти:

$$S_{BG} = S_{VL} + S_T = 171 + 2275 = 2446 \text{ мм}^2$$

Площа, яку займають допоміжні зони: $S_{KP} = a * b = 6 * 6 = 36 \text{ мм} ;$

Маючи усі необхідні результати, підставимо отримані параметри в формулу 3.1, та отримаємо загальну площу плати:

$$S_{\text{пл}} = \frac{S_{MG} + 1,5 * S_{CG} + 2 * S_{BG} + S_{KP}}{1,5} = \frac{784 + 1,5 * 202 + 2 * 2446 + 36}{1,5} = 4010 \text{ мм}^2$$

Для допоміжних зон необхідно виділяти конкретну площу на площині плати. Такі зони необхідні для коректного розміщення компонентної бази та кріпильних отворів, за допомогою яких плата буде кріпитися до корпусу.

На основі отриманих результатів загальної площі плати, оптимальні розміри друкованої плати є 33x122 мм. Для пристрою, що розроблюється, прийнято рішення обрати двосторонню друковану плату з розмірами 40x105 мм. Вибір таких розмірів обумовлюється забезпеченням менш щільної компоновки елементної бази, друкованих провідників та забезпечення більшої площі кріпильних отворів.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		39

4 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

4.3 Огляд друкованої плати лампового підсилювача

Після розробки структурної схеми, схеми електричної принципової, аналізу ринку електронних компонентів та остаточного вибору необхідної компонентної бази можна переходити до трасування друкованої плати в системі автоматизованого проєктування Altium Designer. Ця САПР дозволяє виконати весь етап проєктування, моделювання друкованої плати, та оформлення технічної документації.

На рис. 4.1 наведено верхній шар друкованої плати, яку розроблено в системі автоматичного проєктування Altium Designer.

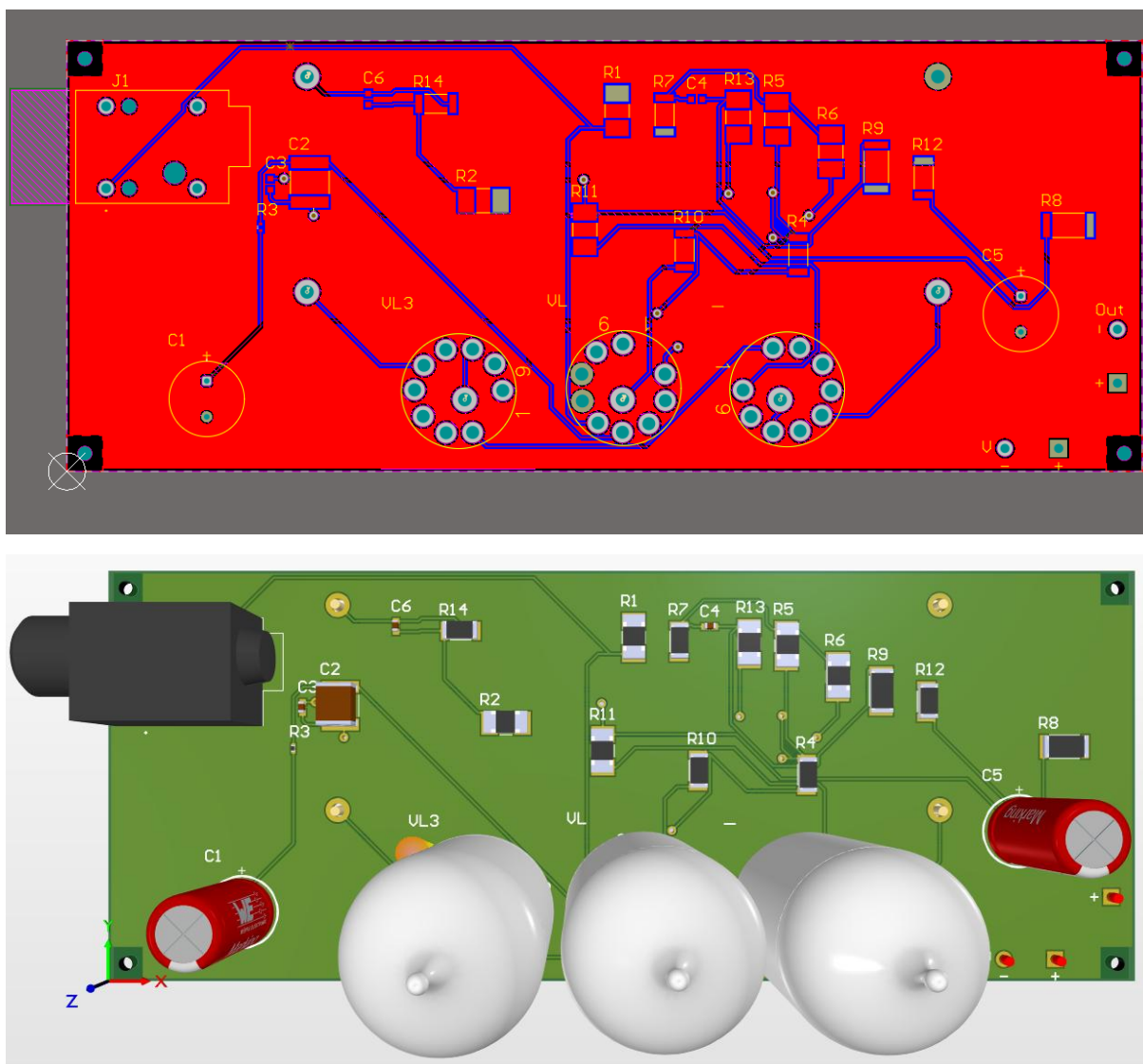


Рис. 4.1 – Друкована плата в САПР Altium Designer (верхній шар)

На верхньому шарі друкованої плати розташовано вхідний роз'єм під джек

PE12.43611.001 ПЗ

Арк.

40

Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

6,3 мм. У цей роз'єм підключається електрогітара, сигнали якої, проходять на вхідний каскад. Також, на верхньому шарі знаходяться компоненти U6, UOut. Через перший компонент до схеми лампового підсилювача підключається імпульсний блок живлення та віддає напругу 300В. Відповідно, через другий компонент підключається динамік, на який виходить підсилений сигнал.

На рис. 4.2 наведено нижній шар друкованої плати, яку розроблено в системі автоматичного проєктування Altium Designer.

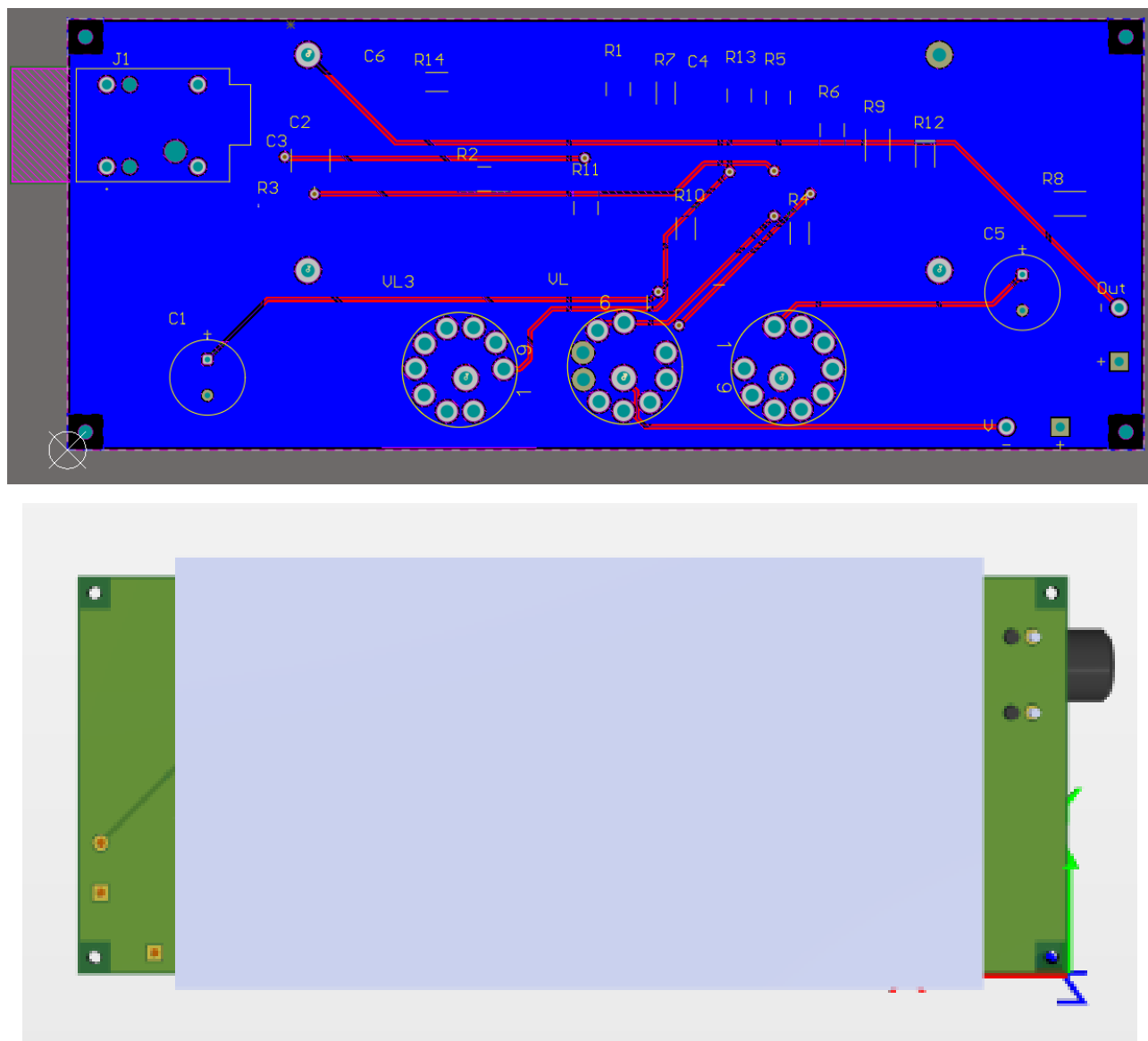


Рис. 4.2 – Друкована плата в САПР Altium Designer (нижній шар)

4.4 Огляд друкованої плати імпульсного блока живлення

На рис. 4.3 наведено нижній шар друкованої плати, яку розроблено в

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

системі автоматичного проєктування Altium Designer.

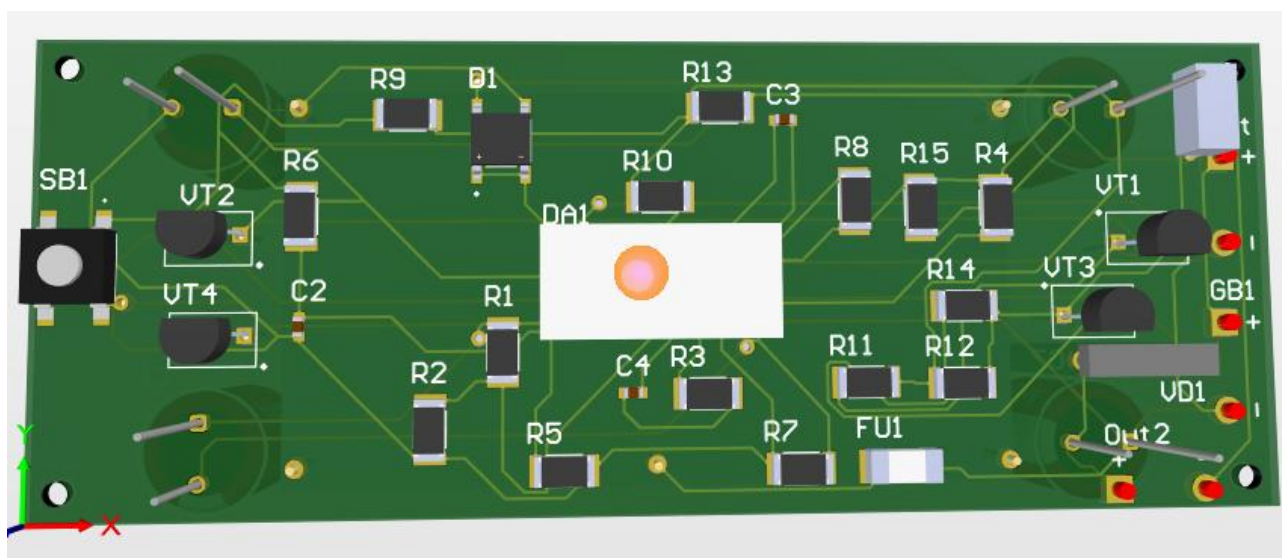
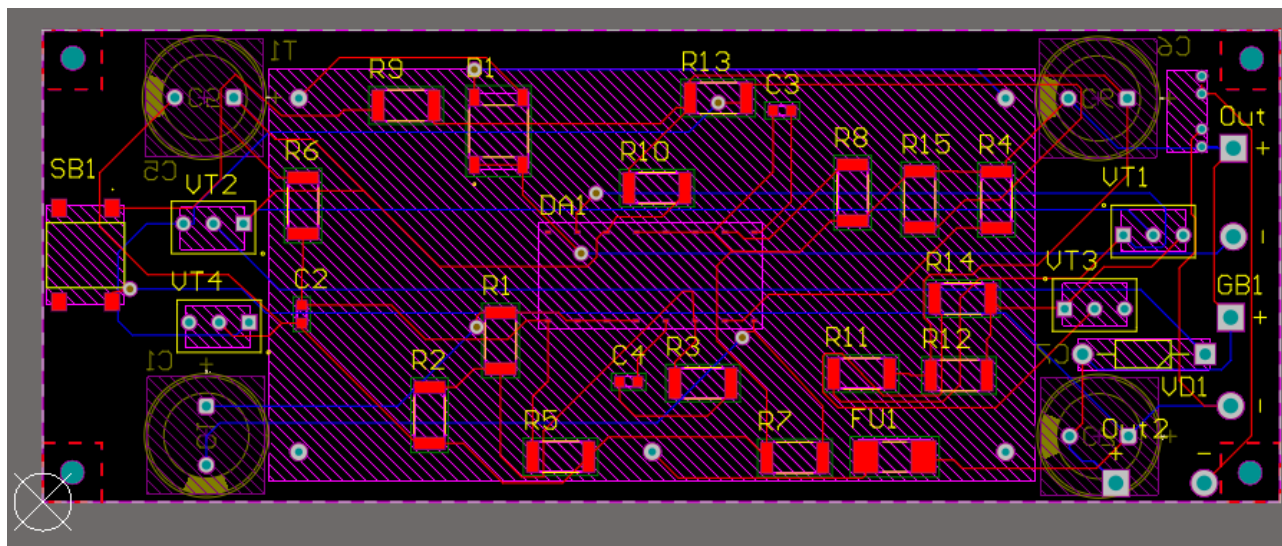


Рис. 4.3 – Друкована плата в САПР Altium Designer (верхній шар)

На рис. 4.3 наведено нижній шар друкованої плати, яку розроблено в системі автоматичного проєктування Altium Designer.

4.5 Огляд корпусу пристрою

Наступним етапом проєктування є розробка корпусу для друкованої плати. Корпус використовується для захисту плати пристрою від механічних пошкоджень, що можуть виникнути через вплив зовнішнього середовища. Корпус складається з лівої та правої частини, які з'єднуються між собою за допомогою заїзду однієї частини корпусу на іншу.

Кріплення друкованої плати до корпусу відбувається за допомогою кріпильних отворів, які було попередньо закладено при розробці плати, та

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		42

гвинтів М3 формату, що вкручуються у відповідні стойки на нижній частині корпусу.

На рисунку 4.3.1 зображений загальний вигляд пристрою. Габаритні розміри корпусу – 160х130х201мм. У одній частині корпусу знаходиться плата гітарного лампового підсилювача та кріпиться за допомогою гвинтів. У іншій частині корпусу знаходиться плата імпульсного блока живлення, до корпусу кріпиться, також, за допомогою гвинтів. Плата імпульсного блока живлення була екранована, щоб мінімізувати вплив, у виглядів завад, на вихідний сигнал.

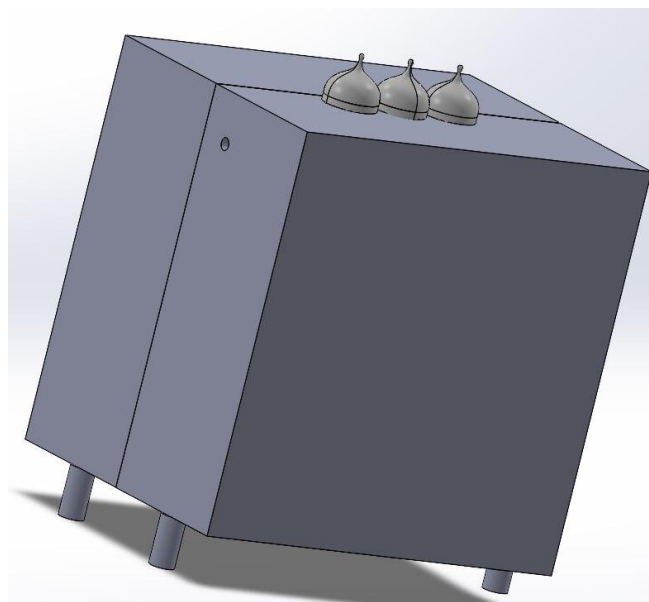


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд пристрою

На рисунках 4.4-4.6 буде оглянута частина корпусу що містить імпульсний блок живлення. Усередині корпусу є достатньо місця для розташування аккумулятора 12 вольт, що буде кріпитися до плати блока живлення, за допомогою проводів. Також, знизу даної частини, розміщено кнопку, що вмикає даний пристрій. Верхню частину плати було екрановано, знизу плати зберігається відкритий доступ до конекторів для проводів, що знаходяться на платі.

					РЕ12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		43

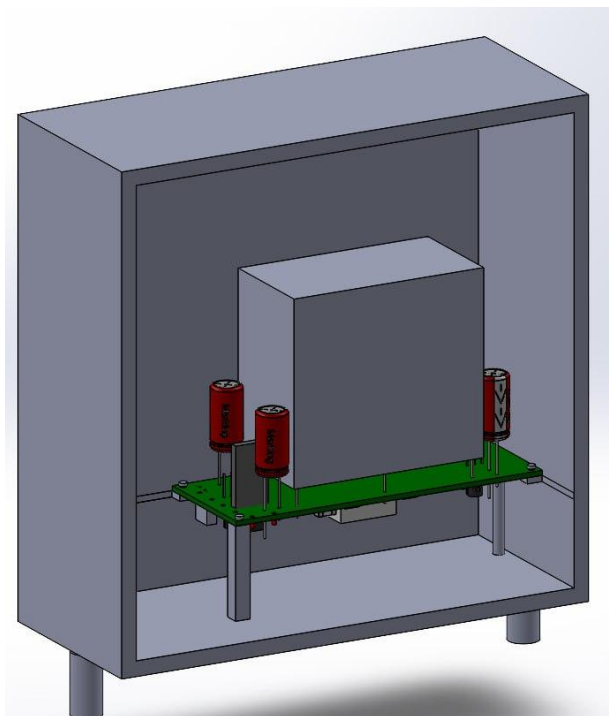


Рисунок 4.5 – Частина корпусу з блоком живлення

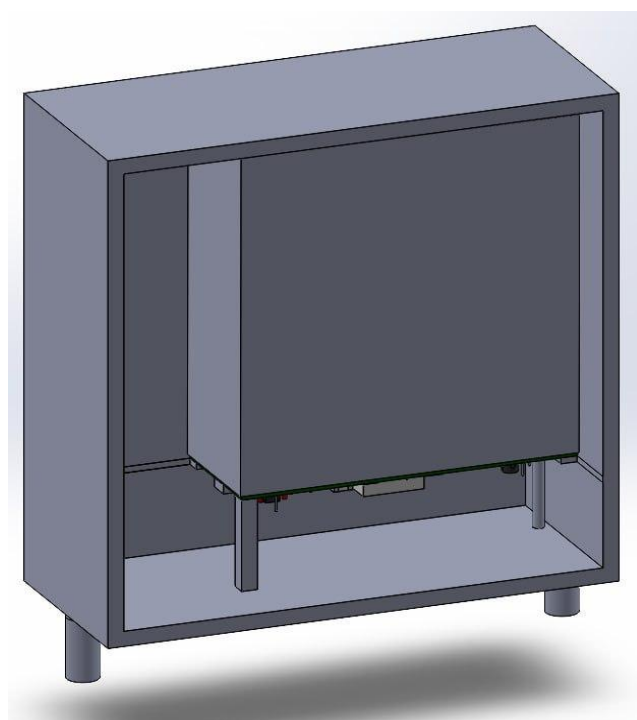


Рисунок 4.6 – Частина корпусу з блоком живлення (з екрануванням плати)

					РЕ12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

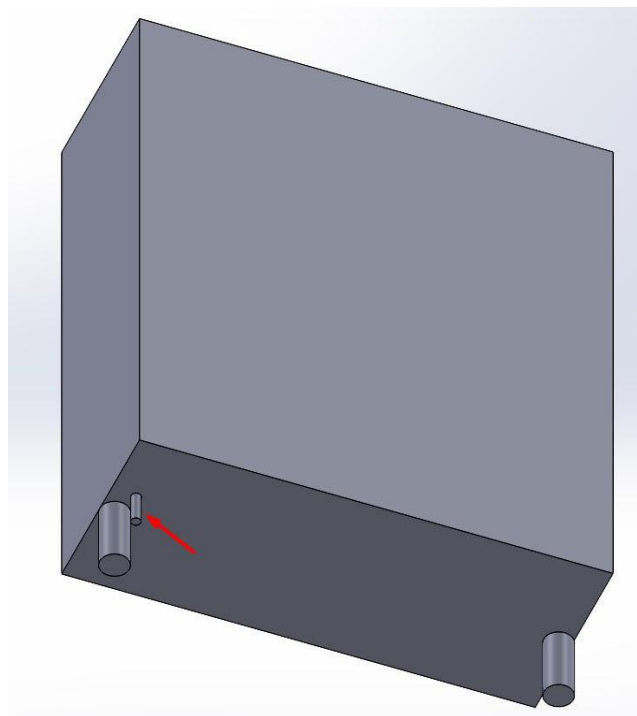


Рисунок 4.7 – Кнопка ввімкнення/вимкнення пристрою

На рисунках 4.8-4.10 буде розглянуто частину корпусу у якій знаходиться плата гітарного підсилювача. Корпус має декілька отворів, перший отвір для вхідного сигналу – Jack 6,3 мм інструментальний роз’єм куди можна вмикати різні музичні інструменти. Та другий отвір – для виведення кабелів від конекторів на платі до динаміку.

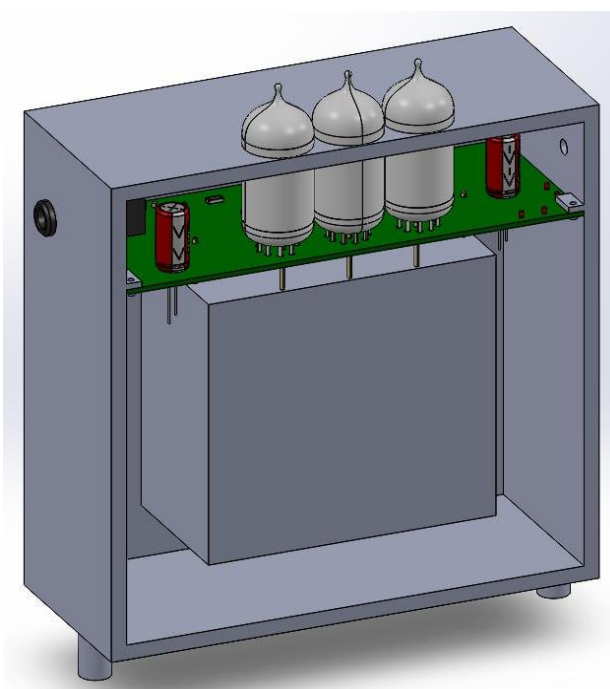


Рисунок 4.8 – Частина корпусу з платою гітарного підсилювача

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		45

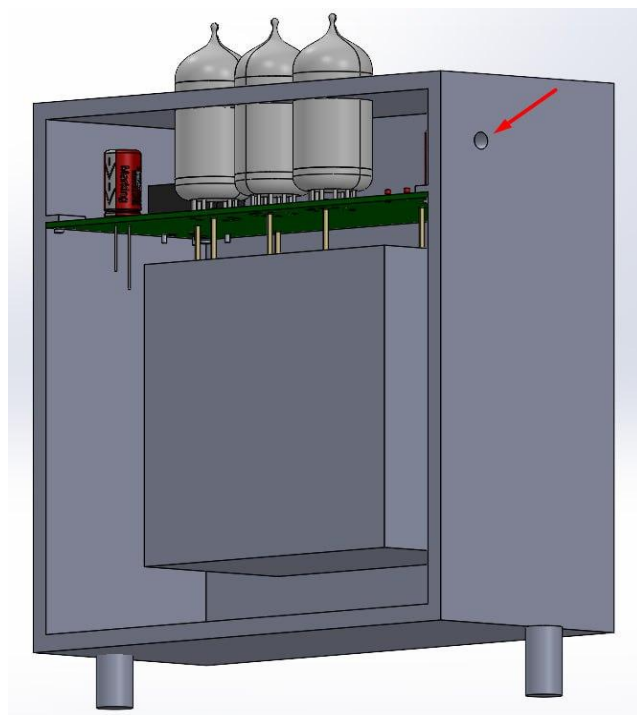


Рисунок 4.9 – Отвір для виведення проводів

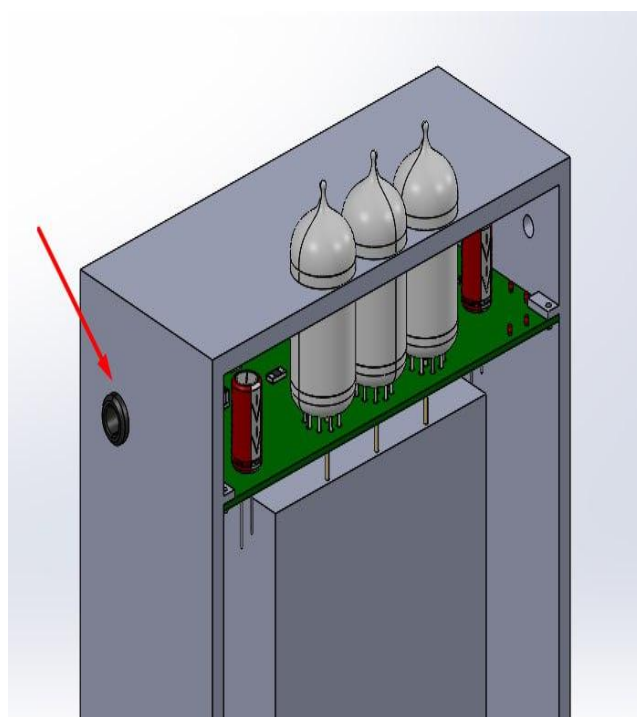


Рисунок 4.10 – Отвір для роз'єму Jack 6,3 мм

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВИСНОВКИ

У ході виконання даної дипломної роботи було успішно досягнуто основної мети: розроблено та всебічно досліджено сучасне імпульсне джерело живлення, призначене для ефективного та надійного живлення високовольтних лампових пристроїв.

Для практичної перевірки, валідації розрахунків та об'єктивної демонстрації переваг розробленого імпульсного джерела живлення було також спроектовано та теоретично обґрунтовано класичний двотактний ультралінійний гітарний підсилювач потужності. Використання підсилювача як комплексного, динамічного навантаження дозволило провести глибокий порівняльний аналіз розробленого ІДЖ із традиційними лінійними трансформаторними аналогами. Результати випробувань та розрахунків переконливо підтвердили, що розроблений імпульсний блок живлення є значно кращим рішенням для сучасних аудіосистем. Він забезпечує вищу стабільність вихідної напруги під змінним навантаженням, має суттєво менші масогабаритні показники та вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з громіздкими та менш ефективними трансформаторними блоками.

Ключовим результатом стало підтвердження того, що рівень високочастотних пульсацій та шумів, генерованих імпульсним джерелом, знаходиться на достатньо низькому рівні, щоб не вносити жодних чутних артефактів чи спотворень у звуковий тракт підсилювача, що доводить його повну придатність для використання у високоякісній аудіотехніці.

У рамках роботи було проведено детальний аналіз та обґрунтований підбір сучасної елементної бази. На основі технічних розрахунків та аналізу ринку електронних компонентів було сформовано повний перелік радіоелементів, необхідних для виготовлення як плати імпульсного джерела живлення, що базується на ШІМ-контролері TL494, так і плати гітарного підсилювача на вакуумних лампах 6Н2П та 6П14П. Цей підбір враховував не лише номінальні параметри, а й надійність, доступність та вартість

					РЕ12.43611.001 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів, що є важливим для потенційного серійного виробництва.

Практична реалізація проєкту та підготовка до виробництва були виконані з використанням передових систем автоматизованого проєктування. У професійному середовищі Altium Designer були розроблені повні комплекти проєктної документації, що включають електричні принципові схеми та топологію друкованих плат для обох функціональних вузлів — джерела живлення та підсилювача. Це забезпечило створення технологічно коректних та оптимізованих для виробництва друкованих плат, що відповідають сучасним стандартам.

Для завершення повного конструкторського циклу та візуалізації кінцевого виробу у програмному пакеті тривимірного моделювання SOLIDWORKS було розроблено детальну 3D-модель корпусу пристрою. При проєктуванні корпусу було враховано вимоги до оптимального взаємного розміщення обох плат, силових елементів (трансформаторів, транзисторів) та органів керування.

Особливу увагу було приділено забезпеченню належної конвекції повітря для ефективного охолодження та дотриманню принципів ергономіки для зручності експлуатації готового виробу.

Таким чином, у дипломній роботі було пройдено повний цикл розробки — від теоретичного аналізу та схемотехнічного моделювання до створення повної конструкторської документації, готової для виготовлення фізичного прототипу. Результати роботи переконливо демонструють високий потенціал, ефективність та переваги використання сучасних імпульсних джерел живлення для високоякісних лампових аудіопристроїв.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Turner. TUBE AMP POWER SUPPLIES. *Atrad-audio.co.nz*. 01.05.2021. URL: <https://atrad-audio.co.nz/turneraudio/www.turneraudio.com.au/powersupplies.html>.
2. Waseem U. Linear vs Switching Power Supply: Understanding the Differences. *Www.wevolver.com*. 16.12.2024. URL: <https://www.wevolver.com/article/linear-vs-switching-power-supply>.
3. Texas I. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 1. 2011. URL: <https://www.ti.com/lit/an/snva558/snva558.pdf>.
4. Benson B. Audio Engineering Handbook. 1988. URL: <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/48f011704baca8f8/85c4637c2072492284519104dcd4281e60756e3644b3c9a2d3cea90d2db713dc/book-summary.pdf>.
5. Texas I. TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits. 2022. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>.
6. Blencowe M. Designing Tube Preamps For Guitar and Bass. 2009. URL: <https://ru.scribd.com/document/380355036/Designing-Tube-Preamps-for-Guitar-and-Bass>.
7. *Www.mpsind.com*. 16.05.2025. URL: <https://www.mpsind.com/product-resources/push-pull-converter-applications-notes/>.
8. Жебровський. Імпульсні перетворювачі постійної і змінної напруги. *Ela.kpi.ua*. 02.02.2007. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1eeac1d4-e1a7-4a0f-ae14-09084b385d72/content>.
9. Lewis L. Bi-Polar MOSFET Transistor Driver Microcontroller Interfacing. *Www.bristolwatch.com*. URL: https://www.bristolwatch.com/ele/transistor_drivers.htm.
10. Understanding fast recovery diodes and their uses. *Www.eaton.com*. 14.09.2023. URL: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electronic-components/resources/technical/eaton-fast-recovery-diodes-app-note-elx1366-en.pdf>.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		49

11. Giuseppe G. Guide to Vacuum Tube Amplifier Design. *Www.vtadiy.com*. 23.09.2018. URL: <https://www.vtadiy.com/book/>.
12. 10. Langford-Smith F. The Radiotron Designer's Handbook. 1952. <https://ru.scribd.com/document/671670151/Radiotron-Designer-s-Handbook-4th-Edition>
13. Mullard. EL84 Output Pentode Datasheet. *Www.r-type.org*. 14.02.1964. URL: <https://www.r-type.org/pdfs/el84.pdf>.
14. Koren N. *Feedback and Fidelity*. 12.02.2016. URL: <https://www.i-t.com/blog/updating-norman-korens-tube-amplifier-design/feedback-and-fidelity-norman-koren/>.
15. Phase Splitters and Driver Stages. *Www.gitec-forum-eng.de*. 16.11.2007. URL: <https://www.gitec-forum-eng.de/wp-content/uploads/2019/02/poteg-10-04-phase-splitter-driver.pdf>.
16. Методи виготовлення друкованих плат. *Studfile.net*. URL: <https://studfile.net/preview/9719834/page:10/>.
17. Комбінований метод виготовлення друкованих плат. *Studfile.net*. URL: <https://studfile.net/preview/9249885/page:7/>.

					PE12.43611.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		50

ДОДАТОК А**ПОГОДЖЕНО**

Керівник дипломного проекту
старший викладач Титенко О. Т.

14 квітня 2025 року



(дата)

(підпис)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри
прикладної радіоелектроніки

Зав.кафедрою Мовчанюк А.

(дата) (підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до дипломного проекту

«Імпульсне джерело живлення лампових пристроїв»

1. НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту «Імпульсне джерело живлення лампових пристроїв».

Підставою для виконання дипломної роботи є завдання видане кафедрою прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського наказ №1840-с від «29» травня 2025 р.

2. ВИКОНАВЕЦЬ

Виконавець — студент групи РЕ-12 Чуйко Андрій Євгенович

3. МЕТА ВИКОНАННЯ ДП І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою дипломного проекту є розробка конструкції імпульсного джерела живлення, призначеного для живлення вакуумних ламп, а також оформлення повного комплексу технічної документації на пристрій.

Розроблене джерело живлення повинно забезпечувати необхідні параметри напруги та струму для стабільної роботи лампових пристроїв, зокрема — анодну напругу високого рівня та стабілізовану напругу для накалу.

Особливу увагу приділено компактності, енергоефективності та відповідності пристрою вимогам електромагнітної сумісності, що робить його придатним для використання у сучасних підсилювачах, лабораторному обладнанні та радіоелектронних системах.

4. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Призначення

Перетворення 12В у 300 та 6,3 для живлення підсилювача;

Напруга живлення: +12 В;

Струм: до 4 А;

Кліматичні вимоги УХЛ 4 згідно ГОСТ 15150-69.

4.2 Надійності

Середній наробіток на відмову, відповідно до ГОСТ 21317- 75 не менше 9150 годин.

4.3 Конструкції

4.3.1 Габаритні розміри пристрою: не більше 160x130x201мм, та можуть уточнятися в процесі проектування.

4.3.2 Конструкція повинна допускати можливість демонтажу окремих функціональних вузлів і складових частин для ремонту, та виключати можливість неправильного під'єднання джерела живлення та пристрою налаштування плати.

4.3.3 Зовнішньо прилад являє собою 2 плати, вмонтовані в корпус, в бічній частині якого є роз'єм для живлення та роз'єм Jack 6,3 мм для підключення вхідних сигналів . На нижній частині корпусу знаходяться ножки корпусу та кнопка живлення

4.4 Уніфікації і стандартизації

Використовувати уніфіковану та стандартизовану елементну та матеріальну базу.

5. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	14.04.25-06.05.25	Виконано
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.25-10.05.25	Виконано
3	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	11.05.25-18.05.25	Виконано
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.25-23.05.25	Виконано
5	Розробка друкованої плати	24.05.25-29.05.25	Виконано
6	Розробка конструкторської документації	30.05.25-05.06.25	Виконано
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.25-09.06.25	Виконано

6. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлення документації згідно ДСТУ 3008:2015.

Склад конструкторської документації:

1. Текстова документація (пояснювальна записка, перелік елементів, специфікація на друкований вузол, специфікація на пристрій).
2. Графічна документація (схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованого вузла).

7. Орієнтовний зміст дипломного проєкту:

Завдання на дипломний проєкт;

Зміст;

Вступ;

1. Огляд технічного завдання та опис роботи пристрою.
2. Розробка схеми електричної принципової;
3. Розрахунок та обґрунтування друкованої плати;
4. Огляд конструкції виробу; Висновки; Перелік джерел посилань.

Виконавець

Керівник

Чуйко А.Є..

A handwritten signature in black ink on a light blue background. The signature is stylized, starting with a large loop and ending with a long, sweeping horizontal stroke.

старший викладач Титенко О. Т.

ДОДАТОК Б

дiплoм_рiдс_сhуикo_РiрРсb

Дoдaтк. №

Перв. застосування

PE12.331429.001E3

The schematic diagram illustrates a vacuum tube guitar amplifier. It consists of two 6N2P tubes (VL1.1 and VL1.2) in a push-pull configuration, driving two 6P14P tubes (V2 and V3) in a push-pull configuration. The circuit includes various resistors (R1-R14) and capacitors (C1-C6). A transformer is used for the output stage. The power supply is 300V. The output is labeled 'Out'.

№	№	№	№	№	№
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса
Розробив	Гуїко А.Є.				
Перевірив	Битенко О.Є.				
Т.контр.					
Н.контр.	=CheckedBy				
Затв.	=ApprovedBy				

PE12.331429.001E3

Ламповий гітарний підсилювач

Схема електрична принципова

Літ.	Маса	Масштаб
Аркуші	Аркуші	

Файл Sheet1.Sch.Doc

Копіював

Формат A3

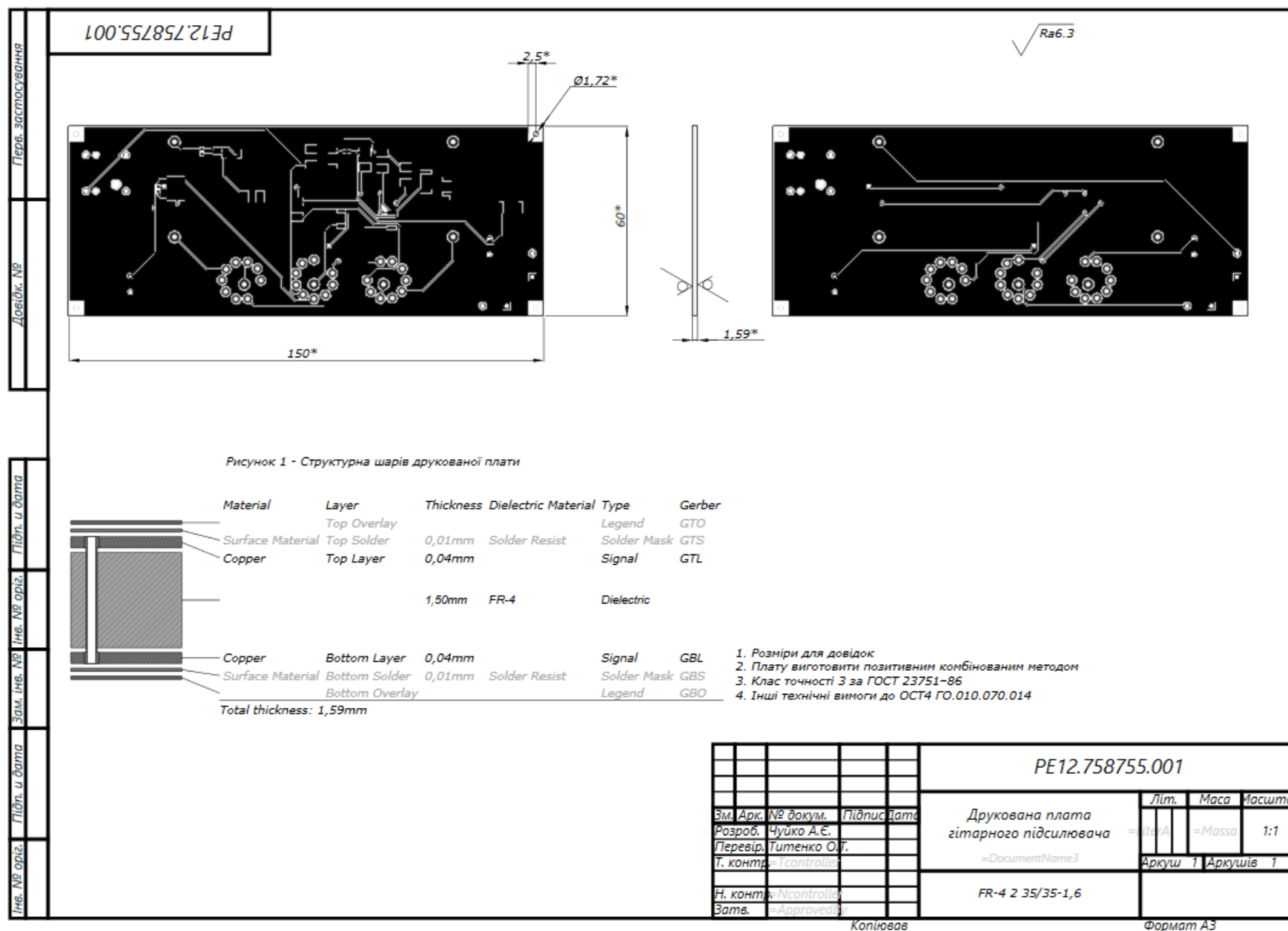
ДОДАТОК В

Позн.		Найменування			Кіл.	Примітки					
		<u>Вакуумні лампи</u>									
VL1		Вакуумна лампа 6Н2П			1						
VL2,VL3		Вакуумна лампа 6П14П			2						
		<u>Конденсатори</u>									
C1		Електролітичний конденсатор 22 мкФ 400 В			1						
C2		SMD-конденсатор 0.022 мкФ			1						
C3,C4		SMD-конденсатор 0.1 мкФ			2						
C5		Електролітичний конденсатор 50 мкФ 20 В			1						
C6		SMD-конденсатор 150 пФ			1						
		<u>Резистори</u>									
R1,R5		SMD-резистор 1МОм			2						
R2,R6		SMD-резистор 1,2 кОм			2						
R11,R13		SMD-резистор 1,2 кОм			2						
R3		SMD-резистор 120 кОм			1						
R4,R7,R10		SMD-резистор 33кОм			3						
R8,R9		SMD-резистор 470кОм			2						
R12		SMD-резистор 130Ом			1						
					РЕ12.331429.001ПЕ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Чуйко А.Є.			Гітарний підсилювач Перелік елементів			Літ.	Арк.	Арку шів	
Перевір.		Титенко О.Т.								1	2
Реценз.								КПІ ім. Ігоря			
Н.Контр											

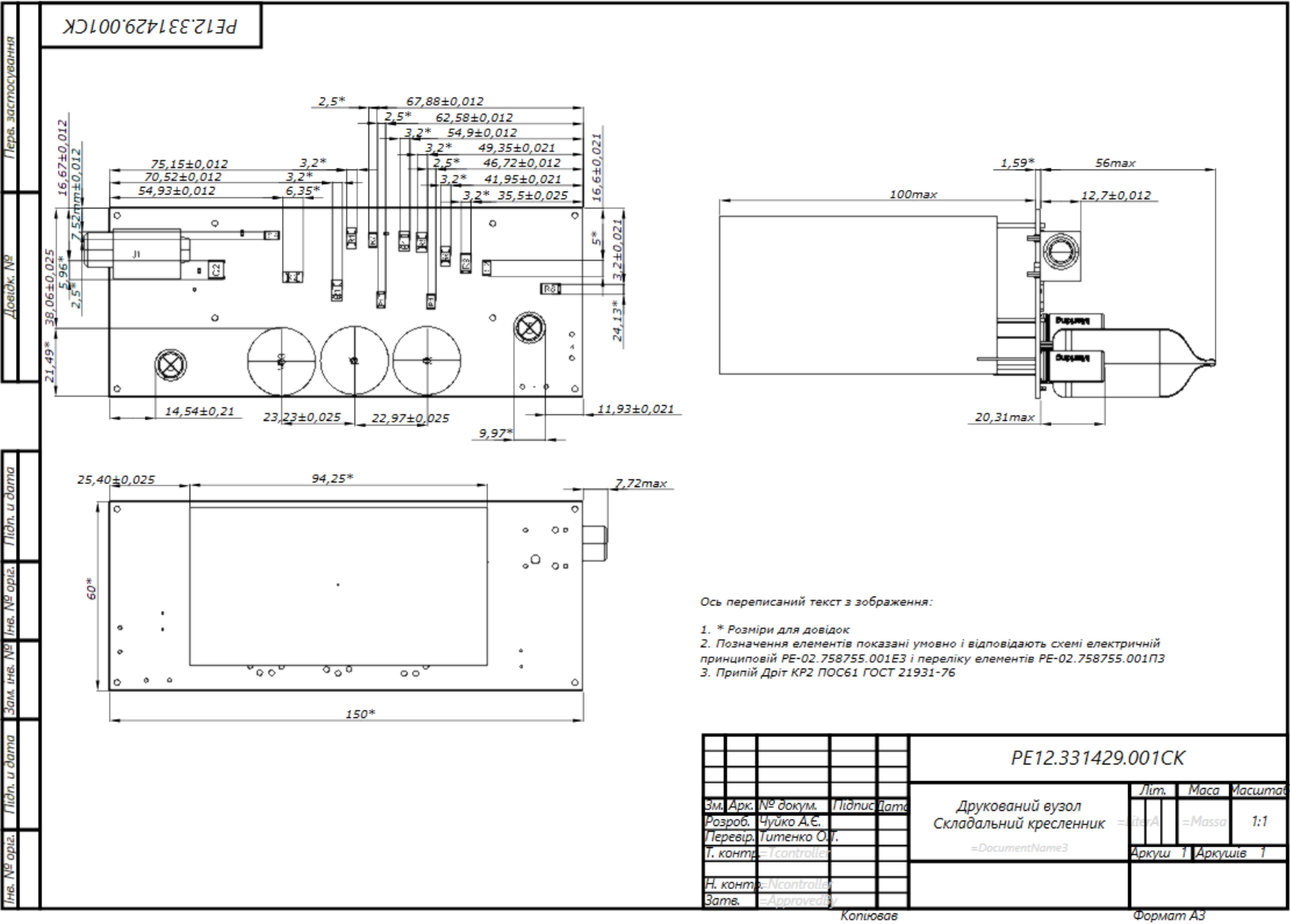
Затверд.

Сікорського, РТФ

ДОДАТОК Г

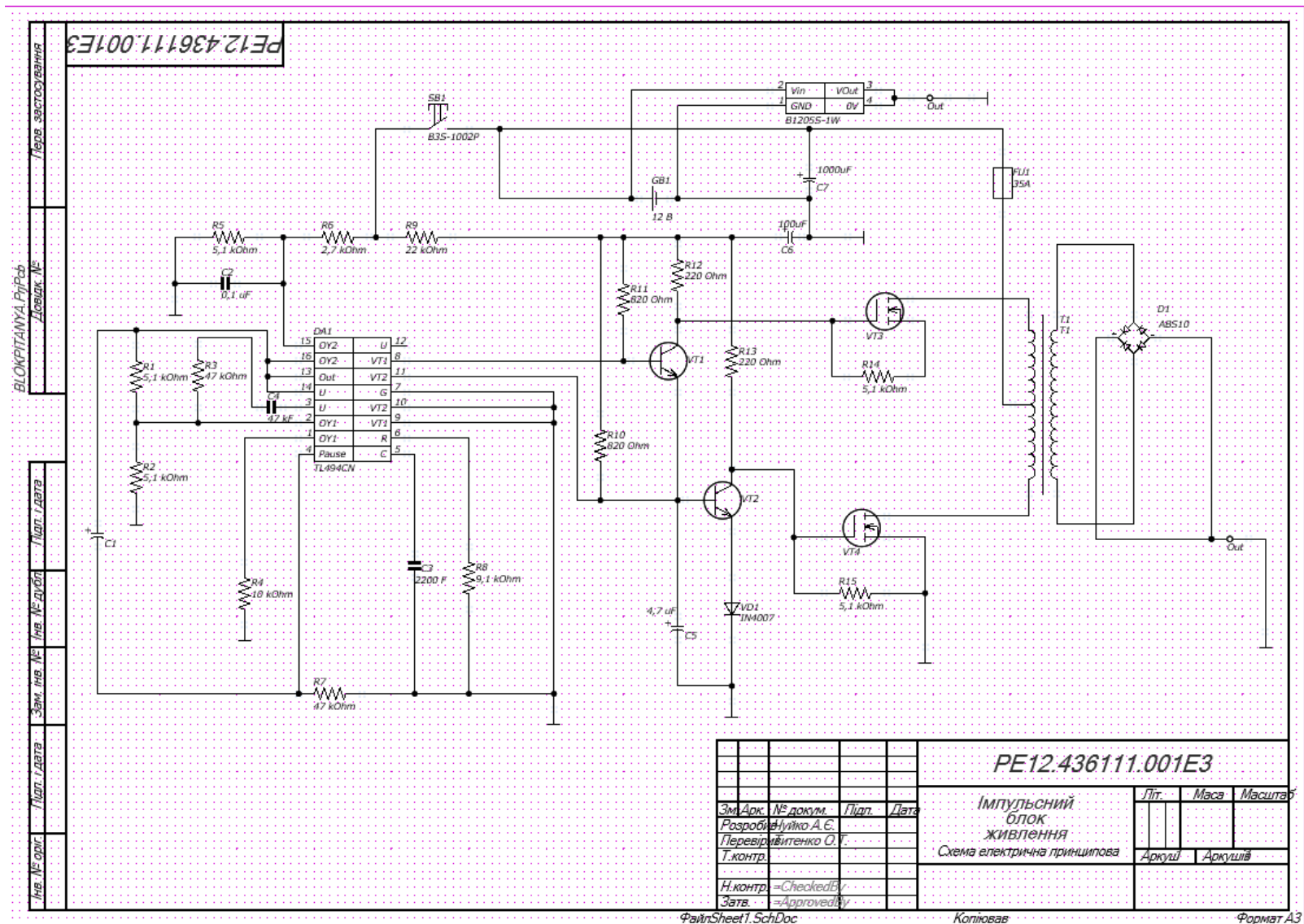


ДОДАТОК Г



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітки
				Документація		
A3			РА91.331429.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A3			РА91.331429.002 СК	Складальний кресленик		
A3			РА91.3312429.001 ПЕ	Перелік елементів		
				Деталі		
A3		5	РА91.758755.001	Друкована плата	1	
				Інші вироби		
				Вакуумна лампа 6Н2П	1	VL1.1-VL1.2
				Вакуумна лампа 6П14П	2	VL2,VL3
				Конденсатор 22мкФ	1	C1
				Конденсатор 0805 SMD 0,022 мкФ	1	C2
				Конденсатор 0805 SMD 0,1 мкФ	2	C3,C4
				Конденсатор 50мкФ	1	C5
				Конденсатор 0805 SMD 150 пФ	1	C6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕ12.331429.001	
Розробив	Чуйко А.Є.				Друкований вузол	
Перевір.	Титенко О.Т.					
Реценз.						
Н.Контр						
Затверд.						
					Арк.	Аркушів
						1 2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, РТФ	

ДОДАТОК Е



ДОДАТОК Є

Позн.		Найменування			Кіл.	Примітки					
		<u>Трансформатори</u>									
T1		Вихідний трансформатор			1						
		<u>Діодний міст</u>									
D1		Діодний міст ABS10			1						
		<u>Конденсатори</u>									
C1		Електролітичний конденсатор 47 мкФ			1						
C2		SMD-конденсатор 0.1 мкФ			1						
C3		SMD-конденсатор 2200 Ф			1						
C4		SMD-конденсатор 0.01 мкФ			1						
C5		Електролітичний конденсатор 4,7 мкФ			1						
C6		Електролітичний конденсатор 1000 мкФ 25В			1						
C7		Електролітичний конденсатор 100 мкФ 25В			1						
		<u>Резистори</u>									
R1,R5,R2,R14, R15		SMD-резистор 5,1 кОм			5						
R3,R7		SMD-резистор 47 кОм			2						
R4		SMD-резистор 10 кОм			1						
R6		SMD-резистор 2,7 кОм			1						
R9		SMD-резистор 22 Ом			1						
R8		SMD-резистор 9,1 кОм			1						
R11,R10		SMD-резистор 820 Ом			2						
R12,R13		SMD-резистор 220 Ом			2						
					PE12.436111.001ПЕ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Чуйко А.Є.			Блок живлення Перелік елементів			Літ.	Арк.	Арку шів	
Перевір.		Титенко О.Т.								1	2
Реценз.								КПІ ім. Ігоря			
Н.Контр											

Затверд.					Сікорського, РТФ
----------	--	--	--	--	---------------------

ДОДАТОК Ж

Резь. застосування

Довідк. №

Підп. і дата

Інв. № ориг.

Зам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № ориг.

PE12.758755.002

√ Ra6.3

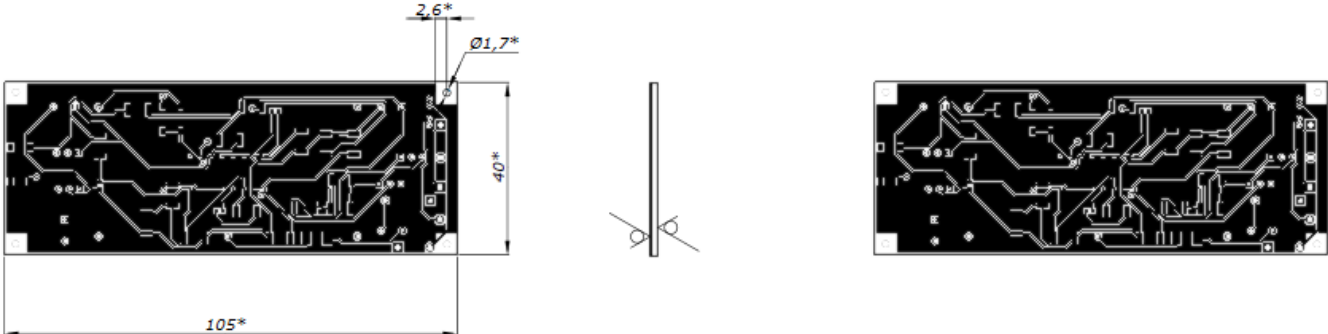


Рисунок 1 - Структурна шарів друкованої плати

Material	Layer	Thickness	Dielectric Material	Type	Gerber
Copper	Top Overlay			Legend	GTO
Copper	Top Layer	0,04mm		Signal	GTL
		1,50mm	FR-4	Dielectric	
Copper	Bottom Layer	0,04mm		Signal	GBL
Surface Material	Bottom Solder	0,01mm	Solder Resist	Solder Mask	GBS
	Bottom Overlay			Legend	GBO

Total thickness: 1,58mm

1. Розміри для довідок

2. Плату виготовити позитивним комбінованим методом

3. Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86

4. Інші технічні вимоги до ОСТ4 ГО.010.070.014

PE12.758755.002			
Вм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Чуйко А.Є.		
Перевір.	Тименко О.Г.		
Т. контр.	Ycontroler		
Н. контр.	Ncontroler		
Вамс.	ApprovedBy		

Друкована плата

Блока живлення

=DocumentName3

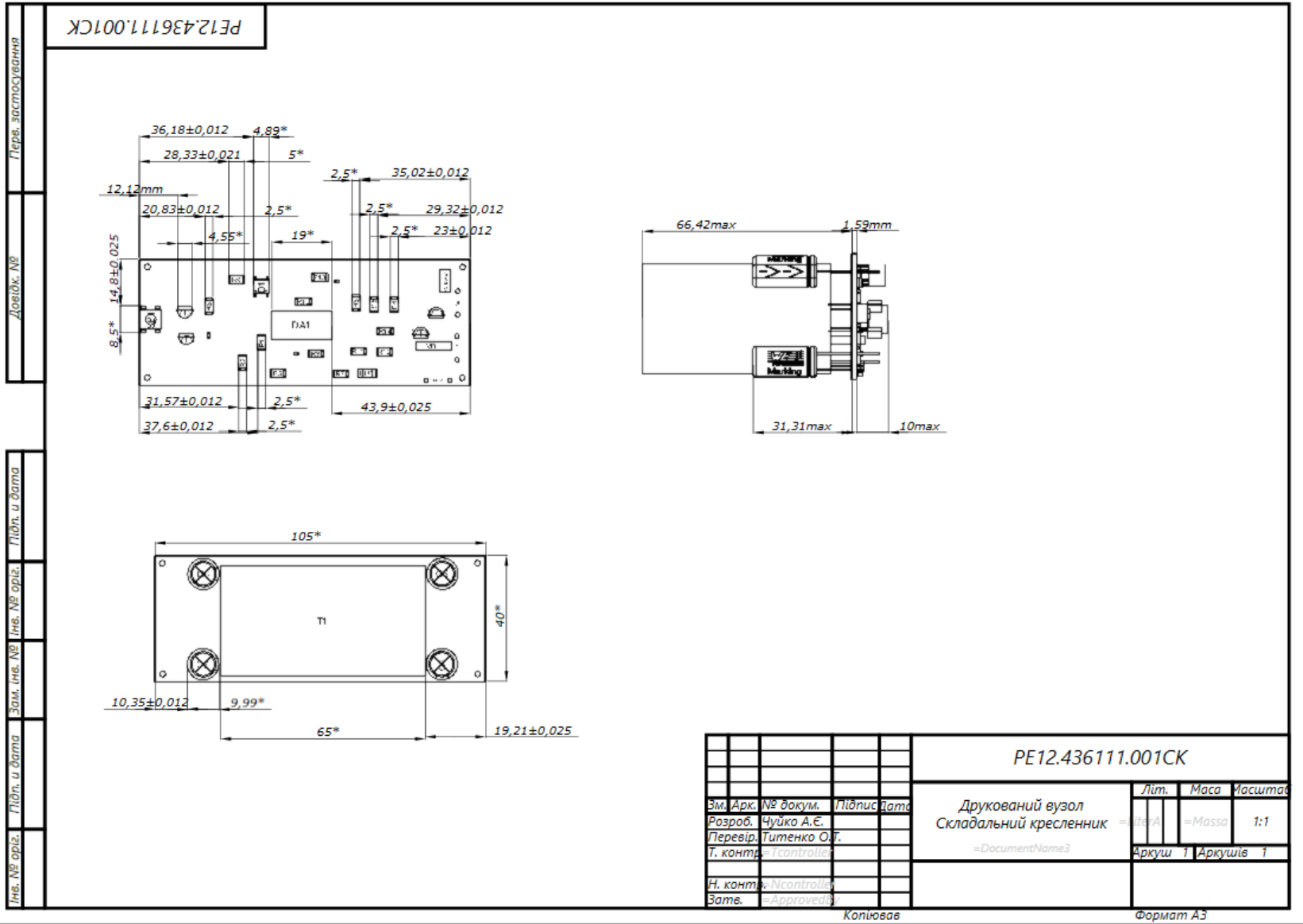
FR-4 2 35/35-1,6

Лім.	Маса	Масштаб
=fileA	=Massa	1:1
Аркуш 1	Аркушів 1	

Копіював

Формат А3

ДОДАТОК 3



ДОДАТОК І

