

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіoeлектроніки**

До захисту допущено:

Зав. кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Інтелектуальні технології радіoeлектронної те-
хніки», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Портативне лабораторне джерело живлення»**

Виконав :

студент IV курсу, групи РЕ-21

Литвинчук Максим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник:

асистент, PhD, Середін Андрій Павлович

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент:

доц., к.т.н. 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 – 2026 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 МОВЧНЮК

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Литвинчуку Максиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проєкту: «Портативне лабораторне джерело живлення».
2. Керівник проєкту: асистент, PhD, Середін Андрій Павлович, затверджений наказом по університету від « 29 » травня 2026 р. № 1089-с.

Строк подання студентом проєкту 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до проєкту: - напруга живлення від вбудованих акумуляторних батарей: від +3 В до + 4.2 В; - напруга зовнішнього живлення: від +10.5 В до +15 В; -діапазон вихідних напруг (регульованих): 0...+30 В; - максимальний вихідний струм (регульований): 0...2 А; - наявність захисту від короткого замикання та перевантаження за струмом; - наявність цифрової індикації рівня вихідного струму та напруги; - наявність індикації рівня заряду інтегрованої акумуляторної батареї; - наявність роз'єма USB Type C; - діапазон робочих температур: - 10 °С... + 40 °С; - максимальна вологість повітря – до 90 %.

4. Зміст пояснювальної записки: 1) Огляд існуючих рішень; 2) Розробка структурної схеми пристрою; 3) Розробка схеми електричної принципової; 4) Проектування друкованого вузла; 5) Конструювання корпусу.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): - структурна схема пристрою; - схема

електрична принципова; - складальний кресленик плати; - складальний кресленик пристрою; - презентація до 10 сторінок.

6. Дата видачі завдання 20 квітня 2026 року;

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	20.04.26-04.05.26	Виконано
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	05.05.26-07.05.26	Виконано
3	Розробка функціональної (структурної) схеми та вибір компонентів	08.05.26-14.05.26	Виконано
4	Розробка схеми електричної принципової	15.05.26-21.05.26	Виконано
5	Розробка друкованої плати	22.05.26-25.05.26	Виконано
6	Розробка корпусу	26.05.26-28.05.26	Виконано
7	Розробка конструкторської документації	29.05.26-04.06.26	Виконано

Студент IV курсу, гр. РЕ-21

Литвинчук Максим Олександрович

(Прізвище, ім'я, по-батькові)

(Підпис)

Керівник

Асистент, PhD Середін Андрій Павлович

(Посада, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові)

(Підпис)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

				PE21.436131.001		
	<i>ПІБ</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Портативне лабораторне джерело живлення</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробн.</i>	<i>Литвинчук</i>				<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Керівн.</i>	<i>Середін</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ ,Гр. PE-21</i>	
<i>Н/контр.</i>						
<i>Зав.каф.</i>	<i>Мовчанюк</i>					

АНОТАЦІЯ

Пояснювальну записку дипломного проєкту на тему «Портативне лабораторне джерело живлення» виконано на 55 сторінках, що включають 34 ілюстрації, 5 таблиць, 6 додатків, 27 бібліографічних посилань.

Пояснювальна записка містить два розділи: Розділ 1: «Теоретична частина» та Розділ 2 «Практична частина», і графічний матеріал – Схема електрична принципова пристрою (формат А3); Схема структурна (формат А3); Складальний кресленик друкованої плати (формат А3); Складальний кресленик пристрою (формат А3).

Метою даного проєкту є розробка портативного лабораторного блока з живленням від вбудованої літій-іонної акумуляторної батареї, виконаної за схемою 3S, заряджанням через інтерфейс USB Type-C з підтримкою протоколу Power Delivery, регулюванням вихідної напруги в діапазоні 0–30 В та обмеженням струму в межах 0–2 А з реалізацією режимів стабілізації напруги і струму, а також відображенням вихідних параметрів пристрою на OLED-дисплеї.

Розроблений пристрій дозволяє виконувати налагодження та ремонт радіоелектронної апаратури у польових умовах, у навчальному процесі та дослідницьких цілях.

Ключові слова: портативний блок живлення, акумуляторне живлення, Li-Ion, USB Type-C, Power Delivery, стабілізація напруги, стабілізація струму, STM32, OLED-дисплей, мікроконтролер, buck-перетворювач, boost-перетворювач.

ANNOTATION

The diploma project entitled "Portable Laboratory Power Supply" consists of 55 pages, including 34 figures, 5 tables, 6 appendices, and 27 references.

The explanatory note contains two chapters: Chapter 1 "Theoretical Part" and Chapter 2 "Practical Part". The graphical documentation includes the Device Electrical Schematic Diagram (A3 format), Structural Diagram (A3 format), Printed Circuit Board Assembly Drawing (A3 format), and Device Assembly Drawing (A3 format).

The aim of this project is to develop a portable laboratory power supply powered by an integrated 3S lithium-ion battery pack, featuring charging via a USB Type-C interface with Power Delivery support, adjustable output voltage in the range of 0–30 V, adjustable current limiting within the range of 0–2 A with constant-voltage (CV) and constant-current (CC) operating modes, as well as displaying output parameters on an OLED display.

The developed device enables troubleshooting, testing, and repair of electronic equipment in field conditions, educational activities, and research applications.

Keywords: portable power supply, battery-powered supply, Li-Ion battery, USB Type-C, Power Delivery, voltage regulation, current regulation, STM32, OLED display, microcontroller, buck converter, boost converter.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту на тему:

«Портативне лабораторне джерело живлення»

Київ – 2026 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Загальні відомості	6
1.1.1 Актуальність теми.....	6
1.1.2 Практична користь проекту	6
1.1.3 Обґрунтування теми	7
1.2 Аналіз технічного завдання	7
1.3 Особливості лабораторних блоків живлення.....	8
1.4 Класифікація лабораторних блоків живлення	9
1.4.1 За типом регулятора	9
1.4.2 За способом керування та індикації.....	11
1.5 Будова та принцип дії лабораторного блока живлення	11
1.5.1 Первинне джерело живлення.....	12
1.5.2 Силовий регулятор.....	12
1.5.3 Кола вимірювання і порівняння	12
1.5.4 Схема захисту	12
1.6 Характеристики і функціонал.....	12
1.7 Режим роботи	13
1.7.1 Constant voltage.....	13
1.7.2 Constant current	14
1.8 Застосування лабораторних блоків живлення	14

					РЕ21.436141.001 ПЗ			
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	Портативне лабора- торне джерело жив- лення	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Литвинчук						1	55
Перевірів	Середін							
Н. Контр.	Мовчанюк							
Затвер-	Мовчанюк					РЕ21, РТФ		

1.9	Огляд та аналіз існуючих технічних рішень	14
1.9.1	Miniware MDP-XP	14
1.9.2	ToolkitRC P200 V2	16
1.9.3	FNIRSI DPS-150	17
2	ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	20
2.1	Розробка структурної схеми	20
2.2	Огляд комплектуючих для портативного лабораторного блоку живлення	21
2.2.1	Система живлення 10,5-15 В та заряджання.....	22
2.2.2	Підвищувальний перетворювач	23
2.2.3	Понижуючий перетворювач	23
2.2.4	Вимірювач напруги та струму	24
2.2.5	Цифро-аналоговий перетворювач	25
2.2.6	Лінійний стабілізатор	25
2.2.7	Дисплей	26
2.2.8	Модуль керування.....	27
2.2.9	Керування	28
2.2.10	Роз'єми живлення	28
2.3	Схема електрична принципова	29
2.4	Розробка друкованої плати	32
2.4.1	Визначення мінімальної площі друкованої плати.....	32
2.4.2	Розрахунок ширини друкованих провідників.....	34
2.4.3	Трасування друкованої плати	37
2.4.4	Експорт файлів для виготовлення плати	39
2.5	Розробка корпусу для пристрою	41

					<i>РЕ21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.1 Загальні вимоги до конструкції корпусу	41
2.5.2 Вибір матеріалу та технології виготовлення	42
2.5.3 Конструкція зовнішніх елементів корпусу	43
2.5.4 Внутрішнє компонування пристрою.....	46
2.5.5 Загальний вигляд пристрою та його параметри	47
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	52
ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	55
ДОДАТОК Б. СТРУКТУРНА СХЕМА	60
ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА.....	61
ДОДАТОК Г. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ	61
ДОДАТОК Д. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ	63
ДОДАТОК Е. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК КОРПУСУ	66

ПЕРЕЛІК СКРОЧЕНЬ

ЛБЖ — лабораторний блок живлення;

ДП — друкована плата;

ЦАП — цифро-аналоговий перетворювач;

ККД — коефіцієнт корисної дії;

МК — мікроконтролер;

СС — Contant Current;

CV — Constant Voltage;

PD — Power Delivery;

BMS — Battery management system;

GaN — Gallium Nitride;

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах все більше зростає попит на автономну та мобільну електроніку, тому інженери стикаються з необхідністю проведення налагоджувальних робіт поза межами робочого місця. Особливо ця проблема стала в умовах воєнного часу, коли фахівці з електроніки забезпечують ремонт, обслуговування та виготовлення радіоелектронного обладнання в польових умовах, де доступ до мережевого живлення обмежений або повністю відсутній.

Лабораторний блок живлення є одним із базових інструментів будь-якого інженера-електроніка [1]. Він забезпечує на виході регульовану напругу та струм для живлення, тестування та налагодження електронних схем. Проте переважна більшість серійних лабораторних джерел живлення є стаціонарними пристроями, що живляться від мережі змінного струму напругою 220 В. Це суттєво обмежує їх застосування за межами лабораторії та фактично значно ускладнює використання у польових умовах.

Існують портативні рішення у вигляді простих модулів на основі лінійних стабілізаторів або імпульсних перетворювачів, проте вони не забезпечують повного функціоналу стаціонарного лабораторного блоку живлення [2]. Комерційні портативні ЛБЖ з широкими функціональними можливостями мають високу вартість і обмежену доступність. Тому розробка власного портативного аналогу є досить актуальною темою на сьогоднішній день.

Метою даного проєкту є розробка портативного лабораторного блоку живлення з акумуляторним живленням від збірки виконаної за схемою 3S, заряджанням через інтерфейс USB Type-C з підтримкою протоколу Power Delivery, регулюванням вихідної напруги в діапазоні від 0 В до 30 В та обмеженням струму в межах від 0 А до 2 А з реалізацією режимів стабілізації напруги і струму, а також відображенням вихідних параметрів пристрою на OLED-дисплеї.

					<i>РЕ21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості

1.1.1 Актуальність теми

Сучасний розвиток радіоелектроніки характеризується стрімким зростанням частки мобільних та портативних рішень у всіх сферах — від побутової електроніки до промислового обладнання та засобів оборони. Водночас інструментальна база інженера-електронника залишається переважно стаціонарною: лабораторні блоки живлення, осцилографи та генератори сигналів традиційно проєктуються для роботи від мережі 220 В і мають значну масу та габарити.

Аналіз ринку показує, що існуючі комерційні портативні рішення або не мають вбудованого акумулятора і потребують зовнішнього джерела живлення, або мають надмірно високу вартість, що робить їх недоступними для значної частини користувачів. Водночас поширення стандарту USB Type-C з протоколом швидкого заряджання створює передумови для розробки нового покоління портативних приладів, які заряджаються від тих самих адаптерів, що й смартфони та ноутбуки. Це робить розробку доступного автономного лабораторного блока живлення з цифровим керуванням та зарядкою через USB-порт актуальною як з технічної, так і з практичної точки зору.

1.1.2 Практична користь проєкту

Портативний лабораторний блок живлення, що розроблятиметься в рамках даного дипломного проєкту, матиме безпосереднє практичне застосування у кількох напрямках. Насамперед, пристрій буде призначений для використання в умовах, де доступ до мережевого живлення обмежений або відсутній — при виїзному ремонті електроніки, польовому налагодженні обладнання, проведенні демонстрацій та навчальних робіт поза стаціонарною лабораторією.

Наявність вбудованого акумулятора з можливістю зарядки через USB Type-C принципово відрізняє розроблюваний пристрій від більшості існуючих рішень і робить його повністю автономним. Користувач не потребує

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткових зовнішніх джерел, зарядних пристроїв чи перехідників для заряджання вбудованих акумуляторних батарей — достатньо стандартного адаптера або павербанку, який є практично у кожного. Також передбачатиметься живлення пристрою від бортової мережі автомобілів чи автомобільного акумулятора з використанням набору кабелів, що входитимуть до комплекту пристрою, що додатково розширюватиме сферу його застосування.

1.1.3 Обґрунтування теми

Вибір теми дипломного проєкту зумовлений поєднанням актуальної практичної потреби у портативному автономному лабораторному джерелі живлення та можливості комплексного застосування знань, набутих протягом навчання за спеціальністю.

Проектування портативного лабораторного блока живлення є багатодисциплінарною інженерною задачею, яка охоплює основні напрямки підготовки фахівця з радіоелектроніки: силову електроніку, аналогову та цифрову схемотехніку, мікроконтролерну техніку та конструювання радіоелектронної апаратури. Це дозволяє в рамках одного проєкту продемонструвати набуті компетенції та застосувати їх для вирішення конкретної практичної задачі.

Крім того, сучасний рівень розвитку елементної бази та відкритість технічної документації на спеціалізовані мікросхеми дозволяють реалізувати пристрій із характеристиками, порівнянними з комерційними аналогами, що підтверджує можливість технічної реалізації та практичної доцільності обраної теми.

1.2 Аналіз технічного завдання

Технічне завдання на дипломний проєкт «Портативне лабораторне джерело живлення» визначає основні вимоги до призначення, технічних параметрів, конструкції та умов експлуатації пристрою. Аналіз ТЗ дозволяє обґрунтувати ключові проєктні рішення та підтвердити їх відповідність поставленим вимогам.

Призначення та мета розробки визначають клас пристрою як портативне одноканальне лабораторне джерело живлення з автономним живленням,

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

призначене для роботи у польових та стаціонарних умовах. Це задає основний вектор проектування — поєднання повного лабораторного функціоналу з компактністю та автономністю, що відрізняє пристрій від стаціонарних мережевих аналогів.

Електричні параметри визначають вхідну напругу 9–12,6 В від вбудованого акумулятора, 10.5–15 В від зовнішнього джерела живлення, а також вихідні параметри: вихідну напругу в діапазоні 0–30 В та струм навантаження в межах 0–2 А з регулюванням у режимах CV/CC. Оскільки максимальна вихідна напруга перевищує напругу акумулятора, обрано двокаскадну імпульсну архітектуру з підвищувальним перетворювачем для формування проміжної шини та знижувальним регулятором для формування вихідної напруги.

Системи захисту та індикації. ЛБЖ вимагає комплексного захисту від короткого замикання, перевантаження, перегріву, переполюсовки та критичного зниження вхідної напруги, а також цифрової індикації параметрів і світлодіодної індикації режимів роботи. Ці вимоги реалізуються апаратно завдяки TVS-діоду, плавкому запобіжнику, BMS та програмно через контроль режимів мікроконтролером, а індикація забезпечується OLED-дисплеєм SSD1306.

Конструктивні та експлуатаційні вимоги задають: габаритні розміри пристрою не більше 300×100×150 мм, реалізацію пристрою в ударостійкому пластиковому корпусі, виготовлений з використанням технології 3D-друку, наявність роз'єму USB Type-C для заряджання вбудованих джерел живлення та клем для підключення навантаження, а також час автономної роботи не менше 1 години при 50% навантаженні. Конфігурація акумулятора 3S Li-Ion з елементів 18650 ємністю від 3000 мА·год забезпечує необхідний ресурс та відповідає обраній архітектурі силового тракту.

1.3 Особливості лабораторних блоків живлення

Лабораторний блок живлення — це електронний прилад, призначений для формування стабілізованої постійної напруги або струму із можливістю точного регулювання їх значень у заданому діапазоні. На відміну від промислових джерел живлення, ЛБЖ орієнтовані на гнучкість налаштування,

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

зручність використання та захист підключених пристроїв. Їх застосовують під час розробки, тестування і ремонту радіоелектронних схем, калібрування вимірювального обладнання, лабораторних досліджень, а також у польових умовах для забезпечення живлення чутливої апаратури.

Принципова відмінність ЛБЖ від побутових мережевих адаптерів полягає в наявності двох незалежних контурів регулювання: за напругою і за струмом, які забезпечують стабільну роботу в будь-яких умовах навантаження без ризику пошкодження підключеного пристрою. Розуміння принципів побудови та особливостей функціонування ЛБЖ є необхідною умовою для обґрунтованого вибору або розробки пристрою під конкретне завдання.

1.4 Класифікація лабораторних блоків живлення

Лабораторні блоки живлення класифікують за двома основними ознаками:

1.4.1 За типом регулятора

За типом регулятора розрізняють три основних класи:

1. Лінійні ЛБЖ [3] реалізують регулювання напруги за допомогою регульовального елемента (транзистора), що працює в активному режимі. Надлишкова потужність у цьому випадку розсіюється на транзисторі у вигляді тепла. Перевагою такого типу ЛБЖ є надзвичайно низький рівень пульсацій та шуму (ВЧ завад) вихідної напруги. Суттєвим недоліком є низький ККД, який різко падає зі збільшенням різниці між вхідною та вихідною напругами, що потребує застосування більш масивних радіаторів. Приклад лінійного ЛБЖ зображено на рисунку 1.1.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — Лінійний лабораторний блок живлення [4]

2. Імпульсні ЛБЖ [5] використовують транзистори у ключовому режимі роботи, що перемикаються з високою частотою, та LC-фільтр для згладжування пульсацій. ККД імпульсних джерел сягає 85–95%, що дозволяє суттєво зменшити масу та габарити пристрою. Однак це породжує і недоліки такого типу ЛБЖ, а саме підвищений рівень електромагнітних завад і пульсацій вихідної напруги. Приклад імпульсного лабораторного блока живлення зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 — Імпульсний лабораторний блок живлення [6]

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		10

3. Гібридні ЛБЖ [7] поєднують принципи двох попередніх типів. Імпульсний попередній регулятор підтримує напругу на проміжній шині на рівні, що лише на 2–3 В перевищує вихідну, після чого лінійний каскад забезпечує остаточну стабілізацію. Це дозволяє досягти ефективності 80–90% при збереженні низького рівня шуму, характерного для лінійних рішень. Приклад гібридного лабораторного блока живлення зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 — Гібридний лабораторний блок живлення RIDEN RD6030-SMAX [8]

1.4.2 За способом керування та індикації

За способом керування розрізняють *аналогові* пристрої з регуляторами вихідних параметрів з використанням багатообертових потенціометрів та індикацією вихідних параметрів за допомогою стрілкових або цифрових семи-сегментних індикаторів та *цифрові* (мікроконтролерні) пристрої з регуляторами на базі енкoderів, графічними дисплеями і програмними функціями захисту.

1.5 Будова та принцип дії лабораторного блока живлення

Лабораторний блок живлення складається з наступних функціональних вузлів: - первинне джерело живлення; - силовий регулятор; - кола вимірювання та порівняння; - схеми керування й захисту; - інтерфейс користувача.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.5.1 Первинне джерело живлення

Первинне джерело живлення забезпечує перетворення напруги мережі або акумулятора у постійну напругу, достатню для роботи силового регулятора. У мережевих пристроях це мережевий трансформатор і випрямляч або імпульсний перетворювач. У портативних — акумуляторна збірка з відповідним перетворювачем напруги.

1.5.2 Силовий регулятор

Силовий регулятор забезпечує регулювання вихідної напруги або струму відповідно до заданого користувачем значення. У лінійних схемах це транзистор, що керується операційними підсилювачами зі зворотними зв'язками. В імпульсних схемах використовується ключовий транзистор, що працює під керуванням ШІМ-контролера, а згладжування вихідної напруги здійснюється LC-фільтром.

1.5.3 Кола вимірювання і порівняння

Кола вимірювання і порівняння контролюють фактичні значення вихідної напруги і струму та порівнюють їх із заданими значеннями, формуючи сигнал для регулюючого елемента (транзистора). У сучасних цифрових пристроях цю функцію виконує мікроконтролер разом із аналого-цифровим перетворювачем або спеціалізованою мікросхемою-датчиком напруги і струму [9].

1.5.4 Схема захисту

Схема захисту реалізує функції обмеження вихідного струму, захисту від короткого замикання, перегрівання та перенапруги. Інтерфейс користувача дозволяє встановлювати значення вихідної напруги і струму та відображає їх поточні значення.

1.6 Характеристики і функціонал

До основних технічних характеристик ЛБЖ належать: - діапазон регулювання вихідної напруги та струму; - стабільність та точність встановлення вихідних параметрів; - рівень пульсацій і ВЧ завад вихідної напруги; - коефіцієнт корисної дії.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність встановлення вихідної напруги чи обмеження вихідного струму залежить від точності органів керування, якості та стабільності кіл зворотного зв'язку, стабільності та точності систем вимірювання вихідних параметрів. Для сучасних цифрових ЛБЖ типова роздільна здатність по напрузі становить 10–100 мВ, по струму — 1–10 мА.

Рівень пульсацій вихідної напруги є критичним параметром для чутливих застосувань. Для лінійних ЛБЖ він складає 0,1–5 мВ, для імпульсних — 10–100 мВ. Гібридні рішення забезпечують проміжний результат на рівні 0,5–5 мВ.

Функціональні можливості сучасних ЛБЖ, крім базових режимів стабілізації напруги (CV) та струму (CC), можуть включати збереження та відтворення профілів вихідних параметрів, програмований вихід з можливістю задання послідовностей напруги і струму, вимірювання потужності та накопиченого заряду, дистанційне керування через USB або інші інтерфейси, функцію захисту від перевантаження з програмованими порогами.

1.7 Режими роботи

Основними режимами роботи будь-якого лабораторного блока живлення є: - *режим стабілізації напруги CV (Constant Voltage)*; - *режим стабілізації струму CC (Constant Current)*.

Перехід між режимами відбувається автоматично. Якщо опір навантаження великий — пристрій працює у режимі CV. Якщо струм навантаження досягає встановленого ліміту — пристрій переходить у режим CC. Точку переходу між режимами називають точкою CV/CC.

1.7.1 Constant voltage

У режимі CV пристрій підтримує задану вихідну напругу незалежно від навантаження. Поки споживаний струм не перевищує заданого ліміту, напруга залишається стабільною. Цей режим є основним при живленні електронних схем і є аналогом роботи будь-якого стабілізованого джерела напруги.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7.2 Constant current

У режимі СС пристрій обмежує вихідний струм на заданому рівні. При досягненні порогу струму ЛБЖ автоматично знижує вихідну напругу настільки, щоб підтримувати струм постійним. Цей режим незамінний при зарядженні акумуляторів, перевірці світлодіодів та захисті схем від перевантаження.

1.8 Застосування лабораторних блоків живлення

Лабораторні блоки живлення знаходять широке застосування в різних галузях. У сфері розробки та виробництва електроніки їх використовують для першого увімкнення нових плат, налагодження схем, перевірки споживання струму в різних умовах роботи та проведення стрес-тестування компонентів.

У сфері ремонту та обслуговування ЛБЖ дозволяє безпечно подати напругу на несправний прилад, обмежити струм для запобігання подальшим пошкодженням, а також перевірити окремі вузли після ремонту. Особливо актуальним є застосування портативних ЛБЖ у польових умовах — при ремонті обладнання на місці, де відсутній доступ до мережевого живлення.

У навчальних закладах ЛБЖ є стандартним обладнанням навчальних лабораторій і використовуються під час виконання лабораторних робіт.

1.9 Огляд та аналіз існуючих технічних рішень

Для обґрунтування вибору архітектурних рішень пристрою, що розробляється, проведено огляд сучасних автономних та напівавтономних лабораторних блоків живлення, що підтримують живлення від зовнішнього або вбудованого акумулятора. Розглянуто три моделі, що охоплюють різні підходи до реалізації портативного ЛБЖ.

1.9.1 Miniware MDP-XP

Miniware MDP-XP[10] — модульна система програмованого лабораторного блока живлення виробництва компанії *Miniware Technology Co., Ltd.* Система складається з модуля керування *MDP-M01* із 2,8-дюймовим TFT-дисплеєм і змінного силового модуля *MDP-P905* або *MDP-P906*. Загальний вигляд пристрою наведено на рисунку 1.4.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						14
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.4 — Портативний лабораторний блок живлення
Miniware MDP-XP

Архітектура пристрою базується на гібридному принципі регулювання: імпульсний попередній регулятор знижує вхідну напругу до рівня, що перевищує вихідну на 2–3 В, після чого лінійний каскад забезпечує остаточну стабілізацію. Рівень пульсацій вихідної напруги не перевищує 0,25 мВ.

Основні характеристики:

- a) *Діапазон вхідної напруги:* 4,2–30 В.
- b) *Діапазон вхідної напруги:* 0–30 В.
- c) *Максимальний вихідний струм:* 5 А (P905) / 10 А (P906).
- d) *Максимальна вихідна потужність:* 90 Вт / 300 Вт .
- e) *Рівень пульсації вихідної напруги:* $\leq 0,25$ мВ.
- f) *Дисплей:* TFT 2,8.
- g) *Вбудований акумулятор:* Відсутній.

До **переваг** *Miniware MDP-XP* належать надзвичайно низький рівень пульсацій, модульна архітектура з можливістю нарощування потужності та кількості каналів, зручний бездротовий інтерфейс між модулями, підтримка розширених функцій, таких як таймерний режим та компенсація втрат у кабелях.

Разом із тим пристрій має суттєві **недоліки**: висока вартість (від 150 до 300 доларів США залежно від конфігурації), відсутність вбудованого

					<i>РЕ21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		15

акумулятора і зарядного пристрою — для автономної роботи необхідне зовнішнє портативне джерело живлення.

1.9.2 ToolkitRC P200 V2

ToolkitRC P200 V2 [11] — компактний лабораторний блок живлення виробництва компанії *ToolkitRC*, основою силової частини яких є транзистори з нітриду галію (GaN). Пристрій підтримує два режими вхідного живлення: від мережі змінного струму напругою 100–240 В (споживана потужність до 200 Вт) та від зовнішнього джерела постійного струму напругою 7–28 В (споживана потужність до 100 Вт), що дозволяє жити його безпосередньо від акумуляторів у польових умовах. Загальний вигляд пристрою наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 — Портативний лабораторний блок живлення
ToolkitRC P200 V2

Основні характеристики:

а) *Діапазон вхідної напруги (DC): 7–28 В.*

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		16

- b) Діапазон вхідної напруги (АС): 100–240 В.
- c) Діапазон вихідної напруги: 1–30 В.
- d) Максимальний вихідний струм: 10 А.
- e) Максимальна вихідна потужність: 100 Вт (DC) / 200 Вт (АС).
- f) Коефіцієнт корисної дії: До 95%
- g) Дисплей: IPS 1,54.
- h) Вбудований акумулятор: Відсутній.

Використання GaN-технології дозволяє забезпечити ефективність до 95% у компактному корпусі. Пристрій оснащений функцією захисту від короткого замикання та перевантаження з часом спрацювання менше 1 мс. **Перевагами ToolkitRC P200 V2** є компактність, висока потужність і ефективність, підтримка широкого діапазону вхідних DC-джерел. **Недоліками** – відсутність вбудованого акумулятора і зарядного пристрою, нижня межа вихідної напруги 1 В, що робить неможливим тестування схем при напрузі менше 1 В.

1.9.3 FNIRSI DPS-150

FNIRSI DPS-150 [12] — програмований мініатюрний лабораторний блок живлення виробництва компанії *FNIRSI Technology Co., Ltd.* (Китай). Особливістю пристрою є підтримка живлення через *USB Type-C* з підтримкою протоколів *PD* та *QC*, що дозволяє використовувати його разом із сучасним павербанком або адаптером у польових умовах. Зовнішній вигляд пристрою наведено на рисунку 1.6.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 — Портативний лабораторний блок живлення
FNIRSI DPS-150

Основні характеристики:

- a) Діапазон вхідної напруги: 5–30 В.
- b) Діапазон вихідної напруги: 0–30 В.
- c) Максимальний вихідний струм: 5 А.
- d) Максимальна вихідна потужність: 150 Вт.
- e) Рівень пульсації вихідної напруги: $\leq 20\text{mV}$.
- f) Дисплей: IPS 2,8.
- g) Вбудований акумулятор: Відсутній.

Система захисту FNIRSI DPS-150 включає захист пристрою за вісьма параметрами: - від перевищення напруги (OVP); - перевищення струму (OCP); - перевищення потужності (OPP); - перевищення температури (OTP); - короткого замикання; - зворотного підключення та інші.

Перевагами цієї моделі є компактність, висока точність встановлення параметрів, зручний великий дисплей. **Недоліками** — відсутність вбудованого акумулятора і зарядного пристрою, підвищений рівень пульсацій порівняно з лінійними рішеннями.

1.10 Висновки по розділу

Отже, у даному розділі проведено аналіз сучасного стану ринку лабораторних блоків живлення, вивчено принципи їх функціонування, класифікацію та особливості реалізації режимів стабілізації напруги і струму. Виконано порівняльний аналіз сучасних комерційних аналогів, який показав, що жоден з них не є повністю автономним пристроєм з вбудованим акумулятором та зарядним вузлом, що обґрунтувало актуальність власної розробки.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						19
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми

Структурна блок-схема портативного лабораторного блока живлення (рис. 2.1) описує послідовність перетворення електричної енергії від зовнішнього джерела *USB Type-C* та акумуляторної збірки до регульованої вихідної напруги і струму на навантаженні. Пристрій складається з двох основних частин: силової, яка забезпечує перетворення енергії, та системи керування та контролю, яка реалізує керування, вимірювання й індикацію.

Силова частина починається з роз'єму *USB Type-C* та контролера протоколу *Power Delivery*. Контролер виконує узгодження з джерелом і запитує постачальника на видачу необхідного рівня напруги в діапазоні 10,5–15 В. Далі струм надходить на зарядний контролер, що працює у режимі *buck-boost*, який, у свою чергу, живить акумуляторну збірку і одночасно може передавати струм в силову частину. Така архітектура забезпечує роботу пристрою як від зовнішнього джерела, так і від внутрішнього акумулятора з безперервним живленням навантаження.

Акумуляторна збірка з трьох літій-іонних елементів (3S) має робочу напругу 9,0–12,6 В і номінальну ємність близько 4000 мА·год. До збірки підключено вузол захисту BMS, який контролює напругу кожного елемента, обмежує струми заряду і розряду, виконує балансування та відключає батарею в аварійних режимах. Захищена напруга акумулятора надходить на вхід підвищувального перетворювача.

Підвищувальний (*boost*) перетворювач формує проміжну шину напругою близько 34 В, що на 3–4 В перевищує максимальну вихідну напругу 30 В і забезпечує необхідний запас для нормальної роботи наступного каскаду. Знижувальний регулятор з режимами CV/CC формує вихідну напругу у діапазоні 0–30 В при струмі до 2 А, при цьому встановлення напруги і струму здійснюються двоканальним ЦАП, керованим мікроконтролером.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						20
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Система керування та контролю реалізована на основі мікроконтролера STM32, який є центральним вузлом керування. Мікроконтролер опитує енкадер і кнопки для встановлення значень вихідних параметрів користувачем, керує ЦАП за інтерфейсом SPI для задання напруги і струму, зчитує дані вимірювального каналу через інтерфейс I²C, обмінюється даними із зарядним контролером для отримання інформації про стан акумулятора, формує зображення на OLED-дисплеї та реалізує алгоритми захисту від аварійних режимів.

Вимірювальний канал виконано на основі двонаправленого датчика напруги та струму з цифровим інтерфейсом I²C. Така мікросхема одночасно вимірює падіння напруги на шунті у вихідному колі та напругу на клеммах навантаження, обчислює фактичні значення струму, напруги та потужності з високою точністю.



Рисунок 2.1 — Структурна блок-схема портативного ЛБЖ

2.2 Огляд комплектуючих для портативного лабораторного блоку живлення

Для розробки портативного ЛБЖ необхідно використати наступні компоненти:

- Живлення 10,5-15 В;
- Зарядний контролер;
- Підвищувальний перетворювач 12→34 В
- Понижувальний перетворювач 0→30 В

2.2.2 Підвищувальний перетворювач

Підвищувальний перетворювач на основі мікросхеми *LM5155* [14] формує проміжну шину напругою 34 В, що перевищує максимальну вихідну, і живить наступний каскад незалежно від поточного рівня заряду акумулятора та вхідної напруги живлення.

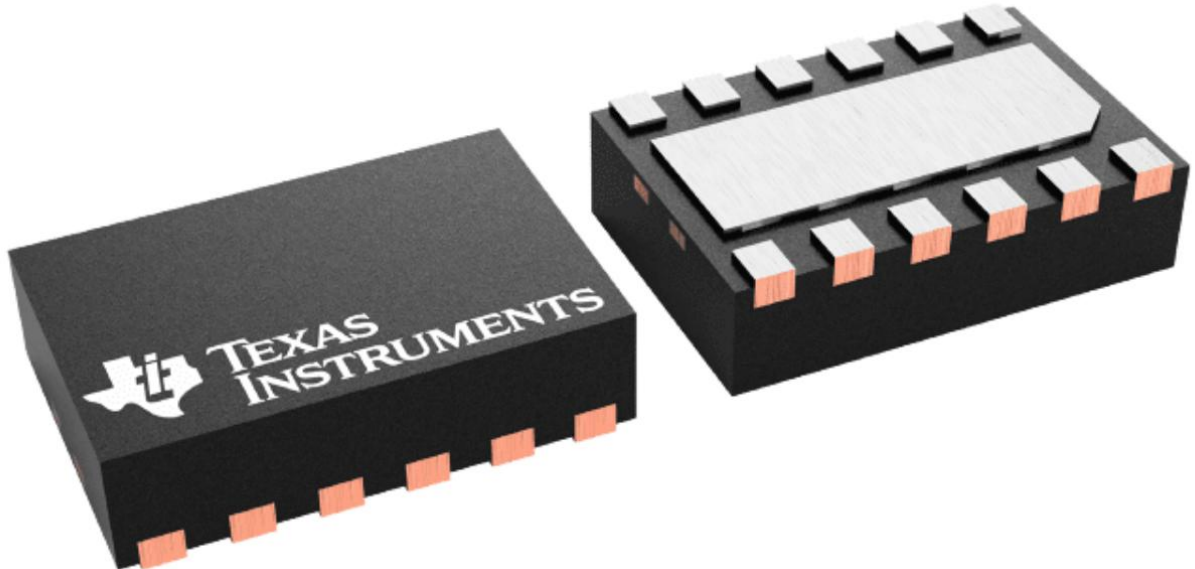


Рисунок 2.3 — Мікросхема *LM5155*

2.2.3 Понижуючий перетворювач

Понижуючий перетворювач на основі мікросхеми *LM5116* [15] формує вихідну напругу і струм у режимах CV та CC з керуванням за командами мікроконтролера. Він забезпечує регулювання вихідної напруги від 0 до 30 В при струмі до 2 А. Встановлення значення напруги і струму здійснюються через ЦАП. При досягненні заданого порогу струму регулятор автоматично переходить у режим CC, знижуючи вихідну напругу для підтримання стабільного струму на встановленому рівні.

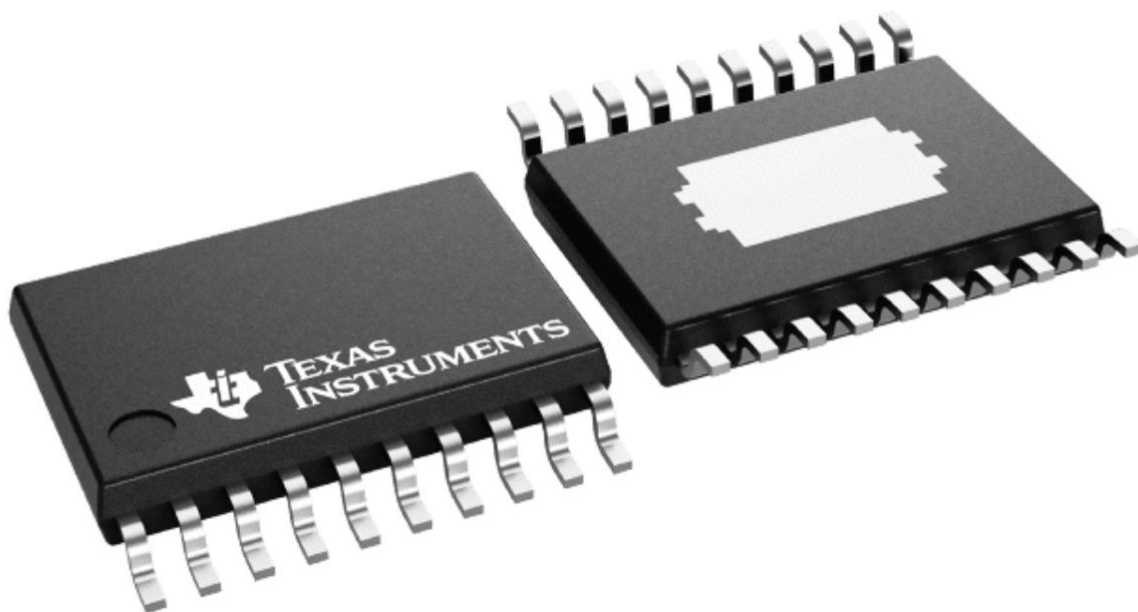


Рисунок 2.4 — Мікросхема LM5116

2.2.4 Вимірювач напруги та струму

Вимірювальний канал реалізовано на основі мікросхеми двонаправленого вимірювача (монітору) напруги і струму *INA226* [16]. Така мікросхема одночасно виконує функції диференційного підсилювача напруги датчика струму (шунта), ділника напруги і АЦП, передаючи готові значення в мікроконтролер через інтерфейс *I²C*. Це суттєво спрощує схему вимірювального каналу порівняно з реалізацією на дискретних компонентах і підвищує точність вимірювань завдяки використанню заводського калібрування мікросхеми.

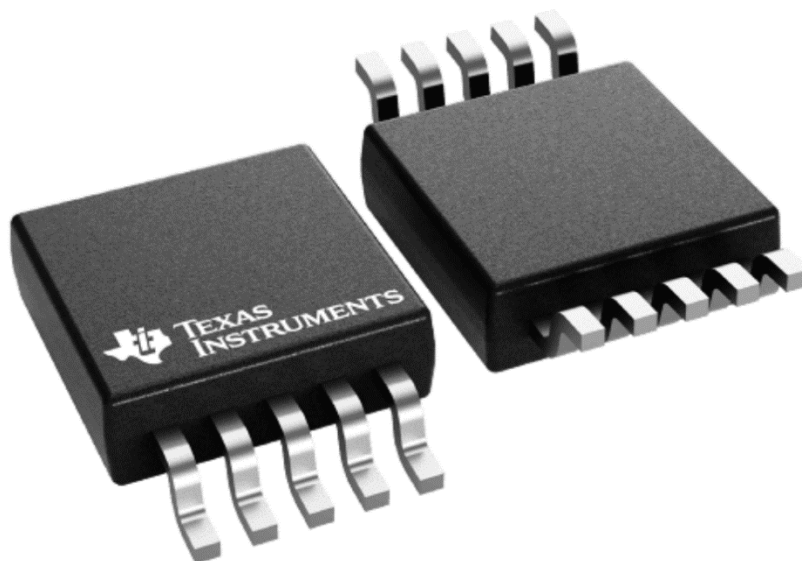


Рисунок 2.5 — Мікросхема INA226

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21.436131.001 ПЗ

Лис
24

2.2.5 Цифро-аналоговий перетворювач

Задання величини вихідної напруги та струму реалізовано за допомогою двоканального цифро-аналогового перетворювача *MCP4822* [17]. Один канал формує рівень вихідної напруги, другий — величину максимального струму для режиму *СС*. Зв'язок з мікроконтролером здійснюється через інтерфейс *SPI*, що забезпечує швидке оновлення значень вихідних параметрів. Роздільна здатність по напрузі складає 7,3 мВ у діапазоні від 0 В до 30 В. Роздільна здатність по струму складає 0,49 мА у діапазоні від 0 А до 2 А, чого достатньо для точного регулювання вихідних параметрів ЛБЖ.



Рисунок 2.6 — Мікросхема *MCP4822*

2.2.6 Лінійний стабілізатор

Живлення мікроконтролера, OLED-дисплею та енкодерів напругою 3,3 В забезпечується лінійним стабілізатором *AMS1117-3.3* [18]. Мікросхема перетворює напругу акумуляторної збірки 9–12,6 В у стабілізовані 3,3 В з максимальним вихідним струмом до 1 А, чого достатньо для живлення всіх

					<i>PE21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						25
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

цифрових вузлів пристрою. Падіння напруги на стабілізаторі не перевищує 1,3 В, що гарантує стабільну роботу навіть при мінімальній напрузі акумулятора 9 В.

Вибір лінійного стабілізатора замість імпульсного зумовлений низьким рівнем споживання цифрових вузлів та відсутністю електромагнітних завад, які можуть впливати на точність вимірювального каналу.



Рисунок 2.7 — Мікросхема AMS1117

2.2.7 Дисплей

Інтерфейс користувача реалізовано на базі OLED-дисплею SSD1306 [19] з підключенням за інтерфейсом I²C. Дисплей забезпечує одночасне відображення встановлених і виміряних значень напруги і струму, потужності, рівня заряду акумулятора та режиму роботи. Низьке енергоспоживання дисплея є важливим для портативного пристрою з акумуляторним живленням.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

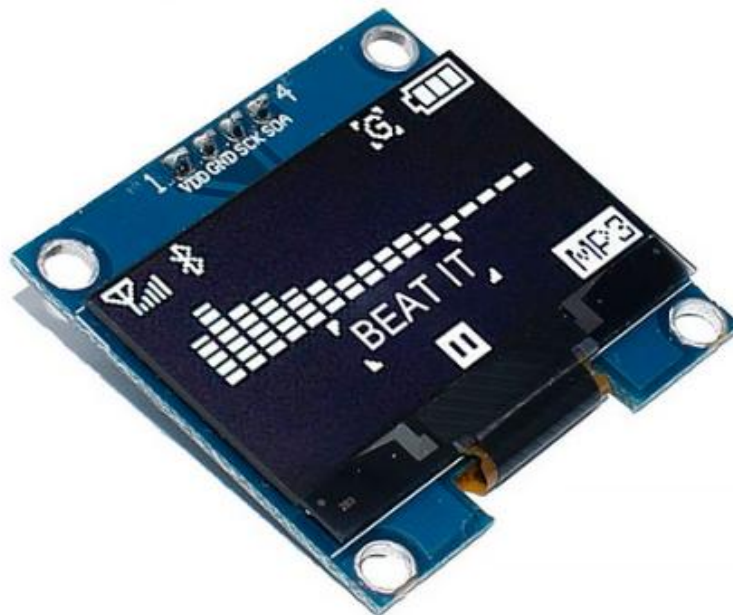


Рисунок 2.8 — OLED дисплей *SSD1306*

2.2.8 Модуль керування

Керування параметрами пристрою реалізовано за допомогою енкодера *EC11* [20]. Даний модуль обрано завдяки зручності підключення до МК та простоті програмної обробки сигналів. Енкодер має 20 фіксованих позицій на один оборот валу та вбудовану тактову кнопку. Принцип роботи ґрунтується на зміні стану двох внутрішніх перемикачів при обертанні валу, що формує квадратурний сигнал, за яким МК визначає напрямок та крок обертання валу.



Рисунок 2.9 — Енкодер *EC11*

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21.436131.001 ПЗ

Лис
27

2.2.9 Керування

Центральним вузлом системи керування та контролю є МК сімейства *STM32* [21]. Він має достатню обчислювальну потужність, необхідні цифрові інтерфейси (*SPI*, *I²C*, *USB*), широку доступність на ринку та велику базу прикладів і бібліотек. Мікроконтролер опитує органи керування, керує цифро-аналоговим перетворювачем для задання рівнів напруги та струму, зчитує дані вимірювального каналу та обмінюється даними із зарядним контролером.

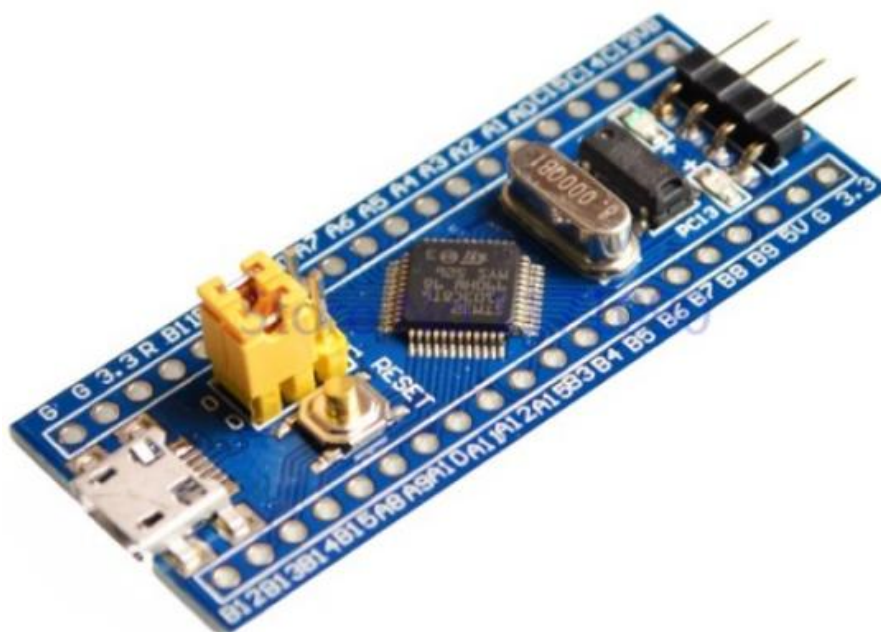


Рисунок 2.9 — Мікроконтролер *STM32*

2.2.10 Роз'єми живлення

Для підключення навантаження до вихідних клем пристрою обрано здвоєний затискний роз'єм типу *Dual Binding Post* [22], зображений на рис. 2.10. Роз'єм складається з двох ізольованих клемних штирів з кольоровим маркуванням: червоний — для виводу позитивної полярності, чорний — для негативної. Кожна клемма має різьбове з'єднання з накидною гайкою та підтримує два способи підключення: через стандартне гніздо діаметром 4 мм для штекерів типу «банан» (banana plug) [23] та через затискання зачищеного провідника (чи провідника із U-подібною клемою) під гайку. Такий тип роз'єму є стандартним для лабораторних блоків живлення, забезпечує надійний електричний

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		28

контакт при струмах до 15 А та дозволяє швидко приєднувати та від'єднувати вимірювальні щупи або дроти навантаження без застосування паяння.



Рисунок 2.10 — Роз'єм типу *Dual binding post* [22]

2.3 Схема електрична принципова

Електрична принципова схема пристрою наведена на рис. 2.11 та більш деталізовано – у Додатку В.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		29

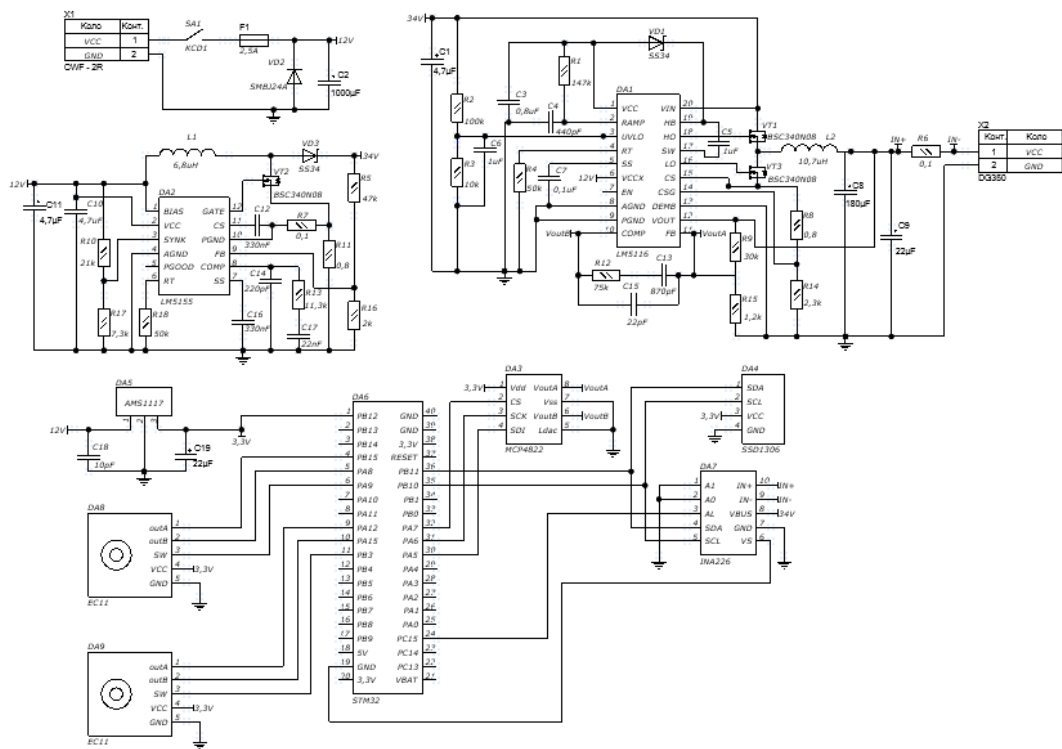


Рисунок 2.11 — Схема електрична принципова

Схема містить наступні основні функціональні вузли: - вхідне коло із захистом; - підвищувальний перетворювач; - знижувальний регулятор з режимами CV/CC; - вихідний фільтр із вимірювальним шунтом; - лінійний стабілізатор живлення цифрових вузлів; - мікроконтролер з периферією; - інтерфейс користувача.

Вхідне коло пристрою утворене роз'ємом X1 для підключення зовнішнього джерела живлення, вимикачем SA1, плавким запобіжником F1 номіналом 2,5 A та захисним TVS-діодом VD2, що забезпечує захист від імпульсних перенапруг на вході. Електролітичний конденсатор C2 ємністю 1000 мкФ згладжує пульсації вхідної напруги 12 В.

Підвищувальний перетворювач побудовано на контролері DA2 (LM5155), силовому MOSFET-ключі VT2 та діоді Шоттки VD3. Дросель L1 індуктивністю 6,8 мкГн забезпечує накопичення енергії під час відкритого стану ключа. Частота комутації задається резистором R10 номіналом 21 кОм. Резистори R17 та R18 утворюють дільник зворотного зв'язку на вході FB, що визначає напругу на проміжній шині 34 В. Конденсатори C16, C17 та C14 формують

ланцюг частотної компенсації на виводі *COMP*, що забезпечує стійкість контуру регулювання. Вихідна напруга 34 В фільтрується конденсатором C1 ємністю 4,7 мкФ.

Знижувальний регулятор з режимами CV/CC побудовано на контролері DA1 із зовнішніми силовими MOSFET-ключами VT1 та VT3. C5 ємністю 1 мкФ забезпечує фільтрацію живлення драйвера верхнього ключа. Дросель L2 індуктивністю 10,7 мкГн та вихідні конденсатори C8 і C9 утворюють вихідний LC-фільтр. Дільник зворотного зв'язку на вході *FB* формується резисторами R9 та R15 з підмішуванням керуючого сигналу від ЦАП через резистори R13 та R14. Ланцюг частотної компенсації утворений елементами R12, C13, C15 на виводі *COMP*. Резистор R2 номіналом 100 кОм та конденсатор C3 формують ланцюг вимірювання струму на вході *CS* контролера. Вхід *SS* забезпечує плавний запуск через конденсатор C7 та резистор R4.

Встановлення рівня вихідної напруги та максимального струму здійснюється двоканальним ЦАП (DA3), підключеним до мікроконтролера через інтерфейс *SPI*. Вихід *VoutA* формує рівень напруги, *VoutB* — струму, які подаються на відповідні входи дільника зворотного зв'язку знижувального регулятора.

Вимірювання фактичних значень вихідної напруги та струму здійснюється вимірювальною мікросхемою (монітором) DA6, підключеною до шунтового резистора R6 опором 0,1 Ом через входи *IN+* та *IN-*. Зв'язок із мікроконтролером забезпечується через інтерфейс *I²C*.

Живлення цифрових вузлів напругою 3,3 В забезпечується лінійним стабілізатором DA5. Вхідна напруга 12 В знижується до стабілізованих 3,3 В із фільтрацією конденсаторами C18 та C19.

Центральним вузлом керування є мікроконтролер DD1. Мікроконтролер з'єднаний з ЦАП DA3 через інтерфейс *SPI*, з монітором DA6 та дисплеєм DA4 через інтерфейс *I²C*. Введення значень вихідних параметрів користувачем здійснюється за допомогою двох інкрементальних енкoderів SA2 та SA3, підключених до портів мікроконтролера.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						31
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні клеми пристрою виведено на роз'єм Х2, що забезпечує надійне підключення навантаження.

2.4 Розробка друкованої плати

2.4.1 Визначення мінімальної площі друкованої плати

Розрахунок габаритів друкованої плати на початковому етапі дозволяє оптимізувати компоновання пристрою та забезпечити раціональне використання внутрішнього об'єму корпусу. У випадку портативних виробів з акумуляторним живленням цей етап набуває особливого значення, адже лівова частка простору всередині корпусу відводиться під акумуляторну збірку. Зменшення займаної платою площі також скорочує довжину силових провідників, що в свою чергу знижує паразитні індуктивності та електромагнітні завади, які генеруються імпульсними перетворювачами. Окрім того, розташування силових компонентів необхідно виконати з урахуванням вимог теплового режиму та мінімізації довжини струмових провідників. Для покращення відведення тепла під силовими елементами передбачено мідні полігони збільшеної площі. Разом з тим, обираючи мінімальні габарити плати, потрібно зважати на технологічні зазори для зручного монтажу та подальшого обслуговування пристрою.

Мінімальна площа плати розраховується за формулою:

$$S_{\text{дп}} = \sum S_{\text{мг}} + 1,5 \cdot \sum S_{\text{сг}} + 2 \cdot \sum S_{\text{вг}} + S_{\text{кр}} \quad (2.1)$$

де: $S_{\text{дп}}$ — Потрібна площа плати, $S_{\text{мг}}$ — площа малогабаритних елементів, $S_{\text{сг}}$ — площа середньогабаритних компонентів, $S_{\text{вг}}$ — площа великогабаритних компонентів, $S_{\text{кр}}$ — площа для кріплення плати.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1— Розрахунок площі компонентів

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						32
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

	Найменування	Площа (S)	Коефіці- єнт (K)	Кіль- кість (N)	Сума
Малогобаритні	Резистори розміру 0805	6,66	1	16	106,56
	Конденсатори розміру 0805	6,66	1	13	86,58
	Датчик напруги та струму INA 226	20,4	1	1	20,4
	Роз'єм для перемикача	14,4	1	1	14,4
	Роз'єм для дисплея	28,3	1	1	28,3
	Роз'єми для енкодерів	35,4	1	1	35,4
	Діод SMBJ24A	2,9	1	1	2,9
	Діоди SS34	11,3	1	2	22,6
	Мікросхема LM5155	11,6	1	1	11,6
	Лінійний стабілізатор AMS 1117	11,9	1	1	11,9
	Запобіжник	22,1	1	1	22,1
Середньогобаритні	ЦАП MCP4822	38,6	1,5	1	57,9
	MOSFET BSC340N08	39,2	1,5	3	176,4
	Конденсатор 22uF 35V	46,2	1,5	2	138,6
	Конденсатор 4,7uF 35V	46,2	1,5	2	138,6
	Роз'єм живлення CWF-2R	94	1,5	1	141
	Клемник DG350	56	1,5	1	84
	Дросель 6,8uH	55,1	1,5	1	82,65
	Дросель 10,7uH	40,2	1,5	1	60,3
	Мікросхема LM5116	58	1,5	1	87
Великого баритні	Конденсатор 1000uP 35V	110,6	2	1	221,2
	Конденсатор 180uP 35V	110,6	2	2	442,4
	Мікроконтролер STM32	1243,5	2	1	2487
	Місце для кріплення плати	86,5	1	4	346

На основі підсумкових значень з таблиці 2.1 побудовано результуючу таблицю 3.2.

Таблиця 2.2 — Площа компонентів плати

<i>Загальна площа, мм²</i>	<i>Кількість елементів</i>	<i>Габарити плати згідно площі, мм</i>
4825,9	60	80 x 65

Відповідно до розрахунків мінімальна площа плати становить 4825 мм². Виходячи з викладеного вище обрано плату прямокутної форми з габаритними розмірами 80x65 мм. Кріплення плати буде здійснено за допомогою гвинтів М3. Кріплення плати гвинтами – це простий і надійний спосіб фіксації плат до корпусу. Він швидкий у монтажі, універсальний та економічний.

За основу друкованої плати було обрано листовий фольгований склотекстоліт *FR-4 35/35 1.5*, що означає використання плати, виготовлену з склотекстоліту *FR-4* з товщиною мідного шару 35 мкм та товщиною плати 1,5 мм. Отже, друкована плата двостороння, монтаж елементів здійснюватиметься з однієї сторони. Друкована плата відповідатиме 2 класу, згідно *IPC 6012*.

2.4.2 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників друкованої плати є обов'язковим етапом конструкторського проектування, оскільки від правильного вибору ширини залежить тепловий режим доріжок та стабільність роботи пристрою в цілому. Провідник недостатньої ширини при проходженні великого струму перегріватиметься, що призводить до збільшення опору, додаткового падіння напруги та в найгіршому випадку — до відшарування міді від основи. Для портативного блоку живлення цей розрахунок є особливо критичним, оскільки силові кола перетворювачів працюють з струмом до 2 А, що вимагає значно ширших доріжок порівняно із сигнальними колами. Ширина провідників визначається відповідно до стандарту *IPC-2221* з урахуванням максимального струму, допустимого перевищення температури та товщини мідного шару.

					PE21.436131.001 ПЗ	Лис
						34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік основних кіл розроблюваної плати та відповідні максимальні значення струму наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 2.3 — Кола схеми та їх струм

Назва ланцюга	I, A
Силовий +12-34 V	2
Силовий +3,3 V	1
Сигнальний	0,2

Розрахуємо за допомогою онлайн-калькулятора [24], якою має бути ширина провідника, щоб забезпечити коректну роботу ДП.

Для розрахунку доріжок для кола +12-36 V внесені наступні параметри (рис. 2.12):

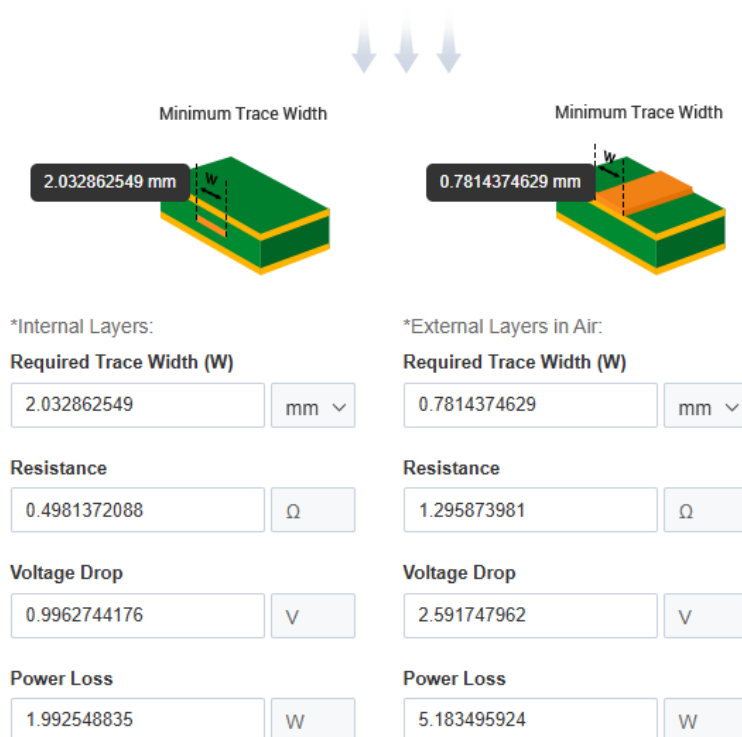


Рисунок 2.12 — Розрахунок параметрів струмопровідних доріжок ДП для кола +12-34 V

Для розрахунку параметрів струмопровідних доріжок +3,3 V внесені наступні параметри (рис. 2.13):

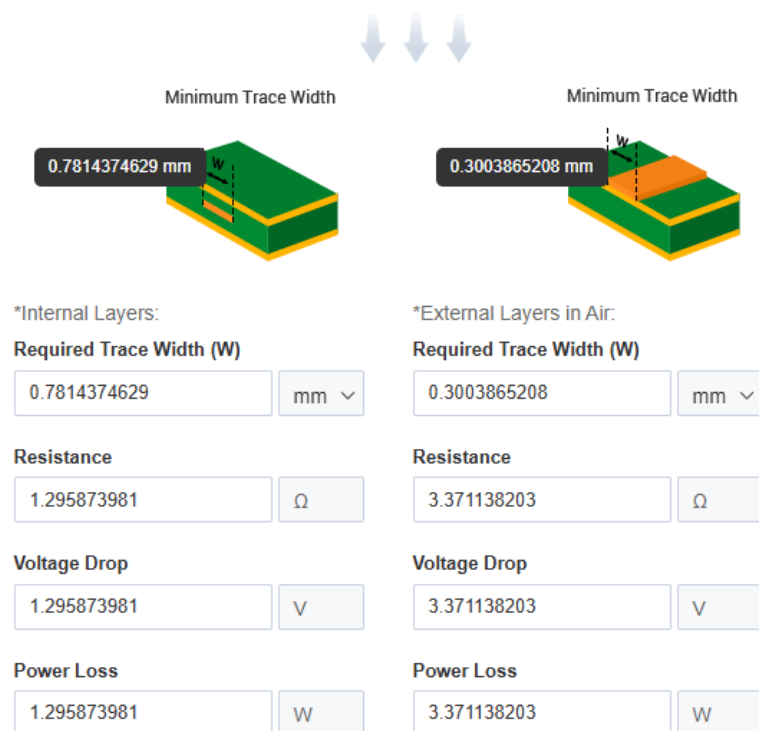


Рисунок 2.13 — Розрахунок параметрів струмопровідних доріжок ДП для кола +3,3 V

Для розрахунку сигнальних провідників внесені наступні параметри (рис. 2.14):

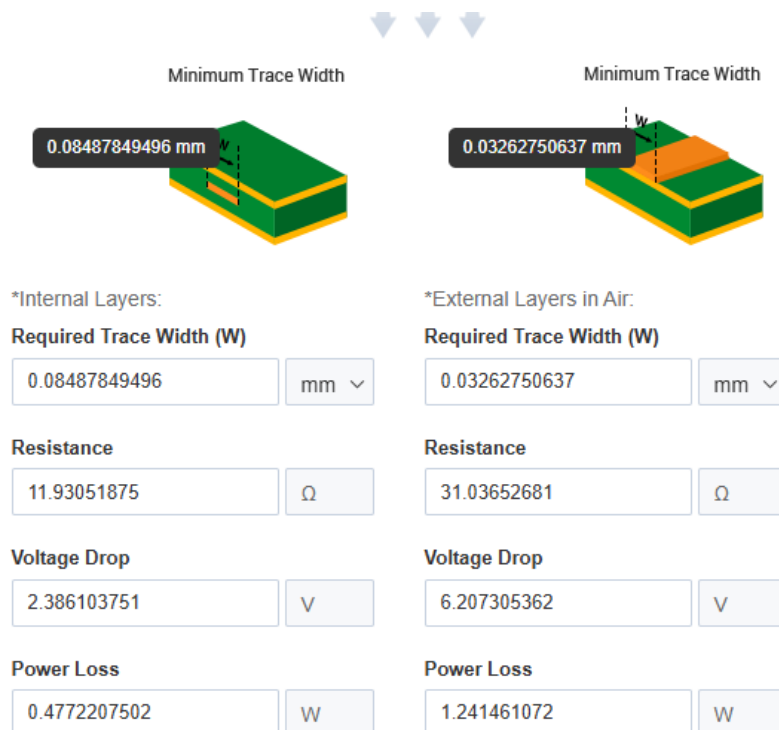


Рисунок 2.14 — Розрахунок параметрів струмопровідних доріжок ДП для сигнальних кіл

З урахуванням всіх розрахунків отримуємо наступні параметри:

Таблиця 2.4 — Кола схема та товщина доріжок

Назва кола	t, mm
Силове 12-36 В	0,78
Силове 3,3 В	0,3
Сигнальне	0,1

Оскільки у більшості виробників мінімальна товщина доріжок складає 0,1 мм, то для сигнального кола ми використаємо дане значення.

2.4.3 Трасування друкованої плати

Трасування друкованої плати є одним із визначальних етапів конструкторського проектування, від якого залежить надійність, завадостійкість та технологічність виробу. Трасування виконано у системі автоматизованого проектування *Altium Designer*, яка забезпечує повний цикл розробки від принципової схеми до формування *Gerber*-файлів для виробництва. При трасуванні було враховано вимоги до ширини силових провідників, мінімізацію площі петель комутації силових ключів, а також забезпечення достатніх зазорів між високочастотними та низькочастотними колами. Трасування верхнього та нижнього металізованого шару друкованої плати зображено на рис. 2.15 та рис. 2.16 відповідно.

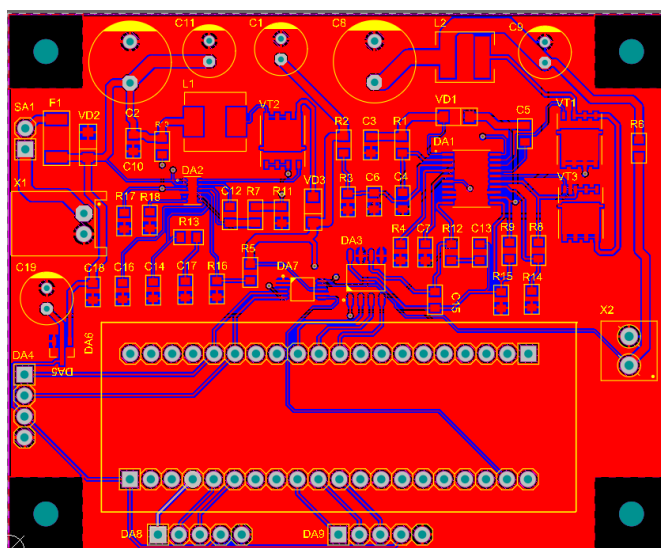


Рисунок 2.15 — Трасування верхнього шару ДП

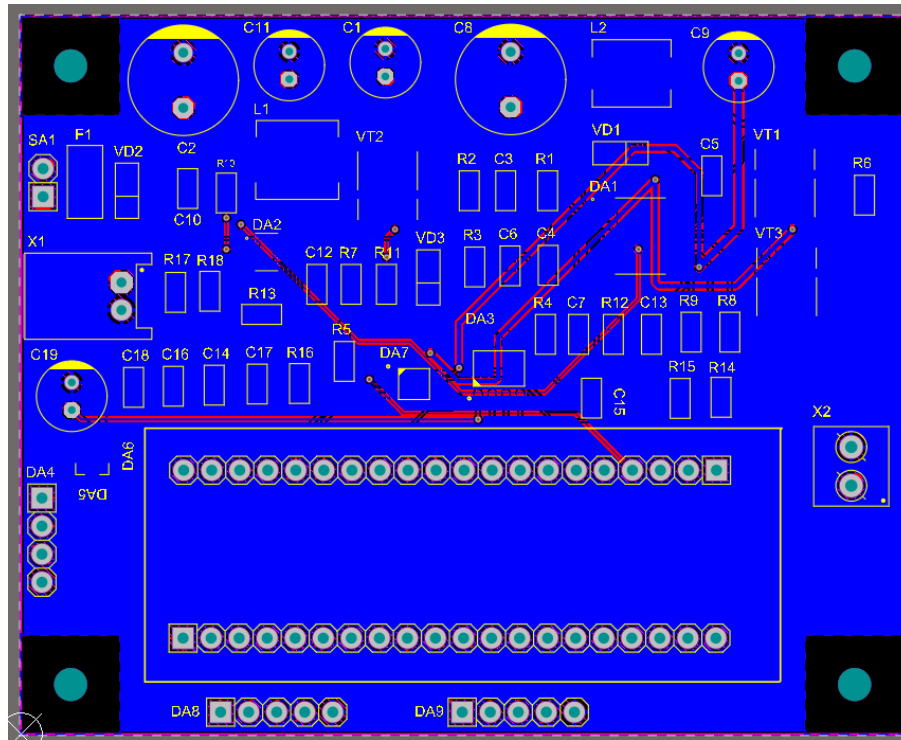


Рисунок 2.16 — Трасування нижнього шару ДП

На обох шарах друкованої плати виконано оптимізоване розведення провідників з урахуванням мінімізації довжини доріжок та уникнення перехресть між сигнальними та силовими колами. Для сигнальних ліній інтерфейсів *I²C* та *SPI* застосовано вузькі доріжки, тоді як для силових кіл *boost*- та *buck*-перетворювачів передбачено провідники збільшеної ширини, відповідно до результатів розрахунку, наведеного у таблиці 3.4. Міжшарові з'єднання виконано за допомогою перехідних отворів (*via*), що забезпечує ефективне розподілення компонентів між верхнім та нижнім шарами плати.

Важливим конструктивним рішенням є застосування суцільного мідного полігону «П», який займає більшу частину нижнього та верхнього шару плати. Суцільний полігон значно зменшує імпеданс загального провідника, забезпечує короткий зворотний шлях для струму з мінімальним рівнем шуму та покращує електромагнітну сумісність пристрою, що є критичним при роботі імпульсних перетворювачів на частотах 300–500 кГц. Крім того, мідний полігон виконує функцію тепловідводу, ефективно відводячи тепло від силових ключів VT1–VT3 та дроселів L1, L2 через масив теплових перехідних отворів під корпусами компонентів. З'єднання виводів компонентів із полігоном виконано

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		38

через термобар'єри, що забезпечує якісну пайку та запобігає надмірному відведенню тепла від паяного з'єднання під час монтажу.

На рис. 2.17 наведено тривимірну модель розведеної друкованої плати розроблюваного пристрою, що дозволяє оцінити взаємне розташування компонентів та загальні габарити виробу.

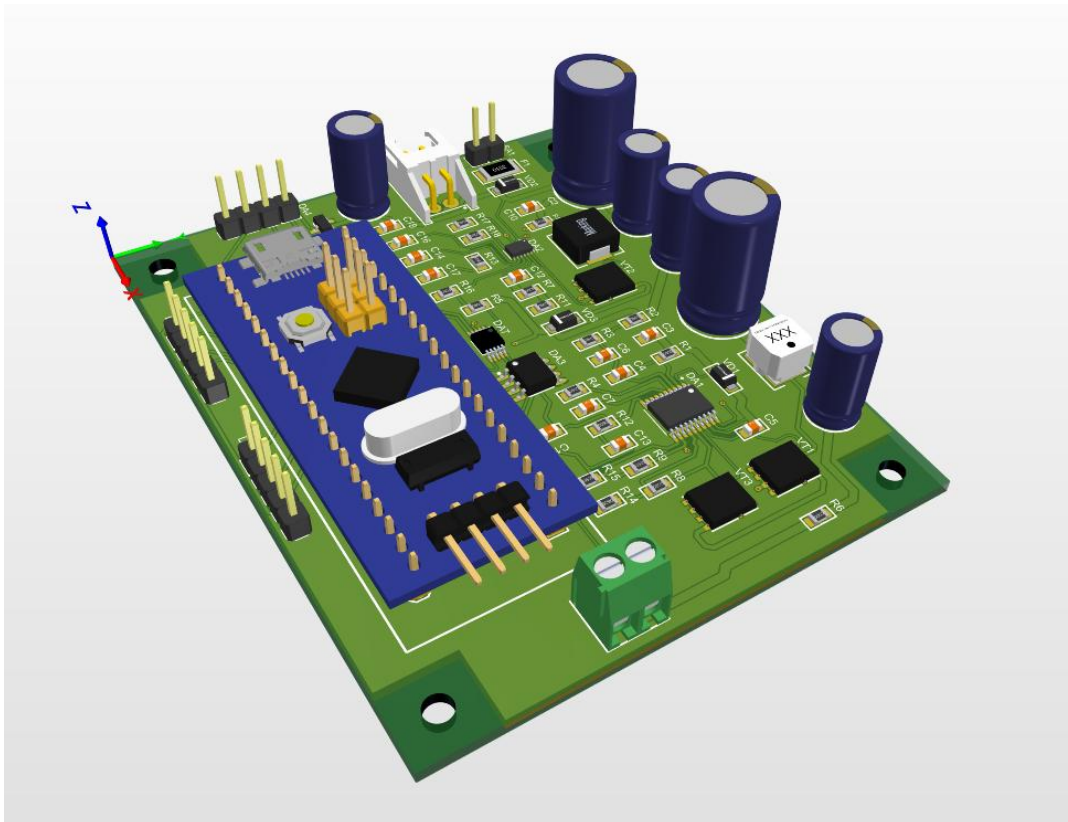


Рисунок 2.17 — Об'ємний вигляд ДП

2.4.4 Експорт файлів для виготовлення плати

Завершальним етапом конструкторського проектування є підготовка виробничої документації у форматі *Gerber* — стандартному форматі обміну даними між розробником та виробником друкованих плат. Формат *Gerber* забезпечує однозначний опис кожного шару плати у вигляді графічних примітивів і є загальноприйнятим стандартом у галузі виробництва друкованих плат.

У процесі експорту сформовано комплект файлів для кожного шару друкованої плати: верхній мідний шар (*Top Copper*), нижній мідний шар (*Bottom Copper*), верхня та нижня паяльні маски (*Top Solder Mask*, *Bottom Solder Mask*), верхня шовкографія (*Top Overlay*), контур плати (*Board Outline*), а також файл

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		39

свердління (*NC Drill*) у форматі *Excellon*, що містить координати та діаметри всіх отворів — монтажних, перехідних та кріпильних.

Gerber файли були завантаженні на сайт виробника друкованих плат JLCPCB [25]. Верхня та нижня сторона ДП зображено на рис. 2.18 та рис. 2.19 відповідно.

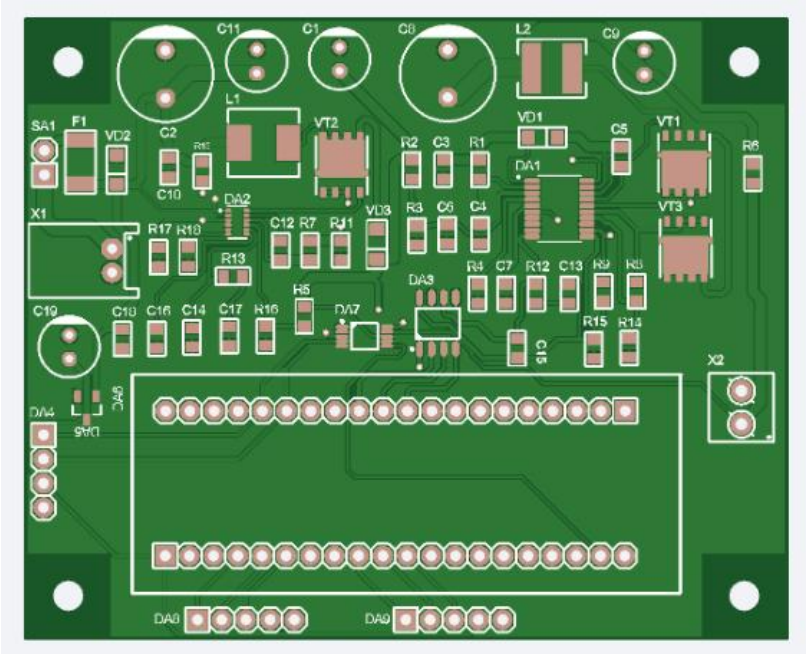


Рисунок 2.18 — Верхня сторона ДП

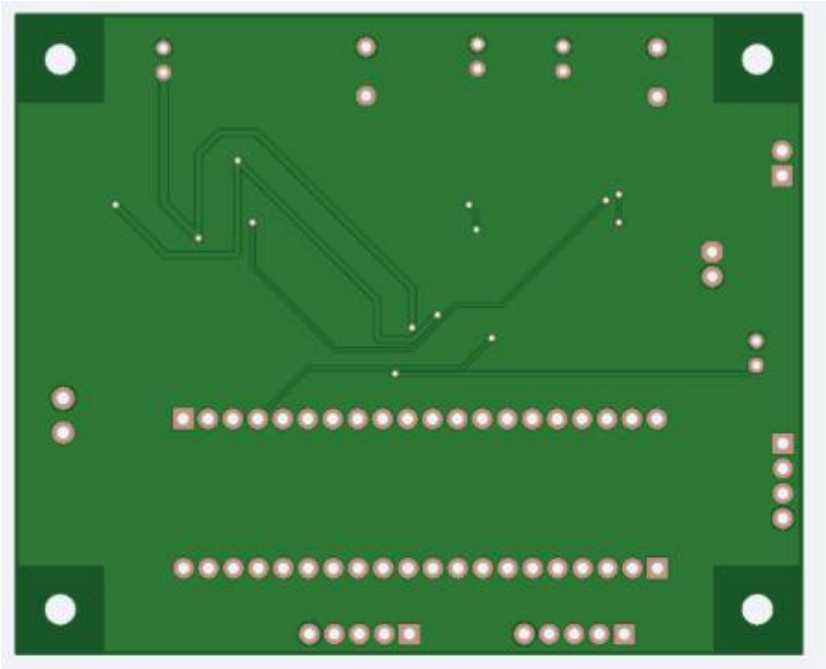


Рисунок 2.19 — Нижня сторона ДП

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE21.436131.001 ПЗ

2.5 Розробка корпусу для пристрою

Корпус є однією з ключових складових будь-якого електронного пристрою, оскільки саме від нього залежить не лише зовнішній вигляд виробу, але й зручність експлуатації, ергономічність керування, безпека користувача та довговічність роботи. У випадку ЛБЖ з акумуляторним живленням корпус виконує одразу декілька важливих функцій. Насамперед, він забезпечує механічний захист електронних компонентів та акумуляторної збірки від ударів, вібрацій, пилу та вологи, що особливо важливо при експлуатації пристрою у польових умовах.

Окрім захисної функції, корпус організовує раціональне розміщення друкованої плати, акумуляторів та органів керування у компактному об'ємі, забезпечує ефективне відведення тепла від силових компонентів імпульсних перетворювачів та надає простий доступ до акумуляторного відсіку для заміни елементів живлення. Не менш важливою є роль корпусу як інтерфейсу взаємодії з користувачем. На його панелях розміщуються елементи індикації, органи керування та роз'єми для підключення зовнішніх джерел і навантаження.

Окремою вимогою до корпусу портативного пристрою є його зовнішня естетика та ергономічність. Корпус має бути зручним для перенесення, мати продуманий вигляд та відповідати сучасним стандартам дизайну. З огляду на вищезазначене, при проєктуванні корпусу необхідно враховувати комплекс взаємопов'язаних вимог: механічну міцність, тепловий режим, ергономіку, технологічність виготовлення та економічну доцільність обраних рішень.

2.5.1 Загальні вимоги до конструкції корпусу

Відповідно до технічного завдання, корпус портативного лабораторного блока живлення повинен задовольняти такі основні вимоги: малогабаритне виконання у формі паралелепіпеда, ударо- та вібростійкість, підвищена вологостійкість для роботи у польових умовах, наявність елементів для зручного транспортування. Габаритні розміри пристрою не повинні перевищувати 300×100×150 мм.

					<i>РЕ21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						41
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім вимог технічного завдання, при проєктуванні корпусу враховувались такі додаткові фактори: забезпечення достатнього об'єму для розміщення акумуляторної збірки 3S Li-Ion, друкованої плати з компонентами, органів керування та індикації; зручність доступу до акумуляторного відсіку для заміни елементів живлення; технологічність виготовлення дослідного зразка.

Корпус спроектовано у середовищі тривимірного моделювання *SolidWorks*. Загальні габарити готового виробу становлять 125×85×55 мм, що значно менше за максимально допустимі за технічним завданням і відповідає вимогам портативності.

2.5.2 Вибір матеріалу та технології виготовлення

Для виготовлення корпусу обрано ABS-пластик (акрилонітрил-бутадієн-стирол). Це термопластичний матеріал, що широко застосовується для виготовлення корпусів електронної техніки [26]. Вибір ABS-пластику обумовлений сукупністю його властивостей: висока ударна міцність, що забезпечує захист внутрішніх компонентів при випадкових падіннях; стійкість до подряпин та механічних впливів; робочий температурний діапазон від -40 до $+80$ °C, що покриває весь діапазон умов експлуатації за кліматичним виконанням У2 (ГОСТ 15150-69); хороша оброблюваність та можливість виготовлення складних геометричних форм; електроізоляційні властивості, що забезпечують безпеку користувача; помірна вартість матеріалу та доступність на ринку.

Як технологію виготовлення обрано тривимірний друк методом *FDM* (*Fused Deposition Modeling*) [27]. Цей метод оптимально підходить для одиничного виробництва дослідного зразка з таких причин: відсутність необхідності виготовлення дорогих форм для відливання пластику, що є економічно недоцільним для одиничного виробу; можливість оперативного внесення змін до конструкції на етапі прототипування; виготовлення складних геометричних форм без додаткової механічної обробки; доступність обладнання для 3D-друку та матеріалу ABS-філаменту.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.3 Конструкція зовнішніх елементів корпусу

Передня панель пристрою (рис. 2.20) є основним інтерфейсом взаємодії з користувачем і містить органи керування, індикації та вихідні клеми.

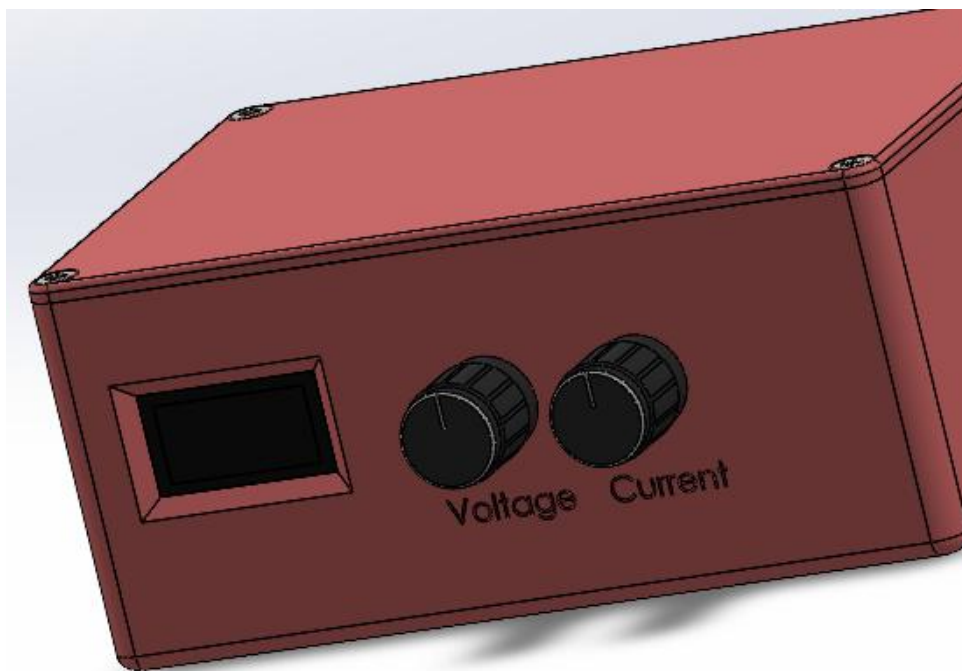


Рисунок 2.20 — Зовнішній вигляд передньої панелі пристрою

У лівій частині передньої панелі розташовано прямокутний виріз для OLED-дисплея *SSD1306* з діагоналлю 0,96 дюйма. Дисплей утоплений у площину панелі, що захищає його скляну поверхню від механічних пошкоджень. На дисплеї відображаються встановлені та фактичні значення вихідної напруги і струму, поточна потужність та рівень заряду акумуляторної збірки.

Праворуч від дисплея розміщено два органи керування — поворотні ручки інкрементальних енкoderів *EC11*. Ручки виконані з ребристою поверхнею для надійного захоплення пальцями. Енкодер з підписом «*Voltage*» призначений для встановлення рівня вихідної напруги, а енкодер з підписом «*Current*» — для встановлення значення максимального струму в режимі стабілізації струму *CC*. Підписи органів керування виконано рельєфним способом безпосередньо у тілі корпусу під час 3D-друку, що забезпечує їх стійкість до стирання і не потребує додаткового нанесення фарби або наклейок.

У правій частині корпусу (рис. 2.21) встановлено пару клемних роз'ємів типу *Dual binding post* із кольоровим маркуванням: червоний — для виводу

					<i>PE21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						43
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

позитивної полярності, чорний — для негативної. Роз'єми мають подвійну функціональність — підтримують підключення штекерів типу *Banana jack* діаметром 4 мм та фіксацію зачищеного дроту (чи дроту з U-подібною клемою) під накидну гайку. Така конструкція забезпечує надійний електричний контакт при струмах до 15 А та зручність підключення різних типів навантаження.

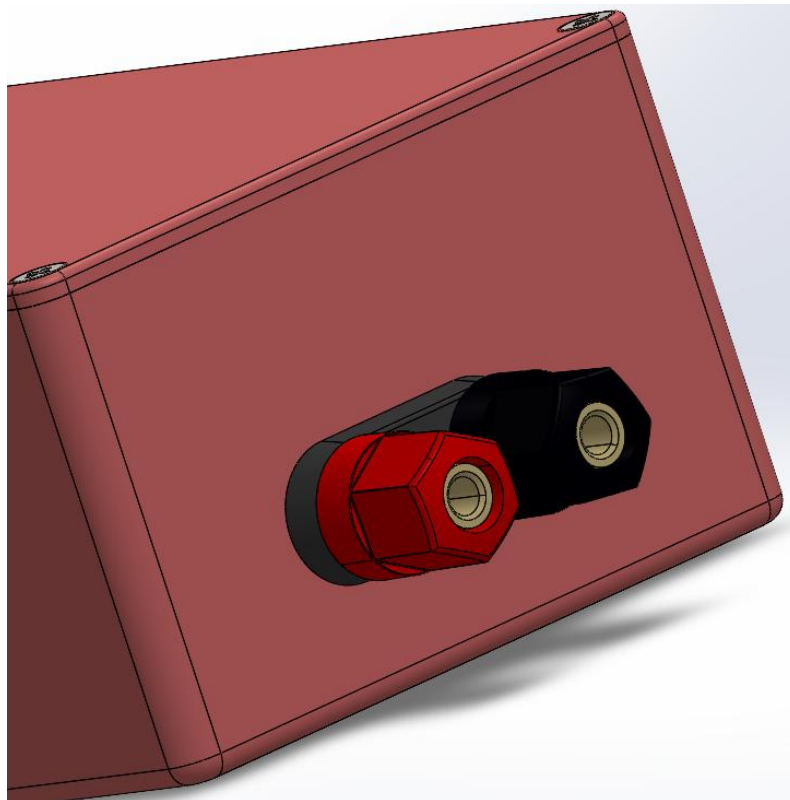


Рисунок 2.21 — Зовнішній вигляд правої частини корпусу

На задній панелі пристрою (рис. 2.22) розташовано вузли живлення та комутації.

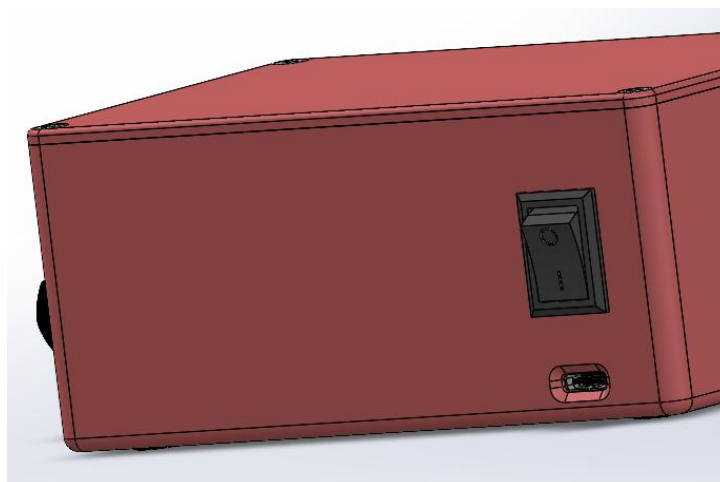


Рисунок 2.22 — Зовнішній вигляд задньої панелі пристрою

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21.436131.001 ПЗ

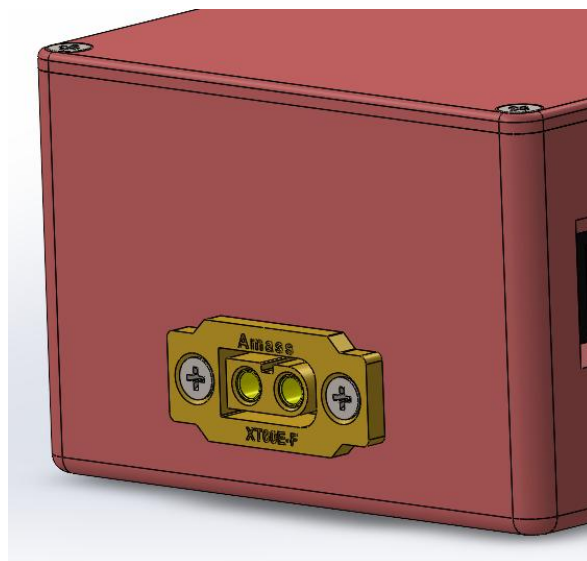
Лис
44

Центральне положення на задній панелі займає клавішний вимикач живлення типу *KCD1*, який вмикає і вимикає пристрій незалежно від наявності зовнішнього живлення. Вимикач має чорний пластиковий корпус і клавішу з тактильним зворотним зв'язком, що дозволяє користувачу однозначно визначати поточний стан пристрою.

У нижній частині задньої панелі розміщено роз'єм USB Type-C із підтримкою протоколу *USB Power Delivery (PD)*, призначений для живлення пристрою від зовнішніх адаптерів чи павербанків. Використання цього протоколу забезпечує сумісність із сучасними зарядними пристроями та джерелами живлення з фіксованими значеннями напруги 9, 12 та 15 В.

На лівій стороні пристрою (рис. 2.23) встановлено силовий роз'єм *XT60* для підключення зовнішнього джерела живлення, таких як акумулятор 12 В або бортової мережі автомобіля з діапазоном входних напруг 10,5–15 В. *XT60* — це стандартний силовий з'єднувач з жовтим нейлоновим корпусом, розрахований на номінальний струм до 60 А і напругу до 500 В. Контакти роз'єму виготовлені з міді з позолоченим покриттям, що забезпечує мінімальний перехідний опір та стійкість до окислення. Асиметрична форма корпусу унеможливорює неправильне підключення з порушенням полярності, що відповідає вимогам технічного завдання.

Розташування всіх роз'ємів живлення забезпечує упорядкований вигляд робочого місця та зменшує ризик випадкового пошкодження кабелів живлення під час експлуатації пристрою.



Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21.436131.001 ПЗ

Лис
45

2.5.4 Внутрішнє компонування пристрою

Внутрішнє компонування пристрою (рис. 2.24) спроектовано з урахуванням мінімізації довжини силових провідників, зручності монтажу та доступу до компонентів при ремонті чи обслуговуванні.

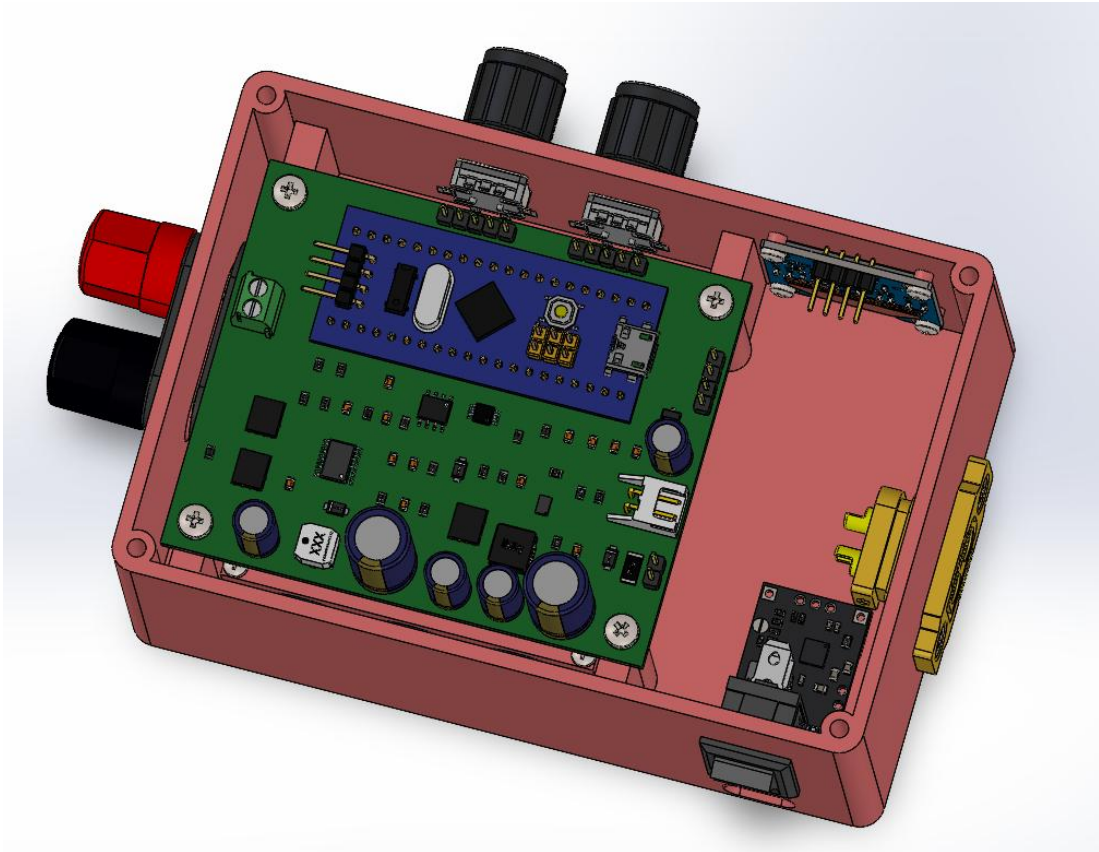


Рисунок 2.24 — Внутрішнє компонування пристрою

Друкована плата розміщена у верхній частині корпусу і закріплена на чотирьох пластикових стійках, виготовлених разом із корпусом методом 3D-друку. Стійки мають внутрішню різьбу M3 для гвинтового кріплення плати, що забезпечує надійну фіксацію та можливість багаторазового знімання плати при необхідності обслуговування.

У корпусі також встановлені OLED дисплей, який кріпиться до корпусу за допомогою гвинтів M2, та модуль живлення IP2326, який кріпиться за допомогою двох гвинтів M2.

Внизу під платою розташовано акумуляторну збірку (рис. 2.25). Відокремлення акумуляторного відсіку забезпечує термічну ізоляцію акумуляторів від

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

силових компонентів, що нагріваються під час роботи, та електричну ізоляцію у разі механічного пошкодження одного з вузлів.

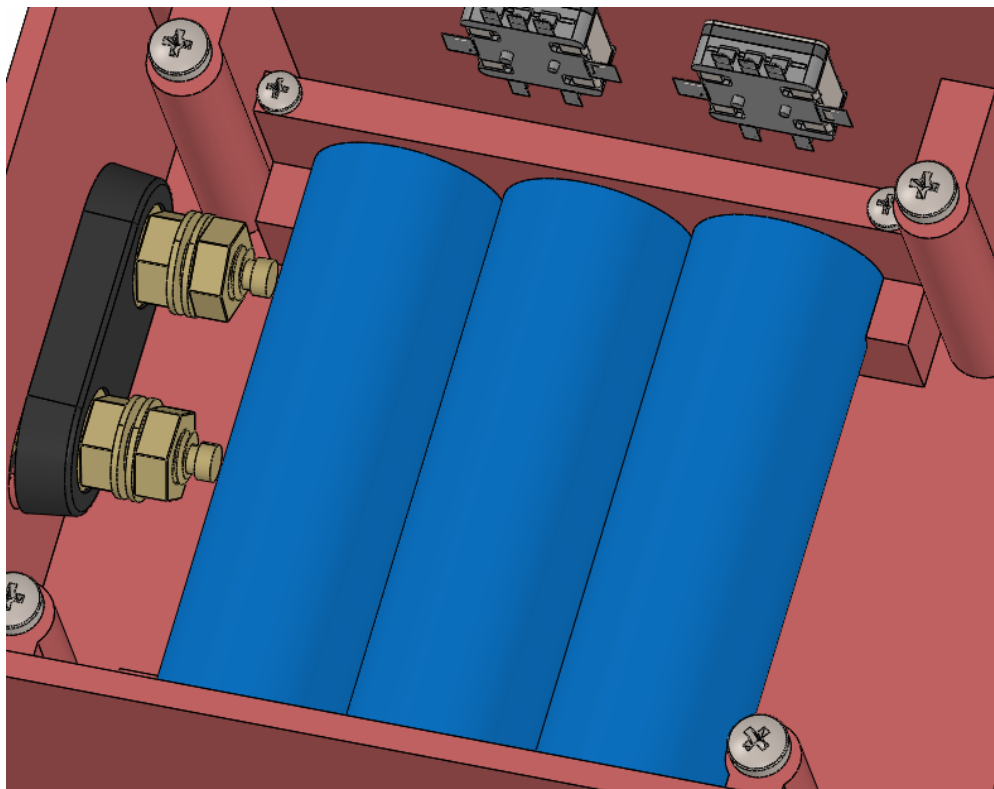


Рисунок 2.25 — Розміщення у корпусі акумуляторної збірки

Відсік розрахований на встановлення трьох акумуляторних елементів типорозміру 18650, з'єднаних послідовно за схемою 3S. Елементи розміщуються в окремих циліндричних виїмках діаметром 18,5 мм, виготовлених у корпусі. Також ці елементи фіксуються за допомогою притискних пластин та гвинтів М2. Це забезпечує надійну фіксацію елементів та виключає їх переміщення під впливом вібрації або ударів.

Доступ до акумуляторного відсіку реалізовано через знімну верхню кришку корпусу, що кріпиться чотирма гвинтами М3. Така конструкція дозволяє користувачу самостійно замінювати акумулятори у разі їх деградації.

2.5.5 Загальний вигляд пристрою та його параметри

Результатом проведеної роботи являється корпус зображений на рис. 2.26. Для більшої наочності додана топологія на рис. 2.27, де детально можливо роздвигтися кожен елемент та побачити що й куди кріпиться, та основні параметри корпусу в табл. 2.5.

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		47

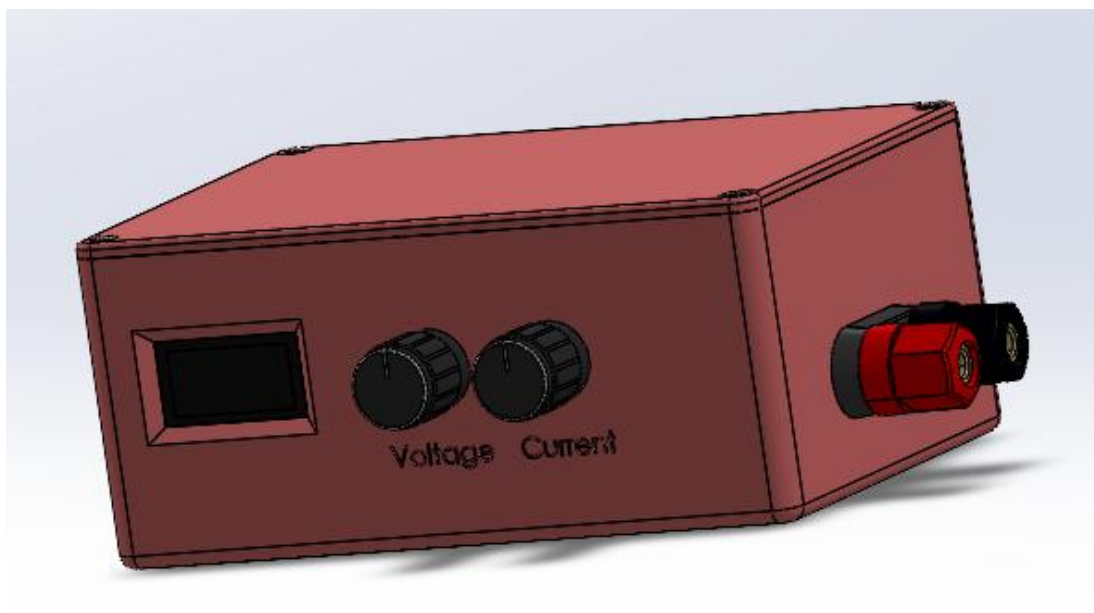
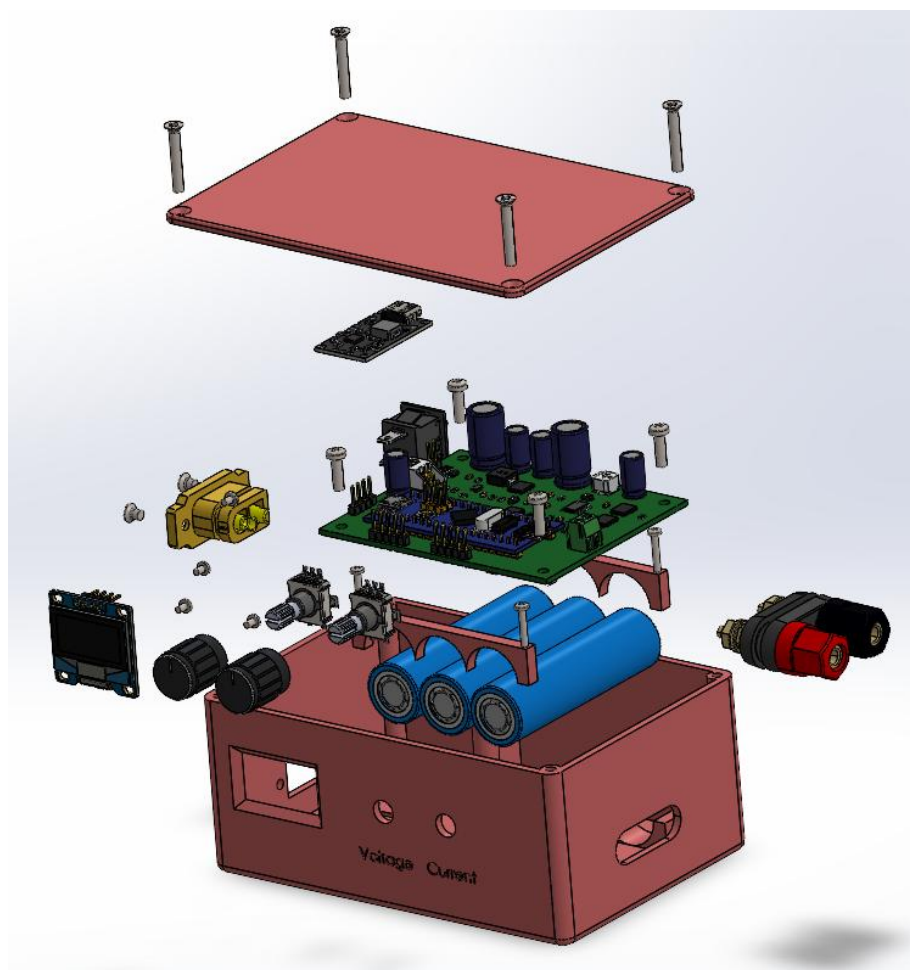


Рисунок 2.26 — Зібраний пристрій



Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

РЕ21.436131.001 ПЗ

Лис

48

Таблиця 2.5 — Основні параметри корпусу

<i>Тип корпусу</i>	<i>Висота</i>	<i>Довжина</i>	<i>Ширина</i>	<i>Матеріал</i>
Закритий	55мм	125мм	85мм	Пластик ABS

2.6 Висновки по розділу

Отже, у даному розділі виконано схемотехнічне та конструкторське проектування пристрою. Розроблено структурну схему з двокаскадним імпульсним силовим трактом, що забезпечує формування вихідної напруги вищої за напругу вбудованого (або зовнішнього) акумулятора. Також виконано обґрунтований підбір елементної бази за принципом мінімізації кількості компонентів та використання спеціалізованих інтегральних мікросхем. На основі обраних компонентів розроблено принципову електричну схему пристрою з реалізацією всіх необхідних функцій захисту та керування.

Також у даному розділі виконано конструкторське проектування двосторонньої друкованої плати з розрахунком мінімальної площі плати, ширини силових та сигнальних провідників та трасування струмопровідних доріжок друкованої плати. Підготовлено повний комплект виробничої документації у форматі *Gerber*. Спроектовано корпус пристрою для подальшого його виготовлення методом 3D-друку з ABS-пластику, з метою забезпечення компактних габаритів та зручності використання спроектованого пристрою.

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту виконано комплексну розробку портативного лабораторного блока живлення з акумуляторним живленням, що повністю відповідає вимогам затвердженого технічного завдання. Поставлена мета — створення компактного автономного приладу з регулюванням вихідної напруги в діапазоні від 0 В до 30 В та струму від 0 А до 2 А, заряджанням через інтерфейс USB Type-C та відображенням параметрів роботи на дисплеї досягнута.

У теоретичній частині роботи (Розділ I) проведено аналіз сучасного стану ринку лабораторних блоків живлення, вивчено принципи їх функціонування, класифікацію та особливості реалізації режимів стабілізації напруги і струму. Виконано порівняльний аналіз сучасних комерційних аналогів, який показав, що жоден з них не є повністю автономним пристроєм з вбудованим акумулятором та зарядним вузлом, що обґрунтувало актуальність власної розробки.

У практичній частині роботи (Розділ II) виконано схемотехнічне та конструкторське проєктування пристрою. Розроблено структурну схему з двокаскадним імпульсним силовим трактом, що забезпечує формування вихідної напруги вищої за напругу вбудованого (або зовнішнього) акумулятора. Виконано обґрунтований підбір елементної бази за принципом мінімізації кількості компонентів та використання спеціалізованих інтегральних мікросхем. На основі обраних компонентів розроблено принципову електричну схему пристрою з реалізацією всіх необхідних функцій захисту та керування.

Виконано конструкторське проєктування двосторонньої друкованої плати у середовищі Altium Designer з розрахунком мінімальної площі плати, ширини силових та сигнальних провідників та трасування струмопровідних доріжок друковано вузла. Підготовлено повний комплект виробничої документації у форматі Gerber. Спроектовано корпус пристрою у середовищі SolidWorks з подальшим його виготовленням методом 3D-друку з ABS-пластику, що забезпечило компактні габарити та зручність використання.

					<i>РЕ21.436131.001 ПЗ</i>	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Результатом виконання дипломного проєкту є повний комплект конструкторської документації, достатній для виготовлення дослідного зразка пристрою. Усі розроблені рішення відповідають вимогам затвердженого технічного завдання та чинним нормативним документам.

Практична цінність розробленого пристрою полягає у можливості його застосування для налагодження та ремонту радіоелектронної апаратури у польових умовах, у навчальному процесі та у волонтерській діяльності.

Подальші напрямки розвитку проєкту включають розширення вихідного діапазону параметрів, підвищення часу автономної роботи від вбудованого джерела живлення, реалізацію функції програмованого виходу, додавання бездротового керування та розробку програмного забезпечення для персонального комп'ютера, реалізацію індикації режимів роботи пристрою (від зовнішнього джерела живлення, від вбудованого джерела живлення, заряджання вбудованих акумуляторних батарей).

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						51
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лабораторний блок живлення: навіщо він потрібен, та як обрати. *220.km.ua*. URL: <https://220.km.ua/blog/laboratornij-blok-zhivlennya> (дата звернення: 15.04.2026);
2. Power Supply DPS5005: User Manual. *joy-it.net* URL: <https://joy-it.net/files/files/Produkte/JT-DPS5005/JT-DPS5005-Manual.pdf> (дата звернення: 16.04.2026);
3. Linear Power Supply Fundamentals. *Texas Instruments*. URL: <https://www.ti.com/power-management/linear-regulators-ldo/overview.html> (дата звернення: 17.04.2026);
4. Mastech HY3005D Linear DC Power Supply Datasheet. *RCSCOMPONENTS*. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/20141212122216_cat-421251hy3005.pdf?srsId=AfmBOopBM3sd1H6hj6RHobndw-k0BS35EX0sADlwlpUW7daaMQ6Rwfu (дата звернення: 17.04.2026);
5. Switching Power Supplies: Fundamentals and Topologies. *Analog Devices*. URL: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/switch-mode-power-supply-basics.html> (дата звернення: 17.04.2026);
6. Rigol DP832 Programmable DC Power Supply. *Rigol Technologies*. URL: <https://www.rigolna.com/products/dc-power-loads/dp800> (дата звернення: 18.04.2026);
7. Hybrid Linear-Switching Power Supplies for Low Noise Applications. *Electronic Design*. URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/power/article/21271486> (дата звернення: 18.04.2026);
8. RIDEN RD6030-CMAX Digital Power Supply User Manual. *RuiDeng*. URL: <http://www.ruidengkeji.com/inst/RD6030.pdf> (дата звернення: 19.04.2026);
9. INA226 Bidirectional Current/Power Monitor with I²C Interface: Datasheet. *Texas Instruments*. URL: <https://www.ti.com/product/INA226> (дата звернення: 20.04.2026);

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Miniware MDP-XP Modular Digital Power Supply: Product Specification. *Welenktron*. URL: <https://www.welectron.com/mediafiles/datasheets/miniware/Miniware%20MDP-XP%20Digital%20Power%20Supply%20Datasheet.pdf> (дата звернення: 22.04.2026);
11. ToolkitRC P200 V2 Power Supply: Product Page. *ToolkitRC*. URL: <https://www.toolkitrc.com/p200v2> (дата звернення: 22.04.2026);
12. FNIRSI DPS-150 Programmable Mini DC Power Supply: User Manual. *FNIRSI Technology*. URL: <https://fnirsi.com/products/dps-150> (дата звернення: 23.04.2026);
13. IP2326 Integrated 2-3 Cell Li-Ion Battery Charger IC: Datasheet. *Injoinic Technology*. URL: <http://www.injoinic.com/products/IP2326> (дата звернення: 25.04.2026);
14. LM5155 Wide VIN Non-Synchronous Boost Controller: Datasheet. *Texas Instruments*. URL: <https://www.ti.com/product/LM5155> (дата звернення: 26.04.2026);
15. LM5116 Wide Range Synchronous Buck Controller: Datasheet. *Texas Instruments*. URL: <https://www.ti.com/product/LM5116> (дата звернення: 26.04.2026);
16. INA226 16-Bit, I²C-Output Current/Voltage/Power Monitor: Datasheet. *Texas Instruments*. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina226.pdf> (дата звернення: 27.04.2026);
17. MCP4822 12-Bit Dual Voltage Output Digital-to-Analog Converter with Internal VREF and SPI Interface: Datasheet. *Microchip Technology*. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/MCP4822> (дата звернення: 28.04.2026);
18. AMS1117 1A Low Dropout Voltage Regulator: Datasheet. *Advanced Monolithic Systems*. URL: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf> (дата звернення: 29.04.2026);

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						53
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

19. SSD1306 128×64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller: Datasheet. *Solomon Systech*. URL: <https://www.solomon-systech.com/product/ssd1306> (дата звернення: 30.04.2026);
20. EC11 Series Incremental Rotary Encoder: Datasheet. *ALPS Electric*. URL: <https://www.alps.com/prod/info/E/HTML/Encoder/Incremental/EC11.html> (дата звернення: 30.04.2026);
21. STM32F103C8T6 Mainstream Performance Line Microcontroller: Datasheet. *STMicroelectronics*. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html> (дата звернення: 02.05.2026);
22. Dual Binding Post Banana Jack Connector: Product Specification. *Pomona Electronics*. URL: <https://www.pomonaelectronics.com/products/dual-binding-post> (дата звернення: 03.05.2026);
23. Banana plug. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Banana_connector (дата звернення: 03.05.2026);
24. PCB Trace Width Calculator. *PCBWay*. URL: https://www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html (дата звернення: 05.05.2026);
25. JLCPCB — PCB Prototype & PCB Fabrication Manufacturer. *JLCPCB*. URL: <https://jlcpcb.com> (дата звернення: 07.05.2026);
26. ABS Plastic: Properties, Applications, and Processing. *MatWeb Material Property Data*. URL: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=ABS> (дата звернення: 09.05.2026);
27. Fused Deposition Modeling (FDM): Technology Overview. *3D Hubs*. URL: <https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-fused-deposition-modeling> (дата звернення: 10.05.2026)

					РЕ21.436131.001 ПЗ	Лис
						54
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

Керівник дипломного проекту
асист. Середін А.П.

(дата) (підпис)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри прикладної
радіоелектроніки Мовчанюк А.В.

(дата) (підпис)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

«Портативне лабораторне джерело живлення»

Київ – 2026

					РЕ21.436141.001 ТЗ				
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата	Портативне лабора- торне джерело жив- лення	Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Литвинчук						1	5	
Перевірів	Середін								
Н. Контр.	Мовчанюк								
Затвер-	Мовчанюк					РЕ21, РТФ			

1. Назва та підстава для виконання

Назва дипломного проекту: «Портативне лабораторне джерело живлення». Підставою для виконання є завдання, видане кафедрою прикладної радіоелектроніки «20» квітня 2026 року.

2. Виконавці

Виконавець – студент групи РЕ-21, Литвинчук Максим Олександрович.

3. Мета розробки пристрою

Метою даного проекту є розробка малогабаритного (портативного) одноканального однополярного лабораторного джерела живлення з автономним живленням від вбудованої акумуляторної батареї або зовнішнього джерела живлення. Пристрій призначений для налагодження, діагностики та ремонту радіоелектронної апаратури у польових та стаціонарних умовах.

4. Технічні вимоги

4.1 Вхідні електричні параметри пристрою: - напруга живлення від вбудованих акумуляторних батарей: $+9...+12.6$ В; - напруга зовнішнього джерела живлення $+10.5...+15$ В; - потужність зовнішнього джерела живлення ≥ 80 Вт.

4.2 Вихідні електричні параметри: - діапазон вихідних напруг (регульованих): $0...30$ В; - максимальний вихідний струм (регульований): $0...2$ А;

4.3 Наявність систем захисту: від короткого замикання, перевантаження за струмом, перегріву силових елементів, переполюсовки зовнішнього джерела живлення, критичного зниження вхідної напруги;

4.4 Елементи індикації та вимірювання параметрів пристрою: передбачити цифрову індикацію величини вихідної напруги, вихідного струму, рівня заряду інтегрованої акумуляторної батареї.

4.5 Конструктивне виконання:

4.5.1. Корпус: малогабаритний у формі паралелепіпеда, вібро- та ударостійкий, з підвищеною волого- та пилозахищеністю, призначений для експлуатації у польових умовах;

					РЕ21.436131.001 ТЗ	Лис
						2
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5.2. Матеріал корпусу – ударостійкий пластик (рекомендовано ABS/ASA-пластик);

4.5.3. Технологія виготовлення елементів корпусу – 3D-друк;

4.6. Зовнішні роз'єми: - передбачити наявність роз'єму USB Type C (для заряджання вбудованої акумуляторної батареї); - клем для підключення зовнішнього джерела живлення та споживачів (рекомендовано гвинтові приладові клеми).

4.7 Вбудовані джерела живлення: - акумуляторні Li-Ion батареї типорозміру 18650; - кількість – 3 шт; - схема підключення - 3S; - ємність одного елемента - не менше 3000 мА/год;

4.8 Час автономної роботи від вбудованих джерел живлення (при навантаженні 50%) – не менше 1 год;

4.9 Габарити пристрою, не більші: 300x100x150 мм.

5. Вимоги до надійності

5.1 Розрахунковий час безвідмовної роботи - не менше 2 років;

5.2 Забезпечити можливість заміни вбудованих елементів живлення;

5.3 Забезпечити можливість ремонту складових частин пристрою.

6. Уніфікація та стандартизація

При розробці пристрою передбачити використання готових блоків, модулів, стандартних радіоелектронних елементів.

7. Вимоги до дизайну, ергономіки та функціональної безпеки

7.1 Вимоги до дизайну:

Дизайн корпусу пристрою повинен відповідати сучасним вимогам до зовнішнього вигляду.

7.2 Вимоги до ергономіки:

Забезпечити ергономічність корпусу та розташування елементів керування для зручності роботи з пристроєм – органи керування згрупувати у логічні блоки, елементи індикації повинні чітко та однозначно зчитуватися;

					PE21.436131.001 T3	Лис
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3 Вимоги до функціональної безпеки:

Комутаційні елементи (роз'єми), їх розташування та написи повинні виключати можливість некоректного під'єднання зовнішніх пристроїв (джерел живлення, споживачів).

8. Вимоги до експлуатації, зручність для обслуговування

Конструкція пристрою повинна забезпечувати легкий доступ до елементів для ремонту чи обслуговування.

9. Умови експлуатації

Кліматичне виконання – згідно з вимогами ГОСТ 15150-69 У2.

10. Безпека для життя, здоров'я і майна громадян та охорона довкілля

Технічну безпеку при використанні пристрою забезпечити згідно з чинними нормами ДСТУ;

Електробезпеку та пожежну безпеку забезпечити згідно з чинними стандартами;

11. Транспортування і зберігання

Транспортування пристрою допускається всіма видами критого транспорту за умови захисту від атмосферних опадів, ударних навантажень та механічних пошкоджень.

Зберігання пристрою здійснювати в закритих складських приміщеннях при температурі від +10 °С до +35 °С та відносній вологості повітря не більше 80 % без конденсації вологи.

У випадку тривалого зберігання, вбудовані акумуляторні батареї рекомендується підтримувати на рівні заряду 40–60 % від номінальної ємності.

12. Вимоги до сировини та матеріалів

Матеріал корпусу: ударостійкий пластик (ABS). Базові модулі: готові, промислового виготовлення;

					PE21.436131.001 T3	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерело живлення: Li-Ion акумулятори типорозміру 18650. Вимоги: висока ємність, забезпечення тривалого часу роботи без підзарядки (для режиму роботи від вбудованого джерела живлення), невелика вартість, доступність на ринку та можливість заміни у процесі експлуатації.

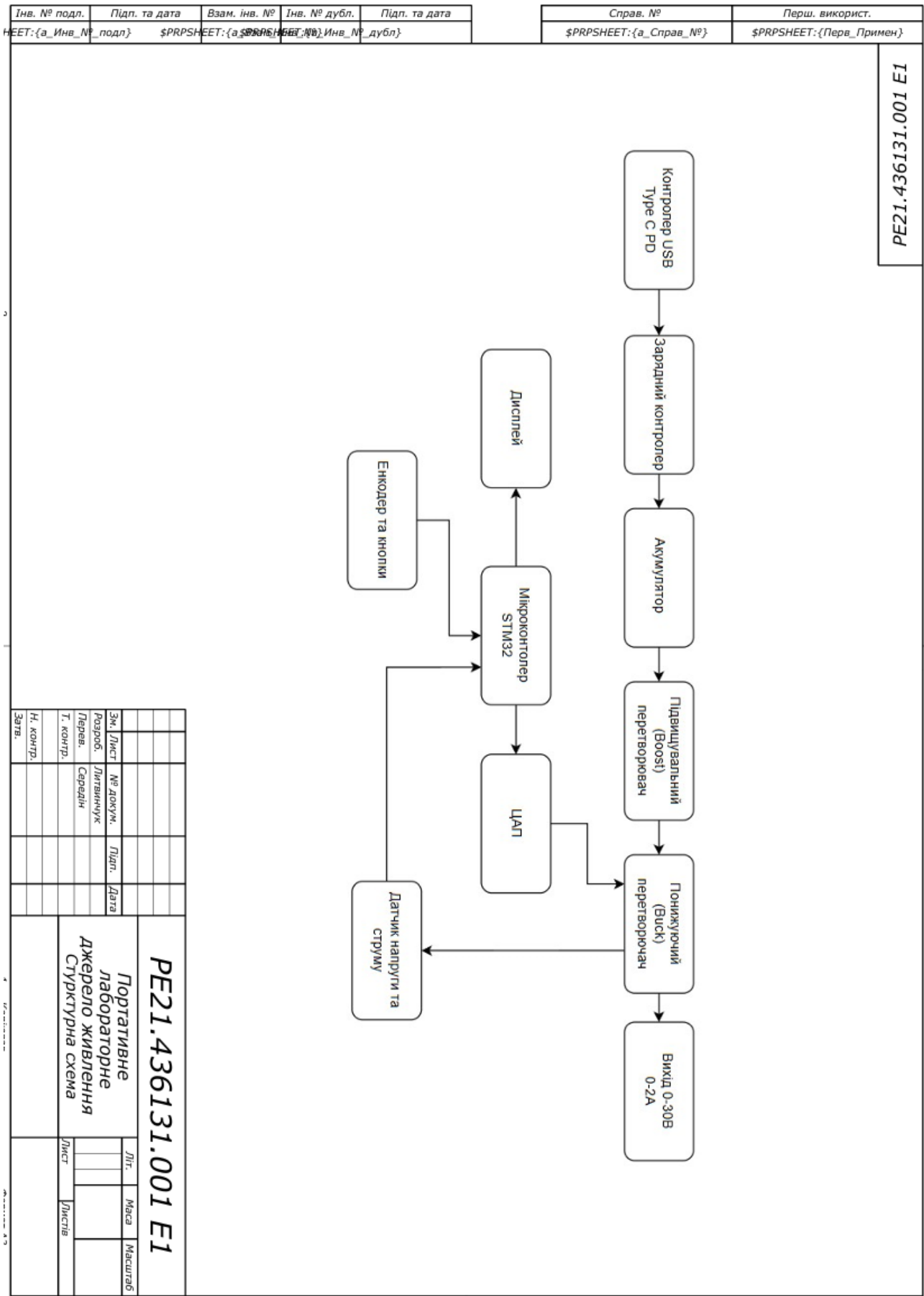
Використання безсвинцевого припою, для друкованої плати використати фольгований склотекстоліт марки FR-4.

13. Вимоги до конструкторської і технологічної документації

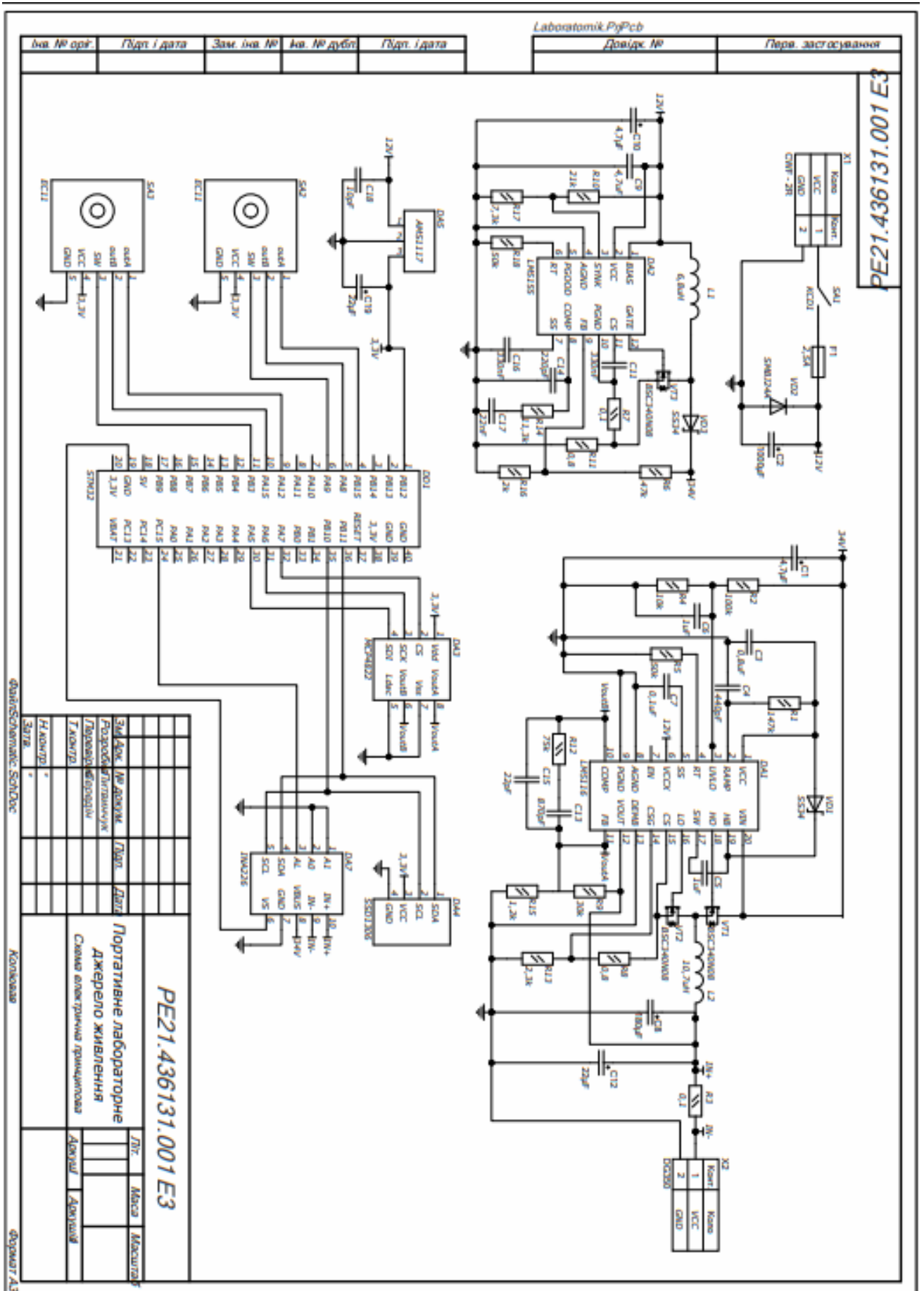
Всю конструкторську та технологічну документацію оформити згідно з чинними вимогами ЕС.

					<i>PE21.436131.001 T3</i>	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

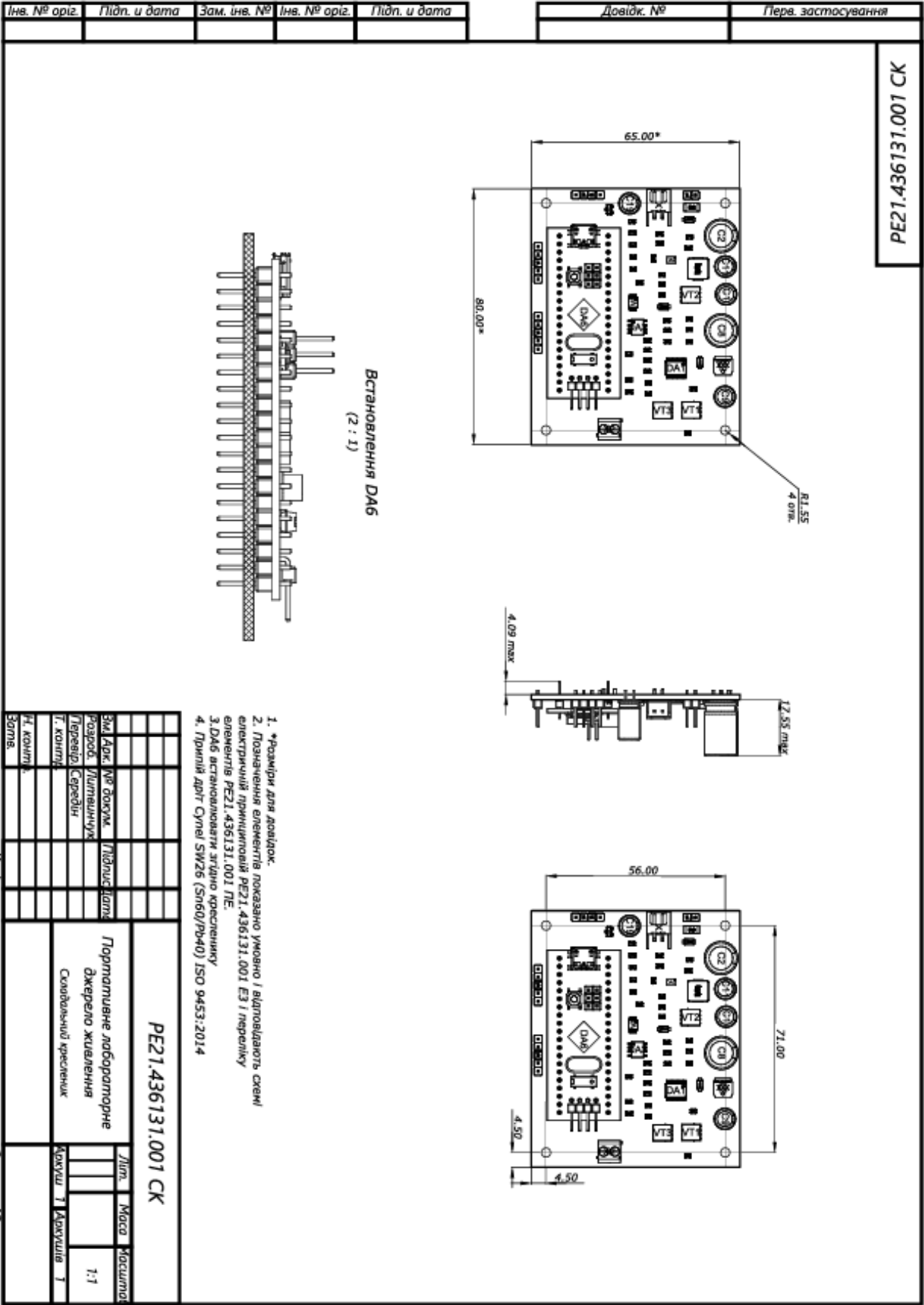
ДОДАТОК Б. СТРУКТУРНА СХЕМА



ДОДАТОК В. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



ДОДАТОК Г. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ



ДОДАТОК Д. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Первинне застосування	Поз. позн.	Найменування	Кільк.	Примітка					
		Резистори							
	R1	147 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-147K-Hitano)	1						
R2	100 kOhm 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-100KR)	1							
Довідковий №	R3	10 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-0710KL /Yageo)	2						
	R4, R18	51 kOhm 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-51K-Hitano)	1						
	R5	47 kOhm 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-47KR-Hitano)	1						
	R6, R7	0,1 Ohm 5% 0,125W 150V 0805 (RL0805JR-0R1-Hitano)	2						
	R8, R11	0,82 OHM 5% 0,25W 150V 0805 (RL0805JR-0R82-HITANO)	2						
	R9	30 KOHM 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-30KR-HITANO)	1						
	R10	21 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-21KR-Hitano)	1						
	R12	75 KOHM 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-75K-HITANO)	1						
	R13	11,3 kOhm 1% 0,125W 125V 0805 (MCR10ERTF1132-Rohm)	1						
	R14	2,32 KOHM 1% 0,125W 150V 0805 HITANO	1						
	R15	1,2 KOHM 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-1K2R-HITANO)	1						
	Підпис і дата	R16	2 KOHM 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-072KL – YAGEO)	1					
R17		7,32 KOHM 1% 0,125W 150V 0805 (RMC107321FR-CINETECH)	1						
Інв. № дубл.									
Зам. інв. №		Конденсатори							
Підпис і дата	C1, C11	4,7UF 50V ECR 5X11MM (ECR4R7M50B-HITANO)	2						
	C2	1000UF 35V RT1 13X21MM (RT11V102M1321 - LEAGUER)	1						
Підпис і дата									
Інв. №оріг.	Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	РЕ21.416131.001ПЕЗ			
	Розроб.	Литвинчук				Портативне лабораторне джерело живлення Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
	Перевір	Середін						1	3
	Т.контр								
	Н.конт								
	Затв.								

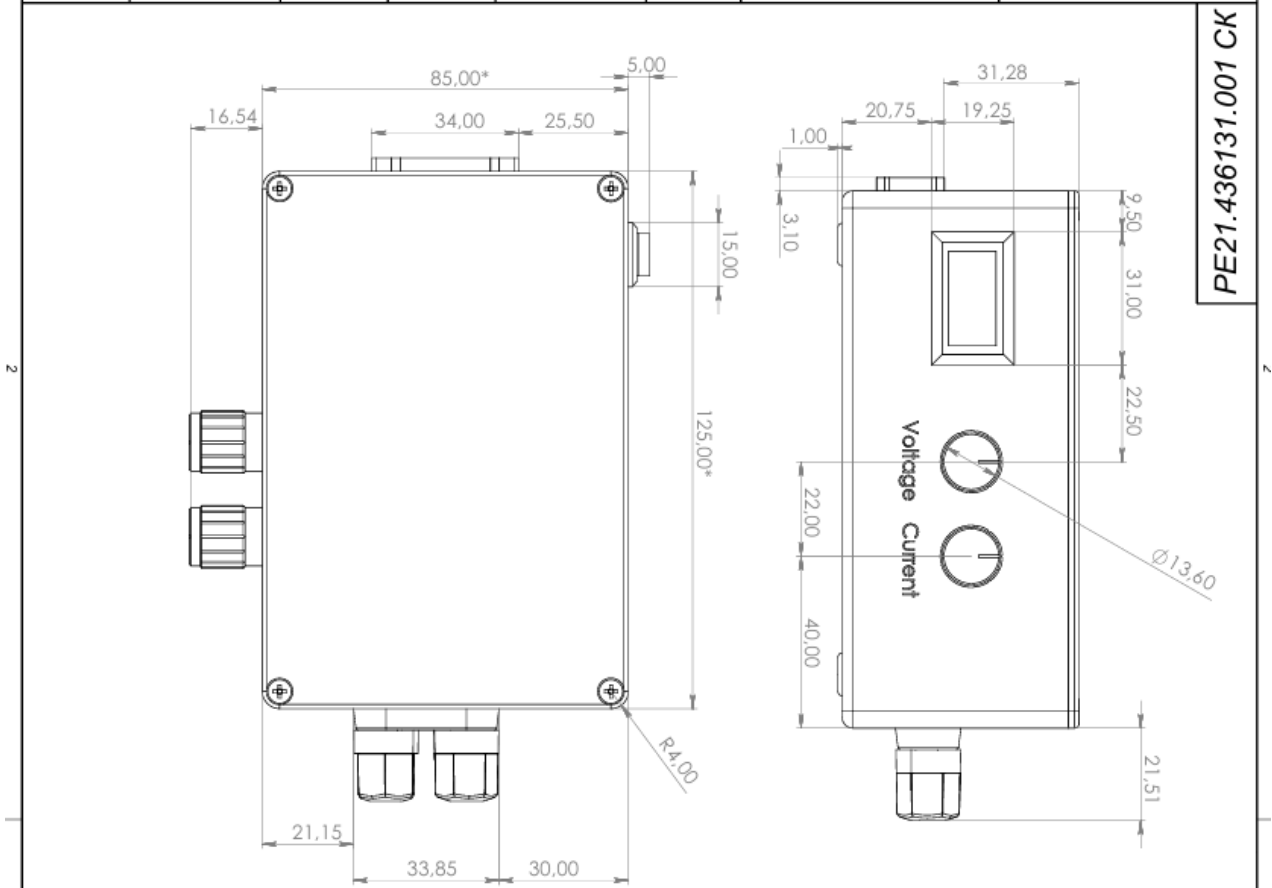
І юз. позн.		Найменування	Кільк.	Примітка
C3		0,82pF 50V NP0 0,25pF 0805 4k/reel (C0805NR82C500NT-Hitano)	1	
C4		430pF 50V NP0 5% 0805 4k/reel (C0805N431J500NT-Hitano)	1	
C5 – C7		1uF 50V X7R 10% 0805 (CL21B105KBFNNNE) Samsung	3	
C8		180uF 63V EFH 10x20mm (EFH181M63B-Hitano)	1	
C9, C19		22uF 50V EHR 5x11mm (EHR220M50B-Hitano)	2	
C10		4,7uF 50V X5R 10% 0805 (CL21A475KBQNNNE - Samsung)	1	
C12		330nF 25V X7R 10% 0805 3k/reel (C0805B334K250N3-Hitano)	1	
C13		820pF 50V NP0 5% 0805 4k/reel (C0805N821J500NT-Hitano)	1	
C14		220pF 50V X7R 10% 0805 4k/reel (C0805B221K500NT-Hitano)	1	
C15, C17		22pF 50V NP0 5% 0805 4k/reel (C0805N220J500NT-Hitano)	2	
C16		22nF 50V X7R 10% 0805 4k/reel (C0805B223K500NT-Hitano)	1	
C18		10pF 50V NP0 5% 0805 5k/reel (B37940K5100J60-EPCOS)	1	
<u>Мікросхеми</u>				
DA1		LM5116	1	
DA2		LM5155	1	
DA3		MCP4822	1	
DA4		SSD1306	1	
DA5		AMS1117	1	
DA7		INA226	1	
DD1		STM32F072C8T6	1	
<u>Індуктивності</u>				
L1		SMD котушка індуктивності 1040 6.8мкГн 10x10мм	1	
L2		SRP7050TA-100M	1	
Ім. Арх. № докум. Підпис Дат PE21.436131.001ПЕЗ Аркуш 2				

[illegible]

ДОДАТОК Е. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК КОРПУСУ

Інв. № подл.	Підпис та дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис та дата

Справ. №	Перш. використано



PE21.436131.001 CK

1. * Розміри для двовідок
2. Непозначені радіуси скрутлення - 2,5 мм

[illegible]

1 Копирован

Формат А.3

Файл: Kreslenia