

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

бакалавр
Освітній рівень

Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В
Назва теми

КПТР. 021011.01.01 ПЗ
Шифр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Шифр, назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група TR2-21-1


Підпис

Ю. П. Вареник
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

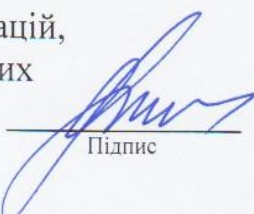
С. К. Підченко
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

В. І. Стецюк
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій


Підпис

С. К. Підченко
Ініціали, прізвище

«16» 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень: бакалавр

Галузь знань: 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма: «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри С. К. Підченко

« 10 » 02 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

Варенику Юрію Петровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проєкту (роботи): Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В

Назва теми

Керівник проєкту (роботи) С.К. Підченко, докт. техн. наук., професор

Ініціали, прізвище, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від « 7 » 02 .2025 р. № 20

2. Термін подання студентом проєкту (роботи) на кафедру: « 1 » 06 .2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): завдання на кваліфікаційний проєкт

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань на проєктування):

4.1. Огляд існуючих проєктно-технологічних рішень згідно теми проєкту

4.2. Розробка структури системи


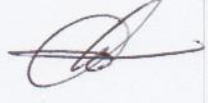


4.3. Апаратно-програмна реалізація системи

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

5.1. Схема електрична структурна

5.2. Схема електрична принципова

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	В.І. Стецюк, доцент кафедри ТМІТ		
Антиплагіат	О.С. Пивовар, доцент кафедри ТМІТ		

7. Дата видачі завдання «10» 02 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – огляд існуючих засобів моніторингу параметрів мережі 220 в	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка структури системи та апаратна реалізація пристрою для контролю параметрів мережі 220 в	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – розробка програмного забезпечення для системи цілодобового моніторингу мережі 220 в	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКП	<u>28.05</u> .2025	виконано
8	Захист ВКП на засіданні ЕК	червень 2025 року	

Студент


Підпис

Ю. П. Вареник

Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

С. К. Підченко

Ініціали, прізвище

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кл-сть. листів	№ екз.	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1	A4	КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Пояснювальна записка	53		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2	A2	КПТР. 021011.01.01 Е1	Структурна схема	1		
			пристрою контролю			
			діючого значення напруги			
			мережі 220 В			
3	A2	КПТР. 021011.01.01 Е3	Принципова схема	1		
			пристрою контролю			
			діючого значення напруги			
			мережі 220 В			
4	A4		Копія схема електричної	1		Копія A2
			структурної			
5	A4		Копія схема електричної	1		Копія A2
			принципової			

КПТР. 021011.01.01 ВП

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Ю.П.Вареник		13.08.25			
Перевірив		С.К. Підченко		16.08.25			
Н. контр.		В.І. Стецюк		16.08.25			
Затвердив		С.К. Підченко		16.08.25			

Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В
Відомість проєкту

ХНУ, ТР2-21-1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проекту: Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В

Автор роботи: Вареник Юрій Петрович

Керівник роботи: Підченко Сергій Костянтинович

Пояснювальна записка: 53 с., 19 рис., 5 табл., 3 дод., 14 джерел

Графічна частина: 2 креслення

МЕРЕЖА 220 В, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, МІКРОПРОЦЕСОРНЕ КЕРУВАННЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, АВТОМАТИКА

Проведено аналіз існуючих засобів цілодобового моніторингу параметрів мережі 220 В та охарактеризовано головні параметри мережі, які доцільно контролювати з точки зору побутового користувача електромережі. Розроблено структуру системи моніторингу параметрів мережі, яка складається з пристрою контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В та програмного забезпечення. Розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову пристрою цілодобового контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В. Розроблено алгоритм роботи та програмен забезпечення для апаратно-програмної платформи Arduino для реалізації та тестування прототипу пристрою. Практичне значення проекту полягає у можливості впровадження вищеописаного пристрою для контролю якості мережі побутовими споживачами електроенергії.


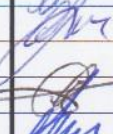




Підпис студента

09.06.2025,
Дата

ЗМІСТ

Зміст	2
Скорочення та умовні позначення.....	3
Вступ.....	4
1 Огляд існуючих засобів моніторингу параметрів мережі 220 В	5
1.1 Загальні відомості про параметри однофазної мережі 220 В	5
1.2 Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В.....	7
1.3 Постановка задачі проектування	19
1.4 Висновки до 1-го розділу	20
2 Розробка структури системи та апаратна реалізація пристрою для контролю параметрів мережі 220 В.....	21
2.1 Розробка структури системи	21
2.2 Розробка структури пристрою контролю параметрів мережі 220 В.....	22
2.3 Розробка схеми електричної принципової	26
2.4 Висновки до 2-го розділу	39
3 Розробка програмного забезпечення для системи цілодобового моніторингу мережі 220 В	40
3.1 Розробка алгоритму для мікроконтролера.....	40
3.2 Опис апаратної платформи та середовища розробки.....	43
3.3 Опис програмних компонентів	47
3.4 Висновки до 3-го розділу	50
Загальні висновки до проєкту	51
Перелік джерел посилання	52
Додаток А. Копія схеми електричної структурної	54
Додаток Б. Копія схеми електричної принципової.....	55
Додаток В. Код програмного забезпечення.....	56

КПТР. 021011.01.01 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В Пояснювальна записка	Літера	Арквщ	Арквщів
Виконав		Ю.П. Вареник		13.06.25		Н		55
Перевір.		С.К. Підченко		16.06.25				
Н.контр.		В.І. Стецюк		16.06.25				
Затвер.		С.К. Підченко		16.06.25				
						ХНУ, ТР2-21-1		

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

RISC	–	reduced instruction set computer
RMS	–	root-mean square
USB	–	universal serial bus
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
БД	–	база даних
МК	–	мікроконтролер
МП	–	мікропроцесор
ОП	–	операційний підсилювач
ПЗ	–	програмне забезпечення
ПЗП	–	постійний запам'ятовуючий пристрій
ТТХ	–	тактико технічні характеристики
ФНЧ	–	фільтр низький частот
ШІМ	–	широтно-імпульсна модуляція

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

На сьогодні головним джерелом живлення побутових та промислових об'єктів є мережа 220 В змінного (синусоїдального) струму з частотою 50 Гц з однофазним або трифазним входом. Саме на такі параметри здебільшого розраховані вхідні кола блоків живлення більшості побутових та промислових пристроїв, що забезпечує стабільну роботу обладнання протягом гарантійного терміну. Однак, якість мережі електропостачання може знижуватись за рахунок відхилення діючого значення і/або частоти, а також появою високочастотних гармонік та перепадів напруги. Причинами таких погіршень можуть бути аварійні відключення на лінії постачання, використання резервного живлення від автогенераторів, перенавантаження мережі тощо. Зазвичай параметри мережі контролюються відповідними підрозділами енергетичних компаній на державному рівні, в той час коли кінцевим споживачам відомо лише кількість спожитої електроенергії згідно лічильника. Таким чином, виникає потреба в розробці та впровадженні домашніх систем моніторингу параметрів мережі 220 В зі сторони споживача з метою контролю якості мережі та уникненню виходу з ладу обладнання, що особливо актуально в умовах надзвичайного стану та бойових дій.

Отже, в рамках виконання кваліфікаційного проєкту бакалавра за спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка було обрану тему проєктування, яка полягає у розробці пристрою контролю діючого значення напруги для системи цілодобового моніторингу однофазної мережі 220 В.

Метою проєкту є розробка прототипу пристрою на базі мікроконтролера для контролю діючого значення напруги однофазної побутової мережі 220 В.

Задачі проєктування:

1. Розробка схеми електричної структурної.
2. Розробка схеми електричної принципової.
3. Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення для мікроконтролера.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ 220 В

1.1 Загальні відомості про параметри однофазної мережі 220 В

Синусоїдальна напруги мережі – це така напруга, яка в часі змінюється за синусоїдальним законом (Рисунок 1.1):

$$u = U_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \psi\right) = U_m \sin(\omega t + \psi) = U_m \sin \Psi, \quad (1.1)$$

де U_m – амплітуда (максимальне значення) напруги,

u – миттєве значення напруги,

T – період,

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ – кутова частота,

ψ – початкова фаза,

$\Psi = \omega t + \psi$ – повна фаза.

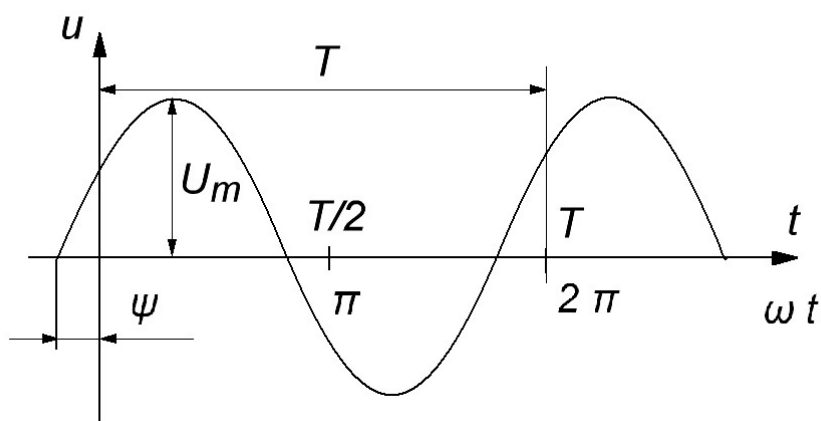


Рисунок 1.1 – Часова діаграма синусоїдальної напруги

Повна фаза $\Psi(t)$ характеризує стан напруги в заданий момент часу t . Частота $f = 1 / T$ показує кількість коливань напруги за одну секунду. Таким

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

чином, синусоїдальна напруга характеризується трьома величинами: амплітудою U_m , кутовою частотою ω та початковою фазою ψ .

В Україні промислова частота змінної напруги становить 50 Гц [1], в той час коли в США відповідне значення становить 60 Гц [2]. Джерелом синусоїдальної напруги низької частоти здебільшого є синхронні генератори напруги.

Окрім вищеописаний параметрів синусоїдальної напруги також використовуються середнє та діюче значення напруги.

За середнє значення синусоїдальної напруги приймається усереднене значення за пів-періоду:

$$U_{cp} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} U_m \sin(\omega t) dt = \frac{2}{\pi} U_m. \quad (1.2)$$

Так, наприклад для напруги з амплітудою $U_m = 311,12$ В середнє значення становить $U_{cp} = 311,12 \times 2 / \pi = 198,07$ В.

Для теплових характеристик змінної напруги використовується її діюче значення, яке також називають ефективною напругою, середньоквадратичною напругою, Root-Mean Square (RMS) напругою. Діюче значення напруги визначається відповідним виразом:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m. \quad (1.3)$$

Таким чином, діюче значення синусоїдальної напруги становить приблизно 0,707 від її амплітуди і є кількісним еквівалентом постійної напруги, яка для однакового навантаження виділяє таку саму кількість теплоти.

Діюче значення побутових мереж становить 220 В. Згідно з вимогами ДСТУ 50160:2023, діюче значення напруги у такій мережі повинно перебувати в межах $\pm 10\%$ від номінального значення, тобто 198...242 В, не менше ніж у 95 % випадків протягом тижня [3].

Додатковими характеристиками мережі синусоїдальної напруги є коефіцієнти амплітуди та форми.

Коефіцієнт амплітуди є відношенням амплітуди синусоїдальної напруги до її діючого значення:

$$k_a = \frac{U_m}{U} = \sqrt{2}. \quad (1.4)$$

Коефіцієнтом форми називається відношення діючого значення синусоїдальної напруги до її середнього за пів-періоду значення:

$$k_f = \frac{U}{U_{cp}} = \frac{U_m / \sqrt{2}}{2U_m / \pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11. \quad (1.5)$$

Варто відзначити, що для несинусоїдальної періодичної напруги $k_a \neq \sqrt{2}$, а також $k_f \neq 1,11$. Відповідні відхилення можна використовувати для оцінки відмінності несинусоїдальної напруги від синусоїдальної.

В рамках даного проектування доцільно розробити пристрій цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В.

1.2 Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В

Проведемо огляд пристроїв, які доступні на ринку України та забезпечують функції цілодобового моніторингу діючої напруги, мають

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

вбудовану пам'ять для збереження історії вимірювань та можуть експортувати дані через інтерфейси Universal Serial Bus (USB), Ethernet або інші.

На Рисунку 1.2 показано аналізатор якості електроенергії Sonel PQM-710UA, що призначений для моніторингу параметрів мережі з можливістю безперервної фіксації діючої напруги 24/7. Він оснащений вбудованою флеш-пам'яттю об'ємом до 8 ГБ, що дозволяє зберігати великі масиви даних для подальшого аналізу. Для експорту інформації пристрій підтримує різні інтерфейси, включаючи USB, Wi-Fi та GSM, що забезпечує гнучкість у передачі даних. Аналізатор здатний працювати автономно до 30 діб завдяки ефективній системі живлення, що робить його ідеальним для тривалих вимірювань у польових умовах. Додатково пристрій має функцію синхронізації часу з GPS, що забезпечує високу точність фіксації подій. Вартість аналізатора складає приблизно 237 000 грн, що відображає його високий рівень технологічності та функціональності [4].



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електроенергії
Sonel PQM-710UA

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналізатор Sonel PQM-710UA відноситься до професійних пристроїв класу А. Він відповідає міжнародним стандартам, таким як ІЕС 61000-4-30 [5] та ГОСТ 32144-2013 [6], що забезпечує точність і надійність вимірювань.

В Таблиці 1.1 наведені тактико технічні характеристики (ТТХ) аналізатора Sonel PQM-710UA.

Таблиця 1.1 – Характеристики аналізатора Sonel PQM-710UA

Параметр	Значення (опис)
<i>1</i>	<i>2</i>
Основні характеристики	
Клас точності	А (відповідно до ІЕС 61000-4-30).
Діапазон вимірювання напруги	Від 10% до 150% номінальної напруги ($U_{nom} \geq 64$ В).
Діапазон вимірювання частоти	Від 40 до 70 Гц.
Гармонічний аналіз	До 50-ї гармоніки напруги та струму.
Вимірювання потужності	Активна (P), реактивна (Q), повна (S), потужність спотворень (D).
Вимірювання енергії	Активна (E_P), реакт. (E_Q), повна (E_S).
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi$, $\text{tg } \varphi$.
Флікер	Короткочасна (P_{st}) і тривала (P_{lt}) доз.
Несиметрія	За струмом та напругою.
Реєстрація подій	Перенапруга, провали, переривання з можливістю збереження осцилограм.
Реєстрація та зберігання даних	
Вбудована пам'ять	До 8 ГБ Flash-пам'яті для збереження вимірювань та осцилограм.
Режими реєстрації	Реєстрація RMS значень, подій, осцилограм налаштуванням періоду усереднення та умов запуску.

<i>1</i>	<i>2</i>
Експорт даних	Через USB, Wi-Fi, GSM або Ethernet (опціонально)
Програмне забезпечення	SONEL Analysis 4 для налаштування пристрою, аналізу та формування звітів згідно з ДСТУ EN 50160.
Комунікації та інтерфейси	
Wi-Fi модуль	Для безпроводового підключення та передачі даних.
GSM модуль	Для віддаленого доступу та передачі даних через мобільну мережу.
GPS модуль	Для точної синхронізації часу вимірювань.
Інтерфейси	USB, RS-485, Ethernet (опціонально)
Конструктивні особливості	
Ступінь захисту	IP65, що дозволяє використовувати пристрій в складних погодних умовах та на відкритому повітрі.
Діапазон робочих температур	Від -20°C до $+55^{\circ}\text{C}$ з вбудованим обігрівом для стабільної роботи при низьких температурах.
Живлення	Вбудований літій-іонний акумулятор забезпечує автономну роботу у разі відключення зовнішнього живлення.

Комплектація Sonel PQM-710UA:

–гнучкі струмові кліщі F-3A до 3000 A (4 шт.);

–кабелі з роз'ємами типу «банан» (7 шт.);

- затискачі «крокодил» різних кольорів;
- розгалужувач фази АС-16;
- кабель USB;
- сумка для зберігання та транспортування;
- ремені та кріплення для монтажу на стовп або DIN-рейку;
- адаптери напруги та магнітні адаптери;
- інструкція з експлуатації та сертифікати відповідності.

На Рисунку 1.3 показано аналізатора якості електроенергії Satec PM175 [7], який представляє собою сучасний пристрій, призначений для постійного моніторингу параметрів мережі з можливістю фіксації середньоквадратичних значень напруги та струму у режимі 24/7. Пристрій оснащений вбудованою пам'яттю, що дозволяє зберігати до 512 записів подій (наприклад, перенапруги, провали напруги, гармоніки) та 128 журналів, що забезпечує тривалий збір даних для аналізу. Для експорту інформації аналізатор підтримує різні інтерфейси, включаючи Ethernet, RS232/485, Modbus та FTP, що забезпечує гнучкість передачі даних в автоматизовані системи контролю та обліку енергії (АСКОЕ).



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електроенергії Satec PM175

Однією з ключових функцій РМ175 є можливість автоматичного фіксування подій за тригерами, таких як відхилення напруги за межі допустимих меж, пускові струми або інші аномалії в роботі електромережі. Це робить його корисним інструментом для діагностики проблем у системах електропостачання. Вартість приладу становить близько 80 000 грн, що робить його доступним для промислових підприємств, енергопостачальних компаній та комерційних об'єктів.

В Таблиці 1.2 наведені ТТХ аналізатора Satec РМ175.

Таблиця 1.2 – Характеристики аналізатора Satec РМ175

Параметр	Значення (опис)
<i>1</i>	<i>2</i>
Основні характеристики	
Клас точності	0.2S для обліку електроенергії згідно з ІЕС 62053-22.
Кількість входів	Три входи напруги та 3 входи струму з повною гальванічною ізоляцією.
Гармонічний аналіз	До 50-ї гармоніки напруги та струму.
Осцилографування	6 каналів (3 для напруги та 3 для струму) для детального аналізу подій.
Реєстрація подій	Перенапруги, провали, імпульсні перенапруги, флікер, несиметрія, відхилення частоти.
Годинник реального часу/ Real Time Clock (RTC)	Енергонезал. з похиб. 0,5 сек/день та можливістю синхронізації.
Реєстрація та зберігання даних	
Вбудована пам'ять	Забезпечує збереження графіків навантаження та журналів подій.

<i>1</i>	<i>2</i>
Режими реєстрації	Безперервна реєстрація RMS значень, подій, осцилограм з можливістю налаштування періоду усереднення та умов запуску.
Експорт даних	через RS232, RS485, Ethernet, Profibus DP з підтримкою протоколів Modbus RTU, ASCII, DNP 3.0.
Комунікації та інтерфейси	
Порти зв'язку	2 незалежних порти (RS232, RS422, RS485, Ethernet, Profibus DP).
Протоколи	Modbus RTU, ASCII, DNP 3.0.
Додаткові можливості	Підтримка MV-датчиків для моніторингу в розподільчих мережах 6/10/35 кВ.
Конструктивні особливості	
Монтаж	На DIN-рейку або в панельний виріз 92×92 мм.
Ступінь захисту	Забезпечує надійну роботу в промислових умовах.
Діапазон робочих температур	Від -20°C до +55°C.

Ціна на Satec PM175 залежить від комплектації та постачальника та становить ~50 000–80 000 грн [7].

На Рисунку 1.4 показано зовнішній вигляд аналізатора електромережі Circutor SVM-B100, який є компактним багатофункціональним аналізатором якості електроенергії, призначеним для постійного моніторингу основних параметрів електричної мережі. Пристрій забезпечує безперервну фіксацію

середньоквадратичних значень напруги та струму в режимі 24/7, що дозволяє відстежувати динаміку змін основних параметрів мережі. Аналізатор оснащений вбудованою пам'яттю для реєстрації подій та ведення журналу спожитої енергії, а також має слот для SD-карти, що значно розширює можливості зберігання даних.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд аналізатора електричної енергії
Circutor CVM-B100

Для інтеграції в системи моніторингу та автоматизації CVM-B100 підтримує інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus RTU, а також має опціональну можливість підключення через Ethernet для більш гнучкого обміну даними. Пристрій відрізняється простотою встановлення та експлуатації, що робить його зручним рішенням для базового моніторингу якості електроенергії на невеликих комерційних об'єктах або промислових підприємствах. Вартість аналізатора складає приблизно 12 000 гривень, що робить його доступним варіантом для організацій, які потребують економічного рішення для контролю параметрів мережі. Пристрій призначений для монтажу на панель розміром

96×96 мм і підходить для однофазних, двофазних і трифазних систем з нейтраллю або без неї [8].

В Таблиці 1.3 наведені ТТХ аналізатора Circutor CVM-B100.

Таблиця 1.3 – Характеристики аналізатора Circutor CVM-B100

Параметр	Значення (опис)
<i>1</i>	<i>2</i>
Основні характеристики	
Клас точності	Напруга та струм: 0,2%, акт. енергія: клас 0,5S, реакт. енергія: клас 1.
Вимірювання	RMS напруги та струму; активна, реактивна та повна потужність; коефіцієнт потужності (cos φ); гармоніки до 50-ї; флікер; несиметрія; енерг. спожив і генерації.
Діапазон вимірювання	
Напруга	До 1000 В між фазами.
Струм	через трансформатори струму (наприклад, .../5 А, .../1 А).
Реєстрація та зберігання даних	
Дисплей	Кольоровий VGA-екран з високою роздільною здатністю.
Керування	Інтерфейс SCV (прокрутка, вибір і перегляд), сенсорні кнопки.
Вбудована пам'ять	Забезпечує збереження графіків навантаження та журналів подій
Режими реєстрації	Реєстрація RMS значень, подій, осцилограм з налаштуванням періоду усереднення та умов запуску

1	2
Експорт даних	Через RS-485 (Modbus RTU, ВАСnet), Ethernet (опційно), з підтримкою протоколів Modbus/TCP, М-Bus, LonWorks, Profibus, XML/Web.
Комунікації та інтерфейси	RS-485 (Modbus RTU, ВАСnet); Ethernet (опціонально); можливість підключ. до 4 модулів розширення.
Цифрові входи/виходи	2 цифрових входи для вибору тарифів або контролю станів; 2 транзисторних виходи для сигналів тривоги або імпульсів; 2 релейних виходи для сигналів тривоги.
Конструктивні особливості	
Монтаж	На панель розміром 96×96 мм;
Ступінь захисту	IP65 (передня панель з герметичним ущільненням).
Діапазон робочих температур	Від –10°С до +50°С.
Живлення	85...265 В змінної напруги та 120...300 В постійної напруги

Комплектація Circutor CVM-B100 складається з інструкції щодо експлуатації, кріплення для монтажу та додаткових модулів розширення для комунікацій або додаткових входів/виходів.

Ціна на Circutor CVM-B100 залежить від комплектації та постачальника та становить ~12 000 грн.

На Рисунку 1.5 зображено аналізатор Janitza UMG 103-CBM [9], що представляє собою професійний прилад для моніторингу якості електроенергії, який забезпечує точний контроль основних параметрів електричної мережі. Аналізатор виконує безперервний запис середньоквадратичних значень напруги та струму, що дозволяє всебічно оцінювати стан електромережі та оперативно виявляти будь-які відхилення від норми. Пристрій оснащений потужною системою зберігання даних з можливістю циклічного запису інформації на внутрішню пам'ять об'ємом до 512 МБ, що забезпечує надійне архівування результатів вимірювань протягом тривалого періоду.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд аналізатора електроенергії
Janitza UMG 103-CBM

Для інтеграції в сучасні системи моніторингу UMG 103-CBM підтримує різні сучасні інтерфейси комунікації, включаючи Ethernet, OPC та SNMP, що значно розширює його функціональні можливості та дозволяє легко інтегрувати

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

пристрій у складні промислові мережі. Аналізатор особливо корисний для енергетичних компаній, промислових підприємств та комерційних об'єктів, де потрібен ретельний контроль якості електроенергії. При ціні близько 35 000 гривень цей пристрій пропонує відмінне співвідношення ціни та якості, поєднуючи в собі високу точність вимірювань з широкими функціональними можливостями. Пристрій підходить для встановлення на DIN-рейку в розподільчих шафах для забезпечуючи високоточне вимірювання та зберігання даних для подальшого аналізу [8].

В Таблиці 1.4 наведені ТТХ аналізатора Janitza UMG 103-CBM.

Таблиця 1.4 – Характеристики аналізатора Janitza UMG 103-CBM

Параметр	Значення (опис)
<i>1</i>	<i>2</i>
Клас точності	Напруга: 0,2%; струм: 0,5%; активна енергія: 0,5S.
Тип мережі	3-фазна, 4-провідна (TN, TT)
Діапазон вимірювання напруги	L-N: 80...277 В АС, L-L: до 480 В АС.
Діапазон вимірювання струму	0,001...6 А (через трансформатори струму 1/5 А).
Гармонічний аналіз	До 40-ї гармоніки.
Частота сканування	5,4 кГц/фаза.
Інтерфейс зв'язку	RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU.
Пам'ять	4 МБ для збереження історичних даних та подій.
Годинник реального часу	З батарейним живленням для точного маркування часу подій.
Живлення	Від 85 до 277 В АС.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

<i>1</i>	<i>2</i>
Розміри	98×71,5×46 мм.
Монтаж	На DIN-рейку 35 мм.
Ступінь захисту	IP20
Робоча температура	від –10°С до +55°С.

Аналізатор UMG 103-CBM оснащений вбудованою пам'яттю обсягом 4 МБ, що дозволяє зберігати історичні дані та події для подальшого аналізу. Завдяки вбудованому годиннику реального часу, всі події та вимірювання маркуються точним часом, що забезпечує надійність даних. Передача даних здійснюється через інтерфейс RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU, що дозволяє інтегрувати пристрій у системи Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) та інші системи моніторингу. До конструктивних особливостей можна віднести компактний розмір – ширина лише 71,5 мм, що дозволяє встановлювати пристрій у щитах з обмеженим простором; можливість монтажу на монтаж на DIN-рейку 35 мм; відповідність вимогам стандартів безпеки та електромагнітної сумісності. Ціна на Janitza UMG 103-CBM в Україні варіюється залежно від постачальника та комплектації та становить ~25 000–35 000 грн [9].

1.3 Постановка задачі проєктування

Результат огляду доступних на ринку України аналізаторів параметрів мережі 220 В показав, що для промислових об'єктів є доступні рішення за ціну, прийнятну для бізнесу. Однак, для побутових споживачів актуальним є придбання недорогого простого у функціонуванні пристрою для цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В.

Таким чином, тема та поставлена мета проєктування є актуальними та відповідає потребам громадян.

Для досягнення поставленої мети проєктування до вирішення приймаються такі задачі щодо розробки пристрою цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В:

1. Розробка схеми електричної структурної.
2. Розробка схеми електричної принципової.
3. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення (ПЗ) для мікроконтролера (МК).

1.4 Висновки до 1-го розділу

В 1-му розділі кваліфікаційного проєкту було проведено огляд існуючих засобів моніторингу параметрів мережі 220 В, представлено головні вимоги до таких систем.

Відповідно до поставленої мети, сформульовані головні задачі проєктування.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ТА АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИБОРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ 220 В

2.1 Розробка структури системи

Визначимо відправним етапом проєктування системи моніторингу мережі 220 В розробку структури системи на високому рівні абстракції.

Відповідно до поставленої мети, а також з урахуванням огляду функціональних можливостей існуючих моніторингових засобів, що наведено в розділі 1 проєкту, виділимо такі головні елементи системи:

- 1) пристрій контролю діючого значення (RMS) однофазної мережі 220 В на базі МК,
- 2) кінцевих пристрій користувача, представлений у вигляді персонального комп'ютера (ПК) чи смартфона з ПЗ верхнього рівня для відображення та обробки даних.

Структура системи моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В показана в спрощеному вигляді на Рисунку 2.1.

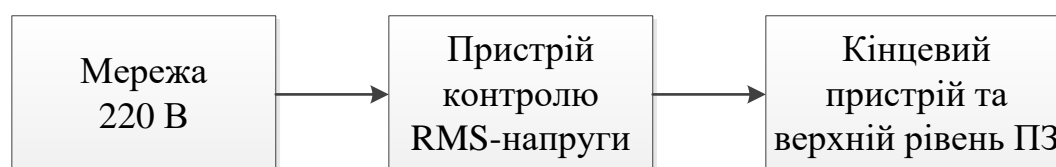


Рисунок 2.1 – Структура системи моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В

Згідно концепції системи, пристрій моніторингу цілодобово підключений до мережі 220 В та виконує постійні вимірювання діючого значення напруги записуючи їх у внутрішній постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП). За вимогою користувача шляхом використання спеціалізованого ПЗ верхнього

рівня дані можуть бути завантажені на ПК через інтерфейс USB для подальшої візуалізації та обробки.

2.2 Розробка структури пристрою контролю параметрів мережі 220 В

Структурна схема пристрою цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В виконана з урахуванням вимог, описаних в Розділі 1. До її складу входить джерело змінної напруги 220 В, діодний випрямляч, фільтр низької частоти (ФНЧ) з частотою зрізу порядку 100 Гц, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікропроцесор керування (МПК) – або просто МК, годинник реального часу з батарейним живлення типу CR1220, інтерфейс для підключення карти пам'яті формату SD для запису даних, а також дисплей для відображення вимірених значень (Рисунок 1.2).

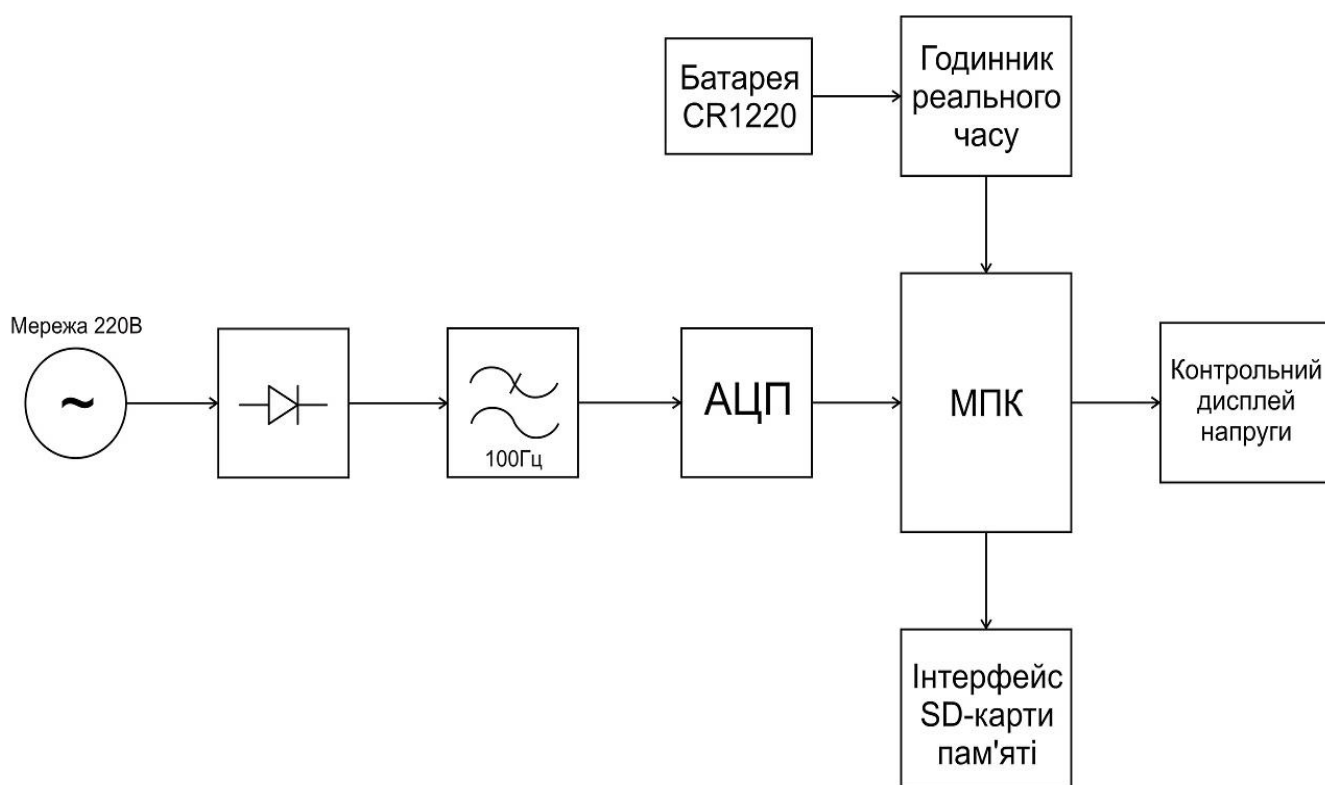


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою контролю діючого значення напруги

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Далі наведемо детальний опис елементів структурної схеми, які зображені на Рисунку 2.2, з метою означення вимог до пристрою та його складових компонентів.

Структурна схема пристрою цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В є комплексним рішенням, яке забезпечує безперервне вимірювання, обробку та збереження даних про напругу в електромережі. Цей пристрій спроектовано з урахуванням вимог, викладених у Розділі 1 кваліфікаційного проекту, що гарантує його відповідність стандартам точності, надійності та функціональності. Схема включає кілька ключових компонентів, кожен з яких виконує чітко визначену функцію, забезпечуючи надійну роботу системи в цілому. Основними елементами є джерело змінної напруги 220 В, яке позначає вхідну мережу 220 В, діодний випрямляч, ФНЧ із частотою зрізу на рівні 100 Гц, АЦП, МК, годинник реального часу з батарейним живленням, інтерфейс для карти пам'яті SD та дисплей для відображення вимірянних значень. Кожен із цих компонентів відіграє важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи пристрою, а їхня взаємодія дозволяє досягти високої точності вимірювань та зручності використання.

На початку схеми розташовано джерело змінної напруги 220 В, яке є первинним об'єктом моніторингу. Ця напруга подається з побутової електромережі, що працює на частоті 50 Гц, і характеризується можливими відхиленнями від номінального значення через перепади, шуми або інші перешкоди. Для безпечної обробки цієї напруги в схемі передбачено використання трансформатора або іншого захисного елемента, який знижує напругу до безпечного рівня перед її подачею на наступні компоненти. Це дозволяє уникнути пошкодження чутливих електронних елементів і забезпечує стабільність роботи системи. Джерело напруги є основою для всіх подальших вимірювань, тому його стабільність і правильна інтеграція в схему є критично важливими. Далі в схемі розташовано діодний випрямляч, який перетворює змінну напругу на пульсуючу постійну. Зазвичай для цього

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

використовується мостова схема на базі чотирьох діодів, що забезпечує повнохвильове випрямлення. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати обидві напівхвилі синусоїдального сигналу, що надходить із мережі. Випрямляч відіграє ключову роль у підготовці сигналу до подальшої обробки, оскільки більшість компонентів схеми, зокрема АЦП, працюють із постійною напругою. Однак пульсуюча напруга, отримана після випрямлення, містить значні високочастотні складові, які необхідно усунути для забезпечення точності вимірювань. Для усунення цих високочастотних складових у схемі застосовується ФНЧ із частотою зрізу на рівні 100 Гц. Цей фільтр призначений для згладжування пульсацій, які виникають після діодного випрямлення, і забезпечення стабільного сигналу для подальшої обробки. Частота зрізу 100 Гц обрана з урахуванням ефективного придушувати гармонік, що виникають через випрямлення сигналу частотою 50 Гц, водночас зберігаючи основну інформацію про амплітуду напруги. Фільтр може бути реалізований у вигляді пасивної RC- або LC-схеми, або активного фільтра на базі операційного підсилювача (ОП), залежно від вимог до точності та складності системи. Його правильна робота забезпечує чистоту сигналу, що надходить до АЦП, і знижує ймовірність помилок у вимірюваннях.

Важливим елементом схеми є АЦП, оскільки саме він відповідає за перетворення аналогового сигналу напруги в цифрову форму, придатну для обробки мікропроцесором (МП). АЦП виконує дискретизацію сигналу з певною частотою та розрядністю, що визначає точність вимірювань. У даному пристрої планується до використання АЦП із достатньою розрядністю (наприклад, 8 або 10 біт), з метою забезпечення високої точності визначення діючого значення напруги. Частота дискретизації також має бути достатньо високою, щоб точно відобразити форму сигналу після фільтрації. АЦП передає цифрові дані МПК, який обробляє їх для подальшого аналізу, збереження або відображення.

Мікропроцесор керування, МПК або МК, є головним обчислювальним вузлом пристрою. Він відповідає за координацію роботи всіх компонентів,

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

обробку даних, отриманих від АЦП, а також виконання необхідних обчислень для визначення діючого значення напруги. МК може використовувати спеціалізовані алгоритми для аналізу сигналу, наприклад, для обчислення значення RMS напруги та інших показників за необхідністю. Крім того, МК керує роботою інших периферійних пристроїв, таких як годинник реального часу, карта пам'яті та дисплей. Завдяки програмованій логіці, МК може бути запрограмований на виконання додаткових функцій, таких як виявлення аномалій у напрузі, ведення статистики або передача даних на зовнішні пристрої.

Годинник реального часу з батарейним живленням типу CR1220 забезпечує точну фіксацію часу для кожного вимірювання, що особливо важливо для цілодобового моніторингу, оскільки дозволяє прив'язувати дані про напругу до конкретних моментів часу. Батарейне живлення забезпечує безперебійну роботу годинника навіть у разі відключення основного джерела живлення, що гарантує збереження хронології даних. Годинник реального часу синхронізується з МК, який використовує мітки часу для організації запису даних на карту пам'яті, оскільки інтерфейс для підключення карти пам'яті SD є важливим компонентом для збереження великих обсягів даних, отриманих у процесі моніторингу. Карта пам'яті дозволяє записувати виміряні значення напруги разом із відповідними мітками часу, що забезпечує можливість подальшого аналізу даних. Інтерфейс SD зазвичай реалізується через стандартний протокол SPI або SDIO, що забезпечує високу швидкість і надійність запису. МК періодично записує дані на карту пам'яті у структурованому форматі, наприклад, у вигляді текстових файлів або бази даних (БД), що полегшує їх обробку на зовнішніх пристроях, таких як, наприклад ПК чи мобільний пристрій (смартфон).

Дисплей, передбачений у схемі, використовується для відображення вимірених значень у реальному часі. Це може бути рідкокристалічний дисплей (LCD), OLED або інший тип екрана, який забезпечує зручне зчитування

інформації. На дисплеї можуть відображатися поточне значення напруги, середньоквадратичне значення, а також додаткові параметри, такі як частота мережі або статистичні дані. Дисплей керується за допомогою МК, який передає йому необхідну інформацію через відповідний інтерфейс, наприклад, I²C або SPI. Наявність дисплея підвищує зручність використання пристрою, дозволяючи користувачу отримувати миттєвий доступ до результатів вимірювань без необхідності підключення до зовнішніх пристроїв.

Отже, усі компоненти схеми працюють у тісній взаємодії, забезпечуючи високу надійність і точність моніторингу. Джерело напруги подає сигнал, який після випрямлення та фільтрації перетворюється в цифрову форму, обробляється МК і зберігається на карті пам'яті з прив'язкою до часу. Дисплей забезпечує візуалізацію даних, а годинник реального часу гарантує їх хронологічну точність. Система може бути додатково оснащена захисними механізмами, такими як запобіжники або стабілізатори напруги, для підвищення надійності. Така організація схеми дозволяє ефективно вирішувати задачу цілодобового моніторингу напруги, забезпечуючи точність, зручність і довговічність роботи пристрою.

Відповідно до опису, наведеному в даному підрозділі проєкту, розроблена схема електрична структурна, яка додається до матеріалів проєкту. Копія схеми електричної структурною пристрою вимірювання діючого значення напруги однофазної мережі 220 В подана в Додатку А.

2.3 Розробка схеми електричної принципової

Для розробки схеми електричної принципової пристрою контролю діючого значення напруги згідно структурної схеми, яка зображена на Рисунку 2.2, було обрано відповідні компоненти елементної бази аналогової та цифрової електроніки в інтегральному виконанні, дискретних пасивних елементів та 8-бітний МК з архітектурою Reduced Instruction Set Computer (RISC).

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Співставлення елементів структурної схеми та обраних компонентів елементної бази подано в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Співставлення елементів структурної схема та обраної елементної бази для розробки схеми електричної принципової

Елемент структурної схеми	Елементна база
Діодний випрямляч	Мікр. DV107 (мостовий випрямляч) для реалізації живлення цифрових компонентів [10], та діодний однопівперіодний випрямляч 1N4007 для вимірювального каналу [11].
ФНЧ	Пасивні компоненти R, C
АЦП	Мікроконтролер Atmega328p [12]
МК	
Годинник реального часу	DS1307
Інтерфейс карти пам'яті	Модуль SD-MMC з буферним регістром 74AHC125N
Дисплей для контролю	Дисплею LED561 з керуванням за допомогою мікросхеми TM1637

Вхідне коло пристрою забезпечує точне вимірювання, стабільне живлення та захист компонентів від можливих перешкод чи перепадів напруги. До його складу входять два основних функціональних блоки: коло живлення, яке забезпечує стабільну напругу для роботи електронних компонентів, і вимірювальний канал, який обробляє вхідну мережеву напругу для її аналізу. Схема побудована з використанням стандартних електронних компонентів, таких як резистори, конденсатори, діоди, стабілізатори напруги та випрямлячі, що забезпечує її доступність і простоту реалізації (Рисунок 2.3). На вході схеми високовольтна напруга 220 В подається через вхідний фільтр, виконаний на

резисторі R6 і конденсаторі C4. Цей фільтр відіграє важливу роль у придушенні високочастотних перешкод, які можуть виникати в електромережі через електромагнітні завади, комутаційні процеси або роботу інших пристроїв. Резистор R6 обмежує струм через конденсатор C4, який, у свою чергу, забезпечує фільтрацію високочастотних складових сигналу, пропускаючи лише основну частоту мережі 50 Гц. Така комбінація елементів дозволяє захистити наступні компоненти схеми від шумів та перепадів напруги і забезпечити стабільний сигнал для подальшої обробки. Вхідний фільтр також сприяє підвищенню безпеки роботи пристрою, зменшуючи ймовірність пошкодження чутливих елементів через імпульсні перешкоди. Після проходження через вхідний фільтр напруга подається на випрямляч VD2, реалізований на мікросхемі DB107. Ця мікросхема є діодним мостом, який виконує повнохвильове випрямлення змінної напруги. Завдяки мостовій схемі, що складається з чотирьох діодів, DB107 ефективно перетворює обидві напівхвилі синусоїдального сигналу 220 В у пульсуючу постійну напругу. Повнохвильове випрямлення забезпечує максимальне використання вхідного сигналу, що є важливим для ефективного живлення схеми. На виході випрямляча отримується напруга з подвоєною частотою (100 Гц), але вона все ще містить значні пульсації, які необхідно усунути для стабільної роботи наступних компонентів. Для згладжування пульсацій після випрямляча передбачено фільтруючу ланку, що складається з резистора R7 і конденсатора C7. Резистор R7 обмежує пікові струми, які можуть виникати під час зарядки конденсатора, тоді як конденсатор C7 накопичує заряд і згладжує пульсації, забезпечуючи більш стабільну напругу. Ця комбінація елементів діє як низькочастотний фільтр, який ефективно придушує високочастотні складові пульсуючої напруги. Додатково в цій ланці встановлено захисний діод Зенера VD3 типу BZX85C8V2. Цей діод обмежує напругу на рівні 8,2 В, захищаючи наступні компоненти від можливих перенапруг, які можуть виникнути через нестабільність мережі або перехідні процеси. Діод Зенера відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки схеми,

запобігаючи пошкодженню стабілізатора напруги. Після фільтрації та захисту напруга подається на стабілізатор напруги DA1, реалізований на мікросхемі MC78M05. Ця мікросхема є лінійним стабілізатором, який забезпечує вихідну напругу 5 В із високою стабільністю, необхідною для живлення МК, АЦП та інших цифрових компонентів схеми. MC78M05 характеризується низьким рівнем шумів і здатністю підтримувати стабільну напругу навіть за умов коливань вхідної напруги або змін навантаження. Для підвищення якості вихідної напруги на виході стабілізатора встановлено фільтруючі конденсатори C11 і C14. Конденсатор C11, керамічний, придушує високочастотні шуми, тоді як конденсатор C14, електrolітичний, забезпечує додаткове згладжування низькочастотних пульсацій. Ці конденсатори підвищують надійність живлення, забезпечуючи чисту та стабільну напругу для роботи чутливих компонентів.

Паралельно з ланцюгом живлення в схемі передбачено вимірювальний канал, який безпосередньо підключений до напруги мережі 220 В. Цей канал призначений для вимірювання діючого значення напруги та передачі відповідного сигналу на АЦП. На вході вимірювального каналу встановлено однопівперіодний випрямляч на діоді VD1 типу 1N4007. Цей діод пропускає лише одну напівхвилю синусоїдального сигналу, забезпечуючи випрямлення напруги для подальшої обробки. Використання однопівперіодного випрямлення дещо знижує ефективність схеми порівняно з повнохвильовим випрямленням, однак спрощує реалізацію, що достатньо для вимірювальних цілей. Діод 1N4007 обрано через його здатність витримувати високі напруги та струми, що забезпечує надійність роботи в умовах мережевої напруги. Після випрямлення сигнал надходить на подільник напруги, виконаний на резисторах R3, R4 і змінному резисторі R5. Подільник знижує амплітуду напруги до рівня, безпечного для АЦП (до діапазону 0...5 В). Резистори R3 і R4 встановлюють основне співвідношення поділу, тоді як змінний резистор R5 дозволяє точно налаштувати вихідну напругу, компенсуючи можливі похибки компонентів або калібруючи схему для конкретних умов роботи. Така конструкція забезпечує

гнучкість і точність вимірювань. На виході подільника встановлено конденсатор C3, який виконує функцію фільтра, згладжуючи пульсації після однопівперіодного випрямлення та забезпечуючи стабільний сигнал для АЦП.

Даний елемент схеми зображений на Рисунку 2.3 і є оптимальним поєднанням простоти реалізації, надійності та точності, що робить її придатною для цілодобового моніторингу напруги в електромережі. Використання стандартних компонентів, таких як DB107, MC78M05, 1N4007 і BZX85C8V2, забезпечує доступність і легкість відтворення схеми, тоді як продумана конструкція гарантує її довговічність і стабільну роботу в реальних умовах.

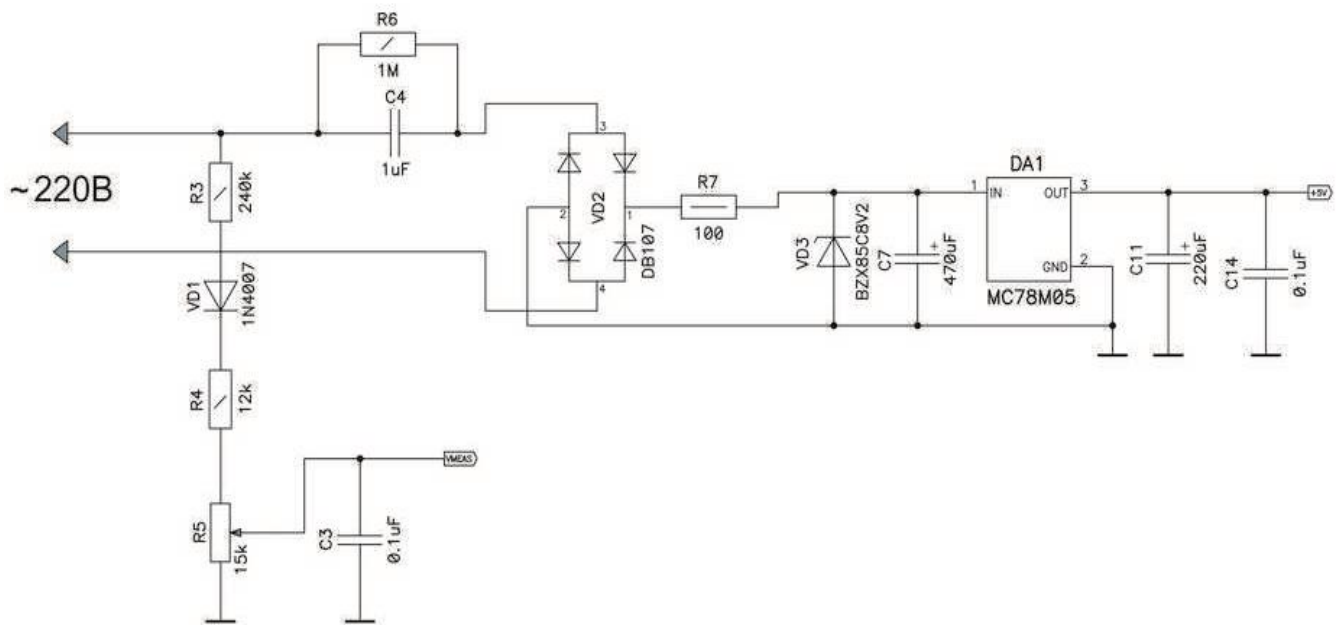


Рисунок 2.3 – Схема підключення мережі 220 В до вимірювального каналу АЦП та до діодного випрямляча в інтегральному виконанні на базі мікросхеми DB107 з подальшим підключенням до та стабілізатора напруги DB107

Наступним важливим сегментом схеми є коло включення лінійного стабілізатора напруги DA2, реалізованого на мікросхемі MCP1703 (Рисунок 2.4). Цей стабілізатор відіграє ключову роль у забезпеченні стабільної напруги живлення +5 В для цифрових компонентів пристрою, таких як МК, АЦП, годинник реального часу та інтерфейс карти пам'яті SD. Для гарантії високої

якості вихідної напруги схема включає вхідний і вихідний фільтри, які усувають шуми та пульсації, забезпечуючи безперебійну роботу чутливих електронних компонентів. Лінійний стабілізатор напруги DA2 на базі мікросхеми MCP1703 є високоефективним компонентом, який характеризується низьким падінням напруги, малим власним споживанням струму та високою стабільністю вихідної напруги. MCP1703 здатна забезпечувати вихідну напругу +5 В із точністю, необхідною для живлення цифрових схем, навіть за умов коливань вхідної напруги або змін навантаження. Ця мікросхема має вбудовані механізми захисту від перевантаження та перегріву, що підвищує надійність системи в цілому.

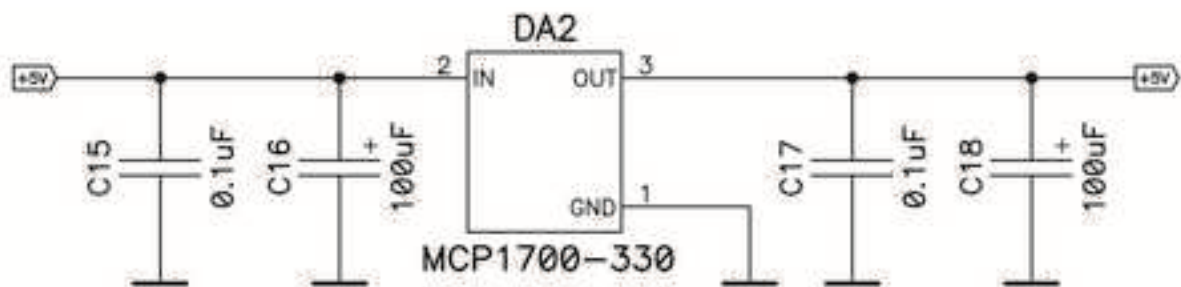


Рисунок 2.4 – Схема включення стабілізатора напруги MCP1703

Для завантаження ПЗ та налагодження пристрою реалізовано додаткові функціональні блоки, які включають інтерфейс програмування на базі мікросхеми CH340G (Рисунок 2.5), схему підключення МК Atmega328p (Рисунок 2.6), а також схему скидання (Рисунок 2.7), що забезпечує коректне керування МК. Інтерфейс програмування та налагодження, реалізований на базі мікросхеми CH340G, позначеної на схемі як DD1. Ця мікросхема виконує функцію перетворювача послідовного порту на USB, що дозволяє підключати пристрій до комп'ютера для завантаження ПЗ, налагодження або оновлення прошивки МК. До шини USB підключається периферійне обладнання через роз'єм XS1, до якого виведено виводи UD+ (5) і UD- (6) мікросхеми DD1. Ці виводи відповідають за передачу даних по USB, забезпечуючи стабільний зв'язок із зовнішніми пристроями, такими як комп'ютер. Виводи TX (2) і RX (1)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

мікросхеми DD1, які відповідають за передачу та прийом даних у послідовному форматі, підключені до відповідних виводів МК через резистори R1 і R2 із номіналами 1 кОм. Ці резистори обмежують струм і захищають виводи від можливих перевантажень, забезпечуючи надійний обмін даними між CH340G і МК. Живлення МК DD1 здійснюється від стабілізованої напруги +5 В, яка подається через конденсатор С6 до виводів V3 (4) і V3 (16). Конденсатор С6 виконує функцію фільтра, згладжуючи можливі пульсації напруги живлення та забезпечуючи стабільну роботу мікросхеми. Тактування CH340G забезпечується кварцовим резонатором BQ1 із частотою 12 МГц, який підключений до виводів X0 (8) і X01 (7). Паралельно до резонатора підключено конденсатори С1 і С2, які стабілізують частоту коливань, компенсуючи паразитні ємності та забезпечуючи точне тактування мікросхеми. Ця схема тактування є стандартною для CH340G і гарантує коректну роботу інтерфейсу USB, що важливо для програмування та налагодження пристрою.

Наступним важливим сегментом є схема підключення МК Atmega328p, позначеного як DD2. Цей МК є центральним елементом системи, який відповідає за обробку даних, отриманих від АЦП, керування периферійними пристроями, такими як дисплей і карта пам'яті SD, а також взаємодію з інтерфейсом програмування. Напруга живлення +5 В подається на виводи VCC (5, 6) МК, забезпечуючи його основне живлення. Крім того, ця ж напруга використовується як опорна для внутрішнього АЦП через вивід AVCC (18). Використання стабільної опорної напруги є важливим для забезпечення високої точності вимірювань, оскільки АЦП МК порівнює вхідний сигнал із цією напругою. Для додаткової стабілізації вивід AREF (20), який відповідає за опорну напругу АЦП, підключено до через конденсатор С9. Цей конденсатор усуває шуми на лінії опорної напруги, підвищуючи точність АЦП.

Тактування МК Atmega328p забезпечується кварцовим резонатором BQ2, який підключений до виводів XTAL1 (7) і XTAL2 (8). Паралельно до резонатора включено резистор R9, який стабілізує коливання, а також конденсатори С12 і

C18, які компенсують паразитні ємності та забезпечують стабільну роботу резонатора. Частота кварцового резонатора зазвичай становить 16 МГц, що є стандартним значенням для Atmega328p, забезпечуючи оптимальну продуктивність МК для обробки даних і керування периферійними пристроями.

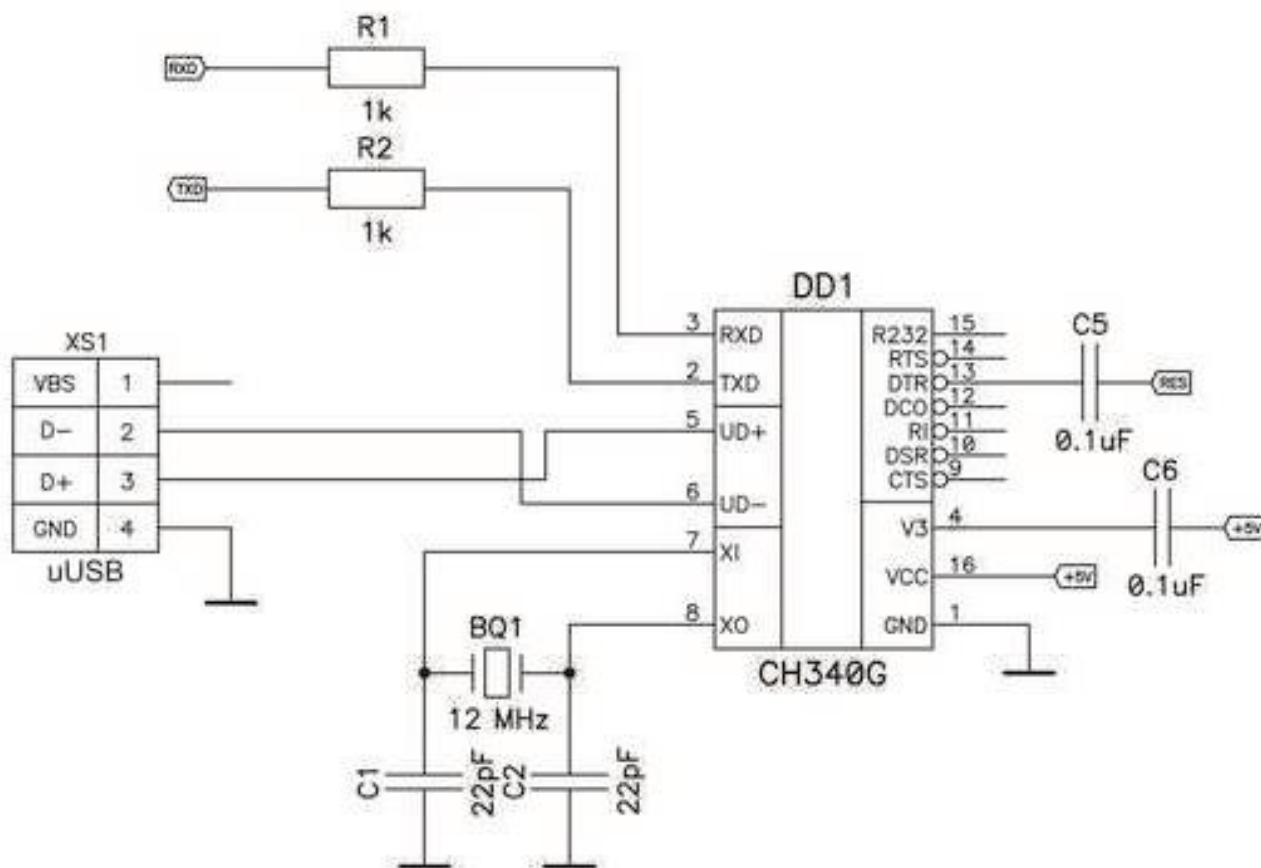


Рисунок 2.5 – Схема реалізації інтерфейсу для програмування та налагодження МК за допомогою перетворювача USB послідовного інтерфейсу, що виконано на базі мікросхеми CH340G

Схема скидання МК, що зображена на Рисунку 2.7, є ще одним важливим елементом системи. Вона складається з перемикача SA1, який дозволяє вручну ініціювати скидання МК, що може бути необхідно під час налагодження або в разі збою в роботі. Перемикач SA1 через фільтр, виконаний на резисторі R8 і конденсаторі C8, підключає вивід DRT (13) мікросхеми CH340G і вивід PC6 (29) МК до корпусу. Резистор R8 обмежує струм, а конденсатор C8 усуває

короткочасні імпульсні перешкоди, які можуть викликати помилкове спрацювання скидання. Ця схема забезпечує надійне скидання МК, дозволяючи перезапустити його в разі потреби без ризику пошкодження або некоректної роботи.

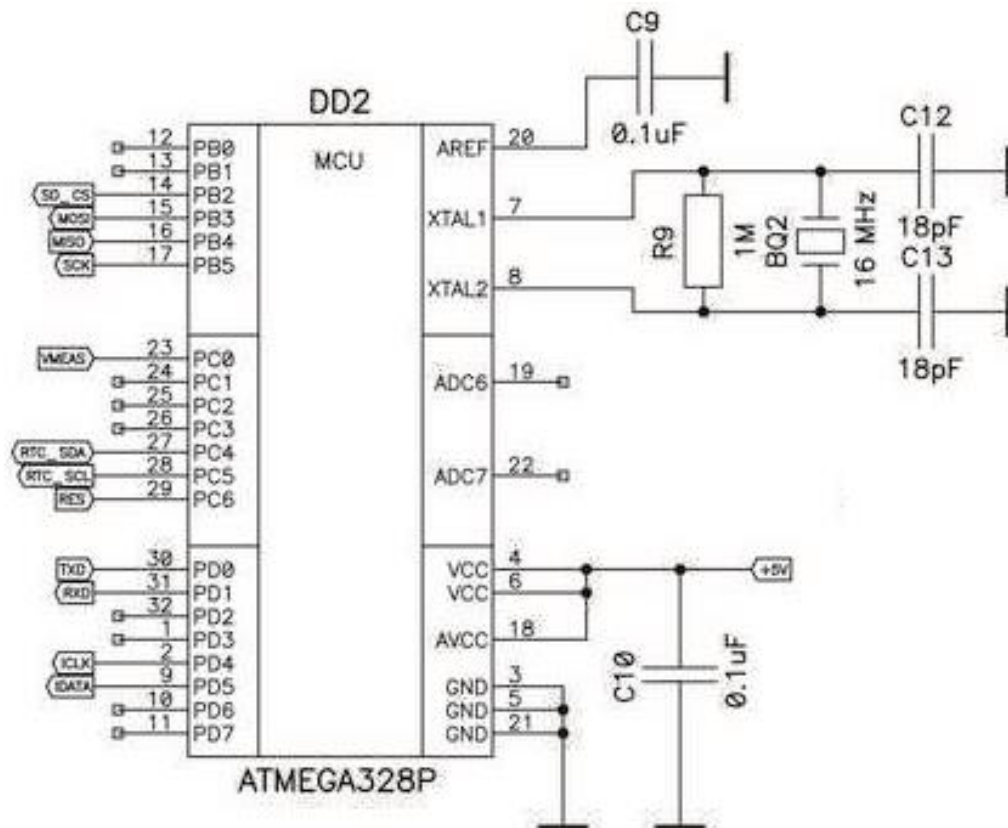


Рисунок 2.6 – Схема підключення МК Atmega328р з тактуванням від зовнішнього кварцового резонатора на 16 МГц

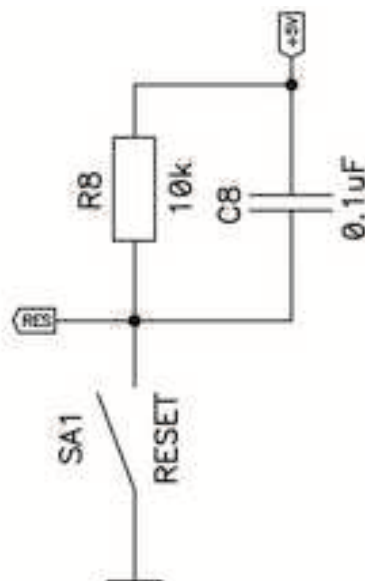


Рисунок 2.7 – Схема скидання МК

Схема підключення годинника реального часу DS1307, що на схемі позначено DD4, показана на Рисунку 2.8. Підключення до МК Atmega328p (DD2) здійснюється через інтерфейс I²C, який є стандартом для двостороннього зв'язку між цифровими компонентами. Інтерфейс I²C реалізований через виводи SDA (5) і SCL (6) мікросхеми DS1307, які відповідають за передачу даних і тактовий сигнал відповідно. Ці виводи підключені до відповідних виводів МК DD2 – PC4 (27) для SDA і PC5 (28) для SCL. Тактування мікросхеми DS1307 здійснюється за допомогою кварцового резонатора BQ3 із частотою 32,768 кГц, який підключений паралельно до виводів X1 (1) і X2 (2). Частота 32,768 кГц є стандартною для годинників реального часу, оскільки вона дозволяє точно генерувати секундні імпульси шляхом ділення частоти на ступені двійки. Кварцовий резонатор забезпечує високу стабільність і точність роботи DS1307, що є необхідним для довготривалого моніторингу.

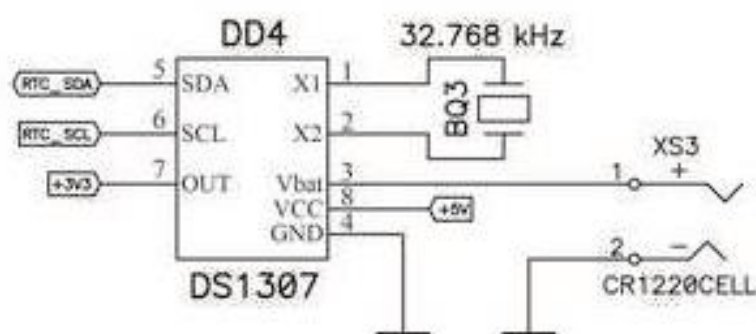


Рисунок 2.8 – Схема підключення годинника реального часу DS1307 з батарейним живленням CR1220

Напруга живлення для мікросхеми DS1307 подається на вивід VCC (8) і становить +5 В, що відповідає напрузі, стабілізованій попередніми блоками живлення на базі мікросхем MC78M05 (DA1) і MCP1703 (DA2). Ця напруга забезпечує нормальну роботу годинника під час підключення до основного джерела живлення. Для підтримки роботи DS1307 у разі відключення основного живлення передбачено резервне живлення від батареї CR1220, підключеної

чотири основні лінії: MOSI для передачі даних від мікроконтролера до карти, MISO для передачі даних від карти до мікроконтролера, SCK для тактового сигналу та CS для вибору пристрою. Ці лінії підключені до відповідних виводів МК DD2 (Рисунки 2.6, 2.9).

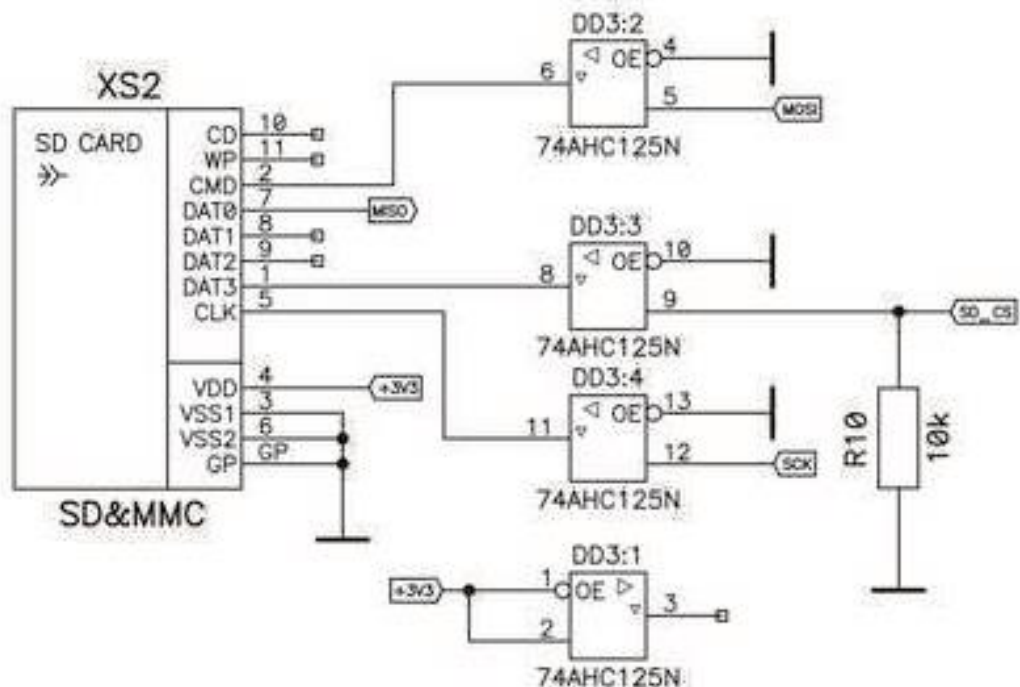


Рисунок 2.9 – Схема підключення інтерфейсу для карти пам'яті SD-MMC через буферні регістри на мікросхемі 74AHC125N

Схема підключення дисплею для індикації даних вимірювання показана на Рисунку 2.10. Мікросхема TM1637, яка керує дисплеєм LED561, використовує двопровідний інтерфейс для зв'язку з МК, що спрощує підключення та зменшує кількість необхідних виводів.

Дисплей LED561 є чотирирозрядним семисегментним індикатором, який має розмір 0,36 або 0,56 дюйма та підтримує відображення цифр, деяких букв і спеціальних символів, таких як двокрапка для виведення часу. Керування дисплеєм здійснюється мікросхемою TM1637, яка позначена в схемі як DD5. Ця мікросхема є драйвером із двопровідним інтерфейсом, який, хоча й не є стандартним I²C через відсутність адресації пристроїв, забезпечує просте та

ефективне керування дисплеєм. TM1637 дозволяє регулювати яскравість дисплея (зазвичай у діапазоні від 0 до 7 рівнів), що дає змогу адаптувати відображення до різних умов освітлення, а також підтримує логічні рівні напруги 5 В і 3,3 В, що робить її сумісною з мікроконтролером Atmega328p (DD2), який працює від 5 В у цій системі. Дисплей LED561, керований TM1637, зазвичай має чотири контакти для підключення: два для живлення (VCC і GND) і два для даних (CLK і DIO), що забезпечують зв'язок із МК.

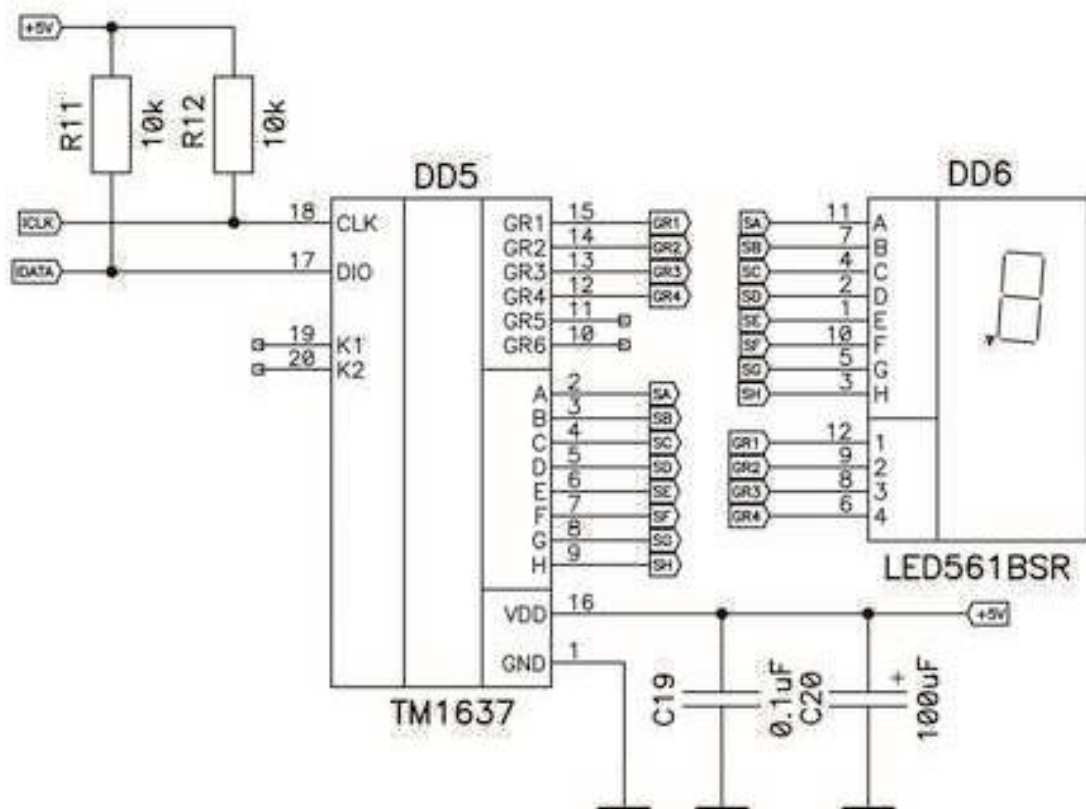


Рисунок 2.10 – Схема підключення дисплею LED561 з керуванням мікросхемою TM1637

Схема електрична принципова пристрою контролю діючого значення напруги однофазної побутової мережі 200 В у повному обсязі виконана у вигляді креслення на форматі А2 та додається до матеріалів кваліфікаційного проєкту. Копія схеми наводиться в Додатку Б.

2.4 Висновки до 2-го розділу

В 2-му розділі кваліфікаційного проєкту було виконано наступне:

- 1) розроблено структурну схему пристрою контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В,
- 2) обрано елементну базу та розроблено схему електричну принципову.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ЦІЛОДОБОВОГО МОНІТОРИНГУ МЕРЕЖІ 220 В

3.1 Розробка алгоритму для мікроконтролера

Алгоритм роботи МК Atmega328p у пристрої для цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В є чітко структурованим і забезпечує послідовне виконання всіх необхідних операцій для вимірювання, обробки, збереження та відображення даних. Блок-схема алгоритму, яка наведена на Рисунку 3.1, реалізує основну функціональність системи, включаючи зчитування даних із АЦП, їх обробку, синхронізацію з годинником реального часу, запис на карту пам'яті SD та виведення інформації на дисплей LED561, керований мікросхемою TM1637.

Алгоритм починається з ініціалізації всіх компонентів і продовжується у безперервному циклі, що забезпечує цілодобовий моніторинг із періодичністю оновлення даних кожену секунду. Використання стандартних бібліотек для роботи з периферійними пристроями та продумана послідовність операцій гарантують ефективність, надійність і точність роботи системи. На етапі ініціалізації МК виконує початкове налаштування всіх необхідних компонентів і параметрів для коректної роботи системи. Цей етап включає конфігурацію вбудованого АЦП МК Atmega328p для зчитування сигналу з виводу A0, який підключений до вимірювального каналу через подільник напруги та фільтр. Ініціалізація АЦП передбачає вибір опорної напруги (зазвичай +5 В через вивід AVCC), налаштування частоти дискретизації та вибір каналу A0 для зчитування аналогового сигналу. Далі МК налаштовує інтерфейс I²C для зв'язку з годинником реального часу DS1307, що забезпечує отримання точних міток часу. Для цього використовується бібліотека Wire.h, яка підтримує протокол I²C, і встановлюється адреса DS1307, наприклад, 0x68. Також ініціалізується інтерфейс SPI для роботи з картою пам'яті SD через роз'єм XS2 і буферний

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КПТР. 021011.01.01 ПЗ				

регістр 74AHC125N, що включає налаштування ліній MOSI, MISO, SCK і CS, а також ініціалізацію файлової системи FAT для запису даних. Нарешті, МК налаштовує двопровідний інтерфейс для роботи з мікросхемою TM1637, яка керує дисплеєм LED561, установлюючи виводи CLK і DIO та ініціалізуючи бібліотеку TM1637Display.h. На цьому етапі також може виконуватися перевірка підключення всіх компонентів, наприклад, тестування доступності карти пам'яті або коректності роботи годинника, щоб гарантувати готовність системи до роботи.

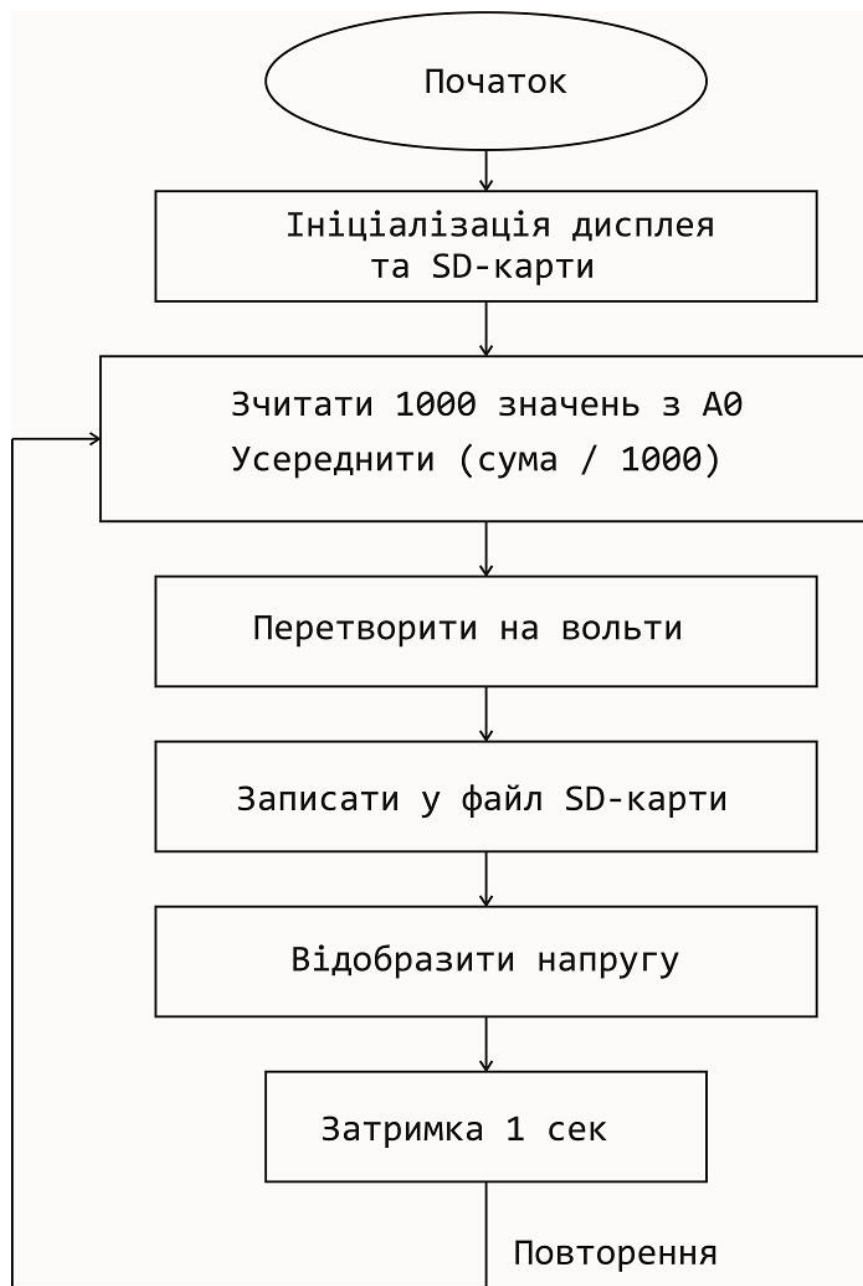


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму мікроконтролера

Після ініціалізації МК переходить до основного циклу, який виконується безперервно для реалізації функції моніторингу. Першим кроком у циклі є зчитування 1000 значень із виводу А0 мікроконтролера, де надходить аналоговий сигнал від вимірювального каналу, сформований через однопівперіодний випрямляч (VD1), подільник напруги (R3, R4, R5) і фільтр (С3). Ці значення зчитуються за допомогою АЦП, який перетворює аналоговий сигнал у цифровий код із розрядністю 10 біт (0–1023). Для підвищення точності вимірювань МК обчислює середнє арифметичне цих 1000 значень. Такий підхід дозволяє зменшити вплив шумів і випадкових відхилень у сигналі, що можуть виникати через перешкоди в електромережі або неточності вимірювального каналу. Отримане середнє значення є цифровим кодом, який відповідає амплітуді напруги після обробки вимірювальним каналом. Наступним кроком є перетворення отриманого коду АЦП у вольти з урахуванням опорної напругу АЦП (5 В), розрядність (1023 для 10 біт) і коефіцієнту масштабування, який визначений подільником напруги (R3, R4, R5). Для підвищення точності може застосовуватися калібрувальний коефіцієнт, який враховує похибки компонентів або налаштування змінного резистора R5. Отримане значення діючої напруги (RMS) може додатково коригуватися програмно, якщо вимірювальний канал забезпечує лише однопівперіодне випрямлення, шляхом множення на відповідний коефіцієнт для врахування форми сигналу.

Далі МК зчитує поточний час із годинника реального часу DS1307. Для цього надсилається запит до регістрів DS1307, які містять дані про секунди, хвилини, години, день, місяць і рік. МК отримує ці дані у форматі BCD (двійково-десятковий код) і декодує їх у зручний формат, наприклад, рядок у форматі «ГГ:ХХ:СС» або числове значення для подальшого використання. Цей етап є важливим для прив'язки вимірюваного значення напруги до конкретного моменту часу, що дозволяє створювати точний журнал даних для аналізу.

Після отримання значення напруги та мітки часу мікроконтролер записує ці дані на карту пам'яті SD через інтерфейс SPI. Використовуючи бібліотеку

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

SD.h, МК відкриває або створює файл на карті пам'яті, додає до нього рядок із даними у форматі «ГГ:ХХ:СС, U=XXX.XX В», і закриває файл для збереження. Буферний регістр 74АНС125N забезпечує стабільність передачі даних, а швидкість SPI дозволяє виконати цей етап швидко, уникаючи затримок у циклі. Для оптимізації ресурсів МК може накопичувати кілька вимірювань у буфері перед записом, щоб зменшити кількість операцій із файловою системою.

Наступним кроком є відображення значення діючої напруги на дисплеї LED561, керованому мікросхемою ТМ1637. МК формує дані для відображення, наприклад, значення напруги у форматі «ХХХ.Х» (де Х — цифри), і передає їх до ТМ1637 через двопровідний інтерфейс (лінії CLK і DIO). Бібліотека ТМ1637Display.h дозволяє легко відобразити числове значення, активувати двокрапку або налаштувати яскравість дисплея. Наприклад, для напруги 220,5 В дисплей може показати «220.5», що забезпечує зручне зчитування інформації користувачем у реальному часі.

Завершальним етапом циклу є затримка на 1 секунду, яка реалізується за допомогою функції delay(1000) або аналогічного механізму в ПЗ. Ця затримка забезпечує періодичність вимірювань один раз на секунду, що є достатнім для моніторингу напруги мережі з частотою 50 Гц і дозволяє уникнути перевантаження системи обробкою даних. Після затримки цикл повторюється, починаючи зі зчитування нових 1000 значень із АЦП.

3.2 Опис апаратної платформи та середовища розробки

В якості апаратно-програмної платформи для розробки системи було обрано Arduino UNO [13] та середовище розробки Arduino IDE [14].

Arduino Uno – це відлагоджувальна плата, заснована на МК АТmega328Р, що широко використовується для створення електронних проєктів. Плата має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть використовуватися для широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор на 16

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

МГц, порт USB для живлення та програмування, роз'єм живлення, роз'єм ICSP для внутрішньосхемного програмування та кнопку скидання. Arduino Uno підтримує напругу 5 В для роботи МК та може житися через USB або зовнішнє джерело живлення від 7 до 12 В. Плата сумісна з багатьма датчиками, модулями та шилдами, що робить її універсальною для прототипування. Вона має 32 КБ флеш-пам'яті для зберігання програм, 2 КБ SRAM для змінних і 1 КБ EEPROM для постійного зберігання даних.

Зовнішній вигляд плати Arduino Uno та позначення виводів показано на Рисунку 3.2.

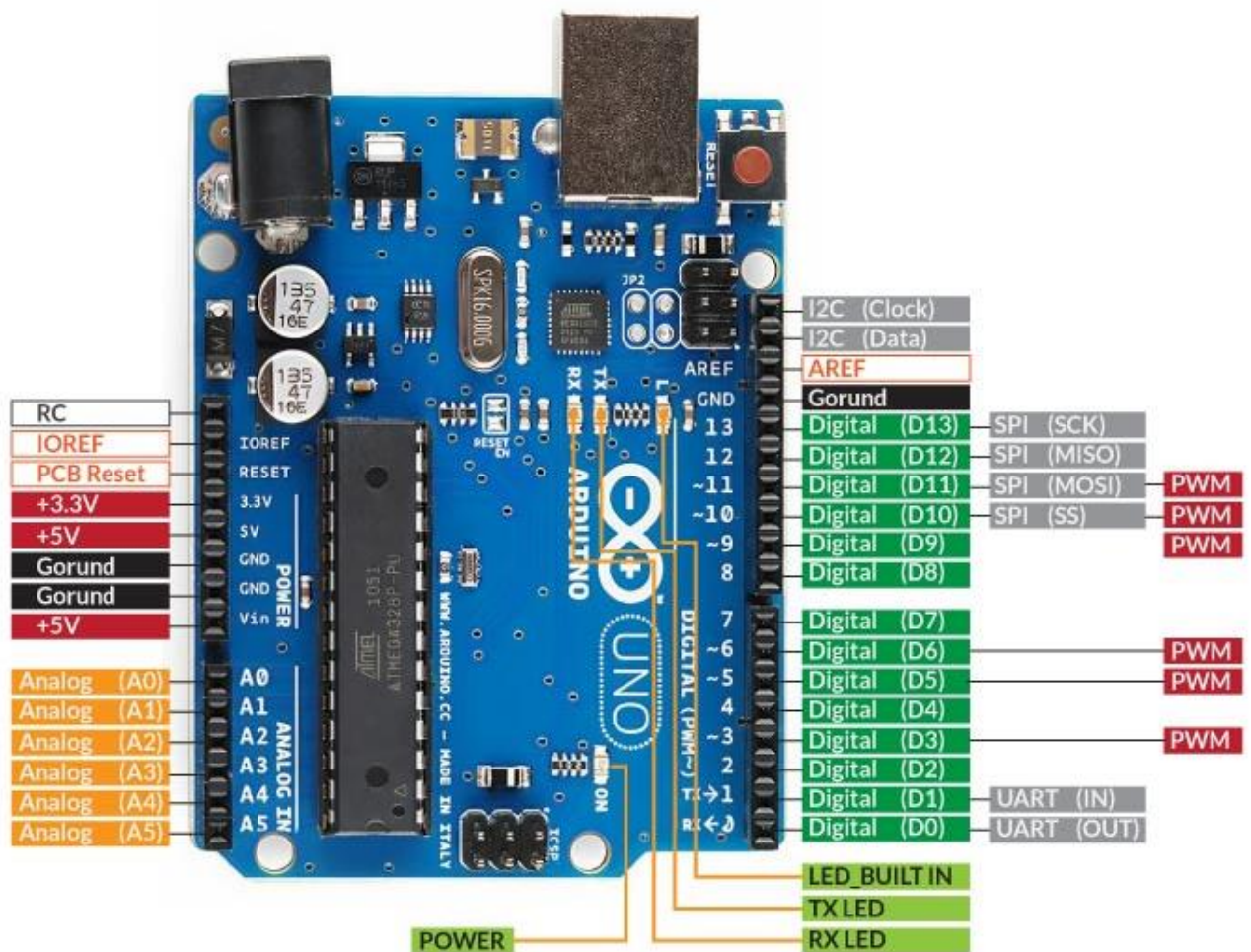


Рисунок 3.2 – Плата Arduino Uno

Середовище розробки Arduino IDE є це безкоштовним ПЗ з відкритим кодом, яке призначене для написання, компіляції та завантаження програм (скетчів) на плати Arduino, зокрема Uno. Воно має простий графічний

інтерфейс, який включає текстовий редактор для написання коду, область виведення повідомлень, консоль для налагодження та панель інструментів із кнопками для основних операцій, таких як компіляція та завантаження. Arduino IDE підтримує мову програмування, засновану на C/C++, із спрощеним синтаксисом, що полегшує роботу з апаратними компонентами. Середовище містить бібліотеки для роботи з датчиками, дисплеями, моторами та іншими модулями, а також дозволяє додавати власні бібліотеки. Воно сумісне з операційними системами Windows, macOS і Linux, а також підтримує різні моделі плат Arduino.

Інтерфейс користувача Arduino IDE показано на Рисунку 3.3.

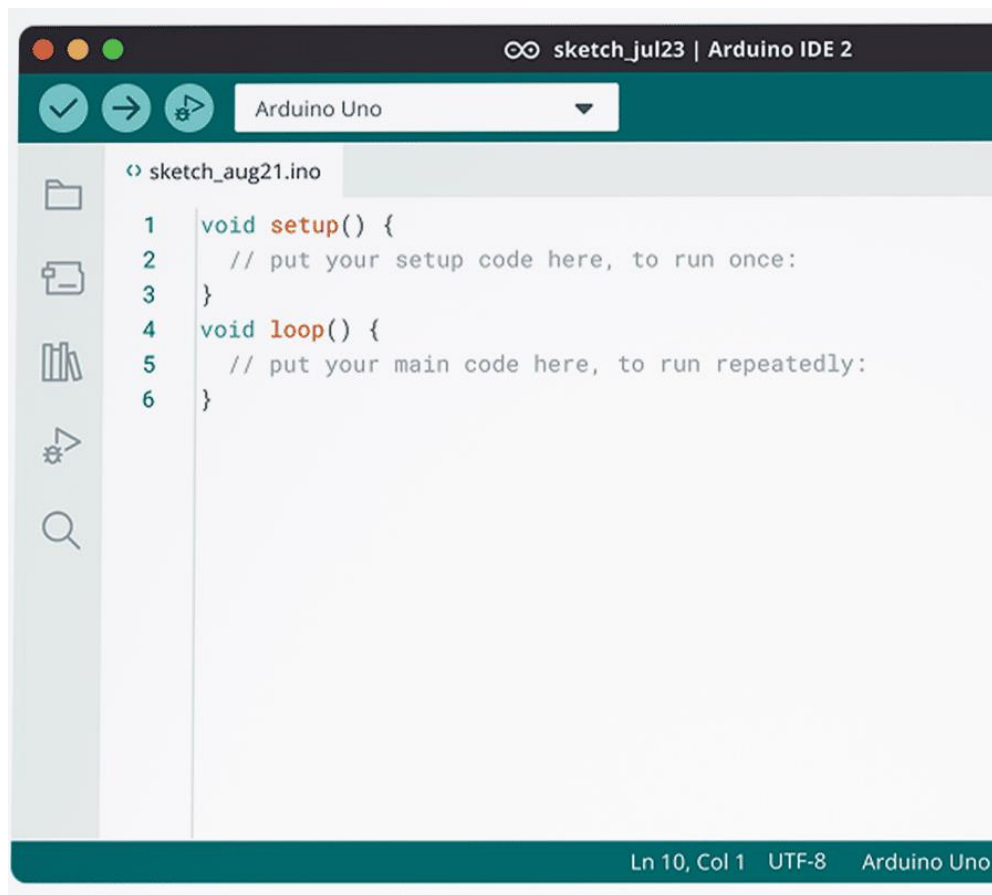


Рисунок 3.3 – Інтерфейс Arduino IDE

Процес створення та завантаження програми в Arduino IDE починається з написання скетчу, який складається з двох основних функцій: `setup()` і `loop()`. У функції `setup()` виконується ініціалізація, наприклад, налаштування пінів як

входів або виходів чи ініціалізація послідовного зв'язку. Функція `loop()` містить код, який виконується циклічно після ініціалізації. Після написання скетчу користувач підключає плату Arduino Uno до комп'ютера через USB-кабель. У меню Arduino IDE обирається тип плати (Arduino Uno) і порт, до якого вона підключена (наприклад, COM3 у Windows або `/dev/ttyACM0` у Linux). Далі скетч перевіряється на помилки за допомогою кнопки «Перевірити» (компіляція), і якщо помилок немає, програма завантажується на плату кнопкою «Завантажити». Під час завантаження Arduino IDE компілює код у бінарний формат, зрозумілий мікроконтролеру, і передає його через USB. Після успішного завантаження програма автоматично запускається на платі.

Для відлагодження програм Arduino IDE надає розробникам зручний інтерфейс – монітор послідовного порту, інтерфейс якого показано на Рисунок 3.4.

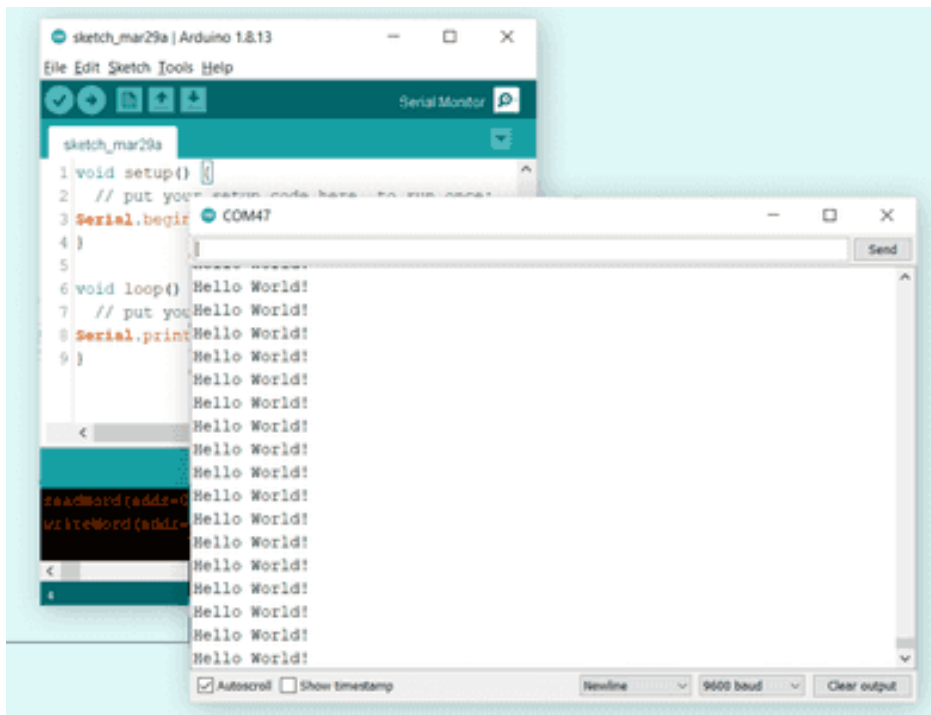


Рисунок 3.4 – Монітор послідовного порту Arduino IDE

Монітор послідовного порту в Arduino IDE використовується для налагодження та обміну даними між платою Arduino Uno та комп'ютером. Для

його використання в скетчі ініціалізується послідовний зв'язок за допомогою функції `Serial.begin()`, де вказується швидкість передачі даних (наприклад, 9600 бод). Після завантаження програми користувач відкриває монітор послідовного порту через меню «Інструменти» або кнопку в IDE. У вікні монітора відображаються дані, які плата надсилає через функції `Serial.print()` або `Serial.println()`, наприклад, показання датчиків або діагностичні повідомлення. Користувач також може надсилати дані з комп'ютера на плату через поле введення в моніторі, що корисно для керування пристроєм. Монітор підтримує різні швидкості передачі, які мають збігатися з налаштуваннями в скетчі, і дозволяє в реальному часі спостерігати за роботою програми, що значно полегшує тестування та налагодження проєктів.

3.3 Опис програмних компонентів

Програма для МК розроблено та протестовано в середовищі Arduino IDE. Повний код програми представлено в Додатку В. Розроблений код програми для Arduino UNO реалізує алгоритм цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В, використовуючи мікроконтролер Atmega328p, як описано в наданому алгоритмі. Код написаний на мові C++ і структурований для виконання послідовних операцій, включаючи ініціалізацію компонентів, зчитування даних з АЦП, обробку даних, синхронізацію з годинником реального часу, запис даних на SD-карту та відображення інформації на дисплеї LED561, керованому мікросхемою TM1637. Програма використовує стандартні бібліотеки Arduino для роботи з апаратними компонентами, забезпечуючи ефективність і надійність системи.

На початку код включає необхідні бібліотеки: `Wire.h` для роботи з інтерфейсом I²C і зв'язку з годинником реального часу DS1307, `RTClib.h` для зручної взаємодії з DS1307, `SD.h` для роботи з SD-картою через SPI-інтерфейс і `TM1637Display.h` для керування дисплеєм LED561 через двопровідний

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

інтерфейс. Визначаються константи та піни: `VOLTAGE_PIN` (A0) для зчитування аналогового сигналу з вимірювального каналу, `SD_CS_PIN` (пін 10) для вибору SD-карти через SPI, `TM1637_CLK` (пін 6) і `TM1637_DIO` (пін 7) для зв'язку з дисплеєм TM1637. Константи включають опорну напругу АЦП ($V_{REF} = 5.0$ В), розрядність АЦП (`ADC_RESOLUTION = 1023` для 10 біт), масштабувальний коефіцієнт (`SCALE_FACTOR = 100.0`, який потрібно налаштувати відповідно до подільника напруги R3, R4, R5), коефіцієнт корекції для однопівперіодного випрямлення (`RMS_CORRECTION = 1.414`) і кількість зразків для усереднення (`SAMPLES = 1000`). Також створюються об'єкти для взаємодії з апаратними компонентами: `rtc` для годинника DS1307, `display` для дисплея TM1637 і `dataFile` для роботи з файлами на SD-карті.

У функції `setup()` виконується ініціалізація всіх компонентів. Починається вона з налаштування послідовного зв'язку через `Serial.begin(9600)` для можливого дебагінгу. Далі налаштовується АЦП за допомогою `analogReference(DEFAULT)`, що встановлює опорну напругу 5 В через AVCC. Ініціалізується I²C-інтерфейс через `Wire.begin()`, після чого перевіряється наявність і працездатність годинника DS1307. Якщо годинник не знайдено або не працює, програма видає повідомлення про помилку та зупиняється. Якщо годинник не синхронізований, встановлюється поточний час компіляції за допомогою `rtc.adjust`. Потім ініціалізується SD-карта через `SD.begin(SD_CS_PIN)`, і в разі невдачі виводиться повідомлення про помилку, а програма зупиняється. Нарешті, дисплей TM1637 налаштовується з максимальною яскравістю (`setBrightness(0x0f)`) і очищається (`display.clear()`).

Основна логіка програми реалізується у функції `loop()`, яка виконується безперервно, забезпечуючи моніторинг напруги з періодичністю один раз на секунду. На початку циклу зчитується 1000 значень з аналогового піна A0 за допомогою `analogRead(VOLTAGE_PIN)`. Ці значення накопичуються в змінній `sum`, причому між зчитуваннями додається невелика затримка (`delayMicroseconds(100)`) для стабільності вимірювань. Після збору зразків

обчислюється середнє значення АЦП як $\text{sum} / \text{SAMPLES}$, що дозволяє зменшити вплив шумів і перешкод у вимірювальному каналі. Отримане середнє значення перетворюється в напругу за формулою: $(\text{avgAdc} * \text{VREF} / \text{ADC_RESOLUTION}) * \text{SCALE_FACTOR} * \text{RMS_CORRECTION}$. Ця формула враховує опорну напругу АЦП, його розрядність, масштабувальний коефіцієнт подільника напруги та корекцію для однопівперіодного випрямлення, щоб отримати діюче значення напруги (RMS) у вольтах.

Далі програма отримує поточний час із годинника DS1307 за допомогою `rtc.now()`. Час форматується у вигляді рядка «ГГ:ХХ:СС» через `sprintf`, використовуючи дані про години, хвилини та секунди. Для запису на SD-карту формується рядок даних у форматі «ГГ:ХХ:СС, U=XXX.XX В» за допомогою `sprintf`, який містить мітку часу та значення напруги з точністю до двох знаків після коми. Файл `voltage.txt` відкривається в режимі запису через `SD.open`, дані додаються до файлу, після чого файл закривається для збереження. Якщо відкрити файл не вдалося, виводиться повідомлення про помилку через послідовний порт.

Для відображення напруги на дисплеї TM1637 значення напруги множиться на 10 і приводиться до цілого числа, щоб отримати формат «XXX.X». За допомогою `display.showNumberDecEx` значення виводиться на дисплей із увімкненою десятковою крапкою, що забезпечує зручне відображення, наприклад, «220.5» для напруги 220,5 В. Завершується цикл затримкою на 1 секунду через `delay(1000)`, що забезпечує періодичність вимірювань і уникає перевантаження системи. Після цього цикл повторюється, починаючи зі зчитування нових 1000 значень із АЦП.

Код відповідає описаному алгоритму, забезпечуючи надійне виконання всіх етапів: ініціалізації, вимірювання, обробки, збереження та відображення даних. Він враховує апаратні особливості системи, такі як однопівперіодне випрямлення сигналу, і використовує стандартні бібліотеки для спрощення взаємодії з периферійними пристроями. Для коректної роботи масштабувальний

коефіцієнт (SCALE_FACTOR) потребує калібрування відповідно до конкретних параметрів подільника напруги в апаратній частині системи.

3.4 Висновки до 3-го розділу

В 3-му розділі кваліфікаційного було виконано наступне:

- 1) розроблено алгоритм роботи МК та побудовано блок-схему,
- 2) описано платформу Arduino UNO та середовище розробки Arduino IDE,
- 3) розроблено код програми для МК.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ПРОЄКТУ

В результаті виконаного кваліфікаційного проєкту бакалавра за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка були отримані такі результати:

1.Проведено аналіз існуючих засобів цілодобового моніторингу параметрів мережі 220 В та охарактеризовано головні параметри мережі, які доцільно контролювати з точки зору побутового користувача електромережі.

2.Розроблено структуру системи моніторингу параметрів мережі, яка складається з пристрою контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В та програмного забезпечення.

3.Розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову пристрою цілодобового контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В.

4.Розроблено алгоритм роботи та програмен забезпечення для апаратно-програмної платформи Arduino для реалізації та тестування прототипу пристрою

Практичне значення проєкту полягає у можливості впровадження вищеописаного пристрою для контролю якості мережі побутовими споживачами електроенергії.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 30804.2.25-2003 (МЕК 60050-161:1990). Електричні та електромагнітні явища. Терміни та визначення. – [Чинний від 2004-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 34 с.

2. IEEE Std 100-2000. The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms. – 7th ed. – New York : IEEE, 2000. – 1360 p.

3. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги в електричних мережах загального призначення [Текст]. – Чинний від 2015-07-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 40 с.

4. Sonel PQM-710UA. Паспорт та інструкція з експлуатації [Текст] / SONEL S.A. – Відень: SONEL, 2023. – 120 с.

5. IEC 61000-4-30:2021. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods [Text]. - 3rd ed. - Geneva: International Electrotechnical Commission, 2021. - 158 p.

6. ДСТУ ГОСТ 32144:2019 (ГОСТ 32144-2013, IDT). Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення [Текст]. - 2019. - 31 с.

7. Satec PM175. Power Quality Meter: User Manual and Technical Specifications [Електронний ресурс] / SATEC. – Режим доступу: <https://www.satec-global.com/products/pm175> (офіційний сайт виробника). – Дата звернення: 2025.05.15.

8. Circutor CVM-B100. Багатофункціональний аналізатор якості електроенергії: технічний опис та інструкція з експлуатації [Електронний ресурс] / Circutor. – Режим доступу: <https://www.circutor.com> (офіційний сайт виробника). – Дата звернення: 2024.07.15.

9. Janitza UMG 103-SVM. Аналізатор якості електроенергії: технічний опис та інструкція з експлуатації [Електронний ресурс] / Janitza electronics

									Арк.
									52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КПТР. 021011.01.01 ПЗ				

GmbH. - Режим доступу: <https://www.janitza.com> (офіційний сайт виробника). -

Дата звернення: 2025.05.15.

10. DB107. Single Phase Bridge Rectifier: Datasheet [Електронний ресурс] / Diodes Incorporated. – Режим доступу: <https://www.diodes.com/datasheet/download/DB101.pdf>. – Дата звернення: 2025.05.15.

11. 1N4001 - 1N4007. Rectifier Diodes: Datasheet [Електронний ресурс] / Vishay Intertechnology Inc. – Режим доступу: <https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf> – Дата звернення: 2025.05.15.

12. ATmega328P. 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash: Datasheet [Електронний ресурс] / Microchip Technology Inc. – Режим доступу: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega328_P_Datasheet_DS40002061B.pdf – Дата звернення: 2025.05.15.

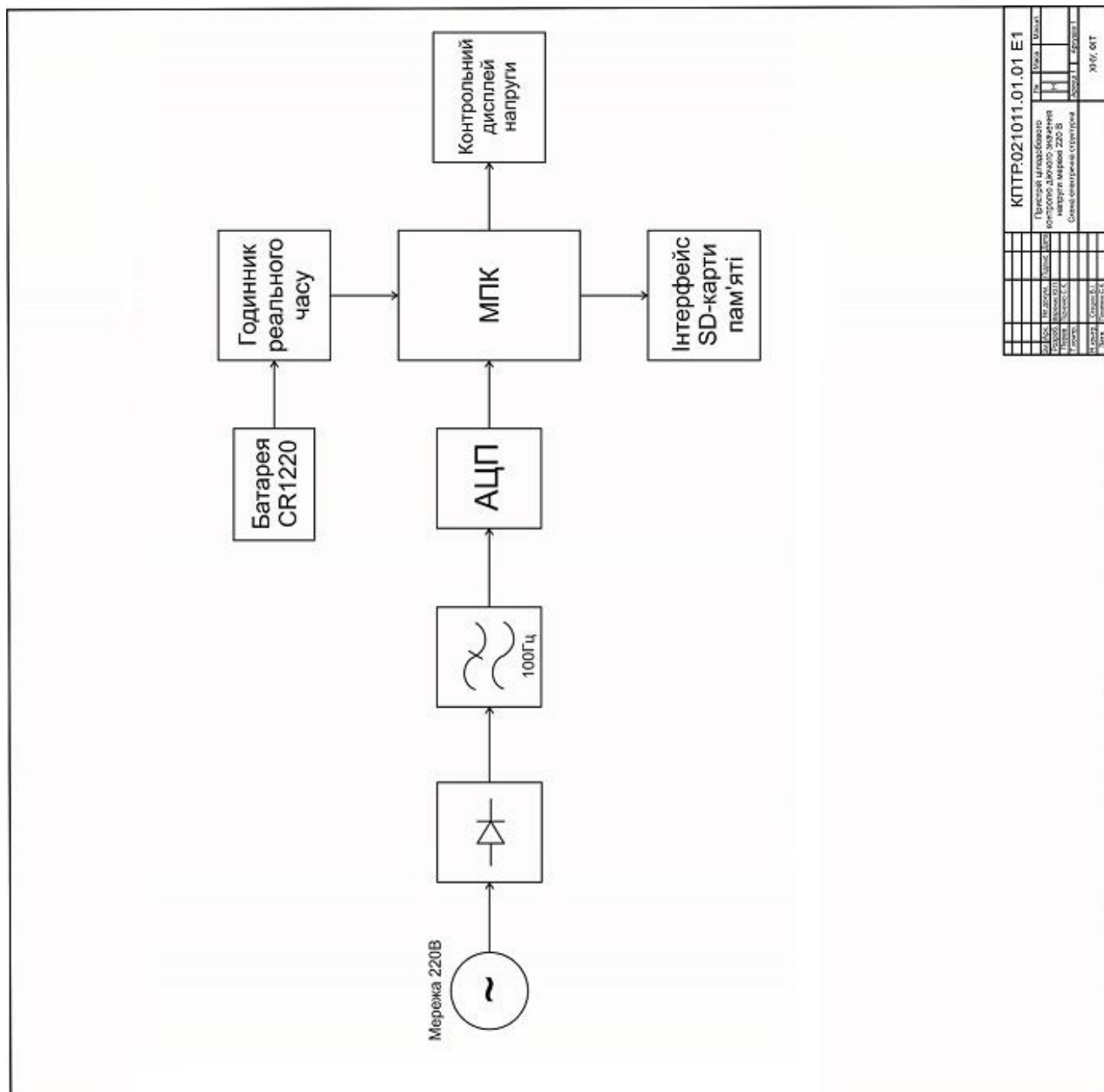
13. Arduino UNO Rev3 [Електронний ресурс] // Arduino Official Store. – 2024. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. – Дата звернення: 15.06.2025.

14. Arduino IDE [Електронний ресурс] // Arduino Software. – 2024. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software>. – Дата звернення: 15.06.2025.

					КПТР. 021011.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ДОДАТОК А

Копія схеми електричної структурної



КПТР:021011.01.01 Е1	
№	Підпис
1	В. С. Сидоренко
2	В. С. Сидоренко
3	В. С. Сидоренко
4	В. С. Сидоренко
5	В. С. Сидоренко
6	В. С. Сидоренко
7	В. С. Сидоренко
8	В. С. Сидоренко
9	В. С. Сидоренко
10	В. С. Сидоренко
11	В. С. Сидоренко
12	В. С. Сидоренко
13	В. С. Сидоренко
14	В. С. Сидоренко
15	В. С. Сидоренко
16	В. С. Сидоренко
17	В. С. Сидоренко
18	В. С. Сидоренко
19	В. С. Сидоренко
20	В. С. Сидоренко
21	В. С. Сидоренко
22	В. С. Сидоренко
23	В. С. Сидоренко
24	В. С. Сидоренко
25	В. С. Сидоренко
26	В. С. Сидоренко
27	В. С. Сидоренко
28	В. С. Сидоренко
29	В. С. Сидоренко
30	В. С. Сидоренко
31	В. С. Сидоренко
32	В. С. Сидоренко
33	В. С. Сидоренко
34	В. С. Сидоренко
35	В. С. Сидоренко
36	В. С. Сидоренко
37	В. С. Сидоренко
38	В. С. Сидоренко
39	В. С. Сидоренко
40	В. С. Сидоренко
41	В. С. Сидоренко
42	В. С. Сидоренко
43	В. С. Сидоренко
44	В. С. Сидоренко
45	В. С. Сидоренко
46	В. С. Сидоренко
47	В. С. Сидоренко
48	В. С. Сидоренко
49	В. С. Сидоренко
50	В. С. Сидоренко
51	В. С. Сидоренко
52	В. С. Сидоренко
53	В. С. Сидоренко
54	В. С. Сидоренко
55	В. С. Сидоренко
56	В. С. Сидоренко
57	В. С. Сидоренко
58	В. С. Сидоренко
59	В. С. Сидоренко
60	В. С. Сидоренко
61	В. С. Сидоренко
62	В. С. Сидоренко
63	В. С. Сидоренко
64	В. С. Сидоренко
65	В. С. Сидоренко
66	В. С. Сидоренко
67	В. С. Сидоренко
68	В. С. Сидоренко
69	В. С. Сидоренко
70	В. С. Сидоренко
71	В. С. Сидоренко
72	В. С. Сидоренко
73	В. С. Сидоренко
74	В. С. Сидоренко
75	В. С. Сидоренко
76	В. С. Сидоренко
77	В. С. Сидоренко
78	В. С. Сидоренко
79	В. С. Сидоренко
80	В. С. Сидоренко
81	В. С. Сидоренко
82	В. С. Сидоренко
83	В. С. Сидоренко
84	В. С. Сидоренко
85	В. С. Сидоренко
86	В. С. Сидоренко
87	В. С. Сидоренко
88	В. С. Сидоренко
89	В. С. Сидоренко
90	В. С. Сидоренко
91	В. С. Сидоренко
92	В. С. Сидоренко
93	В. С. Сидоренко
94	В. С. Сидоренко
95	В. С. Сидоренко
96	В. С. Сидоренко
97	В. С. Сидоренко
98	В. С. Сидоренко
99	В. С. Сидоренко
100	В. С. Сидоренко

ДОДАТОК В

Код програмного забезпечення

```
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <SD.h>
#include <TM1637Display.h>

// Pin definitions
#define VOLTAGE_PIN A0
#define SD_CS_PIN 10
#define TM1637_CLK 6
#define TM1637_DIO 7

// Constants
const float VREF = 5.0; // Reference voltage (5V for Arduino UNO)
const int ADC_RESOLUTION = 1023; // 10-bit ADC
const float SCALE_FACTOR = 100.0; // Voltage divider scaling factor (adjust based on R3,
R4, R5)
const float RMS_CORRECTION = 1.414; // Correction for half-wave rectification
const int SAMPLES = 1000; // Number of samples for averaging

// Initialize objects
RTC_DS1307 rtc;
TM1637Display display(TM1637_CLK, TM1637_DIO);
File dataFile;

void setup() {
  // Initialize serial communication for debugging
  Serial.begin(9600);

  // Initialize ADC
  analogReference(DEFAULT); // Use AVCC (5V) as reference
```

```

// Initialize I2C and RTC
Wire.begin();
if (!rtc.begin()) {
  Serial.println("Couldn't find RTC");
  while (1);
}
if (!rtc.isrunning()) {
  Serial.println("RTC is NOT running, setting time...");
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

// Initialize SD card
if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
  Serial.println("SD card initialization failed!");
  while (1);
}

// Initialize display
display.setBrightness(0x0f); // Maximum brightness
display.clear();
}

void loop() {
  // Read 1000 samples from ADC
  long sum = 0;
  for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
    sum += analogRead(VOLTAGE_PIN);
    delayMicroseconds(100); // Small delay between samples
  }

  // Calculate average ADC value
  float avgAdc = sum / (float)SAMPLES;

  // Convert to voltage

```

```
float voltage = (avgAdc * VREF / ADC_RESOLUTION) * SCALE_FACTOR *  
RMS_CORRECTION;
```

```
// Get current time from RTC
```

```
DateTime now = rtc.now();
```

```
char timeStr[9];
```

```
sprintf(timeStr, "%02d:%02d:%02d", now.hour(), now.minute(), now.second());
```

```
// Format voltage string for logging
```

```
char dataStr[20];
```

```
sprintf(dataStr, "%s, U=%.2f V", timeStr, voltage);
```

```
// Write to SD card
```

```
dataFile = SD.open("voltage.txt", FILE_WRITE);
```

```
if (dataFile) {
```

```
    dataFile.println(dataStr);
```

```
    dataFile.close();
```

```
} else {
```

```
    Serial.println("Error opening file");
```

```
}
```

```
// Display voltage on TM1637
```

```
int displayValue = (int)(voltage * 10); // Convert to XXX.X format
```

```
display.showNumberDecEx(displayValue, 0b01000000, false); // Show decimal point
```

```
// Wait for 1 second
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В

Матеріали до захисту
кваліфікаційного проєкту рівня
«бакалавр»

172 Телекомунікації та радіотехніка

Виконав: студент IV курсу, група ТР2-21-1 Ю. П. Вареник

Вступ

На сьогодні головним джерелом живлення побутових та промислових об'єктів є мережа 220 В змінного (синусоїдального) струму з частотою 50 Гц з однофазним або трифазним входом. Саме на такі параметри здебільшого розраховані вхідні кола блоків живлення більшості побутових та промислових пристроїв, що забезпечує стабільну роботу обладнання протягом гарантійного терміну. Однак, якість мережі електропостачання може знижуватись за рахунок відхилення діючого значення і/або частоти, а також появою високочастотних гармонік та перепадів напруги. Причинами таких погіршень можуть бути аварійні відключення на лінії постачання, використання резервного живлення від автогенераторів, перенавантаження мережі тощо. Зазвичай параметри мережі контролюються відповідними підрозділами енергетичних компаній на державному рівні, в той час коли кінцевим споживачам відомо лише кількість спожитої електроенергії згідно лічильника. Таким чином, виникає потреба в розробці та впровадженні домашніх систем моніторингу параметрів мережі 220 В зі сторони споживача з метою контролю якості мережі та уникненню виходу з ладу обладнання, що особливо актуально в умовах надзвичайного стану та бойових дій.

Отже, в рамках виконання кваліфікаційного проєкту бакалавра за спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка було обрано тему проєктування, яка полягає у розробці пристрою контролю діючого значення напруги для системи цілодобового моніторингу однофазної мережі 220 В.

Мета та задачі проектування

Метою проекту є розробка прототипу пристрою на базі мікроконтролера для контролю діючого значення напруги однофазної побутової мережі 220 В.

Задачі проектування:

1. Розробка схеми електричної структурної.
2. Розробка схеми електричної принципової.
3. Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення для мікроконтролера.

Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В

Проведемо огляд пристроїв, які доступні на ринку України та забезпечують функції цілодобового моніторингу діючої напруги, мають вбудовану пам'ять для збереження історії вимірювань та можуть експортувати дані через інтерфейси Universal Serial Bus (USB), Ethernet або інші.

На Рисунку 1.2 показано аналізатор якості електроенергії Sonel PQM-710UA, що призначений для моніторингу параметрів мережі з можливістю безперервної фіксації діючої напруги 24/7. Він оснащений вбудованою флеш-пам'яттю об'ємом до 8 ГБ, що дозволяє зберігати великі масиви даних для подальшого аналізу. Для експорту інформації пристрій підтримує різні інтерфейси, включаючи USB, Wi-Fi та GSM, що забезпечує гнучкість у передачі даних. Аналізатор здатний працювати автономно до 30 діб завдяки ефективній системі живлення, що робить його ідеальним для тривалих вимірювань у польових умовах. Додатково пристрій має функцію синхронізації часу з GPS, що забезпечує високу точність фіксації подій. Вартість аналізатора складає приблизно 237 000 грн, що відображає його високий рівень технологічності та функціональності [4].

Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В (продовження)



Основні характеристики:

- фіксація RMS 24/7;
- вбудована пам'ять: до 8 ГБ Flash;
- експорт даних: USB, Wi-Fi, GSM;
- автономна робота до 30 діб;
- синхр. часу з GPS;
- ціна: ~237 000 грн.

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електроенергії Sonel PQM-710UA

Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В (продовження)

На Рисунку 1.3 показано аналізатора якості електроенергії Satec PM175 [7], який представляє собою сучасний пристрій, призначений для постійного моніторингу параметрів мережі з можливістю фіксації середньоквадратичних значень напруги та струму у режимі 24/7. Пристрій оснащений вбудованою пам'яттю, що дозволяє зберігати до 512 записів подій (наприклад, перенапруги, провали напруги, гармоніки) та 128 журналів, що забезпечує тривалий збір даних для аналізу. Для експорту інформації аналізатор підтримує різні інтерфейси, включаючи Ethernet, RS232/485, Modbus та FTP, що забезпечує гнучкість передачі даних в автоматизовані системи контролю та обліку енергії (АСКОЕ).



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електроенергії Satec PM175

Основні характеристики:

- фіксація RMS 24/7;
- вбудована пам'ять: 512 записів подій, 128 журналів;
- експорт: Ethernet, RS232/485, Modbus, FTP;
- особливості: може зчитувати події по тригерах (відхилення, пускові струми);
- ціна: ~80 000 грн.

Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В (продовження)

На Рисунку 1.4 показано зовнішній вигляд аналізатора електромережі Circutor CVM-B100, який є компактным багатофункціональним аналізатором якості електроенергії, призначеним для постійного моніторингу основних параметрів електричної мережі. Пристрій забезпечує безперервну фіксацію середньоквадратичних значень напруги та струму в режимі 24/7, що дозволяє відстежувати динаміку змін основних параметрів мережі. Аналізатор оснащений вбудованою пам'яттю для реєстрації подій та ведення журналу спожитої енергії, а також має слот для SD-карти, що значно розширює можливості зберігання даних.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд аналізатора електричної енергії Circutor CVM-B100

Основні характеристики:

- фіксація RMS 24/7;
- пам'ять: вбудований журнал подій та енергії, підтримка SD-карти;
- інтерфейси: RS-485 (Modbus RTU), Ethernet (опційно);
- ціна: ~12 000 грн.

Огляд пристроїв для моніторингу параметрів мережі 220 В (продовження)

На Рисунку 1.5 зображено аналізатор Janitza UMG 103-CBM [9], що представляє собою професійний прилад для моніторингу якості електроенергії, який забезпечує точний контроль основних параметрів електричної мережі. Аналізатор виконує безперервний запис середньоквадратичних значень напруги та струму, що дозволяє всебічно оцінювати стан електромережі та оперативно виявляти будь-які відхилення від норми. Пристрій оснащений потужною системою зберігання даних з можливістю циклічного запису інформації на внутрішню пам'ять об'ємом до 512 МБ, що забезпечує надійне архівування результатів вимірювань протягом тривалого періоду.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд аналізатора електроенергії Janitza UMG 103-CBM

Основні характеристики:

- фіксація RMS;
- пам'ять: до 512 МБ, циклічний запис;
- комунікація: Ethernet, OPC, SNMP;
- ціна: ~35 000 грн.

Розробка структури системи

Визначимо відправним етапом проєктування системи моніторингу мережі 220 В розробку структури системи на високому рівні абстракції.

Відповідно до поставленої мети, а також з урахуванням огляду функціональних можливостей існуючих моніторингових засобів, що наведено в розділі 1 проєкту, виділимо такі головні елементи системи:

- 1) пристрій контролю діючого значення (RMS) однофазної мережі 220 В на базі МК,
- 2) кінцевих пристрій користувача, представлений у вигляді персонального комп'ютера (ПК) чи смартфона з ПЗ верхнього рівня для відображення та обробки даних.

Структура системи моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В показана в спрощеному вигляді на Рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура системи моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В

Розробка структури пристрою контролю параметрів мережі 220 В

Структурна схема пристрою цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В виконана з урахуванням вимог, описаних в Розділі 1. До її складу входить джерело змінної напруги 220 В, діодний випрямляч, фільтр низької частоти (ФНЧ) з частотою зрізу порядку 100 Гц, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікропроцесор керування (МПК) – або просто МК, годинник реального часу з батарейним живлення типу CR1220, інтерфейс для підключення карти пам'яті формату SD для запису даних, а також дисплей для відображення виміряних значень (Рисунок 1.2).

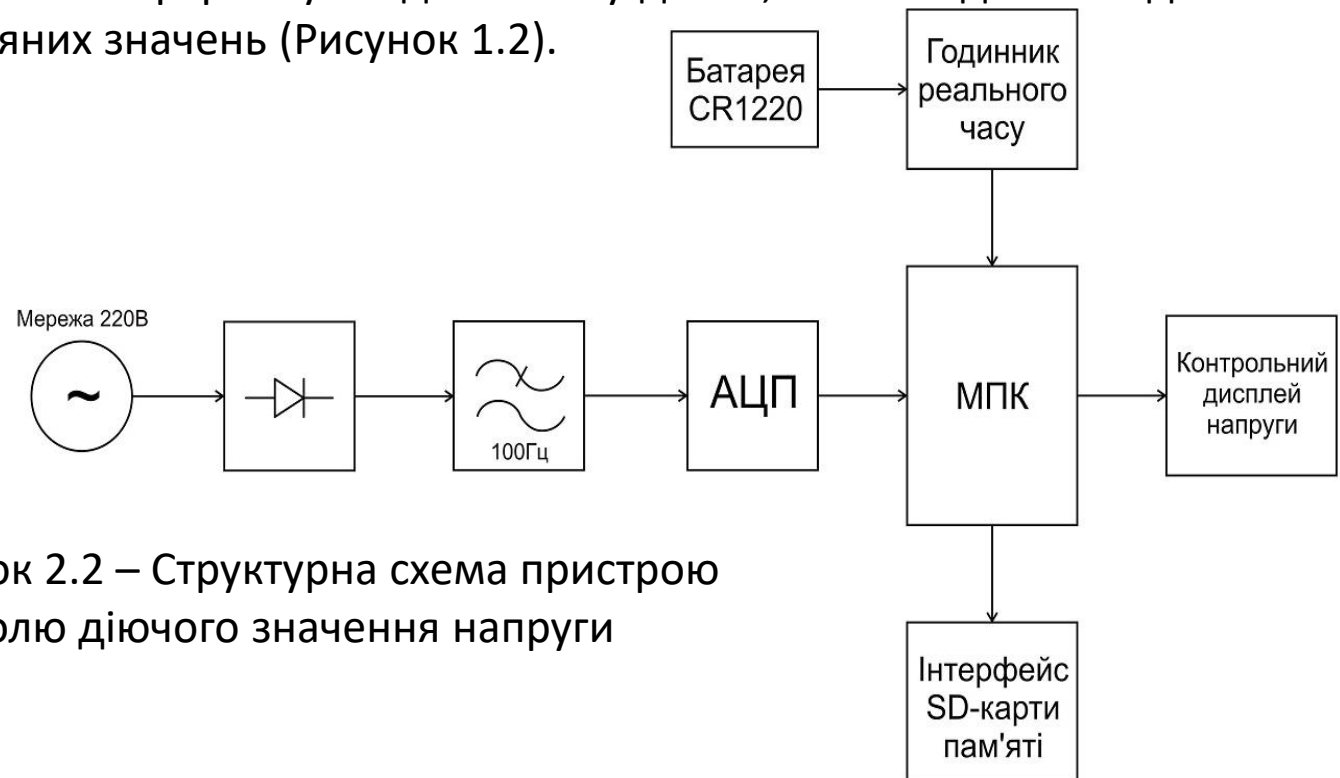


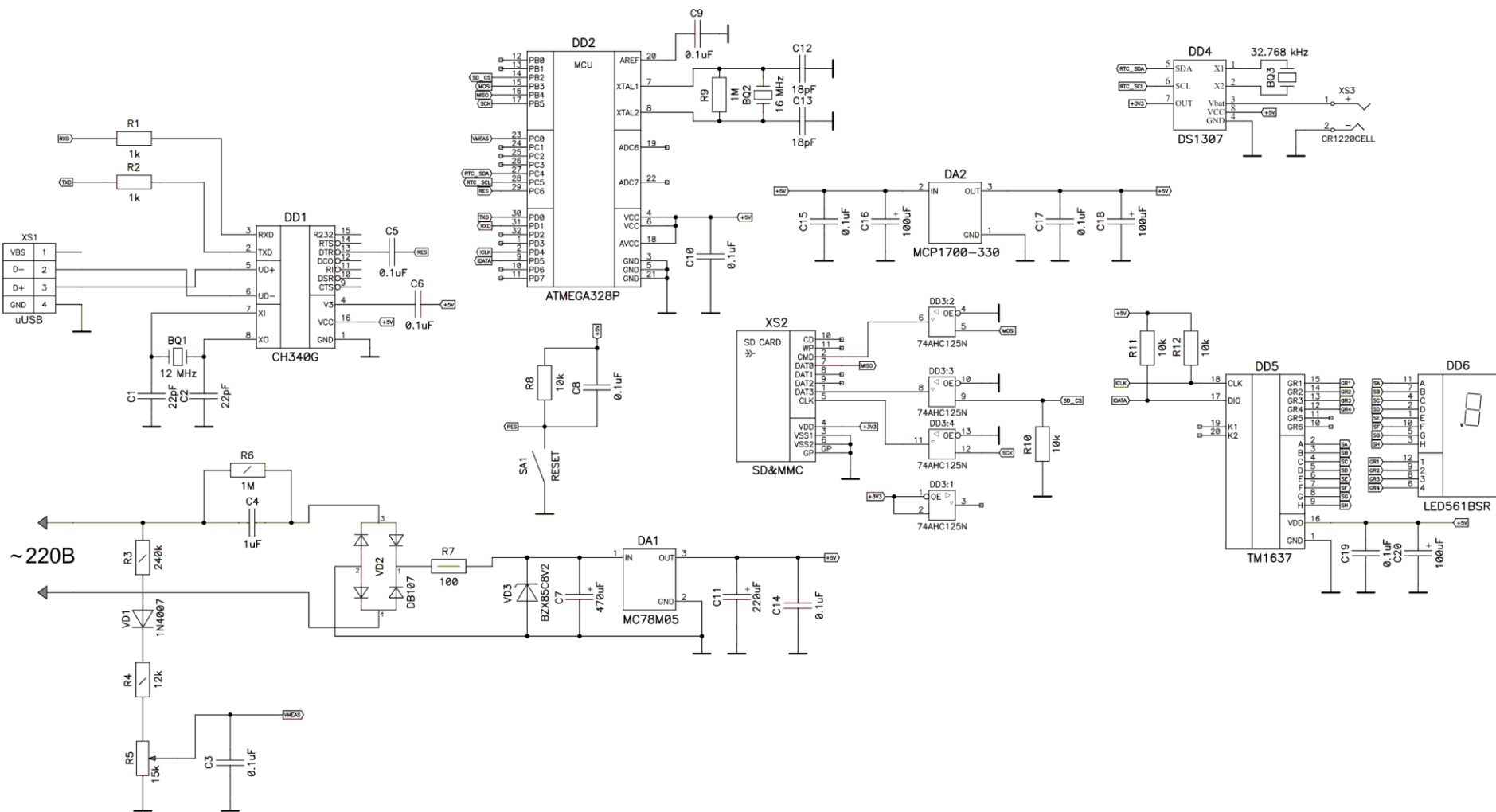
Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою контролю діючого значення напруги

Розробка схеми електричної принципової

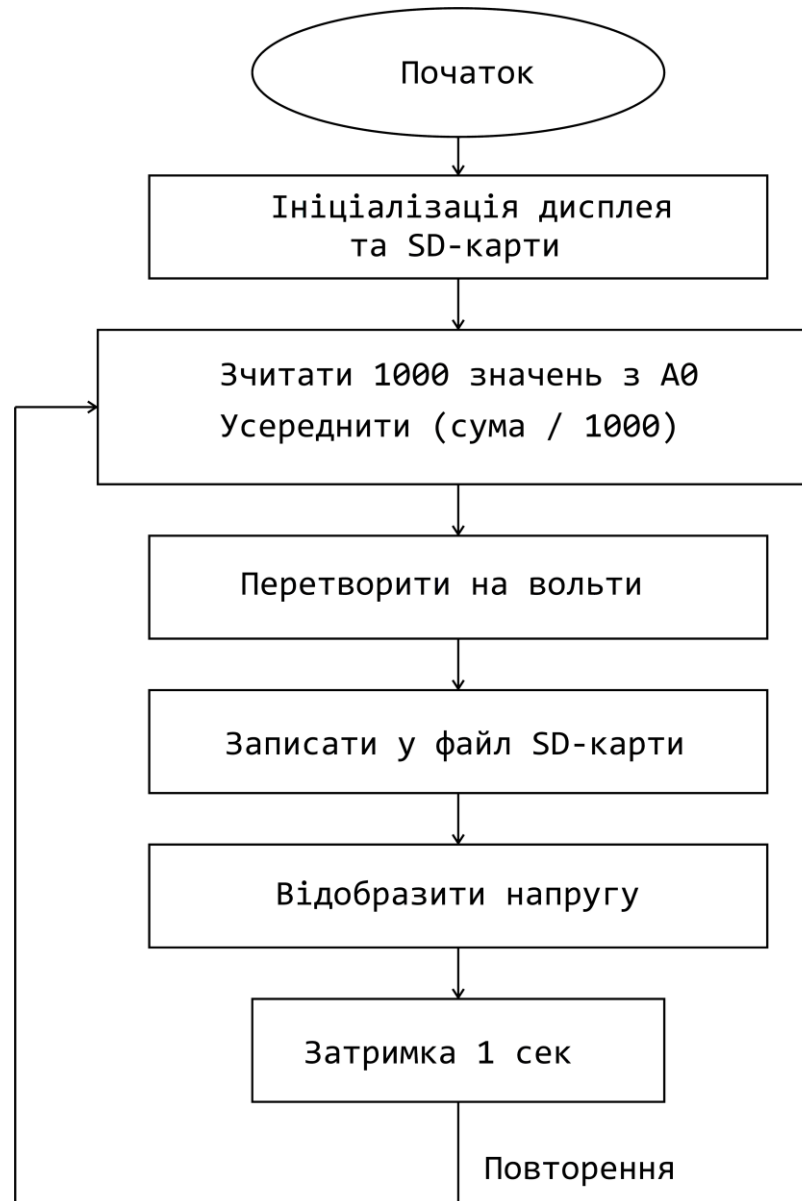
Для розробки схеми електричної принципової пристрою контролю діючого значення напруги згідно структурної схеми, яка зображена на Рисунку 2.2, було обрано відповідні компоненти елементної бази аналогової та цифрової електроніки в інтегральному виконанні, дискретних пасивних елементів та 8-бітний МК з архітектурою Reduced Instruction Set Computer (RISC). Співставлення елементів структурної схеми та обраних компонентів елементної бази подано в Таблиці 2.1.

Елемент структурної схеми	Елементна база
Діодний випрямляч	Мікр. DB107 (мостовий випрямляч) для реалізації живлення цифрових компонентів [10], та діодний однопівперіодний випрямляч 1N4007 для вимірювального каналу [11].
ФНЧ	Пасивні компоненти R, C
АЦП	Мікроконтролер Atmega328p
МК	[12]
Годинник реального часу	DS1307
Інтерфейс карти пам'яті	Модуль SD-ММС з буферним регістром 74AHC125N
Дисплей для контролю	Дисплею LED561 з керуванням за допомогою мікросхеми TM1637

Схема електрична принципова



Алгоритм програмного забезпечення



Код программного забезпечення

```
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>
#include <SD.h>
#include <TM1637Display.h>
// Pin definitions
#define VOLTAGE_PIN A0
#define SD_CS_PIN 10
#define TM1637_CLK 6
#define TM1637_DIO 7
// Constants
const float VREF = 5.0; // Reference voltage (5V for Arduino UNO)
const int ADC_RESOLUTION = 1023; // 10-bit ADC
const float SCALE_FACTOR = 100.0; // Voltage divider scaling factor (adjust based on R3, R4, R5)
const float RMS_CORRECTION = 1.414; // Correction for half-wave rectification
const int SAMPLES = 1000; // Number of samples for averaging
// Initialize objects
RTC_DS1307 rtc;
TM1637Display display(TM1637_CLK, TM1637_DIO);
File dataFile;
void setup() {
    // Initialize serial communication for debugging
    Serial.begin(9600);
    // Initialize ADC
    analogReference(DEFAULT); // Use AVCC (5V) as reference
    // Initialize I2C and RTC
    Wire.begin();
    if (!rtc.begin()) {
        Serial.println("Couldn't find RTC");
        while (1);
    }
    if (!rtc.isrunning()) {
        Serial.println("RTC is NOT running, setting time...");
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }
    // Initialize SD card
    if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
        Serial.println("SD card initialization failed!");
        while (1);
    }

    // Initialize display
    display.setBrightness(0x0f); // Maximum brightness
    display.clear();
}

void loop() {
    // Read 1000 samples from ADC
    long sum = 0;
    for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
        sum += analogRead(VOLTAGE_PIN);
        delayMicroseconds(100); // Small delay between samples
    }

    // Calculate average ADC value
    float avgAdc = sum / (float)SAMPLES;

    // Convert to voltage
    float voltage = (avgAdc * VREF / ADC_RESOLUTION) * SCALE_FACTOR * RMS_CORRECTION;

    // Get current time from RTC
    DateTime now = rtc.now();
    char timeStr[9];
    sprintf(timeStr, "%02d:%02d:%02d", now.hour(), now.minute(), now.second());

    // Format voltage string for logging
    char dataStr[20];
    sprintf(dataStr, "%s, U=%.2f V", timeStr, voltage);

    // Write to SD card
    dataFile = SD.open("voltage.txt", FILE_WRITE);
    if (dataFile) {
        dataFile.println(dataStr);
        dataFile.close();
    } else {
        Serial.println("Error opening file");
    }

    // Display voltage on TM1637
    int displayValue = (int)(voltage * 10); // Convert to XXX.X format
    display.showNumberDecEx(displayValue, 0b01000000, false); // Show decimal point

    // Wait for 1 second
    delay(1000);
}
```

Опис програмного забезпечення

Програма для МК розроблено та протестовано в середовищі Arduino IDE. Повний код програми представлено в Додатку В. Розроблений код програми для Arduino UNO реалізує алгоритм цілодобового моніторингу діючого значення напруги мережі 220 В, використовуючи мікроконтролер Atmega328p, як описано в наданому алгоритмі. Код написаний на мові C++ і структурований для виконання послідовних операцій, включаючи ініціалізацію компонентів, зчитування даних з АЦП, обробку даних, синхронізацію з годинником реального часу, запис даних на SD-карту та відображення інформації на дисплеї LED561, керованому мікросхемою TM1637. Програма використовує стандартні бібліотеки Arduino для роботи з апаратними компонентами, забезпечуючи ефективність і надійність системи.

На початку код включає необхідні бібліотеки: Wire.h для роботи з інтерфейсом I²C і зв'язку з годинником реального часу DS1307, RTCLib.h для зручної взаємодії з DS1307, SD.h для роботи з SD-картою через SPI-інтерфейс і TM1637Display.h для керування дисплеєм LED561 через двопровідний інтерфейс. Визначаються константи та піни: VOLTAGE_PIN (A0) для зчитування аналогового сигналу з вимірювального каналу, SD_CS_PIN (пін 10) для вибору SD-карти через SPI, TM1637_CLK (пін 6) і TM1637_DIO (пін 7) для зв'язку з дисплеєм TM1637. Константи включають опорну напругу АЦП (VREF = 5.0 В), розрядність АЦП (ADC_RESOLUTION = 1023 для 10 біт), масштабувальний коефіцієнт (SCALE_FACTOR = 100.0, який потрібно налаштувати відповідно до подільника напруги R3, R4, R5), коефіцієнт корекції для однопівперіодного випрямлення (RMS_CORRECTION = 1.414) і кількість зразків для усереднення (SAMPLES = 1000). Також створюються об'єкти для взаємодії з апаратними компонентами: rtc для годинника DS1307, display для дисплея TM1637 і dataFile для роботи з файлами на SD-карті.

Опис програмного забезпечення (продовження)

У функції `setup()` виконується ініціалізація всіх компонентів. Починається вона з налаштування послідовного зв'язку через `Serial.begin(9600)` для можливого дебагінгу. Далі налаштовується АЦП за допомогою `analogReference(DEFAULT)`, що встановлює опорну напругу 5 В через `AVCC`. Ініціалізується I²C-інтерфейс через `Wire.begin()`, після чого перевіряється наявність і працездатність годинника `DS1307`. Якщо годинник не знайдено або не працює, програма видає повідомлення про помилку та зупиняється. Якщо годинник не синхронізований, встановлюється поточний час компіляції за допомогою `rtc.adjust`. Потім ініціалізується SD-карта через `SD.begin(SD_CS_PIN)`, і в разі невдачі виводиться повідомлення про помилку, а програма зупиняється. Нарешті, дисплей `TM1637` налаштовується з максимальною яскравістю (`setBrightness(0x0f)`) і очищається (`display.clear()`).

Основна логіка програми реалізується у функції `loop()`, яка виконується безперервно, забезпечуючи моніторинг напруги з періодичністю один раз на секунду. На початку циклу зчитується 1000 значень з аналогового піна `A0` за допомогою `analogRead(VOLTAGE_PIN)`. Ці значення накопичуються в змінній `sum`, причому між зчитуваннями додається невелика затримка (`delayMicroseconds(100)`) для стабільності вимірювань. Після збору зразків обчислюється середнє значення АЦП як `sum / SAMPLES`, що дозволяє зменшити вплив шумів і перешкод у вимірювальному каналі. Отримане середнє значення перетворюється в напругу за формулою: $(avgAdc * VREF / ADC_RESOLUTION) * SCALE_FACTOR * RMS_CORRECTION$. Ця формула враховує опорну напругу АЦП, його розрядність, масштабувальний коефіцієнт подільника напруги та корекцію для однопівперіодного випрямлення, щоб отримати діюче значення напруги (RMS) у вольтах.

Опис програмного забезпечення (продовження)

Далі програма отримує поточний час із годинника DS1307 за допомогою `rtc.now()`. Час форматується у вигляді рядка «ГГ:ХХ:СС» через `sprintf`, використовуючи дані про години, хвилини та секунди. Для запису на SD-карту формується рядок даних у форматі «ГГ:ХХ:СС, U=XXX.XX В» за допомогою `sprintf`, який містить мітку часу та значення напруги з точністю до двох знаків після коми. Файл `voltage.txt` відкривається в режимі запису через `SD.open`, дані додаються до файлу, після чого файл закривається для збереження. Якщо відкрити файл не вдалося, виводиться повідомлення про помилку через послідовний порт.

Для відображення напруги на дисплеї TM1637 значення напруги множиться на 10 і приводиться до цілого числа, щоб отримати формат «ХХХ.Х». За допомогою `display.showNumberDecEx` значення виводиться на дисплей із увімкненою десятковою крапкою, що забезпечує зручне відображення, наприклад, «220.5» для напруги 220,5 В. Завершується цикл затримкою на 1 секунду через `delay(1000)`, що забезпечує періодичність вимірювань і уникає перевантаження системи. Після цього цикл повторюється, починаючи зі зчитування нових 1000 значень із АЦП.

Код відповідає описаному алгоритму, забезпечуючи надійне виконання всіх етапів: ініціалізації, вимірювання, обробки, збереження та відображення даних. Він враховує апаратні особливості системи, такі як однопівперіодне випрямлення сигналу, і використовує стандартні бібліотеки для спрощення взаємодії з периферійними пристроями. Для коректної роботи масштабувальний коефіцієнт (`SCALE_FACTOR`) потребує калібрування відповідно до конкретних параметрів подільника напруги в апаратній частині системи.

Висновки

В результаті виконаного кваліфікаційного проєкту бакалавра за спеціальністю 172 – Електронні комунікації та радіотехніка були отримані такі результати:

1. Проведено аналіз існуючих засобів цілодобового моніторингу параметрів мережі 220 В та охарактеризовано головні параметри мережі, які доцільно контролювати з точки зору побутового користувача електромережі.

2. Розроблено структуру системи моніторингу параметрів мережі, яка складається з пристрою контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В та програмного забезпечення.

3. Розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову пристрою цілодобового контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В.

4. Розроблено алгоритм роботи та програмен забезпечення для апаратно-програмної платформи Arduino для реалізації та тестування прототипу пристрою

Практичне значення проєкту полягає у можливості впровадження вищеописаного пристрою для контролю якості мережі побутовими споживачами електроенергії.

Дякую за увагу!

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій
д.т.н., професору Сергію ПІДЧЕНКУ
здобувача вищої освіти
Юрія ВАРЕНИКА
ФІТ, гр ТР2-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщена та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

09.06.25
дата


підпис

Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 245957 Title: Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220В Added in a DB: 2025-06-16 Authors: Вареннік Юрій Петрович Heads: Підченко Сергій Костянтинівич Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	56555	881	3212 (6%)	49 (6%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Юрій ВАРЕНИК

Співавтор:

Назва: Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В

Експерт: Сергій ПІДЧЕНКО, д.т.н., проф

Підрозділ: Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Коефіцієнт подібності 1: 4.2%

Коефіцієнт подібності 2: 0.8%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 5

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-16 07:35:03.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

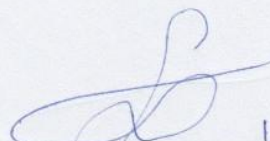
Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата 16.06.25


експерт

Співавтор О.С

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва: *Системи цілодобового моніторингу побутової мережі 220В*

Автор: **Вареник Юрій Петрович**

Освітня програма: **Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі**

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Науковий керівник: **д.т.н., проф. Підченко Сергій Костянтинович**

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порешень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені у розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), коефіцієнти подібності складають 11% та 2%, а також мають посилання на приведений список літературних джерел.

16 червня 2025 р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Сергій ПІДЧЕНКО

Віктор СТЕЦЮК

Сергій ПІДЧЕНКО

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Вареник Юрій Петрович на захист дипломного проекту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220В

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



Тетяна Толокущенко
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Вареник Ю. П. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2021 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 30,43 %, задовільно 69,57 %.
шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 6,98 %, С 18,60 %, D 18,60 %, E 55,81 %.

Методист факультету

Тетяна Толокущенко
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Вареник Юрій Петрович

Кваліфікаційний проект у новій формі -
Інста до задань. Під час виконання
кваліфікаційного проекту Вареник Ю.П.
зарекомендував себе кваліфікованим
фахівцем з телекомунікацій та радіотехніки
дипломний проект виконаний на належному НТ

Оцінка дипломного проекту (роботи)

Відмінно

Керівник дипломного проекту

Тетяна Толокущенко
(ім'я, прізвище)

" 16 " 06 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Вареник Ю. П. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

ТМІТ

(назва)

Тетяна Толокущенко
(підпис, ім'я, прізвище)

" 16 " 06 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

Дипломник: Вареник Юрій Петрович

Тема роботи: Система цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційного проекту

Кількість листів креслень 2 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження Проведено аналіз існуючих засобів цілодобового моніторингу параметрів мережі 220 В та охарактеризовано головні параметри мережі, які доцільно контролювати з точки зору побутового користувача електромережі. Розроблено структуру системи моніторингу параметрів мережі, яка складається з пристрою контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В та програмного забезпечення. Розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову пристрою цілодобового контролю діючого значення напруги однофазної мережі 220 В. Розроблено алгоритм роботи та програмен забезпечення для апаратно-програмної платформи Arduino для реалізації та тестування прототипу пристрою.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційний проект відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: Кваліфікаційний проект виконаний на достатньо високому науково-технічному рівні з використанням сучасних досягнень у галузі інтелектуальних систем контролю електричних параметрів. У вступній частині обґрунтовано актуальність обраної теми. У теоретичному розділі детально проаналізовано існуючі конструкції та вибрано оптимальну топологію. У проєктній частині запропоновано структуру системи, обґрунтовано вибір компонентів та розроблено алгоритм роботи системи. У третьому розділі розглянуті питання апаратної реалізації системи та її програмного забезпечення. Усі етапи виконані послідовно, з дотриманням технічних вимог, із застосуванням сучасних методів проєктування телекомунікаційних систем.

4. Позитивні сторони роботи: Робота присвячена актуальному напрямку телекомунікаційних систем — розробці системи цілодобового моніторингу побутової мережі 220 В. Автор демонструє глибоке розуміння принципів

роботи мікропроцесорних систем та сучасних технологій керування сенсорами на основі протоколу Message Queuing Telemetry Transport. Практичне значення проєкту полягає у можливості впровадження вищеприписаного пристрою для контролю якості мережі побутовими споживачами електроенергії.

5. Негативні сторони роботи: Робота в цілому виконана на достатньо високому рівні. Доцільно було б провести експериментальні випробування системи з використанням запропонованих компонентів.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: відповідає ЄСКД

7. Відгук про роботу в цілому: В цілому кваліфікаційний проєкт виконаний якісно, має чітку структуру, логічну послідовність викладення матеріалу та містить достатній рівень технічної деталізації. Робота демонструє вміння здобувача застосовувати сучасні інженерні методи в галузі електроніки та телекомунікацій. Отримані результати є обґрунтованими та мають практичну значущість. Робота відповідає вимогам до кваліфікаційних проєктів освітнього рівня «бакалавр».

8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка дипломної роботи: Кваліфікаційний проєкт відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки «відмінно» (4.75/A), а її автор Вареник Юрій Петрович, присвоєння кваліфікації бакалавра з телекомунікацій та радіотехніки

10. Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи) Кльоц Юрій Павлович, завідувач кафедри кібербезпеки Хмельницького національного університету

15 » червня 2025р.



підпис