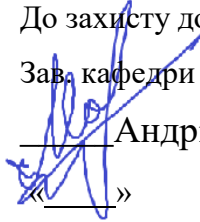


**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

До захисту допущено:

Зав. кафедри

 Андрій МОВЧАНЮК

«___» 20__р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки», за спеціальністю 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»**

на тему: «Система інтелектуального керування живленням»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи РЕ-12

Бондарчук Назар Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник: ст. викладач, Адаменко Володимир Олексійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання

Прізвище, ім'я, по батькові

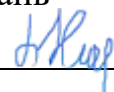
Рецензент: ст. викладач Захарченко Оксана Степанівна

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 (-ка)



Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

[illegible]

				PE12.468243.001		
	ПІБ	Підп.	Дата	Система інтелектуального керування живленням	Лист	Листів
Розробн.	Бондарчук				1	1
Керівн.	Адаменко				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ .Гр. PE-12	
Н/контр.						
Зав.каф.						

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

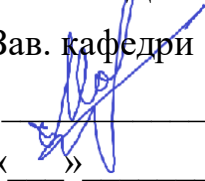
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

 Андрій МОВЧАНЮК

«» 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Бондарчуку Назару Олеговичу

- 1.Тема проєкту Система інтелектуального керування живленням»
- 2.Керівник проєкту Адаменко Володимир Олексійович, затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. №1840-с
- Строк подання студентом проєкту 10 червня 2025 року
3. Вихідні дані до проєкту: Напруга живлення від +4,4 до +5,25В, наявність інтерфейсу I2C, наявність роз'ємів XT60, GX16, IEC C14
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) Схема електрична принципова, презентація 15 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	
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	07.05.25-10.05.25	
3	Розробка функціональної схеми та вибір компонентів	11.05.25-18.05.25	
4	Розробка схеми електричної принципової	19.05.25-23.05.25	
5	Розробка друкованої плати	24.05.25-29.05.25	
6	Розробка конструкторської документації	30.05.25-05.06.25	
7	Оформлення текстової та графічної документації	06.06.25-09.06.25	

Студент

Бондарчук Назар Олегович

Керівник

Адаменко Володимир
Олексійович

АНОТАЦІЯ

На основі аналізу існуючих аналогів розроблено систему інтелектуального керування живленням з функціями моніторингу та автоматичної комутації навантаження. Проведено обґрунтований вибір компонентів системи, включно з елементами захисту, комутації, вимірювання напруги та мікроконтролерного керування. Підібрані компоненти відповідають технічним вимогам щодо стабільності, надійності та енергоефективності пристрою.

Розроблено концепцію корпусу з урахуванням ергономіки, вентиляції та можливості настінного монтажу. Створено структурну та електричну принципову схеми, обґрунтовано рішення щодо схемотехнічної реалізації та проведено трасування друкованої плати. В межах проєкту виконано 3D-моделювання корпусу та передбачено можливість підключення до зовнішніх модулів через роз'єми стандартів IEC C14, XT60 та GX16.

Також реалізовано базовий алгоритм обробки напруги з використанням аналогового подільника напруги й АЦП, що дозволяє пристрою стабільно функціонувати в умовах нестабільного електроживлення. Окрему увагу приділено модульності конструкції та можливості подальшого розширення функціоналу за рахунок бездротових інтерфейсів та веб-керування.

ANNOTATION

Based on the analysis of existing analogs, an intelligent power management system with monitoring and automatic load switching functions was developed. A well-founded selection of system components was carried out, including protection elements, switching devices, voltage measurement circuits, and microcontroller-based control. The selected components meet the technical requirements for device stability, reliability, and energy efficiency.

A housing concept was developed with consideration of ergonomics, ventilation, and the possibility of wall mounting. Structural and electrical circuit diagrams were created, circuit implementation decisions were justified, and PCB routing was completed. As part of the project, 3D modeling of the housing was performed, and support for connection to external modules via IEC C14, XT60, and GX16 standard connectors was provided.

A basic voltage processing algorithm using an analog voltage divider and ADC was also implemented, enabling the device to operate stably under unstable power supply conditions. Special attention was given to the modular design and the potential for future functionality expansion via wireless interfaces and web-based control.

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система інтелектуального керування живленням»

Київ — 2025 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ ТА ВПЛИВУ ПЕРЕПАДІВ НАПРУГИ НА СТАН ОБЛАДНАННЯ	6
1.1 Огляд аналогів.....	6
1.1.1 Реле контролю напруги ZUBR	6
1.1.2 Захисні пристрої DigiTOP	7
1.1.3 Інтелектуальні лічильники Schneider Electric	8
1.1.4 Розумні реле з Wi-Fi (Sonoff, Shelly, TuYa)	9
1.1.5 Промислові модулі захисту (Novatek-Electro, ETI).....	10
1.1.6 Узагальнення та висновки	11
1.2. Вплив перепадів напруги на надійність та безперебійну роботу радіоелектронної апаратури.....	12
2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ	15
2.1 Призначення та опис схеми	15
2.2 Обґрунтування структурної схеми пристрою.....	17
2.3 Вибір електронних компонентів	19

					РЕ12.468243.001 ПЗ				
ЗМ.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Бондарчук				Система інтелектуального керування живленням		Лім.	Лист	Листів
Перевірів	Адаменко В.О							1	78
							РЕ-12, РТФ		
Н. Контр									
Затвердив	Адаменко В.О.								

2.3.1 Блок керування живленням: принцип роботи та вибір реле	19
2.3.2 Система моніторингу напруги.....	25
3 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ.....	35
3.1 Визначення мінімальної площі друкованої плати.....	35
3.2 Розрахунок ширини провідника.....	39
3.3 Трасування плати в системі автоматизованого проектування Altium Designer.....	41
4. ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ	45
4.1 Опис ідеї корпусу.....	46
4.2 Конструктивні особливості корпусу.....	47
5 ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ.....	56
5.1 Дистанційне керування	56
5.2 Модульність для різних конфігурацій.....	59
5.3 Вдосконалення друкованої плати	62
5.4 Монтаж корпусу за допомогою DIN-рейки	64
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	68
ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	72
ДОДАТОК Б. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА	75
ДОДАТОК В. КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСУ	76
ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DC — постійний струм (*Direct Current*)

ДП — друкована плата

SSR — твердотіле реле (*Solid State Relay*)

АЦП — аналогово-цифровий перетворювач

I2C — двопровідний інтерфейс для передачі даних між мікросхемами (*Inter-Integrated Circuit*)

Wi-Fi — бездротова мережа передачі даних (*Wireless Fidelity*)

IoT — Інтернет речей (*Internet of Things*)

GND — загальний провід або "земля" (*Ground*)

USB — універсальна послідовна шина (*Universal Serial Bus*)

API — інтерфейс прикладного програмування (*Application Programming Interface*)

HTML/CSS/JS — мови розмітки та програмування для веб-інтерфейсу;

ABS/PLA/PETG — види пластиків для 3D-друку

DIN — стандартний тип монтажно́ї рейки для електрообладнання (*Deutsches Institut für Normung*)

БПЛА — Безпілотний літальний апарат

VPN — Віртуальна приватна мережа (*Virtual Private Network*)

GSM — Глобальна система мобільного зв'язку (*Global System for Mobile Communication*)

IP — Інтернет протокол (*Internet Protocol*)

SSL — Рівень захищених сокетів (*Secure Sockets Layer*)

TLS — Захист на транспортному рівні (*Transport Layer Security*)

ККД — Коефіцієнт корисної дії

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку електроніки та автоматизації, коли значну увагу приділяють ефективному керуванню енергоспоживанням і безпеці електричних систем, все більшої актуальності набувають пристрої, які дозволяють здійснювати інтелектуальне керування навантаженнями, моніторинг стану електромережі та автоматичну діагностику. Особливо важливим є створення таких систем для побутового та напівпромислового використання, де стабільність мережі не завжди гарантована, а користувачі не мають змоги постійно відслідковувати параметри електроживлення.

Одним із перспективних напрямків є розробка пристрою, який здатен керувати підключенням побутових або промислових навантажень до мережі змінного струму з урахуванням змін напруги в ній. Такий пристрій має не лише контролювати стан мережі, а й приймати рішення про необхідність увімкнення або вимкнення навантаження на основі заздалегідь визначених умов. У системах цього типу обов'язковим є використання надійних комутаційних елементів, таких як твердотілі реле (SSR), а також схем вимірювання напруги, які забезпечують точність і швидкодію.

Метою проекту є створення компактного, надійного і недорогого пристрою, який реалізує функцію автоматичного керування електроживленням на основі аналізу стану мережі. Система повинна складатися з декількох функціональних блоків: блоку керування (мікроконтролер), комутаційного блоку (SSR-реле), блоку моніторингу напруги (аналогово-цифрова схема або цифровий датчик), а також додаткових модулів індикації, живлення і захисту.

Розробка подібного пристрою потребує ретельного аналізу існуючих рішень, обґрунтованого вибору компонентів, побудови структурної та функціональної схем, а також оцінки перспектив впровадження системи в умовах реального застосування. У процесі реалізації проекту було здійснено добір

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

апаратної бази, порівняння характеристик ключових елементів, а також розроблено структурну архітектуру пристрою з урахуванням вимог надійності, безпеки та вартості.

У звіті детально розглянуто всі складові частини розроблюваної системи, наведено обґрунтування вибору компонентів, описано логіку їх взаємодії та сформовано повне уявлення про функціональність пристрою. Такий підхід дозволяє в подальшому перейти до етапу розробки електричної принципової схеми, програмного забезпечення та макетування. охоплює аналітичний, дослідницький та підготовчий етапи, які мають фундаментальне значення для подальшої реалізації дипломного проекту.

Окремої уваги заслуговує питання захисту пристрою від перевантажень, коротких замикань та імпульсних перешкод. У процесі проектування враховано можливість інтеграції додаткових захисних схем, зокрема варисторів, запобіжників або оптоізоляційних елементів, які дозволяють зменшити ризик виходу з ладу чутливих електронних компонентів.

Також було враховано аспекти модульності та масштабованості розробки. Це дозволяє адаптувати пристрій для роботи з різними типами навантажень, розширювати його функціональні можливості (наприклад, за рахунок підключення дисплеїв, Wi-Fi-модулів або модулів телеметрії), а також змінювати логіку реагування системи залежно від специфіки застосування. Такий підхід забезпечує гнучкість та універсальність системи, що є важливою перевагою на фоні існуючих рішень.

Важливою складовою проекту є розробка алгоритмів аналізу вхідних даних та прийняття рішень, які забезпечують стабільну роботу навіть у випадку незначних коливань в електромережі. Це дозволяє уникнути хибних спрацювань та забезпечити надійність комутації при реальних умовах експлуатації.

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД АНАЛОГІВ ТА ВПЛИВУ ПЕРЕПАДІВ НАПРУГИ НА СТАН ОБЛАДНАННЯ

1.1 Огляд аналогів

У процесі розробки системи інтелектуального керування живленням доцільним є проведення аналізу існуючих комерційних рішень, які доступні на українському та міжнародному ринку. Такий аналіз дозволяє не лише визначити сучасний стан техніки в цій галузі, а й виявити переваги та недоліки популярних реалізацій, що надалі може бути враховано при виборі апаратних компонентів, схемотехнічних рішень і програмної логіки пристрою.

1.1.1 Реле контролю напруги ZUBR

Одним з найбільш розповсюджених представників побутових захисних пристроїв є реле напруги серії ZUBR, зокрема модель ZUBR D63t, що виготовляється українським виробником. Цей пристрій призначений для захисту однофазного обладнання від перенапруги або заниженої напруги у мережі змінного струму. Модель оснащена дисплеєм для індикації поточної напруги, кнопками налаштування верхнього та нижнього порогів, а також функцією затримки повторного ввімкнення після стабілізації мережі[1].

Усередині пристрою використовується електромеханічне реле, яке забезпечує фізичне розмикання кола навантаження. Це забезпечує базову надійність, але супроводжується обмеженим ресурсом комутації та характерним звуком перемикавання. Пристрій не підтримує цифрові інтерфейси чи інтелектуальну логіку прийняття рішень. Усі параметри задаються вручну і не можуть змінюватися динамічно під час роботи. Зовнішній вигляд реле зображено на рисунку 1.1.1.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 — Реле напруги ZUBR D63t

1.1.2 Захисні пристрої DigiTOP

Іншим поширеним варіантом є реле захисту DigiTOP V-protector VP-63A, що широко використовується у побутовій сфері. Це пристрій аналогічного призначення, який виконує функції моніторингу вхідної напруги та відключення навантаження при виявленні виходу за межі встановленого діапазону. Має світлодіодну або семисегментну індикацію, елементи ручного налаштування порогів, а також таймер затримки ввімкнення[2].

Незважаючи на зовнішню схожість з рішеннями ZUBR, пристрої DigiTOP дещо поступаються за точністю, швидкодією та якістю індикації. Крім того, їх функціональність не виходить за рамки класичних захисних схем і не передбачає жодних можливостей інтеграції в автоматизовані або інтелектуальні системи. Зовнішній вигляд реле зображено на рисунку 1.1.2.



Рисунок 1.2 — Реле захисту DigiTOP V-protector VP-63A

1.1.3 Інтелектуальні лічильники Schneider Electric

Більш функціонально насиченим аналогом є лінійка енергетичних модулів серії iEM3000 від компанії Schneider Electric. Ці пристрої дозволяють здійснювати точний вимір основних електричних параметрів — напруги, струму, потужності, енергії, а також надають можливість передачі даних через цифрові інтерфейси Modbus/RS485[3].

Хоча вони не мають вбудованого реле, їх можна використовувати у складі більших систем для збору статистики, створення логіки керування або побудови систем енергетичного обліку. Дані пристрої підтримують галузеві стандарти, мають сертифікацію, але не призначені для автономної роботи в ролі захисного комутатора без додаткового обладнання. Зовнішній вигляд лічильнику зображено на рисунку 1.1.3.



Рисунок 1.3 — Інтелектуальний лічильник iEM3000

1.1.4 Розумні реле з Wi-Fi (Sonoff, Shelly, Tuya)

Сучасний сегмент споживчої електроніки пропонує модулі типу Sonoff POW R2, Shelly 1PM та інші, які дозволяють не лише керувати живленням навантаження, а й здійснювати моніторинг напруги, струму та спожитої енергії в реальному часі. Вони мають вбудовані Wi-Fi-модулі, підтримують керування через мобільні застосунки або веб-інтерфейси, а також інтегруються з екосистемами типу Google Home, Alexa або Home Assistant[4].

Однак у більшості випадків комутація реалізується через електромеханічне реле, що знижує довговічність та надійність у порівнянні з твердотілими рішеннями. Крім того, залежність від стабільного інтернет-з'єднання або хмарного сервера ставить під сумнів автономність роботи в критичних застосуваннях, таких як захист важливих систем живлення. Зовнішній вигляд розумного реле зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 — Wi-Fi реле Sonoff POW R2

1.1.5 Промислові модулі захисту (Novatek-Electro, ETI)

До окремого класу належать пристрої, розроблені для промислового застосування, наприклад Novatek PM-311 або ETI EPMU-1, які орієнтовані на комплексний захист електрообладнання. Вони здатні контролювати послідовність фаз, обрив фази, перевищення або падіння напруги, а також час затримки ввімкнення[5].

Ці модулі мають високу надійність, розраховані на роботу в промисловому середовищі, оснащені захистом від пускових струмів і допускають розширене налаштування. Однак вони, як і прості реле, не мають можливостей динамічної логіки або гнучкої взаємодії з іншими пристроями без застосування додаткових контролерів.



Рисунок 1.5 — Промисловий модуль захисту Novatek PM-311

1.1.6 Узагальнення та висновки

На основі аналізу вищезазначених рішень можна констатувати, що більшість комерційних пристроїв реалізують лише частину функцій, необхідних для повноцінної інтелектуальної системи керування живленням. Одні пристрої, як-от ZUBR або DigiTOP, забезпечують базовий захист, але не мають жодної логіки або можливості інтеграції. Інші — як Schneider Electric — володіють потужним функціоналом моніторингу, однак не реалізують комутації. Розумні пристрої Wi-Fi забезпечують зручність та дистанційний доступ, але мають обмежену надійність і залежні від інтернет-інфраструктури.

Розроблювана система має на меті поєднати переваги всіх вказаних підходів: застосування твердотілих реле для безшумної та довговічної комутації, точне аналогове вимірювання, можливість програмної адаптації порогів, підтримку інтерфейсів для зовнішньої інтеграції, а також здатність працювати автономно без зовнішніх мереж. Такий підхід забезпечує високу надійність, модульність, гнучкість та економічну доцільність у порівнянні з існуючими аналогами.

1.2. Вплив перепадів напруги на надійність та безперебійну роботу радіоелектронної апаратури

Стабільність електроживлення є критичною умовою для надійної та тривалої роботи радіоелектронної апаратури. Перепади напруги — короточасні зниження (sag) або підвищення (swell) відносно номінального рівня — можуть мати серйозні наслідки для чутливої електроніки, особливо в умовах безперервної роботи. Подібні коливання виникають унаслідок коротких замикань, запуску індукційних двигунів, перемикачів навантаження або помилок у мережі, що супроводжується деформацією синусоїдального сигналу, асиметрією фаз і виникненням гармонік.

На рисунку 1.2.1 показано осцилограму миттєвих значень напруги на шинах 11 кВ і 0.4 кВ під час виникнення лінійного короткого замикання між фазами А і В. У період з 0.1 до 0.168 с фіксується суттєве просідання напруги у фазах А та В, в той час як фаза С демонструє короточасне підвищення (swell) — це типовий приклад асиметричного впливу аварії, який часто трапляється в розподільчих мережах.[6]

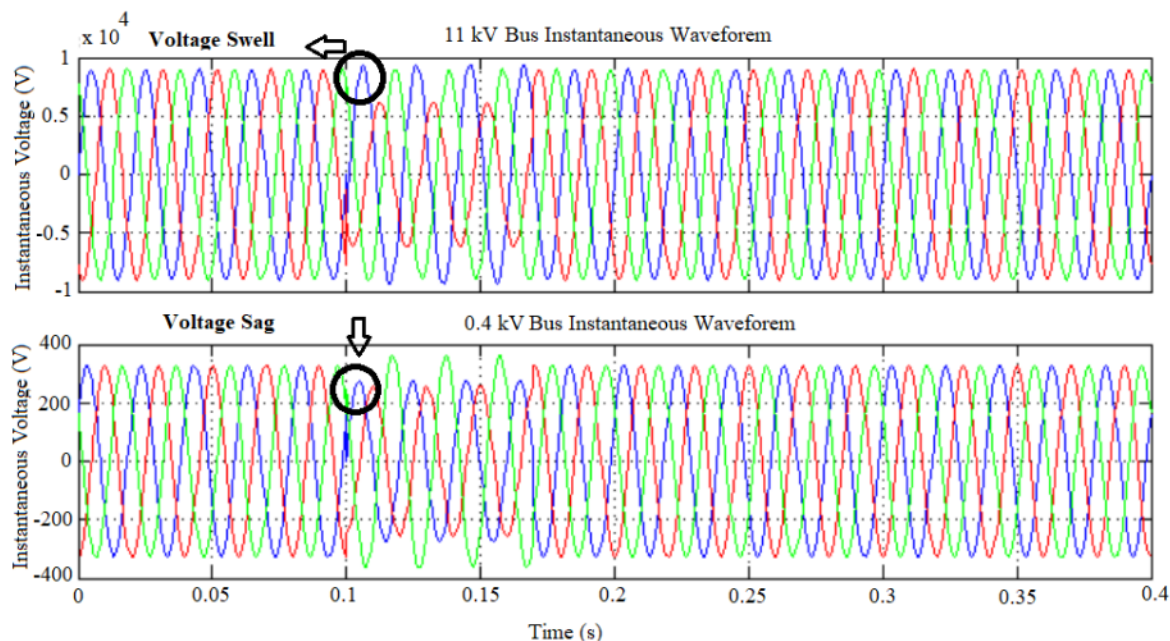


Рисунок 1.6 — Миттєве значення напруги 11 кВ та 0,4 кВ

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

12

Отже, таке локальне порушення викликає нестабільну подачу живлення на всі фази, що може призвести до збоїв у багатофазному обладнанні, зокрема в сервоприводах або джерелах живлення із фазовою синхронізацією.

На рисунку 1.2.2 представлено графік RMS-напруги для всіх трьох фаз у тій самій аварійній ситуації. Цей графік дає змогу кількісно оцінити глибину просідань та швидкість відновлення напруги. Видно, що фаза А просідає майже на 25% від номіналу, фаза В — на 18%, тоді як фаза С демонструє короткочасне підвищення.[6]

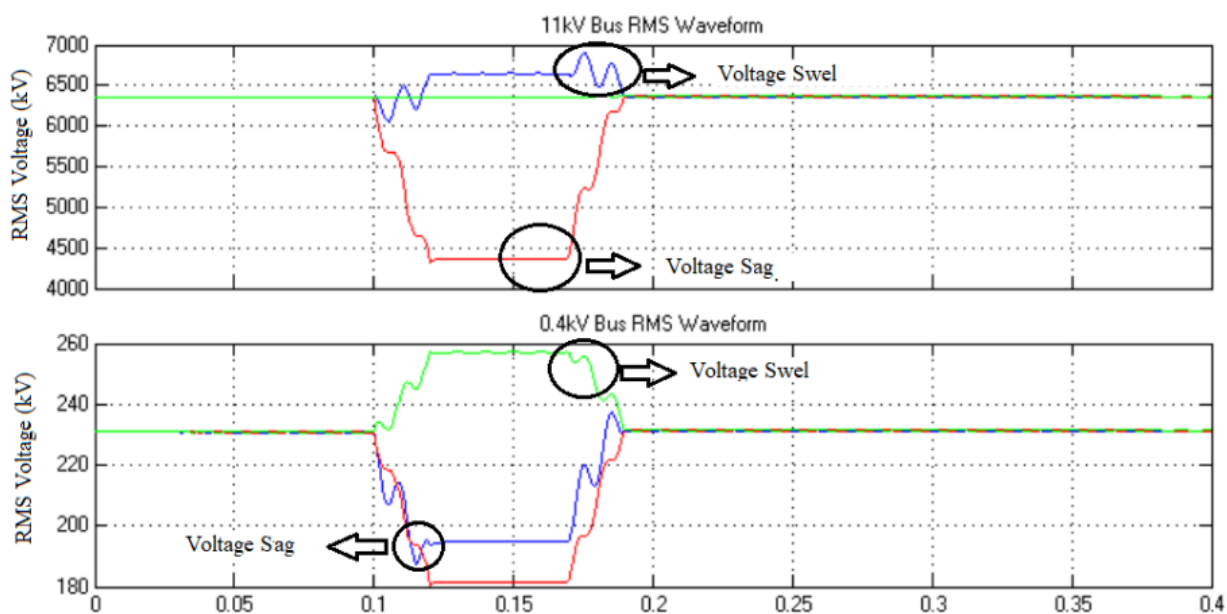


Рисунок 1.7 — Середньоквадратичне значення напруги 11 кВ та 0,4 кВ

Таким чином, навіть при короткій тривалості (70 мс) такі перепади можуть спричинити зупинку контролерів, перезапуск мікропроцесорних систем, а в разі повторюваних подій — перегрів живлення та передчасний вихід з ладу.

Ще один важливий приклад наведено на рисунку 1.2.3, де зображено осцилограму напруги на шинах при запуску індукційного двигуна (75 кВт). Видно, що у момент пуску (0.1 с) на 0.4 кВ шині виникає трифазне просідання напруги до 85% від номіналу. Це типова ситуація для побутових або промислових систем з імпульсним навантаженням.[6]

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

13

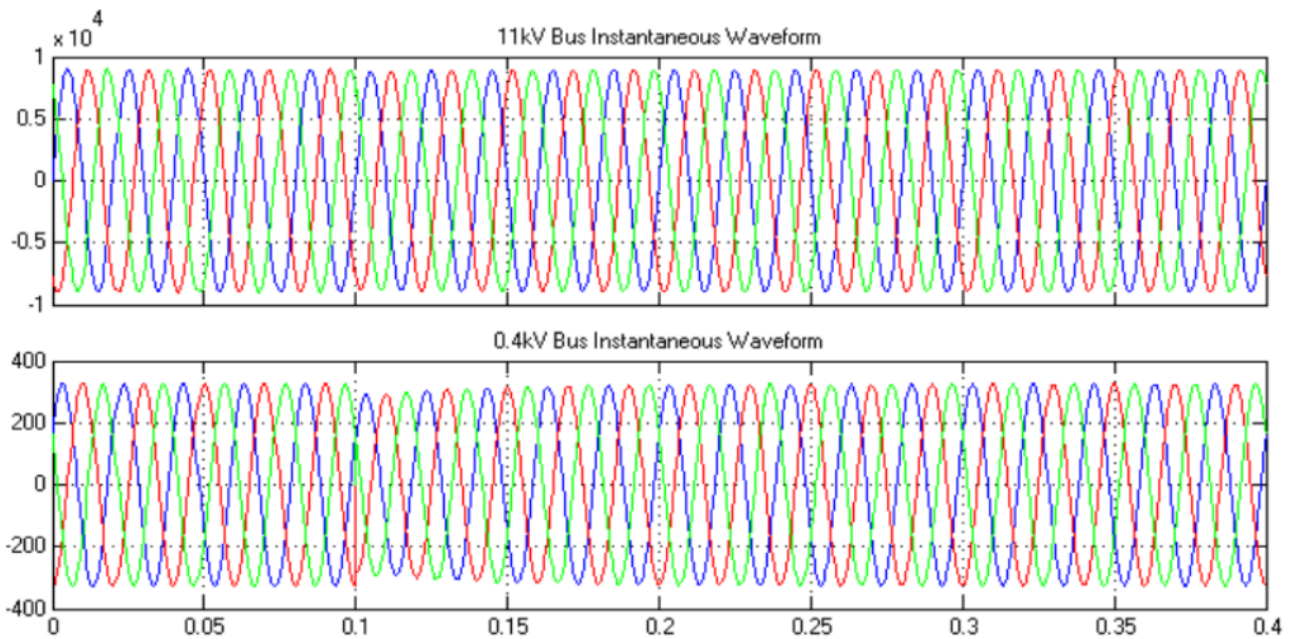


Рисунок 1.8 — Просідання напруги для навантаження асинхронного двигуна

З цього можна зробити висновок що у системах без моніторингу напруги запуск великого двигуна може залишити інші пристрої (контролери, АЦП, комунікаційні модулі) без стабільного живлення, навіть якщо вони самі не споживають багато струму.

Таким чином, перепади напруги безпосередньо впливають на надійність роботи радіоелектронної апаратури, спричиняючи прискорений знос елементів, збої у функціонуванні цифрових модулів та зменшення точності обробки сигналів. Це також негативно позначається на часі безперебійної роботи систем: можливі мимовільні перезавантаження, порушення зв'язку між модулями, втрата даних та порушення логіки виконання алгоритмів. Крім того, часті перенавантаження, викликані нестабільністю напруги, значно скорочують ресурс джерел живлення, зокрема електролітичних конденсаторів і стабілізаторів, що в підсумку може призвести до передчасного виходу з ладу усього пристрою.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

14

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

2.1 Призначення та опис схеми

Розроблювана система являє собою електронний пристрій, призначений для автоматизованого керування електричним навантаженням з метою підвищення надійності та безпеки електропостачання як побутових, так і промислових споживачів. Основна ідея полягає в забезпеченні нагляду за станом електромережі, своєчасному реагуванні на відхилення напруги від допустимих меж та відключенні живлення до підключеного навантаження у разі виникнення нестандартної або аварійної ситуації. Пристрій не тільки виконує функцію комутації, а й має можливість попередження користувача через індикаційні засоби (світлові або звукові сигнали), тим самим підвищуючи загальний рівень електробезпеки об'єкта, де він використовується.

Принцип дії системи базується на постійному вимірюванні рівня напруги змінного струму в електромережі. Для цього використовується спеціальний аналоговий подільник напруги, який дозволяє безпечно передавати значення напруги у відповідному масштабі на аналоговий вхід мікроконтролера. Обробка отриманих даних у режимі реального часу дає змогу приймати рішення щодо подальших дій: якщо рівень напруги виходить за встановлені межі (наприклад, нижче 200 В або вище 250 В), система негайно реагує, подаючи керуючий сигнал на твердотіле реле (SSR), яке розриває електричне коло й припиняє живлення навантаження. У разі нормалізації напруги до допустимого діапазону, реле знову замикає коло, і навантаження працює в штатному режимі.

Система виконує кілька важливих завдань. По-перше, вона безперервно відслідковує значення вхідної напруги. По-друге, здійснює аналіз отриманих даних та приймає логічне рішення щодо подачі чи зняття живлення. По-третє, вона комутує навантаження через SSR — надійний елемент без механічних

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

частин, який забезпечує високу швидкодію, тривалий термін служби та безшумну роботу. Окрім цього, система підтримує сумісність із більшістю сучасних мікроконтролерів за допомогою стандартних логічних рівнів керування (3,3–5 В), що дозволяє легко інтегрувати її в більші автоматизовані або «розумні» системи керування. Останнім важливим елементом є індикація — користувач завжди бачить поточний стан системи за допомогою світлодіодів, дисплеїв або звукових сигналів.

Область застосування даного пристрою є досить широкою. Він може бути використаний у побутових автоматизованих системах — наприклад, для управління вентиляцією, освітленням або електрообігрівом. Також він підходить для автономних установок із резервним живленням, де критично важливо контролювати стан мережі. Система може бути корисною у малопотужних промислових комплексах, де необхідно забезпечити надійність електропостачання, або ж для захисту чутливої до коливань напруги електроніки, електродвигунів, індукційних навантажень.

Загальна архітектура пристрою включає чотири основних функціональних блоків. Першим є блок живлення, який забезпечує стабілізовану напругу для живлення всіх елементів схеми. Другим — мікроконтролерний блок, що відповідає за обробку сигналів, прийняття рішень та керування комутацією. Третім є блок вимірювання напруги, який виконує роль адаптера між мережею та контролером. Четвертий блок — комутаційний, що реалізований на основі твердотілого реле. Усі ці елементи взаємодіють між собою для досягнення головної мети — забезпечення безпечної, ефективної та надійної роботи електричного навантаження в умовах нестабільної або небезпечної електромережі.

2.2 Обґрунтування структурної схеми пристрою

Структурна схема є важливою складовою будь-якого технічного або інженерного проекту, оскільки вона дозволяє візуально відобразити основні функціональні блоки системи та їх взаємозв'язки. Створення такої схеми дає змогу краще зрозуміти логіку роботи пристрою або системи загалом ще на етапі проєктування, не вдаючись до деталей реалізації. Це особливо корисно при роботі з комплексними системами, де важливо мати загальне уявлення про функціональну структуру, порядок обробки сигналів, управління і зв'язок між окремими модулями.

Крім того, вона слугує основою для подальшого створення принципових електричних схем, алгоритмів роботи, програмного забезпечення та навіть монтажних креслень. З практичного погляду, наявність добре продуманої структурної схеми також дозволяє швидше виявляти помилки, оптимізувати процеси, змінювати або масштабувати систему в майбутньому. Таким чином, структурна схема — це не просто формальність, а ключовий інструмент ефективного проєктування, аналізу і впровадження будь-якого технічного рішення. Структурна схема розроблюваного пристрою зображена на рисунку 2.1.

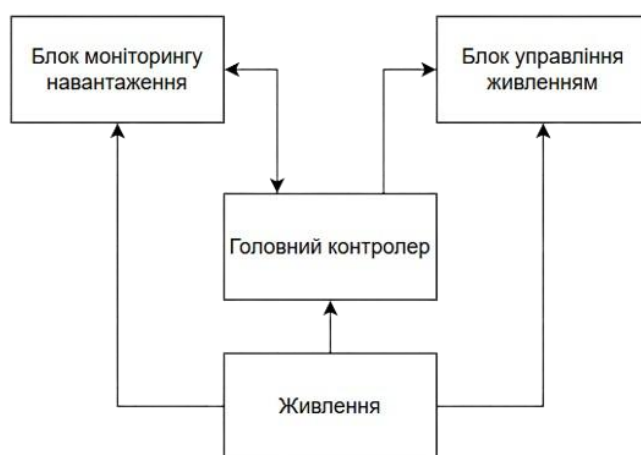


Рисунок 2.1 — Структурна схема

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

17

Головний контролер (мікрокомп'ютер): Це центральний елемент системи, який виконує роль головного обчислювального блоку та координатора роботи всіх інших модулів. Він забезпечує виконання основних алгоритмів управління, приймає та обробляє команди від користувача або інших частин системи, виконує аналіз даних з датчиків, а також зберігає інформацію для подальшого використання. Крім того, до складу головного контролера входить інтерфейс користувача, який дозволяє здійснювати взаємодію з системою — перегляд стану, зміна параметрів, запуск чи зупинка роботи.

Блок моніторингу навантаження складається з датчиків струму та напруги, які дозволяють відстежувати електричне навантаження у мережі та визначати рівень споживання потужності підключеними пристроями. Цей блок також виконує функцію моніторингу стану обладнання: фіксує наявність або відсутність навантаження, зміну його параметрів у режимі реального часу, а також може сигналізувати про потенційно небезпечні ситуації, такі як перевантаження чи обрив живлення.

Блок управління живленням містить твердотілі або електромеханічні реле, за допомогою яких здійснюється комутація електроживлення до споживачів. Крім простого вмикання та вимикання, цей блок виконує складніші функції — наприклад, реалізує алгоритми послідовного запуску пристроїв після подачі напруги, щоб уникнути надмірного пускового струму. Також він може виконувати аварійне вимикання живлення при виявленні критичних параметрів навантаження або перегріву.

Уся система працює від стандартної електромережі змінного струму. Для живлення мікроконтролера та чутливих схем передбачено використання стабілізованого блоку живлення, що забезпечує необхідну напругу постійного струму та захист від перенапруг.

2.3 Вибір електронних компонентів

2.3.1 Блок керування живленням: принцип роботи та вибір реле

Блок керування живленням виконує ключову функцію у загальній структурі системи, забезпечуючи фізичне розмикання або замикання електричного кола між джерелом живлення та навантаженням. Основна задача цього блоку — реалізація безпечної, надійної та швидкої комутації на основі керуючого сигналу, сформованого мікроконтролером згідно з поточними значеннями напруги в мережі.

Для необхідних задач в проекті підходять твердотілі(SSR) реле, так як вони не мають рухомих частин, працюють безшумно та мають тривалий термін служби порівнюючи з електромеханічними реле.

Реле підключається до мережі змінного струму, через яку проходить навантаження. Керуючий вхід реле з'єднаний з виходом мікроконтролера. Коли мікроконтролер подає логічну «1» (напругу в межах 3–5 В), реле замикає силовий контакт, і електричний струм починає текти до навантаження. У випадку перевищення порогових значень або виникнення нестандартної ситуації, сигнал вимикається, і реле розмикає коло, оберігаючи підключене обладнання від пошкодження.

При виборі твердотілих реле ключовими факторами є:

Діапазон комутованих напруг (так як реле повинно працювати з приладами які живляться від мережі, в діапазон повинна входити напруга 220В);

Керуюча напруга(дана напруга повинна бути типовою для мікрокомп'ютера, зазвичай це 3-5В);

Максимальний струм навантаження(для того щоб реле могло працювати з потужними побутовими приладами);

Доступність покупки в Україні(при замовленні компонентів з інших країн можлива значне збільшення часу виробництва);

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 19
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно факторів описаних вище , було підібрано 5 твердотілих реле які з яких варто знайти ті що будуть оптимальними для системи.

1) Fotek SSR-25DA: Перевагами даної моделі є високий номінальний струм(25A), що підходить для управління пристроїв середньої та високої потужності. По цій причині ця модель реле часто застосовується в системах керування нагрівачів , двигунів та освітлення. Іншою перевагою є широкий діапазон керуючої напруги (3-32В),що забезпечує сумісність з різними мікрокомп'ютерами. Ця модель реле має репутацію надійного твердотілого реле у невеликих проектах. Недоліком даної моделі є нагрівання при роботі з високим струмом – при виборі цієї моделі варто враховувати про необхідність додаткового охолодження при необхідності тривалого використання з великими навантаженнями. Реле зображено на рисунку 2.2[7].



Рисунок 2.2 — Твердотіле реле Fotek SSR-25DA

2) Omron G3MB-202P є твердотілим реле, основною перевагою якого є компактні габарити — розміри становлять лише 23x19x5 мм. Це робить його надзвичайно зручним для встановлення у конструкції з обмеженим вільним простором, зокрема в малі корпуси, панелі керування або щитки. Завдяки малій площі монтажу, цей тип реле часто використовується в пристроях, де важлива економія місця. Керуюча напруга реле становить 5 В, що дозволяє безпосередньо підключати його до цифрових виходів більшості популярних мікроконтролерів або одноплатних мікрокомп'ютерів, таких як Arduino, STM32, ESP або Raspberry Pi. Це забезпечує простоту інтеграції у типові електронні проекти та прототипи.

Однак, незважаючи на ці переваги, модель має і певні недоліки. Зокрема, вона здатна комутувати струм лише до 2 А, що значно обмежує її використання виключно керуванням малопотужними навантаженнями, такими як світлодіодні лампи, реле нижчого рівня або інші побутові пристрої з низьким енергоспоживанням. До того ж, при роботі на межі дозволеної потужності спостерігається схильність до перегрівання. Це може призвести до зниження ресурсу роботи пристрою, особливо при тривалій експлуатації без активного охолодження або без відповідного тепловідведення. Варто зазначити, що реле призначене для комутації змінної напруги в діапазоні від 100 до 240 В. Реле Omron G3MB-202P зображене на рисунку 2.3[8].



Рисунок 2.3 — Твердотіле реле Omron G3MB-202P

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Sharp S202S02: Перевагою цієї моделі є збалансований номінальний струм (8А), що підходить для середньопотужних навантажень, що підходить для побутових пристроїв. Керуюча напруга становить 5В що забезпечує сумісність з мікрокомп'ютерами. Дана модель зарекомендувала себе на ринку як надійне реле з великим терміном роботи. Недоліками моделі є обмеження для високопотужних пристроїв – якщо струм комутування перевищуватиме 8А, дана модель може бути ненадійною. Ще одним мінусом цієї моделі є обмеженість продажу в Україні – при виборі цієї моделі варто замовити реле заздалегідь. Реле зображено на рисунку 2.4[9].

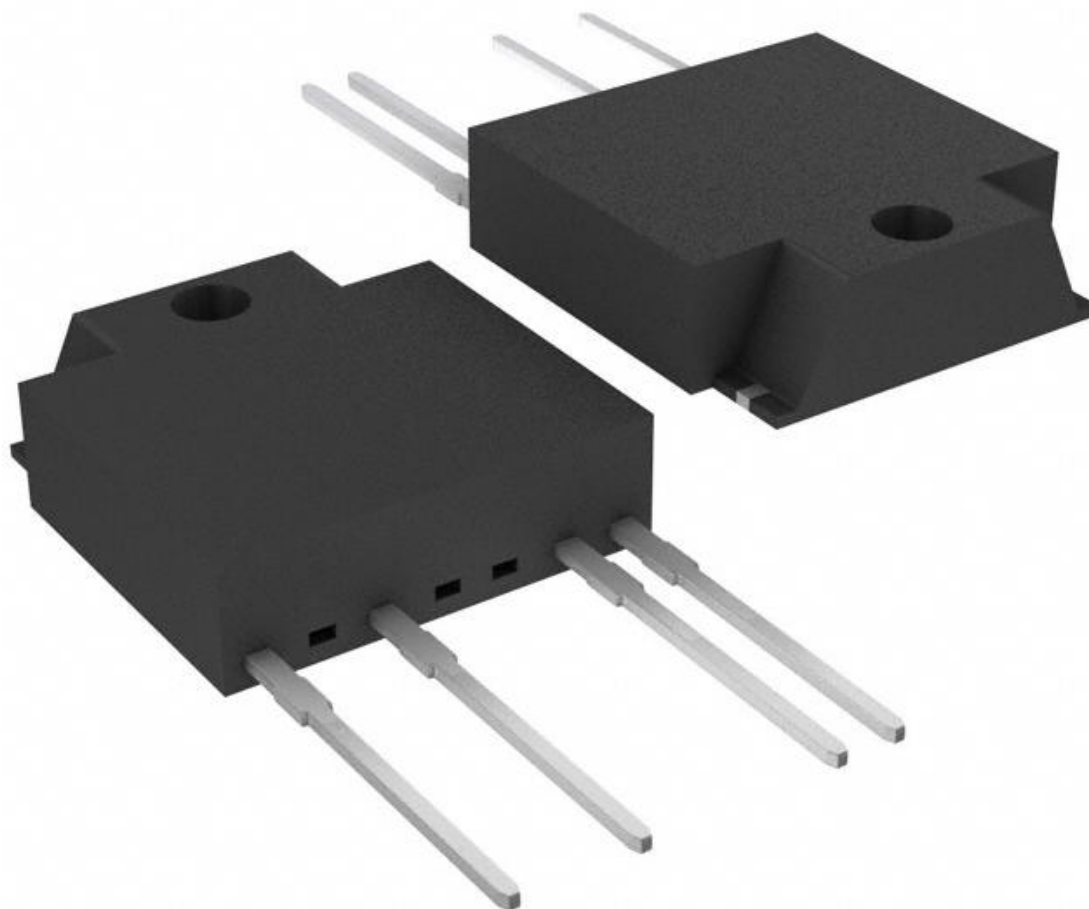


Рисунок 2.4 — Твердотіле реле Sharp S202S02

4) Carlo Gavazzi RM1A23D25: Перевагою даної моделі є висока якість і надійність – дану модель часто використовують для промислових застосувань, так як вона має високий номінальний струм(25А). Діапазон керуючої напруги становить 3-32В , що дозволяє інтегрувати реле з більшістю контролерів. Також ця модель відома своєю стабільністю і довговічністю для систем з великою інтенсивністю роботи. Недоліками системи є висока ціна. На момент огляду(21.10.2024) ціна становить 2490 гривень. Також недоліком є необхідність додаткового охолодження при безперервному режимі. Ще одним недоліком даної моделі є великі розміри(44.8x58.2x28.8мм), що ускладнює реалізацію компактності системи. Реле зображено на рисунку 2.5[10].



Рисунок 2.5 — Твердотіле реле Sharp S202S02

5) CG ZGT-25DA: Головними перевагами даної моделі є високий номінальний струм(25A) , широкий діапазон керуючої напруги (3-32В) , швидкість і надійність перемикання , а також доступність на ринку України. Недоліками даної моделі є нагрівання при високих навантаженнях рекомендоване додаткове охолодження. Також значним недоліком є відсутність захисту від перенапруги , тому в умовах нестабільного живлення знадобиться додаткова схема захисту. Реле зображено на рисунку 2.6[11].



Рисунок 2.6 — Твердотіле реле CG ZGT-25DA

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

24

2.3.2 Система моніторингу напруги

Одна з найважливіших складових у побудові автоматизованої системи керування живленням — це надійна та ефективна підсистема моніторингу напруги. Основне її призначення полягає в постійному контролі параметрів електромережі, з можливістю вчасного виявлення відхилень від норми. Це, у свою чергу, дозволяє системі приймати рішення щодо перемикавання живлення, переходу на резервне джерело енергії або попередження користувача про потенційно небезпечну ситуацію. У разі аварійної події підсистема моніторингу забезпечує належне завершення роботи пристроїв, що підключені до мережі, що критично важливо для уникнення втрати даних або пошкодження обладнання.

Конструктивно система складається з плати, на якій розміщені основні вузли: модуль підключення мікрокомп'ютера, елементи регулювання живлення (зокрема твердотілі реле), блок моніторингу напруги, а також акумулятор — як джерело безперебійного живлення. Мікрокомп'ютер виконує роль центрального керувального пристрою, який отримує дані з датчиків напруги, аналізує їх, керує реле та забезпечує взаємодію з користувачем через інтерфейс. Це забезпечує не лише автономність роботи системи, а й можливість її інтеграції у більш складні рішення, де потрібно реагувати на зміну параметрів мережі у реальному часі.

Блок моніторингу напруги є центральною ланкою між живленням і логікою керування. Він відслідковує зміну напруги в мережі та передає інформацію до мікрокомп'ютера, який відповідно до заданих алгоритмів здійснює подальші дії. Від обраного методу вимірювання напруги значною мірою залежить загальна точність, надійність і швидкодія всієї системи. Саме тому до вибору апаратної реалізації блоку моніторингу необхідно підходити обґрунтовано, враховуючи як технічні, так і економічні чинники.

1) Аналоговий подільник напруги з АЦП: цей варіант є найпростішим як у теоретичному, так і в практичному плані. Схема реалізується за допомогою резисторного подільника, який знижує напругу змінного струму до рівня, прийнятного для АЦП мікроконтролера. Схематична реалізація аналогового дільника напруги зображена на рисунку 2.7[12].

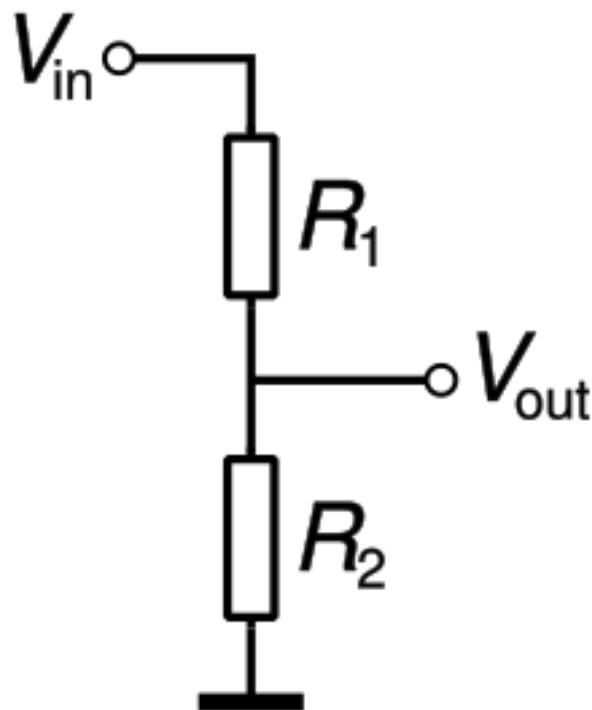


Рисунок 2.7 — Схема аналогового подільника напруги

Цей варіант має низку переваг, серед яких варто відзначити простоту конструкції, надзвичайно низьку вартість компонентів, високу швидкодію при обробці сигналу та легку інтеграцію з більшістю мікроконтролерів. Однак, існують і певні недоліки, зокрема необхідність фільтрації високочастотних завад, а також потреба в оптоізоляції або іншому захисті для забезпечення безпеки[13]. Незважаючи на це, у проєктах, де важливими є простота та обмежений бюджет, такий підхід часто виявляється оптимальним вибором.

2)Датчик INA219 — це цифровий шунтовий датчик напруги і струму, що має вбудований АЦП високої точності. Він дозволяє контролювати напругу на шинах до 26 В та струм через шунт до 3.2 А. Зв'язок із мікроконтролером здійснюється через шину I2C[14]. Модуль зображено на рисунку 2.8.

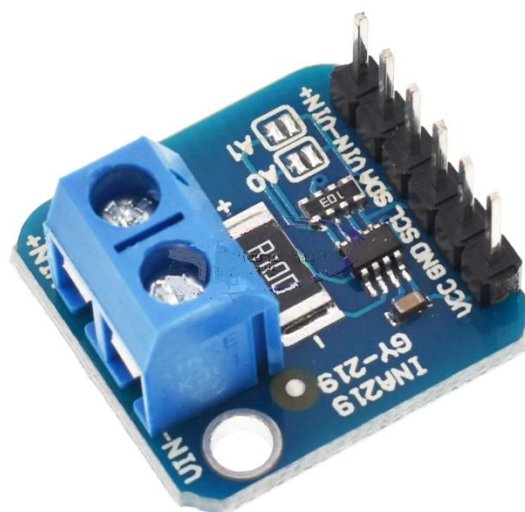


Рисунок 2.8 — Модуль INA219

Датчик INA219 має низку переваг, серед яких висока точність вимірювання, наявність вбудованого аналогово-цифрового перетворювача та шини передачі даних, а також можливість простого програмного налаштування порогових значень і конфігурацій. Разом з тим, існують і певні недоліки: обмеження по вхідній напрузі (до 26 В), що вимагає використання зовнішнього дільника, вища вартість у порівнянні з аналогами, а також чутливість до перепадів температури та імпульсних струмів. Використання INA219 є доцільним у проєктах, де критично важлива висока точність вимірювань або коли виникає потреба у контролі не лише напруги, а й струму.

3)Цифровий сенсор змінної напруги HLW8012: мікросхемний модуль для вимірювання параметрів змінного струму — напруги, струму, потужності. HLW8012 реалізує гальванічну розв'язку та передачу даних через імпульсний інтерфейс[15]. Сенсор зображено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 — Модуль HLW8012

Цей модуль має низку переваг, серед яких гальванічна ізоляція, що забезпечується трансформатором, здатність працювати безпосередньо в мережі 220 В, а також наявність повного вимірювального комплексу. Проте існують і певні недоліки: складна схема підключення, необхідність програмної корекції коефіцієнтів, а також обмежена поширеність в Україні, що ускладнює вибір і придбання. З огляду на це, модуль доцільно використовувати в інтелектуальних системах енергомоніторингу, однак для простих завдань з керування навантаженням він є надто складним і дорогим рішенням.

4)Порогова схема на базі компаратора: у даному варіанті використовуються два компаратори, які порівнюють вхідну напругу з фіксованими порогоми (верхнім і нижнім). У випадку виходу за межі діапазону компаратори змінюють логічний рівень на своїх виходах. Для зручності можна скористуватись мікросхемою яка містить два компаратори, наприклад LM393. Логічна діаграма мікросхеми LM393 зображена на рисунку 2.10[16].

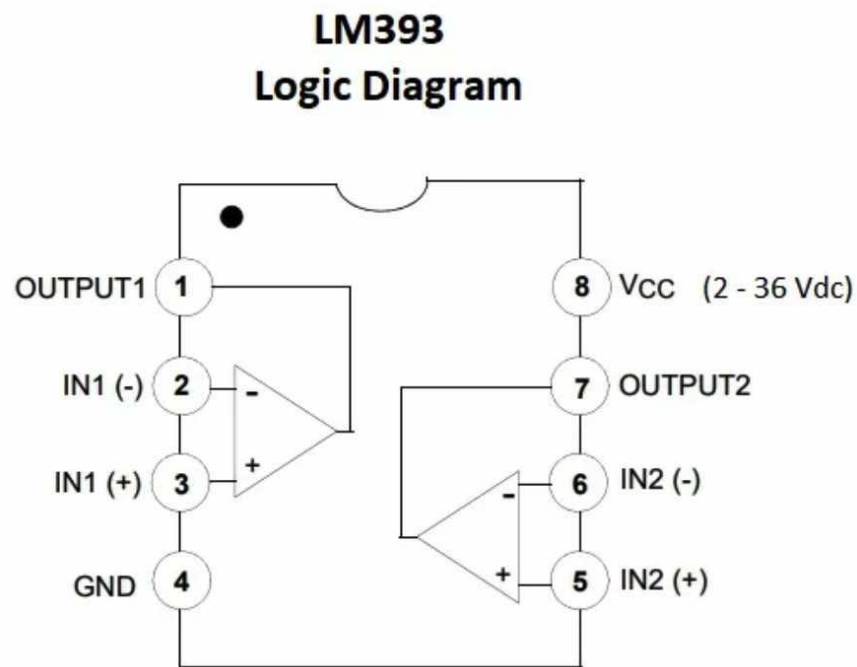


Рисунок 2.10 — Логічна діаграма мікросхеми LM393

Цей підхід вирізняється надзвичайно швидкою реакцією, з затримкою менше ніж 10 мкс, високою надійністю та простотою, а також можливістю роботи навіть без мікроконтролера завдяки наявності тривожного виходу. Водночас він має і певні недоліки: відсутність точного значення напруги, потреба в ручному налаштуванні порогів за допомогою змінних резисторів, а також підвищена чутливість до електричних шумів. Такий варіант найкраще підходить для побутових пристроїв, де головну роль відіграють простота та стабільність роботи.

2.3.3 Обґрунтування вибору оптимального варіанту

Підсумок огляду кожного з реле зображених на рисунку 2.11.

Модель реле	Переваги			Недоліки			Загальний висновок щодо використання моделі
Fotek SSR-25DA	Високий номінальний струм	Широкий діапазон керуючої напруги	Надійність	Нагрівання при роботі з високим струмом	Низька довговічність		Універсальний вибір за доступною ціною, проте варто подумати щодо охолодження
Omron G3MB-202P	Компактні розміри	Надійність	Оптимальна потужність керування	Низька комутаційна потужність	Схильність до перегріву		Хороший вибір для малопотужних пристроїв
Sharp S202S02	Збалансований номінальний струм	Оптимальна потужність керування	Надійність	Обмеження для високопотужних пристроїв	Обмежений вибір у продажу в Україні		Варто розглянути для пристроїв з середньою потужністю і при помірному бюджеті
Carlo Gavazzi RM1A23D25	Висока якість та надійність	Високий номінальний струм	Сумісність з мікрокомп'ютерами	Висока ціна	Потребує додаткового охолодження	Великі розміри	Підійде для пристроїв з високою потужністю де потрібна довговічність
CG ZGT-25DA	Високий номінальний струм	Широкий діапазон керуючої напруги	Швидкість і надійність перемикання	Нагрівання при високих навантаженнях	Відсутність захисту від перенапруги		Підходить для застосувань із помірною інтенсивністю роботи, але при тривалих високих навантаженнях рекомендується додаткове охолодження.

Рисунок 2.11 – Табличне порівняння кожного з реле

Отже, проаналізувавши варіанти моделей реле, найоптимальнішим для системи, що розробляється, є твердотіле реле Fotek SSR-25DA. Ця модель демонструє збалансоване поєднання надійності, струмових характеристик і сумісності з типовими логічними рівнями мікроконтролерів (3–32 В). Блок керування живленням на основі Fotek SSR-25DA забезпечує стабільну комутацію навантажень потужністю до 5,5 кВт, не потребує обслуговування, працює безшумно, а головне — не містить механічних контактів, що критично важливо для пристроїв із великою кількістю циклів перемикання. Завдяки відсутності дугових процесів на контактах, як у традиційних реле, цей тип комутації характеризується підвищеним терміном служби та зниженою вірогідністю збоїв у роботі.

Окремо варто зазначити, що модель Fotek SSR-25DA є однією з найпоширеніших на ринку, а отже, має хорошу доступність у більшості постачальників електроніки, широку документацію, приклади схем реалізації, а також підтримку з боку спільноти розробників. Це значно полегшує її

впровадження як на стадії прототипування, так і у серійному виробництві. У разі потреби заміни або модернізації компонентів, реле Fotek легко замінюється на сумісні моделі без необхідності змінювати схему або плату. Крім того, компактні розміри реле (58×45×23 мм) дозволяють легко інтегрувати його у корпус навіть за обмеженого внутрішнього простору.

Завдяки наявності алюмінієвої основи корпусу, Fotek SSR-25DA забезпечує відведення тепла під час роботи з великими навантаженнями, хоча для тривалого використання на межі струму 25 А рекомендовано встановлення додаткового радіатора. Також до переваг можна віднести високий рівень електричної ізоляції між силовою і керуючою частинами реле, що покращує електробезпеку та дозволяє зменшити ризик зворотного пробоя або пошкодження мікроконтролера при аваріях.

Щодо системи моніторингу напруги, після ретельного аналізу всіх розглянутих варіантів було прийнято рішення зупинитися на використанні аналогового подільника напруги в поєднанні з вбудованим аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) мікроконтролера. Такий підхід має низку суттєвих переваг. По-перше, схема подільника вирізняється простотою реалізації та мінімальною вартістю, що дозволяє скоротити загальні витрати на систему. По-друге, ця схема дозволяє безпосередньо інтегрувати вхід сигналу у стандартні АЦП мікроконтролерів без необхідності у складних перетвореннях чи додаткових модулів. По-третє, програмне налаштування порогових значень дає змогу змінювати реакцію системи залежно від вимог конкретного застосування, наприклад — побутового, резервного або промислового сценарію.

Таким чином, обрані рішення — Fotek SSR-25DA для комутації та аналоговий подільник напруги з АЦП для моніторингу — забезпечують баланс між вартістю, функціональністю, простотою реалізації та надійністю, що цілком

пристрою — моніторинг стану електромережі шляхом вимірювання напруги та передача відповідної інформації до мікрокомп'ютера, який виконує подальший аналіз та прийняття рішень.

Живлення пристрою здійснюється за допомогою вузла, в основі якого лежить трансформатор Т1, що понижує змінну напругу мережі 220 В до безпечного рівня. Далі напруга випрямляється діодним мостом VD1, після чого подається на вхід стабілізатора DA2 (мікросхема LM317), який формує постійну стабілізовану напругу 12 В. Ця напруга використовується для забезпечення живлення основних елементів схеми, зокрема модулів вимірювання та перетворення[17].

Сигнал для аналізу — це вхідна напруга, яка подається на аналоговий вимірювальний блок. Перед подачею на чутливу електроніку сигнал проходить через подільник напруги, який знижує рівень до безпечного значення, та захисний фільтр, що обмежує імпульсні завади. Далі сигнал надходить на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) DA1. Цей модуль приймає напругу, порівнює її з внутрішнім або зовнішнім опорним рівнем, який формується дільником на резисторах, і перетворює аналогове значення на цифрове. Отримані дані передаються на мікрокомп'ютер по шині I2C, яка забезпечує двосторонню синхронну передачу інформації при мінімальній кількості з'єднань.

Оскільки I2C-шина потребує стабільної напруги 3,3 В для коректної роботи цифрової логіки, в схемі реалізовано окремий понижуючий модуль на основі стабілізатора DA3 (AMS1117). Він знижує напругу з основної 12-вольтової лінії до 3,3 В та живить АЦП DA1 і забезпечує правильні рівні логіки для передачі даних по шині I2C[18].

Живлення самого мікрокомп'ютера відбувається незалежно від інших вузлів схеми, що дозволяє уникнути збоїв при зміні навантаження або коливаннях напруги на інших етапах. Мікросхема DA4 (XL6009) виконує

функцію DC-DC перетворювача, який забезпечує стабільну вихідну напругу 5 В незалежно від змін на вході. Завдяки широкому діапазону вхідних напруг і високому ККД, цей модуль є оптимальним вибором для живлення цифрових компонентів[19].

Крім цього, в конструкції передбачено роз'єм X2 для підключення зовнішнього акумулятора. Це дозволяє використовувати систему навіть у разі зникнення мережевого живлення. Таким чином, пристрій може працювати в автономному режимі, що особливо корисно в умовах нестабільного енергопостачання або для систем аварійного моніторингу.

З метою зменшення впливу перешкод та забезпечення надійної роботи цифрових модулів, особлива увага приділена розв'язанню живлення різних частин схеми. Так, модулі, що працюють з аналоговими сигналами, отримують живлення від стабілізованого джерела 12 В, тоді як цифрові компоненти, зокрема АЦП DA1 і мікрокомп'ютер, мають окремі лінії живлення на 3,3 В і 5 В відповідно. Це дозволяє уникнути взаємного впливу елементів і покращити точність вимірювань. Завдяки такій структурі, система залишається стабільною навіть при зміні навантаження або під час перемикання між основним та резервним джерелом живлення.

Загальна структура принципової схеми є логічно впорядкованою та функціонально завершеною, що дозволяє забезпечити надійну роботу пристрою в різних режимах. Ретельний розподіл живлення між аналоговими та цифровими модулями мінімізує вплив перешкод і стабілізує процес вимірювання. Наявність незалежних стабілізаторів напруги, резервного живлення та інтерфейсу для обміну даними свідчить про продуманий підхід до енергетичної автономності та функціональної гнучкості системи. Така схема є ефективною основою для побудови надійного моніторингового пристрою, здатного стабільно працювати в умовах коливань мережевої напруги або її повної відсутності.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 34
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ

3.1 Визначення мінімальної площі друкованої плати

Розрахунок мінімальної площі друкованої плати є важливим етапом у процесі проектування електронних пристроїв. Основна мета такого розрахунку полягає в оптимізації використання простору та матеріалів, що сприяє зменшенню розмірів пристрою, економії матеріалів і зниженню загальної вартості виробництва. Мінімізація площі дозволяє створювати компактні пристрої, які є особливо актуальними для сучасної мобільної електроніки та IoT-рішень. Вона також покращує енергоефективність завдяки скороченню електромагнітних втрат і підвищенню енергетичних характеристик. Крім того, оптимізація площі підвищує надійність плати за рахунок зменшення довжини провідників і стійкості до механічних пошкоджень. Компактні друковані плати легше інтегрувати в корпуси сучасних пристроїв, які часто мають обмеження за розмірами та формою, що робить їх більш естетичними та функціональними. Практичне застосування такого розрахунку забезпечує баланс між щільністю монтажу, тепловідводом та зручністю виробництва, що дозволяє досягати як технічних, так і економічних цілей у розробці електронних систем.

Мінімальна площа плати розраховується за формулою:

$$S_{\text{дп}} = \sum S_{\text{мг}} + 1,5 \cdot \sum S_{\text{сг}} + S_{\text{кр}} + k \cdot \sum S_{\text{вг}}; \quad (3.1)$$

де: $S_{\text{дп}}$ — мінімальна допустима площа друкованої плати, $S_{\text{мг}}$ — площа малогабаритних елементів, $S_{\text{сг}}$ — площа середньогабаритних компонентів, $S_{\text{вг}}$ — площа високогабаритних компонентів, k — коефіцієнт для високогабаритних компонентів (в залежності від корпусу)

Так як згідно технічного завдання плата має бути двостороння, для зручного монтажу плати на одній стороні розмістимо ТНТ компоненти, а SMD компоненти на іншій стороні плати.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунку наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1— Розрахунки площі компонентів плати

	Найменування	Площа	Коефіцієнт	Кількість	Сума
Малогабаритні(МГ)	Діод Шотткі RB521S-30 Yangjie	5,458	1	1	5,458
	Конденсатор 1 uF 10% 100V X7R 1210 (1210B105K101N1 – Hitano)	8,542	1	4	34,168
	Резистор 1 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR- 1KR-Hitano)	9,672	1	3	29,016
	Резистор 4,7 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR- 4K7R – Hitano)	9,672	1	4	38,688
	Резистор 12 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR- 12K-Hitano)	9,672	1	2	19,344
	Резистор 30 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RP08-30K0-F- Uni-Ohm)	9,672	1	2	19,344
	Діод 1N4002	19,046	1	2	38,092

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

36

Продовження таблиці 3.1

	Найменування	Площа	Коефіцієнт	Кількість	Сума
Середньогабаритні(СГ)	Аналогово-цифровий перетворювач ADS1115IDGST	20,909	1,5	1	31,3635
	Конденсатор 22uF 16V EHV SMD sizeB (EHV220M16RB)	35,312	1,5	1	52,968
	Конденсатор 10uF 16V EHV SMD sizeA (EHV100M16RA)	39,54	1,5	1	59,31
	З'єднувач KLS1-208B-4.3-2-6S	44,167	1,5	1	66,2505
	Стабілізатор LM317T	71,692	1,5	1	107,538
	Стабілізатор напруги AMS1117	76,472	1,5	1	114,708
	Конденсатор 220uF 50V EHV SMD sizeF 10x10.5 (EHV221M50RF)	125,704	1,5	1	188,556
	Клемник KLS2-126-5.00-02P-4C	127,383	1,5	2	382,149
	Підвищуючий перетворювач XL6009	189,193	1,5	1	283,789
	Запобіжник 0217010.MXP Littelfuse 10A 250V	206,796	1,5	1	310,194

Продовження таблиці 3.1

	Найменування	Площа	Коефіцієнт	Кількість	Сума
Середньогабаритні(СГ)	Діод Шотткі 1N5824	377,922	1,5	1	566,883
Високогабаритні(ВГ)	Діодний міст GBPC1508W	859,481	2	1	1718,962
	Трансформатор TEZ1.5/D230/15V	1274,74	2.5	1	1274,747
Кріплення	Шурупи M2	39,69	1	6	238,14

Підсумовуючи розрахунки таблиці 3.1, отримаємо результати зазначені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Результати розрахунків

Загальна площа:	Кількість елементів	Габарити плати(ТНТ)	Габарити плати(SMD)	Площа плати згідно габаритів
5891,3415	39	4392,7615	1498,58	80 x 55

Відповідно до розрахунків, мінімальна площа плати становить 4400 мм². Відповідно до технічного завдання маємо наступні вимоги та обмеження корпусу:

- а) Прилад має монтуватись до стіни;
- б) В корпусі повинні бути отвори під роз'єми для мікрокомп'ютеру, роз'єм для акумулятора, роз'єм для живлення від мережі.

Контур плати з місцями під кріплення зображений на рисунку 3.1



Рисунок 3.1 — Контур плати з місцями під кріплення

3.2 Розрахунок ширини провідника

Розрахунок ширини провідника друкованої плати необхідний для забезпечення надійної та безпечної роботи електронного пристрою. Правильно підібрана ширина провідника дозволяє уникнути перегріву доріжок при проходженні струму, зменшує падіння напруги, забезпечує відповідність до стандартів (наприклад, IPC-2221) і покращує електромагнітну сумісність. Це критично важливо для довговічності плати, стабільності роботи схеми та дотримання технічних характеристик виробу.

Щоб визначити необхідну ширину друкованих провідників, потрібно враховувати максимальні значення струму та напруги, які протікають через силові та сигнальні ланцюги. Наявні ланцюги та максимальна сила струму для розроблюваної плати вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Ланцюги схема та їх струм

Назва ланцюга	I, A
Силовий(+230V)	10
Силовий(+12V)	0,8
Силовий(+5V)	0,5
Сигнальний	0,0003

Згідно отриманих значень можна обрахувати мінімальну ширину провідника для коректної роботи друкованої плати. Розрахунок виконано за допомогою онлайн калькулятора[20]. Товщина доріжок ланцюгів вказана в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Ланцюги схеми та товщина доріжок

Назва ланцюга	Мінімальна ширина провідника, мм
Силовий(+230V)	7,2
Силовий(+12V)	0,22
Силовий(+5V)	0,1155
Сигнальний	0,000004

Варто зауважити, що для сигнальних та силових ланцюгів (напругою +5 В) мінімальна ширина провідників може бути меншою, ніж зазначено у відповідній таблиці. Однак використання вузьких доріжок потребує високоточної апаратури для виготовлення, що суттєво підвищує вартість друкованої плати. Ширина провідника 0,127 мм є мінімально допустимою у багатьох виробників у базовій

конфігурації виробництва. Враховуючи це, оптимальним рішенням є використання ширини провідника 0,127 мм як мінімально допустимого значення.

3.3 Трасування плати в системі автоматизованого проектування Altium Designer

Одним із ключових етапів створення сучасних електронних пристроїв є трасування друкованої плати – процес розміщення електричних з'єднань між компонентами згідно зі схемою. Від якості цього етапу залежить не лише надійність роботи пристрою, а й зручність його виготовлення, тестування та обслуговування. Для виконання трасування використовуються спеціалізовані програмні засоби, серед яких однією з найпотужніших і найпопулярніших є система автоматизованого проектування Altium Designer.

Altium Designer забезпечує повний цикл розробки електронних пристроїв: від створення електричної принципової схеми до формування Gerber-файлів для виробництва плати. Інструменти для трасування дозволяють з високою точністю розміщувати доріжки, оптимізувати їх ширину, дотримуватись вимог щодо завадостійкості, ширини заземлюючих шин, розміщення елементів та міжшарових переходів (via).

У цьому розділі розглянуто основні етапи трасування друкованої плати у середовищі Altium Designer, включаючи підготовку компонентів, розміщення на платі, налаштування правил трасування, вибір ширини провідників залежно від струмового навантаження, а також створення завершеного вигляду плати з урахуванням ергономіки та технологічних вимог.

Трасування верхнього та нижнього металізованого шару ДП зображено на рисунку 3.5 та 3.6 відповідно.

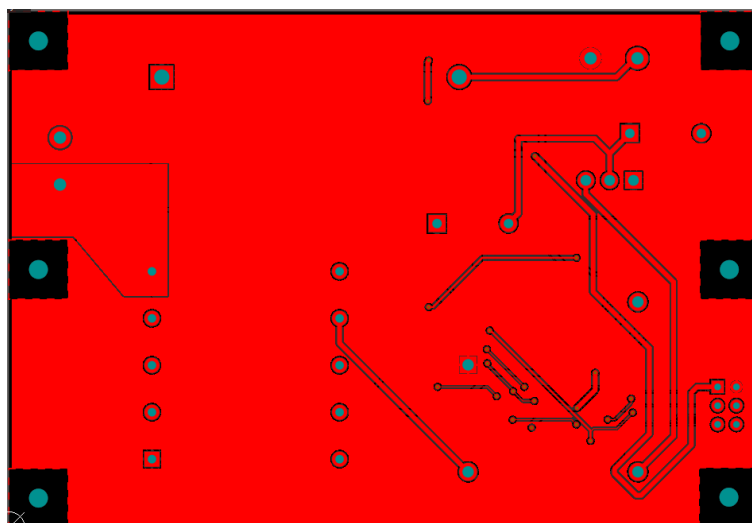


Рисунок 3.5 — Трасування верхнього шару ДП

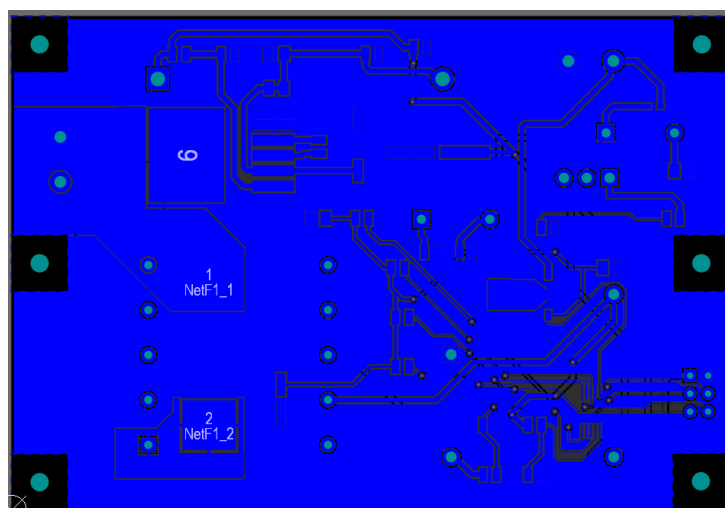


Рисунок 3.6 — Трасування нижнього шару ДП

На обох шарах видно оптимізоване трасування сигнальних ліній, з урахуванням мінімізації довжини доріжок, уникнення перехресть та забезпечення надійного з'єднання між компонентами. Вузькі доріжки призначені для сигналів з низьким струмом, тоді як для потужних ліній передбачено ширші траси. Особливо важливо, що більшість переходів між шарами виконані за допомогою перехідних отворів (via), що дозволяє ефективно з'єднувати обидві сторони плати.

Однією з найважливіших особливостей конструкції є використання суцільного полігону "земля" (GND), особливо помітного на нижньому шарі. Суцільний полігон "землі" дозволяє значно зменшити імпеданс загального провідника, покращити електромагнітну сумісність (ЕМС) і захистити сигнальні лінії від перешкод. Крім того, такий підхід забезпечує наявність зворотного шляху для струму з мінімальним шумом, що критично для високочастотних схем.

Також полігон "земля" використовується як теплова маса — ефективно відводить тепло від потужних компонентів. З'єднання між полігоном та іншими вузлами виконано за допомогою "теплових відводів" (thermal reliefs), що покращує пайку та запобігає перегріву під час монтажу.

Загалом, трасування цієї друкованої плати виконано відповідно до стандартів проектування: оптимізовано розміщення доріжок, мінімізовано кількість перехресть, використано суцільний полігон "земля", що гарантує якісну роботу пристрою в умовах впливу зовнішніх електромагнітних завад.

На Рис. 3.7 показано об'ємний вигляд розтрасованої плати розроблюваного пристрою.

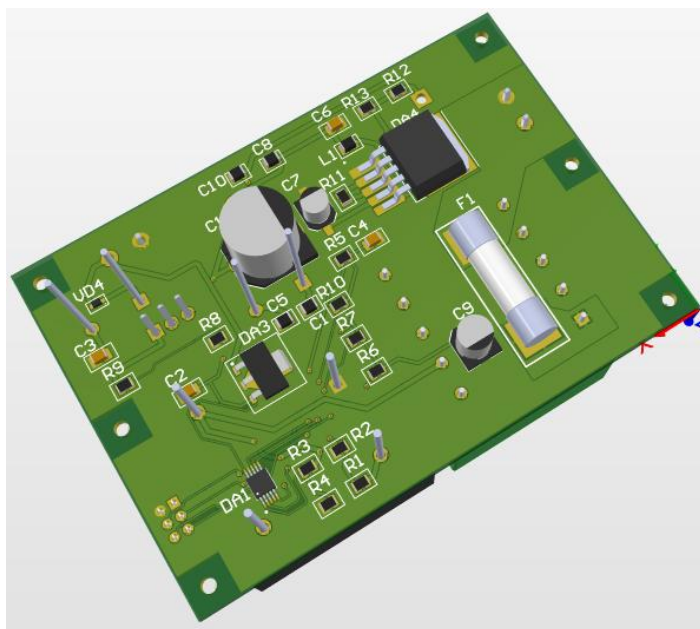


Рисунок 3.7 — Об'ємний вигляд ДП (нижній шар)

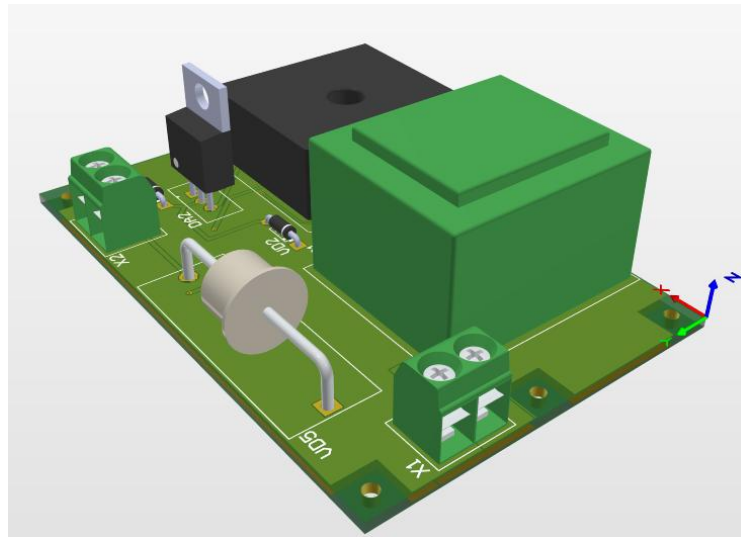


Рисунок 3.8 — Об'ємний вигляд ДП (верхній шар)

Більшість компонентів керуючої частини розміщено компактно, у вигляді логічно впорядкованих груп. Застосування як вивідних, так і SMD-компонентів дає змогу раціонально використовувати площу плати, забезпечуючи одночасно високу щільність монтажу та легкість у виробництві.

Конденсатори, мікросхеми та елементи пасивної фільтрації розташовано з урахуванням мінімізації взаємних впливів. Великогабаритні компоненти, як-от діодний міст, винесені на крайову частину плати, що полегшує доступ при обслуговуванні й сприяє охолодженню.

Усі потужні компоненти розташовані на безпечній відстані один від одного, а міжвузлові з'єднання виконані з урахуванням ізоляційних відстаней, що відповідає вимогам до мережевих пристроїв.

4. ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ

Корпус є однією з ключових складових будь-якого електронного пристрою, адже саме він визначає не лише зовнішній вигляд, а й забезпечує зручність експлуатації, ергономіку, безпеку та довговічність роботи системи. У випадку пристрою резервного живлення з мікрокомп'ютерним керуванням корпус виконує одразу кілька важливих функцій. Він захищає електронні компоненти від пилу, механічних пошкоджень та інших зовнішніх чинників, організовує ефективну вентиляцію, забезпечує простий доступ до функціональних елементів та виконує роль інтерфейсу для користувача.

Особливість розробленої системи полягає у поєднанні декількох важливих вузлів: мікрокомп'ютера, блоку реле, сенсорів напруги та акумулятора. Кожен з цих елементів вимагає належного розміщення, електроізоляції та тепловідведення, що ставить до корпусу високі вимоги. Крім того, пристрій повинен мати достатню портативність і можливість монтажу в різних умовах – як у домашніх, так і в технічних приміщеннях.

Дизайн корпусу має бути функціональним, лаконічним та технологічним. Він повинен враховувати необхідність швидкого доступу до роз'ємів, кнопок та індикаторів, водночас залишаючись зручним у щоденному користуванні. Естетичний аспект також важливий, оскільки пристрій може бути встановлений у видимих зонах інтер'єру.

Таким чином, при розробці корпусу було враховано як технічні параметри системи, так і потреби кінцевого користувача. Це дозволило створити конструкцію, яка поєднує в собі практичність, безпеку та зручність, а також сприяє ефективній і стабільній роботі пристрою в будь-яких умовах експлуатації.

4.1 Опис ідеї корпусу

Корпус пристрою є невід’ємною частиною системи, оскільки виконує не лише захисну, а й ергономічну функцію. Його конструкція розроблена з урахуванням особливостей електронних компонентів: мікрокомп’ютера, джерела безперебійного живлення, реле напруги, блоку моніторингу та акумулятора. Дизайн корпусу має забезпечувати зручне розміщення всіх елементів, їхню вентиляцію, а також легкий доступ до роз’ємів та органів керування.

Система орієнтована на технічно грамотного користувача, а також на побутове використання, де важливими є безпека, простота обслуговування та наочність індикації. Тому корпус пристрою розроблено з урахуванням таких принципів, як функціональність, компактність і технологічна естетика.

Основна панель корпусу містить елементи інтерфейсу користувача: кнопку ввімкнення/вимкнення пристрою, світлодіодні індикатори стану живлення мережі та акумулятора, а також кнопку скидання. За потреби можуть бути додані сенсорні або механічні кнопки для ручного керування реле.

Бокові частини корпусу оснащені вентиляційними отворами для охолодження плати з мікрокомп’ютером та реле. З іншого боку передбачено роз’єми для підключення до живлення, мікрокомп’ютера, а також вихід до керованого навантаження.

Внутрішній простір корпусу має секційну організацію, де передбачено окремі зони для розміщення плати живлення, акумулятора та блоку сенсорів. Такий підхід дозволяє зменшити перешкоди між компонентами та спрощує обслуговування пристрою.

Матеріали корпусу повинні бути термостійкими та електроізоляційними. Рекомендовано використання пластику ABS або полікарбонату, що забезпечують достатню міцність, захист від пилу та невеликих механічних впливів.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 46
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Габарити корпусу підібрано з урахуванням портативності пристрою, а також можливості встановлення в серверну шафу або поблизу автоматизованих приладів, які залежать від системи живлення. Додатково передбачено монтажні отвори для кріплення на DIN-рейку або стіну.

Зовнішній вигляд пристрою витриманий у стриманому технічному стилі, без зайвих декоративних елементів, що відповідає його цільовому призначенню — забезпечення безпеки та стабільної роботи обладнання в умовах нестабільного електропостачання.

Таким чином, конструкція корпусу сприяє ефективному функціонуванню пристрою, його безпечному використанню та естетичній інтеграції у робоче середовище.

4.2 Конструктивні особливості корпусу

Передня панель корпусу є головним інтерфейсом для підключення зовнішніх джерел живлення до пристрою. З метою забезпечення універсальності та безпеки експлуатації, на даній панелі передбачено два незалежних роз'єми: для підключення змінного струму з мережі 220 В – стандартний мережевий роз'єм типу ІЕС С14; для підключення джерела постійного струму – ХТ60, який зазвичай використовується в акумуляторних системах.

Роз'єм ІЕС С14 (відповідно до стандарту ІЕС 60320) є промислово визнаним типом роз'єму для передачі змінного струму до 250 В із максимальним струмом навантаження 10–15 А (залежно від конкретного виконання)[21]. Роз'єм монтується до передньої панелі за допомогою двох гвинтів М3, які проходять через фланцеві отвори в корпусі роз'єму. Розміщення фланців по обидва боки дозволяє симетрично розташувати роз'єм та уникнути зміщення в процесі експлуатації.

					<i>РЕ12.468243.001 ПЗ</i>	Лист 47
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Пластиковий корпус роз'єму виготовляється з вогнетривкого матеріалу (найчастіше поліамід або термостійкий ABS), що зменшує ризики короткого замикання або займання. Роз'єм щільно інтегрується в отвір у корпусі та виступає лише на глибину фланця, забезпечуючи зручний доступ до підключення кабелю живлення, але водночас запобігаючи випадковому вириванню.

Роз'єм C14 забезпечує просту заміну кабелю без демонтажу корпусу пристрою. Це є особливо корисним для сервісного обслуговування чи інтеграції системи в модульні блоки з централізованим живленням.

Роз'єм XT60 є високострумним низьковольтним з'єднувачем, розробленим для забезпечення безпечного підключення постійного струму до 60 А при напрузі до 500 В (в реальних системах зазвичай використовується до 20–30 А при 12–24 В). Він широко застосовується в системах живлення безперебійного типу, БПЛА, моделізмі та акумуляторних збірках завдяки своїй: високій надійності контакту, термостійкості та нечутливості до вібрацій і механічних навантажень[22].

Контактна група складається з двох позолочених циліндричних штирів діаметром 4 мм, які мають пружинну фіксацію всередині корпусу. Зовнішня оболонка виконана з термостійкого нейлону (до 250 °C), що запобігає деформації або розплавленню під дією нагріву при великих струмах.

Форма роз'єму є асиметричною, що повністю виключає можливість неправильного підключення. Це особливо важливо у випадку живлення від акумуляторів, де помилкова полярність може спричинити пошкодження плати або займання елементів живлення.

Роз'єм встановлюється в прямокутний отвір, вирізаний у передній панелі корпусу. Пайка проводів до XT60 виконується з використанням товстожильного кабелю (наприклад, 12 AWG або 10 AWG), а місце з'єднання захищається

термоусадкою. Усередині корпусу дроти з ХТ60 під'єднуються до плати або силового реле, що регулює подачу напруги на основні вузли.

Між двома роз'ємами передбачене просторове розділення – відстань не менше 20 мм між зовнішніми межами фланців. Це дозволяє безперешкодно здійснювати одночасне підключення обох джерел живлення без ризику пошкодження роз'ємів або надмірного нагріву у випадку щільного монтажу.

Під кожним з роз'ємів нанесено маркування: «220В» – під роз'ємом ІЕС С14, «12В» – під роз'ємом ХТ60.

Маркування виконується методом лазерного гравіювання або механічного фрезерування на корпусі (якщо матеріал – пластик або метал), або методом тамподруку – у випадку серійного виробництва[23]. Символи виконуються з контрастним забарвленням (наприклад, сірий/білий на чорному корпусі), що забезпечує добру читабельність. Передня панель корпусу зображена на рисунку 4.1.

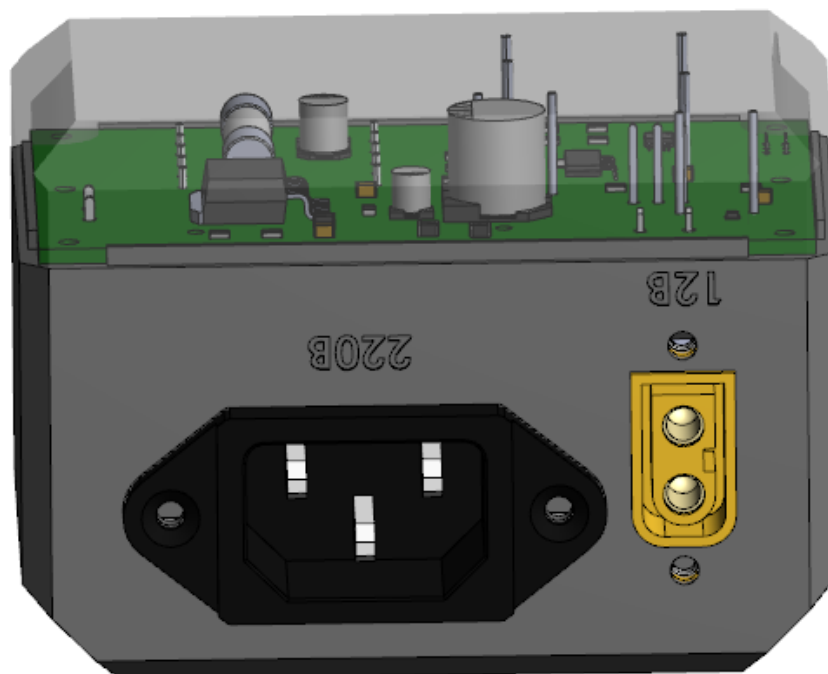


Рисунок 4.1 — Передня панель корпусу

На тильній стороні корпусу передбачено встановлення круглої багатоконтактної з'єднувальної арматури – роз'єму типу GX16. Цей тип роз'єму обрано з урахуванням необхідності передавання цифрових та аналогових сигналів між основною платою пристрою та зовнішніми керувальними або вимірювальними модулями.

GX16 – це стандартний металевий роз'єм циліндричної форми з різьбовою фіксацією, який широко застосовується в промисловій автоматизації, електроніці, авіамоделюванні та живильних системах для забезпечення надійного багатоконтактного з'єднання[24].

Контактна група зазвичай виготовляється з латуні з покриттям нікелем, що забезпечує добрий електричний контакт, корозійну стійкість і тривалий термін служби. Сила струму на кожен контакт – до 5 А, напруга ізоляції – до 250 В, що робить роз'єм придатним як для цифрових, так і для аналогових сигналів середньої потужності.

Роз'єм складається з двох основних частин: гніздо (female), яке встановлюється у задню стінку корпусу, вилка (male), змонтована на з'єднувальному кабелі або зовнішньому пристрої.

Гніздо монтується з внутрішньої сторони панелі за допомогою різьбової фіксуєючої гайки, що накручується із зовнішнього боку корпусу. Для точного позиціювання передбачена ключова виїмка, яка не дозволяє обертати роз'єм при затягуванні або підключенні штекера.

Додатково, навколо контактної частини розташовано направляючий виступ, який запобігає неправильному підключенню вилки. Фіксація здійснюється шляхом закручування зовнішньої муфти на вилці, що накручується на різьбу гнізда – такий механізм забезпечує: міцне механічне з'єднання, стійкість до вібрацій, захист від самовільного роз'єднання, добрий електричний контакт усіх пінів. Задня панель корпусу зображена на рисунку 4.2.

					<i>PE12.468243.001 ПЗ</i>	Лист 50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

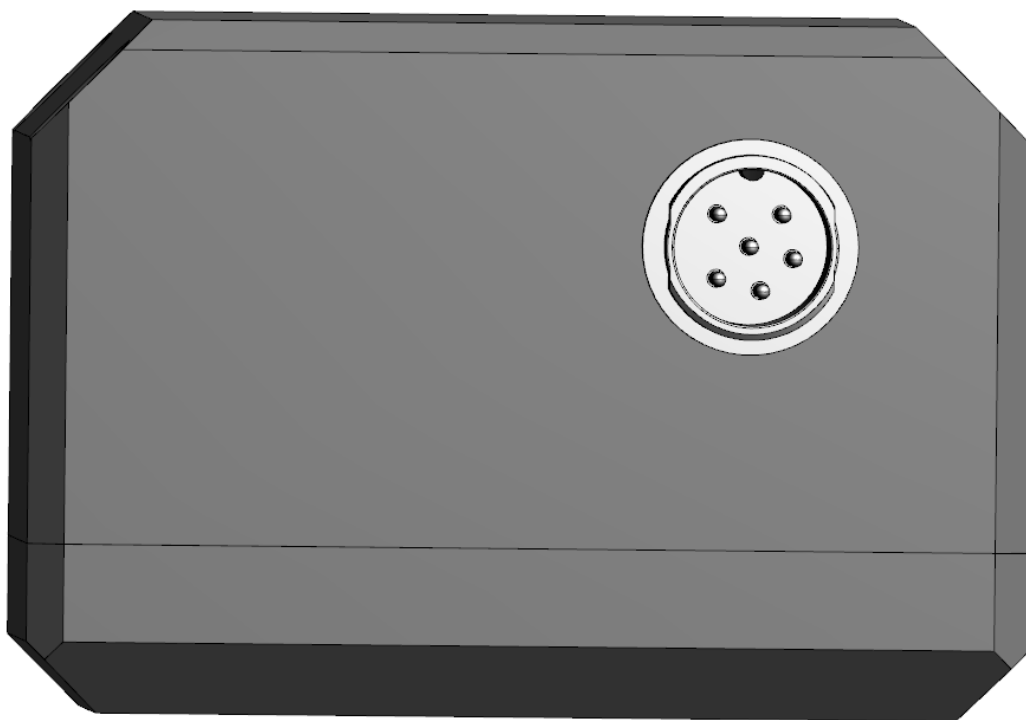


Рисунок 4.2 — Задня панель корпусу

GX16 (6-контактний) дозволяє організувати передачу кількох типів сигналів через один фізичний інтерфейс.

Контакт 1 – це основна точка відліку для всієї електричної схеми. Контакт GND забезпечує спільний нульовий потенціал для всіх модулів – як на платі, так і на стороні мікрокомп’ютера. Без спільної «землі» обмін даними по шині I²C був би неможливий або некоректний. Лінії SCL, SDA, а також виводи ALERT та ADDR повинні мати той самий GND для формування коректного логічного рівня.

Контакт 2 використовується для подачі напруги живлення на зовнішній контролер. Він дозволяє живити мікрокомп’ютер або інтерфейсну плату без додаткових джерел живлення, прямо від блока живлення основної плати. При цьому необхідно забезпечити захист від зворотного струму та стабілізацію напруги, особливо якщо інші модулі системи використовують різні рівні логіки. В реальній реалізації живлення може подаватись із стабілізатора напруги на платі або із зовнішнього джерела через ключ.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

51

Контакт 3 є лінією тактуючого сигналу стандартного двопровідного протоколу I2C, який використовується для комунікації з АЦП ADS1115. Через цю лінію мікрокомп'ютер передає імпульси синхронізації, які дозволяють здійснювати обмін інформацією по шині з визначеним тактом. ADS1115 виступає в ролі slave-пристрою, а мікрокомп'ютер – master.

SCL разом із SDA є критично важливими для реалізації цифрового зчитування аналогових сигналів, зокрема напруги в мережі чи на входах з реле.

Контакт 4 це друга лінія протоколу I2C, по якій передаються всі дані між пристроями. У нашому випадку мікрокомп'ютер надсилає команди на ADS1115, а у відповідь отримує значення напруги з аналогових каналів АЦП.

Лінія SDA є двонаправленою: вона використовується як для запису регістрів, так і для зчитування вимірювань. Завдяки I²C на одній парі SDA/SCL можна підключити декілька аналогових пристроїв з різними адресами, використовуючи лише ці два пін-контакти.

Контакт 5 реалізований у ADS1115 як вивід переривання або тригера. Він може бути налаштований для активації у випадках, коли аналогове значення перевищує встановлений поріг або коли нове вимірювання готове для зчитування. Фактично, він є апаратним сигналом готовності або тривоги[25].

Цей сигнал використовується для економії обчислювальних ресурсів – замість постійного опитування по I2C, контролер отримує сигнал на цей пін, і тільки тоді зчитує результат.

Контакт призначений для визначення I2C-адреси АЦП ADS1115. Таким чином, підключивши контакт ADDR до певного логічного рівня (через цей 6-й контакт роз'єму GX16), можна змінювати адресу АЦП без перепайки чи зміни конфігурації на платі. Це зручно для масштабування системи або при використанні кількох ADS1115 на одній шині.

Надійне та безпечне кріплення корпусу пристрою до монтажної поверхні є критичним фактором для стабільної експлуатації електронних систем, зокрема в умовах вібрації, обмеженого простору або технічного обслуговування. З цією метою у конструкції передбачено спеціалізовані монтажні отвори, інтегровані в бокові частини корпусу.

Конструктивно-монтажні отвори виконано у вигляді циліндричних каналів, інтегрованих у верхню фаску корпусу, які дозволяють встановлення гвинтів або інших елементів кріплення під кутом до горизонтальної площини. Така геометрія має кілька важливих переваг, що будуть розглянуті нижче.

Отвори розміщені симетрично по обидва боки корпусу, ближче до верхнього торця. Їх орієнтація навмисне виконана під кутом приблизно 45° до основної площини монтажу, що забезпечує зручність доступу до гвинтів навіть за щільної інсталяції в шафі, рівномірний розподіл навантаження на корпус при фіксації, зменшення ризику тріщин при використанні 3D-друкованих матеріалів, де напрям навантаження критично впливає на міцність.

Бокова частина корпусу з монтажними отворами зображена на рисунку 4.3.

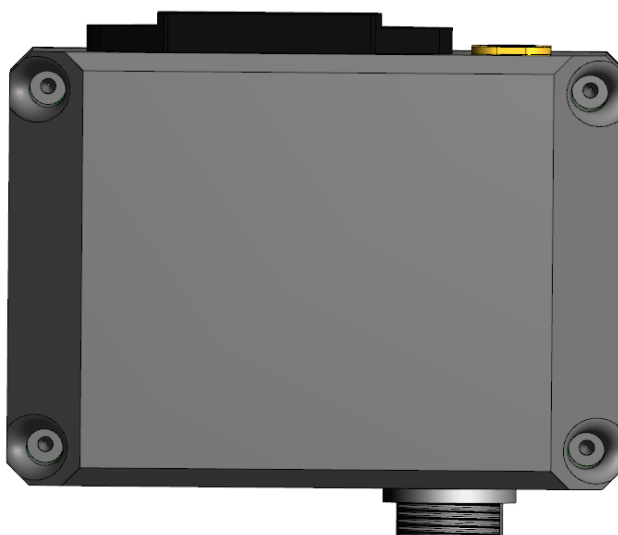


Рисунок 4.3 — Бокова частина корпусу

Скошене розташування монтажних каналів забезпечує більш жорстке закріплення корпусу порівняно з вертикальною або горизонтальною орієнтацією. При такому підході відбувається:

1. часткове притиснення корпусу до монтажної площини (відсутність люфту);
2. зниження крутного моменту, що прикладається до пластикових деталей при закручуванні;
3. стабілізація корпусу у трьох площинах (XY, XZ, YZ), що запобігає обертанню.

Це особливо важливо в системах, які працюють у нестабільних середовищах – наприклад, при встановленні на рухомі платформи, промислові щити або системи з вібрацією (генератори, джерела безперебійного живлення, автоматика з реле).

У розробці корпусу враховано універсальність фіксації, що дозволяє використовувати його в різних типах установок.

Наприклад, може використовуватись гвинтове кріплення до плоскої основи – найбільш традиційний метод монтажу. В корпус вставляється гвинт, який проходить крізь панель або шасі. З протилежного боку застосовується гайка, шайба або різьбове з'єднання у втулці.

Монтажні отвори є вразливою частиною будь-якої пластикової конструкції. Тому їхній діаметр, товщина стінок навколо отворів і орієнтація шарів (у випадку 3D-друку) повинні бути спроектовані з урахуванням:

1. розрахункового навантаження;
2. типу кріплення;
3. механічних властивостей матеріалу (ABS, PETG, PLA+ та ін.).
4. Для 3D-друкування рекомендовано:
5. мінімальна товщина стінки в зоні отвору – 3 мм;

6. інфіл (заповнення) не менше 50%;
7. додаткове армування стінок периметрами (≥ 4 периметри).

Для литих або фрезерованих корпусів ці параметри замінюються застосуванням металічних вставок, що дозволяє багаторазово розбирати корпус без втрати механічної цілісності.

Продумана система кріплення корпусу через монтажні отвори на бокових скошених поверхнях забезпечує універсальність при встановленні в різні середовища, високу надійність та стабільність корпусу під час роботи, зручність сервісного обслуговування (швидке зняття корпусу), сумісність з різними способами монтажу, включно з DIN-рейкою.

Таке конструктивне рішення дозволяє інтегрувати пристрій у широкий спектр систем – від домашньої автоматизації до промислових електрощитів.

5 ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ

5.1 Дистанційне керування

Одним з найперспективніших напрямків розвитку системи інтелектуального керування живленням є впровадження можливості дистанційного керування. Це дозволить не лише підвищити зручність експлуатації, але й значно розширити сферу застосування пристрою у віддалених або важкодоступних об'єктах.

Сучасні тенденції в галузі енергетики та автоматизації побутових і промислових систем вимагають гнучкості, оперативності та автономності. Ситуації, коли необхідно дистанційно відключити живлення в разі аварії, перегріву або навантаження поза межами норми, зустрічаються дедалі частіше. Крім того, підключення до інтернету дозволяє автоматизувати керування з урахуванням часу доби, тарифів на електроенергію, даних від погодних сенсорів або інших зовнішніх систем.

В умовах розбудови систем «розумного дому» або віддалених телеметричних систем, підтримка IoT-технологій (Internet of Things) в електронних пристроях уже стала стандартом[27]. Забезпечення дистанційного доступу до функцій пристрою суттєво підвищує його комерційну привабливість, особливо в умовах конкуренції на ринку автоматизованих пристроїв живлення.

Для реалізації функції дистанційного керування доцільно використовувати бездротові комунікаційні модулі. Найкращим варіантом у співвідношенні «ціна–функціональність» є використання модуля ESP8266 або ESP32, які дозволяють легко інтегрувати пристрій до локальної мережі Wi-Fi або забезпечити віддалене з'єднання через хмарні сервіси. ESP32 має низку переваг: два ядра (паралельна обробка задач), вбудований Bluetooth, підтримка великої кількості входів/виходів, криптографічний прискорювач (покращена безпека з'єднання),

доступна ціна та підтримка в середовищі Arduino. Типовий варіант DevKit ESP32 зображено на рисунку 5.1[28].

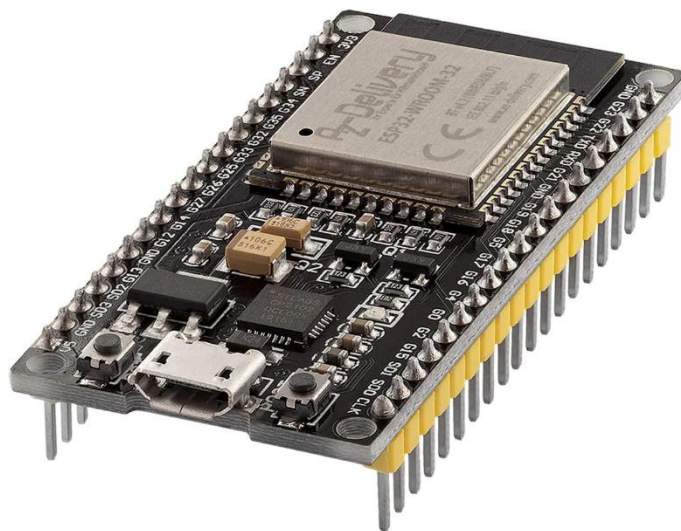


Рисунок 5.1 — ESP32 Dev KitC V2

Для побудови повноцінної системи керування можна реалізувати веб-інтерфейс на основі HTML/CSS/JavaScript, який буде розміщено безпосередньо в пам'яті мікроконтролера. Такий інтерфейс дозволяє керувати пристроєм з будь-якого браузера без встановлення додаткового ПЗ.

Альтернативою є використання мобільного додатку, який взаємодіє з мікроконтролером через MQTT-брокер або HTTP API. Впровадження дистанційного керування передбачає реалізацію таких функцій:

Реалізація дистанційного керування у системі інтелектуального живлення дозволяє значно розширити її функціональні можливості та підвищити рівень зручності для користувача. Завдяки віддаленому доступу стає можливим не лише здійснювати базове увімкнення або вимкнення навантаження, а й повноцінно контролювати стан електромережі, переглядати поточні параметри напруги, аналізувати споживання енергії, встановлювати гнучкі правила автоматичного

реагування на зміну умов. Зокрема, користувач може задати порогові значення напруги, за якими система буде автоматично припиняти живлення або відновлювати його подачу, створювати графіки роботи пристрою відповідно до часу доби чи тарифів, а також отримувати повідомлення про критичні ситуації.

Також дистанційне керування дає змогу зберігати історію подій і телеметрії в базі даних, що полегшує діагностику та контроль стабільності системи в довгостроковій перспективі. Синхронізація з хмарними сервісами відкриває можливість інтеграції пристрою у складніші системи «розумного дому», промислового моніторингу або енергоменеджменту. У разі необхідності, система може взаємодіяти з охоронною сигналізацією, температурними або руховими датчиками, а також виконувати дії у відповідь на сигнали ззовні — наприклад, вимикати живлення при виявленні задимлення або затоплення. Крім того, у поєднанні з голосовими асистентами (Google Assistant, Amazon Alexa) відкривається можливість голосового керування енергоспоживанням у приміщенні.

З огляду на те, що пристрій буде підключений до мережі, питання безпеки є вкрай важливим. Надійний захист від несанкціонованого доступу є обов'язковою умовою. Для цього необхідно впровадити сучасні механізми авторизації, зокрема використання унікальних логінів і паролів або токенів доступу, шифрування з'єднання за допомогою SSL[29]/TLS[30], а також обмеження доступу до вебінтерфейсу або API через IP-фільтрацію чи VPN. Крім того, доцільним є впровадження логування дій користувача, що дозволить швидко виявити спроби злому або некоректної експлуатації. У випадках, коли безпека є критично важливою — наприклад, у промислових чи енергетичних установках — можна передбачити апаратне відключення функції дистанційного керування, наприклад, через перемикач або джампер на платі.

Загалом, впровадження функції дистанційного керування має низку очевидних переваг. По-перше, це зручність для користувача, який більше не залежить від фізичної присутності біля пристрою для виконання керівних дій або діагностики. По-друге, така функціональність значно підвищує гнучкість системи, дозволяючи адаптувати її поведінку до умов конкретного об'єкта, режиму роботи чи зовнішніх обставин. По-третє, дистанційне керування сприяє підвищенню безпеки — у разі аварійної ситуації оператор може оперативно втрутитись і вимкнути живлення, навіть перебуваючи на відстані. Додатково це дає змогу знизити енергоспоживання за рахунок автоматизації, уникнення зайвого навантаження в непотрібні години або в умовах підвищеного тарифу. Зрештою, віддалене керування забезпечує можливість масштабування системи, зокрема при побудові мережі взаємопов'язаних пристроїв або централізованої диспетчеризації.

Отже, дистанційне керування не лише доповнює функціонал системи інтелектуального живлення, а й робить її по-справжньому сучасною, гнучкою та готовою до інтеграції в інфраструктуру Інтернету речей (IoT).

5.2 Модульність для різних конфігурацій

Однією з ключових особливостей сучасних технічних систем є їх здатність до адаптації під конкретні умови застосування. У цьому контексті модульний підхід до побудови електронних пристроїв набуває особливого значення, оскільки забезпечує гнучкість, масштабованість, зручність обслуговування та можливість швидкого оновлення функціоналу без необхідності повної заміни або перепроектування всієї системи. У випадку системи інтелектуального керування живленням модульна архітектура є логічним кроком розвитку, що дозволяє створити універсальну платформу для різних типів навантажень, режимів експлуатації та категорій користувачів.

На поточному етапі розробки основні функціональні блоки пристрою інтегровані в єдину плату: блок керування, вимірювання напруги, комутаційний модуль (реле), блок живлення, інтерфейс зв'язку та індикація. Така архітектура є ефективною для базової версії пристрою, проте при розширенні функціональності або зміні умов використання вона втрачає гнучкість. Модульна реалізація вирішує цю проблему за рахунок логічного та електричного розділення основних вузлів. Кожен модуль виконує чітко визначену функцію, має стандартизований інтерфейс з'єднання (контактні групи, протоколи обміну), а також може бути замінений або оновлений окремо від інших.

Зокрема, система може бути реалізована у вигляді набору окремих функціональних блоків, кожен з яких виконує певну роль. Центральним елементом виступає модуль керування — мікроконтролер або мікрокомп'ютер, який відповідає за основну логіку роботи, обробку сигналів, прийняття рішень та взаємодію з іншими компонентами. В залежності від обчислювальної складності завдань, він може бути побудований на базі таких платформ як ESP32, STM32 або Raspberry Pi.

Живлення системи забезпечується відповідним модулем перетворення напруги, який відповідає за стабілізацію живлення від різних джерел — мережі 220 В, акумулятора, USB або сонячної панелі. Комутація навантаження реалізується окремим модулем, що базується на твердотілих або електромеханічних реле. Його конструкція може варіюватися в залежності від типу навантаження — від простого одноканального реле до багатоканальних конфігурацій для управління кількома лініями живлення.

Окреме місце займає модуль сенсорів, який відповідає за вимірювання електричних і фізичних параметрів: напруги, струму, температури, вологості тощо. Тип і точність сенсорів підбираються відповідно до умов експлуатації. Для забезпечення зв'язку із зовнішніми системами передбачається комунікаційний

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 60
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

модуль, який може підтримувати різні протоколи — Wi-Fi, GSM, LoRa, Ethernet або Zigbee. Його вибір залежить від особливостей середовища, у якому працює пристрій.

Для взаємодії з користувачем застосовується модуль інтерфейсу, який може включати дисплей, кнопки, енкодери, світлодіоди або навіть сенсорну панель. Такий підхід дозволяє реалізувати як найпростіший локальний контроль, так і повноцінний графічний інтерфейс.

Модульність особливо корисна у виробництві серійної техніки, де необхідно підтримувати декілька варіантів конфігурацій для різних категорій споживачів: від побутового використання до промислових потреб. Наприклад, для користувача, якому потрібно лише базове перемикання реле, достатньо одного комутаційного модуля з простим живленням. У той же час, для складної системи резервного живлення з моніторингом і дистанційним керуванням можуть бути додані кілька комутаційних каналів, GSM-модуль, модулі сенсорів та автономне живлення.

Окремо варто відзначити зручність обслуговування у модульній системі. У разі виходу з ладу одного з компонентів, достатньо замінити відповідний модуль, не розбираючи весь пристрій і не перепаяючи складні вузли. Це значно скорочує час на ремонт, мінімізує витрати й дозволяє оперативно відновити працездатність системи.

Ще однією перевагою є зниження вартості розробки нових версій пристрою: повторне використання перевірених модулів дозволяє зосередитись на оновленні лише тих компонентів, які потребують адаптації або модернізації. Крім того, подібний підхід спрощує сертифікацію та виробництво, оскільки частини пристрою можна тестувати та виготовляти окремо.

Таким чином, модульний принцип побудови відкриває шлях до створення широкого спектру продуктів на єдиній технічній базі — від простого блоку

управління для домашнього застосування до повнофункціональної платформи для професійних рішень. У перспективі це дозволяє не лише підвищити ефективність розробки, але й створити цілу екосистему взаємозамінних компонентів.

5.3 Вдосконалення друкованої плати

Успішна робота електронного пристрою залежить не лише від вибору компонентів та логіки функціонування, а й від якості реалізації друкованої плати (ДП), яка є основою всієї апаратної структури. Враховуючи це, одним з важливих напрямів подальшого розвитку системи інтелектуального керування живленням є вдосконалення конструкції ДП з метою підвищення її надійності, енергоефективності, термостійкості та захисту від нестабільних умов експлуатації.

Перш за все, варто звернути увагу на покращення енергетичної стійкості пристрою. На поточному етапі стабілізація живлення цифрових модулів у системі реалізована з використанням лінійного стабілізатора AMS1117, який забезпечує напругу 3.3 В, необхідну для мікроконтролера та периферії. Однак практика показує, що даний стабілізатор є чутливим до імпульсних збурень і нестабільності на вході. Це особливо критично в умовах використання резервного живлення або при різких коливаннях вхідної напруги, коли виникає ризик зворотного струму в стабілізатор або зниження напруги нижче робочого рівня.

Для підвищення надійності в таких умовах доцільно доопрацювати схему живлення шляхом додавання діода Шотткі на вихід стабілізатора AMS1117. Завдяки низькому прямому падінню напруги та швидкому відновленню, діод Шотткі дозволяє запобігти потраплянню зворотного струму до стабілізатора у випадках короткочасного падіння напруги або появи паразитної ЕРС в обмотках

катушок (наприклад, у підключених індуктивних навантаженнях). Це значно підвищує стабільність живлення мікрокомп'ютера, особливо в моменти перемикання джерел або запуску реле. Реалізація модулю AMS1117 з діодом Шотткі зображена на рисунку 5.3.1.

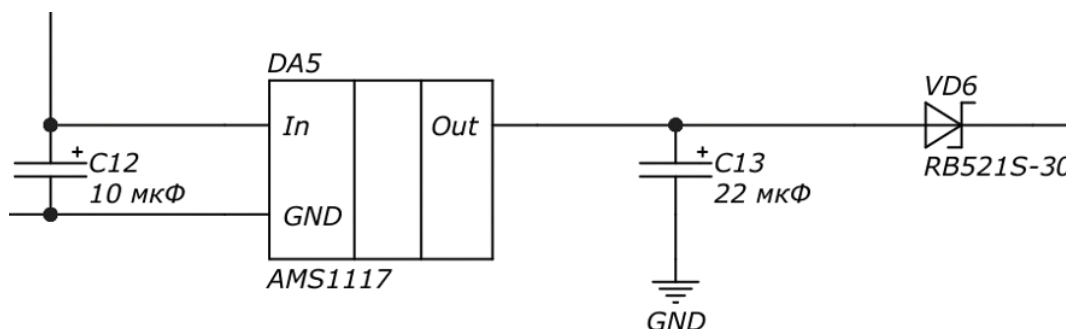


Рисунок 5.2 — Понижуючий модуль AMS1117

Практична реалізація такого рішення передбачає встановлення діода Шотткі (наприклад, SS14 або 1N5819) між виходом стабілізатора AMS1117 та шиною 3.3 В, з анодом на виході стабілізатора і катодом на навантаження. У разі зниження вихідної напруги нижче рівня навантаження, діод блокує зворотний струм. Така проста модифікація суттєво покращує електричну стійкість у нестабільних умовах та продовжує термін служби самого стабілізатора.

Окрім локального вдосконалення вузла живлення, доцільно переглянути й загальну організацію шарів та зон на платі. Зокрема, рекомендовано розділити аналогову та цифрову "землю" із точкою спільного підключення в одному місці. Це мінімізує перешкоди, які можуть виникати через імпульсні струми або перемикання навантажень, і покращить точність вимірювань напруги. Також важливо забезпечити достатню ширину силових доріжок, відповідно до розрахованого струмового навантаження, і прокласти окремі треки живлення з урахуванням розділення високострумових і чутливих ланцюгів.

Ще одним напрямом вдосконалення є використання теплових полігонів під великими компонентами (наприклад, твердотілими реле, стабілізаторами,

діодами) для поліпшеного відведення тепла. Це дозволить знизити температуру у критичних вузлах без потреби в активному охолодженні, що важливо для компактних корпусів без вентиляції.

Також можна передбачити резервні місця під конденсатори фільтрації на основних лініях живлення. У разі роботи в складних умовах або при значному навантаженні, це дозволить швидко додати додаткові фільтруючі елементи без необхідності переробки всієї плати. Такий підхід значно спрощує адаптацію пристрою до нових умов і підвищує його ремонтпридатність.

З урахуванням вищевикладеного, вдосконалення друкованої плати передбачає не лише покращення стабільності живлення через впровадження діода Шотткі в модулі AMS1117, а й комплексну оптимізацію трасування, зонування, теплового захисту та електричної ізоляції. Усі ці заходи сприяють підвищенню надійності системи, зменшенню вразливості до перешкод та підготовці основи для майбутнього масштабування пристрою.

5.4 Монтаж корпусу за допомогою DIN-рейки

Можливий варіант монтажу на DIN-рейку (через адаптер). Завдяки розташуванню отворів, корпус можна закріпити до стандартного адаптера для DIN-рейки (типу TS35)[26]. Це важливо при використанні пристрою у щитовому або модульному виконанні. Приклад рейки яку можна використовувати зображено на рисунку 5.3.

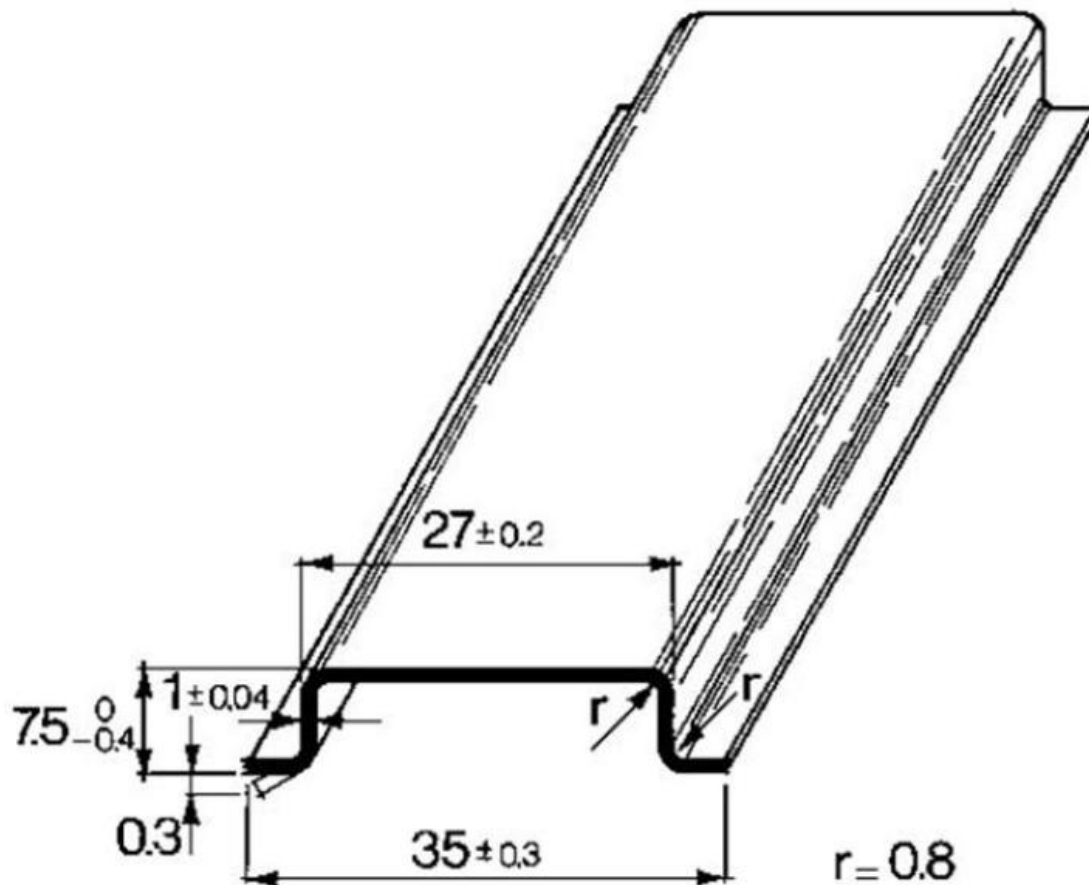


Рисунок 5.3 — Рейка TS35

Однією з альтернатив з'єднання є магнітне з'єднання. Корпус можна фіксувати до металевої або пластикової поверхні за допомогою клею, двосторонньої стрічки або магнітних пластин, однак такий варіант менш надійний і рекомендується лише у випадках, коли недоступне стандартне кріплення.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PE12.468243.001 ПЗ

Лист

65

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту на тему «Система інтелектуального керування живленням» було проведено повний цикл розробки сучасного електронного пристрою, що забезпечує автоматичний контроль та комутацію електроживлення на основі аналізу стану мережі. У роботі охоплено всі етапи — від аналітичного дослідження до технічного проєктування та реалізації інженерного рішення з урахуванням вимог до надійності, безпеки, енергоефективності та масштабованості.

Аналіз існуючих технічних рішень дозволив виявити основні недоліки типових стабілізаторів, реле та сенсорів, що використовуються у побутових і промислових системах керування. З урахуванням виявлених обмежень було сформовано технічні вимоги до майбутнього пристрою, визначено ключові функціональні блоки, а також здійснено обґрунтований вибір апаратних компонентів: мікроконтролера, стабілізаторів напруги, елементів комутації, сенсорів напруги та засобів індикації.

Сконструйована система побудована за модульним принципом, що забезпечує її адаптивність до різних режимів експлуатації. У проєкті розроблено структурну та електричну принципову схеми, виконано розрахунок параметрів друкованої плати, а також створено конструкцію корпусу з урахуванням ергономіки та технологічних вимог до монтажу, вентиляції й електробезпеки.

Суттєвим досягненням у проєкті є впровадження твердотілого реле SSR як основного елементу комутації. Це забезпечує тривалий термін служби, безшумну роботу, стійкість до механічних впливів та високу швидкодію — критично важливі фактори для пристроїв, що працюють у реальному часі. Для моніторингу напруги було використано аналоговий подільник з вбудованим АЦП, що забезпечує прийнятний баланс між вартістю, точністю та швидкодією, водночас дає змогу надалі модернізувати систему шляхом заміни сенсорного модуля.

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 66
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему увагу приділено питанням теплового захисту, зонування плат та резервного живлення. У проєкті реалізовано поділ «земель» для зменшення перешкод, передбачено полігони тепловідведення та додаткові резервні місця для фільтруючих елементів. У схемі живлення реалізовано покращення модуля AMS1117 шляхом встановлення діода Шотткі, що підвищує стабільність і захищає від зворотного струму — це особливо важливо в умовах нестабільного або резервного живлення.

У розділі перспектив розвитку розглянуто можливість інтеграції дистанційного керування на основі ESP32 з реалізацією вебінтерфейсу або мобільного додатку, що дозволяє не лише керувати пристроєм, а й моніторити параметри енергоспоживання у режимі реального часу. Також обґрунтовано ідею модульного розширення системи — для масштабування функціональності, інтеграції з іншими пристроями або адаптації під різні категорії споживачів. Запропонована архітектура дає змогу легко оновлювати окремі частини системи без повного перепроектування.

Підсумовуючи, можна зазначити, що поставлені цілі дипломного проєкту досягнуто повністю. Розроблено працездатний, технічно обґрунтований та перспективний пристрій з можливістю масштабування і подальшого розвитку. Створена система відповідає сучасним вимогам до надійності, безпеки та гнучкості, що відкриває можливості для її подальшого комерційного або промислового впровадження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Реле напруги ZUBR D63t. URL: <https://ds-electronics.com.ua/rele/d63t/> (дата звернення: 05.06.2025).
2. Реле напруги VP-63A M2R. URL: https://digitop.ua/catalog/rele-naprugi/vp63a-m2r/?srsltid=AfmBOoqCkgmwxfSzzxzvgEdDJ5pPNy34WxHP-Lwi_Xp0sG2TbVg1osDH (дата звернення: 05.06.2025).
3. One-Elec. iEM3000 energy meter - 63 A - A9MEM3100. URL: <https://www.one-elec.com/en/iem3000-energy-meter-63-a-a9mem3100.html> (дата звернення: 05.06.2025).
4. Sonoff tech. POWR2 Product Documents. URL: <https://sonoff.tech/product-document/diy-smart-switches-doc/powr2-doc/> (дата звернення: 05.06.2025).
5. Novatek electro. Реле напруги, перекоосу та послідовності фаз RNPP-311M. URL: <https://novatek-electro.com/ua/three-phase-voltage-relay-rnpp-311m/?srsltid=AfmBOoSdCw88xbJH-xLKJ68p9TpU-9PRplx63Y8W2jzGn9YIvyEKtnP> (дата звернення: 05.06.2025).
6. Tyagi M., Khan M. I., Gupta S. A Comprehensive Study of Voltage Swell and Sag in Power Distribution Systems: Characteristics, Causes, Effects, and Mitigation Strategies. URL: https://www.researchgate.net/publication/386599084_A_Comprehensive_Study_of_Voltage_Swell_and_Sag_in_Power_Distribution_Systems_Characteristics_Causes_Effects_and_Mitigation_Strategies (дата звернення: 05.06.2025).
7. Fotek SSR-25DA Datasheet. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Components/General/SSR40DA.pdf> (дата звернення: 22.05.2025).

8. Omron G3MB-202P Technical Manual. URL: <https://www.openhacks.com/uploads/productos/g3mb-ssr-datasheet.pdf> (дата звернення: 22.05.2025).
9. Sharp S202S02 Datasheet. URL: https://www.mouser.com/ds/2/365/s102s02_e-183210.pdf?srltid=AfmBOorK1v7I2qmZPY87ZmlEM43A8YxePCTTrGZhm-ruavzM5sVPvgwR (дата звернення: 22.05.2025).
10. Carlo Gavazzi RM1A23D25 Product Guide. URL: <https://www.gavazzionline.com/pdf/rm1a.pdf> (дата звернення: 22.05.2025).
11. CG ZGT-25DA Technical Specifications. URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/zgt-info-relay.pdf> (дата звернення: 22.05.2025).
12. Подільник напруги – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Подільник_напруги (дата звернення: 05.06.2025).
13. Texas Instruments – Optocoupler Basics. URL: <https://www.ti.com/lit/an/slla284g/slla284g.pdf?ts=1747864617507> (дата звернення: 22.05.2025).
14. INA219 Sensor Datasheet. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf?ts=1747808377387&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата звернення: 22.05.2025).
15. HLW8012 Module Documentation. URL: https://ez.analog.com/cfs-filesystemfile/_key/communityserver-discussions-components-files/138/HLW8012-_2800_1_2900_.pdf?_id=637890008541824619 (дата звернення: 22.05.2025).
16. LM393 Comparator Datasheet. URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/lm393-d-466815.pdf?srltid=AfmBOor0DpXQiPz01MJ0LbvHnFSmT1TvCIMOfnnJy1Gg6btTu3fucX-> (дата звернення: 22.05.2025).

- 17.Стабілізатор LM317T [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.snapeda.com/parts/LM317T/Texas%20Instruments/view-part/?ref=search&t=LM317T>.
- 18.Стабілізатор напруги AMS1117 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.snapeda.com/parts/AMS1117/Advanced%20Monolithic%20Systems/view-part/?ref=search&t=AMS1117>
- 19.Підвищуючий перетворювач XL6009 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.snapeda.com/parts/XL6009/XLSEMI/view-part/?ref=search&t=XL6009>
- 20.PCB Trace Width Calculator [Електронний ресурс] // PCBway – Режим доступу до ресурсу: https://www.pcbway.com/pcb_prototype/trace-width-calculator.html
- 21.IEC 60320 C-14 specification. *Inc. - CORDSETS.* URL:
<https://internationalconfig.com/icc6.asp?item=57011> (дата звернення: 05.06.2025).
- 22.XT60 Connector Specification. *HandsOn Tech.* URL:
<https://www.handsontec.com/dataspecs/connector/XT60.pdf> (дата звернення: 05.06.2025).
- 23.Учасники проєктів Вікімедіа. Тампонний друк – Вікіпедія. *Вікіпедія.* URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Тампонний_друк (дата звернення: 05.06.2025).
- 24.GX16 datasheet. *Sunrom Electronics.* URL:
<https://www.sunrom.com/download/663.pdf> (дата звернення: 05.06.2025).
- 25.Аналогово-цифровий перетворювач ADS1115IDGST [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.snapeda.com/parts/ADS1115IDGST/Texas%20Instruments/view-part/?ref=search&t=ADS1115IDGST>

- 26.Учасники проектів Вікімедіа. Інтернет речей – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтернет_речей (дата звернення: 05.06.2025).
- 27.Az-Delivery.ESP32. URL: <https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard> (дата звернення: 05.06.2025).
- 28.Учасники проектів Вікімедіа. SSL – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SSL> (дата звернення: 05.06.2025).
- 29.Учасники проектів Вікімедіа. Transport Layer Security – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Transport_Layer_Security (дата звернення: 05.06.2025).
- 30.TS 35 Mounting Rail 35x7.5mm. *Klinkmann Store*. URL: <https://store.klinkmann.com/en/product/a-rail-ts35/> (дата звернення: 05.06.2025).

					PE12.468243.001 ПЗ	Лист 71
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ПОГОДЖЕНО

ст.викладач. Адаменко В.О.
(керівник)



ЗАТВЕРДЖЕНО

к.т.н., доцент. Мовчанюк А.В.
(Завідувач кафедри
Прикладної радіоелектроніки)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Система інтелектуального керування живленням

Бондарчук Н.О.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва: «Система розумного енергоспоживання».

Підставою для виконання є виконання дипломного проекту

ВИКОНАВЦІ

Виконавець — студент групи РЕ-12 Бондарчук Назар Олегович

МЕТА ВИКОНАННЯ ДКР І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою є розробка пристрою розумного енергоспоживання для використання під час планових відключень світла та/або оптимізації енергоспоживання.

ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

ПРИЗНАЧЕННЯ

Напруга живлення: 230 В (живлення від мережі) та 12 В (акумулятора). Живлення від акумулятора використовується при відсутності живлення від мережі;

ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ДО ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ І ЧИННИКІВ

Вимоги до кліматичного виконання згідно ГОСТ 15150-69: У-3.1;

Захист від механічних пошкоджень згідно ГОСТ 16019-2001: С1

НАДІЙНОСТІ

Середній строк служби не менше 2 років без заміни джерела живлення. За умови неперервної роботи не менше 500 годин.

КОНСТРУКЦІЇ

Прилад має містити роз'єм female на 230 В змінної напруги, роз'єм DC male для акумулятора та балансиру 12 В, роз'єм для передачі даних I2C(SCL, CDA, Alert, ADDR), роз'єм DC male 5 В живлення для мікрокомп'ютеру.

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 73
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДИЗАЙНУ, ЕРГОНОМІКИ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕСТЕТИКИ

Колір корпусу чорний або білий, можливе використання відтінків чорного або білого кольору. Габарити не регламентуються.

ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЗРУЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ

Забезпечити можливість самостійної заміни елементу живлення

БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЖИТТЯ, ЗДОРОВ'Я І МАЙНА ГРОМАДЯН ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

Керуватися положеннями стандартів про вимоги технічної безпеки, електробезпеки, пожежної безпеки ДБН та ДСТУ(7264:2012).

Утилізація згідно вимог для промислових відходів за ГОСТ 30773-2001:R4.

ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ

Умови транспортування згідно ДСТУ 8281:2015.

Зберігання: складське приміщення з частковим опаленням

ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПКВ

Матеріал плати FR-4 35/35 1,5

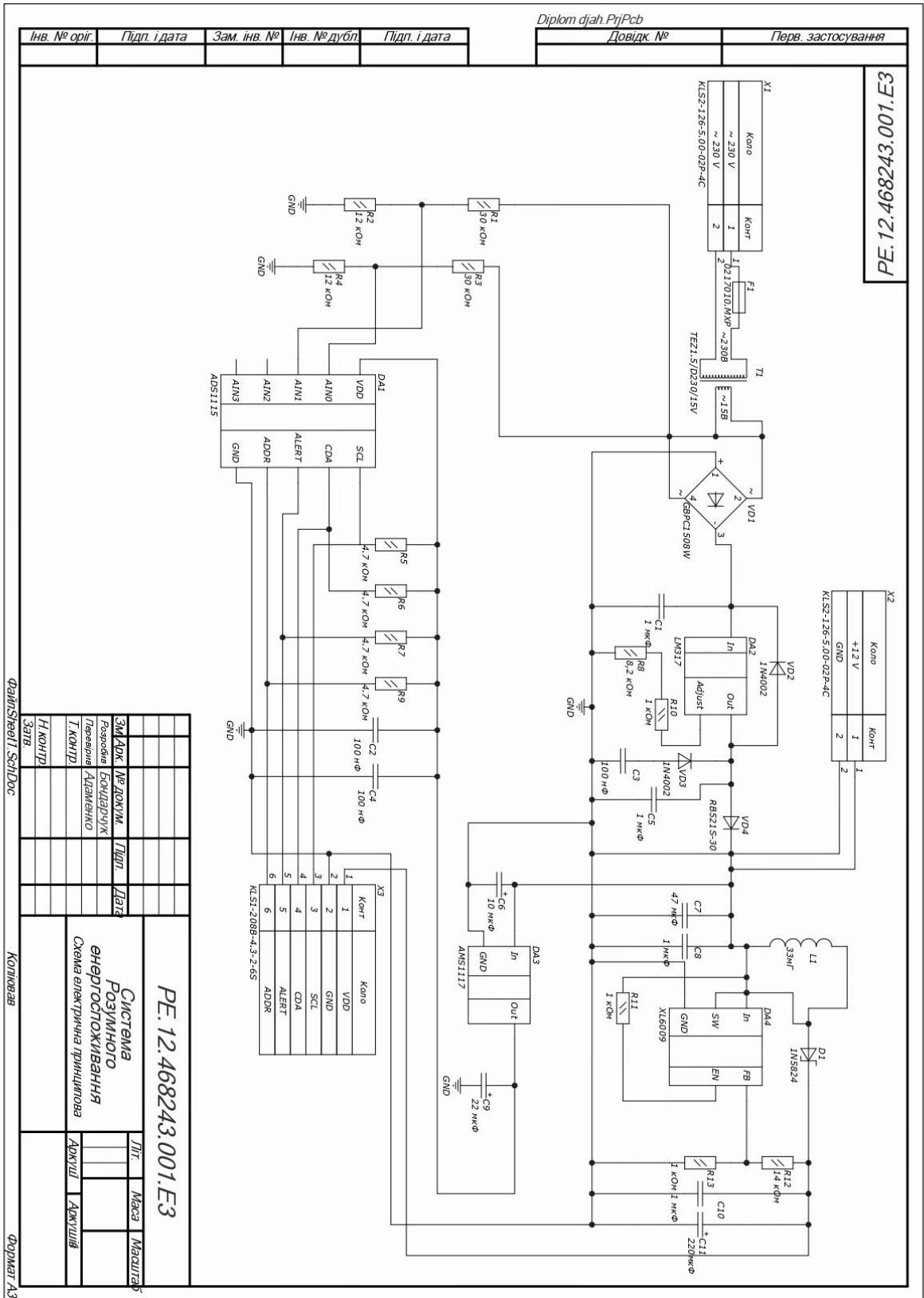
ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Маркування: не передбачено

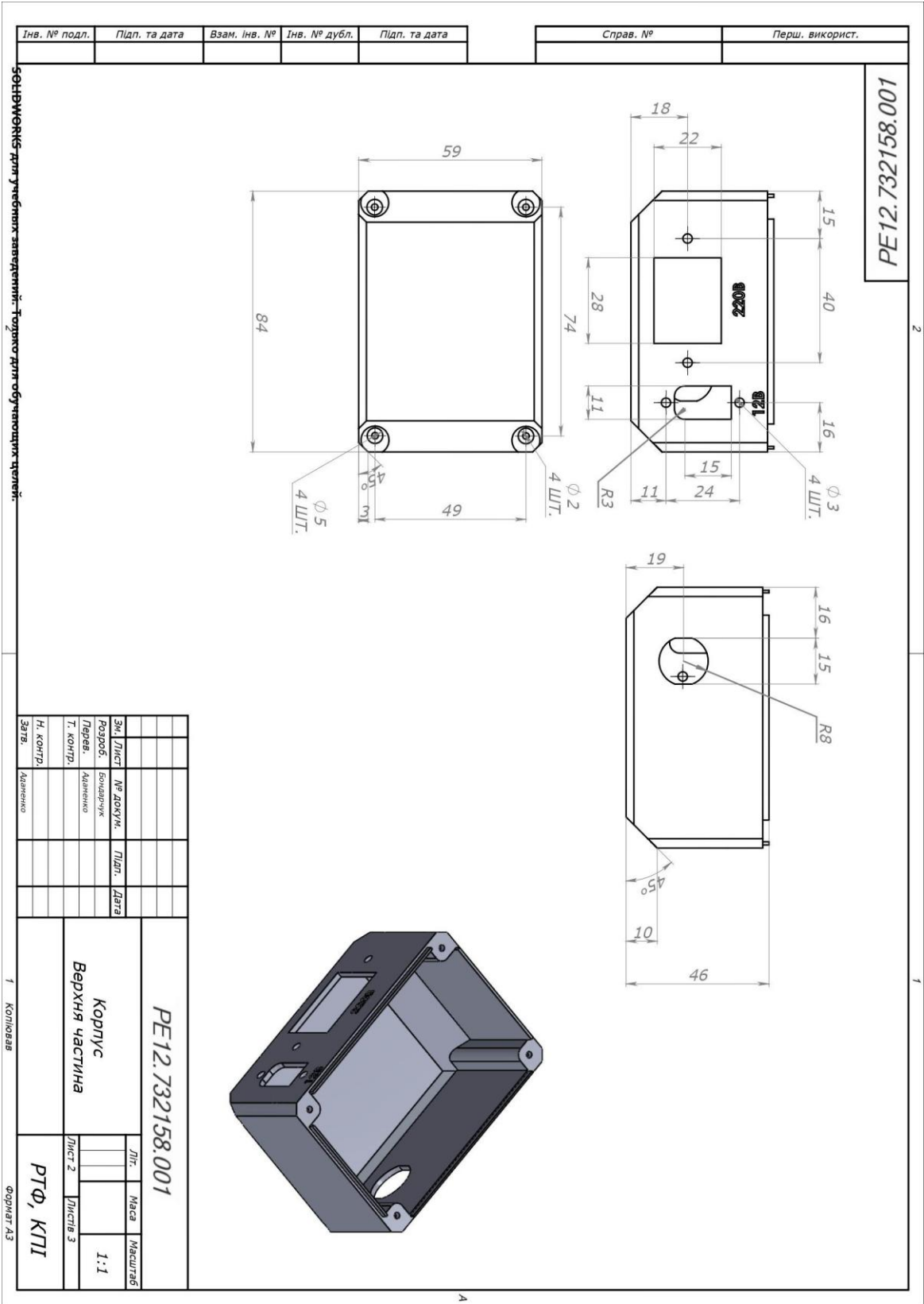
Пакування не передбачено

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 74
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



ДОДАТОК В. КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСУ



PE12.468243.001 ПЗ

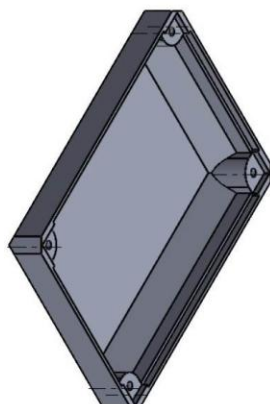
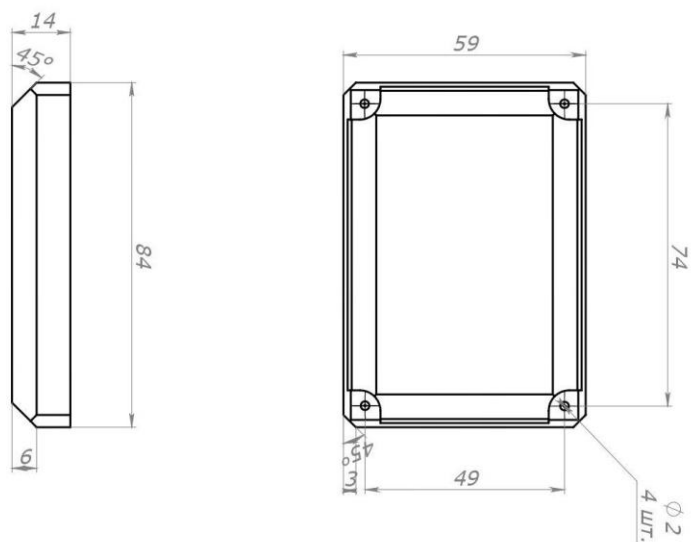
ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

					<i>PE12.468243.001 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>77</i>

Справ. №	Перш. використ.

2

7

[illegible]

1SolidWorks для учебных заведений. Только для обучающихся целей

1 Коніював

Формат А3

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист
						79
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
F1	Запобіжник 0217010.MXP Littelfuse	1	
L1	Котушка індуктивності 33μH 10% 0805 (SMI0805FT330K-Hitano)	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	30 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RP08-30K0-F-Uni-Ohm)	1	
R2	12 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-12K-Hitano)	1	
R3	30 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RP08-30K0-F-Uni-Ohm)	1	
R4	12 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-12K-Hitano)	1	
R5, R6, R7	4,7 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-4K7R-Hitano)	3	
R8	8,2 kOhm 5% 0,125W 150V 0805 (RC0805JR-8K2-Hitano)	1	
R9	1 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-1KR-Hitano)	1	
R10	4,7 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-4K7R-Hitano)	1	
R11	1 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-1KR-Hitano)	1	
R12	14 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-14K-Hitano)	1	
R13	1 kOhm 1% 0,125W 150V 0805 (RC0805FR-1KR-Hitano)	1	
T1	Трансформатор TEZ1.5/D230/15V	1	
РЕ12.421413.00 1 ПЕ			Арк.
			2

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист 80
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

					РЕ12.468243.001 ПЗ	Лист
						81
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		