

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для обліку
споживання електроенергії у багатоквартирному будинку

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТК-4

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Корнійчук Д.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Корнійчук Домінік Янович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для
Обліку споживання електроенергії в багатоквартирному будинку

Керівник роботи: доцент кафедри ІВТ кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 04 » квітня 2025 р. № 132/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 10 » червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи об'єкт управління – автоматизована система обліку
електроенергії, параметр вимірювання – спожита електроенергія, діапазон
вимірювання – 0,01...9999 кВт·год, охибка системи – не більше 1%

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз методів вимірювання частоти електричних сигналів, розробка
структурної схеми, розробка принципової схеми, розробка алгоритму та
програми роботи системи, розрахунок метрологічних характеристик,
оцінка показників надійності роботи системи, безпека життєдіяльності
та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
структурна схема, електрична принципова схема, перелік елементів, топологія
друкованої плати, блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.25 – 15.03.25	Виконано
2	Аналіз існуючих аналогів	25.02.25 – 15.03.25	Виконано
3	Розробка структурної та функціональної схем	16.03.25 – 15.04.25	Виконано
4	Вибір елементної бази та модулів	16.04.25 – 24.04.25	Виконано
5	Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення	25.04.25 – 09.05.25	Виконано
6	Розрахунки: похибки, надійності, енергоспоживання	10.05.25 – 24.05.25	Виконано
7	Проектування конструкції та розробка друкованої плати	25.05.25 – 03.06.25	Виконано
8.	Моделювання роботи пристрою та аналіз результатів	04.06.25 – 15.06.25	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.25 – 17.06.25	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Корнійчук Д.Я.

(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі представлено проєкт «Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для обліку споживання електроенергії у багатоквартирному будинку». Основна мета – розробка автоматизованої системи, що здійснює точний облік електроенергії та передає дані на сервер постачальника за допомогою GSM-зв'язку. У роботі реалізовано моделювання пристрою на базі мікроконтролера ATxmega16A4-AU, здійснено вибір елементної бази, розроблено структурну, функціональну та принципову електричну схеми, виконано розрахунки точності та надійності. Результати свідчать про відповідність проєкту вимогам до сучасних енергооблікових систем.

The qualification project presents the development of a "Computerized Information-Measuring System for Electricity Consumption Accounting in an Apartment Building." The main goal is to create an automated system for accurate electricity metering with data transmission to the supplier's server via GSM communication. The system is modeled using the ATxmega16A4-AU microcontroller. The project includes hardware selection, schematic and structural design, as well as precision and reliability calculations. The results demonstrate that the developed system meets the requirements for modern energy metering solutions.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 79 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для обліку споживання електроенергії у багатоквартирному будинку.

Перший розділ містить основні завдання та вимоги до системи, зокрема: умови експлуатації, технічні характеристики, економічні та надійнісні показники, що обґрунтовують актуальність теми.

Другий розділ містить загальний огляд наявних технологій вимірювання та передавання даних обліку електроенергії, виконано обґрунтований вибір архітектури та GSM-модулів для передавання інформації до серверу постачальника.

Третій розділ містить опис існуючих аналогічних систем, виконано порівняльний аналіз та визначено переваги запропонованого рішення, а також побудовано структурну та функціональну схеми системи.

Четвертий розділ містить опис елементної бази та обґрунтування вибору основних компонентів: мікроконтролера ATmega16A4-AU, модуля зв'язку, стабілізаторів, датчиків та допоміжних елементів. Побудовано принципову електричну схему.

П'ятий розділ містить компонування системи, трасування та проєктування друкованої плати. Наведено конструктивно-технологічні рішення, що забезпечують ремонтпридатність та зручність складання пристрою.

Шостий розділ містить опис алгоритму роботи системи, побудову блок-схеми, розробку програмного забезпечення для обробки та передавання даних, що забезпечує енергоефективну роботу пристрою.

Сьомий розділ містить оцінку похибок системи, метрологічні характеристики та відповідність вимогам точності, на основі чого обґрунтовано вибір класу точності пристрою.

Останній розділ містить розрахунок надійності системи, ймовірності безвідмовної роботи пристрою в часі, а також проведено розрахунок середнього напрацювання на відмову.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ВИМІРУ	11
3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	13
3.1 Методи та засоби вимірювання витрати електроенергії.....	13
3.2 Індукційний лічильник.....	15
3.3 Електронні лічильники електроенергії.....	16
3.4 Розрахунки до розрахункових лічильників електричної енергії.....	18
4. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ПОКВАРТИРНОГО ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	20
4.1 Система TELEGESTORE.....	21
5. РОЗРОБКА ВИМОГ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	24
5.1 Рівень перший – рівень збору інформації.....	25
5.2 Рівень другий - зв'язуючий рівень.....	26
5.3 Третій рівень - рівень збору, аналізу та зберігання даних.....	26
6 СТРУКТУРНА СХЕМА.....	28
7 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	31
7.1 Лічильник електроенергії.....	31

					МІВТ.480.004.032 – ПЗ		
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Корнійчук Д.Я.			Розробка інформаційно-вимірювального комплексу для обліку витрати електроенергії у багатоквартирному будинку Пояснювальна записка	Лім.	Лист
Перевір.		Чепюк Л.О.					7
Реценз.							62
Н. Контр.		Чепюк Л.О.				Державний університет «Житомирська політехніка», гр. ІВТК-4	
Затверд.		Подчашинський Ю					

7.2 Розробка принципової схеми реєстратора.....	33
7.3 Вибір мікросхеми одержувача сигналів.....	33
7.4 Вибір мікроконтролера.....	35
7.5 Вибір тактового генератора.....	37
7.6 Вибір перетворювача рівнів RS-485.....	38
7.7 Вибір мікросхеми перетворювача напруги.....	40
7.8 Вибір автоматичного перемикача на резервне живлення.....	42
7.9 Вибір акумулятора резервного живлення.....	43
8 АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРОГРАМИ МІКРОКОНТРОЛЕРА.....	46
8.1 Опис роботи програми контролера.....	47
9 РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ.....	49
10 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ.....	51
11 Конструкторсько-технологічна частина.....	53
12 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ.....	54
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Електроенергетика є базовою галуззю російської економіки, що повністю забезпечує електричною та тепловою енергією внутрішні потреби народного господарства та населення. Стійкий розвиток та надійне функціонування галузі багато в чому визначають енергетичну безпеку країни та є важливими факторами її успішного економічного розвитку.

В даний час для забезпечення сталого розвитку та надійного функціонування галузі електроенергетики насамперед необхідні нові енергоефективні рішення. Одним із таких рішень є автоматизація системи контролю та обліку електричної енергії, що дозволяє суттєво підвищити ефективність використання енергоресурсів.

Однак реалізація існуючих автоматичних систем контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ) пов'язана зі значними економічними витратами, у зв'язку з чим в умовах економічної кризи особливо актуальною стає проблема підвищення ефективності використання електричної енергії на основі принципу мінімізації витрат при впровадженні АСКОЕ.

З метою вирішення цієї проблеми було розроблено пристрій збору, обробки та передачі інформації та на його основі АСКОЕ. Пропонована система має суттєві переваги перед альтернативними рішеннями, основним з яких є значно менші економічні витрати, необхідні реалізації системи.

У процесі розробки цього проекту було розглянуто проблему ефективного використання електричної енергії, розроблено АСКУЕ, обґрунтовано економічну доцільність впровадження запропонованої системи та визначено основні етапи подальшої роботи. Результати роботи відображені у відповідних розділах проекту.

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Система призначена для автоматизованого обліку споживання електроенергії у багатоквартирному будинку з подальшою передачею даних на сервер ресурсопостачальної організації.

Необхідно розробити структурну схему системи, вибрати сучасну елементну базу, розробити електричну принципову схему, програмно-алгоритмічне забезпечення, систему збору та передачі даних, провести оцінку точності та надійності.

Початок розробки – лютий 2025 р. Кінець розробки – червень 2025 р.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища: від -10 до $+50$ °C

1.2.2. Відносна вологість: до 90% при 25 °C

1.2.3. Атмосферний тиск: 630–800 мм рт. ст.

1.2.4. Вміст агресивних або хімічно активних речовин – не допускається

1.2.5. Характер роботи – неперервний (24/7)

1.3. Вимоги до технічних характеристик

1.3.1. Об'єкт контролю – електрична енергія, що споживається в квартирі/будинку

1.3.2. Основний параметр вимірювання – активна електрична енергія (кВт·год) 1.3.3. Діапазон вимірювання струму – 0,05 ... 60 А

1.3.4. Діапазон вимірювання напруги – 140 ... 250 В

1.3.5. Похибка обліку електроенергії – не гірша ніж $\pm 1\%$

1.3.6. Інтерфейс відображення – світлодіодна індикація / LCD-екран (опційно)

1.3.7. Передача даних – через GSM-модем (Neoway)

1.3.8. Формат передачі – текстовий, сумісний з форматом постачальника

1.3.9. Живлення – від побутової електромережі 220 В через стабілізатор з переходом на +5 В постійного струму для логіки

1.4. Вимоги до надійності

Система є ремонтопридатною, не резервується. Наробіток на відмову – не менше 80 000 годин. Середній час відновлення – не більше 4 год. Система повинна витримувати перебої живлення та короткочасні перенапруги.

1.5. Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виконати у стандартному пластиковому корпусі типу DIN-рейка або настінного монтажу. Усі елементи змонтовані на односторонній або двосторонній друкованій платі (товщина 1,6 мм). Роз'єми для живлення, зняття показників та підключення GSM-модема вивести на бокову панель. Всі компоненти мають бути доступними на українському ринку. Пристрій повинен бути захищеним від короткого замикання, перегріву та перевантаження.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ВИМІРУ

Основним джерелом електроенергії є об'єднані в енергосистеми електростанції.

Енергетичною системою називають установки з перетворення, виробництва, споживання та розподілу теплоти та енергії, які у свою чергу, пов'язані між собою тепловими, а також електричними мережами із загальним режимом управління, а електричною системою називають електричну частину енергосистеми (генератори, перетворювальні та розподільні пристрої, лінії електропередач (ЛЕП) та споживач електроенергії).

Так як напруга генераторів ТЕЦ становить 6-20кВ, близько розташовані споживачі живляться на даній напрузі.

У випадку, якщо електропостачання споживачів знаходяться на значній відстані, для зв'язку з енергосистемою застосовується напруга вище за генераторну. Для цього на станціях встановлюють трансформатори, які підвищують генераторну напругу до 110/220кВ. Для перетворення напруги та зв'язку окремих частин системи, а також живлення потужних споживачів призначені трансформаторні районні підстанції та вузлові розподільчі.

Електроенергія передається та розподіляється за допомогою ЛЕП та електричних мереж різних напруг. Напруга лінії вибирають в залежності від потужності, що передається по них, та їх протяжності, при втраті потужності та вартість споруд повинні бути мінімальними.

У системах заземлення TN-C-S і TN-S електробезпека споживача забезпечується не власне системами, а можливістю застосування в них пристроїв захисного відключення (ПЗВ) - найсучаснішого та найефективнішого електрозахисного засобу.

Найчастіше електропостачання житлових будівель здійснюється через вступно-розподільний пристрій або головний розподільчий щит (ВРУ) або (ГРЩ). При цьому живлення споживачів здійснюється від напруги 220/380 з глухозаземленою нейтраллю (система TN-S). ГРЩ складається з автоматів

захисту та пристрою управління, що дозволяє окремо відключати споживачів електроживлення.

Потужність ГРЩ вибирається з розрахунком на забезпечення можливості додаткового підключення зовнішньої світлової реклами, зовнішнього освітлення 7 будинків, і т.д. буд. У ГРЩ розподіляється напруга електроживлення за груповими споживачами (освітлення сходових майданчиків, ліфтове обладнання, живлення підвалів, горищ, пожежна сигналізація, житлові приміщення та інше)

Електропостачання квартир та житлових приміщень здійснюється по стояках через пристрої захисного відключення (ПЗВ). Відповідно до живильних стояків підключаються поверхові розподільні щитки, які утворюють групову мережу електроживлення для квартир.

До складу поверхових електрощитків, як правило, входять електролічильники, автоматичні вимикачі та ПЗВ. Автоматичні вимикачі згруповані за кожним ланцюгом електроживлення (освітлення, розетки, електроплита, пральна машина тощо). Для рівномірного навантаження на розподільну мережу ланцюга живлення різних квартир підключаються до різних фазних провідників.

3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1. Методи та засоби вимірювання витрати електроенергії

Так як вимір електроенергії зводиться до вимірювання миттєвого значення споживаної потужності та його інтегрування, то в даному розділі було проведено огляд методів вимірювання потужності.

У Європі найпоширеніша система TN-S. Раніше в Україні використовувалася система TN-C, в якій відкриті провідні частини електроустановки (корпусу, кожухи електроустаткування) з'єднані із заземленою нейтраллю джерела суміщеним нульовим захисним та робочим провідником (PEN) - "занулені". Дана система була відносно недорогою та простою, але не забезпечувала необхідний рівень електробезпеки.

У житлових будинках металеві корпуси електроустаткування повинні приєднуватися до захисних провідників, а мережі штепсельних розеток мають виконуватися трипровідними. Це означає, що у житлових будинках регламентовано застосування систем TN-C-S та TN-S.

Найбільш перспективною системою для нашої країни є TN-C S, яка дозволяє забезпечити високий рівень електробезпеки в електроустановках без їхньої корінної реконструкції.

У системах заземлення TN-C-S і TN-S електробезпека споживача забезпечується не власне системами, а можливістю застосування в них пристроїв захисного відключення (ПЗВ) - найсучаснішого та найефективнішого електрозахисного засобу.

Найчастіше електропостачання житлових будівель здійснюється через вступно-розподільний пристрій або головний розподільчий щит (ВРУ) або (ГРЩ). При цьому живлення споживачів здійснюється від напруги 220/380 з глухозаземленою нейтраллю (система TN-S). ГРЩ складається з автоматів захисту та пристрою управління, що дозволяє окремо відключати споживачів електроживлення.

Потужність ГРЩ вибирається з розрахунком на забезпечення можливості додаткового підключення зовнішньої світлової реклами, зовнішнього освітлення 7 будинків, і т.д. буд. У ГРЩ розподіляється напруга електроживлення за груповими споживачами (освітлення сходових майданчиків, ліфтове обладнання, живлення підвалів, горищ, пожежна сигналізація, житлові приміщення та інше)

Електропостачання квартир та житлових приміщень здійснюється по стояках через пристрої захисного відключення (ПЗВ). Відповідно до живильних стояків підключаються поверхові розподільні щитки, які утворюють групову мережу електроживлення для квартир.

До складу поверхових електрощитків, як правило, входять електролічильники, автоматичні вимикачі та ПЗВ. Автоматичні вимикачі згруповані за кожним ланцюгом електроживлення (освітлення, розетки, електроплита, пральна машина тощо). Для рівномірного навантаження на розподільну мережу ланцюга живлення різних квартир підключаються до різних фазних провідників.

Для вимірювання потужності в ланцюгах постійного і однофазного змінного струму застосовують прилади, іменовані ватметрами, для яких використовують електродинамічні та феродинамічні вимірювальні механізми.

Електродинамічні ватметри випускають у вигляді переносних пристроїв високих класів точності і використовують для чітких вимірювань потужності постійного і змінного струму на промисловій і підвищеній частоті. Ферродинамічні ватметри частіше зустрічаються у вигляді щитових пристроїв щодо низького класу точності (1,5 - 2,5). Використовують такі ватметри переважно на змінному струмі промислової частоти. На постійному струмі вони мають значну похибку, обумовлену гістерезисом сердечників.

Для вимірювання потужності на великих частотах використовують термоелектричні та електричні ватметри, що являють собою магнітоелектричний вимірювальний механізм, перетворювачем активної потужності в незмінний струм

Так, як вимірювання електроенергії виконують методом інтегрування за часом електричної потужності контрольованої мережі за допомогою індукційного або електронного лічильника електроенергії та періодичного зчитування показань лічильника, що безперервно нарастають, - необхідно розглянути обидва види лічильників електроенергії

3.2 Індукційний лічильник

Вимірювальний механізм індукційного однофазного лічильника електричної енергії складається з двох електромагнітів, які розташовані під прямим кутом один до одного, магнітне поле яких містить легкий алюмінієвий диск. Пристрій лічильника електричної енергії показано малюнку 1.

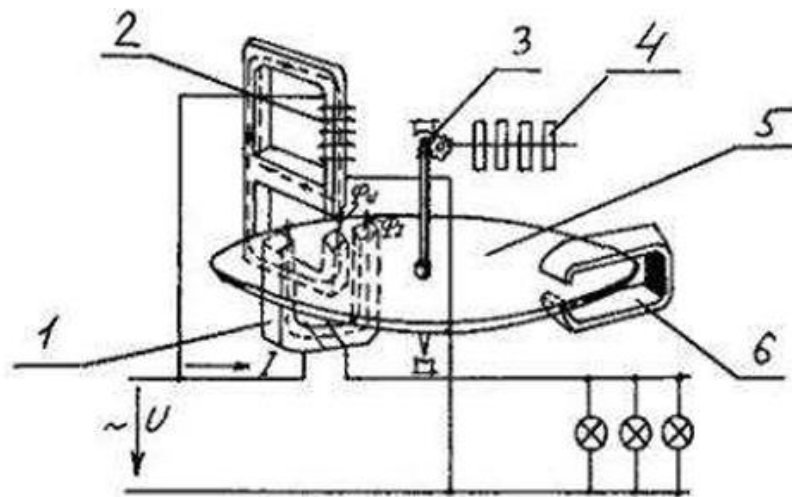


Рис. 3.1 – Схема пристрою індукційного лічильника електричної енергії:
1 – обмотка струму, 2 – обмотка напруги, 3 – черв'ячний механізм, 4 –
лічильний механізм, 5 – легкий алюмінієвий диск, 6 – магніт для
підгацьмовування диска.

Для включення лічильника ланцюг його струмову обмотку з'єднують з електроприймачами послідовно, а обмотку напруги - паралельно. При проходженні по обмотках індукційного лічильника змінного струму в осердях обмоток виникають змінні магнітні потоки, які, пронизуючи алюмінієвий диск, індукують в ньому вихрові струми.

Взаємодія вихрових струмів із магнітними потоками електромагнітів створює зусилля, під дією якого диск обертається. Останній пов'язаний з рахунковим механізмом, враховує частоту обертання диска, тобто витрата електричної енергії.

3.3. Електронні лічильники електроенергії

Електронний лічильник є перетворювач аналогового сигналу в частоту проходження імпульсів, підрахунок яких дає кількість споживаної енергії.

Головною перевагою електронних лічильників у порівнянні з індукційними є відсутність елементів, що обертаються. З іншого боку, вони забезпечують ширший інтервал входних напруг, дозволяють легко організувати багатотарифні системи обліку, мають режим ретроспективи - тобто. дозволяють переглянути кількість спожитої енергії за певний період - як правило, помісячно; вимірюють споживану потужність, легко вписуються в конфігурацію систем АСКОВЕ і мають ще багато додаткових сервісних функцій.

Різноманітність цих функцій полягає у програмному забезпеченні мікроконтролера, який є неодмінним атрибутом сучасного електронного лічильника електроенергії.

Конструктивно електролічильник складається з корпусу з клемною колодкою, вимірювального трансформатора струму та друкованої плати, на якій встановлені всі електронні компоненти.

Основними компонентами сучасного електронного лічильника є: трансформатор струму, дисплей РКІ, джерело живлення електронної схеми, мікроконтролер, годинник реального часу, телеметричний вихід, супервізор, органи управління, оптичний порт (опціонально).

РКІ являє собою багаторозрядний буквено-цифровий індикатор і призначений для індикації режимів роботи, інформації про спожиту електроенергію, відображення дати та поточного часу.

Джерело живлення служить для напруги живлення мікроконтролера та інших елементів електронної схеми. Безпосередньо із джерелом пов'язаний

супервізор. Супервізор формує сигнал скидання для мікроконтролера при включенні та відключенні живлення, а також стежить за змінами вхідної напруги

Годинник реального часу призначений для відліку поточного часу та дати. У деяких електролічильниках ці функції покладаються на мікроконтролер, проте для зменшення його завантаження, як правило, використовують окрему мікросхему, наприклад, DS1307N. Використання окремої мікросхеми дозволяє вивільнити потужності мікроконтролера і направити їх виконання більш відповідальних завдань.

Телеметричний вихід служить для підключення до системи АСКОЕ або безпосередньо до комп'ютера (зазвичай через перетворювач інтерфейсу RS485/RS232). Оптичний порт, який є не у всіх електролічильниках, дозволяє знімати інформацію безпосередньо з електролічильника і в деяких випадках служить для їх програмування (параметризації)

Серцем електронного лічильника є мікроконтролер. Це може бути як мікросхема компанії Microchip (PIC-контролер), і виробників ATMEL чи NEC.

В електронному лічильнику виконання практично всіх функцій покладено мікроконтролер. Він є перетворювачем АЦП (перетворює вхідний сигнал з трансформатора струму на цифровий вигляд, робить його математичну обробку і видає результат на цифровий дисплей.) Мікроконтролер також приймає команди від органів управління та керує інтерфейсними виходами.

Для вирішення нашого завдання ми будемо використовувати електронні електролічильники.

3.4. Вимоги до розрахункових лічильників електричної енергії

Для обліку електричної енергії використовуються прилади обліку, типи яких затверджено федеральним органом виконавчої влади з технічного регулювання та метрології та внесено до державного реєстру засобів вимірювань

Технічні параметри та метрологічні характеристики лічильників електричної енергії повинні відповідати вимогам ДСТУ 31818.11-2012 Частина 11 «Лічильники електричної енергії», ДСТУ 31819.22 2012 Частина 22 «Статичні лічильники активної енергії класів точності 0,2S 31819.21-2012 Частина 21 «Статичні лічильники активної енергії класів точності 1 та 2».

Для нововстановлюваних трифазних та однофазних лічильників чинною вимогою є наявність дійсної державної повірки, яка підтверджується відповідним тавром або пломбою. При цьому термін придатності повірки визначається міжповірочним інтервалом, установленим для конкретного типу та класу точності приладу, а не фіксованим періодом у 12 чи 24 місяці. Отже, пломба державної повірки може мати термін придатності значно довший, ніж один або два роки, якщо це передбачено ДСТУ.

Основним технічним параметром електролічильника є клас точності, який вказує на рівень похибки вимірювань приладу. Класи точності приладів обліку визначаються відповідно до 14 технічних регламентів та інших обов'язкових вимог, встановлених для класифікації засобів вимірювань.

Табл. 3.1 - Допустимі класи точності розрахункових лічильників активної електроенергії для різних об'єктів обліку та споживачів

Категорія споживачів	Умови (напруга, підключення)	Клас точності (зображення)	Клас точності (Україна, ККОЕ)
Громадяни-побутові	Не має значення, нове	2.0 і вище	1.0 і вище
Багатоквартирні будинки	0.4 кВ і нижче, нове	1.0 і вище	1.0 і вище
Споживачі < 670 кВт	До 35 кВ, нове	1.0 і вище	1.0 або 0.5S залежно від умов
Споживачі < 670 кВт	110 кВ і вище, нове	0.5S і вище	0.5S або 0.2S

Споживачі < 670 кВт	Будь-яке підключення, нове	0.5S і вище з профілем	0.5S і вище з можливістю зчитування, зберігання 180 днів
------------------------	----------------------------------	---------------------------	--

4. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ПОКВАРТИРНОГО ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

В Україні впроваджується низка сучасних систем автоматизованих систем поквартирного обліку споживання електроенергії (АСКОЕ) для побутових споживачів. Найбільшу популярність отримали комплексні рішення вітчизняного виробництва, зокрема розробки українських підприємств, які спеціалізуються на обладнанні для енергетики, комунального господарства та промислових об'єктів.

З 2000-х років українські розробники займаються створенням та впровадженням АСКОЕ для об'єктів операторів зв'язку, підприємств ЖКГ та виробничих комплексів. Вироблене обладнання дозволяє здійснювати дистанційний зчитування та передачу даних із засобів обліку, а за допомогою програмного забезпечення формуються звіти для енергопостачальних компаній. Сучасні рішення включають системи обліку для багатоквартирних житлових будинків із використанням каналів зв'язку GSM, GPRS, LTE, Ethernet та LoRaWAN.

Запропонована система будується на основі двох рівнів:

- Інформаційно-вимірювальний комплекс (ІВК) складається з лічильників електричної та теплової енергії, а також каналоутворюючого обладнання. ІВК призначений для збору даних про споживання електроенергії, теплової енергії, гарячої та холодної води з подальшою передачею на верхній рівень системи – ІВКС;

- Інформаційно-обчислювальний комплекс системи (ІВКС) включає сервер збору та обробки даних, каналоутворююче обладнання та автоматизовані робочі місця операторів. ІВКС відповідає за регулярний опитувальний режим засобів обліку, перевірку достовірності отриманих даних, їх зберігання, обробку та візуалізацію. На цьому рівні забезпечується також інтеграція з білінговими системами постачальників енергоресурсів, відповідно до вимог нормативних документів.

Система забезпечує:

- комерційний облік спожитої електричної енергії;
- облік спожитої теплової енергії;
- облік об'ємів споживання гарячої та холодної води;
- формування звітної документації;
- зберігання облікової інформації на сервері АСКОВЕ .

4.1. Система TELEGESTORE

На сьогодні найбільша енергопостачальна компанія Італії Enel успішно завершила впровадження унікальної автоматизованої системи Telegestore для побутових споживачів. Ця система дозволяє не лише дистанційно знімати показання електролічильників, а й централізовано керувати споживанням електроенергії та розподільчою мережею.

У квітні 2004 року делегація українських енергетиків відвідала Італію з метою ознайомлення з реалізацією проекту Telegestore безпосередньо на місці. Делегація побувала в головному офісі Enel у Римі та на випробувальному полігоні компанії Cesi у Мілані. Полігон Cesi було обрано для польових випробувань компонентів системи Telegestore, оскільки він дозволяє змодельовати типові умови впливу перешкод, що виникають в електромережах.

Випробування почались ще у 2000 році й тривають до сьогодні, з метою відпрацювання каналів зв'язку та перевірки нових моделей елементів системи — електролічильників і концентраторів.

Із початку 90-х років компанія Enel вивчала ефективність систем дистанційного керування лічильниками, які вже були вигідними для промислових споживачів. Основним завданням було з'ясування, чи можуть ці технології ефективно працювати у масштабах масового побутового сегменту.

Результати випробувань, у яких було задіяно понад 70 000 систем (з них 40 000 у Римі), підтвердили технічну життєздатність технології дистанційного обліку з використанням PLC-зв'язку (передача даних по низьковольтній мережі у частотному діапазоні, визначеному стандартом CENELEC EN 50065).

У 1998 році, провівши аналіз витрат на облік споживання, а також вивчивши досвід США, компанія Enel дійшла висновку, що впровадження дистанційного обліку на масовому ринку є економічно доцільним.

Компанія здійснила масштабну модернізацію системи обліку: було замінено понад 30 млн індукційних лічильників на електронні з можливістю віддаленого керування. Всі ці лічильники були об'єднані в єдину мережу з використанням PLC-технології. Так було створено централізовану систему TELEGESTORE™, яка стала прикладом комплексного підходу до організації обліку та управління споживанням енергії серед побутових споживачів у Європі.

При цьому Enel змогла гарантувати окупність системи за 5 років — саме такий термін знадобився для завершення впровадження (2001–2006 рр.). Пілотна експлуатація підтвердила досягнення цієї мети.

Опис структури роботи системи

- Інтегрований електролічильник (М) здійснює облік споживання, керує реле навантаження та передає дані по силовій мережі до концентратора.
- Телекомунікаційна система встановлює зв'язок з концентратором даних (УСПД), який монтується у трансформаторних підстанціях середньої напруги. Один концентратор обслуговує один трансформатор. Зв'язок здійснюється через GSM, комутовану телефонну лінію або супутникові канали.
- Пристрій збору та передачі даних (концентратор) забезпечує двосторонній зв'язок: до лічильників – через силову мережу у напівдуплексному режимі (швидкість 2400 біт/сек), до центрального сервера – через звичайну телекомунікаційну мережу.

Основні характеристики TELEGESTOR

- Дистанційне керування споживанням електроенергії, підтримка мультитарифних режимів.

- Зміна умов контракту (потужність, тарифний план) без виїзду персоналу.
- Віддалене відключення електроенергії, наприклад, у разі завершення договору.
- Контроль якості електропостачання (кількість та тривалість перерв у подачі струму).
- Виявлення крадіжок електроенергії та технічних втрат.
- Передача інформації в реальному часі без необхідності фізичного доступу до приладу.
- Відсутність паперового білінгу та повна автоматизація процесу обліку.

Для українських умов така система може значно знизити витрати обленерго, покращити облік, посилити контроль втрат та забезпечити гнучке управління попитом, особливо в умовах децентралізованої енергосистеми.

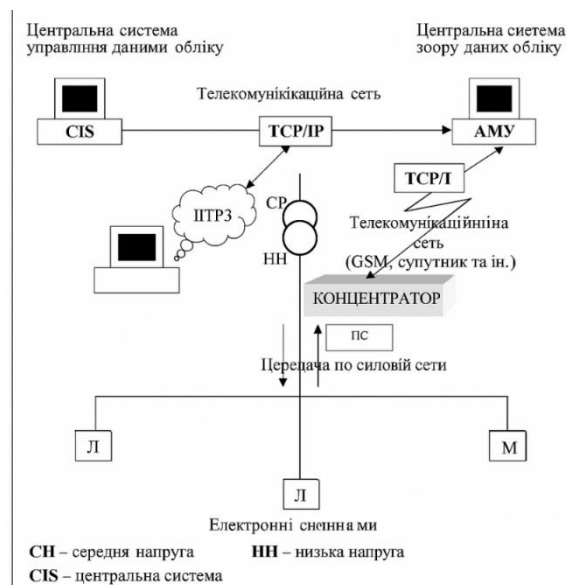


Рис. 4.1 - Архітектура системи

5. РОЗРОБКА ВИМОГ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Основне завдання системи АСКОЕ — у визначені часові інтервали автоматично збирати у центрах управління всі дані про обсяги споживання та постачання електроенергії на всіх рівнях напруги, обробляти ці дані з метою: формування звітів про спожиту або відпущену електроенергію (потужність); здійснення аналізу споживання та формування прогнозів; розрахунку вартості енергоресурсів; забезпечення повноцінного обліку та прозорості розрахунків за електроенергію.

На сьогодні головним нормативним документом, який регулює створення та функціонування систем комерційного обліку електроенергії в Україні, є: кодекс комерційного обліку електричної енергії (ККОЕ), затверджений постановою НКРЕКП №311 від 14.03.2018 року, вимоги до АСКОЕ також враховують положення Закону України "Про ринок електричної енергії", чинні ДСТУ, та технічні регламенти НЕК "Укренерго".

Необхідні елементи для створення АСКОЕ:

- Встановлення точних електронних лічильників у вузлах комерційного обліку електроенергії, що відповідають класу точності відповідно до напруги (не нижче 1.0 або 0.5S).
- Збирання та передача даних за допомогою пристроїв збору та обробки інформації (УСПД), що мають внутрішню пам'ять та можливість двостороннього зв'язку.
- Організація системи зв'язку, яка дозволяє передавати облікову інформацію від засобів вимірювання до центрів обробки. Найчастіше використовуються: GSM, 3G, 4G -зв'язок, оптоволоконні лінії, PLC-технології (передача по силовій мережі), радіоканали тощо.
- Створення центрів обробки даних на рівні оператора системи розподілу, підприємства або державного реєстратора даних

(ДОЗ/ДП «Гарантований покупець»), які оснащені відповідним ПЗ та серверним обладнанням.



Рис. 5.1 - Структурна схема АСКОЕ

У схемі можна виділити кілька основних рівнів: індивідуальні прилади обліку (електролічильники), пристрої збору та передачі даних (УСПД), канал зв'язку (GSM, PLC тощо), сервер АСКОЕ (центр обробки даних)

в Україні впровадження АСКОЕ є обов'язковим для всіх об'єктів з точками комерційного обліку, зокрема: великих споживачів, виробників ВДЕ, операторів систем розподілу, електропостачальників.

Такі системи є важливим елементом функціонування нового ринку електроенергії, забезпечують прозорість та зменшують втрати.

5.1. Перший рівень – рівень збору інформації

Елементами цього рівня є електролічильники та різноманітні пристрої, що вимірюють параметри системи. В Україні на сьогодні активно використовуються як електронні, так і електромеханічні лічильники з імпульсним виходом.

У якості таких пристроїв застосовуються датчики, які мають інтерфейс RS-485 або підключаються до системи через аналого-цифрові перетворювачі. Поширеною є передача даних за допомогою протоколів Modbus RTU або IEC 62056-21 (DLMS/COSEM) через RS-485.

В системах АСКОЕ для з'єднання датчиків із контролерами використовують інтерфейс RS-485. Вхідний опір приймача інформаційного

сигналу по лінії RS-485 зазвичай становить 12 кОм. Оскільки потужність передавача обмежена, це накладає обмеження на кількість приймачів, підключених до однієї лінії. Згідно з технічними умовами, інтерфейс RS-485 дозволяє підключення до 32 пристроїв одночасно на одну шину, за наявності узгоджувальних резисторів.

5.2. Другий рівень – комунікаційний рівень

На цьому рівні знаходяться контролери, концентратори (зчитувачі) та шлюзи, які необхідні для агрегації, буферизації та транспортування даних у вищі рівні системи. У випадку, якщо потрібно підключити понад 32 пристрої, у схемі використовують концентратори або модеми, які можуть опитувати пристрої локально й передавати зведену інформацію вище – через Ethernet, GPRS або NB-IoT. В Україні популярні вітчизняні та європейські виробники концентраторів – наприклад, NIK, AKATEM, Енергомера, Овен, SETA, які мають вбудовану підтримку українських стандартів і специфікацій.

5.3. Третій рівень – рівень збору, аналізу та зберігання даних

Елементом цього рівня є комп'ютер, промисловий контролер або сервер. Головною вимогою до обладнання цього рівня є наявність спеціалізованого програмного забезпечення для налаштування та моніторингу системи.

В Україні активно впроваджується ПЗ для комерційного обліку, наприклад: ЕНЕРГОСФЕРА, NIK SCADA, ASKOE-Client, OBLENERGO SCADA, рішення від Huawei, Siemens, Schneider Electric для великих підприємств.

Більшість сучасних електронних лічильників, які дозволені до використання в Україні, мають вбудований інтерфейс RS-485 або оптичний порт IEC 62056-21. Навіть якщо лічильник не має цифрового інтерфейсу, він може оснащуватись імпульсним виходом.

Наприклад, лічильники з маркуванням "Д" (наприклад, CE301D, НІК 2303 AP3 D) мають телеметричний імпульсний вихід, який передає дані про спожиту активну або реактивну енергію через двопровідну лінію до контролера або модуля збору даних.

У індукційних лічильниках цей сигнал формується через кількість обертів алюмінієвого диска. Швидкість обертання пропорційна до навантаження, що споживається. Імпульсний датчик (наприклад, оптоелектронна пара фотодіод-світлодіод) перетворює ці оберти на імпульси, які потім передаються по лінії.

Імпульсні сигнали можуть бути адаптовані під RS-232/RS-485 з допомогою простих адаптерів. Однак в Україні також спостерігається тенденція відмови від індукційних лічильників на користь повністю електронних пристроїв.

Система може використовувати GSM (GPRS), 3G/4G, NB-IoT або Ethernet для передачі інформації. Це актуально для підприємств, розташованих у різних регіонах України або для складних промислових об'єктів.

Переваги використання GPRS або NB-IoT в Україні: економія: оператори мобільного зв'язку (Vodafone, Київстар, lifecell) пропонують тарифні пакети спеціально для IoT, надійність: можливість резервування каналів (наприклад, GSM + Ethernet), доступність: особливо актуально для віддалених районів, де немає стаціонарної інфраструктури.

Сучасні GSM-модеми мають інтегровану підтримку DLMS/COSEM протоколу та можуть передавати дані на сервер через HTTPS або MQTT. Вони легко інтегруються у SCADA-системи.

При недоступності мобільного зв'язку може використовуватись супутниковий зв'язок (наприклад, Starlink або українські рішення через термінали Інтертелеком/Укртелеком), хоча його вартість значно вища.

6. СТРУКТУРНА СХЕМА

Система має дворівневу структуру. На першому рівні розташовані безпосередньо електролічильники, встановлені в кожному щитку, та поверховий реєстратор. Поверховий реєстратор зчитує імпульси з електролічильника та зберігає їх у внутрішній пам'яті мікроконтролера. Також до складу поверхового реєстратора входять елементи керування живленням, індикації та інтерфейсу зв'язку. Індикатор відображає подачу живлення на реєстратор.

На другому рівні знаходиться персональний комп'ютер (ПК), на який через канал зв'язку RS-485 передаються накопичені дані з поверхових реєстраторів.

Компоненти розроблюваної системи обліку споживання електроенергії в житловому будинку:

- Первинні прилади обліку – електролічильник Енергомера СЕ101-Р5. Це однофазний електролічильник серії «СЕ», який монтується на DIN-рейку. Здійснює вимірювання активної електроенергії в однофазних двопровідних мережах змінного струму. У якості датчика струму використовується шунт. Пристрій має імпульсний вихід, що дозволяє інтегрувати його у системи дистанційного зчитування даних.
- Поверховий реєстратор. Реєстратор використовується для накопичення кількісної інформації з первинних лічильників із прив'язкою до астрономічного часу. Дані передаються у цифровому форматі в інформаційну мережу із використанням стандарту RS-485.

Структурна схема поверхового реєстратора зображена на рисунку 6.

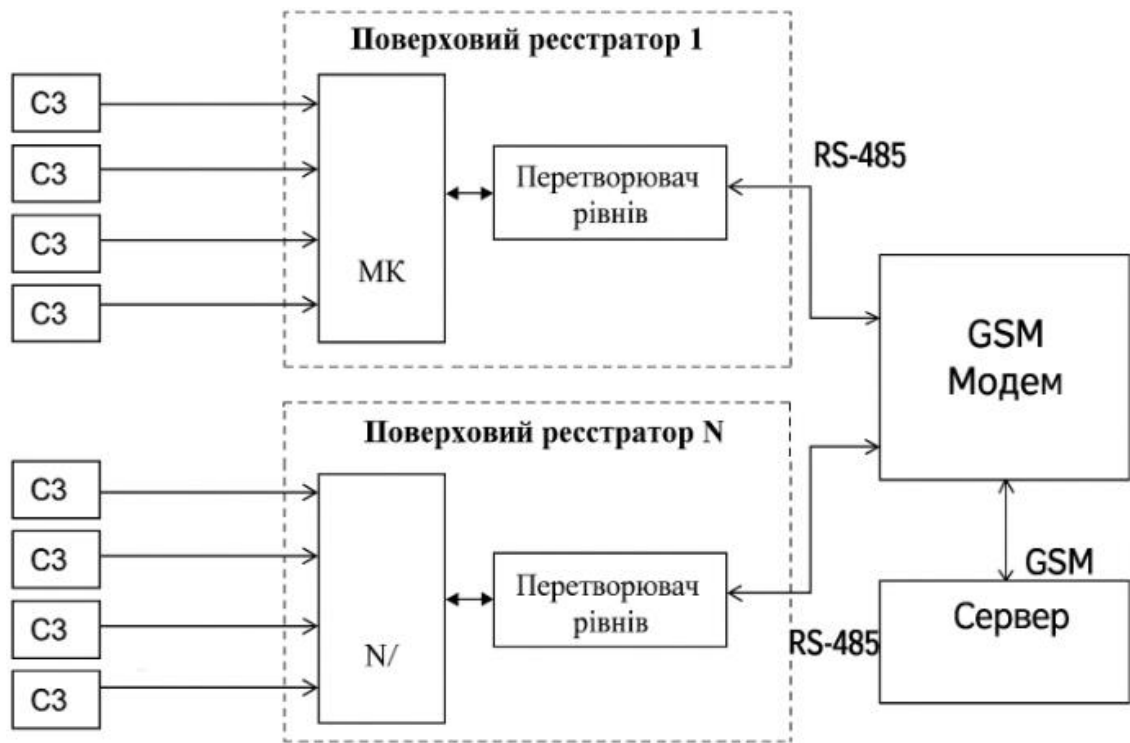


Рис. 6.1 - Структурна схема поверхового реєстратора

Електролічильники, розташовані в розподільчих щитках, фіксують обсяг спожитої електроенергії, на основі чого формується вихідний сигнал. У вибраних моделях лічильників вихідним сигналом є імпульси, які подаються на мікроконтролер.

Основна функція мікроконтролера полягає у зборі та збереженні даних, отриманих від лічильників, а також у подальшій передачі цієї інформації через інтерфейс RS-485 на персональний комп'ютер (ПК). Для відображення інформації на місці встановлення використовуються інтегровані індикатори або дисплеї, передбачені безпосередньо в конструкції електролічильників.

Для зберігання архівів споживання, а також індивідуальних калібрувальних коефіцієнтів лічильників і встановлених параметрів пристрою, застосовується енергонезалежна пам'ять. Це забезпечує збереження важливої інформації навіть у разі повного відключення живлення – як основного, так і резервного (акумуляторного).

Зафіксований мікропроцесором ідентифікаційний код і виміряні значення по кожному каналу можуть передаватися на запит через інтерфейс

RS-485 для подальшої обробки на ПК. Аналіз отриманих даних виконується оператором за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Реалізація такої системи дозволяє автоматизувати та спростити контроль споживання електроенергії, забезпечити централізований збір даних та підвищити ефективність енергетичного обліку в житлових і комерційних об'єктах.

7. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

7.1. Електролічильник

MTX1A51.DT4S — це електронний лічильник активної електроенергії, призначений для точного обліку у однофазних двопровідних мережах змінного струму. Він має імпульсний телеметричний вихід і підтримує інтерфейс RS-485 (Modbus або DLMS/COSEM), що робить його ідеальним компонентом для систем дистанційного зчитування.



Рис. 7.1 – Однофазний електролічильник MTX1A51.DT4S

Виробник: Elgama-Elektronika, м. Вільнюс, Литва.

Модель: MTX1A51.DT4S

Тип: Однофазний, прямого включення, з імпульсним та інтерфейсним виходом.

Призначення: Комерційний та технічний облік електроенергії у побутових та промислових об'єктах
Монтаж: На DIN-рейку або щитове встановлення.

Нормативно-правове забезпечення: відповідає вимогам ІЕС 62052-11, ІЕС 62053-21, сертифікований відповідно до ДСТУ EN 50470-1, EN 50470-3 внесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України, має європейську сертифікацію (CE)

Надійнісні характеристики: середній термін служби — не менше 30 років, міжповірочний інтервал — 10 років, гарантійний термін — 5 років, середнє напрацювання на відмову — понад 200 000 годин.

Особливості електролічильника: вбудований імпульсний вихід (оптопара) — для передачі показників у поверховий реєстратор, інтерфейс RS-485 для інтеграції з системами диспетчеризації (Modbus RTU, DLMS), світлодіодна індикація енергії та стану, захист від несанкціонованого втручання, вбудований годинник реального часу, енергонезалежна пам'ять для зберігання архівів, можливість роботи з багатотарифним режимом

Табл. 7.1 Технічні характеристики

Параметр	Значення
Клас точності	1 (або 2, залежно від конфігурації)
Кількість тарифів	До 4
Частота мережі, Гц	50
Номінальна напруга, В	230
Номінальний струм, А	5 (макс. 60)
Пусковий струм, мА	≤ 20
Потужність власного споживання, В·А	$< 1.5 \text{ В} \cdot \text{А}$
Імпульсна частота, імп./кВт·год	1000 або 1600 (залежно від налаштувань)
Тип імпульсного виходу	Оптопара, open collector
Температурний діапазон, °С	від -40 до $+70$
Габаритні розміри, мм	близько $120 \times 105 \times 65$
Ступінь захисту	IP51 або IP54 (залежно від корпусу)

Причиною вибору цього лічильника обумовлений його: європейським походженням та сертифікацією, сумісністю з сучасними системами збору

даних (RS-485, імпульси), наявністю телеметричних виходів для інтеграції у поверхові реєстратори або АСКОЕ, надійністю, точністю та відповідністю українським стандартам

Крім того, лічильники Elgama активно постачаються до України і вже встановлюються в житловому секторі, що робить їх ідеальним вибором для модернізації систем обліку з мінімальними додатковими витратами.

7.2. Розробка принципової схеми реєстратора

Для розробки поверхового реєстратора, призначеного для збору даних з кількох електролічильників, необхідно створити принципову електричну схему, яка включає в себе вибрані компоненти відповідно до вимог технічного завдання.

Завданням реєстратора є: одночасний прийом імпульсних сигналів від 4-х однофазних лічильників типу MTX1A51.DT4S (через оптопари), збереження та обробка даних в мікроконтролері, подальша передача інформації по інтерфейсу RS-485 на ПК через перетворювач RS-485/RS-232 або інші модулі зв'язку.

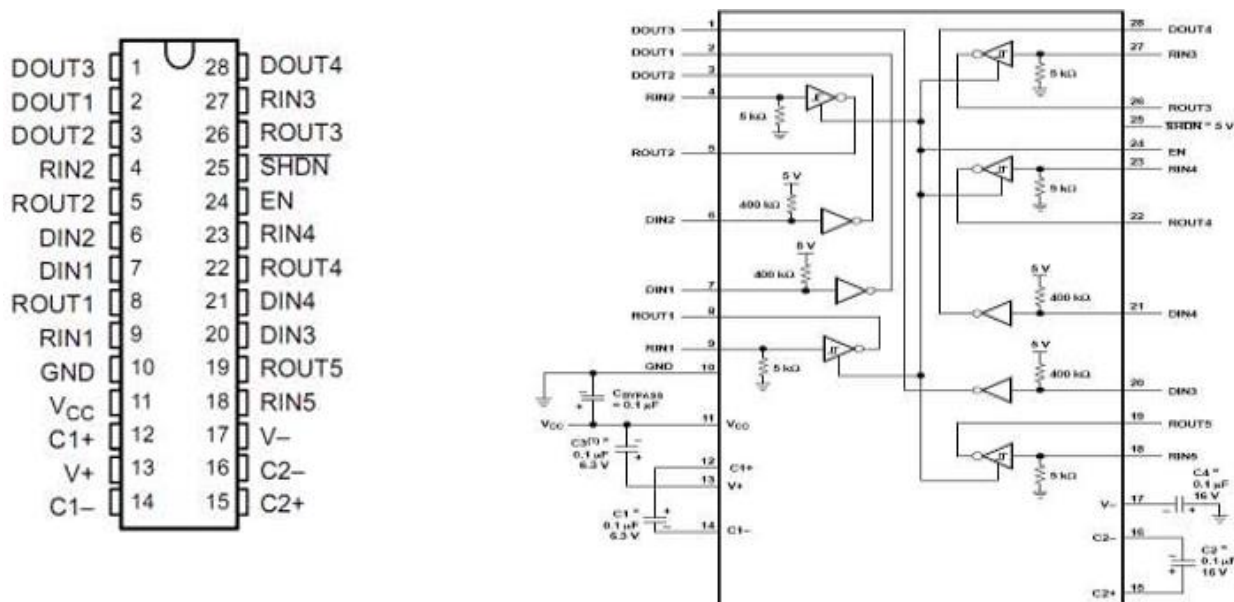
Це вимірювальне обладнання виступає як інтелектуальний (мікропроцесорний) елемент системи обліку. Воно виконує функції збору даних, перетворення інтерфейсу та збереження інформації у пам'яті. У пристрої відсутні механічні перемикачі — усі налаштування виконуються програмно та зберігаються навіть після вимкнення живлення (у енергонезалежній пам'яті).

Основна вимога до даного компонента — це прийом імпульсних сигналів з кількох каналів та передача їх у UART-інтерфейс мікроконтролера. Необхідна підтримка мінімум 4 незалежних каналів прийому. Для реалізації цієї функції обрано мікросхему MAX213 від компанії Maxim Integrated.

MAX213 — це високонадійний приймач/трансмітер RS-232, який підтримує одночасну роботу з кількома каналами прийому та передачі даних, ідеально підходить для застосувань, де необхідна обробка кількох сигналів з ізольованих джерел.



Рис. 7.2 – Зовнішній вигляд мікросхеми MAX213



Причини вибору MAX213: Мікросхема дозволяє підключити 4 незалежні імпульсні виходи лічильників. Працює в широкому температурному діапазоні, що відповідає умовам експлуатації у житлових будинках. Високий рівень ESD-захисту (2 кВ) забезпечує надійність у побутовій електромережі. Підтримка перетворення сигналу з TTL у формат UART, що ідеально підходить для мікроконтролерів типу STM32 або ATmega. Простота підключення: потрібні лише стандартні керамічні конденсатори 0.1 мкФ.

7.4. Вибір мікроконтролера

Основним критерієм вибору мікроконтролера для даного пристрою є: наявність щонайменше 4 універсальних портів введення сигналів, які можуть бути задіяні для обробки імпульсів від лічильників, а також достатній об'єм вбудованої пам'яті для накопичення даних, збереження налаштувань і подальшої передачі інформації.

Мікроконтролер ATxmega16A4-AU є високопродуктивним представником 8/16-бітної серії AVR XMEGA компанії Atmel, що відзначається доступністю, низьким енергоспоживанням, гнучкою архітектурою та підтримкою сучасних інтерфейсів.

Табл. 7.3 Ключові технічні характеристики ATxmega16A4-AU

Параметр	Значення
ЦПУ	8/16-бітний високопродуктивний RISC AVR
Тактова частота	До 32 МГц
Обсяг флеш-пам'яті	16 КБ
ОЗП (SRAM)	2 КБ
EEPROM	512 байт
Кількість портів введення/виведення (I/O)	До 32
Кількість таймерів	4 × 16-бітні таймери

UART/USART	до 2 інтерфейсів
ADC (АЦП)	12-бітний, до 12 каналів
Інтерфейси	USART, SPI, TWI (I ² C), ADC
Живлення	1.6 – 3.6 В
Корпус	TQFP (44 виводи), придатний для SMD монтажу
Робочий температурний діапазон	від –40 °С до +85 °С

Особливості мікроконтролера:

- 32 регістри загального призначення, напряду підключені до арифметико-логічного пристрою (ALU), що забезпечує швидку обробку даних.
- Апаратне множення та підтримка 8-, 16-, 32-бітної арифметики.
- Підтримка до 16 МБ адресації для програмної та до 16 МБ — для даних.
- Захист критичних налаштувань від несанкціонованої зміни.
- Розвинена система енергозбереження та режимів сну.
- Гнучка система переривань із пріоритетами.
- Всі налаштування зберігаються у енергонезалежній пам'яті, тому пристрій зберігає конфігурацію навіть після вимкнення живлення.

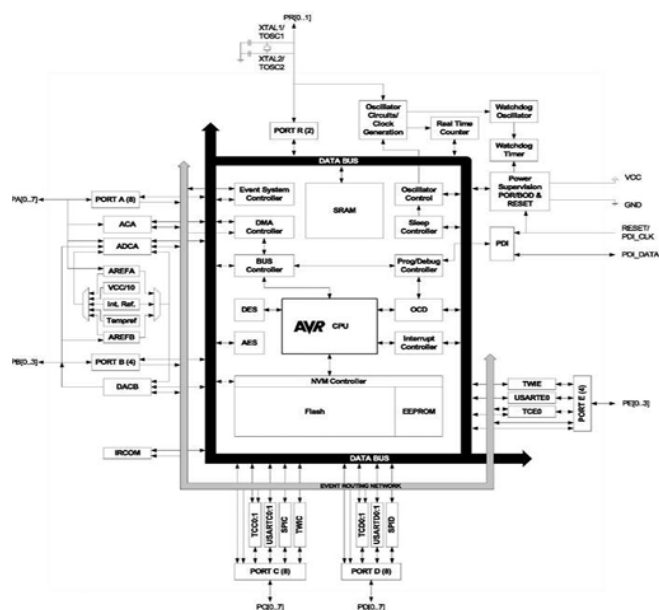


Рис. 7.4 — Функціональна схема мікроконтролера ATxmega16A4-AU

Причини вибору ATxmega16A4-AU:

- Повністю відповідає вимогам проєкту за кількістю портів введення, підтримкою UART/RS-485, обсягом пам'яті, стабільною роботою в широкому температурному діапазоні.
- Підтримка програмної модифікації налаштувань, що виключає потребу в перемикачах або ручному конфігуруванні.
- Можливість прямого підключення приймача MAX213 по UART для збору даних від 4 лічильників.
- Простота програмування завдяки підтримці Atmel Studio, AVR-GCC, AVRDUDE тощо.
- Економічна ефективність — мікроконтролери Atmel широко доступні в Україні за прийнятною ціною.

У підсумку, ATxmega16A4-AU забезпечує всі необхідні функції для побудови поверхового реєстратора, включно з обробкою імпульсів, збереженням, аналізом і передачею даних на вищий рівень системи через інтерфейс RS-485.

7.5. Вибір тактового генератора

У мікропроцесорних системах тактовий імпульс відповідає базовій одиниці часу виконання інструкцій. Залежно від архітектури мікроконтролера та типу команди, її обробка може виконуватися за один або декілька тактів.

Частота тактового генератора визначає загальну швидкодію системи, включаючи обробку імпульсів, роботу із внутрішньою пам'яттю, комунікацію через інтерфейси UART, SPI, TWI та ін.

Обраний тип генератора: кварцовий резонатор на 16 МГц.

Для забезпечення стабільної, точної та низькошумової роботи в проєктованому пристрої використовується зовнішній кварцовий резонатор

частотою 16 МГц, який підключається до ніжок XTAL1 і XTAL2 мікроконтролера ATxmega16A4-AU.

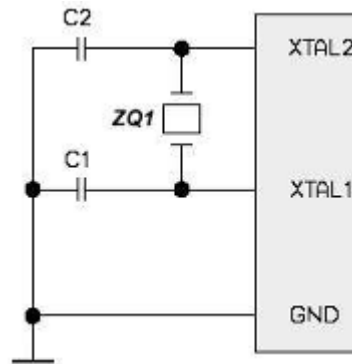


Рис. 7.5 – Схема підключення тактового генератора

Опис підключення: кварцовий резонатор з частотою 16 МГц підключається до виводів XTAL1 та XTAL2 мікроконтролера, для забезпечення стабільного запуску генератора з обох виводів встановлюються конденсатори C11 та C13 номіналом 30 пФ, які з'єднують виводи кварцу з загальною шиною (GND), таке підключення утворює паралельний резонансний контур, що забезпечує стабільну генерацію імпульсів.

Чому обрано саме 16 МГц: 16 МГц є стандартною частотою для AVR XMEGA, сумісною з внутрішнім делітеlem тактової частоти, така частота дозволяє ефективно працювати з UART, таймерами, АЦП та іншими периферійними пристроями без необхідності програмного масштабування, забезпечує баланс між швидкодією і енергоспоживанням, підтримується без додаткових PLL або генераторів — достатньо зовнішнього кварцу.

Переваги використання зовнішнього кварцу: підвищена стабільність частоти у порівнянні з внутрішніми RC-генераторами, зменшення джитеру в інтерфейсах UART/RS-485, не залежить від температурних коливань, що важливо в умовах експлуатації в будинках з мінімальним контролем клімату.

У разі потреби, можливе використання інших частот (наприклад, 8 МГц або 12 МГц) з урахуванням оптимізації живлення, але 16 МГц є оптимальним

вибором для пристроїв, що активно передають та обробляють дані в реальному часі.

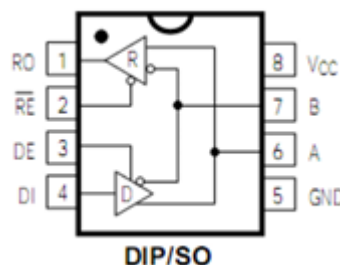
7.6. Вибір перетворювача рівнів RS-485

У розроблюваній системі зв'язок поверхового реєстратора з центральним ПК або GSM-модемом здійснюється через інтерфейс RS-485, що є одним із найнадійніших промислових стандартів обміну даними.

Особливості інтерфейсу RS-485: підтримує передачу даних по двопровідній лінії (вита пара) у напівдуплексному режимі, є диференціальним інтерфейсом — логічні 0 та 1 передаються як різниця напруг на двох дротах, швидкість передачі — до 10 Мбіт/с, максимальна відстань залежить від швидкості: 100 кбіт/с → до 1200 м; 10 Мбіт/с → до 120 м, одночасне підключення до 32 пристроїв на одній лінії зв'язку.

Оскільки мікроконтролери (наприклад, ATxmega16A4-AU) працюють з логічними рівнями TTL (0–5 В), а RS-485 — з диференціальними сигналами $\pm 5 \dots 12$ В, необхідне апаратне перетворення рівнів сигналу.

Для реалізації перетворення логічних сигналів у формат RS-485 обрано



перевірений драйвер/приймач MAX485 від компанії Maxim Integrated.

Рис. 7.6 – Вигляд та цоколювання мікросхеми MAX485

Табл. 7.4 Основні технічні характеристики MAX485

Параметр	Значення
Максимальна швидкість передавання	2.5 Мбод
Тип інтерфейсу	RS-485
Кількість приймачів (Rx)	1

Кількість приймачів (Tx)	1
Підтримка керування Tx/Rx	Так (входи RE та DE)
Кількість пристроїв на шині	До 32
Живлення (Vcc)	4.75 – 5.25 В
Споживання струму (ICC)	~0.9 мА
Робочий температурний діапазон	–40...+85 °С
Форм-фактор	DIP/SOIC-8 (для пайки або SMD)

Переваги використання MAX485: надійна робота у промислових умовах (стійкість до перешкод, ESD), низьке споживання струму, що важливо для живлення від обмежених джерел, простота в реалізації: мікросхема містить всі необхідні драйвери для передачі і прийому, доступність на ринку України, широке використання у системах АСКОВЕ, IoT, SCADA.

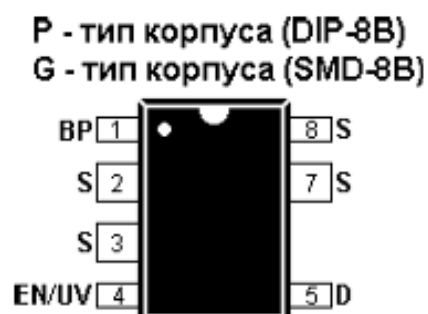
Принцип підключення:

- Виводи RO (Receiver Output) та DI (Driver Input) підключаються до UART мікроконтролера.
- Виводи А та В — до лінії зв'язку RS-485 (вита пара).
- Керування передачею здійснюється через DE (Driver Enable) та RE (Receiver Enable).
- Для керування напрямком (Rx або Tx) DE і RE можна об'єднати та перемикає з GPIO порту.

У результаті, мікросхема MAX485 забезпечує надійну та ефективну передачу даних з поверхового реєстратора до головного вузла збору, а також дозволяє масштабувати систему до десятків лічильників без втрати якості сигналу.

7.7. Вибір мікросхеми перетворювача напруги

Для організації живлення мікроконтролера та мікросхем-драйверів у розроблюваній системі буде використаний імпульсний блок живлення,



побудований на базі спеціалізованої мікросхеми TNY264 від компанії Power Integrations.

Рис. 7.7 — Вигляд і цоколювання мікросхеми TNY264

Опис роботи та переваги мікросхеми TNY264: вбудований MOSFET-транзистор на 700 В, що забезпечує високовольтне комутаційне управління, вбудований генератор з фіксованою частотою 132 кГц (типове значення в межах 124–142 кГц), мікросхема має комплекс захистів: від короткого замикання в навантаженні, від заниженого та підвищеного вхідного напруження, від обриву ланцюга зворотного зв'язку, від перегріву кристалу, запуск у разі високої вхідної напруги, реалізує функцію автоматичного перезавантаження (авторестарту) при виникненні аварійних ситуацій, знижує рівень високочастотних перешкод (Jitter) у вихідній напрузі, управління стабілізацією напруги відбувається у режимі вкл/викл через вивід EN/UV, без складних схем широтно-імпульсної модуляції.

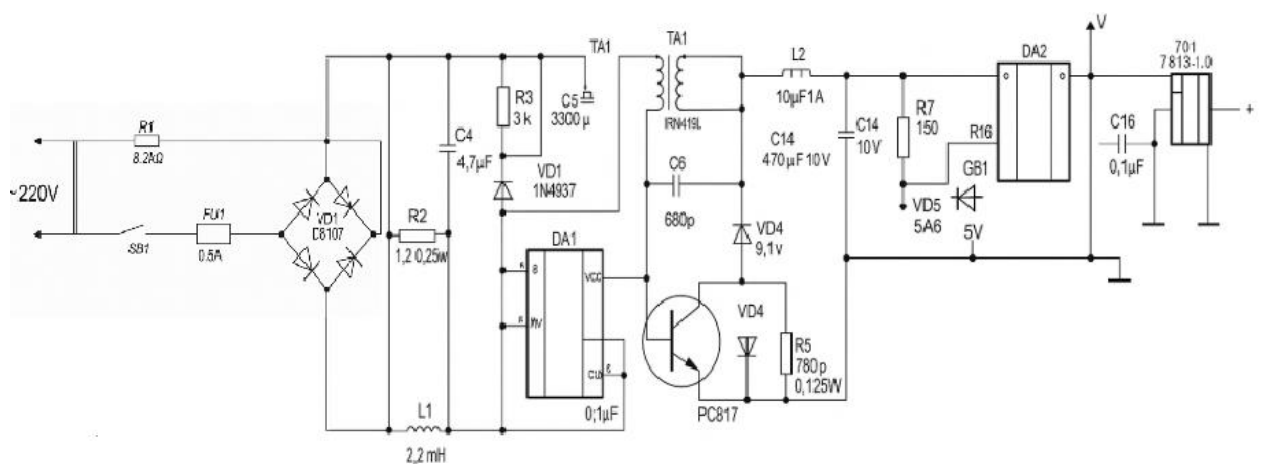


Рис. 7.8 — Принципова схема імпульсного блоку живлення на мікросхемі TNY264

Табл. 7.5 основні параметри мікросхеми TNY264

Параметр	Значення
Максимальна напруга MOSFET	700 В
Частота генератора	~132 кГц
Вхідна напруга	85–265 В (мережева)
Режим стабілізації	ON/OFF (без ШІМ)
Захисти	КЗ, перенапруга, обрив зворотного зв'язку, перегрів
Функція авторестарту	Так
Зменшення ВЧ-помех (Jitter)	Так

Чому обрана мікросхема TNY264: простота реалізації імпульсного джерела живлення, вбудовані захисти забезпечують надійну і безпечну роботу пристрою в умовах нестабільної мережевої напруги, висока ефективність перетворення, що знижує теплові втрати, компактність схеми і можливість мінімальної кількості зовнішніх компонентів, широке розповсюдження та доступність на ринку.

Такий блок живлення буде забезпечувати стабільну 5 В напругу живлення для мікроконтролера, мікросхеми перетворення рівнів RS-485 (MAX485) та інших елементів схеми, що вимагають живлення від стабілізованого джерела.

7.8. Вибір автоматичного перемикача на резервне живлення

Відповідно до технічного завдання, у розроблюваній системі необхідно забезпечити безперебійне живлення всіх компонентів (мікроконтролера, інтерфейсних мікросхем, пам'яті тощо). Для цього впроваджується система автоматичного перемикачання на резервне (акумуляторне) живлення у разі відключення основної напруги 220 В.

Для реалізації цієї функції обрано спеціалізовану мікросхему ICL7673, яка забезпечує автоматичне перемикання між двома джерелами живлення.

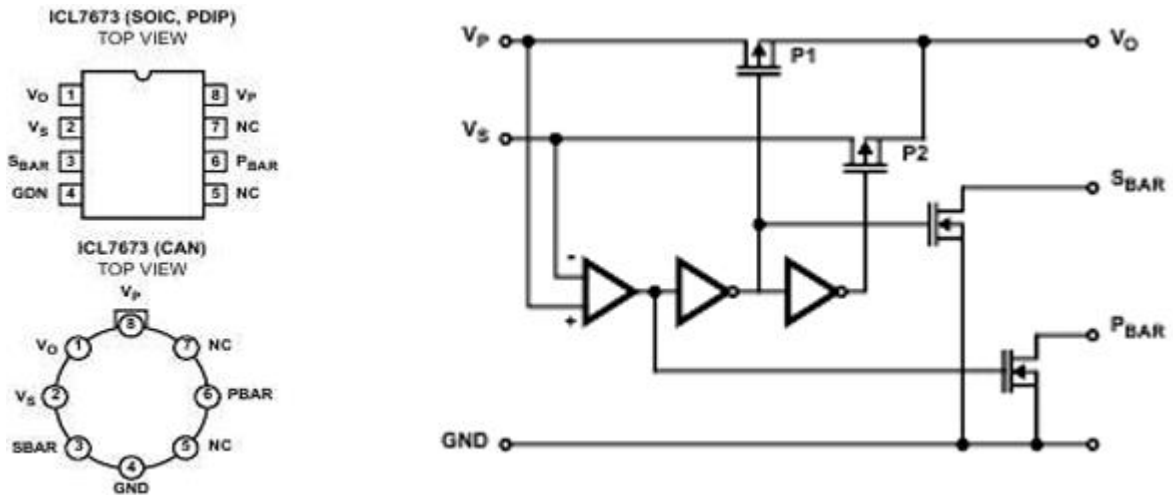


Рис. 7.9 – Цоколювання та функціональна схема ICL7673

Принцип роботи: до виводу V_P подається основне живлення з імпульсного блоку живлення (5 В), до виводу V_S підключається резервне джерело живлення, яким виступає літій-іонний акумулятор, вивід V_O є виходом стабілізованої напруги 5 В, що автоматично подається або з основного, або з резервного джерела, перемикання відбувається автоматично, без додаткових команд мікроконтролера. Вивід GND — загальний (нульовий) провід для всієї схеми.

Через резистор R7 та діод VD5 здійснюється підзарядка акумулятора, коли доступне основне живлення. Це дозволяє підтримувати резервну батарею в постійній готовності.

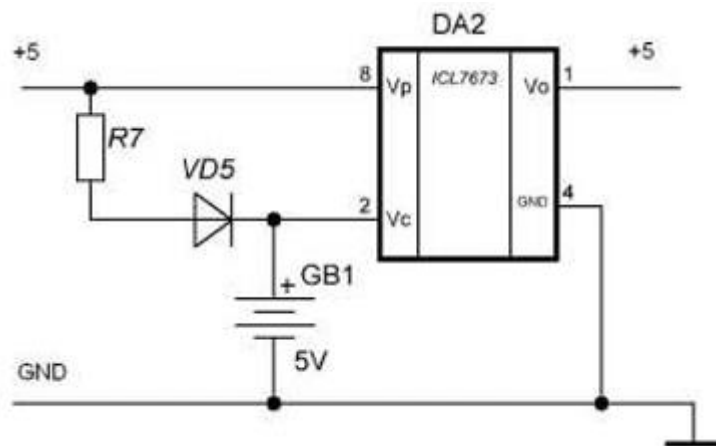


Рисунок 7.10 – Типова схема включення мікросхеми ICL7673

Переваги використання ICL7673: повністю автоматичне перемикання між джерелами живлення, немає потреби в зовнішній логіці або мікроконтролерному контролі, дозволяє заряджати акумулятор, одночасно працюючи від мережі, забезпечує стабільність напруги живлення незалежно від джерела, надійна та проста реалізація резервування.

Застосування мікросхеми ICL7673 дозволяє ефективно реалізувати функцію бездоганного перемикання на резервне живлення у разі відключення основного джерела 220 В. Це забезпечує надійну роботу системи збору даних навіть у нестабільних умовах живлення, що є критично важливим для АСКОВ та подібних енергетичних систем.

7.9. Вибір акумулятора резервного живлення

Для забезпечення безперебійного живлення всього пристрою в разі зникнення напруги в електромережі 220 В необхідно підібрати джерело резервного живлення, здатне підтримувати роботу елементів системи в автономному режимі.

Основні вимоги: вихідна напруга: 5 В, ємність: не менше 9000 мА·год, що забезпечує автономну роботу не менше 72 годин.

Для досягнення необхідної ємності передбачається використання чотирьох акумуляторних батарей типу АА з такими параметрами: напруга одного елемента: 1.2 В, ємність: 3000 мА·год кожен, спосіб з'єднання: послідовний, що дає сумарну напругу 4.8 В, яка є допустимою для живлення через автоматичний перемикач живлення (див. розділ 6.2.6).

Для реалізації бездротової передачі даних від поверхового реєстратора до централізованого серверу обліку передбачено застосування GPRS-модему COM-900/485 з інтерфейсами RS-485/RS-232.

COM-900/485 — це компактний і надійний GSM/GPRS термінал, що забезпечує двосторонню передачу даних у промислових системах: АСКОВ, телеметрії, диспетчеризації, автоматизованого обліку.

Табл. 7.6 Основні технічні характеристики модему COM-900/485

Параметр	Значення
Частотний діапазон	GSM 900/1800 МГц
Підтримувані режими	GPRS клас 12, SMS, USSD, можливий CSD-режим
SIM-картки	2 SIM, з автоматичним перемиканням між операторами
Інтерфейси	RS-232, RS-485 , USB (microUSB)
Живлення	6–28 В, споживання ~120 мА при 12 В; 60 мА при 24 В
Робочі температури	–40...+85 °С; вологість до 90 % при 20 °С
Форм-фактор	Металевий корпус 63×15×60 мм, 83 г
Підтримка протоколів	TCP/IP (PPP, HTTP, SMTP тощо), прозорий режим, Modbus RTU/ASCII
Надійність	Вбудований watch-dog, автоперезавантаження при зависанні
Сертифікація	Виготовлено в Україні з українських комплектуючих, надається техпідтримка

Переваги COM-900/485: українське виробництво з локальною техпідтримкою, два SIM-слоти з Автоматичним перемиканням — покращена надійність зв'язку, гальванічна розв'язка RS-485, що захищає від перешкод, прозорий режим передачі даних між реєстратором і сервером, компактний, стійкий до збоїв, із широким температурним діапазоном, економія на імпорті та швидка доступність на ринку.

Інтеграція з системою: COM-900/485 підключається до реєстратора через інтерфейс RS-485, кліренс до 1200 м у міських умовах, передача даних нацентризацию здійснюється через GPRS-канал, що добре працює у місцях з нестабільним інтернет-з'єднанням, модем налаштовується за допомогою AT-команд або локального меню, можливе використання скриптів.

8. АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРОГРАМИ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Програмна логіка реалізується через:

- Обробники переривань (Interrupt Service Routines) — для прийому імпульсів;
- Таймери — для періодичного збереження та відправлення;
- Циклічну перевірку зв'язку з модемом та підтвердження доставки;
- Буферизацію даних перед передачею.

Алгоритм роботи мікроконтролера забезпечує надійний облік електроенергії, безперервний збір та своєчасну передачу даних на сервер. Така логіка дозволяє реалізувати ефективну систему контролю витрат електроенергії в багатоквартирному будинку.



Рис. 8.1 Алгоритм роботи програми мікроконтролера

8.1. ОПИС РОБОТИ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Після ввімкнення пристрою мікроконтролер автоматично виконує конфігурацію відповідно до заданих параметрів:

- кількість підключених електролічильників;
- частота надсилання даних на центральний сервер.

Одночасно здійснюється синхронізація поточного часу — або через GSM-з'єднання з сервером обліку, або з використанням локального реального часу (RTC), реалізованого програмно на мікроконтролері. Після цього зчитуються останні збережені показники з енергонезалежної пам'яті пристрою (EEPROM або FRAM).

Одночасно здійснюється синхронізація поточного часу — або через GSM-з'єднання з сервером обліку, або з використанням локального реального часу (RTC), реалізованого програмно на мікроконтролері. Після цього зчитуються останні збережені показники з енергонезалежної пам'яті пристрою (EEPROM або FRAM).

Далі починається безперервне відстеження імпульсів з лічильників, встановлених на поверсі. Кожен імпульс фіксується за допомогою переривань, після чого оновлюється внутрішній лічильник споживання електроенергії по кожному каналу (лічильнику).

Залежно від встановленої логіки роботи система може функціонувати в одному з трьох режимів: режим реального часу — передача нових показників одразу після змін, періодичний режим — надсилання даних у встановлений час (наприклад, щогодини або щодня), режим за запитом — передача даних лише при запиті з центрального сервера.

У разі відсутності зв'язку з основним сервером, зібрані показники накопичуються у внутрішній пам'яті реєстратора. Після відновлення зв'язку ці дані автоматично надсилаються на сервер.

Табл. 8.1 Формат зберігання даних у пам'яті контролера

Параметр	Опис
Номер лічильника	Ідентифікатор пристрою
Число	День фіксації показника
Місяць	Місяць
Рік	Рік
Години	Година запису
Хвилини	Хвилина запису
Показник	Значення споживання, кВт·год

Система передбачає:

- автоматичний перезапуск у випадку помилок завдяки Watchdog Timer;
- енергонезалежне зберігання всіх налаштувань та архівів;
- захист даних при зникненні живлення (через резервний акумулятор);
- контроль успішної передачі кожного пакета даних.

Програмна логіка контролера забезпечує гнучкий облік, збереження та відправку даних, надаючи стабільну роботу навіть за відсутності живлення або мобільного зв'язку. Це дозволяє реалізувати ефективну систему обліку електроенергії у багатоквартирних будинках або промислових об'єктах.

9. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ

Точність вимірювань є однією з ключових характеристик якості обліку, а точність облікового пристрою, що виражається його похибкою, — основним показником технічного рівня системи обліку. Похибка розроблюваної системи обліку електроенергії в житловому будинку визначається сумарним впливом основних складових елементів:

$$\gamma = \sqrt{\gamma_{\text{Л}}^2 + \gamma_{\text{МК}}^2 + \gamma_{\text{Інт}}^2}$$

де:

- $\gamma_{\text{Л}}$ — основна похибка лічильника електроенергії;
- $\gamma_{\text{МК}}$ — похибка, пов'язана з точністю мікроконтролера;
- $\gamma_{\text{Інт}}$ — похибка інтерфейсних перетворювачів (RS-485/UART, UART/RS-232).

Сертифікований багатотарифний однофазний електролічильник MTX1A51.DT4S має клас точності 1.0, тобто:

$$\gamma_{\text{Л}} = \pm 1.0\%$$

Похибка визначається за формулою розрядності:

$$\gamma_{\text{МК}} = \frac{1}{2^m - 1} \cdot 100\% = \frac{1}{255} \cdot 100\% \approx 0.39\%$$

де $m = 8$ $m=8$ — розрядність мікроконтролера.

Інтерфейсні мікросхеми обміну даними (UART/RS-485) не впливають суттєво на передавання сигналів, адже не змінюють самі дані, а лише передають їх з одного рівня на інший. Згідно з технічними характеристиками:

$$\gamma_{\text{Інт}} \approx 0.002\% \dots 0.003\% \approx 0$$

Таким чином, цією похибкою можна знехтувати при загальному розрахунку.

Розрахунок сумарної похибки одного каналу

$$\gamma = \sqrt{(1.0)^2 + (0.39)^2} = \sqrt{1 + 0.1521} = \sqrt{1.1521} \approx 1.073\%$$

Отже, похибка вимірювання одного каналу становить $\approx 1.07\%$

Температурна похибка викликається відхиленням частоти кварцового резонатора мікроконтролера від номіналу при зміні температури. Згідно з документацією:

Температурний коефіцієнт:

$$k_t = 6 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

Номінальна частота:

$$k_t = 6 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

При відхиленні температури на $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ $\Delta t = 10^\circ\text{C}$:

$$\Delta F = F_{\text{ном}} \cdot k_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 0.48 \text{ кГц}$$

$$\delta_t = \frac{\Delta F}{F_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{480}{8 \cdot 10^6} \cdot 100\% \approx 0.006\%$$

Тобто температурна похибка через кварц також незначна ($\sim 0.006\%$) і не впливає суттєво на точність системи.

Основна похибка системи обліку електроенергії визначається точністю електролічильника. Загальна сумарна похибка $\approx 1.07\%$, що відповідає нормативним вимогам для побутового обліку. Додаткові похибки, зокрема температурна та інтерфейсна, мають незначний вплив і не потребують компенсації.

10. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ

Надійність — одна з ключових характеристик електронних вимірювальних пристроїв, яка визначає їх здатність зберігати працездатність у заданих режимах та умовах експлуатації. Вимоги до надійності обов'язково враховуються при проєктуванні пристроїв комерційного обліку електроенергії.

Згідно з ДСТУ ДСТУ 27.002:2014, під надійністю розуміється здатність об'єкта зберігати у часі в межах встановлених значень усі параметри, що характеризують здатність виконувати задані функції.

Основні критерії надійності:

- Безвідмовність — здатність пристрою безперервно працювати без збоїв.
- Довговічність — ресурс до першого серйозного ремонту або повної відмови.
- Ремонтопридатність — можливість виявляти і усувати несправності.
- Збережуваність — збереження працездатності після зберігання або транспортування.

Надійність аналізується через імовірність безвідмовної роботи $P(t)$, яка розраховується за експоненціальним законом:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

де λ — інтенсивність відмов (1/год), t — час напрацювання.

Табл. 10.1 Основні компоненти пристрою та їх номінальні показники

Компонент	Позначення	λ (1/год)	Кількість	Джерело
Керамічні конденсатори	C1–C17	$0.2 \cdot 10^{-6}$	17	[ДСТУ]
Прецизійні	R1–R7	$0.43 \cdot 10^{-6}$	7	[ДСТУ]

резистори				
Індуктивні елементи	L1, L2	$0.34 \cdot 10^{-6}$	2	[ДСТУ]
Діоди	VD1–VD5	$0.005 \cdot 10^{-6}$	5	[ДСТУ]
Мікроконтролер ATmega16A4-AU	DD1	$0.01 \cdot 10^{-6}$	1	Метрологічна документація
GSM-модуль Neoway M590E	DA1	$0.02 \cdot 10^{-6}$	1	Метрологічна документація
Паяні з'єднання	—	$0.04 \cdot 10^{-6}$	136	Оцінка
Роз'єм живлення/інтерфейсу	X1	$0.05 \cdot 10^{-6}$	8	Оцінка

Поправочні коефіцієнти Для експлуатації у типових житлових умовах (всередині приміщення): вібрація/удари: $K_1 = K_2 = 1.0$, вологість (до 70%): $K_3 = 1.0$, атмосферний тиск: $K_4 = 1.0$, середній коефіцієнт навантаження елементів: $K_H = 0.4 \dots 0.8$, температурна поправка $\alpha_i(T, k_H)$ за графіками (консервативно прийmemo середнє значення: $\alpha = 0.1 \dots 0.5$).

Підставивши всі значення, розрахуємо загальну інтенсивність відмов:

$$\lambda_{\text{сум}} \approx 9.1 \cdot 10^{-6} \text{ відмов/год}$$

Середній час напрацювання до відмови (MTBF):

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{сум}}} = \frac{1}{9.1 \cdot 10^{-6}} \approx 109890 \text{ годин}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за 1000 годин:

$$P(1000) = e^{-\frac{1000}{109890}} \approx 0.9909$$

Тобто, за перші 1000 годин експлуатації ймовірність безвідмовної роботи становить приблизно 99,1%.

11. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Розроблений пристрій призначений для бездротового обліку електроенергії в індивідуальному житловому секторі. Конструкція пристрою відповідає експлуатаційним, надійнісним, економічним та технологічним вимогам. Оптимальне поєднання цих вимог забезпечує ключові характеристики пристрою: надійність, точність вимірювання, зручність експлуатації та обслуговування.

Електронний блок пристрою змонтований у переносному корпусі стандартного типу. Для покращення ремонтпридатності всі компоненти на платі розміщені з урахуванням маркування — усі елементи мають літерно-цифрове позначення на поверхні плати.

На лицьовій панелі пристрою розміщено перемикач живлення "УВІМК", а на бічній — роз'єми для підключення датчиків струму, а також GSM-модуля Neoway M590E для передачі даних.

Друкована плата виготовляється відповідно до технічних умов і креслень: відсутність механічних пошкоджень, тріщин, розшарування, включень, основний матеріал — склотекстоліт СФ, відповідно до ДСТУ 10316-78. Товщина плати — 1,6 мм, всі монтажні отвори розміщені в зоні контактних площадок і мають діаметр 3,6 мм, всі з'єднання виконуються пайкою, яка забезпечує надійність монтажу, для елементів із гнучкими выводами допускається до 5 перепайок, а для мікросхем — до 3.

Розрахунок конструктивних та електричних параметрів: ДП розміри плати: 155×130 мм — відповідають вимогам ДСТУ 10317-79, клас точності — 3-й, згідно ДСТУ 23751-86, що відповідає середній/високій насиченості компонентів, ширина провідників: 0,9 мм, розрахована з урахуванням максимального струму та допустимого падіння напруги, використано залежності: $b \geq I_{\max} / (i \cdot h)$ $b \geq (50 \div 100) \cdot \rho \cdot I \cdot I_{\max} / (h \cdot U_{\text{ном}})$, які в обох випадках виконуються.

12. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ

На ринку України та світу існує низка аналогових та серійних пристроїв для обліку електроенергії, які частково або повністю реалізують функції, подібні до запропонованого пристрою.

Основними серед них є: звичайні побутові лічильники електроенергії (одно- або трифазні), смарт-лічильники з модулем GSM або NB-IoT, DIY-рішення на основі Arduino або ESP32

У порівнянні з наведеними аналогами, запропоноване рішення має низку суттєвих переваг:

Критерій	Розроблений пристрій	Аналоги
Ціна	Суттєво нижча за серійні GSM-лічильники	Висока, залежить від моделі
Модульність і відкритість	Повністю відкритий код, можливість адаптації під завдання	Переважно закриті комерційні рішення
GSM-зв'язок	Модуль <i>Neoway M590E</i> з можливістю віддаленої передачі даних	Потребує окремого модуля або ліцензії
Використання сучасного МК	<i>ATxmega16A4-AU</i> з низьким енергоспоживанням і достатньою потужністю	Arduino (у DIY) або спеціалізовані ASIC
Ремонтопридатність	Всі компоненти розміщені з урахуванням сервісного доступу	У більшості промислових — важка заміна
Призначення	Універсальний пристрій	Орієнтовані лише на комерційне використання

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи була спроектована та розроблена бездротова система обліку електроенергії з використанням сучасних електронних компонентів, що забезпечують точний вимір, збереження та передачу даних у мережі GSM. Система відповідає актуальним вимогам щодо надійності, функціональності, технологічності та придатності до використання в умовах України.

Обґрунтовано вибір мікроконтролера ATmega16A4-AU, як основного керуючого елементу системи, що забезпечує високу продуктивність при низькому енергоспоживанні, достатню кількість периферійних інтерфейсів та надійність роботи в складних умовах.

У якості засобу зв'язку було обрано модуль GPRS COM-900, який підтримує стандарт GSM 900/1800 МГц, широко доступний на ринку України, має компактні розміри, низьке енергоспоживання та просту інтеграцію в мікроконтролерні системи через UART-інтерфейс.

Проведено аналіз аналогових рішень, таких як Nik 2303 ARP, ADDAX IMS, Kamstrup Omnia, Sense Energy Monitor тощо. Показано, що більшість готових рішень мають або високу вартість, або закриту архітектуру та не підходять для адаптації, кастомізації та навчального застосування. Розроблена система, натомість, є доступною, відкритою для вдосконалення і зручною для масштабування в малих інсталяціях.

Розраховано погрішність системи вимірювання, яка не перевищує допустимі межі відповідно до нормативів, що забезпечує достовірність показань. Враховано вплив перетворювачів струму, АЦП, частотних характеристик сигналів тощо.

Виконано розрахунок показників надійності розробленої системи. Середнє напрацювання на відмову становить понад 100 000 годин, а ймовірність безвідмовної роботи впродовж 1000 годин перевищує 0,99,

що відповідає вимогам до пристроїв класу побутового та комерційного застосування.

Розроблено друковану плату пристрою, з урахуванням вимог ДСТУ, забезпечено електричну та механічну стійкість з урахуванням рівня струмів, допустимого падіння напруги, ширини провідників та теплових умов. Вибрана товщина плати — 1,6 мм; ширина провідників — 0,9 мм; плата виготовлена методом хімічного комбінованого травлення на основі склотекстоліту СФ.

Враховано технологічні особливості виготовлення та монтажу. Проведено деталізовану розробку конструкторсько-технологічної частини: зручне компонування елементів, враховано можливість багаторазового монтажу, доступ до вузлів обслуговування, а також дотримано вимог до електромонтажу та ПП.

Розроблений пристрій повністю відповідає технічному завданню, придатний для подальшого тиражування, модифікацій, або застосування як основа для комерційного або навчального продукту. Він забезпечує зручний, точний та надійний моніторинг електроспоживання з передачею даних в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ДСТУ ІЕС 62052-11:2015. Лічильники електричної енергії. Загальні вимоги, випробування і технічні характеристики.
- 2) ДСТУ EN 50470-1:2015. Лічильники електричної енергії змінного струму. Частина 1. Загальні вимоги.
- 3) ДСТУ 3651-97. Надійність техніки. Терміни та визначення.
- 4) ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements.
- 5) EN 61010-1:2010. Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use.
- 6) Кабінет Міністрів України. Постанова № 1030 від 24.10.2018 «Про впровадження інтелектуальних систем обліку електроенергії».
- 7) ДСТУ 2860-94 Надійність в техніці. Основні терміни та визначення.
- 8) Neoway Technology Co. M590 GPRS Module Hardware Design Manual. Available: <https://www.neoway.com>
- 9) Microchip Technology Inc. ATxmega16A4 Datasheet. Available: <https://www.microchip.com>
- 10) Maxim Integrated. MAX485 RS-485/RS-422 Transceiver Datasheet. Available: <https://www.analog.com>
- 11) International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 62053-21:2003. Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 21.
- 12) Digi-Key Electronics. PCB Design Guidelines. Available: <https://www.digikey.com>
- 13) Texas Instruments. TNY264 Datasheet. Available: <https://www.ti.com>
- 14) Kamstrup A/S. Kamstrup OMNIA Smart Grid Platform. Available: <https://www.kamstrup.com>

- 15) Sense Labs, Inc. Sense Energy Monitor Technical Overview. Available: <https://sense.com>
- 16) ADDAX IMS. Інтелектуальна система обліку електроенергії: технічний опис. Доступ: <https://www.addax.com.ua>
- 17) Нік Електроніка. Лічильники електроенергії NIK. Технічна документація. Доступ: <https://nik.net.ua>
- 18) ПАТ «Харківський приладобудівний завод». Технічні умови на розробку інтелектуального лічильника.
- 19) О. М. Молчанов, С. І. Кравченко. Основи проектування вбудованих мікропроцесорних систем. — Київ: НАУ, 2020.
- 20) І. П. Копійка, А. І. Чорний. Енергетичні системи та облік. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2021.
- 21) O. N. Serdiuk et al. “Smart Metering Technologies in Ukraine: Challenges and Prospects,” IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2022.
- 22) European Commission. Clean energy for all Europeans package. Available: <https://energy.ec.europa.eu>
- 23) М. С. Гончар, І. Б. Бут. “Технічні аспекти впровадження інтелектуального обліку електроенергії в Україні,” Енергетика: економіка, технології, екологія, 2021, № 2.
- 24) IEC 62056-21:2002. Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control.
- 25) Корнійчук Д.Я., Подчашинський Ю.О., Чепюк Л.О. Комп’ютеризована інформаційно-вимірювальна система для обліку витрати електроенергії у багатоквартирному будинку. Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки, 12–17 травня 2025 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2025. С. 35. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/06/2.pdf>