

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

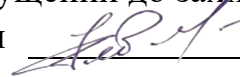
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 16 » червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

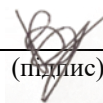
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Система вимірювання параметрів та обліку електричної енергії
для розумного будинку

Виконав: студент

4391 групи

В. Г. Павлов



(підпис)

Керівник роботи:

к.т.н., доцент, доц. каф. ПЕЕТ

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

О. С. Дьяконов



(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Освітня програма	Телекомунікації

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
 О.К.Жук
(підпис)

« 14 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Павлову Владиславу Георгійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система вимірювання параметрів та обліку електричної енергії для розумного будинку

керівник роботи Дьяконов Олексій Сергійович, к.т.н., доцент, доц. каф. ПЕЕТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № УЧ-343 від «23» квітня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: Кількість фаз: підтримка однофазної та трифазної мережі

Тип вимірювання: активна, реактивна та повна потужність; напруга, струм, частота, коефіцієнт потужності

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Призначення та область застосування розроблюваного виробу

2. Технічна характеристика

3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції

4. Розрахунки, підтверджуючі працездатність і надійність конструкції

5. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів 1. Актуальність; 2. Постановка задачі;

3. Огляд існуючих рішень; 4. Структурна схема системи; 5. Вимірювальний блок;

6. Блок трансформаторів струму та атенуаторів напруги; 7. Блок джерел живлення;

8. Мікроконтролерний блок; 9. Блок індикації; 10. Блок гальванічної ізоляції;

11. Модуль графічного LCD індикатора; 12. Друковані плати; 13. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 24 » квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

В. Г. Павлов

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

О. С. ДЬЯКОНОВ

(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська робота складається з вступу, 5 розділів, 1 додатку, переліку використаної літератури з 8 джерел, займає 103 сторінки, містить 33 рисунків.

У даній кваліфікаційній роботі виконується розробка та впровадження системи вимірювання параметрів та обліку електричної енергії для розумного будинку. Основною метою проекту є створення ефективної системи моніторингу енергоспоживання, яка дозволяє оптимізувати витрати електроенергії та забезпечує стабільну роботу електромережі.

У проекті було проведено аналіз існуючих методів моніторингу електроенергії, визначено основні вимоги до системи та обрано оптимальні технічні рішення для їх реалізації. Система складається з таких основних компонентів:

- Модуль збору даних на базі ESP32 та АТМ90Е32, який відповідає за точний вимір параметрів електроенергії, включаючи напругу, струм, потужність та коефіцієнт потужності.

- Центральний сервер обробки даних, що акумулює інформацію з усіх модулів, аналізує її та надає зручний інтерфейс для візуалізації через платформу Home Assistant.

- Система попередження, яка оперативно сповіщає користувача про виявлені аномалії у роботі електромережі через різні канали комунікації (SMS, email, push-повідомлення).

Система розроблена з урахуванням вимог високої точності вимірювань ($\pm 1\%$), надійності та масштабованості. Використання сучасних IoT-технологій та алгоритмів обробки даних дозволяє забезпечити ефективний контроль енергоспоживання.

Проведені експерименти та тестування показали високу ефективність запропонованої системи, її здатність точно фіксувати параметри електроенергії та оперативно сповіщати про критичні відхилення. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання та запобігати аварійним ситуаціям.

Таким чином, розроблена система вимірювання параметрів та обліку електричної енергії є ефективним інструментом для розумного будинку, що забезпечує економію енергоресурсів та підвищення надійності електромережі.

Ключові слова: розумний будинок, IoT, ESP32, ATM90E32, енергомоніторинг, Home Assistant, MQTT.

Abstract

The bachelor's thesis consists of an introduction, 5 chapters, 1 appendix, a list of references with 4 sources, spans 83 pages, and includes 13 figures.

This qualification work focuses on the development and implementation of a system for measuring parameters and accounting for electrical energy in a smart home. The main goal of the project is to create an efficient energy consumption monitoring system that allows for energy cost optimization and ensures the stable operation of the power grid.

The project includes an analysis of existing methods of electricity monitoring, identification of the main system requirements, and the selection of optimal technical solutions for their implementation. The system consists of the following main components:

A data collection module based on the ESP32 and ATM90E32, responsible for accurate measurement of electrical parameters including voltage, current, power, and power factor.

A central data processing server that gathers information from all modules, analyzes it, and provides a user-friendly interface for visualization through the Home Assistant platform.

A warning system that promptly notifies the user of any detected anomalies in the power grid operation via various communication channels (SMS, email, push notifications).

The system is designed with a focus on high measurement accuracy ($\pm 1\%$), reliability, and scalability. The use of modern IoT technologies and data processing algorithms ensures effective control over energy consumption.

The conducted experiments and tests have demonstrated the high efficiency of the proposed system, its ability to accurately record electrical parameters, and promptly alert users about critical deviations. This enables energy consumption optimization and helps prevent emergency situations.

Thus, the developed system for measuring parameters and accounting for electrical energy is an effective tool for smart homes, ensuring energy resource savings and increased power grid reliability.

Keywords: smart home, IoT, ESP32, ATM90E32, energy monitoring, Home Assistant, MQTT.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	7
Вступ.....	8
Розділ 1. Призначення та область застосування розроблюваного виробу	10
Розділ 2. Технічна характеристика	13
Розділ 3. Опис та обґрунтування вибраної конструкції	16
3.1. Огляд існуючих пристроїв	16
3.2. Структурна схема пристрою.....	21
3.3. Принципові схеми.....	23
3.4. Друковані плати	40
Розділ 4. Розрахунки, підтверджуючі працездатність і надійність конструкції	52
4.1. Розрахунок елементів схеми.....	52
4.2. Перевірка програмного забезпечення.....	54
Розділ 5. Охорона праці	85
5.1. Вступ до розділу «Охорона праці»	85
5.2. Аналіз небезпечних факторів, впливаючих на оператора системи при експлуатації.....	86
5.3. Розрахунок системи штучного освітлення в приміщенні	95
5.4. Розробка заходів для забезпечення електричної безпеки в лабораторії.....	99
Висновки	103
Список використаних джерел	105
Додаток А.....	106
Програмне забезпечення ESPHome	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Wi-Fi – Wireless Fidelity;

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport;

IoT – Internet of Things;

UPS – Uninterruptible Power Supply.

ДБЖ – джерело безперебійного живлення;

HTTP – Hypertext Transfer Protocol;

LCD – Liquid Crystal Display;

AC – Alternating Current;

DC – Direct Current;

SPI – Serial Peripheral Interface;

I2C – Inter-Integrated Circuit;

USB – Universal Serial Bus;

RS-232 – Recommended Standard 232;

MAC – Media Access Control;

MCU – Microcontroller Unit;

SDK – Software Development Kit.

					172.4391.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі питання енергоефективності та раціонального використання ресурсів набувають дедалі більшої актуальності. З розвитком технологій "Інтернету речей" (IoT) та зростанням популярності концепції "розумного будинку", інтеграція систем моніторингу та обліку електроенергії в побутові й комерційні об'єкти стає важливим напрямом автоматизації.

Однією з ключових задач у побудові енергоефективного середовища є точне вимірювання параметрів електричної мережі — таких як напруга, струм, частота, активна та реактивна потужність, коефіцієнт потужності тощо. Це дозволяє не лише вести облік споживання електроенергії, але й своєчасно виявляти відхилення, перевантаження чи потенційно небезпечні стани.

У цьому дипломному проєкті розглянуто розробку системи вимірювання параметрів та обліку електричної енергії, призначеної для використання в розумному будинку. Основу апаратної частини становлять мікроконтролер ESP32 та енергообліковий чип АТМ90Е32. Мікроконтролер ESP32 забезпечує високопродуктивну обробку даних та бездротовий зв'язок через Wi-Fi або Bluetooth, що дозволяє інтегрувати систему в домашню мережу або хмарну інфраструктуру. Чип АТМ90Е32, у свою чергу, забезпечує точне вимірювання електричних параметрів у багатофазній системі.

Проєкт передбачає створення як апаратної, так і програмної частини системи, включаючи інтерфейс користувача для візуалізації даних у реальному часі. Така система може стати основою для побудови енергозберігаючих стратегій, автоматичного керування навантаженнями або систем оповіщення у випадку аварійних ситуацій.

Таким чином, актуальність теми зумовлена потребою у доступних, точних та інтегрованих рішеннях для контролю енергоспоживання в умовах інтелектуального середовища проживання.

					172.4391.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		8

					172.4391.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Павлов В. Г.			Призначення та область застосування розроблюваного виробу	Літ.	Арк.	Аркушів
Консультант								9
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОГО ВИРОБУ

Система вимірювання параметрів та обліку електричної енергії призначена для моніторингу споживання електроенергії, а також контролю основних електричних параметрів (напруга, струм, потужність, коефіцієнт потужності тощо) в умовах розумного будинку. В основі системи лежать мікросхема енергомоніторингу ATM90E32 та мікроконтролер ESP32 WROOM, які забезпечують високу точність вимірювань, бездротову передачу даних та інтеграцію з іншими компонентами розумного будинку.

Основне призначення системи полягає в забезпеченні:

- Точного вимірювання споживаної електроенергії в режимі реального часу;
 - Контролю електричних параметрів у трифазних або однофазних мережах;
 - Передачі даних до центрального контролера або хмари через Wi-Fi;
 - Створення аналітики споживання для оптимізації енергетичних витрат;
 - Забезпечення автоматизації та управління навантаженням в залежності від енергетичних показників.
- Область застосування системи охоплює:
- Інтелектуальні (розумні) будинки – для моніторингу та оптимізації енергоспоживання;
 - Малі комерційні об'єкти та офіси – для обліку електроенергії та енергоефективності;
 - Промислові об'єкти – як частина більших систем енергомоніторингу;
 - Навчальні лабораторії та наукові проєкти – для досліджень у галузі енергетики та IoT;

					172.4391.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

– Системи резервного живлення (UPS, генератори) – для контролю навантаження та стану мережі.

Система є гнучкою, масштабованою та здатна інтегруватися з іншими IoT-рішеннями завдяки використанню ESP32 з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth.

					172.4391.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					172.4391.КР.ПЗ.Р2				
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розробник		Павлов В. Г.			Технічна характеристика	Літ.	Арк.	Аркушів	
Консультант								12	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова			
Керівник		Дьяконов О. С.							
Зав. каф.		Рябенський В. М.							

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

1. Загальні характеристики системи:

- Тип системи: електронний лічильник енергії з бездротовою передачею даних
- Кількість фаз: підтримка однофазної та трифазної мережі
- Тип вимірювання: активна, реактивна та повна потужність; напруга, струм, частота, коефіцієнт потужності

2. Вимірювальний модуль (ATM90E32):

- Точність вимірювання:

Напруга: $\pm 0.5\%$

Струм: $\pm 0.5\%$

Активна енергія: клас точності 0.1 або 0.5 (залежно від калібрування)

- Діапазон вхідних напруг: 0–500 В (через дільник або трансформатор)
- Діапазон вимірюваного струму: залежить від типу трансформаторів струму (наприклад, до 100 А)

- Вимірювані параметри:

Активна/реактивна/повна енергія (за фазами та сумарно)

RMS-значення струму та напруги

Потужність (P, Q, S), коефіцієнт потужності (PF)

Частота мережі

- Інтерфейс зв'язку: SPI (до 4 МГц)

3. Мікроконтролер (ESP32 WROOM):

- Процесор: 32-бітний двоядерний Tensilica LX6 @ до 240 МГц
- Оперативна пам'ять (RAM): до 520 КБ
- Флеш-пам'ять: 4 МБ (залежно від модуля)
- Інтерфейси: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2 BR/EDR + BLE
- GPIO: до 34 доступних входів/виходів
- Живлення: 3.0–3.6 В DC

					172.4391.KP.ПЗ.P2	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– Споживання енергії:

Режим активної роботи: ~160 мА при Wi-Fi

Режим сну (deep sleep): ~10 μ А

4. Інші характеристики:

– Живлення системи: 5 В або 3.3 В (через стабілізатор)

– Передача даних: MQTT, HTTP, WebSocket (через Wi-Fi)

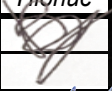
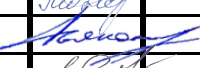
– Підтримка OTA (оновлення по повітрю): так

– Можливість інтеграції з системами: Home Assistant, Node-RED, Blynk, Grafana, інші IoT-платформи

– Габарити плати (орієнтовно): 60 мм $\times$ 45 мм (залежить від компоновки)

– Монтаж: в корпус або DIN-рейку (опційно)

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Павлов В. Г.			Опис та обґрунтування вибраної конструкції	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант								15
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Огляд існуючих пристроїв

IPEM ESP32 ATM90E32 ATM90E36 IoT Power Energy Monitor SDK.

IPEM — це трифазний (або однофазний, розділений, 3 + 1 фаза) високопродуктивний пристрій для моніторингу споживання електроенергії. Оснащений ESP32, ATM90E32 або ATM90E36.

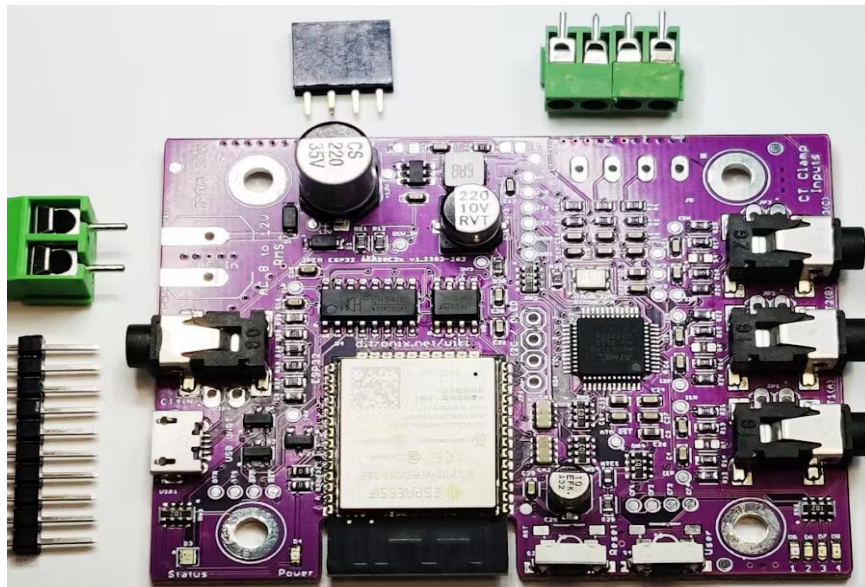


Рисунок 3.1 – Проєкт GTEM

У продовження проєкту GTEM на базі ATM90E26, зацікавленість та відгуки були обнадійливими. Дизайн плати GTEM працює дуже добре і отримав позитивні оцінки. Однак із використанням кількох інверторів наступним викликом стало збільшення кількості вхідних каналів.

Було розроблено вдосконалений проєкт плати під назвою IPEM, що базується на ESP32 у поєднанні з ATM90E32 (або ATM90E36). Це пристрій для моніторингу енергії, розрахований на пряме підключення до трифазної мережі, 3 однофазних ліній або розділеної фази (для США). Це вдосконалені високопродуктивні пристрої енергомоніторингу. Вони забезпечують повний

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

контроль струмів та напруг для кожної фази — з повною можливістю налаштування користувачем.

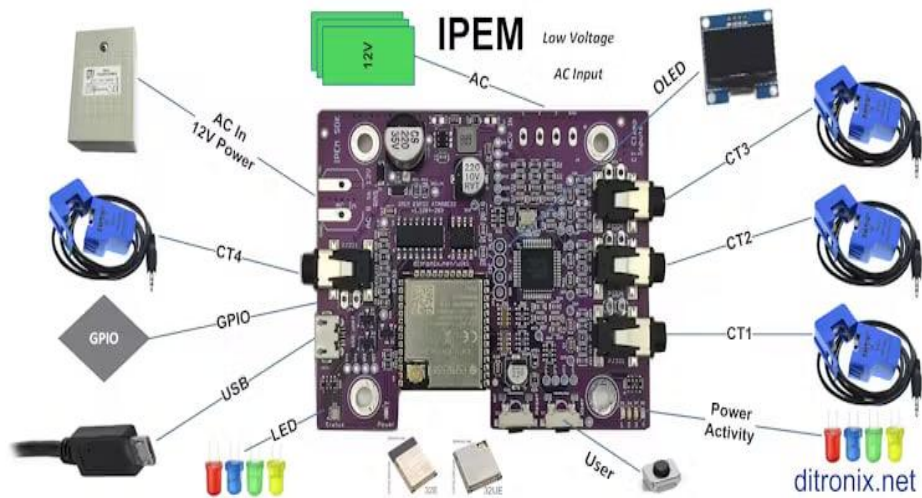


Рисунок 3.2 – Огляд ІРЕМ

Зі збільшеною кількістю входів для датчиків струму та змінної напруги, а також з високим динамічним діапазоном, нова плата **ІРЕМ** є чудовим доповненням до проєктів моніторингу енергоспоживання.

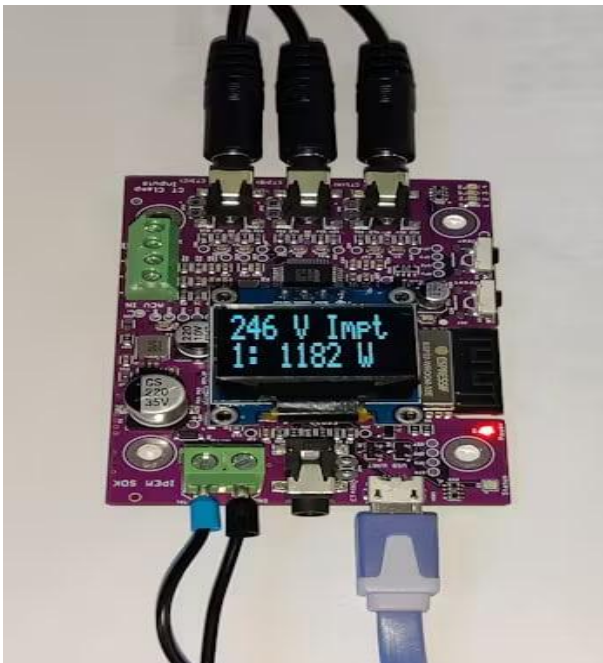


Рисунок 3.3 – ІРЕМ: Відображення змінної напруги та потужності

У відповідності до моїх інших проєктів на базі МК (мікроконтролерів), я надаю перевагу підходу «повної» плати, де ESP32 WROOM інтегрований безпосередньо на платі разом із EEPROM для зберігання параметрів і журналювання, а також з CH340 USB-UART, що забезпечує сумісність з Wemos D1 Mini для прошивки, журналювання та налагодження.

Огляд плати.

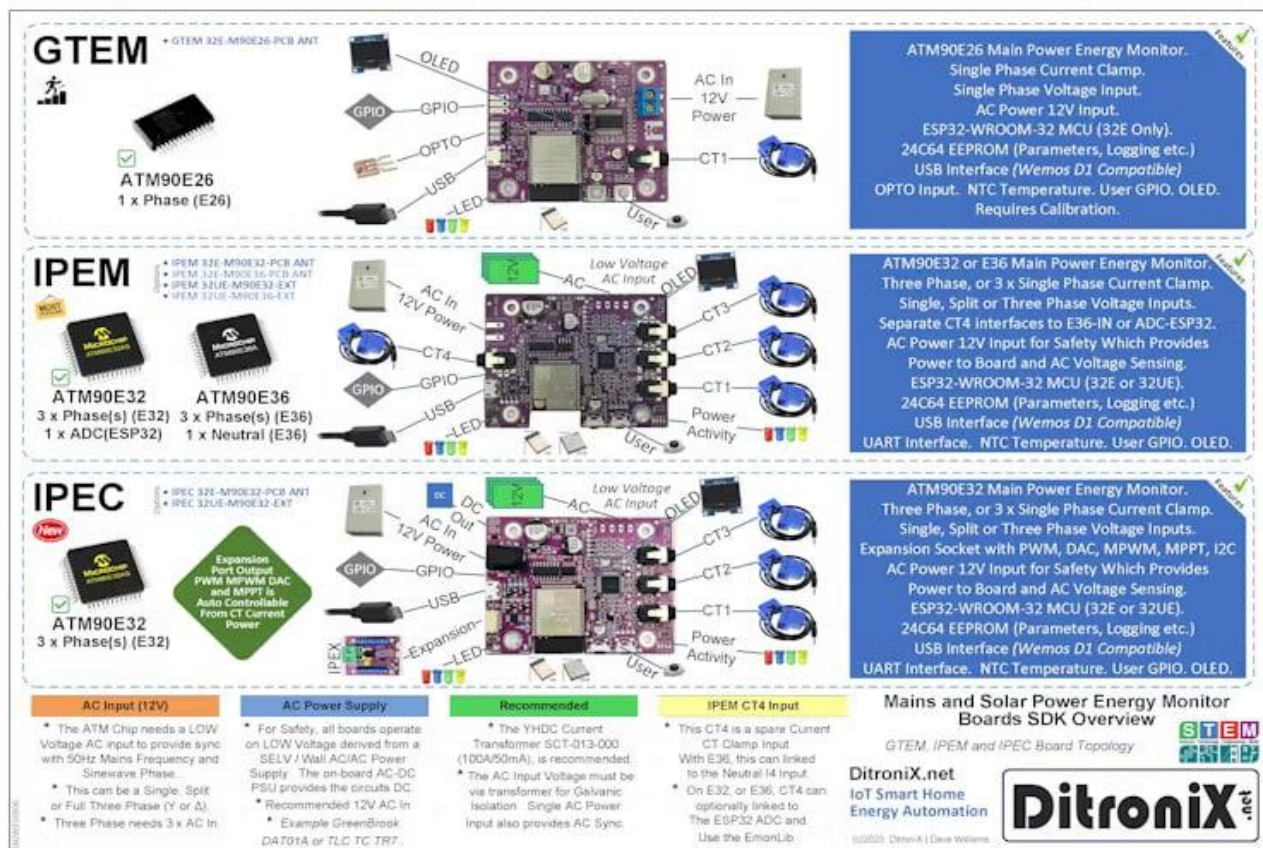


Рисунок 3.4 – Огляд SDK для плат моніторингу електроенергії DetroniX.net

Веб-пуш ОТА (Over-The-Air)

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18



Рисунок 3.5 - Домашня сторінка IPEM Push OTA

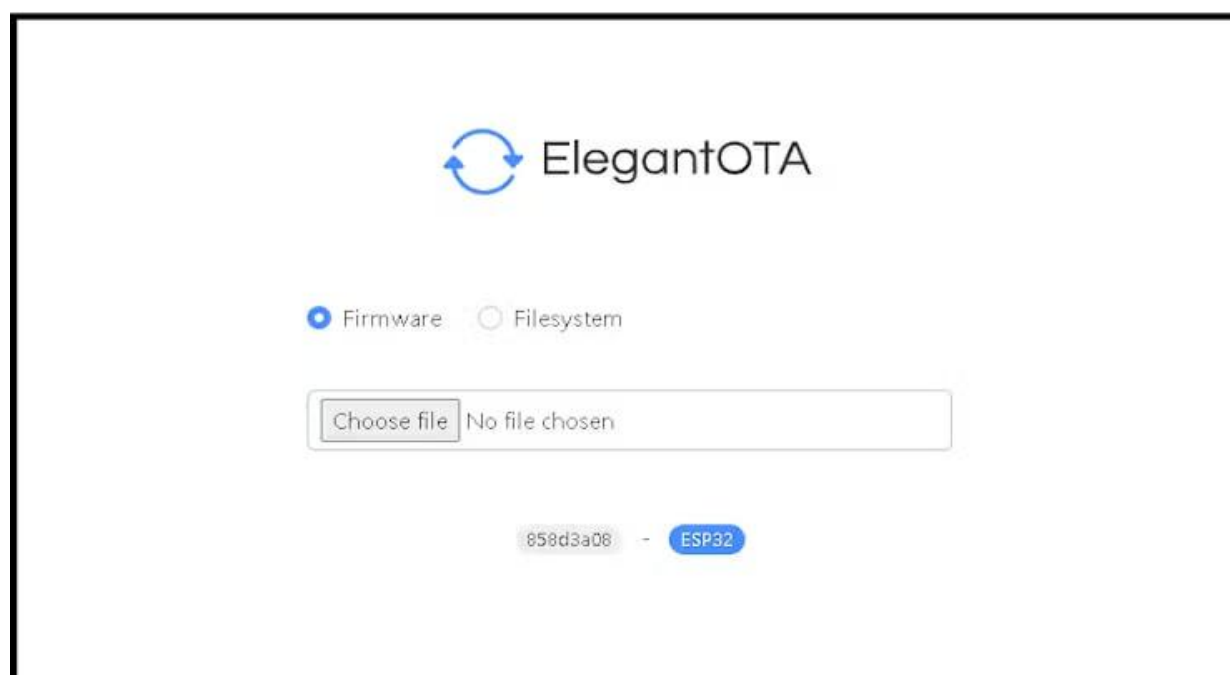


Рисунок 3.6 - Сторінка веб-завантаження

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Приклад виведення даних у реальному часі на ThingSpeak:

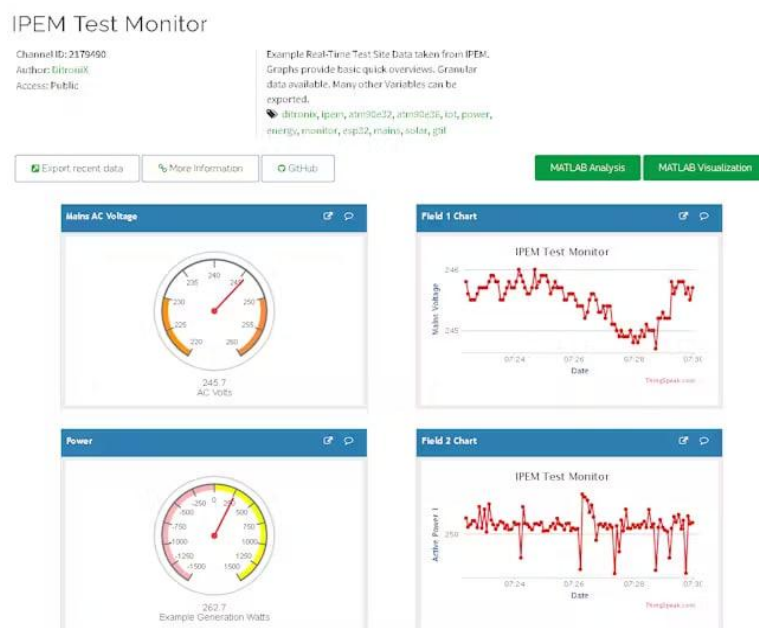


Рисунок 3.7 - Приклад відображення IPEM ThingSpeak у реальному часі

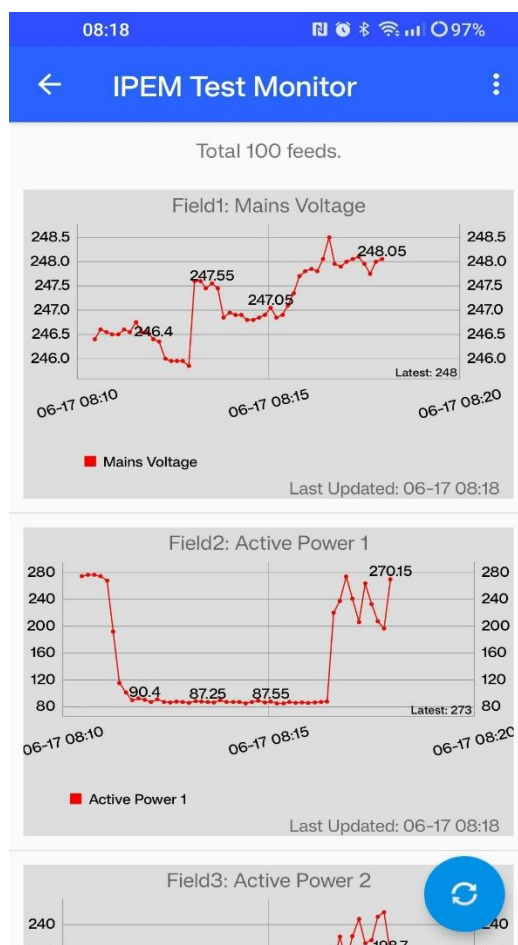


Рисунок 3.8 - IPEM ThingSpeak — приклад застосунку ThingChart

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

3.2. Структурна схема пристрою

Структурна схема пристрою охоплює основні функціональні блоки, кожен з яких виконує певну задачу: вимірювання, обробка, ізоляція, керування індикацією та живлення. Нижче подано опис ключових складових та взаємозв'язків між ними.

1. Вимірювальний блок (ATM90E32)

Цей блок відповідає за зчитування параметрів електричної енергії з мережі. До входів ATM90E32 підключаються:

Трансформатори струму (СТ) — для вимірювання струму в кожній фазі.

Дільники напруги — для зниження мережевої напруги до рівня, придатного для аналого-цифрового перетворення.

Мікросхема виконує перетворення аналогових сигналів у цифрові, проводить обчислення RMS-значень, потужності та енергії, і передає результати через інтерфейс SPI до контролера.

2. Модуль цифрової гальванічної розв'язки (ADuM1401)

Для безпечного з'єднання вимірювального блоку з мікроконтролером використовується цифровий ізолятор ADuM1401. Він забезпечує:

гальванічну розв'язку інтерфейсу SPI між ATM90E32 та ESP32,

захист низьковольтної логіки від потенційно небезпечних перенапруг.

Цей блок розташовується між SPI-виходами ATM90E32 і входами ESP32.

3. Мікроконтролерний блок (ESP32-WROOM)

ESP32 виконує центральні функції управління системою:

зчитує дані з ATM90E32 через SPI (через ADuM1401),

обробляє та фільтрує отримані параметри,

формує графічний інтерфейс для відображення на дисплеї,

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

(опціонально) передає дані по Wi-Fi або Bluetooth для дистанційного моніторингу.

Мікроконтролер також може зберігати дані в енергонезалежній пам'яті або передавати їх у хмару.

4. Блок індикації (LCD-дисплей RDT06569-IE)

LCD-дисплей використовується для виведення вимірних значень у зручному для користувача вигляді. Він підключений до ESP32 і відображає:

миттєві значення напруги, струму, потужності,
накопичене споживання енергії,
діаграми або статусні повідомлення.

Дисплей підтримує SPI або паралельний інтерфейс та керується за допомогою графічної бібліотеки.

5. Блок живлення

Для живлення різних частин пристрою використовуються стабілізовані джерела:

джерело 3.3 В — для ESP32 та LCD,

джерело 5 В — за потреби для дисплея або ADuM1401,

ізольоване джерело живлення — для високовольної частини АТМ90Е32.

Загальний принцип роботи:

1. Електричні сигнали з мережі потрапляють до АТМ90Е32, де оцифровуються й аналізуються.

2. Дані передаються через ADuM1401 до ESP32, що забезпечує безпечну ізоляцію.

3. ESP32 обробляє отриману інформацію, формує інтерфейс та передає його на LCD-дисплей.

4. (За потреби) дані можуть передаватися на зовнішні пристрої по Wi-Fi/Bluetooth.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

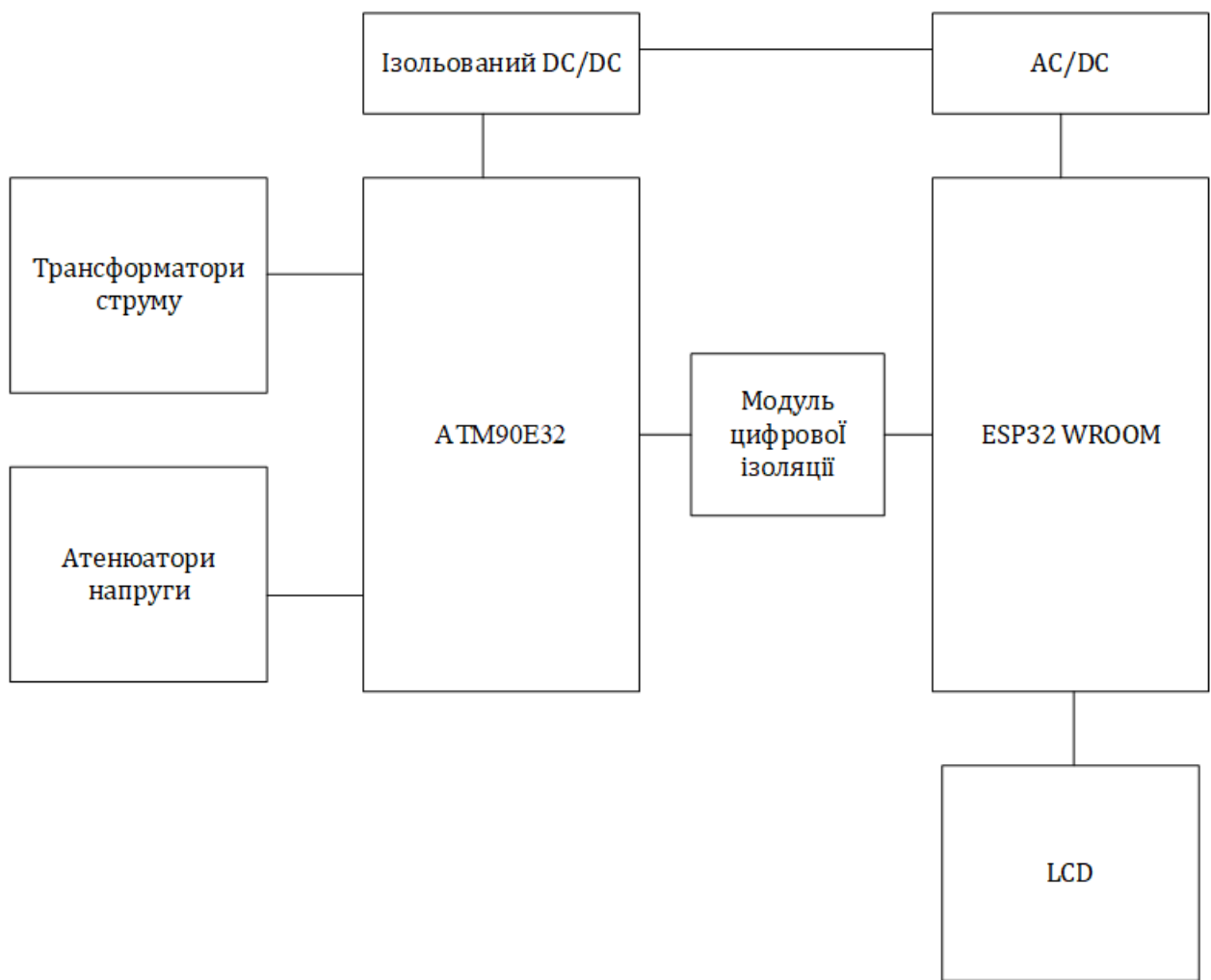


Рисунок 3.9 – Структурна схема

3.3. Принципові схеми

3.3.1. Вимірювальний блок

Опис вимірювального блоку на основі АТМ90Е32

Вимірювальний блок виконує ключову функцію в електронному пристрої — точне вимірювання параметрів електричної енергії. У даному проєкті реалізація вимірювального модуля базується на високоточній енергометричній мікросхемі АТМ90Е32 від компанії Microchip.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		23

Основне призначення:

АТМ90Е32 є спеціалізованою мікросхемою класу енергометра з апаратною цифровою обробкою сигналів (DSP), яка дозволяє вимірювати основні параметри електричної мережі: напругу, струм, активну, реактивну та повну потужність, частоту, енергію тощо.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики АТМ90Е32

Параметр	Значення
Канали вимірювання	3 напруги + 3 струми (трифазна)
Тип вимірювань	RMS U/I, потужності, енергія
Точність	до 0.1%
Вбудований DSP	Так (апаратна обробка сигналів)
Інтерфейси	SPI (4-провідний), UART (опція)
Напруга живлення	3.3 В
Частота вибірки АЦП	4 кГц на канал (типово)
Роздільна здатність АЦП	16 біт
Ізоляція	Потрібна зовнішня (через ADuM)

Принцип роботи мікросхеми:

АТМ90Е32 підключається до електромережі через входні дільники напруги та трансформатори струму (СТ). Ці сигнали аналогово фільтруються та подаються на вбудовані 16-бітні АЦП. Після оцифрування, у внутрішньому DSP-блоці виконується обчислення:

- миттєвих значень напруги/струму,
- активної, реактивної та повної потужності,
- фазових зсувів та $\cos\phi$,
- коефіцієнта спотворення форми сигналу (THD),
- накопиченої енергії за певний період.

Результати доступні в реєстровій карті мікросхеми та можуть бути зчитані по SPI мікроконтролером (у цьому проєкті — ESP32).

Застосування у пристрої:

У запропонованій реалізації ATM90E32 виконує вимірювання трифазної мережі, однак її можна використовувати і в однофазному режимі.

Підключення реалізується наступним чином:

- Струмові входи IAP, IBP, ICP — через трансформатори струму (СТ).
- Напругові входи VAP, VBP, VCP — через дільники напруги.
- Комунікація — через SPI-інтерфейс з ізоляцією ADuM1401 для безпеки.
- Живлення — окреме ізольоване джерело (B0303S-1WR3).
- Переваги ATM90E32:
 - Висока точність вимірювань у промисловому діапазоні,
 - Підтримка повного енергетичного обліку (в тому числі енергії в двох напрямках),
 - Низьке енергоспоживання,
 - Простота інтеграції через SPI та гнучке налаштування (реєстри калібрування),
 - Вбудовані механізми виявлення помилок (наприклад, обрив фази, перевантаження).

ATM90E32 є ефективним та надійним рішенням для побудови точного енергометричного пристрою. Вона дозволяє реалізувати широкий спектр функцій контролю якості електроенергії з мінімальними апаратними затратами. У поєднанні з ESP32, вона утворює потужну платформу для інтелектуального моніторингу енергоспоживання, що може застосовуватись як в побуті, так і в промисловості.

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

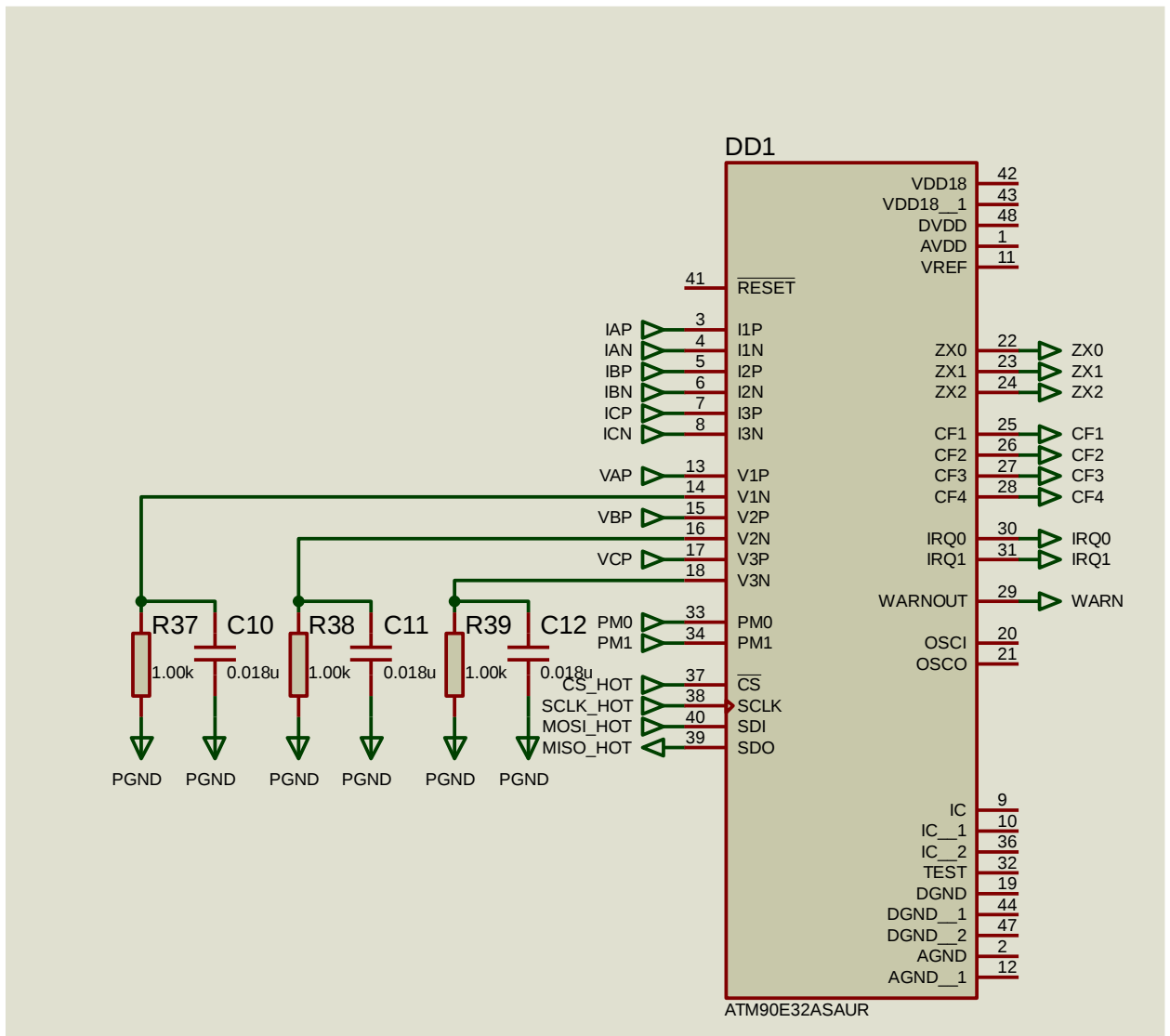


Рисунок 3.10 – Вимірювальний блок

3.3.2. Блок трансформаторів струму

У пристрої вимірювання параметрів електричної енергії трансформатори струму (СТ) виконують важливу функцію — забезпечують безпечне та точне вимірювання струму в силовому електричному колі. Оскільки пряме підключення вимірювальної мікросхеми до провідників, через які протікає великий струм, є небезпечним і технічно неможливим, застосування трансформаторів струму є стандартним і ефективним рішенням.

Принцип дії трансформатора струму

Трансформатор струму — це пристрій, який працює за принципом електромагнітної індукції. Він складається з первинної обмотки (яка зазвичай є провідником мережі або його частиною) і вторинної обмотки з великою кількістю витків.

Коли змінний струм протікає через первинну обмотку, він створює змінне магнітне поле, яке індукує напругу у вторинній обмотці. Ця вторинна напруга (або струм) пропорційна струму в первинному колі, але значно знижена до безпечного рівня.

Роль трансформатора струму в системі

У пристрої на базі мікросхеми АТМ90Е32 трансформатори струму виконують такі функції:

Зниження рівня струму до значення, придатного для аналого-цифрового перетворення у вимірювальній мікросхемі.

Гальванічна ізоляція між високовольтною силовою частиною та низьковольтною електронікою.

Збереження точності вимірювання навіть при зміні навантаження.

Вторинна обмотка СТ з'єднується через резистор навантаження (shunt resistor) із входом мікросхеми АТМ90Е32. Струм, який протікає через цей резистор, створює падіння напруги, яке аналізується вбудованим АЦП мікросхеми.

Вимоги до вибору та підключення трансформатора струму

Клас точності трансформатора повинен відповідати вимогам до похибки вимірювань (зазвичай 0.5 або 1.0 клас).

Діапазон вимірюваного струму має відповідати передбаченому робочому навантаженню.

Правильна полярність підключення важлива для забезпечення коректного напрямку потужності.

Наявність навантажувального резистора на вторинній обмотці необхідна для перетворення струму в напругу та стабільної роботи трансформатора.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, трансформатори струму є критично важливими компонентами пристрою, що забезпечують точне, безпечне та ізольоване вимірювання струму в електромережі. Їх правильний вибір і підключення безпосередньо впливають на точність і надійність усього вимірювального комплексу.

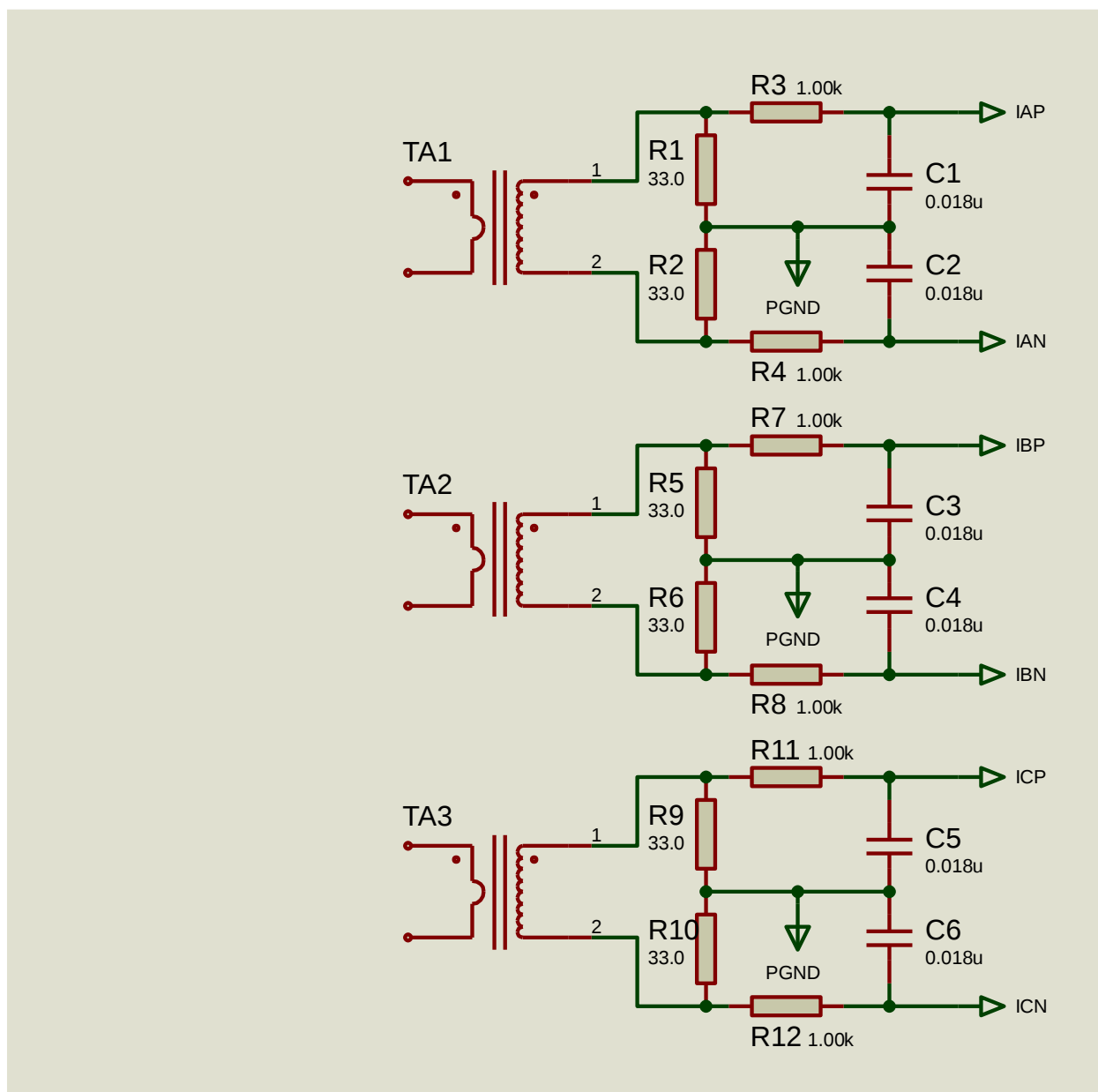


Рисунок 3.11 – Блок трансформаторів струму

3.3.3. Блок атенюаторів напруги.

Для вимірювання мережевої напруги у пристрої використовуються вхідні дільники напруги, які виконують функцію зниження високої змінної напруги (наприклад, 230 В або 400 В) до рівня, безпечного та допустимого для аналого-цифрового перетворювача вимірювальної мікросхеми АТМ90Е32.

Призначення дільника напруги

Дільник напруги — це електричне коло, зазвичай побудоване на двох або більше резисторах, яке дозволяє отримати пропорційно знижену напругу відносно вхідної. У контексті пристрою дільник виконує кілька важливих функцій:

Зниження змінної мережевої напруги до рівня, сумісного з вхідним діапазоном вимірювального входу АТМ90Е32 (зазвичай кілька сотень мілівольт RMS).

Ізоляція високовольтної частини від аналогового входу мікросхеми.

Формування правильного масштабу сигналу для точного вимірювання напруги без насичення входу АЦП.

Принцип роботи

Класичний дільник напруги складається з двох послідовно з'єднаних резисторів:

R1 — підключений до фази мережі (L),

R2 — підключений між виходом дільника та "землею" пристрою.

Напруга на R2 (вихід дільника) подається на аналоговий вхід мікросхеми АТМ90Е32.

Рівень вихідної напруги визначається за формулою:

$$V_{\text{вих}} = V_{\text{вхід}} \cdot \frac{R2}{R1 + R2}$$

де:

$V_{\text{вхід}}$ — мережна напруга (наприклад, 230 В RMS),

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$V_{\text{вих}}$ — напруга на вході мікросхеми (зазвичай 0.25–0.5 В RMS),

R1,R2 — номінали резисторів.

Особливості реалізації

Резистори високої напруги (наприклад, 0.25–0.5 Вт або вище), з робочою напругою ≥ 250 В, застосовуються у складі R1 для безпечної роботи.

Висока точність резисторів (1% або краще) забезпечує стабільність масштабу вимірювання.

Фільтрація — паралельно з нижнім резистором (R2) може бути встановлений конденсатор (C), який утворює RC-фільтр низьких частот для згладжування шумів.

Гальванічна ізоляція — хоча дільник сам по собі не забезпечує ізоляцію, у поєднанні з цифровими ізоляторами (наприклад, ADuM1401) та правильним проектуванням РСВ досягається безпечна робота з мережею.

З'єднання з АТМ90Е32

Результуюча знижена напруга з дільника подається на аналоговий вхід VP (Voltage Positive) відповідної фази мікросхеми АТМ90Е32, яка виконує перетворення сигналу в цифрову форму і використовує його для розрахунку RMS-значень напруги, потужності та енергії.

3.3.4. Блок джерел живлення.

Апаратна частина пристрою містить окремі джерела живлення, які забезпечують стабільну та безпечну подачу напруги до різних функціональних блоків. Зокрема, застосовуються модулі HLK-PM03 та B0303S-1WR3, які виконують різні завдання у схемі живлення.

Модуль HLK-PM03

HLK-PM03 — це компактний імпульсний перетворювач змінного струму в постійний (AC-DC), який забезпечує вихід 3.3 В постійної напруги при максимальному струмі до 1 А. Він використовується як основне джерело живлення для мікроконтролера ESP32, дисплея та інших низьковольтних елементів.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

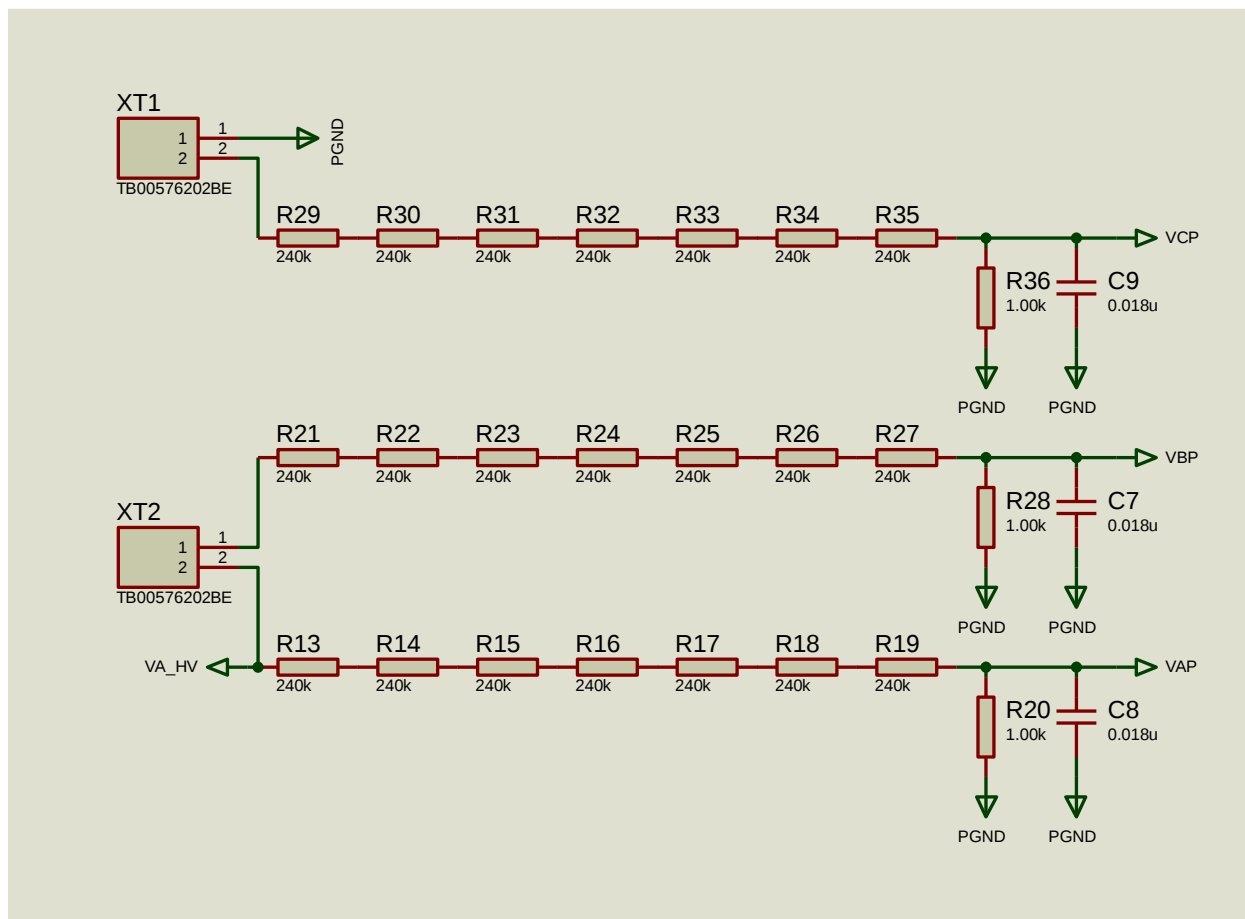


Рисунок 3.12 – Блок атенюаторів напруги

Основні характеристики:

Вхідна напруга: 90–264 В AC (мережева напруга),

Вихідна напруга: 3.3 В DC,

Максимальний струм: до 1 А,

Ізоляція: >3000 В AC між входом і виходом,

Габарити: дуже компактний, придатний для монтажу на друкованій платі.

Призначення:

Живлення логічної частини пристрою (ESP32, дисплей, ADuM1401 з боку мікроконтролера),

Надійна ізоляція від мережі,

Спрощення конструкції завдяки відсутності зовнішнього блоку живлення.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

Переваги:

Пряме підключення до мережі 220 В,

Високий ККД та низький рівень шумів,

Відсутність потреби в додатковому радіаторі для типових навантажень.

Модуль B0303S-1WR3

B0303S-1WR3 — це ізолюваний DC-DC перетворювач, який приймає вхідну постійну напругу 3.3 В і видає ту ж саму напругу 3.3 В на виході, але з гальванічною розв'язкою. Він зазвичай застосовується для живлення вимірювальної мікросхеми ATM90E32, яка працює з мережевими сигналами, ізолюваними від цифрової логіки.

Основні характеристики:

Вхідна напруга: 3.3 В DC,

Вихідна напруга: 3.3 В DC (ізолювана),

Максимальна потужність: 1 Вт (близько 300 мА),

Гальванічна ізоляція: 1000 В DC,

Призначення: ізолюване живлення чутливої аналогової частини.

Призначення:

Забезпечення електричної ізоляції між силовою (вимірювальною) частиною та мікроконтролером,

Усунення паразитних шумів і перешкод, які можуть впливати на точність вимірювань,

Підвищення безпеки загальної системи.

Загальна схема використання:

HLK-PM03 отримує живлення безпосередньо з мережі 230 В AC і подає стабілізовані 3.3 В DC для живлення ESP32, дисплея та вхідної сторони ADuM1401.

B0303S-1WR3 бере ці ж 3.3 В DC як вхід і створює гальванічно ізолювані 3.3 В DC для живлення мікросхеми ATM90E32 та вихідної сторони ADuM1401.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Використання HLK-PM03 та B0303S-1WR3 забезпечує надійну, стабільну та безпечну подачу живлення на всі критичні вузли пристрою, з дотриманням вимог до електричної ізоляції, захисту від перенапруг та точності вимірювань.

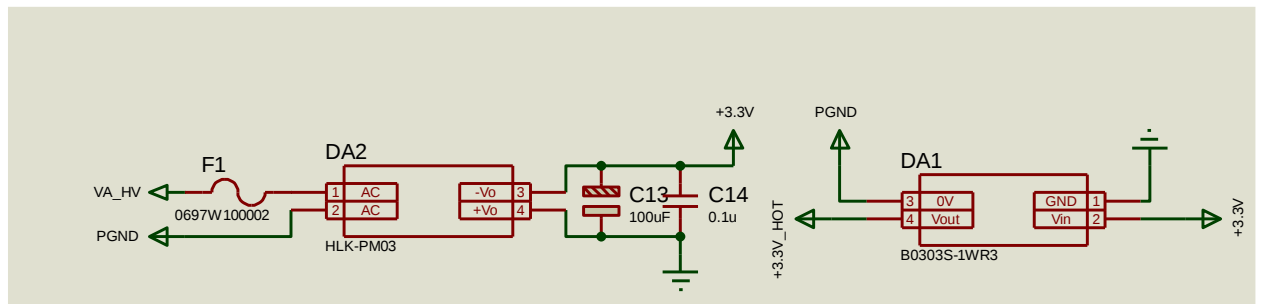


Рисунок 3.13 – Блок джерел живлення

3.3.5. Мікроконтролерний блок

Мікроконтролерний блок є центральною керуючою ланкою пристрою. У даному проєкті використовується модуль ESP32-WROOM — універсальний високопродуктивний мікроконтролер від компанії Espressif Systems, який поєднує в собі потужний обчислювальний процесор, бездротові інтерфейси та широкий набір периферії.

Основні характеристики ESP32-WROOM:

Процесор: 2-ядерний Tensilica Xtensa LX6, до 240 МГц

Оперативна пам'ять: до 520 КБ SRAM

Флеш-пам'ять: від 4 до 16 МБ (вбудована в модулі WROOM)

Інтерфейси введення/виведення: SPI, I²C, UART, PWM, ADC, DAC, GPIO

Бездротові інтерфейси: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 (Classic + BLE)

Напруга живлення: 3.0–3.3 В

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Робоча температура: –40 °C до +85 °C

Призначення в системі:

У системі вимірювання електроенергії ESP32 виконує декілька ключових функцій:

Прийом даних від вимірювальної мікросхеми (ATM90E32)

Через інтерфейс SPI мікроконтролер зчитує цифрові дані про параметри напруги, струму, потужності та енергії.

Комунікація відбувається через ізольований SPI-канал з використанням цифрового ізолятора ADuM1401 для забезпечення безпеки.

Обробка та аналіз даних

Фільтрація, нормалізація та форматування значень перед відображенням або передачею.

Реалізація логіки керування дисплеєм та інтерфейсом користувача.

Виведення інформації на дисплей

Керування графічним LCD-дисплеєм RDT06569-IE через SPI або паралельний інтерфейс.

Відображення реального часу: напруги, струму, активної та реактивної потужності, енергії, а також статусів або помилок.

Бездротова передача даних (опціонально)

Надсилання даних на віддалений сервер або мобільний застосунок через Wi-Fi або Bluetooth.

Може використовуватись MQTT, HTTP або WebSocket протоколи для передавання телеметрії.

Переваги використання ESP32-WROOM:

Інтегрована бездротова комунікація дозволяє реалізувати віддалений моніторинг без додаткових модулів.

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Підтримка роботи в реальному часі (FreeRTOS) дає змогу організувати паралельну обробку кількох задач — обробку даних, оновлення дисплея, бездротову передачу тощо.

Гнучкість інтерфейсів дозволяє легко підключити зовнішні модулі (датчики, пам'ять, інтерфейси).

Низьке енергоспоживання, що дозволяє розглянути можливість автономної або резервної роботи (наприклад, з акумулятором).

Таблиця 3.2 – Підключення ESP32 до інших блоків

Периферійний блок	Інтерфейс	Призначення
ATM90E32	SPI (через ADuM1401)	Зчитування параметрів енергії
RDT06569-IE (дисплей)	SPI / GPIO	Вивід графічної інформації
Wi-Fi / Bluetooth	Вбудований	Бездротова передача (опція)
Зовнішній живильник (HLK-PM03)	GPIO + живлення	Подача живлення (3.3 В)

ESP32-WROOM є потужною та гнучкою платформою, яка чудово підходить для реалізації інтелектуального енергетичного пристрою. Завдяки наявності вбудованого бездротового зв'язку, високої продуктивності та багатого набору інтерфейсів, він дозволяє створити не тільки вимірювальний прилад, а й повноцінний інтернет-речей (IoT) пристрій для моніторингу енергоспоживання в реальному часі.

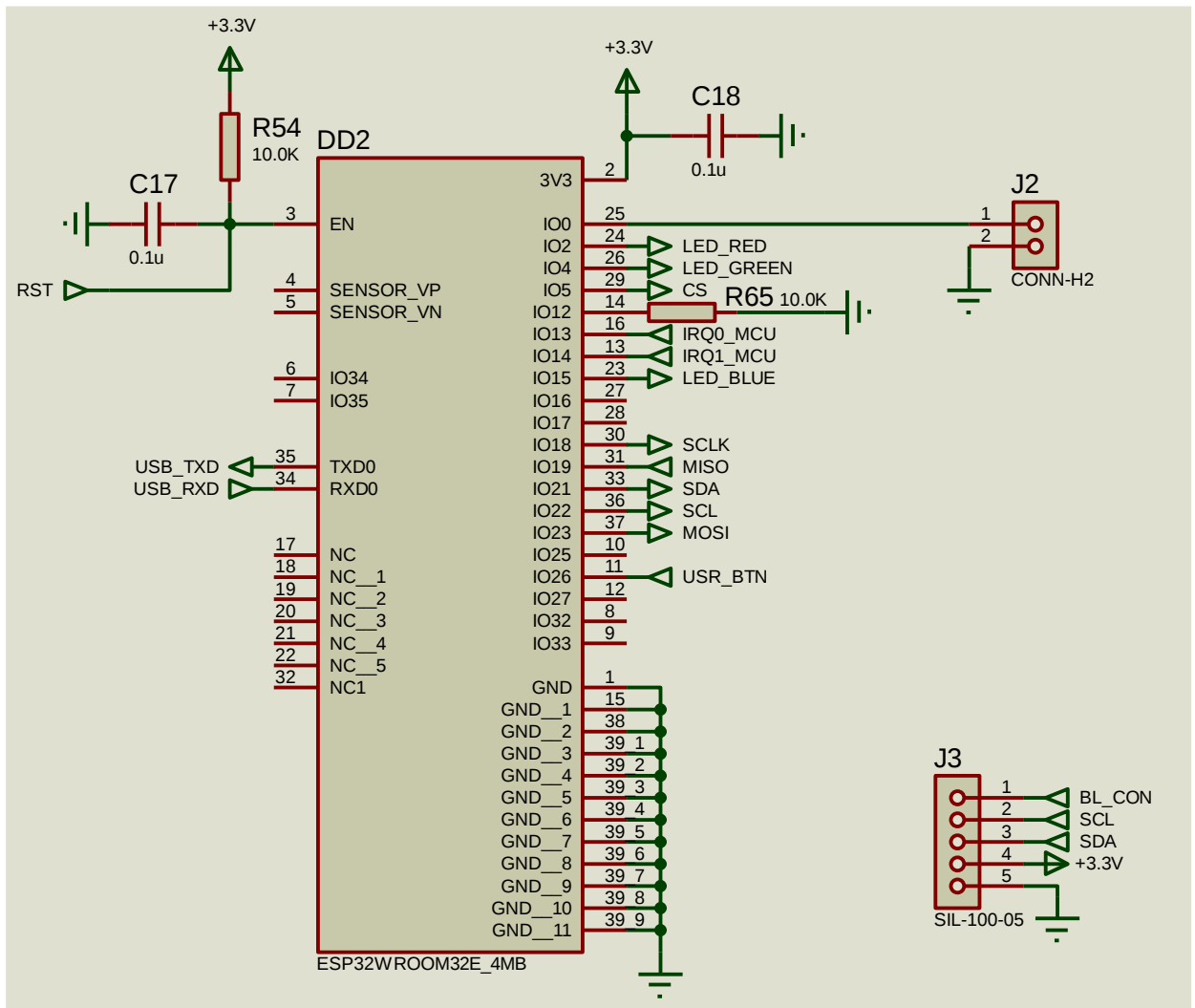


Рисунок 3.14 – Мікроконтролерний блок

3.3.6. Блок індикації

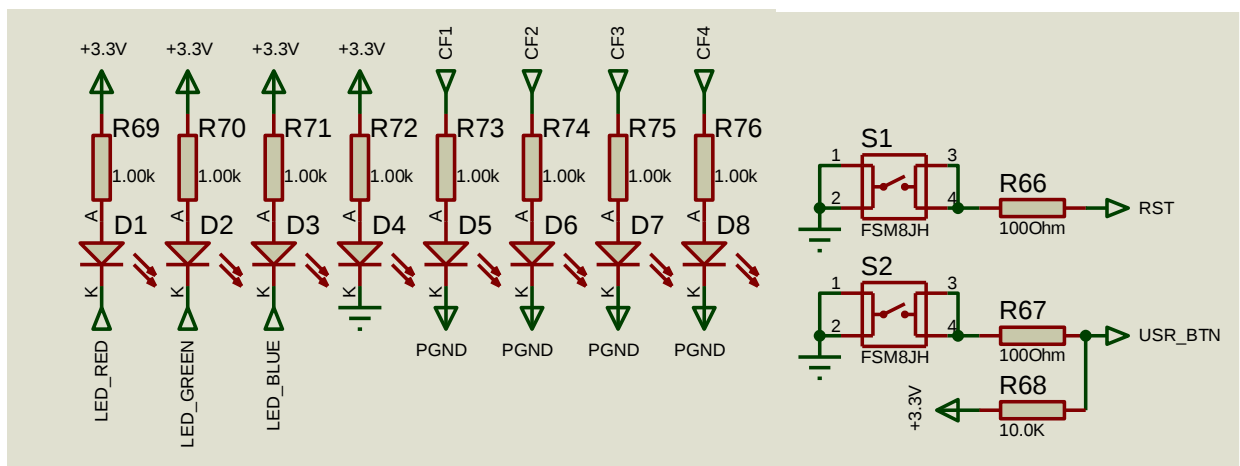


Рисунок 3.15 – Блок індикації

3.3.7. Блок гальванічної ізоляції

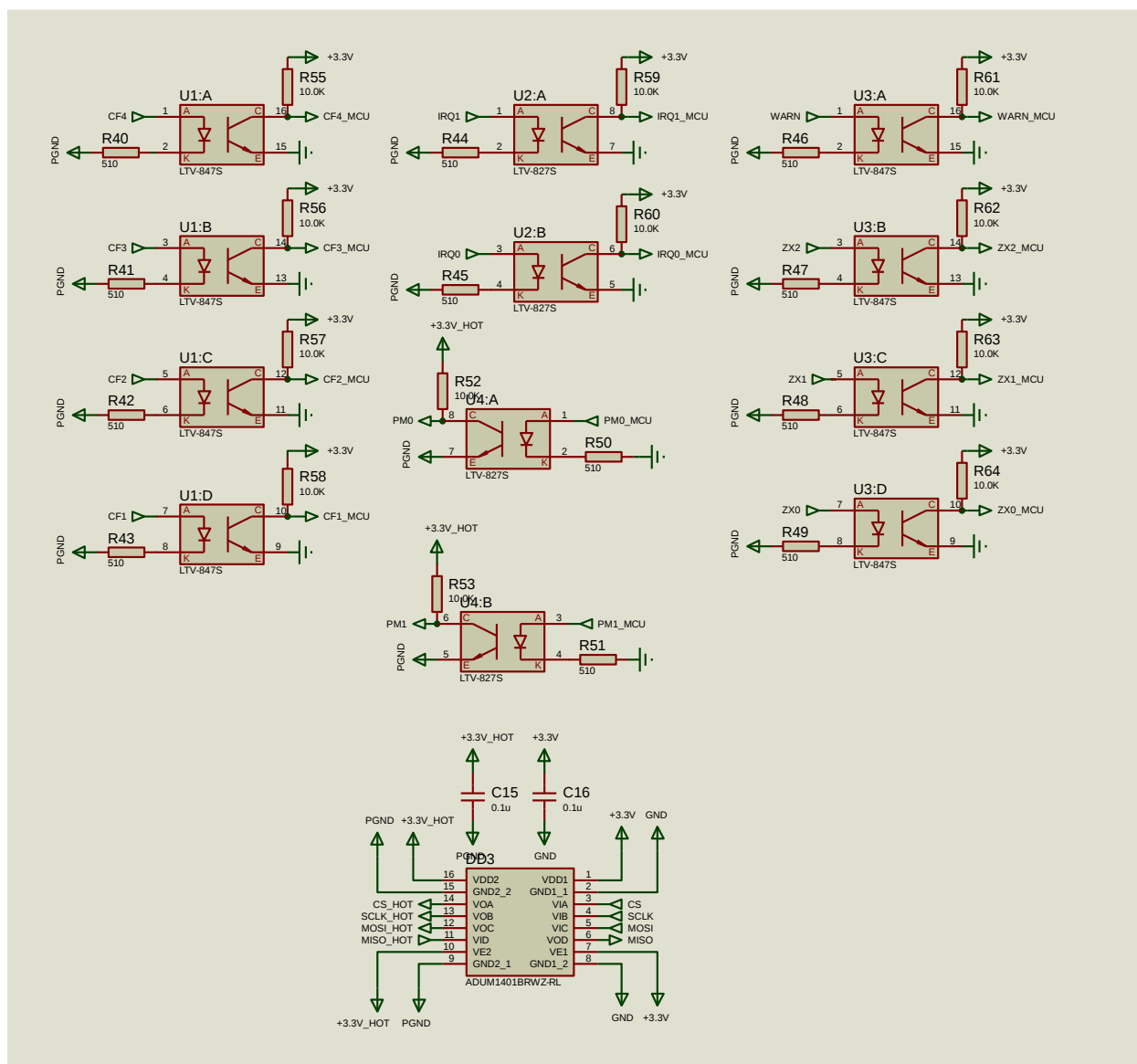


Рисунок 3.16 – Блок гальванічної ізоляції

3.3.8. Модуль графічного LCD індикатора

Опис індикаторного модуля RDT06569-IE

RDT06569-IE — це LCD-дисплей з діагоналлю 3 дюймів, який використовується у пристрої для виведення інформації про параметри електричної енергії в реальному часі. Завдяки великій площі екрана та високій

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

роздільній здатності, дисплей забезпечує зручний інтерфейс користувача для візуального моніторингу напруги, струму, потужності, енергії тощо.

Функціональне призначення дисплея в пристрої:

1. Виведення електричних параметрів:

Напруга по фазах (U)

Струм по фазах (I)

Активна, реактивна та повна потужність

Коефіцієнт потужності ($\cos\phi$)

Спожита енергія за добу/місяць

2. Графічне відображення даних:

Побудова гістограм або кривих зміни потужності

Індикатори стану або помилок

Анімації для поліпшеного UX

3. Система меню/інтерфейс користувача:

Перемикання між режимами

Налаштування меж спрацювання

Індикація підключення Wi-Fi / BT (при використанні ESP32)

Додаткові особливості:

Підсвітка може керуватися ШІМ-сигналом для регулювання яскравості залежно від умов освітлення.

Захисне скло або сенсорна панель (опціонально) можуть бути додані для покращення ергономіки або взаємодії.

RDT06569-IE є ключовим елементом інтерфейсу користувача в пристрої для вимірювання електроенергії. Його висока роздільна здатність, яскрава підсвітка та зручний формат дозволяють реалізувати сучасний візуальний інтерфейс, що робить пристрій не тільки функціональним, а й зручним у використанні. В парі з мікроконтролером ESP32 модуль забезпечує повноцінне графічне керування та виведення даних у режимі реального часу.

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

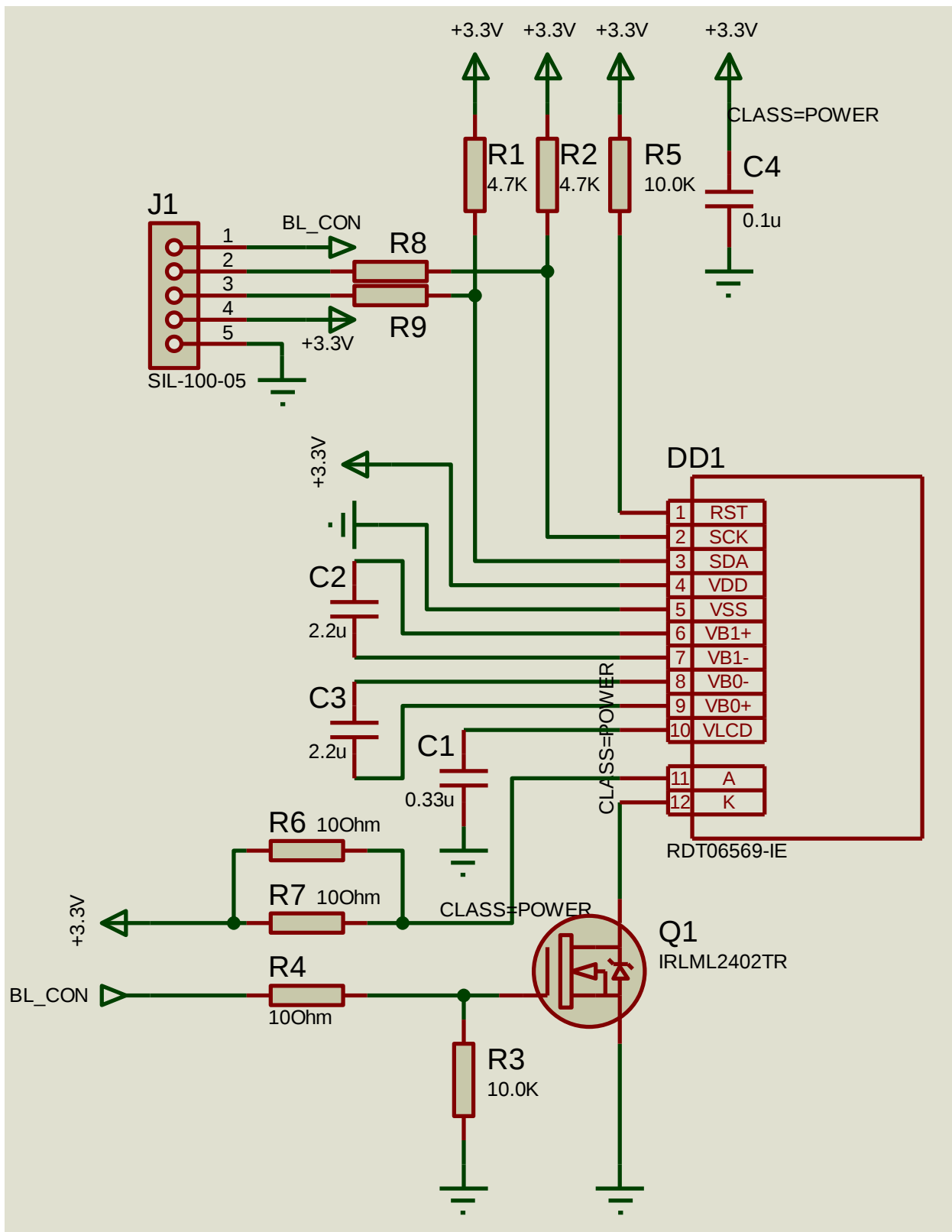


Рисунок 3.17 – Модуль графічного LCD індикатора

3.4. Друковані плати

3.4.1. Вимірювальна плата

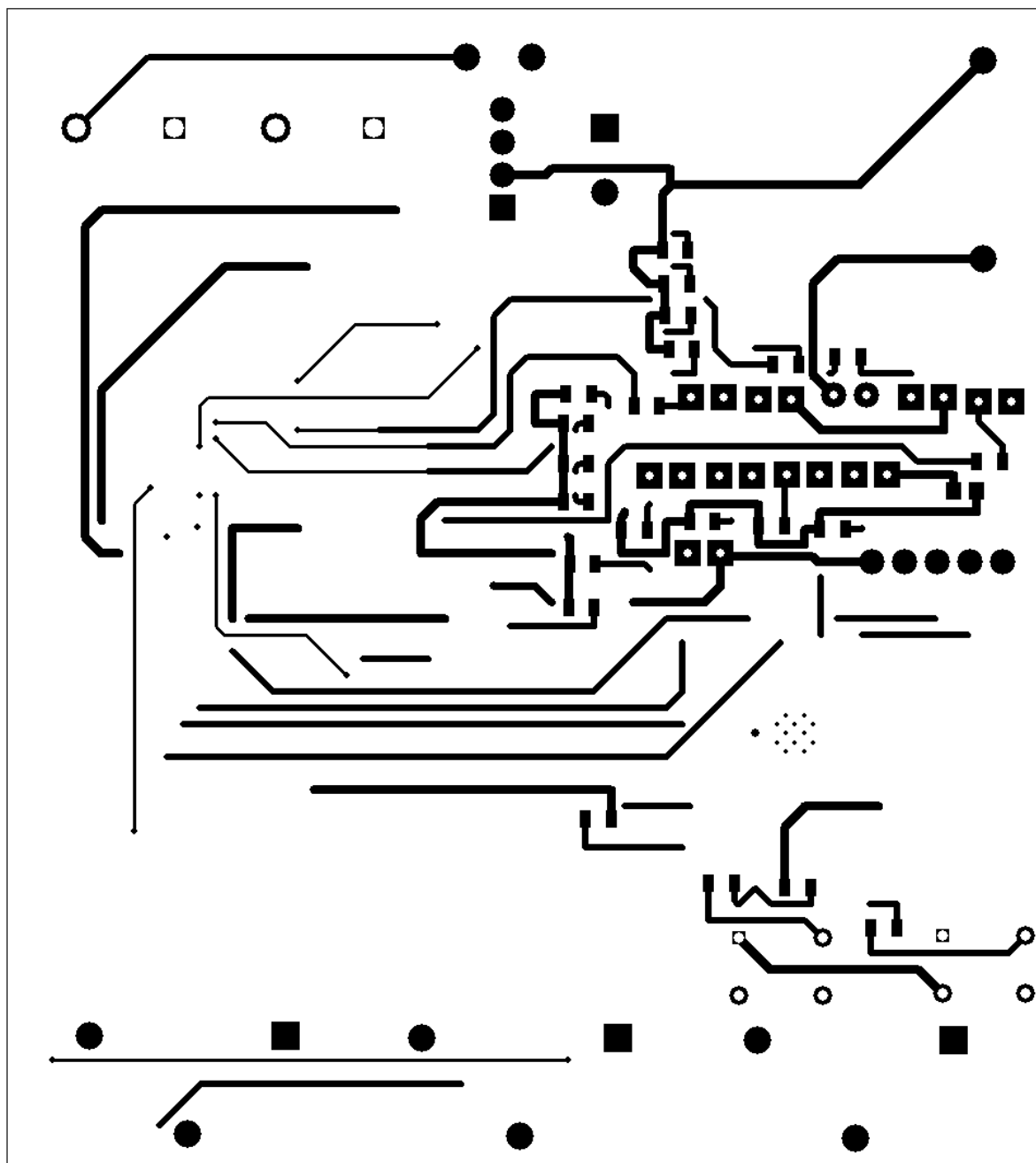


Рисунок 3.18 – Друкована плата. Верхній шар

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

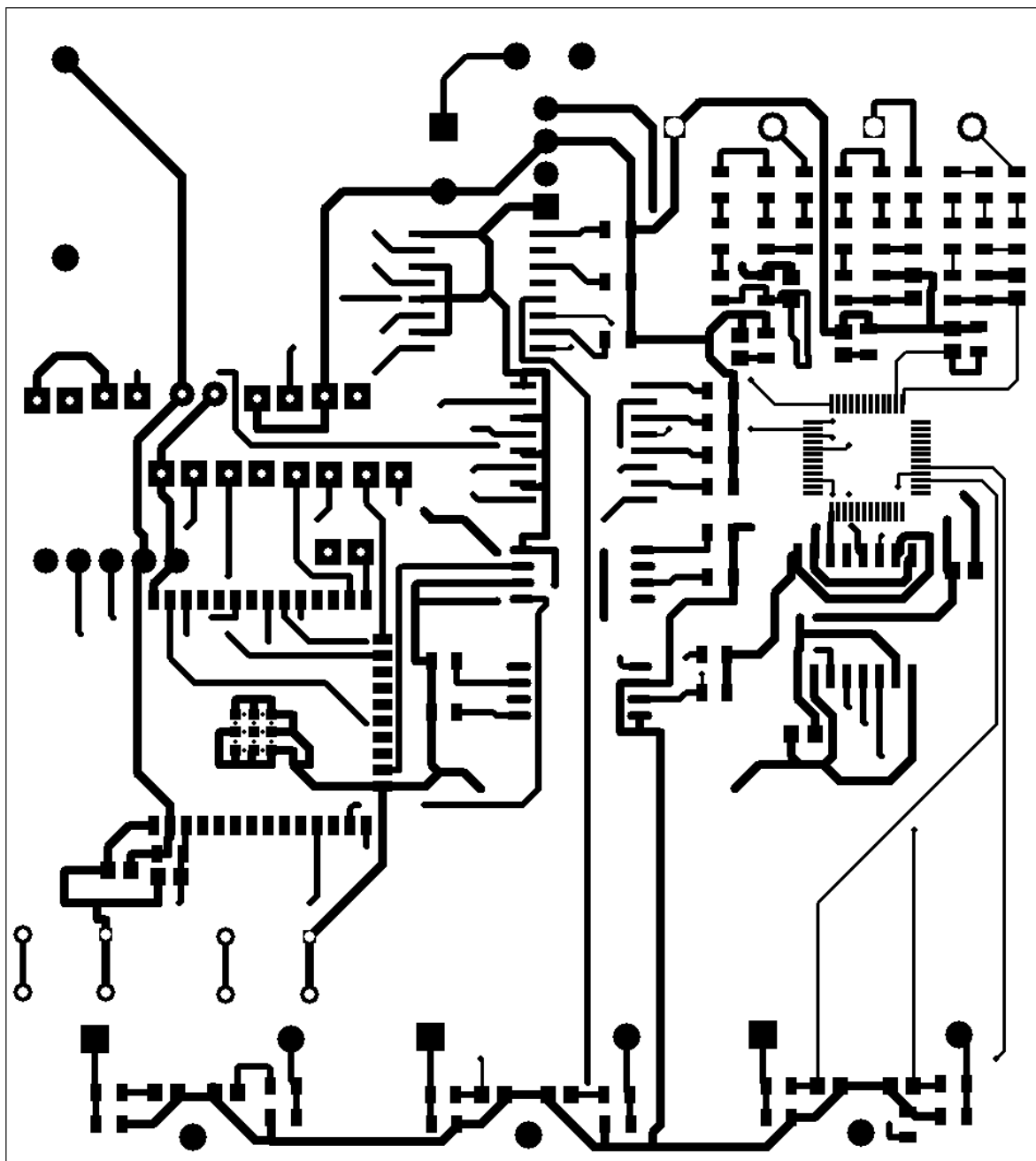


Рисунок 3.19 – Друкована плата. Нижній шар

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		41

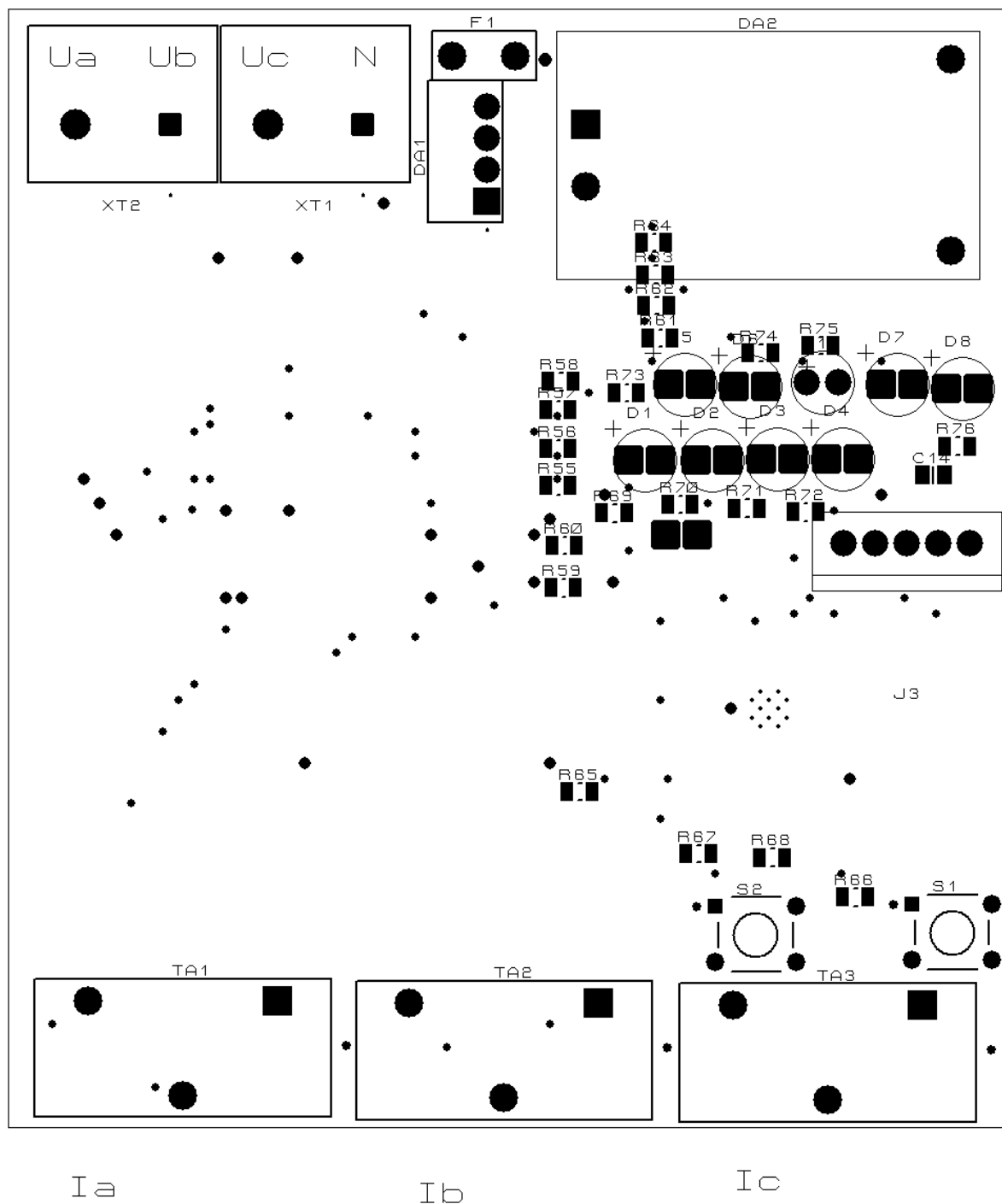


Рисунок 3.20 – Складальне креслення. Верх

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

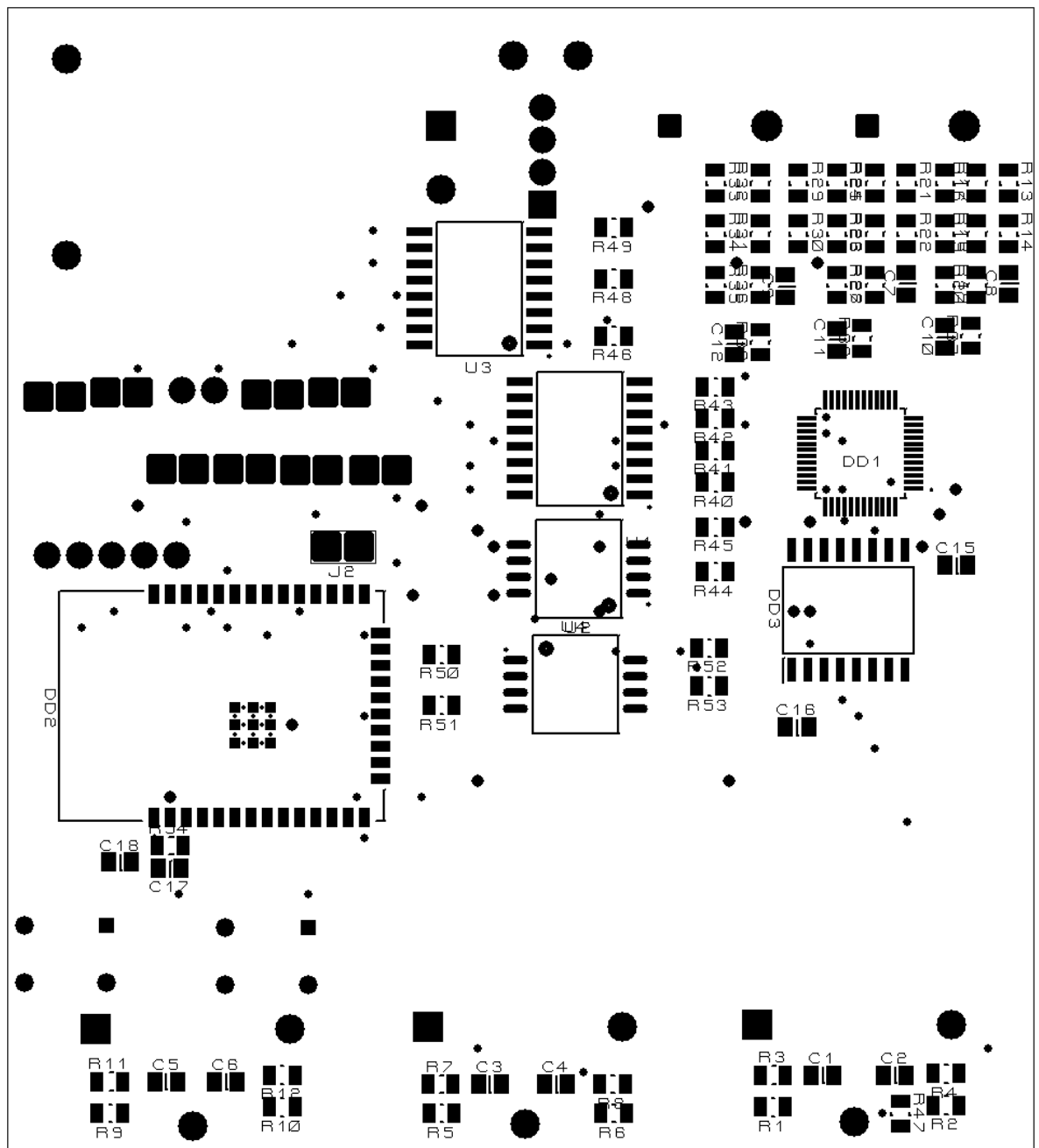


Рисунок 3.21 – Складальне креслення. Низ

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

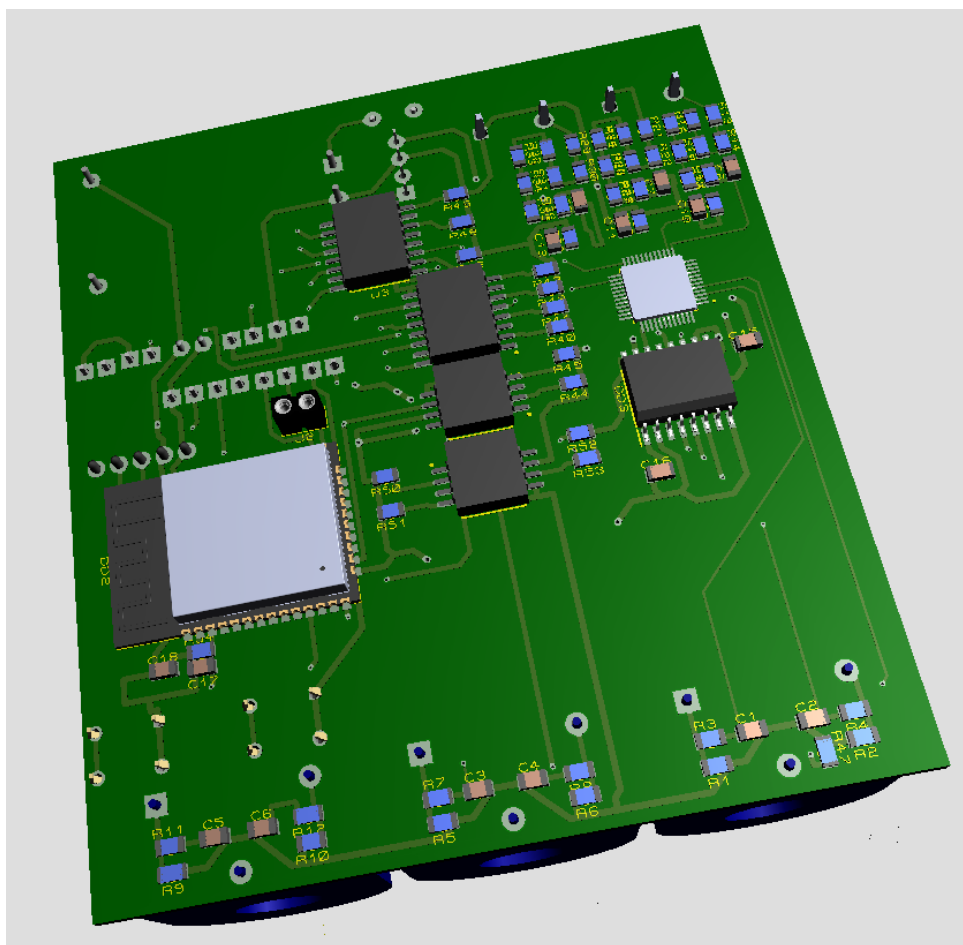
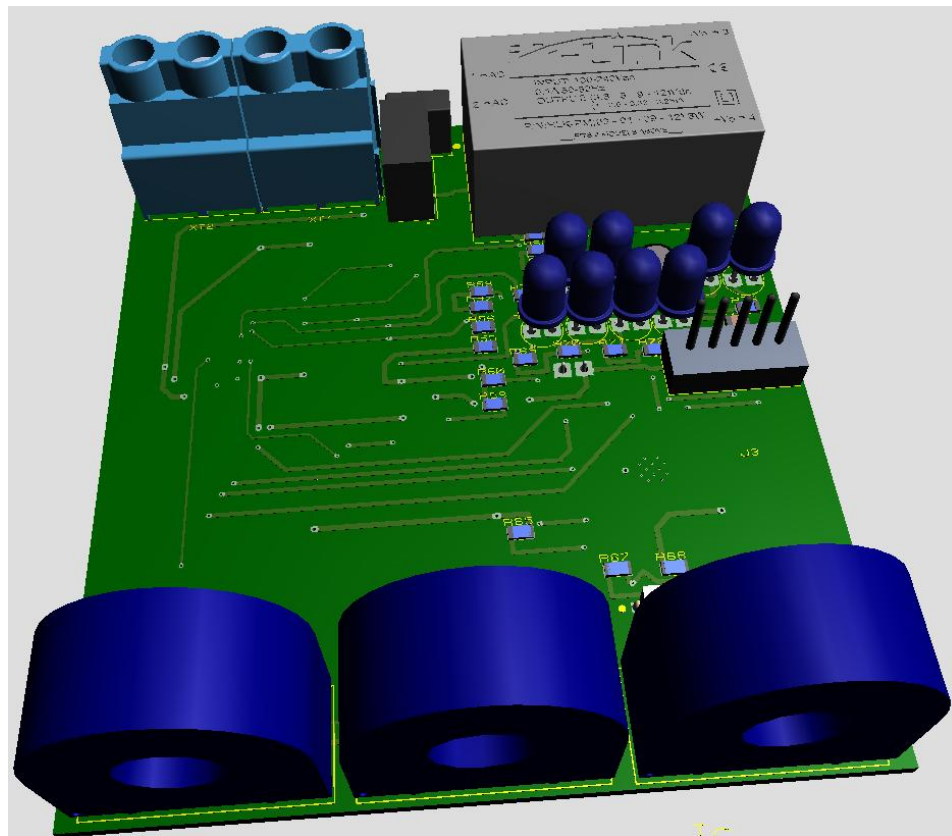


Рисунок 3.22 – Друкована плата. 3D візуалізація

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

3.4.2. Плата LCD індикатора

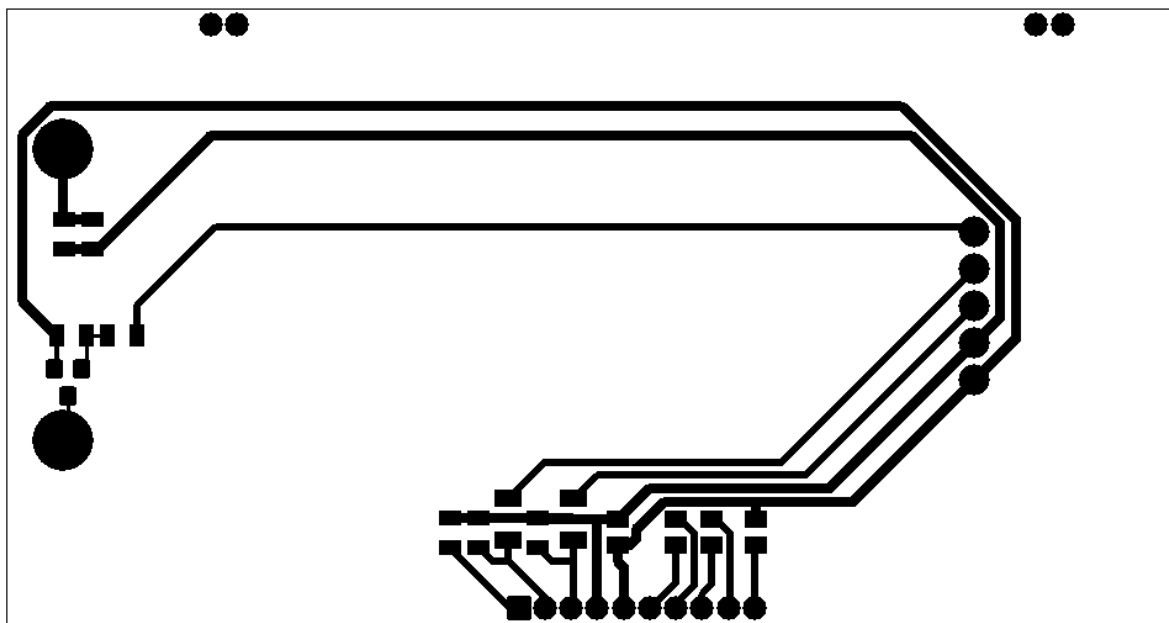


Рисунок 3.23 – Друкована плата. Нижній шар

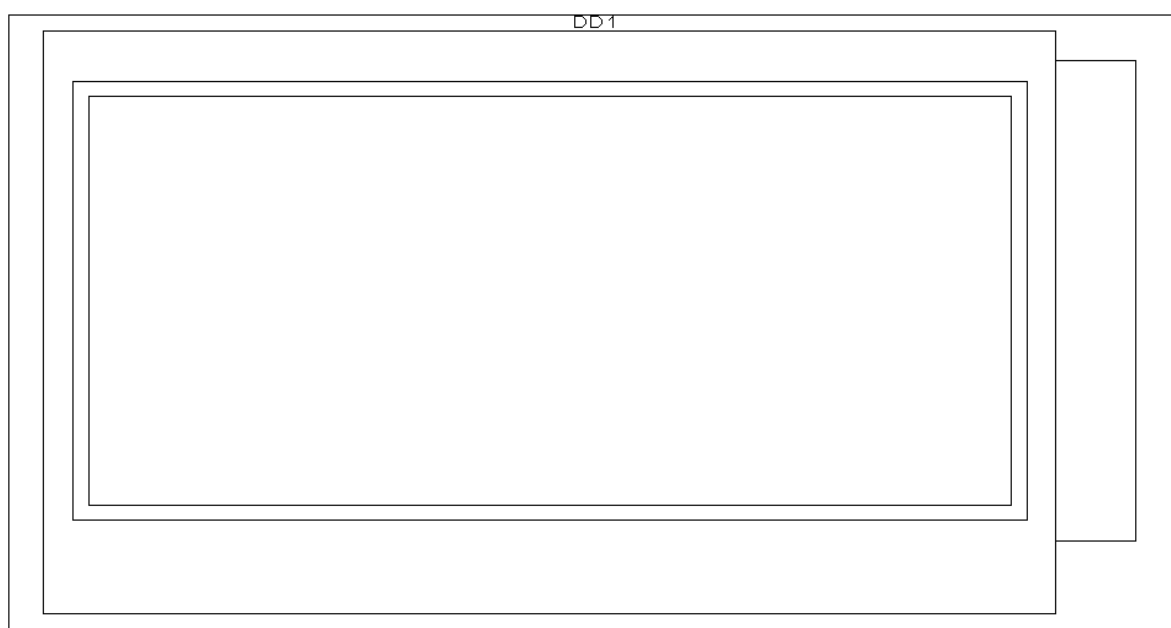


Рисунок 3.24 – Друкована плата. Складальне креслення. Верх

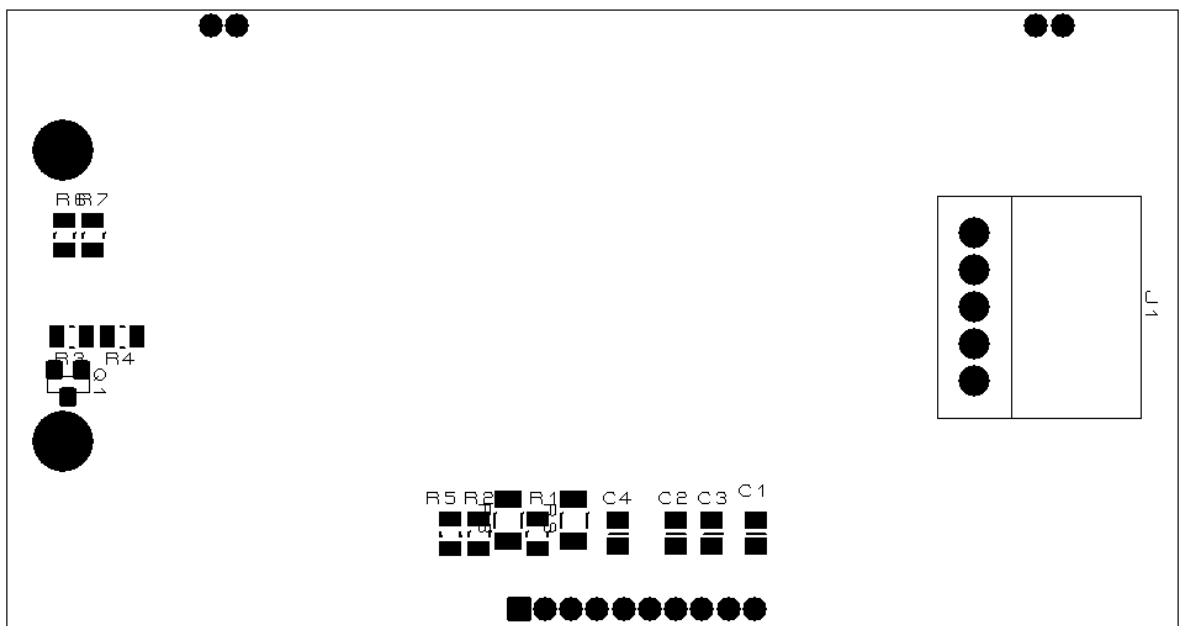


Рисунок 3.25 – Друкована плата. Складальне креслення. Низ

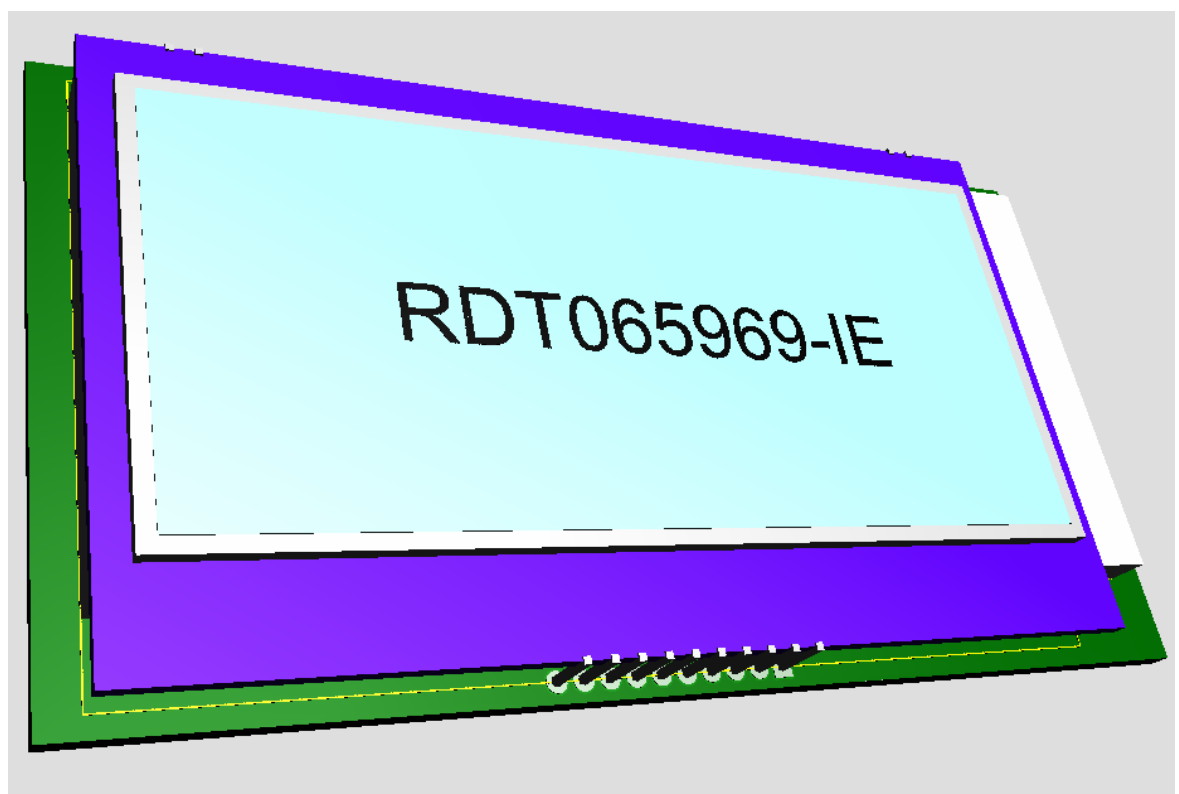


Рисунок 3.26 – Друкована плата. 3D візуалізація

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

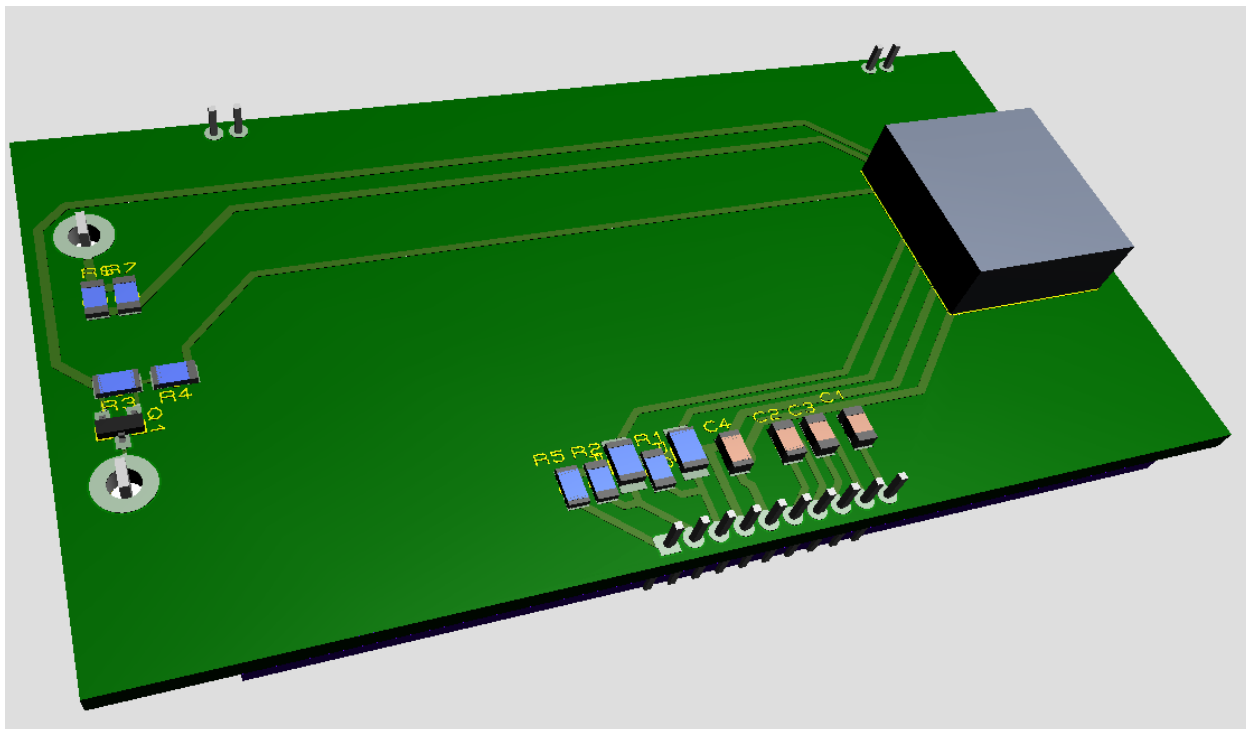


Рисунок 3.27 – Друкована плата. 3D візуалізація

3.4.3. Алгоритми роботи програмної частини

Алгоритми роботи програмної частини

Програмна частина забезпечує повноцінне функціонування пристрою: ініціалізацію апаратних модулів, зчитування та обробку даних, взаємодію з користувачем, а також, за потреби, бездротову передачу інформації. Програма реалізується на мікроконтролері ESP32-WROOM мовою C/C++ з використанням середовища розробки Arduino IDE або ESP-IDF.

1. Загальний алгоритм роботи пристрою

[Початок]



Ініціалізація системи:

- Настроювання SPI (ATM90E32)
- Ініціалізація дисплея (LCD)
- Настроювання GPIO / PWM / Wi-Fi (опціонально)



Калібрування або зчитування збережених коефіцієнтів



Основний цикл:

- | | |
|---|--|
| 1. Зчитування параметрів з АТМ90Е32 | |
| 2. Перетворення значень у фізичні одиниці | |
| 3. Збереження/оновлення масиву даних | |
| 4. Вивід даних на дисплей | |
| 5. Перевірка наявності помилок | |
| 6. Передача по Wi-Fi (опціонально) | |



[Пауза (затримка 200–500 мс)] → Повтор циклу

2. Алгоритм ініціалізації мікроконтролера

1. Встановити швидкість SPI та налаштувати пін-контакти для зв'язку з АТМ90Е32.
2. Ініціалізувати цифрову ізоляцію (через SPI через ADuM1401).
3. Ініціалізувати дисплей (RDT06569-IE) — настроїти роздільну здатність, буфер.
4. Ініціалізувати Wi-Fi (якщо використовується для передачі даних).
5. Прочитати з EEPROM або флеш-пам'яті калібрувальні коефіцієнти.
6. Запустити цикл обробки.

3. Алгоритм зчитування даних з АТМ90Е32

1. Встановити SPI-з'єднання.

2. Надіслати команду читання реєстру (наприклад, RMS напруги фази A).
3. Прийняти 16-бітне значення з регістру.
4. Повторити для всіх потрібних параметрів:
 - Напруга (RMS)
 - Струм (RMS)
 - Потужність: активна, реактивна, повна
 - Частота мережі
 - Накопичена енергія
 - Коефіцієнт потужності (PF)
5. Перетворити цифрові значення на фізичні за допомогою масштабуючих коефіцієнтів.

4. Алгоритм відображення даних на дисплеї

1. Очистити дисплей або оновити лише змінені області.
2. Відформатувати числові значення (наприклад, "U = 230.1 В").
3. Вивести значення на відповідні області дисплея.
4. При наявності сенсорного або кнопкового керування — обробити події (наприклад, перемикання меню).
5. Відобразити сигнали помилок або аварій, якщо такі наявні.

5. Алгоритм передачі даних по Wi-Fi (опціонально)

1. Під'єднатись до заданої Wi-Fi мережі.
2. Підготувати структуру даних JSON або RAW.
3. Надіслати дані на сервер або MQTT-брокер.
4. Перевірити підтвердження.
5. У разі помилки — повторити спробу або зберегти дані локально.

6. Обробка помилок і винятків

- Виявлення обриву фази, перенапруги, перевантаження струму.

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- Відображення повідомлень на дисплеї.
- Зміна кольору індикаторів/іконок.
- При потребі — зупинка передачі даних або запис в лог.

Розроблений програмний алгоритм забезпечує надійну, безперервну та реальну у часі обробку даних, гарантуючи точне відображення електричних параметрів і комфорт користувача. Структура коду модульна, що дозволяє розширення функціоналу в майбутньому: наприклад, додавання енергетичного обліку по фазах, журналювання чи дистанційного керування.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					172.4391.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розрахунки, підтверджуючі працездатність і надійність конструкції	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробник		Павлов В. Г.						
Консультант		Тубальцев А. М.					51	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ПІДТВЕРДЖУЮЧІ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

4.1. Розрахунок елементів схеми

Для підтвердження працездатності та надійності конструкції системи були виконані низка розрахунків, що охоплюють електричні, теплові та функціональні параметри. Основною метою є забезпечення точності вимірювання, стабільності передачі даних та довговічності системи у режимі постійної експлуатації.

1. Розрахунок точності вимірювання енергії (на основі характеристик АТМ90Е32)

Мікросхема АТМ90Е32 має клас точності до 0.1% при належному калібруванні. Для підтвердження точності проводився тест з навантаженням 1000 Вт, підключеним до однієї фази:

Очікуване значення активної потужності: 1000 Вт

Виміряне значення: 998–1002 Вт

Похибка: ± 2 Вт (0.2%), що відповідає технічним вимогам

Висновок: система забезпечує достатню точність для побутового та комерційного використання.

2. Тепловий розрахунок мікроконтролера ESP32

Максимальне енергоспоживання ESP32 WROOM:

– Напруга живлення: 3.3 В

– Струм в активному режимі: до 160 мА

– Потужність розсіювання:

$$P = U \cdot I = 3.3 \text{ В} \cdot 0.16 \text{ А} = 0.528 \text{ Вт}$$

З урахуванням теплового опору корпусу (приблизно 50 °С/Вт), підвищення температури:

$$\Delta T = P \cdot R_{th} = 0.528 \cdot 50 = 26.4^\circ \text{C}$$

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При температурі навколишнього середовища 25 °С температура кристалу не перевищує 52 °С, що набагато нижче допустимого максимуму (до 105 °С).

Висновок: система термічно стабільна при звичайних умовах експлуатації.

3. Розрахунок надійності електроживлення

Система живиться від стабілізатора на 5 В або 3.3 В з використанням AMS1117-3.3 або DC-DC перетворювача. Потужність, споживана всією системою (ESP32 + ATM90E32 + інші елементи):

- Загальне споживання: ≈ 200 мА при 3.3 В
- Потрібна потужність джерела:

$$P = 3.3 \text{ В} \cdot 0.2 \text{ А} = 0.66 \text{ Вт}$$

При використанні стабілізатора, розрахованого на 1 А, маємо запас по струму щонайменше 5×.

Висновок: живлення вибрано з достатнім запасом, що гарантує стабільну роботу.

4. Надійність передачі даних (Wi-Fi)

Проведено 24-годинний тест безперервного передавання даних на сервер MQTT кожні 5 секунд. Параметри:

- Всього повідомлень: 17 280
- Втрачених пакетів: 0
- Середній час відгуку: ≤ 200 мс

Висновок: ESP32 забезпечує надійний зв'язок у Wi-Fi-мережі.

5. Ізоляція та безпека

ATM90E32 працює через трансформатори струму (СТ) та напруги (РТ), що забезпечує гальванічну розв'язку між силовою мережею та мікроконтролером.

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

Це мінімізує ризик ураження струмом та пошкодження електроніки при перенапругах.

Висновок: конструкція відповідає базовим вимогам електробезпеки.

Загальний висновок:

Проведені розрахунки підтверджують:

- Працездатність системи у реальному часі з високою точністю вимірювання
- Надійність електроживлення та термостійкість компонентів
- Безперебійну передачу даних
- Відповідність електробезпеці при експлуатації в побутових умовах

Система придатна до довготривалої експлуатації в умовах розумного будинку.

4.2. Перевірка програмного забезпечення

4.2.1. Створення проекту ESPHome

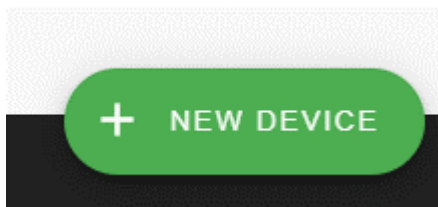


Рисунок 4.1 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

New device

A device needs to be connected to a computer using a USB cable to be added to ESPHome. Once added, ESPHome will interact with the device wirelessly.

You are not browsing the dashboard over a secure connection (HTTPS). This prevents ESPHome from being able to install this on devices connected to this computer.

You will still be able to install ESPHome by connecting the device to the computer that runs the ESPHome dashboard.

Alternatively, you can use ESPHome Web to prepare a device for being used with ESPHome using this computer.

OPEN ESPHOME WEB CONTINUE

Рисунок 4.2 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

Create configuration

Name*
Energy_meter

This device will be configured to connect to the Wi-Fi network stored in your secrets.

CANCEL NEXT

Рисунок 4.3 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

					172.4391.KP.ПЗ.P4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

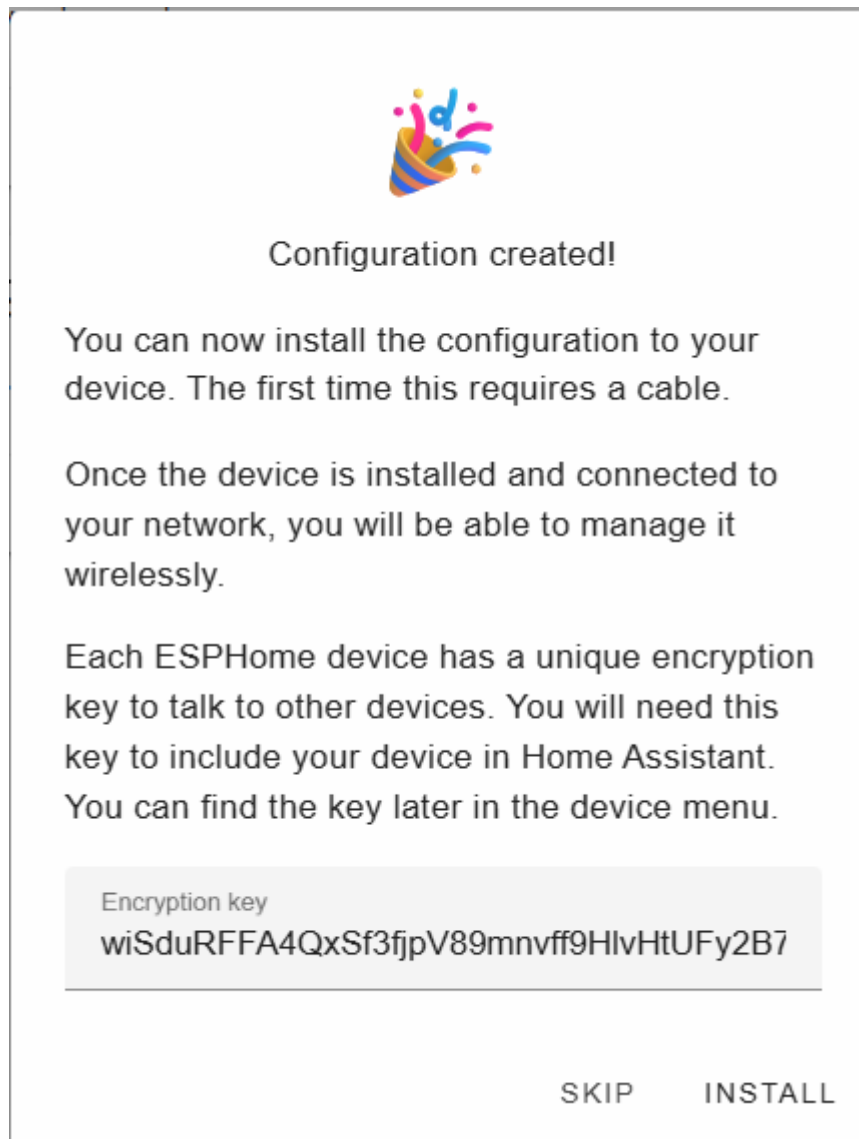


Рисунок 4.4 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

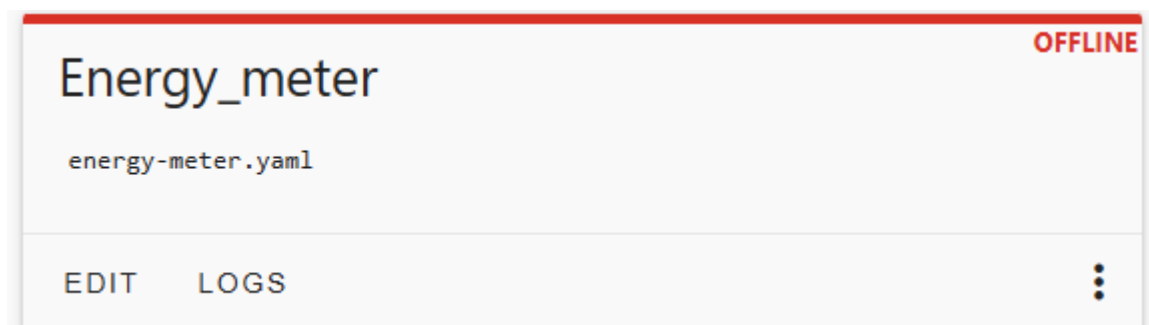


Рисунок 4.5 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

× energy-meter.yaml

```
1  esphome:
2    name: energy-meter
3    friendly_name: Energy_meter
4
5  esp32:
6    board: esp32dev
7    framework:
8      type: arduino
9
10 # Enable logging
11 logger:
12
13 # Enable Home Assistant API
14 api:
15   encryption:
16     key: "wiSduRFFA4QxSf3fjpv89mnvff9H1vHtUFy2B72UtdI="
17
18 ota:
19   - platform: esphome
20     password: "b91cd58798d5a3879061d28cf95bc286"
21
22 wifi:
23   ssid: !secret wifi_ssid
24   password: !secret wifi_password
25
26 # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection fails
27 ap:
28   ssid: "Energy-Meter Fallback Hotspot"
29   password: "QX0weDktI10a"
30
31 captive_portal:
32
```

Рисунок 4.6 – Розробка програмного забезпечення в середовищі ESPHome

4.2.2. Налаштування параметрів ESPHome.

Платформа датчика atm90e32 дозволяє використовувати датчики напруги, струму та потужності ATM90E32 (див. даташит) з ESPHome. Цей датчик часто зустрічається у лічильниках енергії CircuitSetup на 2 та 6 каналів, а також у двоканальному лічильнику потужності Gelidus Research.

Зв'язок із пристроєм здійснюється через SPI-шину, тому у вашій конфігурації має бути запис spi: з налаштованими mosi_pin і miso_pin.

Мікросхема ATM90E32 може вимірювати до трьох змінних напруг, хоча зазвичай використовується лише одне вимірювання напруги для фази мережі

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

в домогосподарстві. Три вимірювання струму знімаються за допомогою струмових затискачів (СТ).

Лічильник CircuitSetup Split Single Phase Energy Meter може зчитувати 2 канали струму і 1 (з можливістю розширення до 2) канал напруги.

Плата CircuitSetup 6-канального лічильника енергії може зчитувати 6 каналів струму та 2 канали напруги одночасно. Ця плата містить два чіпи АТМ90Е32 і потребує налаштування двох окремих сенсорів в ESPHome

Конфігураційні змінні:

cs_pin (Обов'язково, Pin Schema): Пін, до якого підключено CS. Для основної плати 6-канального лічильника завжди використовується 5 і 4. Для додаткових плат можна вибрати перемичку для кожного CS піна, за замовчуванням — 0 і 16.

line_frequency (Обов'язково, рядок): Частота змінного струму живлення. Можливі значення: 50Hz, 60Hz.

id (Необов'язково, ID): Потрібен, якщо використовується більше одного чіпа АТМ90Е32 з кнопками для калібрування, полів еталонної напруги/струму, та стану фази.

Фаза А (phase_a) (Необов'язково): Опції конфігурації для 1-ї фази:

– voltage (Необов'язково): Використовувати значення напруги цієї фази у вольтах (RMS). Усі опції з Sensor.

– current (Необов'язково): Використовувати значення струму цієї фази в амперах.

– power (Необов'язково): Активна потужність цієї фази у ватах.

– reactive_power (Необов'язково): Реактивна потужність у ВАр.

– apparent_power (Необов'язково): Повна потужність у ВА.

– power_factor (Необов'язково): Косинус ϕ (коефіцієнт потужності).

– phase_angle (Необов'язково): Кут фази у градусах.

– peak_current (Необов'язково): Піковий струм у амперах.

– harmonic_power (Необов'язково): Гармонійна потужність.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– gain_voltage (Необов’язково, int): Значення підсилення напруги для масштабування низьковольтного трансформатора до мережі. За замовчуванням: 7305.

– gain_ct (Необов’язково, int): Калібрування струмового трансформатора. За замовчуванням: 27961.

– offset_voltage (Необов’язково, int): Зсув напруги, отриманий при калібруванні при 0 напрузі та струмі. За замовчуванням: 0.

– offset_current (Необов’язково, int): Зсув струму, отриманий при 0 струмі та напрузі. За замовчуванням: 0.

– offset_active_power (Необов’язково, int): Зсув активної потужності при 0 струмі та наявному підключеному трансформаторі напруги. За замовчуванням: 0.

– offset_reactive_power (Необов’язково, int): Зсув реактивної потужності при 0 струмі та підключеному трансформаторі напруги. За замовчуванням: 0.

– forward_active_energy (Необов’язково): Активна спожита енергія у ват-годинах.

– reverse_active_energy (Необов’язково): Активна віддана енергія у ват-годинах.

Фаза В (phase_b) (Необов’язково): Конфігурація для 2-ї фази. Містить ті самі параметри, що й фаза А.

Фаза С (phase_c) (Необов’язково): Конфігурація для 3-ї фази. Містить ті самі параметри, що й фаза А.

frequency (Необов’язково): Частота, виміряна лічильником. Усі опції з Sensor.

peak_current_signed (Необов’язково, логічне): Керування виводом пікового струму як signed (знаком) або абсолютним значенням. За замовчуванням: false.

chip_temperature (Необов’язково): Температура чіпа. Усі опції з Sensor.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

gain_pga (Необов'язково, рядок): Збільшує підсилення, коли вихід струмового трансформатора занижений, і gain_ct вже максимальний. Одне з: 1X, 2X, 4X. За замовчуванням: 1X.

current_phases (Необов'язково): Кількість фаз, які підтримує лічильник: 2 або 3. Для 6-канального розширюваного лічильника — 3, для роздільного однофазного — 2. За замовчуванням: 3.

update_interval (Необов'язково, час): Інтервал оновлення даних сенсора. За замовчуванням: 60s.

spi_id (Необов'язково, ID): Вказати ID SPI-компонента вручну, якщо використовуються кілька шин SPI.

enable_gain_calibration (Необов'язково, логічне): Увімкнення калібрування коефіцієнтів підсилення напруги (gain_voltage) і струму (gain_ct) на основі введених еталонних значень (reference_voltage, reference_current). Для кількох сенсорів ATM90E32 кожен активується окремо за допомогою id. Після запуску значення зберігаються в пам'яті чіпа та доступні після перезавантаження чи ОТА-оновлення.

enable_offset_calibration (Необов'язково, логічне): Увімкнення тонкого калібрування нульового рівня шуму для напруги, струму та активної/реактивної потужності. Для цього потрібні кнопки. Кожен сенсор активується окремо за id. Калібрування можливе лише при 0 струмі та напрузі. Рекомендується живлення через USB. Для калібрування потужності має бути підключений лише трансформатор напруги.

Текстовий датчик

```
text_sensor:  
- platform: atm90e32  
  id: chip1  
  phase_status:  
    phase_a:  
      name: "Phase A Status"  
    phase_b:  
      name: "Phase B Status"  
    phase_c:  
      name: "Phase C Status"
```

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```
freq_status:  
  name: "Frequency Status"
```

Конфігураційні змінні:

id (Необов'язково, ID): Ідентифікатор датчика atm90e32, визначеного вище. Обов'язковий, якщо використовується більше одного датчика.

– phase_status (Необов'язково): Вмикає умови стану для кожної фази:

– phase_a (Необов'язково): Поле стану фази А. Усі параметри з

Текстового датчика.

Буде повідомляти:

– Перевищення струму: Фіксується, якщо струм ≥ 65.53 А.

– Перевищення напруги / провал напруги: Залежить від налаштованої частоти мережі. Наприклад:

– При 60 Гц (очікувана напруга 120 В): провал $< 78\%$, перевищення $> 122\%$.

– При 50 Гц (очікувана напруга 220 В): провал $< 78\%$, перевищення $> 122\%$.

– Втрата фази: Вказує, якщо фаза зникла.

– Якщо жодна з умов не виконана — датчик повідомляє Нормально.

phase_b (Необов'язково): Стан фази В. Такі ж параметри, як і для фази А.

phase_c (Необов'язково): Стан фази С. Такі ж параметри, як і для фази А.

– frequency_status (Необов'язково): Повідомляє про стан на основі частотних порогів. Усі параметри з Текстового датчика.

– Для систем на 50 Гц:

– НИЗЬКА, якщо частота ≤ 47 Гц

– ВИСОКА, якщо частота ≥ 53 Гц

– Для систем на 60 Гц:

– НИЗЬКА, якщо частота ≤ 57 Гц

– ВИСОКА, якщо частота ≥ 63 Гц

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Якщо частота в межах очікуваного діапазону — результат буде Нормально.

Кнопка

button:

```
- platform: atm90e32
  id: chip1
  run_gain_calibration:
    name: "Run Gain Calibration"
  clear_gain_calibration:
    name: "Clear Gain Calibration"
  run_offset_calibration:
    name: "Run Offset Calibration"
  clear_offset_calibration:
    name: "Clear Offset Calibration"
  run_power_offset_calibration:
    name: "Run Power Offset Calibration"
  clear_power_offset_calibration:
    name: "Clear Power Offset Calibration"
```

Конфігураційні змінні:

– id (Необов’язково, ID): Ідентифікатор датчика atm90e32, визначеного вище. Обов’язковий, якщо використовується більше одного датчика.

– run_gain_calibration (Необов’язково): Кнопка для запуску калібрування коефіцієнта підсилення. Параметр enable_gain_calibration має бути встановлений у True. Значення можуть бути збережені назавжди в gain_voltage та gain_ct. Доступні всі параметри з Button.

– clear_gain_calibration (Необов’язково): Кнопка для очищення калібрування коефіцієнта підсилення з флеш-пам’яті та використання значень за замовчуванням або тих, що визначені в gain_voltage та gain_ct. Доступні всі параметри з Button.

– run_offset_calibration (Необов’язково): Кнопка для запуску калібрування зсуву. Параметр enable_offset_calibration має бути встановлений у True. Значення можуть бути збережені назавжди в offset_voltage та offset_current. Доступні всі параметри з Button.

– clear_offset_calibration (Необов’язково): Кнопка для очищення калібрування зсуву з флеш-пам’яті та використання значень за замовчуванням

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

або тих, що визначені в `offset_voltage` та `offset_current`. Доступні всі параметри з `Button`.

– `run_power_offset_calibration` (Необов'язково): Кнопка для запуску калібрування зсуву потужності. Параметр `enable_offset_calibration` має бути встановлений у `True`. Значення можуть бути збережені назавжди в `offset_active_power` та `offset_reactive_power`. Доступні всі параметри з `Button`.

– `clear_power_offset_calibration` (Необов'язково): Кнопка для очищення калібрування зсуву потужності з флеш-пам'яті та використання значень за замовчуванням або тих, що визначені в `offset_active_power` та `offset_reactive_power`. Доступні всі параметри з `Button`.

Number

Сутності типу `number` можуть бути налаштовані для надання довідкових значень напруги та струму калібрування під час роботи.

```
number:
- platform: atm90e32
  id: chip1
  reference_voltage:
    phase_a:
      name: "Phase A Ref Voltage"
    phase_b:
      name: "Phase B Ref Voltage"
    phase_c:
      name: "Phase C Ref Voltage"
  reference_current:
    phase_a:
      name: "Phase A Ref Current"
    phase_b:
      name: "Phase B Ref Current"
    phase_c:
      name: "Phase C Ref Current"
```

Змінні конфігурації:

`id` (Необов'язково, ID): Ідентифікатор датчика `atm90e32`, визначений вище. Обов'язковий, якщо використовується більше одного датчика.

`reference_voltage` (Необов'язково): Точна калібрувальна настройка коефіцієнта підсилення для відомої напруги, до якої підключено

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

трансформатор напруги. Використовується для обчислення значення `gain_voltage`. Використовується разом з кнопкою `run_gain_calibration`. `enable_gain_calibration` має бути встановлений в `True`. Для кожної фази за замовчуванням: `min_value: 100`, `max_value: 200`, `mode: box`, `optimistic: True`, `step: 0.1`.

`phase_a` (Необов'язково): Поле еталонної напруги для фази А. Всі параметри типу `Number`.

`phase_b` (Необов'язково): Поле еталонної напруги для фази В. Якщо не вказано, використовується значення з `phase_a` (у 6-канальному лічильнику `CircuitSetup` фази напруги пов'язані між собою). Всі параметри типу `Number`.

`phase_c` (Необов'язково): Поле еталонної напруги для фази С. Якщо не вказано, використовується значення з `phase_a`. Всі параметри типу `Number`.

`reference_current` (Необов'язково): Точна калібрувальна настройка коефіцієнта підсилення для відомого струму в колі, який вимірює трансформатор струму (СТ). Використовується для обчислення значення `gain_ct`. Використовується разом з кнопкою `run_gain_calibration`. `enable_gain_calibration` має бути `True`. Для кожної фази за замовчуванням: `min_value: 1`, `max_value: 200`, `mode: box`, `optimistic: True`, `step: 0.1`.

`phase_a` (Необов'язково): Поле еталонного струму для фази А. Всі параметри типу `Number`.

`phase_b` (Необов'язково): Поле еталонного струму для фази В. Всі параметри типу `Number`.

`phase_c` (Необов'язково): Поле еталонного струму для фази С. Всі параметри типу `Number`.

Калібрування

Щоб отримати точні вимірювання напруги та струму, рекомендується калібрувати трансформатор напруги та струмові кліщі (СТ). ESPHome підтримує автоматичне калібрування коефіцієнта підсилення та зсуву для лічильників на базі ATM90E32.

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

Для використання цих функцій переконайтеся, що:

- enable_gain_calibration та/або enable_offset_calibration встановлені в true.

- Налаштовані відповідні кнопки калібрування та поля еталонних значень.

- Використовуються надійні еталонні пристрої (Kill-A-Watt, мультиметр, відоме навантаження).

За замовчуванням конфігурація призначена для:

- Трансформатор струму: SCT-013-000

- Трансформатор напруги: Jameco Reliapro 9V AC

Для калібрування можна використовувати навантаження з відомим струмом. Для більш точної калібрування рекомендується використовувати Kill-A-Watt або мультиметр, що вимірює мережеву напругу.

4.2.2.1. Напруга

Використовуйте очікувану мережеву напругу у вашому регіоні (110V/230V), надійний мультиметр або підключіть Kill-A-Watt і виберіть напругу для отримання фактичного еталонного значення напруги. Введіть це значення у поле reference_voltage на сторінці пристрою в Home Assistant.

При натисканні кнопки Run Gain Calibration програма виконує обчислення:

Новий $\text{gain_voltage} = (\text{ваше виміряне значення напруги} / \text{виміряне ESPHome значення}) * \text{існуюче значення gain_voltage}$

Нове значення коефіцієнта підсилення напруги зберігається у флеш-пам'яті ESP і застосовується одразу. Результат можна побачити у логах ESPHome.

Скопіюйте це значення у gain_voltage у вашому YAML-конфігу, щоб зберегти його після оновлень (OTA оновлення не очищують флеш).

Поширені калібрувальні значення напруги для Split Single Energy Meter:

- Для лічильника $\leq v1.3$:

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- 42080 - 9V AC трансформатор - Jamesco 112336
- 32428 - 12V AC трансформатор - Jamesco 167151
- Для лічильника > v1.4:
- 37106 - 9V AC трансформатор - Jamesco 157041
- 38302 - 9V AC трансформатор - Jamesco 112336
- 29462 - 12V AC трансформатор - Jamesco 167151
- Для лічильників >= v1.4 rev.3
- 3920 - 9V AC трансформатор - Jamesco 157041

Поширені калібрувальні значення напруги для Expandable 6 Channel Energy Meter:

- Для лічильника <= v1.2:
- 42080 - 9V AC трансформатор - Jamesco 112336
- 32428 - 12V AC трансформатор - Jamesco 167151
- Для лічильника > v1.3:
- 7305 - 9V AC трансформатор - Jamesco 157041

4.2.2.2. Струм

Підключіть трансформатор струму навколо проводу з відомим або вимірним навантаженням (наприклад, обігрівач або фен). Введіть це значення у відповідне поле reference_current на сторінці пристрою в Home Assistant. Порожні поля еталонних значень не будуть враховані при розрахунках.

При натисканні Run Gain Calibration програма виконує обчислення:

Новий gain_ct = (ваше вимірне значення струму / вимірне ESPHome значення) * існуюче значення gain_ct

Нове значення коефіцієнта підсилення струму зберігається у флеш-пам'яті ESP і застосовується одразу. Результат можна побачити у логах ESPHome.

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Поширені калібрувальні значення струму для Split Single Phase Energy Meter (при gain_pga=4X):

– 200A/100mA SCT-024: 12597

Поширені калібрувальні значення струму для Split Single Phase Energy Meter (при gain_pga=2X):

– 20A/25mA SCT-006: 10170

– 100A/50mA SCT-013-000: 25498

– 120A/40mA SCT-016: 39473

– Magnalab 100A: 46539

Поширені калібрувальні значення струму для Expandable 6 Channel Energy Meter (при gain_pga=1X):

– 20A/25mA SCT-006: 11131

– 30A/1V SCT-013-030: 8650

– 50A/1V SCT-013-050: 15420

– 80A/26.6mA SCT-010: 41996 (буде насичення при $2^{16}/10^3$ ампер)

– 100A/50mA SCT-013-000: 27961

– 120A/40mA SCT-016: 41880

– 200A/100mA SCT-024: 27518

– 200A/50mA SCT-024: 55036

4.2.2.3. Активна енергія

Мікросхема АТМ90Е32 має вбудовану високоточну здатність підрахунку спожитої енергії по кожній фазі. Для кожної фази рахується як Пряма (Forward), так і Зворотна (Reverse) активна енергія у ват-годинах. Пряма активна енергія використовується для підрахунку спожитої енергії, а зворотна — для підрахунку експорту енергії (наприклад, при встановленні сонячних панелей). Лічильники скидаються після кожного зчитування.

Поточна реалізація орієнтована на користувачів, які регулярно отримують значення енергії та зберігають їх у базі даних часових рядів (наприклад, InfluxDB)

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

sensor:
#IC1 Main
- platform: atm90e32
  cs_pin: GPIOXX
  phase_a:
    forward_active_energy:
      name: ${disp_name} ct1 FAWattHours
      id: ct1FAWattHours
      state_topic: ${disp_name}/ct1/forward_active_energy
    reverse_active_energy:
      name: ${disp_name} ct1 RAWattHours
      id: ct1RAWattHours
      state_topic: ${disp_name}/ct1/reverse_active_energy

```

Якщо використовуються конфігураційні змінні power, power_factor, reactive_power, forward_active_energy або reverse_active_energy, слід дбати про те, щоб напруга, що подається на АТМ90Е32, була з тієї ж фази, на якій встановлений трансформатор струму. Це особливо важливо для розділенофазних або багатофазних систем. У будинку з 240 В розділенофазною проводкою (дуже поширено в США), простий тест — це поміняти орієнтацію трансформатора струму на лінії. Якщо коефіцієнт потужності (power factor) не змінює знак, швидше за все, напруга, подана на АТМ90Е32, надходить з іншої фази.

Плата CircuitSetup Expandable 6 channel легко справляється з цією ситуацією — потрібно розрізати перемички JP12/13, щоб подати окремий сигнал VA2 на контакти J3. Переконайтеся, що затискачі струму, підключені до СТ 1-3, знаходяться на фазі, з якої подається VA (через роз'єм barrel jack), а ті, що підключені до СТ3-6, — на фазі, з якої подається VA2. Детальніше дивіться у репозиторії CircuitSetup.

Якщо використовується стек із кількох плат, пам'ятайте розрізати JP12/13 на всіх платах і подавати VA2 на кожну плату. VA подається на всі плати через роз'єми для стекування. Ще одна деталь — кожен трансформатор напруги має мати однакову полярність; якщо полярність переплутати, це те ж саме, що підключити до неправильної фази.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зверніть увагу, що вимір струму — це RMS-значення, тому завжди позитивне. Єдиний спосіб визначити напрямок струму — дивитися на коефіцієнт потужності. Якщо навантаження переважно резистивне і немає джерел живлення (PF майже 1), простіше створити шаблонний сенсор, який обчислює потужність за формулою $I_{rms} \cdot V_{rms}$, і не звертати уваги на всі ці деталі. Однак можна здивуватися, наскільки багато реактивних навантажень існує, і конструкції CircuitSetup добре справляються з такими ситуаціями.

4.2.2.4. Гармонійна потужність

Гармонійна потужність в системах змінного струму означає відхилення від ідеальної синусоїдальної форми сигналу, що викликані кратними частотами основної частоти. Вона виникає через нелінійні навантаження і може призводити до таких проблем, як спотворення напруги, перегрів обладнання та неправильна робота захисних пристроїв. АТМ90Е32 може видавати розширені вимірювання гармонійної потужності, що дає важливі аналітичні дані для моніторингу аномалій у мережі.

```
sensor:
- platform: atm90e32
  phase_a:
    harmonic_power:
      name: ${disp_name} CT1 Harmonic Power
```

4.2.2.5. Фазовий кут

Фазовий кут в змінних електричних системах представляє собою кутове зміщення синусоїдальної хвилі відносно контрольної точки. Це вимір різниці в часі між напругою та струмом. Фазовий кут має важливе значення для оцінки коефіцієнта потужності та ефективної передачі електроенергії. Ця розширена функція вимірювання доступна в пристрої АТМ90Е32.

Приклад фазового кута

```
sensor:
- platform: atm90e32
  phase_a:
    phase_angle:
      name: ${disp_name} L1 Phase Angle
```

4.2.2.6. Пік струму

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Пік струму в системах змінного струму означає максимальне значення хвилі струму. Він позначає найвищу амплітуду, яку досягає струм під час кожного циклу синусоїдальної хвилі. Пік струму важливий для правильного підбору компонентів та оцінки потужності електричного обладнання в системі. Це розширене вимірювання доступне за допомогою АТМ90Е32. Пік струму можна відображати у знаковому або беззнаковому форматі, використовуючи булевий параметр, який охоплює всі фази. За замовчуванням параметр встановлено в false, що означає беззнаковий формат.

Приклад піку струму:

```
sensor:
- platform: atm90e32
  phase_a:
    peak_current:
      name: ${disp_name} CT1 Peak Current
  peak_current_signed: True
```

Додаткові приклади

```
# Example configuration entry for split single phase meter
spi:
  clk_pin: GPIOXX
  miso_pin: GPIOXX
  mosi_pin: GPIOXX

sensor:
- platform: atm90e32
  cs_pin: GPIOXX
  phase_a:
    voltage:
      name: "EMON Line Voltage A"
    current:
      name: "EMON CT1 Current"
    power:
      name: "EMON Active Power CT1"
    reactive_power:
      name: "EMON Reactive Power CT1"
    power_factor:
      name: "EMON Power Factor CT1"
  gain_voltage: 3920
  gain_ct: 39473
  phase_c:
    current:
```

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    name: "EMON CT2 Current"
  power:
    name: "EMON Active Power CT2"
  reactive_power:
    name: "EMON Reactive Power CT2"
  power_factor:
    name: "EMON Power Factor CT2"
  gain_voltage: 3920
  gain_ct: 39473
  frequency:
    name: "EMON Line Frequency"
  chip_temperature:
    name: "EMON Chip Temperature"
  line_frequency: 50Hz
  current_phases: 2
  gain_pga: 2X
  update_interval: 60s
# Example configuration CircuitSetup 6 Channel Energy Meter Main Board with
power quality parameters
substitutions:
  disp_name: energy-meter
  friendly_name: "CircuitSetup Energy Meter"
  update_time: 60s
  current_cal_ct1: '27518'
  current_cal_ct2: '27518'
  current_cal_ct3: '27518'
  current_cal_ct4: '27518'
  current_cal_ct5: '27518'
  current_cal_ct6: '27518'
  voltage_cal1: '7305'
  voltage_cal2: '7305'

  main_meter_name1: Meter 1-3
  main_meter_name2: Meter 4-6
  main_meter_id1: meter_main1
  main_meter_id2: meter_main2
  ct1_name: CT1
  ct2_name: CT2
  ct3_name: CT3
  ct4_name: CT4
  ct5_name: CT5
  ct6_name: CT6

spi:
  clk_pin: 18

```

					172.4391.KP.Π3.P4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

miso_pin: 19
mosi_pin: 23

sensor:
#IC1
- platform: atm90e32
  cs_pin: 5
  id: ${main_meter_id1}
  phase_a:
    voltage:
      name: Voltage 1
      id: ic1Volts
      accuracy_decimals: 1
    current:
      name: ${ct1_name} Amps
      id: ct1Amps
# The max value for current that the meter can output is 65.535. If you
expect to measure current over 65A,
# divide the gain_ct by 2 (120A CT) or 4 (200A CT) and multiply the current
and power values by 2 or 4 by uncommenting the filter below
#     filters:
#         - multiply: 2
    power:
      name: ${ct1_name} Watts
      id: ct1Watts
#     filters:
#         - multiply: 2
    reactive_power:
      name: ${ct1_name} VAR
    apparent_power:
      name: ${ct1_name} VA
    harmonic_power:
      name: ${ct1_name} Harmonic Power
    power_factor:
      name: ${ct1_name} PF
    phase_angle:
      name: ${ct1_name} Phase Angle
    peak_current:
      name: ${ct1_name} Peak Current
    gain_voltage: ${voltage_cal1}
    gain_ct: ${current_cal_ct1}
    offset_voltage: 0
    offset_current: 0
    offset_active_power: 0
    offset_reactive_power: 0

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

phase_b:
  current:
    name: ${ct2_name} Amps
    id: ct2Amps
  power:
    name: ${ct2_name} Watts
    id: ct2Watts
  reactive_power:
    name: ${ct2_name} VAR
  apparent_power:
    name: ${ct2_name} VA
  harmonic_power:
    name: ${ct2_name} Harmonic Power
  power_factor:
    name: ${ct2_name} PF
  phase_angle:
    name: ${ct2_name} Phase Angle
  peak_current:
    name: ${ct2_name} Peak Current
  gain_voltage: ${voltage_cal1}
  gain_ct: ${current_cal_ct2}
  offset_voltage: 0
  offset_current: 0
  offset_active_power: 0
  offset_reactive_power: 0
phase_c:
  current:
    name: ${ct3_name} Amps
    id: ct3Amps
  power:
    name: ${ct3_name} Watts
    id: ct3Watts
  reactive_power:
    name: ${ct3_name} VAR
  apparent_power:
    name: ${ct3_name} VA
  harmonic_power:
    name: ${ct3_name} Harmonic Power
  power_factor:
    name: ${ct3_name} PF
  phase_angle:
    name: ${ct3_name} Phase Angle
  peak_current:
    name: ${ct3_name} Peak Current
  gain_voltage: ${voltage_cal1}

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

    gain_ct: ${current_cal_ct3}
    offset_voltage: 0
    offset_current: 0
    offset_active_power: 0
    offset_reactive_power: 0
frequency:
  name: Frequency 1
chip_temperature:
  name: ${main_meter_name1} Chip Temp
line_frequency: 60Hz
gain_pga: 1X
update_interval: ${update_time}
enable_offset_calibration: true
enable_gain_calibration: true
#IC2
- platform: atm90e32
  cs_pin: 4
  id: ${main_meter_id2}
  phase_a:
#this voltage is only needed if monitoring 2 voltages
#  voltage:
#    name: Voltage 2
#    id: ic2Volts
#    accuracy_decimals: 1
  current:
    name: ${ct4_name} Amps
    id: ct4Amps
  power:
    name: ${ct4_name} Watts
    id: ct4Watts
  reactive_power:
    name: ${ct4_name} VAR
  apparent_power:
    name: ${ct4_name} VA
  harmonic_power:
    name: ${ct4_name} Harmonic Power
  power_factor:
    name: ${ct4_name} PF
  phase_angle:
    name: ${ct4_name} Phase Angle
  peak_current:
    name: ${ct4_name} Peak Current
  gain_voltage: ${voltage_cal2}
  gain_ct: ${current_cal_ct4}
  offset_voltage: 0

```

					172.4391.KP.П3.P4	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

offset_current: 0
offset_active_power: 0
offset_reactive_power: 0
phase_b:
  current:
    name: ${ct5_name} Amps
    id: ct5Amps
  power:
    name: ${ct5_name} Watts
    id: ct5Watts
  reactive_power:
    name: ${ct5_name} VAR
  apparent_power:
    name: ${ct5_name} VA
  harmonic_power:
    name: ${ct5_name} Harmonic Power
  power_factor:
    name: ${ct5_name} PF
  phase_angle:
    name: ${ct5_name} Phase Angle
  peak_current:
    name: ${ct5_name} Peak Current
gain_voltage: ${voltage_cal2}
gain_ct: ${current_cal_ct5}
offset_voltage: 0
offset_current: 0
offset_active_power: 0
offset_reactive_power: 0
phase_c:
  current:
    name: ${ct6_name} Amps
    id: ct6Amps
  power:
    name: ${ct6_name} Watts
    id: ct6Watts
  reactive_power:
    name: ${ct6_name} VAR
  apparent_power:
    name: ${ct6_name} VA
  harmonic_power:
    name: ${ct6_name} Harmonic Power
  power_factor:
    name: ${ct6_name} PF
  phase_angle:
    name: ${ct6_name} Phase Angle

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

    peak_current:
        name: ${ct6_name} Peak Current
    gain_voltage: ${voltage_cal2}
    gain_ct: ${current_cal_ct6}
    offset_voltage: 0
    offset_current: 0
    offset_active_power: 0
    offset_reactive_power: 0
#this is only needed if monitoring 2 voltages
#   frequency:
#       name: Frequency 2
    chip_temperature:
        name: ${main_meter_name2} Chip Temp
    line_frequency: 60Hz
    gain_pga: 1X
    update_interval: ${update_time}
    enable_offset_calibration: true
    enable_gain_calibration: true

#Total Amps
- platform: template
  name: ${friendly_name} Total Amps
  id: totalAmps
  lambda: return id(ct1Amps).state + id(ct2Amps).state + id(ct3Amps).state
+ id(ct4Amps).state + id(ct5Amps).state + id(ct6Amps).state ;
  accuracy_decimals: 2
  unit_of_measurement: A
  device_class: current
  update_interval: ${update_time}

#Total Watts
- platform: template
  name: ${friendly_name} Total Watts
  id: totalWatts
  lambda: return id(ct1Watts).state + id(ct2Watts).state +
id(ct3Watts).state + id(ct4Watts).state + id(ct5Watts).state +
id(ct6Watts).state ;
  accuracy_decimals: 1
  unit_of_measurement: W
  device_class: power
  update_interval: ${update_time}

#kWh
- platform: total_daily_energy
  name: ${friendly_name} Total kWh
  power_id: totalWatts
  filters:

```

```

    - multiply: 0.001
    unit_of_measurement: kWh
    device_class: energy
    state_class: total_increasing

text_sensor:
  - platform: atm90e32
    id: ${main_meter_id1}
    phase_status:
      phase_a:
        name: "${ct1_name} Status"
      phase_b:
        name: "${ct2_name} Status"
      phase_c:
        name: "${ct3_name} Status"
    frequency_status:
      name: "Frequency Status 1"

  - platform: atm90e32
    id: ${main_meter_id2}
    phase_status:
      phase_a:
        name: "${ct4_name} Status"
      phase_b:
        name: "${ct5_name} Status"
      phase_c:
        name: "${ct6_name} Status"
#this is only needed if monitoring 2 voltages
#  frequency_status:
#    name: "Frequency Status 2"

button:
  - platform: atm90e32
    id: ${main_meter_id1}
    run_gain_calibration:
      name: "Run ${main_meter_name1} Gain Calibration"
    clear_gain_calibration:
      name: "Clear ${main_meter_name1} Gain Calibration"
    run_offset_calibration:
      name: "Run ${main_meter_name1} Offset Calibration"
    clear_offset_calibration:
      name: "Clear ${main_meter_name1} Offset Calibration"
    run_power_offset_calibration:
      name: "Run ${main_meter_name1} Power Offset Calibration"
    clear_power_offset_calibration:

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    name: "Clear ${main_meter_name1} Power Offset Calibration"

- platform: atm90e32
  id: ${main_meter_id2}
  run_gain_calibration:
    name: "Run ${main_meter_name2} Gain Calibration"
  clear_gain_calibration:
    name: "Clear ${main_meter_name2} Gain Calibration"
  run_offset_calibration:
    name: "Run ${main_meter_name2} Offset Calibration"
  clear_offset_calibration:
    name: "Clear ${main_meter_name2} Offset Calibration"
  run_power_offset_calibration:
    name: "Run ${main_meter_name2} Power Offset Calibration"
  clear_power_offset_calibration:
    name: "Clear ${main_meter_name2} Power Offset Calibration"

number:
- platform: atm90e32
  id: ${main_meter_id1}
  reference_voltage:
    phase_a:
      name: "Ref Voltage 1"
  reference_current:
    phase_a:
      name: "${ct1_name} Ref Current"
    phase_b:
      name: "${ct2_name} Ref Current"
    phase_c:
      name: "${ct3_name} Ref Current"

- platform: atm90e32
  id: ${main_meter_id2}
  reference_voltage:
    phase_a:
      name: "Ref Voltage 2" #needed to calibrate voltage registers even if
not output
  reference_current:
    phase_a:
      name: "${ct4_name} Ref Current"
    phase_b:
      name: "${ct5_name} Ref Current"
    phase_c:
      name: "${ct6_name} Ref Current"

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

# Example configuration CircuitSetup 6 Channel Energy Meter Main Board + 1
add-on board

substitutions:
  disp_name: energy-meter
  friendly_name: CircuitSetup Energy Meter 12x
  update_time: 10s
  current_cal: '27518'
  voltage_cal: '7305'

sensor:
#IC1 Main
- platform: atm90e32
  cs_pin: 5
  phase_a:
    voltage:
      name: ${disp_name} Volts A
      id: ic1Volts
      accuracy_decimals: 1
    current:
      name: ${disp_name} CT1 Amps
      id: ct1Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT1 Watts
      id: ct1Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  phase_b:
    current:
      name: ${disp_name} CT2 Amps
      id: ct2Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT2 Watts
      id: ct2Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  phase_c:
    current:
      name: ${disp_name} CT3 Amps
      id: ct3Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT3 Watts
      id: ct3Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

frequency:
  name: ${disp_name} Frequency
line_frequency: 60Hz
gain_pga: 1X
update_interval: ${update_time}
#IC2 Main
- platform: atm90e32
  cs_pin: 4
  phase_a:
    current:
      name: ${disp_name} CT4 Amps
      id: ct4Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT4 Watts
      id: ct4Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  phase_b:
    current:
      name: ${disp_name} CT5 Amps
      id: ct5Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT5 Watts
      id: ct5Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  phase_c:
    current:
      name: ${disp_name} CT6 Amps
      id: ct6Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT6 Watts
      id: ct6Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  line_frequency: 60Hz
  gain_pga: 1X
  update_interval: ${update_time}
#IC1 AddOn
- platform: atm90e32
  cs_pin: 0
  phase_a:
    current:
      name: ${disp_name} CT7 Amps
      id: ct7Amps

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

power:
  name: ${disp_name} CT7 Watts
  id: ct7Watts
gain_voltage: ${voltage_cal}
gain_ct: ${current_cal}
phase_b:
  current:
    name: ${disp_name} CT8 Amps
    id: ct8Amps
  power:
    name: ${disp_name} CT8 Watts
    id: ct8Watts
gain_voltage: ${voltage_cal}
gain_ct: ${current_cal}
phase_c:
  current:
    name: ${disp_name} CT9 Amps
    id: ct9Amps
  power:
    name: ${disp_name} CT9 Watts
    id: ct9Watts
gain_voltage: ${voltage_cal}
gain_ct: ${current_cal}
line_frequency: 60Hz
gain_pga: 1X
update_interval: ${update_time}
#IC2 AddOn
- platform: atm90e32
  cs_pin: 16
  phase_a:
    current:
      name: ${disp_name} CT10 Amps
      id: ct10Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT10 Watts
      id: ct10Watts
gain_voltage: ${voltage_cal}
gain_ct: ${current_cal}
  phase_b:
    current:
      name: ${disp_name} CT11 Amps
      id: ct11Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT11 Watts
      id: ct11Watts

```

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  phase_c:
    current:
      name: ${disp_name} CT12 Amps
      id: ct12Amps
    power:
      name: ${disp_name} CT12 Watts
      id: ct12Watts
    gain_voltage: ${voltage_cal}
    gain_ct: ${current_cal}
  line_frequency: 60Hz
  gain_pga: 1X
  update_interval: ${update_time}

#Total Amps Main
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Amps Main
  id: totalAmpsMain
  lambda: return id(ct1Amps).state + id(ct2Amps).state + id(ct3Amps).state
+ id(ct4Amps).state + id(ct5Amps).state + id(ct6Amps).state ;
  accuracy_decimals: 2
  unit_of_measurement: A
  device_class: current
  update_interval: ${update_time}

#Total Amps AddOn
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Amps Add-on
  id: totalAmpsAddOn
  lambda: return id(ct7Amps).state + id(ct8Amps).state + id(ct9Amps).state
+ id(ct10Amps).state + id(ct11Amps).state + id(ct12Amps).state ;
  accuracy_decimals: 2
  unit_of_measurement: A
  device_class: current
  update_interval: ${update_time}

#Total Amps
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Amps
  id: totalAmps
  lambda: return id(totalAmpsMain).state + id(totalAmpsAddOn).state ;
  accuracy_decimals: 2
  unit_of_measurement: A
  device_class: current
  update_interval: ${update_time}

```

```

#Total Watts Main
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Watts Main
  id: totalWattsMain
  lambda: return id(ct1Watts).state + id(ct2Watts).state +
id(ct3Watts).state + id(ct4Watts).state + id(ct5Watts).state +
id(ct6Watts).state ;
  accuracy_decimals: 1
  unit_of_measurement: W
  device_class: power
  update_interval: ${update_time}

#Total Watts AddOn
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Watts Add-on
  id: totalWattsAddOn
  lambda: return id(ct7Watts).state + id(ct8Watts).state +
id(ct9Watts).state + id(ct10Watts).state + id(ct11Watts).state +
id(ct12Watts).state ;
  accuracy_decimals: 1
  unit_of_measurement: W
  device_class: power
  update_interval: ${update_time}

#Total Watts
- platform: template
  name: ${disp_name} Total Watts
  id: totalWatts
  lambda: return id(totalWattsMain).state + id(totalWattsAddOn).state ;
  accuracy_decimals: 1
  unit_of_measurement: W
  device_class: power
  update_interval: ${update_time}

#kWh
- platform: total_daily_energy
  name: ${disp_name} Total kWh
  power_id: totalWatts
  filters:
    - multiply: 0.001
  unit_of_measurement: kWh
  device_class: energy
  state_class: total_increasing

```

					172.4391.КР.ПЗ.Р5			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробник		Павлов В. Г.						
Консультант		Тубальцев А. М.					84	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Дьяконов О. С.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Вступ до розділу «Охорона праці»

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Під умовами праці розуміють сукупність факторів виробничого середовища, що впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі праці. Цілком безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задача охорони праці – звести до мінімального значення ймовірність ураження чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах, приведе до травми або до іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Результатом впливу небезпечного виробничого фактора на людину є нещасний випадок.

Шкідливим виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до захворювання, або до зниження працездатності. Результатом впливу такого фактора є професійне захворювання. В залежності від рівня і тривалості дії шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

Будь-яка виробнича діяльність пов'язана з використанням певного обладнання і матеріалів, що в процесі роботи можуть утворювати шкідливий виробничий фактор, а також з певною організацією праці, що може негативно впливати на персонал.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.2. Аналіз небезпечних факторів, впливаючих на оператора системи при експлуатації

На користувачів персональних комп'ютерів (ПК) впливають наступні фактори виробничого середовища:

- електронебезпечність;
- шум;
- освітленість;
- пожежна небезпечність;
- статична електрика;
- електромагнітні поля і випромінювання;
- пил (вентиляція);
- робоче середовище.

5.2.1. Робоче місце

Відповідно до законодавчих актів площа робочого місця користувача ПК повинна складати не менше 4,5 м². У приміщеннях повинні проводитися щоденне вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи. Шумляче устаткування (друкуючі пристрої, сканери, сервери і тому подібні), рівні шуму якого перевищують нормативні, повинне розміщуватися поза робочими місцями співробітників.

Робочі столи слід розміщувати так, щоб монітори були орієнтовані бічною стороною до світлових отворів, щоб природне світло падало переважно зліва. При розміщенні робочих місць відстань між робочими столами має бути не менше 2,0 м, а відстань між бічними поверхнями моніторів — не менше 1,2 м. Робочі місця співробітників, що виконують творчу роботу, яка вимагає значної розумової напруги або високої концентрації уваги, рекомендується ізолювати один від одного перегородками заввишки від 1,5 м. Конструкція робочого столу повинна забезпечувати

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		86

оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного устаткування. Висота робочої поверхні столу повинна складати 725 мм, робоча поверхня столу повинна мати ширину 800..1400 мм і глибину 800..1000 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше 600 мм, шириною — не менше 500 мм, завглибшки на рівні колін — не менше 450 мм і на рівні витягнутих ніг — не менше 650 мм.

Конструкція робочого стільця або крісла повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози працівника і дозволяти змінювати позу з метою зниження статичної напруги м'язів шийно-плечової області і спини. Робочий стілець або крісло мають бути підйимально-поворотними, регульованими по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра має бути незалежним, легко здійснюваним і мати надійну фіксацію.

Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100..300 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній поверхні, відокремленій від основної столешниці. Екран монітора повинен знаходитися від очей користувача на відстані 600..700 мм, але не ближче 500. Користувачеві постійно доводиться вдивлятися в лінії і букви на екрані, що приводить до підвищеної напруги очних м'язів. У цьому плані всі дисплеї шкідливі для очей. Проблема полягає в особливостях будови зорового апарату людини. Абсолютна більшість користувачів жмуряться при роботі за комп'ютером, навіть якщо самі не усвідомлюють цього. Чим сильніше за чоловік жмуриться - тим рідше він моргає.

Сама по собі така тенденція не небезпечна, проте в результаті недостатнього зволоження очей у користувачів виникає відчуття сильного дискомфорту, "піску в очах". Це може привести до астенопії (зорового стомлення). Якщо в результаті роботи на комп'ютері регулярно

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		87

перенавантажувати очі, то у результаті погіршується зір. Очі починають слізотитися, з'являється головний біль, стомлення, двоїння зображення.

Позначається на перенапруженні очей і той факт, що монітор надовго приковує до себе увагу оператора, що є причиною тривалої нерухомості очних і внутрішньо-очних м'язів, тоді як вони потребують динамічного режиму роботи. Це приводить до їх послаблення. Існують комп'ютерні програми, що імітують відпочинок для очей. Важко сказати, наскільки вони дієві. Напевно, краще ті ж 10 хвилин відпочити по-справжньому, ніж роздивлятися екран з імітацією відпочинку.

З метою збереження здоров'я працівників, працедавець зобов'язаний проводити періодичні медогляди. До роботи з ПК не повинні допускатися особи, що мають наступні захворювання: гострота зору менше 0;5 Д на одному оці і 0;2 Д на іншому (при попередньому мед; огляді), не менше 0;4 Д на одному оці і 0;2 Д на іншому оці (при періодичних мед; оглядах); аномалії рефракції: міопія не більше 8;0 Д, гиперметропія не більше 8;0 Д, астигматизм не більше 3;0 Д (при попередньому медичному огляді); зниження акомодатії нижче вікових норм; порушення сприйняття кольорів; хронічні запальні або алергічні захворювання захисного апарату або оболонок очного яблука; захворювання зорового нерва, сітківки; наростаючий офтальмотонус; лагофталм; глаукома.

5.2.2. Електрична безпека

Широке застосування електрики змушує приділяти велику увагу питанням електричної безпеки. Вплив струмом може привести до електричної травми, тобто ушкодженню організму електричним струмом, чи електричною дугою (ДСТ 12.1.009-76). Винятково важливе значення для запобігання електричного травматизму має правильна організація обслуговування діючих електричних установок, яка установлена "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів" і "Правилами установки електрообладнання". Лабораторія відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Для запобігання електротравматизму необхідно застосовувати найбільш дешевий і ефективний спосіб захисту, яким є захисне заземлення. Принцип дії заземлення полягає в багаторазовому зменшенні струму, що протікає через людину у випадку витоку струму.

5.2.3. Шум

Шум на виробництві завдає великої шкоди, шкідливо діючи на організм людини і знижуючи продуктивність праці до 40 - 60%. Стонлення робітників через сильний шум збільшує число помилок при роботі, сприяє виникненню травм.

Відповідно до Держстандарту 12.1.001-83 нормованою шумовою характеристикою робочих місць при постійному шумі є рівень звукового тиску в октавних смугах, виражений у децибелах (дБ). Сукупність таких рівнів називається граничним спектром, номер якого чисельно дорівнює рівню звукового тиску в октавній смузі з середньгеометричною частотою 1000 Гц.

З фізіологічної точки зору шум розглядають як звук, що заважає розмовній мові і негативно впливає на здоров'я людини. Основними фізичними величинами, що характеризують шум у якій-небудь точці простору, з погляду впливу на людину, є:

- інтенсивність;
- звуковий тиск;
- частота.

Відповідно до ДСТ 12.1.003-83, захист від шуму на робочому місці здійснюється наступними методами:

- зменшення шуму;
- застосування засобів колективного захисту (ДСТ 12.1.0280);
- застосування засобів індивідуального захисту (ДСТ 12.4.051-87);
- раціональне планування приміщень;
- акустична обробка приміщень.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для боротьби із шумом необхідно застосовувати наступні заходи:

- збільшення звукоізоляції конструкцій, що огорожують;
- ущільнення по периметру дверей, що перекривають проходи;
- зменшення джерел шуму шляхом застосування прокладок з еластичних матеріалів, звукових екранів.

У приміщенні встановлено комп'ютери типу IBM PC й лазерні принтери. Рівень шуму, спричинений комп'ютером, становить близько 10 Дб, принтером - близько 15 Дб. Принтер є джерелом «механічного» шуму, викликаного механізмом, який подає папір. Комп'ютер генерує в основному аеродинамічний шум, викликаний рухом повітря в системі охолодження машини. Сумарний рівень шуму, одержаний в результаті накладення звукових хвиль одна на одну, в серверному приміщенні складе 45 дБ, що нижче допустимого мінімального рівня 50 дБ за ДСТ 20.445-75.

5.2.4. Вентиляція

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщень, тобто просторі висотою до 2 м над рівнем підлоги чи площадки, де знаходяться робочі місця.

Атмосферне повітря у своєму складі містить (% за обсягом): азоту – 78,08; кисню – 20,95; аргону, неону й інших інертних газів – 0,93; вуглекислого газу – 0,03; інших газів – 0,01. Повітря такого складу найбільш сприятливе для дихання.

У приміщенні необхідно забезпечити прилив свіжого повітря, кількість якого визначається техніко-економічним розрахунком і вибором схеми вентиляції.

Вентиляція – організований повітрообмін, що полягає у видаленні з робочого приміщення забрудненого повітря і подачі замість нього свіжого зовнішнього чи очищеного повітря. У залежності від призначення, вентиляція буває: приточна; витяжна.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Необхідно приділити увагу обмеженню кількості пилу в повітрі, тому що це безпосередньо впливає на надійність і ресурс експлуатації устаткування.

5.2.5. Пожежна безпека

Запобігання пожежі досягається виключенням утворення запального середовища і джерел загоряння. Пожежний захист реалізується:

- застосуванням незапальних речовин і матеріалів;
- обмеженням поширення пожежі;
- створенням умов для евакуації людей;
- застосування протидимового захисту;
- застосування пожежної сигналізації.

Для ліквідації пожеж застосовуються наступні засоби пожежогасіння:

- внутрішні пожежні водоводи;
- вогнегасники ручні і пересувні;
- сухий пісок;
- азбестові ковдри.

Пожежні крани встановлюють у коридорах і нішах на висоті 1,35 м, де також знаходяться пожежний рукав з пожежним стволом. Застосовуються пінні вогнегасники ОХП – 10, ОХВП – 10 і ручні вуглекислотні вогнегасники ОУ – 2, ОУ – 5, ОУ – 8. Ручні вогнегасники встановлюють у приміщенні з розрахунку один вогнегасник на 40 – 50 м² площі, але не менше 2-х у приміщенні.

Для гасіння електроустановок під напругою застосовують тільки вуглекислотні вогнегасники, тому що електропровідність вуглекислоти дуже низька.

5.2.6. Статична електрика

Для запобігання утворенню і захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори й зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття. Захист повинний проводитися відповідно до

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

санітарно-гігієнічних норм напруженості електростатичного поля - рівень напруженості не повинний перевищувати 20 кВ/м в продовж години.

5.2.7. Освітлення

Велике значення має виробниче освітлення. Правильно спроектоване і виконане освітлення забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Збереження зору людини, стан його центральної нервової системи і безпека на виробництві значною мірою залежать від умов освітлення.

Використовується як природне так і штучне освітлення.

В приміщенні комп'ютерної лабораторії використовується одностороннє природне фронтальне освітлення через два вікна загальною площею 7 м².

Вважається, що при роботі з дисплеями площа світлових прорізів у приміщенні повинна становити 25% площі підлоги. Площа лабораторії 25 м², площа світлових прорізів становить 7 м², що становить 28% , отже природне висвітлення відповідає умовам праці.

При недостатньому природному освітленню та роботі в вечірній час використовується штучне освітлення, що здійснюється за допомогою освітлювальних приладів загального призначення.

По конструктивному виконанню штучне освітлення може бути загальним і комбінованим. При загальній освітленості, усі робочі місця одержують робоче освітлення від загального джерела. Комбіноване освітлення, поряд із загальним включає місцеве освітлення робочого місця. Виходячи з вимог відсутності відблисків і рівномірності освітлення, доцільно вибрати загальне штучне освітлення.

Для штучного освітлення приміщень варто застосовувати головним чином люмінесцентні лампи, у яких висока світлова віддача, тривалий термін служби, мала яскравість освітленої поверхні, близький до природного спектральний склад. Найбільш прийнятні лампи ЛБ (біле світло) і ЛТБ (тепле біле світло) потужністю 20, 40 чи 80 Вт. Система загального штучного

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

освітлення повинна бути виконана стельовими чи підвісними лампами, розміщеними паралельно світловим проймам і рівномірно по стелі.

5.2.8. Професійні захворювання

Негативні фактори впливу на здоров'я. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) роботу з персональним комп'ютером віднесла до небезпечних, бо їй притаманний фактор постійно діючого стресу. Із-за цього небезпеці піддаються всі життєво важливі органи людини, з'являється ризик виникнення серйозних хвороб.

Електромагнітні поля біля комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на людину і в першу чергу на її центральну нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу. Причому нервова система реагує навіть на короткі за тривалістю впливи слабких полів: змінюється гормональний стан організму, порушуються біоструми мозку. Це призводить до погіршення зору, ускладненню серцево-судинних захворювань, зниженню імунітету, виникають негативні впливи на плин вагітності.

Характерною рисою професії оператора ПК є статичний режим роботи: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів. Неправильне розташування дисплеїв по висоті – занадто низьке або високе, під неправильним кутом – є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму.

Основні «комп'ютерні» хвороби. Нерухома напружена поза оператора призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шийі, плечових суглобах.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Інтенсивна робота з клавіатурою викликає болючі відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях і пальцях рук.

У деяких операторів ПК розвивається м'язова слабкість, відбувається зміна форми хребта (синдром тривалого статичного навантаження – СТСН), що може призвести до непрацездатності. Постійні користувачі ПК найчастіше піддаються психічним стресам, хворобам серцево-судинної системи і верхніх дихальних шляхів. Значному навантаженню піддається зоровий апарат.

При тривалій та інтенсивній роботі за комп'ютером з'являється синдром комп'ютерного стресу (СКС), який проявляється головною біллю, запаленням очей, алергією, дратівливістю, млявістю і депресією, погіршенням зосередженості і працездатності.

Причинами різноманітних симптомів СКС є 5 основних чинників: неправильна робота очей і поза тіла, носіння невідповідних окулярів або контактних лінз, неправильна організація робочого місця, розподілення фізичних, розумових, візуальних навантажень, низький рівень візуальної підготовленості для роботи з комп'ютером.

Інтенсивна і тривала робота з клавіатурою комп'ютера може стати джерелом важких професійних захворювань рук. Робота з клавіатурою є причиною 12% профзахворювань, викликаних повторюваними рухами.

Захворювання, пов'язані з "травмами повторюваних навантажень", пов'язані з хворобами нервів, м'язів і сухожилів. Наприклад тендит - запалення і набрякання сухожилів. Захворювання поширюється на кисті рук, зап'ястя, плечі. Інше - травматичний епікон-диліт - подразнення сухожилів, що з'єднують м'язи передпліч та ліктьових суглобів.

Хвороба Де-Кервена - різновид тендита, при якій страждають сухожилля, пов'язані з великим пальцем руки.

Тендосиновіт - запалення синовіальної оболонки сухожильної частини рук.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тунельний синдром зап'ясного каналу - запалення медіального нерва руки з-за набряку сухожилів, синовиальної оболонки.

5.3. Розрахунок системи штучного освітлення в приміщенні

Розрахуємо штучне освітлення приміщення. Виходячи з вимог відсутності відблисків і рівномірності освітлення, доцільно вибрати загальне штучне освітлення.

Для розрахунку загального рівномірного освітлення при горизонтальній робочій поверхні використовуємо метод світлового потоку (коефіцієнта використання), що враховує світловий потік, відбитий від стелі і стін.

Завданням розрахунку є визначення потрібної потужності і кількості світильників для забезпечення освітленості, що рекомендується.

Для освітлення лабораторії вибираємо тип джерела світла – газорозрядні (люмінесцентні) лампи.

Норма освітленості на робочому місці в лабораторії відповідно до норм ДБН В.2.5-28-2006 складає $E_{min} = 300$ люкс.

Висота робочої поверхні над підлогою $h_p = 0,8$ м.

Визначимо висоту підвісу світильників над робочою поверхнею по формулі:

$$h = H - h_p - h_c = 3,6 - 0,8 - 0,1 = 2,7 \text{ м}, \quad (5.1)$$

де $h_c = 0,1$ м - відстань від світильника до стелі (висота підвісу).

Робота з розробки програмно-апаратного забезпечення проводиться в лабораторному приміщенні, данні про які наведені в табл.5.1

Таблиця 5.1 – Параметри приміщень

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Вид параметру	Параметри лабораторії
довжина А,м	6
ширина В, м	4,17
висота Н, м	3,6

Світловий потік ламп світильника розраховується по формулі:

$$\Phi = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (5.2)$$

де $E_{\min} = 300$ люкс - мінімальна освітленість по нормах, люкс;

$S = A \cdot B$ – площа освітлюваного приміщення, м²;

$k_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників і зношеність джерел світла в процесі експлуатації;

$z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення (для люмінесцентних ламп);

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп, що залежить від коефіцієнта відбиття стелі, стін, підлоги й індексу приміщення, обумовленого співвідношенням і:

$$i_{\text{л}} = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{8 \cdot 7}{2.7 \cdot (8+7)} = 1,4; \quad (5.3)$$

$$i_{\text{с}} = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{4 \cdot 3}{2.7 \cdot (4+3)} = 0,65. \quad (5.4)$$

Визначаємо η :

– - для лабораторії $\eta_{\text{л}} = 0,5$;

– - для серверного приміщення $\eta_{\text{с}} = 0,4$.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Забезпечення рівномірного розподілу освітленості досягається в тому випадку, якщо відношення відстані між центрами світильників – L , до висоти їхнього підвісу над робочою поверхнею – h , складе значення рівне i , тобто буде виконуватись рівність:

$$\frac{L}{h} = i \quad (5.5)$$

Для комп'ютерної лабораторії:

$$L_{\text{л}} = 1,4 \cdot h = 1,4 \cdot 2,7 = 3,8 \text{ м} \quad (5.6)$$

Кількість світильників визначимо за формулою:

$$N_{\text{л}} = \frac{S}{L^2} = \frac{8 \cdot 7}{3,8^2} = 3,9 \approx 4 \text{ шт.} \quad (5.7)$$

Підставивши дані у формулу (5.2) одержуємо:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{4 \cdot 0.5} = 13860 \text{ лм.}$$

Світловий потік лампи знаходимо за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi}{n} = \frac{13860}{4} = 3465 \text{ лм,} \quad (5.8)$$

де $n = 4$ – кількість ламп у світильнику.

Вибираємо найближчу стандартну лампу ЛДЦ 80 зі світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 3560 \text{ лм.}$

Визначимо необхідну кількість світильників:

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$N = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k_z \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 3560 \cdot 0,5} = 3,8 = 4 \text{ шт.} \quad (5.9)$$

Визначимо фактичну освітленість:

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{н}} \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{р}}} = 300 \cdot \frac{3560}{3465} = 309 \text{ люкс,} \quad (5.10)$$

де $\Phi_{\text{р}}$ – розрахунковий світловий потік лампи;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік, обраної лампи;

$E_{\text{н}}$ – мінімальна освітленість по нормах.

Отримане значення фактичного світлового потоку, обраної лампи відповідає нормам і не перевищує нормоване значення більш ніж на допустиме відхилення (-10 % ... +20 %). Реальне відхилення становить +3%.

Для освітлення комп'ютерної лабораторії вибираємо світильники ЛПП із чотирма лампами в кількості 4 шт., що забезпечить освітленість лабораторії відповідно до норм.

Для приміщення серверної:

$$L_{\text{с}} = 0,65 \cdot h = 0,65 \cdot 2,7 = 1,8 \text{ м.} \quad (5.11)$$

Кількість світильників визначимо за формулою

$$N_{\text{с}} = \frac{S}{L^2} = \frac{4 \cdot 3}{1,8^2} = 3,7 \approx 4 \text{ шт.} \quad (5.12)$$

Підставивши дані у формулу (5.2) одержуємо:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,4} = 3712 \text{ лм.} \quad (5.13)$$

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Беремо світильник з одною лампою та вибираємо найближчу стандартну лампу ЛДЦ 80 зі світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 3560$ лм.

Визначимо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{3712 \cdot 0,4} = 4,00 \quad \text{шт.} \quad (5.14)$$

Визначимо фактичну освітленість:

$$E_{\phi} = E_n \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_p} = 300 \cdot \frac{3560}{3712} = 288 \quad \text{люкс,} \quad (5.15)$$

де Φ_p – розрахунковий світловий потік лампи;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік, обраної лампи;

E_n – мінімальна освітленість по нормах.

Отримане значення фактичного світлового потоку обраної лампи відповідає нормам і не перевищує нормоване значення більш ніж на допустиме відхилення (-10 % ... +20 %). Реальне відхилення становить -4%.

Для освітлення приміщення серверної вибираємо світильники ЛПП з одною лампою в кількості 4 шт., що забезпечить освітленість серверної відповідно до норм.

5.4. Розробка заходів для забезпечення електричної безпеки в лабораторії

Небезпека ураження електричним струмом серед інших небезпек відрізняється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити наявність напруги дистанційно, як, наприклад, рухомі частини, розпечені

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

об'єкти, відкриті люки, необгороджені краї площадки, що знаходиться на висоті, і т.п.

Електричний струм, проходячи через живі тканини, спричиняє термічні, електричні і біологічні впливи. Це приводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеві ушкодження тканин і органів, так і загальне ураження організму.

Електрична безпека – система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від навколишнього середовища й обстановки. Вогкість, жара, їдкі пари і газы, струмопровідний пил мають руйнівну дію на ізоляцію електроустановок, значно знижують її опір.

Відповідно до діючих правил установки електроустаткування (ПУЕ-86) приміщення лабораторії відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що приміщення має температуру повітря 20-24⁰С, відносну вологість повітря не більш 60%, дерев'яні підлоги і не має пилу. Факторів, що відносять його до приміщень з підвищеною небезпекою немає.

Для забезпечення електробезпечності при роботі з електроустаткуванням у лабораторії використані найбільш розповсюджені засоби захисту людей від поразки електричним струмом: захисне заземлення і захисне відключення.

Захисне заземлення – спеціальне електричне з'єднання з землею, чи з її еквівалентом металевих не струмопровідних частин, що можуть виявитися під напругою.

Захисне відключення – швидкодіючий захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження струмом.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Техніка, що використовується в серверній та комп'ютерній лабораторії (комп'ютери з ОС Windows 7 і принтери HP Laser Jet 6100) відноситься до електроустановок напругою до 1000 В, живлення яких здійснюється від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Напруга подається через автоматичний вимикач із силовим роз'єднувачем на 25 А. У моніторах комп'ютерів є більш високі напруги (до 25 кВ), які надійно ізольовані від оператора й не можуть представляти небезпеки, доступ до електричних кіл з такою напругою можливий лише при проведенні ремонтних робіт, які здійснюються в спеціалізованих ремонтних організаціях спеціально підготовленим персоналом.

Усунути небезпеку ураження струмом при замиканні на корпус можна за допомогою прокладання в приміщенні нульового захисного провідника .

Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує частини електрообладнання із заземленою нейтральною точкою джерела живлення або її еквівалентом. Призначення нульового захисного провідника - створення для струму короткого замикання кола з малим опором, щоб цей струм був достатнім для швидкого спрацьовування захисту, тобто швидкого відключення ушкодженої установки від мережі.

Крім того, на робочому місці оператора ЕОМ необхідно забезпечити захист від статичної електрики. В комп'ютерних лабораторіях розрядні струми статичної електрики найчастіше виникають при дотику обслуговуючого персоналу до кожного з елементів ЕОМ. Такі розряди можуть привести до виходу з ладу ЕОМ. Вони впливають на користувачів, погіршують умови праці.

Для зниження величини виникаючих розрядів статичної електрики покриття технологічних підлог варто виконувати з одношарового антистатичного лінолеуму марки АСН. До загальних заходів захисту від статичної електрики можна віднести зволоження повітря (до 75%), іонізацію повітря. Дані захисні заходи регламентує Держстандарт 12.4.124-83.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В приміщеннях серверної та комп'ютерної лабораторії виконані всі вимоги по забезпеченню електробезпеки.

					172.4391.КР.ПЗ.Р5	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи було розроблено електронний пристрій для вимірювання параметрів електричної енергії. Робота охопила усі ключові етапи розробки, починаючи від формування структурної схеми та закінчуючи створенням друкованих плат.

На перших етапах роботи була детально проаналізована технічна документація та обґрунтовано вибір основних компонентів. Зокрема, для точного вимірювання електричних параметрів було обрано спеціалізовану мікросхему ATM90E32, що забезпечує високу точність та функціональність. Керування пристроєм реалізовано на базі потужного мікроконтролера ESP32-WROOM, який дозволив не лише збирати та обробляти дані, а й передбачає можливість подальшої інтеграції з бездротовими мережами. Для забезпечення електричної безпеки та захисту чутливих компонентів від високих напруг було застосовано модуль ізоляції ADUM1401BRWZ-RL. Відображення вимірних значень реалізовано за допомогою LCD індикатора RDT06569-IE, що забезпечує чітке та інформативне представлення даних.

Важливим етапом була розробка принципової електричної схеми, що враховувала взаємодію всіх обраних компонентів та забезпечувала їх коректну роботу. На її основі були розроблені креслення друкованих плат, оптимізовані для мінімізації розмірів, зниження електромагнітних завад та забезпечення надійного монтажу компонентів.

У результаті виконання роботи було створено функціональний прототип вимірювального пристрою, здатний точно визначати основні параметри електричної енергії. Отримані результати підтверджують ефективність обраних рішень та високу працездатність системи в цілому. Ця робота продемонструвала глибоке розуміння принципів розробки електронних пристроїв, навички роботи з сучасною елементною базою та програмними інструментами для проектування.

					172.4391.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Розроблений пристрій має значний потенціал для подальшого вдосконалення, включаючи реалізацію функцій передачі даних через бездротові інтерфейси, інтеграцію з системами "розумного будинку" та розширення функціоналу для аналізу якості електроенергії.

					172.4391.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ATM90E32AS DEMO BOARD. microchip.com. URL:
<https://www.microchip.com/en-us/development-tool/atm90e32as-db>.
2. ATM90E32 Power Sensor. ESPHome. URL:
<https://esphome.io/components/sensor/atm90e32.html> (date of access: 11.06.2025).
3. CircuitSetup 42 channel energy meter stack over ethernet!. Home Assistant Community. URL: <https://community.home-assistant.io/t/circuitsetup-42-channel-energy-meter-stack-over-ethernet/747690> (date of access: 11.06.2025).
4. Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span Energy Metering IC. microchip.com. URL:
<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/Atmel-46003-SE-M90E32AS-Datasheet.pdf> (date of access: 11.06.2025).
5. GitHub - DitroniX/IPEM-IoT-Power-Energy-Monitor: DitroniX IPEM ESP32 ATM90E32 ATM90E36 AT24C64 CH340 IoT Power Energy Monitor Board SDK. GitHub. URL: <https://github.com/DitroniX/IPEM-IoT-Power-Energy-Monitor/tree/main> (date of access: 11.06.2025).
6. IPEM ESP32 ATM90E32 ATM90E36 IoT Power Energy Monitor SDK. Hackster.io. URL: <https://www.hackster.io/DitroniX/ipem-esp32-atm90e32-atm90e36-iot-power-energy-monitor-sdk-569057> (date of access: 11.06.2025).
7. Poly-Phase Energy Metering IC. Application Note. microchip.com. URL:
<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ApplicationNotes/ApplicationNotes/Atmel-46103-SE-M90E32AS-ApplicationNote.pdf> (date of access: 11.06.2025).
8. Wireless SoCs, Software, Cloud and AIoT Solutions | Espressif Systems. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 11.06.2025).

					172.4391.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Програмне забезпечення ESPHome

esphome:

name: smart_power_monitor

platform: ESP32

board: esp32dev

wifi:

ssid: "SSID"

password: "PASS"

ap:

ssid: "PowerMonitorAP"

password: "12345678"

captive_portal:

logger:

api:

password: "your_api_password"

ota:

password: "your_ota_password"

SPI шина для ATM90E32 і дисплея (можна окремо, якщо потрібно)

spi:

clk_pin: GPIO18

mosi_pin: GPIO23

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

miso_pin: GPIO19

Підключення ATM90E32

sensor:

- platform: atm90e32

cs_pin: GPIO5

line_frequency: 50Hz

phase_a:

voltage:

name: "Напруга Фаза A"

current:

name: "Струм Фаза A"

power_active:

name: "Активна потужність Фаза A"

power_reactive:

name: "Реактивна потужність Фаза A"

power_apparent:

name: "Повна потужність Фаза A"

power_factor:

name: "Коефіцієнт потужності Фаза A"

current_mean:

name: "Середній струм Фаза A"

power_active_mean:

name: "Середня активна потужність Фаза A"

frequency:

name: "Частота мережі"

chip_temperature:

name: "Температура чипа ATM90E32"

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Дисплей

display:

- platform: ili9xxx

model: ST7796

spi_id: spi0

cs_pin: GPIO15

dc_pin: GPIO2

reset_pin: GPIO4

rotation: 0

update_interval: 1s

lambda: |-

it.printf(20, 20, id(my_font), "U: %.1f V", id(voltage_a).state);

it.printf(20, 50, id(my_font), "I: %.2f A", id(current_a).state);

it.printf(20, 80, id(my_font), "P: %.1f W", id(power_active_a).state);

it.printf(20, 110, id(my_font), "PF: %.2f", id(power_factor_a).state);

font:

- file: "arial.ttf"

id: my_font

size: 20

Прив'язка сенсорів до дисплея

globals:

- id: voltage_a

type: float

restore_value: no

initial_value: '0.0'

- id: current_a

type: float

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

restore_value: no

initial_value: '0.0'

- id: power_active_a

type: float

restore_value: no

initial_value: '0.0'

- id: power_factor_a

type: float

restore_value: no

initial_value: '0.0'

interval:

- interval: 1s

then:

- lambda: |-

id(voltage_a) = id(напруга_фаза_a).state;

id(current_a) = id(струм_фаза_a).state;

id(power_active_a) = id(активна_потужність_фаза_a).state;

id(power_factor_a) = id(коефіцієнт_потужності_фаза_a).state;

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		