

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: **РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ
ВОЛЬТАМПЕРФАЗОМІРУ МІРА-А**

Виконав: студент III курсу, групи ЗКСМс
спеціальності

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Годунок М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дроздова Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Карамушка М.В.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький - 2026 р.

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет, відділення	інформаційних технологій та дизайну
Кафедра, циклова комісія	комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-кваліфікаційний рівень	бакалавр
Спеціальність	123 «Комп'ютерна інженерія» (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Анжела ГРИГОРОВА
« 09 » лютого 2026 р.З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Годунку Максиму Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту(роботи) Розробка комп'ютерної системи діагностики
вольтамперфазоміру МІРА-Акерівник проєкту (роботи) Дроздова Євгенія Анатоліївна, старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « » 2026 року № -с

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Методичні рекомендації до виконання,
оформлення та захисту кваліфікаційної роботи бакалавра, стандарти,
література, технічна документація на вольтамперфазомір МІРА-А4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Огляд стану питання та постановка завдання на кваліфікаційну роботу
обґрунтування вибору мікроконтролеру; розробка програми-драйверу; шифрування
інформації методом RSA; проєктування комп'ютерної мережі; моделювання
роботи сервера5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Пристрій діагностики. Електрична принципіальна схема;
Пристрій діагностики. Плата печатна; Програма-драйвер пристрою. Алгоритм;
Схема комп'ютерної мережі. Схема IP адресації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 09 лютого 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення стану питання	19.02.2026	виконано
2	Підбір матеріалу по тематиці роботи	26.02.2026	виконано
3	Розробка пристрою діагностики	11.05.2026	виконано
4	Розробка програмного забезпечення	18.05.2026	виконано
5	Розробка комп'ютерної мережі	23.05.2026	виконано
6	Розробка програми моделювання роботи сервера	29.05.2026	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки та креслень	09.06.2026	виконано

Студент

_____ (підпис)

Годунок М.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дроздова Є.А.

_____ (прізвище та ініціали)

ВІДОМІСТЬ ОБСЯГУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кіл-сть	Шифр док-та	Примітки
1	A4	123.23019	Реферат	1	РФ	
2	A4	123.23019	Пояснювальна записка		ПЗ	
3	A2	123.23019	Пристрій діагностики. Схема електрична принципальна	1	ЕЗ	
4	A1	123.23019	Пристрій діагностики. Плата печатна	1	ПП	
5	A1	123.23019	Програма-драйвер пристрою. Алгоритм	1	АГ	
6	A1	123.23019	Комп'ютерна мережа. Структурна схема	1	Е7	
7	A1	123.23019	Схема ІР адресації	1	ГЧ	

					ХНТУ 123.23019.ВП							
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Годунок М.В.			ВІДОМІСТЬ ОБСЯГУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ				Лім.	Лист	Листів	
Перевір.		Дроздова Є.А.										
Реценз.												
Н. Контр.		Дроздова Є.А.							ЗКСМс			
Затверд.		Григорова А.А.										

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить: 110 сторінок, 34 ілюстрації, 25 таблиць, 25 джерел в переліку посилань, 3 додатки.

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система діагностики мікропроцесорного вольтамперфазоміру МІРА-А.

Мета роботи – розробити комп'ютерну систему діагностики вольтамперфазоміру з вбудованим реєстратором аналогових сигналів МІРА-А, в складі якої спроектувати пристрій діагностики та його інтерфейсний зв'язок з комп'ютерною мережею, розробити програми формування пакета даних для мікроконтролера та шифрування отриманої інформації методом RSA, спроектувати комп'ютерну мережу та промодельовати роботу серверу.

Комп'ютерна система, розроблена у даній кваліфікаційній роботі бакалавра, може бути використана на виробництві та в сервісних центрах для перевірки працездатності пристроїв такого типу.

ВОЛЬТАМПЕРФАЗОМІР МІРА-А, ДІАГНОСТИКА, ІНТЕРФЕЙСНИЙ ЗВ'ЯЗОК, МІКРОСХЕМА, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, МІКРОКОНТРОЛЕР, КАБЕЛЬНА СХЕМА, ПРОГРАМА-ДРАЙВЕР, ШИФРУВАННЯ RSA, КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, ІР АДРЕСА, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

					ХНТУ 123. 23019.РФ						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Годунок М.В.			РЕФЕРАТ				Літ.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.									
Реценз.									КСМс		
Н. Контр.		Дроздова Є.А.									
Затверд.		Григорова А.А.									

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система діагностики мікропроцесорного вольтамперфазоміру МІРА-А.

Мета роботи – розробити комп'ютерну систему діагностики вольтамперфазоміру з вбудованим реєстратором аналогових сигналів МІРА-А, в складі якої спроектувати пристрій діагностики та його інтерфейсний зв'язок з комп'ютерною мережею, розробити програми формування пакета даних для мікроконтролера та шифрування отриманої інформації методом RSA, спроектувати комп'ютерну мережу та промодельовати роботу серверу.

Комп'ютерна система, розроблена у даній кваліфікаційній роботі бакалавра, може бути використана на виробництві та в сервісних центрах для перевірки працездатності пристроїв такого типу.

d diagnostic system for the microprocessor-based volt–ampere–phase meter MIRA-A.
is to develop a computer diagnostic system for the MIRA-A volt–ampere–phase meter

The computer system developed in this bachelor's qualification thesis can be

					ХНТУ 123. 23019 ПЗ						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Годунок М.В.			ABSTRACT				Літ.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.									
Реценз.									КСМс		
Н. Контр.		Дроздова Є.А.									
Затверд.		Григорова А.А.									

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	12
1.1 Вольтамперфазомір з вбудованим реєстратором аналогових сигналів	
МІРА-А	12
1.1.1 Будова та принцип роботи	13
1.1.2 Технічні характеристики.....	16
1.2 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу	38
1.3 Опис вхідного потоку даних і вимог до нього	39
2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТИКИ	41
2.1 Мікроконтролери як основа вбудованих систем.....	41
2.1.1 Архітектура мікроконтролерів AVR	44
2.1.2 Обґрунтування вибору мікроконтролеру.....	51
2.1.3 Розробка схеми пристрою	55
2.2 Розробка печатної плати.....	57
2.2.1 Обґрунтування вибору САПР	57
2.2.2 Компоновка елементів проєктованого пристрою	58
2.3 Розробка програмного забезпечення мікроконтролеру	59
2.3.1 Розробка програми формування пакета даних для мікроконтролеру	59
2.3.2 Розробка програми-драйверу	60
2.3.2.1 Інтерфейс USB у системі зв'язку пристрою діагностики з персональним комп'ютером.....	60
2.3.3 Шифрування інформації методом RSA.....	64
2.3.4 Опис програми-драйверу	66
3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	70

					ХНТУ 123. 23019 ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб..		Годунок М.В.			ЗМІСТ	Лім.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.						
Реценз.								
Н. Контр.		Дроздова Є.А.				КСМс		
Затверд.		Григорова А.А.						

3.1	Вибір вхідних даних	70
3.1.1	Конфігурація проєктованої КМ	70
3.1.2	Технічні параметри КМ	71
3.1.3	Адресація мереж та вузлів	73
3.2	Технічні параметри КМ	74
3.2.1	Порівняльна характеристика мереж Ethernet та Token Ring	74
3.2.2	Обґрунтування будови ЛКМ	77
3.2.3	Перелік необхідного обладнання та матеріалів	79
3.2.4	Просторові показники сигналу в ЛКМ	81
3.2.5	Час затримки сигналу в ЛКМ	82
3.3	Адресація мереж вузлів	84
3.3.1	Підрахунок кількості адрес для адресації IP-вузлів	84
3.3.2	Схема IP - адресації мереж та вузлів	84
3.3.3	ARP-таблиця перетворення адрес	85
3.3.4	IP-таблиці маршрутів	87
3.3.5	Алгоритм маршрутизації пакету	88
4	МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СЕРВЕРУ	91
4.1	Імітаційне моделювання систем масового обслуговування	91
4.2	Розробка програми моделювання	93
	ВИСНОВКИ	96
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	98
	ДОДАТОК А	101
	ДОДАТОК Б	104
	ДОДАТОК В.....	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

IP	–	Internet Protocol address (адреса інтернет протоколу)
LAN	–	Local Area Network (локальна комп'ютерна мережа)
TCP	–	Transmission Control Protocol (протокол керування передачею)
АЛП	–	арифметико-логічний пристрій
ВІС	–	велика інтегральна схема
ЛКМ	–	локальна комп'ютерна мережа
МК	–	мікроконтролер
НВІС	–	надвелика інтегральна схема
ОС	–	операційна система
ПЗ	–	програмне забезпечення
ПК	–	персональний комп'ютер
ПП	–	печатна плата
РЗП	–	реєстри загального призначення
ЦПП	–	центральний процесорний пристрій

					ХНТУ 123. 23019 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Годунок М.В.				ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	Літ.	Лист	Листов
Перевір.	Дроздова Є.А.							
Реценз.						КСМс		
Н. Контр.	Дроздова Є.А.							
Затверд.	Григорова А.А.							

ВСТУП

Стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки, засобів вимірювання та комп'ютерних мереж зумовлює зростання вимог до точності, надійності та функціональної безпеки сучасних вимірювальних приладів. Особливе значення це має для електротехнічних і електроенергетичних систем, де коректність вимірювання електричних величин безпосередньо впливає на якість керування технологічними процесами, ефективність експлуатації обладнання та рівень технічної безпеки. У зв'язку з цим актуальною є задача створення ефективних комп'ютерних систем діагностики, здатних забезпечити оперативний контроль технічного стану вимірювальних пристроїв, своєчасне виявлення несправностей та аналіз параметрів їх роботи.

Вольтамперфазоміри є важливими засобами контролю параметрів електричних мереж, оскільки дозволяють одночасно вимірювати напругу, струм і фазові співвідношення між ними. Сучасні вольтамперфазоміри поєднують у собі функції вимірювання, обробки та збереження даних, що робить їх складними технічними системами. У процесі експлуатації таких приладів виникає необхідність регулярної перевірки їх працездатності, калібрування та діагностики як апаратної, так і програмної складових. Традиційні методи перевірки часто є трудомісткими, потребують спеціалізованого обладнання та не забезпечують можливості віддаленого контролю.

Актуальність даної кваліфікаційної роботи обумовлена потребою у створенні комп'ютерної системи діагностики, яка забезпечує автоматизований збір, передавання, обробку та захист вимірювальної інформації, а також інтеграцію діагностичного обладнання з комп'ютерною мережею. Використання вбудованого реєстратора аналогових сигналів у складі вольтамперфазоміру МІРА-А розширює функціональні можливості діагностики, дозволяючи аналізувати динамічні режими роботи пристрою та зберігати результати вимірювань для подальшої обробки..

					ХНТУ 123. 23019 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Годунок М.В.				ВСТУП			Лім.	Лист		Листов
Перевір.	Дроздова Є.А.										
Реценз.											
Н. Контр.	Дроздова Є.А.							ЗКСМс			
Затверд.	Григорова А.А.										

Особливу увагу в сучасних комп'ютерних системах приділяють питанням інформаційної безпеки. Передавання діагностичних даних комп'ютерними мережами вимагає застосування криптографічних методів захисту інформації. У цьому контексті доцільним є використання алгоритмів асиметричного шифрування, зокрема методу RSA, який забезпечує конфіденційність та цілісність даних під час обміну між мікроконтролером діагностичного пристрою та серверною частиною системи.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комп'ютерної системи діагностики вольтамперфазоміру МІРА-А з вбудованим реєстратором аналогових сигналів. Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно спроектувати пристрій діагностики та інтерфейс його взаємодії з комп'ютерною мережею, розробити програмне забезпечення формування пакетів даних для мікроконтролера, реалізувати шифрування отриманої інформації методом RSA, а також спроектувати комп'ютерну мережу та промодельовати роботу серверної частини системи.

Об'єктом дослідження є комп'ютерна система діагностики мікропроцесорного вольтамперфазоміру МІРА-А. Предметом дослідження є методи та засоби апаратно-програмної реалізації систем діагностики вимірювальних пристроїв, а також способи передавання та захисту діагностичних даних у комп'ютерних мережах.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої комп'ютерної системи на підприємствах-виробниках та у сервісних центрах для перевірки працездатності вольтамперфазомірів типу МІРА-А, а також для підвищення ефективності технічного обслуговування та ремонту вимірювального обладнання.

1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Вольтамперфазомір з вбудованим реєстратором аналогових сигналів МІРА-А

Вольтамперфазомір МІРА-А - мікропроцесорний пристрій для вимірювання параметрів електричних кіл з вбудованим цифровим реєстратором аналогових сигналів.

Вольтамперфазомір МІРА-А обладнаний трьома гальванічно ізольованими вимірювальними входами напруги, та трьома вимірювальними входами струму. Для вимірювання струму використовуються струмовимірювальні кліщі.

Живлення пристрою відбувається від вбудованого Li-ion акумулятора (АКБ). Для зарядки АКБ в комплекті поставляється блок живлення, який підключається через MicroUSB роз'єм. Цей роз'єм також використовується для підключення до персонального комп'ютера та зчитування записаних вбудованим реєстратором осцилограм.

Для відображення інформації та налаштування в МІРА-А передбачений символний OLED дисплей (4 рядка по 20 символів), та кнопки керування.

Вольтамперфазомір МІРА-А призначений для використання при проведенні налагоджувальних робіт в колах релейного захисту, вторинних колах вимірювальних трансформаторів струму та напруги, колах лічильників електроенергії та ін.

Пристрій МІРА-А забезпечує вимірювання наступних параметрів електричної мережі:

- напруги змінного струму (основна частота, 50Гц);
- напруги змінного струму (середньоквадратичне значення (RMS));
- напруги змінного струму (вищі гармоніки, 2÷23);
- сили змінного струму (основна частота, 50Гц);
- сили змінного струму (середньоквадратичне значення (RMS));
- сили змінного струму (вищі гармоніки, 2÷23);
- зсуву фаз між вимірювальними входами струму та напруги відносно

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

- заданого базового вимірювального каналу (задається в меню пристрою);
- частоти змінного струму (два канали вимірювання частоти на які можна назначити будь який з вимірювальних входів струму чи напруги)
- напруги постійного струму;

На основі виміряних значень струму, напруги та фазового зсуву МІРА-А забезпечує розрахунок та відображення наступних параметрів електричної мережі:

- величин розрахункових значень лінійних напруг змінного струму;
- величин прямої, зворотної та нульової послідовності напруги змінного струму;
- величин прямої, зворотної та нульової послідовності сили змінного струму;
- пофазних значень активної, реактивної та повної потужності і $\cos \varphi$;
- трифазних значень активної, реактивної та повної потужності і $\cos \varphi$;
- величин пофазних значень активного та реактивного опору;
- коефіцієнту гармонічних спотворень вимірювальних каналів, струмів (I_a, I_b, I_c) та напруг (U_a, U_b, U_c).

1.1.1 Будова та принцип роботи

Вольтамперфазомір серії МІРА-А виготовляється в пластиковому ударостійкому корпусі. Корпус складається з верхньої кришки, нижньої кришки та проміжної вставки. На верхній кришці розміщені кнопки управління та OLED дисплей. На проміжній вставці розміщені роз'єми для підключення вимірювальних проводів кіл напруги, струмовимірювальних кліщів та роз'єм Micro-USB для зарядки АКБ і підключення до ПК.

Зовнішній вигляд приладу з струмовимірювальними кліщами наведено на рис. 1.1.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд приладу з струмовимірювальними кліщами

Вольтамперфазомір МІРА-А є багатофункціональним вимірювальним приладом, робота якого базується на високопродуктивному мікроконтролері.

Пристрій містить три канали вимірювання напруги та три канали вимірювання струму. Канали вимірювання напруги складаються з резистивного подільника, сигнал з якого подається на 4-х каналний 16-ти розрядний аналогово-цифровий перетворювач (ADC2), який гальванічно ізольований від решти схеми приладу.

Канали вимірювання струму складаються з резистивного шунта, сигнал з якого подається на окремий 4-х каналний 16-ти розрядний аналогово-цифровий перетворювач (ADC1).

За допомогою цифрового інтерфейсу зв'язку сигнали з ADC1 та ADC2 передаються на мікроконтролер, який здійснює математичну обробку сигналів вимірювання та відображення результатів вимірювання з урахуванням калібрувальних коефіцієнтів на дисплеї.

Налаштування, та калібрувальні коефіцієнти, отримані в процесі регулювання приладу, зберігаються в енергонезалежній пам'яті (EEPROM).

Записані події та осцилограми зберігаються в енергонезалежній пам'яті (FLASH).

Для зберігання буферу даних для реєстратора сигналів використовується

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

оперативна пам'ять (SRAM).

Для відображення інформації пристрій містить символьний OLED дисплей (4 рядка по 20 символів).

Для навігації по меню та керування пристроєм передбачені кнопки керування, які обробляються мікроконтролером.

Живлення пристрою здійснюється від вбудованого Li-ion акумулятора (АКБ) напругою 3,7В. В якості зовнішнього джерела живлення для роботи пристрою та зарядки АКБ використовується блок живлення, або USB вихід персонального комп'ютера. Підключення зовнішнього блоку живлення чи ПК до пристрою здійснюється через MicroUSB роз'єм.

Живлення цифрової частини пристрою здійснюється від перетворювача напругою 3,3В. Живлення аналогової частини пристрою здійснюється від перетворювача напругою 5,0В. Структурна схема приладу приведена на рис. 1.2.

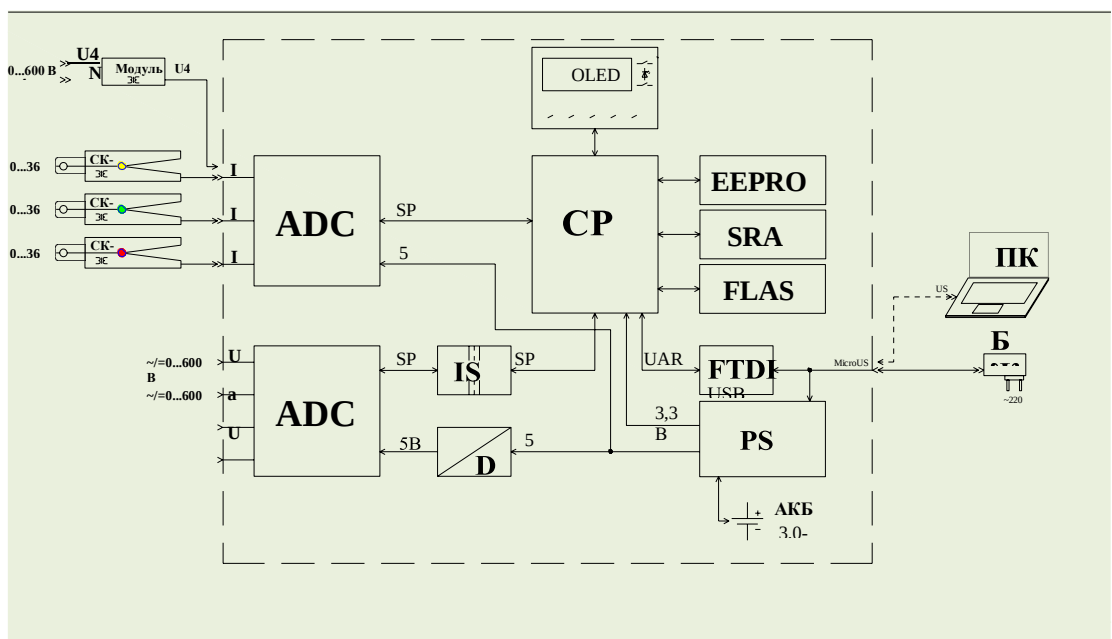


Рисунок 1.2 - Структурна схема приладу. Опис елементів структурної схеми приладу:

- ADC1 - аналогово-цифровий перетворювач каналів вимірювання струму;
- ADC2 - аналогово-цифровий перетворювач каналів вимірювання напруги;
- DC/DC - перетворювач напруги з гальванічною ізоляцією;
- ISO - ізолятор цифрових інтерфейсів;

- FTDI - перетворювач інтерфейсів;
- CSU - плата управління та індикації;
- CPU - центральний процесор;
- EEPROM - енергонезалежна пам'ять, для збереження налаштувань та коефіцієнтів калібрування;
- SRAM - оперативна пам'ять;
- FLASH - пам'ять для збереження записаних осцилограм;
- PSU - блок живлення та зарядки АКБ;
- СК-а(б,с) - струмовимірювальні кліщі змінного струму фази А(В,С) каналів струму;
- U4 - додатковий модуль вимірювання напруги;
- ПК - персональний комп'ютер;
- БЖ - блок живлення для зарядки АКБ.

1.1.2 Технічні характеристики

Загальні параметри пристрою та аксесуарів, що поставляються комплектно наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Загальні параметри пристрою, та аксесуарів

Живлення:	
Тип	Автономне, Li-ion АКБ
Зарядка АКБ	Зовнішній блок живлення, роз'єм Micro-USB
Типорозмір АКБ	18650
Ємність АКБ	3500 мА/год
Час безперервної роботи від АКБ, год	15
Максимальна потужність споживання пристрою	3 ВА
Габаритні розміри (Ш×Г×В):	
Вимірювального блоку	156×98×36 мм
Сумки для переноски	250×160×190 мм
Вага:	
Вимірювального блоку	0,3 кг
Вага з аксесуарами	2,5 кг
Номинальні умови навколишнього середовища:	
Температура навколишнього середовища	20 ±5°C

Відносна вологість повітря	від 30 до 80%
Атмосферний тиск	від 84 до 106 кПа
Робочі умови навколишнього середовища:	
Температура навколишнього середовища	від -20 до +55°C
Відносна вологість повітря	90% при 30 °C
Атмосферний тиск	від 70 до 106,7 кПа
Категорія розміщення	
Категорія розміщення	5
Висота над рівнем моря	2000 м
Умови експлуатації	
Середній повний термін служби	12 років
Струмовимірювальні кліщі змінного струму	
Габаритні розміри	137×40×19,5мм
Діаметр розкриття магнітопроводу	8 мм
Максимальна робоча напруга змінного струму	600 В

Основні параметри вимірювальних входів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Параметри вимірювальних входів пристрою

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ВХІД	ЗНАЧЕННЯ	
	Змінний струм	Постійний струм
Вимірювальні входи напруги		
Кількість	3+1 (опція, Модуль U4)	3
Позначення	Ua, Ub, Uc, U4	Ua, Ub, Uc
Діапазон вимірювання	0...600 В	0...600 В
Вхідний опір входу, не менше:		
Ua, Ub, Uc	1 МОм	
U4	200 кОм	
Перевантажувальна здатність:	1,2×Uмакс 2×Uмакс	
- тривало		
- 5секунд		
Вимірювальні входи струму		
Кількість	3	
Позначення	Ia, Ib, Ic	
Діапазон вимірювання	0...36 А	
Перевантажувальна здатність:	1,2×Iмакс 2×Iмакс	
- тривало		
- 5секунд		
Де, - Uмакс, Iмакс - максимальне значення діапазону вимірювання напруги та струму.		

Пристрій забезпечує вимірювання параметрів в номінальних умовах експлуатації (табл.1.1) в діапазонах і з основними похибками наведеними в табл.1.3.

Значення додаткової похибки вимірювання при зміні номінальних умов експлуатації, в межах робочих умов, наведено в табл.1.4.

Таблиця 1.3 - Діапазони та межі допустимих основних похибок вимірювання пристрою

Вимірювальний параметр	Діапазон	Роздільна здатність	Примітка
Напруга змінного струму	0,00...99,99 В	0,01 В	
	100,0...600,0 В	0,1 В	
Напруга постійного струму	0,00...99,99 В	0,01 В	
	100,0...600,0 В	0,1 В	
Сила змінного струму	0,002...9,999 А	0,001 А	
	10,00...36,00 А	0,01 А	
Частота напруги та сили змінного струму	5...90 Гц	0,001 Гц —	при $I > 100\text{мА}$, при $U > 2\text{В}$
			при $10\text{мА} < I < 100\text{мА}$, при $0,2\text{В} < U < 2\text{В}$
Фазовий зсув	$-180...0...+180^\circ$ ($0...360^\circ$)	1°	при $I > 50\text{мА}$, при $U > 1\text{В}$
			при $2\text{мА} < I < 50\text{мА}$, при $U < 1\text{В}$

Таблиця 1.4 - Додаткові похибки вимірювання

Параметр	Вимірювальний параметр	Додаткова похибка (δ _{дод})
Температура навколишнього середовища	Напруга змінного струму	$\pm 0,5 \times \delta_{\text{осн}}$, на кожні 10°C зміни від номінальної
	Сила змінного струму	$\pm 0,5 \times \delta_{\text{осн}}$, на кожні 10°C зміни від

Параметр	Вимірювальний параметр	Додаткова похибка (δдод)
		номінальної
Зміщення вимірюваного струмопроводу відносно центру вікна струмовимірювальних кліщів	Сила змінного струму	$\pm 0,2 \times \delta_{осн}$, в крайніх межах, відносно центру вікна струмовимірювальних кліщів
Де: - $\delta_{осн}$ - основна похибка вимірювання, наведена в Таблиці 1.3.		

Похибка результатів вимірювання в робочих умовах застосування ($\delta_{роб}$) визначається як сума основної похибки приладу ($\delta_{осн}$) і додаткової похибки ($\delta_{дод}$), викликаной відхилення від номінальних умов експлуатації, за формулою:

$$\delta_{роб} = \delta_{осн} + \delta_{дод}$$

На основі виміряних значень струму, напруги та фазового зсуву пристрій забезпечує розрахунок та відображення параметрів електричної мережі, наведених в табл.1.5.

Таблиця 1.5 - Розрахункові параметри

Параметр	Позначення в меню	Діапазон відображення
Лінійні напруги		
значення лінійних напруг змінного струму	Uab, Ubc, Uca	0...600V
Симетричні складові		
величини прямої, зворотної та нульової послідовності напруги змінного струму	U1, U2, Uo	0...600V
величини прямої, зворотної та нульової послідовності сили змінного струму	I1, I2, Io	0...36A
Потужність		
пофазних значень активної потужності	Pa, Pb, Pc	0... 21600 Вт
пофазних значень реактивної потужності	Qa, Qb, Qc	0... 21600 Вар
пофазних значень повної потужності	Sa, Sb, Sc	0... 21600 ВА
пофазних значень коефіцієнта активної потужності	Cos ϕ_a , Cos ϕ_b , Cos ϕ_c	0... 1
трифазного значення активної потужності	P	0... 21600 Вт
трифазного значення реактивної потужності	Q	0... 21600 Вар

Параметр	Позначення в меню	Діапазон відображення
трифазного значення повної потужності	S	0... 21600 ВА
трифазного значення коефіцієнта активної потужності	Cos φ	0... 1
Опір		
пофазних значень активного опору	Ra, Rb, Rc	0... 99999 Ом
пофазних значень реактивного опору	Xa, Xb, Xc	0... 99999 Ом
Вищі гармоніки		
сила змінного струму (вищі гармоніки, 2÷23)	Ia, Ib, Ic	0... 999 %
напруга змінного струму (вищі гармоніки, 2÷23)	Ua, Ub, Uc	0... 999 %
Коефіцієнт гармонічних спотворень		
сила змінного струму	Ia, Ib, Ic	0... 999 %
напруга змінного струму	Ua, Ub, Uc	0... 999 %

Опціонально пристрій може комплектуватися додатковим блоком вимірювання змінної напруги - Модуль U4.

Модуль U4 складається з блоку понижуючого трансформатора, до якого приєднані вимірювальні проводи, та провід з роз'ємом для підключення до пристрою МІРА-А.

Кола вимірювання, та кола підключення Модуля U4 до пристрою МІРА-А гальванічно ізольовані. Підключення Модуля U4 до пристрою виконується в роз'єм для підключення струмовимірювальних кліщів фази А.

Модуль U4 призначений для використання лише з пристроєм, з яким він поставляється комплектно. При використанні Модуля U4 від іншого пристрою погіршується точність вимірювання.

Серійний номер Модуля U4 відображається в меню «ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРИСТРІЙ». Зовнішній вигляд додаткового блоку вимірювання напруги Модуль U4 наведено на рис. 1.3.

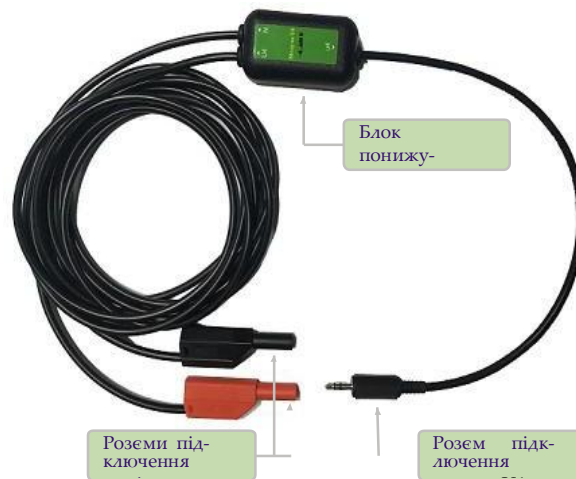


Рисунок 1.3 - Додатковий блок вимірювання змінної напруги - Модуль U4
Позначення органів управління, індикації та роз'ємів для підключення зовнішніх зв'язків пристрою приведено на рис. 1.4.

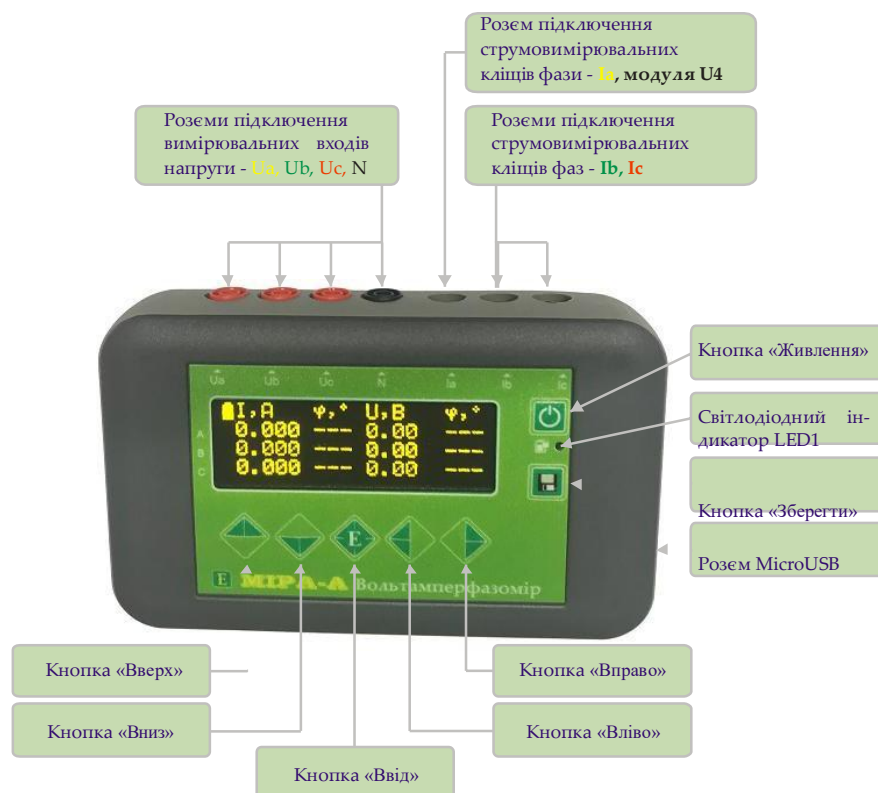


Рисунок 1.4 - Органи управління, індикації та роз'єми для підключення зовнішніх зв'язків

Функціональне призначення кнопок керування наведено в табл.1.6.

Таблиця 1.6 - Призначення кнопок керування

Кнопка	Призначення	Примітка
	«Живлення» - увімкнення/вимкнення приладу (довге натискання, >2с), швидке перемикання в меню «ВИМІРЮВАННЯ» між поточним та підменю «Інфо»	
	«Зберегти» - фіксація на дисплеї та збереження в пам'яті пристрою значень поточного екрану вимірювань та(або) пуск реєстратора сигналів.	Налаштування функцій кнопки «Зберегти» передбачено в меню «КОНФІГУРАЦІЯ ПРИСТРОЮ»
  	«Вверх», «Вниз» - переміщення вгору/вниз по підпунктах меню. Редагування значень налаштувань. «Ввід» - вхід в режим редагування та збереження, при повторному натисканні значень налаштувань. Швидкий перехід в інформаційне підменю в меню вимірювань. «Вліво», «Вправо» - переміщення вліво/вправо по меню. Переміщення між розрядами числових значень в режимі редагування налаштувань. Перемикання номеру гармоніки в підменю «Гармоніки», меню «ВИМІРЮВАННЯ» Вхід в режим редагування та вибір фази базового кута вимірювання фазового зсуву безпосередньо в меню вимірювань. Вхід в режим редагування та вибір режиму відображення фазового кута ($0 \div 360$, $-180 \div 0 \div +180$) безпосередньо в меню вимірювань	

На лицьовій панелі пристрою розміщено світлодіодний індикатор LED1. Світлодіодний індикатор LED1 призначений для індикації:

- підключення до ПК, чи зарядного пристрою (режим постійного світіння);
- режиму фіксації на дисплеї значень поточного екрану (режим постійного світіння);
- процесу запису осцилограми (режим мигання).

Меню пристрою складається з головного горизонтального меню і вертикальних підменю для кожного з пунктів головного меню.

Для пересування по головному меню використовуються кнопки «Вправо», «Вліво». Для пересування по підменю використовуються кнопки «Вниз», «Вверх».

В пристрої передбачені наступні додаткові можливості при роботі з меню:

- якщо в будь-якому з пунктів головного меню натиснути клавішу «Вверх», відбувається швидке переміщення в початок головного меню (п. «0.0 ВИМІРЮВАННЯ»);
- якщо в будь-якому з пунктів підменю натиснути і утримувати (> 2 с) кнопку «Вниз» - відбувається швидке переміщення в останній пункт підменю.
- якщо в будь-якому з пунктів підменю натиснути і утримувати (> 2 с) кнопку «Вверх» - відбувається швидке переміщення в перший пункт підменю.

Меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» є основними робочими меню пристрою.

Підпункти меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» призначені для відображення вимірних значень струму і напруги та додаткових параметрів що розраховуються в пристрої.

Вигляд та опис підпунктів меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» приведено на рис.1.5.

0. ВИМІРЮВАННЯ

– Пункт «ВИМІРЮВАННЯ» головного меню.

↕

1

I, A $\varphi, ^\circ$ U, B $\varphi, ^\circ$
0.000 --- 0.00 ---
0.000 --- 0.00 ---
0.000 --- 0.00 ---

– Відображення вимірних значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, струмів (Ia, Ib, Ic) і напруг (Ua, Ub, Uc).
Вторинні значення.

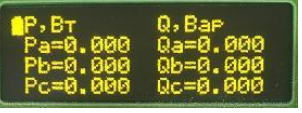
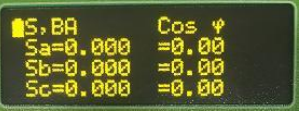
↕

2

I, A $\varphi, ^\circ$ U, кВ $\varphi, ^\circ$
0.000 --- 0.00 ---
0.000 --- 0.00 ---
0.000 --- 0.00 ---

– Відображення вимірних значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, струмів (Ia, Ib, Ic) і напруг (Ua, Ub, Uc).
Первинні значення, з урахування заданих коефіцієнтів трансформації I та U.

↕

- 3  – Відображення виміряних значень амплітуди (середньоквадратичне значення (RMS)) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, струмів (I_a, I_b, I_c).
Вторинні значення.
- ↕
- 4  – Відображення виміряних значень амплітуди (середньоквадратичне значення (RMS)) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, напруг (U_a, U_b, U_c).
Вторинні значення.
- ↕
- 5  – Відображення виміряних значень амплітуди постійної напруги по каналах вимірювання - U_a, U_b, U_c .
- ↕
- 6  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, лінійних напруг (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}).
Вторинні значення.
- ↕
- 7  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, величин прямої, зворотної та нульової послідовності сили змінного струму (I_1, I_2, I_o). Вторинні значення.
- ↕
- 8  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, величин прямої, зворотної та нульової послідовності напруги змінного струму (U_1, U_2, U_o).
Вторинні значення.
- ↕
- 9  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) по- фазних величин активної (P_a, P_b, P_c) та реактивної (Q_a, Q_b, Q_c) потужностей.
Вторинні значення.
- ↕
- 10  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) пофазних величин повної потужності (S_a, S_b, S_c) та пофазних величин коефіцієнта активної потужності ($\cos \varphi$).

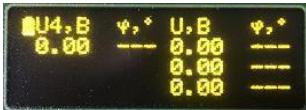
- ↑
- 11  – Відображення розрахованих значень амплітуди (основна частота 50Гц) трифазних величин активної (P), реактивної (Q) і повної (S) потужностей та коефіцієнта активної потужності (Cos φ).
Вторинні значення.
- ↑
- 12  – Відображення розрахованих значень пофазних величин активного (Ra,Rb,Rc) та реактивного (Xa,Xb,Xc) опору.
Вторинні значення.
- ↑
- 13  – Відображення частоти 1 та 2 каналів вимірювання частоти (f1,f2).
- ↑
- 14  – Відображення виміряних значень відсоткового вмісту гармонік (по відношенню до основної частоти 50Гц) вимірювальних каналів, струмів (Ia,Ib,Ic) та напруг (Ua,Ub,Uc).
Перемикання номеру гармоніки виконується кнопками - «Вліво», «Вправо»
- ↑
- 15  – Відображення коефіцієнту гармонічних спотворень вимірювальних каналів, струмів (Ia,Ib,Ic) та напруг (Ua,Ub,Uc).
- ↑
- 16  – Відображення виміряних значень амплітуди (основна частота 50Гц) та зсуву фаз, відносно заданого базового вимірювального каналу, напруги U4 і напруг Ua,Ub,Uc.
Вторинні значення.
- ↑
- 17  Інформаційне вікно, для відображення:
 - поточної дати та часу;
 - рівня заряду АКБ;
 - наявності зовнішніх підключень;
 - стану функції самодіагностики пристрою.

Рисунок 1.5 - Структура та опис меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

При активному будь-якому з підпунктів меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» на дисплеї відображаються наступні інформаційні значки:

- індикація рівня та процесу заряду АКБ;
- (режим мигання) індикація несправності, або відсутності АКБ;
- індикація підключення зарядного пристрою;
- індикація підключення пристрою до ПК;
- індикація фіксації значень активного підпункту меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

В пристрої передбачені наступні кнопки швидкого доступу в підпунктах меню «0. ВИМІРЮВАННЯ»:

- при короткочасному ($<2\text{с}$) натисканні кнопки «Живлення» в будь якому з підпунктів меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» відбувається швидкий перехід в інформаційне підменю, при повторному натисканні - повернення в попереднє підменю:
- при натисканні кнопки «Вправо» в підменю, в яких передбачено відображення фазового кута, відбувається вхід в режим редагування базового кута вимірювання фазового зсуву. В верхній стрічці індикатора виводиться поточне значення фази базового кута. При натисканні кнопок «Вліво», або «Вправо» виконується зміна фази базового кута. Вихід з режиму редагування та збереження вибраного значення базового кута виконується натисканням кнопки «Ввід», або автоматично через 5с.
- при натисканні кнопки «Вліво» в підменю, в яких передбачено відображення фазового кута, відбувається вхід в режим редагування режиму відображення фазового зсуву ($0 \div 360$, $-180 \div 0 \div +180$).

В верхній стрічці індикатора виводиться поточне відображення фазового кута. При натисканні кнопок «Вліво», або «Вправо» виконується зміна режиму відображення фазового кута.

Вихід з режиму редагування та збереження вибраного значення виконується натисканням кнопки «Ввід», або автоматично через 5с.

Меню «1. КОНФІГУРАЦІЯ ВИМІР.ВХОДІВ» призначене для налаштування додаткових параметрів вимірювання.

Підпункт меню «1.1 Ктр І» призначений для вводу коефіцієнта

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформації трансформаторів струму, в колах яких проводиться вимірювання, з урахуванням якого відображаються первинні значення струмів в меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

Підпункт меню «1.2 Ктр U» призначений для вводу коефіцієнта трансформації трансформаторів напруги, в колах яких проводиться вимірювання, з урахуванням якого відображаються первинні значення напруг в меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

Підпункт меню «1.3 Баз.канал вим ф» призначений для вибору фази струму чи напруги, відносно якого вимірюються фазові зсуви решти вимірювальних входів, та розрахованих значень симетричних складових струму та напруги (I1, I2, I0, U1, U2, U0).

Підпункт меню «1.4 Вим.частоти 1» призначений для вибору фази струму чи напруги першого каналу вимірювання частоти.

Підпункт меню «1.5 Вим.частоти 2» призначений для вибору фази струму чи напруги другого каналу вимірювання частоти.

Підпункт меню «1.6 Діапазон кутів» вибір режиму відображення кутів зсуву фаз в меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

Передбачено два режими відображення:

- - 180° - +180°;
- 0 - 360°.

Меню «2. КОНФІГУРАЦІЯ ПРИСТРОЮ» призначене для налаштування загальних параметрів роботи пристрою.

Підпункт меню «2.1 Автовимкнення, хв» призначений для вводу значення витримки часу автоматичного вимкнення пристрою з моменту фіксації останнього натискання будь якої з кнопок управління. Діапазон уставки витримки часу автоматичного вимкнення - 0, 1÷720 хвилин.

При введенні значення уставки «0» автовимкнення блокується.

Підпункт меню «2.2 Кнопка запису» призначений для налаштування режиму роботи кнопки «Зберегти».

Передбачено три варіанти вибору режиму роботи кнопки «Зберегти»:

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- «Виміри+осц.»;
- «Виміри»;
- «Осцилограф».

При виборі режиму «Виміри+осц.» натискання кнопки «Зберегти» виконує збереження в реєстраторі подій значень поточного меню вимірювань та запуск запису осцилограми реєстратором сигналів.

При виборі режиму «Виміри.» натискання кнопки «Зберегти» виконує лише збереження в реєстраторі подій значень поточного меню.

При виборі режиму «Осцилограф» натискання кнопки «Зберегти» виконує збереження лише запуск запису осцилограми реєстратором сигналів.

Якщо в налаштуваннях аналогових входів реєстратора сигналів не назначено жодної фази струму чи напруги, то пуск осцилографа не відбувається, і на екран виводиться повідомлення «Осцилограф відключений».

Старт, процес та закінчення запису події та осцилограми супроводжується звуковими сигналами, за умови, якщо звуковий сигнал не вимкнено в налаштуваннях пристрою.

Натискання кнопки «Зберегти» виконує пуск реєстратора подій та (або) реєстратора сигналів лише в підпунктах меню «0. ВИМІРЮВАННЯ».

Додатково при натисканні кнопки «Зберегти» виконується фіксація на екрані значень активного підпункту меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» до моменту натискання будь-якої кнопки керування пристрою. Даний режим фіксації індикуюється інформаційним значком -  .

Підпункт меню «2.3 Звуковий сигнал» призначений для увімкнення/вимкнення інформаційних звукових сигналів пристрою.

В пристрої передбачені дві групи звукових сигналів, інформаційні та попереджуючі. Пристрій формує інформаційні звукові сигнали при:

- ручному пуску реєстратора подій, 1 короткий сигнал;
- старт запису осцилограми, 3 коротких сигнали;
- закінченні запису осцилограми, 1 довгий сигнал;
- за 10 секунд до автоматичного вимкнення, короткі сигнали.

Пристрій формує попереджувальні звукові сигнали при виміряному значенні постійної чи змінної напруги будь якої з фаз, вищим за:

- 36 В змінного струму;
- 60 В постійного струму.

Підпункт меню «2.4 Час» призначений для відображення поточного часу внутрішнього годинника пристрою.

Підпункт меню «2.5 Дата» призначений для відображення поточної дати внутрішнього годинника пристрою.

Підпункт меню «2.6 Видалити всі події» призначений для видалення одночасно всіх подій збережених в пам'яті пристрою. Детальний опис реєстратора подій та процедури видалення наведено в п. 8.1 Реєстратор подій.

Підпункт меню «2.7 Заводські налаштування» призначений для відновлення всіх налаштувань пристрою до заводських значень.

Підпункт меню «2.8 Пароль» призначений для вводу паролю доступу до сервісного меню. Доступ до сервісного меню недоступний для споживача, та здійснюється тільки представниками заводу виробника, та представниками сервісних центрів, уповноважених заводом виробником.

Підпункт меню «2.9 Режим оновл.ПЗ» призначений для увімкнення дозволу на оновлення програмного забезпечення пристрою.

Меню «3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРИСТРІЙ» призначене для відображення стану функції самодіагностики пристрою, назви, версії ПЗ, реєстраційних даних пристрою та аксесуарів..

Підпункт меню «3.1 Стан МІРА-А» призначений для відображення поточного стану функції самодіагностики пристрою. При відсутності несправностей чи відмов відображається текст - «Справно». При наявності в пристрої несправності чи відмови відображається відповідний код.

Підпункт меню «3.2 Модифікація» призначений для відображення назви пристрою.

Підпункт меню «3.3 Код замовлення» призначений для відображення актуального коду замовлення даного пристрою. Код замовлення визначає набір

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткових функцій пристрою.

Підпункт меню «3.4 Серійний номер» призначений для відображення актуального серійного номера даного пристрою.

Підпункт меню «3.5 Версія ПЗ» призначений для відображення актуальної версії та дати встановленого програмного забезпечення даного пристрою.

Підпункт меню «3.6 S/N кліщі Ia» призначений для відображення серійного номера струмовимірювальних кліщів фази А, що входять в комплект поставки.

Підпункт меню «3.7 S/N кліщі Ib» призначений для відображення серійного номера струмовимірювальних кліщів фази В, що входять в комплект поставки.

Підпункт меню «3.8 S/N кліщі Ic» призначений для відображення серійного номера струмовимірювальних кліщів фази С, що входять в комплект поставки.

Підпункт меню «3.9 S/N Модуль U4» призначений для відображення серійного номера додаткового модуля вимірювання напруги, що входить в комплект поставки.

В пристрої реалізовано вбудований реєстратор подій.

Реєстратор записує та зберігає з міткою часу в енергонезалежній пам'яті пристрою:

- несправності виявлені функцією самодіагностики пристрою, автоматично;
- значення активного екрану вимірювань, при натисненні кнопки «Зберегти».

Запис та збереження активного екрану вимірювань відбувається за умови, якщо в пункті меню налаштувань функцій кнопки «Зберегти» вибрано значення - «Виміри+осц.», або «Виміри». Налаштування функцій кнопки «Зберегти» відбувається в меню «2. КОНФІГУРАЦІЯ ПРИСТРОЮ», в підпункті «2.2 Кнопка запису».

Максимальна кількість подій, що зберігаються в пам'яті - 1000, максимальна кількість подій на добу - 99. При перевищенні наведених вище

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кількостей подій, нова подія записується на місце найстарішої.

Перегляд записаних подій доступний в меню «4. РЕЄСТРАТОР ПОДІЙ».

Всі зареєстровані події групуються по даті, на кожний день (при наявності подій) створюється окремий підпункт в меню «РЕЄСТРАТОР ПОДІЙ», назва якого складається з дати, та кількості записаних подій.

Інформація по кожній події відображається окремим боковими підпунктами, в першому з яких відображається:

- номер події (1÷99);
- коротка назва події;
- час фіксації.

В наступному боковому підпункті відображається текст події, або зафіксовані дані активного вікна вимірювань.

В пристрої передбачена можливість видалення подій. Видалити можна всі події на певну дату, або всі збережені події.

Для видалення окремої дати необхідно:

- в підменю відображення потрібної дати натиснути і утримувати на протязі 3 секунд кнопку «Ввід»;
- при появі повідомлення про підтвердження видалення, вибрати «Так» - для підтвердження, або «Ні» - для відмови і повторно натиснути кнопку «Ввід».

Одночасне видалення всіх записаних в реєстраторі подій проводиться в меню «2. КОНФІГУРАЦІЯ ПРИСТРОЮ», в підпункті «2.6 Видалити всі події».

В пристрої також передбачена можливість зчитування, перегляд та видалення записаних подій по каналу зв'язку USB за допомогою програмного забезпечення MIRA.

В пристрої реалізовано вбудований реєстратор аналогових сигналів – цифровий осцилограф.

Реєстратор сигналів використовується для реєстрації миттєвих значень струмів та напруг.

Записані дані зберігаються в енергонезалежній пам'яті.

Основні характеристики:

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- частота вибірки (задається в меню) 4800, 2400, 1200, 600 Гц, (96, 48, 24, 12 точок на період промислової частоти – 50 Гц);
- максимальна кількість аналогових сигналів – 6 (Ia, Ib, Ic, Ua, Ub, Uc);
- максимальна тривалість одної осцилограми при частоті вибірки: 4800 Гц – 4с; 2400 Гц – 10с; 1200 Гц – 20с; 600 Гц – 40с.
- налаштування тривалості доаварійного запису від заданої тривалості в залежності від довжини осцилограми та частоти вибірки: 0,1÷4с, 96 точок на період – 5 %; 0,1÷10с, 12, 24, 48 точок на період – від 5 до 80 %; 10,1÷20с, 12, 24 точок на період – від 5 до 40 %; 20,1÷40с, 12 точок на період – від 5 до 20 %.
- максимальна кількість збережених осцилограм залежить від довжини осцилограми та кількості вибраних для реєстрації аналогових сигналів.

Реєстратор може працювати в одному з двох режимів запису:

- Перезапис;
- Насичення.

В режимі «Перезапис», після заповнення пам'яті пристрою, найстаріша осцилограма буде перезаписана даними нової осцилограми.

В режимі «Насичення», при заповненні пам'яті пристрою запис нових осцилограм не виконується. Запис нових осцилограм буде доступний тільки після видалення з пам'яті записаних осцилограм.

Пуск реєстратора сигналів виконується:

- при натисненні кнопки «Зберегти»;
- при перевищенні або зниженні вимірних значень назначених аналогових входів, заданого уставкою значення;
- вручну, через меню пристрою;
- по команді з ПК по інтерфейсу USB.

Пуск реєстратора сигналів, при натисненні кнопки «Зберегти», відбувається за умови, якщо в пункті меню налаштувань функцій кнопки «Зберегти» вибрано значення - «Виміри+осц.», або «Осцилограф». Налаштування функцій кнопки «Зберегти» відбувається в меню «2.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

КОНФІГУРАЦІЯ ПРИСТРОЮ», в підпункті «2.2 Кнопка запису».

В процесі запису осцилограми пуск реєстратора сигналів блокується до закінчення запису поточної осцилограми.

Зчитування осцилограм з пам'яті пристрою виконується по інтерфейс USB, за допомогою програмного забезпечення МІРА.

Програма дозволяє:

- зчитати перелік збережених в пам'яті пристрою осцилограм (для кожної осцилог-рами відображається дата та час запису, а також причина пуску);
- вичитати вибрані, або всі збережені в пам'яті пристрою осцилограми з наступним перетворенням і збереженням вичитаних даних в файли формату COMTRADE 1;
- видалити всі збережені в пам'яті пристрою осцилограми.

Конфігурація та налаштування параметрів реєстратора сигналів виконується в меню «РЕЄСТРАТОР СИГНАЛІВ».

Вибір частоти вибірки виконується в пункті меню «f виб,точ/пер».

Ввід уставки тривалості осцилограми виконується в пункті меню «Трив.осц-ми,с».

Ввід уставки тривалості запису доаварійного періоду виконується в пункті меню «Доавар.пер, %». Тривалість запису доаварійного періоду задається в відсотках від уставки тривалості запису однієї осцилограми, заданої в пункті меню «Трив.осц-ми,с».

Вибір режиму запису реєстратора сигналів виконується в пункті меню «Режим запису».

В пункті меню «Записано осц.» відображається загальна кількість збережених в пам'яті пристрою осцилограм. При внесенні змін в налаштування реєстратора сигналів (збільшення тривалості запису осцилограми, додавання нових аналогових входів для реєстрації) кількість записаних осцилограм може виявитися більшою від значення що відображається в меню «Макс.к-ть.осц».

В пункті меню «Вільно.осц.» відображається кількість осцилограм, що може бути записана в пам'ять, без перезапису існуючих в режимі роботи

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

«Перезапис», або до повного заповнення пам'яті в режимі «Насичення» з урахуванням вже збережених у пам'яті пристрою. В режимі «Перезапис» при заповненні пам'яті в даному меню замість кількості буде відображатися текст «Перезапис».

В пункті меню «Макс.к-ть.осц.» відображається максимальна кількість осцилограм, що може бути записана в пам'ять, без перезапису існуючих в режимі роботи «Перезапис», або до повного заповнення пам'яті в режимі «Насичення».

Інформація вільну і максимальну кількість осцилограм відображається з урахуванням поточної конфігурації і налаштувань реєстратора сигналів.

При зміні налаштувань (зміна тривалості запису, додавання/вилучення аналогових входів для реєстрації) інформація про вільну і максимальну кількість осцилограм оновлюється автоматично. Якщо не назначено жоден з аналогових входів, інформація про вільну і максимальну кількість осцилограм буде недоступна, і в даних пунктах меню буде відображатися текст «Невизначено».

Пункт меню «Видалити всі осцилограми» призначений для видалення з пам'яті всіх записаних осцилограм.

Для видалення всіх записаних осцилограм необхідно:

- натиснути кнопку «Ввід»;
- при появі повідомлення на підтвердження видалення, вибрати «Так» - для підтвердження або «Ні» - для відміни і повторно натиснути кнопку «Ввід».

Пункти меню «Аналог.вх А1» ÷ «Аналог.вх А8» призначені для налаштування аналогових входів реєстратора сигналів.

Пункти меню налаштування аналогових входів реєстратора сигналів складаються з основного меню і додаткових (бокових) меню. Перехід до додаткових меню виконується натисканням кнопки «Вправо».

В основному меню виконується вибір фази струму чи напруги для даного аналогового входу реєстратора сигналів.

В додаткових бокових меню для кожного з аналогових входів реєстратора сигналів налаштовується режим роботи даного входу і задаються уставки струму (напруги) для пуску реєстратора сигналів.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для кожного з аналогових входів реєстратора сигналів може бути вибрано з наведених нижче режимів роботи:

- «Реєстрація» - дані фази струму (напруги), назначеної на даний аналоговий вхід реєстратора сигналів, записуються в пам'ять, але пуск реєстратора сигналів по даному каналу не виконується;
- «Реєстр.і пуск <» - дані фази струму (напруги), назначеної на даний аналоговий вхід реєстратора сигналів, записуються в пам'ять, і якщо виміряне значення струму (напруги) стає нижче уставки заданої в боковому меню даного каналу «А* Уст. по <» виконується автоматичний пуск реєстратора сигналів;
- «Реєстр.і пуск >» - дані фази струму (напруги), назначеної на даний аналоговий вхід реєстратора сигналів, записуються в пам'ять, і якщо виміряне значення струму (напруги) перевищує уставку заданої в боковому меню даного каналу «А* Уст. по >» виконується автоматичний пуск реєстратора сигналів;
- «Реєстр.і пуск <>» - дані фази струму (напруги), назначеної на даний аналоговий вхід реєстратора сигналів, записуються в пам'ять, і якщо виміряне значення струму (напруги) стає нижче уставки заданої в боковому меню даного каналу «А* Уст. по <», або перевищує уставку заданої в боковому меню даного каналу «А* Уст. по >», виконується автоматичний пуск реєстратора сигналів.

Пристрій обладнано функцією самодіагностики стану апаратної та програмної частини. При виявленні функцією самодіагностики несправності в апаратній чи програмній частині, в залежності від критичності виявленої несправності, блокується частина функцій пристрою, або повністю робота пристрою.

По критичності несправності розділені на дві групи - «несправність» і «відмова». Критичність виявленої несправності та її код відображається в підпункті «3.1 Стан МІРАА» меню «3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРИСТРІЙ».

При виявленні некритичних несправностей блокуються лише окремі

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕЕСТРАТОР СИГНАЛІВ

№	Дата час запису	Примітка	Статус	Ім'я файлу	Пристрій	Об'єкт	Пастка	Примітки
1	26.02.2019 16:18:00	Ручний пуск	Завершено	20022019_16180000.CFG	МРНА-А	---	---	---
2	26.02.2019 16:18:00	Ручний пуск	Завершено	20022019_16180000.CFG	МРНА-А	---	---	---
3	26.02.2019 16:18:14.071	Ручний пуск	Ново					
4	26.02.2019 16:18:30.291	Ручний пуск	Ново					
5	26.02.2019 18:06:34.226	Ручний пуск	Ново					

В пристрої відсутні ручні чи програмні перемикачі параметрів вимірювання чи діапазонів вимірювання. Пристрій автоматично здійснює вимірювання в повному діапазоні та для всіх вимірювальних входів.

Перед проведенням вимірювань необхідно:

- під'єднати до роз'ємів пристрою вимірювальні проводи кіл вимірювання напруги;
- до протилежних кінців вимірювальних проводів напруги під'єднати необхідні додаткові вимірювальні аксесуари (крокодили, щупи);
- під'єднати до роз'ємів пристрою проводи підключення струмовимірювальних кліщів.

Для проведення вимірювання необхідно:

- увімкнути пристрій, натиснувши і утримуючи кнопку «Живлення» більше 2с;
- розмістити пристрій в зручному для відображень і доступу до кнопок керування місці;
- за допомогою вимірювальних аксесуарів підключити вимірювальні проводи до потрібних кіл для вимірювання напруги;
- струмовимірювальні кліщі закріпити на потрібних струмопроводах, при цьому контролювати, щоб струмопровід знаходився по центру вікна магнітопроводу кліщів;
- в пристрої, за допомогою кнопок керування перейти в меню «0. ВИМІРЮВАННЯ». При увімкнені пристрою перехід в перший підпункт

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

меню «0. ВИМІРЮВАННЯ» відбувається автоматично;

- за допомогою кнопок «Вверх», «Вниз» перейти в потрібний підпункт для перегляду потрібних вимірювальних, чи розрахункових параметрів.
- Для збереження результатів вимірювання в пам'яті пристрою, та фіксацію поточних даних на дисплеї потрібно короткочасно натиснути кнопку «Зберегти».

Для скидання режиму фіксації, та повернення до відображення актуальних величин, потрібно натиснути будь яку кнопку керування, на лицьовій панелі пристрою.

1.2 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу

У кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно розробити комп'ютерну систему діагностики вольтамперфазоміру МІРА-А.

Для цього:

- Описати роботу пристрою, що діагностується. Провести аналіз засобів чи методів діагностики вибраного пристрою. Описати вхідний потік даних та вимоги щодо нього.
- У відповідності з варіантом спроектувати пристрій діагностики (ПД).
Забезпечити зв'язок ПД з Локальною мережею:
 - обґрунтувати вибір мікросхеми, її розрядність;
 - описати роботу електричної принципіальної схеми;
 - розробити печатну плату для ПД.
- Написати програму формування пакета даних для ПД, де перші два біти - номер ПК, наступні 8 біт – вхідний потік даних;
- В ПД виконати шифрування отриманої інформації ;
- Спроектувати комп'ютерну мережу (КМ).

1.3 Опис вхідного потоку даних і вимог до нього

Комбінації вхідного потоку даних отримуються за наступним алгоритмом.
У двійковій системі числення число має наступний вигляд:

Занесемо дані до таблиці 1.7 Таблиця 1..

Таблиця 1.7 – Початкова таблиця вхідного потоку

V ₈	V ₇	V ₆	V ₅	V ₄	V ₃	V ₂	V ₁	
1	1	0	1	0	0	1	0	ПК1
1	0	0	0	0	0	0	1	ПК2
0	1	1	0	0	1	1	1	ПК3
1	0	0	0	0	1	1	1	ПК4

Далі, згідно з варіантом, виділимо біти, значення яких можуть бути будь-якими (біти № 1, 6, 7, 17, 18, 20, 21).

Таблиця 1.8 – Таблиця вхідного потоку з виділеними бітами

V ₈	V ₇	V ₆	V ₅	V ₄	V ₃	V ₂	V ₁	
X	1	0	1	0	0	1	X	ПК1
X	0	0	0	0	0	0	1	ПК2
0	1	1	0	0	1	X	X	ПК3
1	0	X	X	0	1	1	1	ПК4

Отримано 4 набори даних, кожен з яких назначений для відповідного ПК.
До кожного з них перед відправленням буде додано номер відповідного ПК (00,

Тестування вольтамперфазоміру здійснюється у діагностичному режимі, що вмикається згідно з документацією. В кваліфікаційній роботі необхідно спроектувати пристрій, що під'єднується до діагностичного виходу вольтамперфазоміру, зчитує дані та формує коди помилок, що передаються на сервер. Коди помилок та їх розшифровку занесемо до таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Інтерпретація кодів помилок

Код	Інтерпретація
X101001X	Відмова пам'яті EEPROM
X	Відмова пам'яті SRAM
011001XX	Відмова АЦП
10XX0111	Відсутність, або несправність АКБ

Висновок: у даному розділі було описано вольтамперфазоміру МІРА-А, його застосування та обслуговування. На базі основних характеристик було описано специфікацію шини, також було поставлено завдання на кваліфікаційну роботу, описано основні можливості щодо отримання вхідних даних в рамках даного проєкту.

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТИКИ

Задача полягає у вибірці певної (згідно з варіантом) 8-бітної комбінації з вхідного потоку даних і формуванню пакета даних де перші два біти – номер ПК (00, 01, 10 і 11), наступні 8 біт – вхідний потік даних. Порт для обміну інформацією – USB.

2.1 Мікроконтролери як основа вбудованих систем

Сучасний етап розвитку комп'ютерної техніки та автоматизованих систем характеризується широким впровадженням вбудованих обчислювальних засобів, які забезпечують керування, контроль та обробку інформації безпосередньо у складі технічних пристроїв. Основним елементом таких систем є мікроконтролер - спеціалізований мікроелектронний пристрій, призначений для виконання керувальних і вимірювальних функцій у реальному часі. На відміну від універсальних обчислювальних систем, мікроконтролери оптимізовані для виконання конкретних завдань і працюють у тісному зв'язку з апаратною частиною пристрою.

Мікроконтролер являє собою однокристальну обчислювальну систему, що поєднує в одному корпусі центральний процесор, пам'ять програм, пам'ять даних, а також широкий набір периферійних модулів введення-виведення. Такий рівень інтеграції дозволяє суттєво зменшити габарити пристрою, знизити енергоспоживання та підвищити надійність системи загалом. Саме завдяки цим властивостям мікроконтролери знайшли застосування у вимірювальній техніці, промисловій автоматизації, системах діагностики, медичному обладнанні, телекомунікаційних пристроях та побутовій електроніці.

На функціональному рівні мікроконтролер виконує циклічну обробку програми, що зберігається у вбудованій пам'яті, реагуючи на зовнішні події та сигнали. Програма керує станом портів введення-виведення, обробляє дані з датчиків, формує керувальні сигнали та здійснює обмін інформацією з іншими пристроями або комп'ютерними системами. Такий підхід забезпечує високу

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

гнучкість і дозволяє адаптувати роботу пристрою шляхом перепрограмування без змін апаратної частини.

Архітектурна організація мікроконтролера є ключовим фактором, що визначає його продуктивність і функціональні можливості. У загальному випадку архітектура включає центральне процесорне ядро, арифметично-логічний пристрій, регістрову пам'ять, блок керування, внутрішні шини та модулі периферії. Всі ці елементи працюють узгоджено, забезпечуючи виконання інструкцій і обробку даних у задані часові інтервали. На рис.2.1 показано типову архітектуру мікроконтролера з центральним процесорним ядром, пам'яттю програм і даних, портами введення-виведення та периферійними модулями.

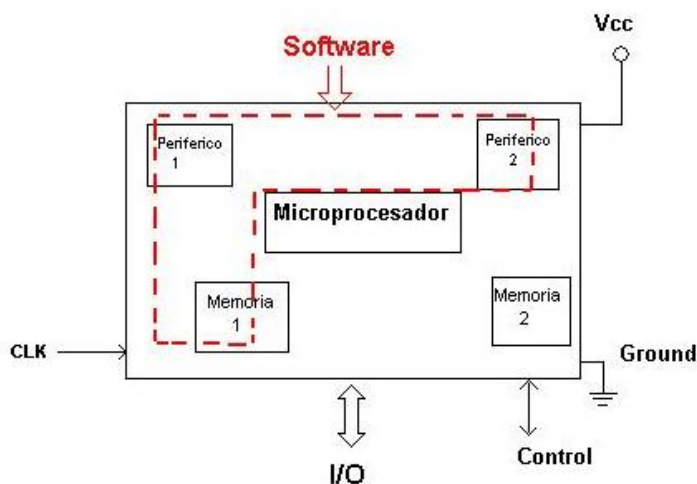


Рисунок 2.1 - Узагальнена структурна схема мікроконтролера

У порівнянні з мікропроцесором, який зазвичай виконує лише обчислювальні функції і потребує зовнішніх мікросхем пам'яті та контролерів, мікроконтролер є автономною системою. Це зумовлює різницю у сфері застосування: мікропроцесори використовуються у персональних комп'ютерах та високопродуктивних обчислювальних системах, тоді як мікроконтролери орієнтовані на вбудовані застосування з обмеженими ресурсами.

Особливу роль у функціонуванні мікроконтролерів відіграє організація пам'яті. У більшості сучасних мікроконтролерів використовується розділення пам'яті програм і пам'яті даних, що дозволяє оптимізувати доступ до інструкцій і змінних. Пам'ять програм, як правило, реалізується на основі Flash-технології,

що забезпечує багаторазове перепрограмування та довготривале збереження коду без подачі живлення. Пам'ять даних зазвичай представлена статичною оперативною пам'яттю SRAM, яка використовується для зберігання змінних, стеку та проміжних результатів обчислень.

Крім оперативної пам'яті, багато мікроконтролерів містять енергонезалежну пам'ять EEPROM, призначену для збереження налаштувань, калібрувальних коефіцієнтів і результатів вимірювань. Це особливо важливо для вимірювальних і діагностичних систем, де необхідно зберігати параметри між циклами роботи або після вимкнення живлення.

Важливим елементом архітектури мікроконтролера є система переривань, яка забезпечує реакцію на асинхронні події. Переривання дозволяють тимчасово призупинити виконання основної програми для обробки події з вищим пріоритетом, наприклад, надходження даних по інтерфейсу зв'язку або завершення перетворення в аналого-цифровому перетворювачі. Завдяки цьому мікроконтролери можуть ефективно працювати у режимах реального часу без постійного опитування стану периферійних пристроїв.

Значна увага при проєктуванні мікроконтролерів приділяється енергоспоживанню. Багато пристроїв підтримують кілька режимів роботи, включно з режимами зниженого споживання та повного сну, у яких відключається частина функціональних блоків. Це дозволяє використовувати мікроконтролери у автономних системах з живленням від батарей або акумуляторів протягом тривалого часу.

Узагальнення основних відмінностей між мікроконтролерами та мікропроцесорами наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняння мікроконтролерів і мікропроцесорів

Характеристика	Мікроконтролер	Мікропроцесор
Ступінь інтеграції	CPU, пам'ять і периферія в одному корпусі	Переважно лише CPU
Зовнішні компоненти	Мінімальна кількість	Обов'язкові пам'ять і контролери
Енергоспоживання	Низьке	Високе
Сфера застосування	Вбудовані системи, автоматика	ПК, сервери

Характеристика	Мікроконтролер	Мікропроцесор
Робота в реальному часі	Підтримується апаратно	Обмежена

Таким чином, мікроконтролери становлять фундамент сучасних вбудованих систем і є ключовими компонентами вимірювальних та діагностичних пристроїв. Їх архітектурні особливості, висока інтеграція та енергоефективність роблять їх оптимальним вибором для побудови спеціалізованих комп'ютерних систем, зокрема систем діагностики вимірювальних приладів.

2.1.1 Архітектура мікроконтролерів AVR

Ключовим аспектом проєктування та аналізу мікроконтролерів є їх архітектура, тобто принцип організації обчислювального процесу, взаємодії пам'яті та периферійних пристроїв. Архітектура визначає не лише продуктивність мікроконтролера, але й зручність програмування, можливості масштабування та ефективність використання апаратних ресурсів. У теорії обчислювальної техніки розрізняють декілька базових архітектурних підходів, з яких найбільш поширеними є архітектура фон Неймана, Гарвардська архітектура та її модифіковані варіанти.

Архітектура фон Неймана характеризується використанням єдиного адресного простору та спільної шини для передавання як програмних інструкцій, так і даних. У такій системі центральний процесор послідовно звертається до пам'яті для вибірки команди та виконання операцій над даними. Простота реалізації є головною перевагою цієї архітектури, однак вона має суттєвий недолік, відомий як «вузьке місце фон Неймана». Це обмеження пропускної здатності спільної шини, яке знижує продуктивність при інтенсивному доступі до пам'яті.

На противагу цьому, Гарвардська архітектура передбачає фізичне розділення пам'яті програм і пам'яті даних, а також використання окремих шин доступу до них. Завдяки цьому процесор може одночасно зчитувати інструкцію з пам'яті програм і виконувати операції з даними, що значно підвищує

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

швидкодію системи. Така архітектура є особливо ефективною для вбудованих систем реального часу, де критичним є мінімальний час реакції на зовнішні події. На рис.2.2 представлено порівняння Гарвардської архітектури та архітектури фон Неймана.

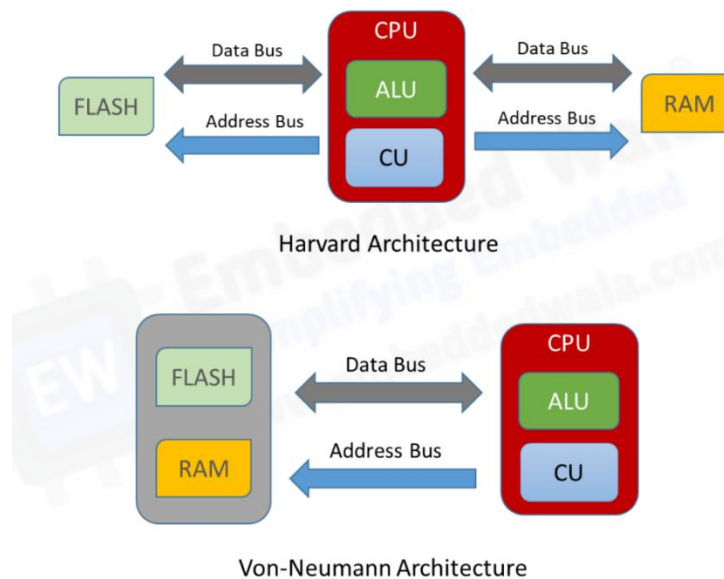


Рисунок 2.2 – Порівняння Гарвардської архітектури та архітектури фон Неймана

Більшість сучасних мікроконтролерів, зокрема AVR, реалізують модифіковану Гарвардську архітектуру. Вона поєднує переваги класичної Гарвардської архітектури з гнучкістю архітектури фон Неймана. У таких системах пам'ять програм і даних логічно розділені, однак передбачена можливість доступу до пам'яті програм як до джерела даних, наприклад, для зчитування таблиць констант. Це значно розширює функціональні можливості програмування без суттєвого ускладнення апаратної реалізації.

Архітектура мікроконтролерів AVR побудована відповідно до принципів RISC (Reduced Instruction Set Computer). Основна ідея RISC-підходу полягає у використанні обмеженого набору простих інструкцій, кожна з яких виконується за мінімальну кількість тактів, зазвичай за один машинний цикл. Це дозволяє спростити апаратну частину процесорного ядра, підвищити частоту роботи та зменшити енергоспоживання. Базова архітектура AVR представлена на рис.2.3.

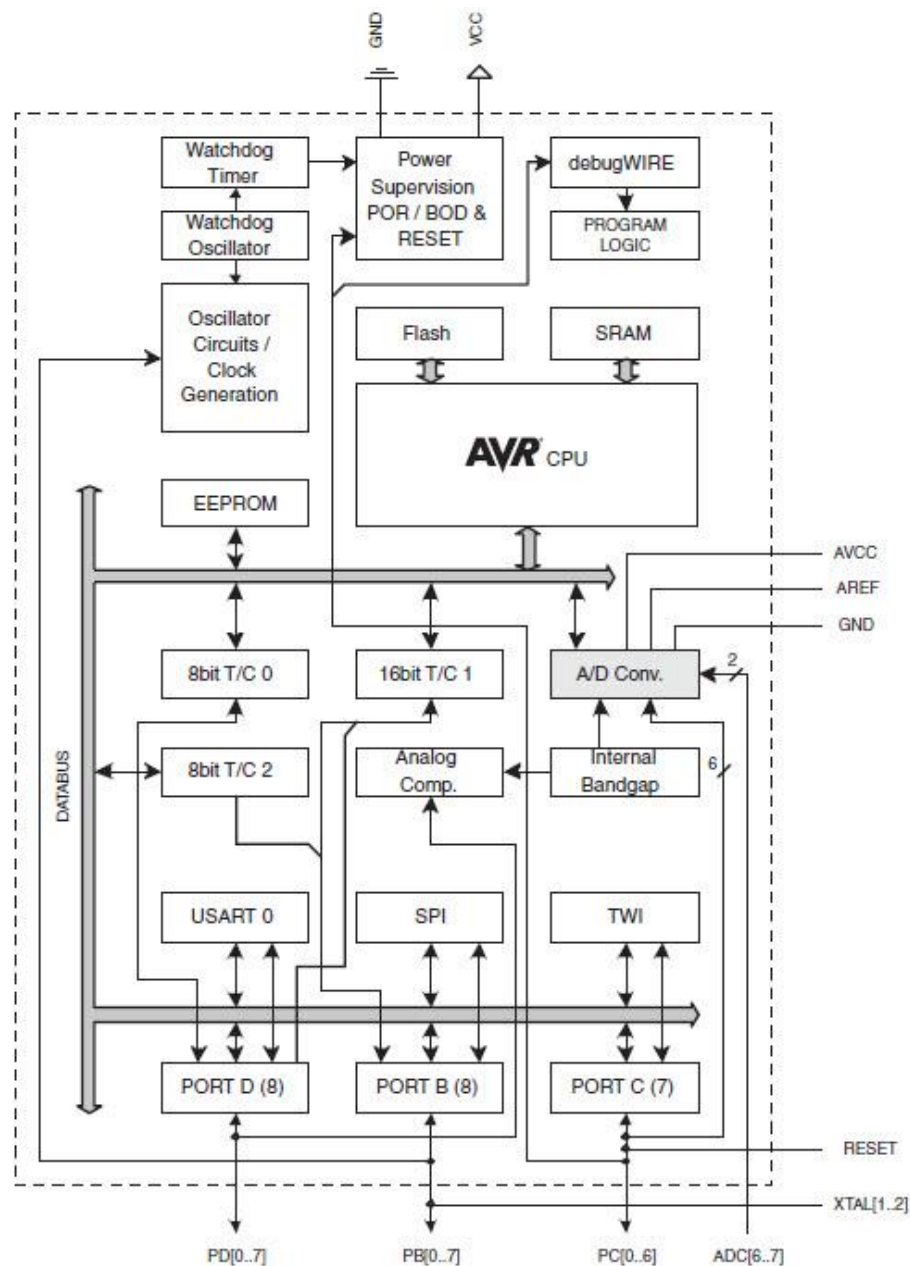


Рисунок 2.3 – Базова архітектура AVR

Центральний процесор AVR містить 32 універсальні регістри загального призначення, безпосередньо з'єднані з арифметично-логічним пристроєм. Така організація дозволяє виконувати більшість арифметичних і логічних операцій без звернення до оперативної пам'яті, що істотно скорочує час виконання програм. Доступ до регістрів здійснюється за один такт, що робить обчислювальний процес передбачуваним і зручним для систем реального часу.

Виконання програми в мікроконтролері здійснюється у вигляді машинних циклів, кожен з яких складається з етапів вибірки, декодування та виконання інструкції. Завдяки конвеєризації, характерній для AVR, вибірка наступної

інструкції може відбуватися паралельно з виконанням поточної. Це дозволяє досягти високої продуктивності без збільшення складності програмної моделі.

Внутрішні шини мікроконтролера забезпечують обмін даними між процесорним ядром, пам'яттю та периферійними модулями. У мікроконтролерах AVR реалізовано окремі шини для доступу до пам'яті програм і пам'яті даних, що відповідає принципам модифікованої Гарвардської архітектури. Така організація дозволяє зменшити конфлікти доступу та забезпечити стабільний часовий режим роботи.

Для порівняння архітектурних підходів складено узагальнену таблицю

Таблиця 2.2 - Порівняння архітектур комп'ютерних систем

Ознака	Фон Неймана	Гарвардська	Модифікована Гарвардська
Пам'ять програм і даних	Спільна	Розділена	Логічно розділена
Кількість шин	Одна	Дві	Дві
Швидкодія	Середня	Висока	Висока
Гнучкість програмування	Висока	Обмежена	Висока
Застосування	ПК, сервери	DSP, спеціалізовані системи	Мікроконтролери

Таким чином, архітектурні рішення, реалізовані у мікроконтролерах AVR, забезпечують оптимальний баланс між продуктивністю, енергоефективністю та зручністю програмування. Саме ці властивості роблять AVR доцільним вибором для побудови вбудованих комп'ютерних систем діагностики, де необхідна надійна обробка даних у реальному часі та можливість інтеграції з зовнішніми обчислювальними засобами.

Важливою складовою функціонування мікроконтролерів AVR є система пам'яті, яка безпосередньо визначає можливості зберігання програмного коду, оперативних даних та параметрів конфігурації. Архітектура пам'яті AVR відповідає концепції модифікованої Гарвардської архітектури і передбачає наявність кількох незалежних типів пам'яті, кожен з яких має власне призначення та характеристики. Такий підхід дозволяє ефективно розподіляти ресурси та оптимізувати роботу системи в цілому.

Пам'ять програм у мікроконтролерах AVR реалізується на основі Flash-технології. Вона призначена для зберігання машинних інструкцій і характеризується енергонезалежністю, що забезпечує збереження програмного коду при вимкненні живлення. Flash-пам'ять підтримує багаторазове перезаписування, а також внутрішньосистемне програмування, що дозволяє оновлювати програмне забезпечення без вилучення мікроконтролера з пристрою. Це є суттєвою перевагою для вбудованих систем діагностики та контролю, які можуть вимагати модернізації або корекції алгоритмів роботи під час експлуатації.

Оперативна пам'ять SRAM використовується для зберігання змінних, проміжних результатів обчислень, а також стеку викликів підпрограм. Доступ до SRAM здійснюється значно швидше, ніж до енергонезалежних типів пам'яті, що забезпечує високу швидкодію при виконанні програм. Обсяг SRAM у мікроконтролерах AVR зазвичай є обмеженим, тому під час розробки програм особливу увагу приділяють оптимізації використання пам'яті та ефективному управлінню ресурсами.

Для зберігання конфігураційних параметрів, калібрувальних коефіцієнтів та результатів вимірювань, які повинні зберігатися при знеструмленні системи, використовується EEPROM. Цей тип пам'яті характеризується меншою швидкістю доступу порівняно з SRAM, проте забезпечує довготривале збереження інформації. У вимірювальних та діагностичних системах EEPROM відіграє важливу роль, оскільки дозволяє зберігати налаштування приладу між циклами роботи.

Схема організації пам'яті AVR (Flash, SRAM, EEPROM) наведена на рис.2.4.

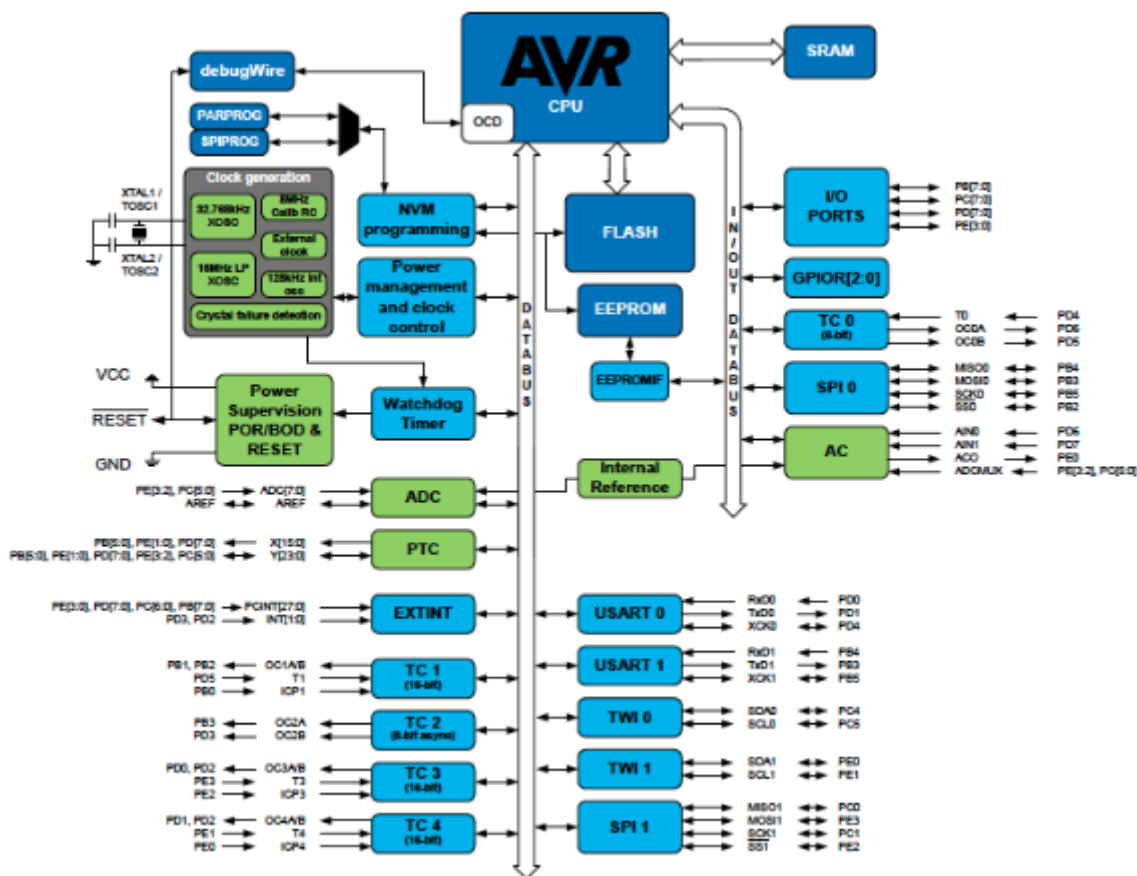


Рисунок 2.4 – Схема організації пам'яті в мікроконтролері

Значне місце у структурі мікроконтролерів AVR займають порти введення-виведення, які забезпечують фізичний зв'язок між мікроконтролером і зовнішнім середовищем. Кожен порт складається з кількох ліній, які можуть бути програмно налаштовані як входи або виходи. Це дозволяє підключати до мікроконтролера датчики, виконавчі механізми, індикатори та інші периферійні пристрої. Керування станом портів здійснюється через спеціальні регістри, доступ до яких реалізовано за допомогою стандартних інструкцій.

Порти введення-виведення тісно інтегровані з системою переривань, що дозволяє реагувати на зміну стану зовнішніх сигналів практично миттєво. Такий механізм особливо важливий у системах реального часу, де необхідно забезпечити швидку реакцію на події, наприклад, перевищення порогових значень вимірюваних параметрів або надходження даних з інтерфейсу зв'язку.

Окрему групу периферійних модулів складають таймери та лічильники, які використовуються для вимірювання часових інтервалів, формування сигналів з широтно-імпульсною модуляцією та синхронізації процесів усередині системи. Таймери AVR можуть працювати в різних режимах, що

дозволяє реалізовувати як прості затримки, так і складні алгоритми керування. Вимірювальні системи часто використовують таймери для точного визначення моментів зчитування даних з датчиків та синхронізації обміну інформацією з іншими пристроями.

Система переривань є одним із ключових механізмів забезпечення роботи мікроконтролера у реальному часі. Вона дозволяє обробляти події з різним пріоритетом, забезпечуючи своєчасну реакцію на зовнішні та внутрішні сигнали. У мікроконтролерах AVR передбачена можливість апаратного маскування переривань, що дає змогу тимчасово забороняти їх обробку під час виконання критичних ділянок програми.

Інтерфейси зв'язку, такі як UART, SPI та I²C, забезпечують обмін даними між мікроконтролером і зовнішніми пристроями або комп'ютерними системами. UART використовується для асинхронного послідовного обміну даними і часто застосовується для зв'язку з персональним комп'ютером або сервером. SPI та I²C дозволяють реалізувати високошвидкісний обмін інформацією з периферійними мікросхемами, датчиками та іншими мікроконтролерами. Схеми інтерфейсів наведено на рис.2.5.

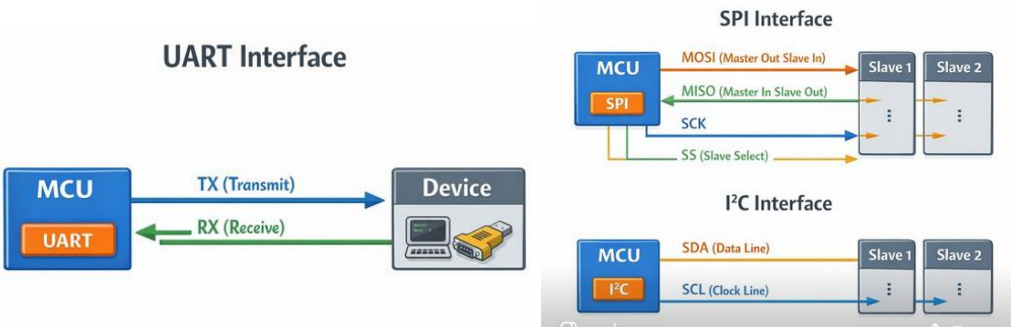


Рисунок 2.5 - Інтерфейси зв'язку мікроконтролера AVR

Технічні можливості мікроконтролерів AVR, їх основні характеристики, які є типовими для представників сімейства megaAVR наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Основні технічні характеристики мікроконтролерів AVR

Параметр	Значення
Розрядність процесора	8 біт
Максимальна тактова частота	до 20 МГц
Тип архітектури	Модифікована Гарвардська
Пам'ять програм	
Оперативна пам'ять	

Енергонезалежна пам'ять	
Інтерфейси зв'язку	
Периферійні модулі	Таймери, АЦП, PWM
Робота в реальному часі	Підтримується

Мікроконтролери AVR являють собою універсальну апаратну платформу для створення вбудованих комп'ютерних систем різного призначення. Їх архітектурні особливості, багатий набір периферійних модулів і можливості роботи у режимі реального часу роблять їх доцільним вибором для реалізації систем діагностики, зокрема комп'ютерної системи діагностики вольтамперфазоміра МІРА-А, де необхідні висока надійність, точність обробки вимірювальних даних та зручність інтеграції з комп'ютерною мережею.

2.1.2 Обґрунтування вибору мікроконтролеру

Базовим елементом пристрою діагностики був вибраний мікроконтролер фірми ATMEL AVR Attiny44A. Мікроконтролер ATtiny44A належить до сімейства 8-бітних мікроконтролерів AVR компанії Atmel (нині Microchip Technology) і призначений для використання у вбудованих системах з обмеженими апаратними ресурсами, де ключовими вимогами є низьке енергоспоживання, компактні габарити та достатня обчислювальна продуктивність для керування периферійними пристроями. Завдяки поєднанню RISC-архітектури, розвиненої системи периферійних модулів і гнучких режимів енергозбереження, ATtiny44A широко застосовується у вимірювальних приладах, системах автоматизації, портативних пристроях та допоміжних модулях керування.

Архітектурно ATtiny44A базується на класичній гарвардській архітектурі AVR, яка передбачає розділення пам'яті програм і пам'яті даних та наявність окремих шин доступу до них. Такий підхід дозволяє одночасно виконувати вибірку інструкцій і доступ до даних, що підвищує швидкодію у порівнянні з архітектурою фон Неймана за однакової тактової частоти. Центральне процесорне ядро реалізує набір з 32 універсальних робочих регістрів,

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

безпосередньо з'єднаних з арифметико-логічним пристроєм, що забезпечує виконання більшості інструкцій за один тактовий цикл.

ATtiny44A інтегрує у одному кристалі центральне процесорне ядро, пам'ять програм, пам'ять даних, блоки введення-виведення, таймери, аналого-цифровий перетворювач та інтерфейси послідовного обміну даними. Узагальнена структурна схема мікроконтролера ATtiny44A включає ядро CPU, Flash-пам'ять для зберігання програм, оперативну пам'ять SRAM для зберігання змінних, EEPROM для збереження даних при знеструмленні, а також периферійні модулі, підключені до внутрішньої системної шини. На рисунку відображено принцип інтеграції функціональних блоків, характерний для більшості мікроконтролерів AVR сімейства ATtiny.

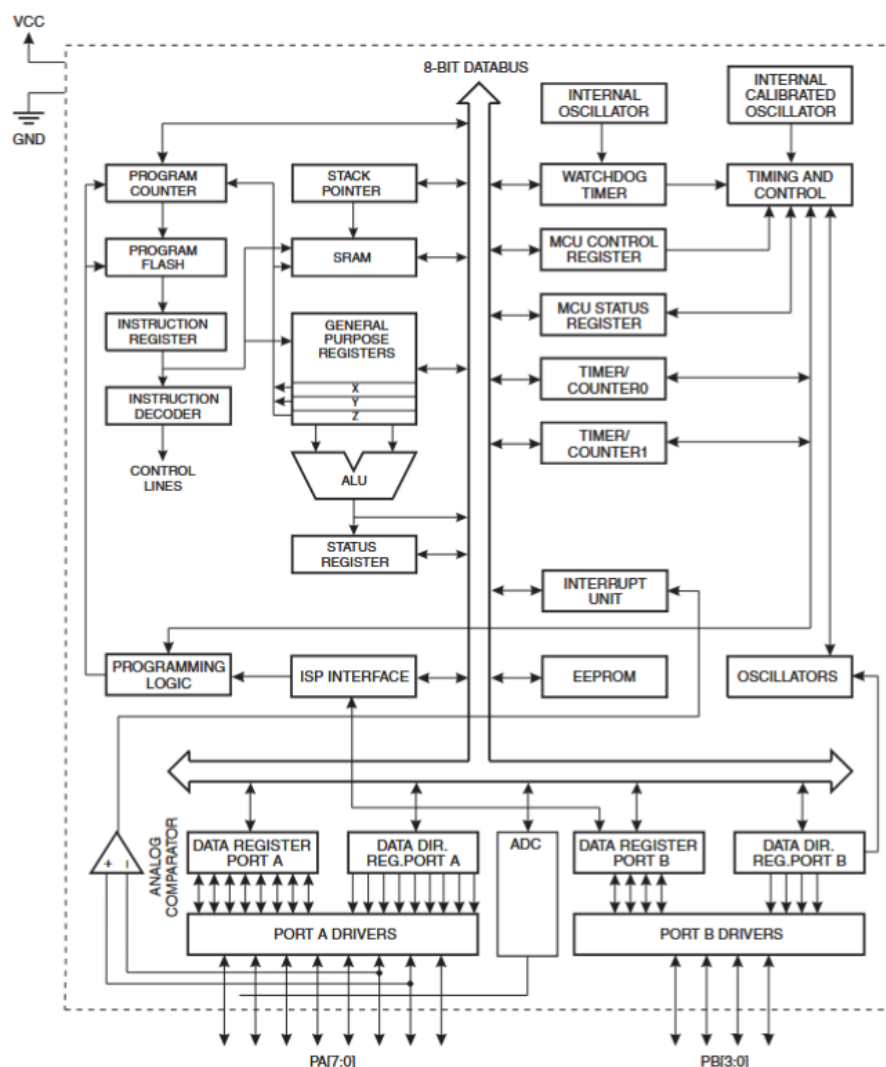


Рисунок 2.6 - Узагальнена структурна схема мікроконтролера ATtiny44A

Процесорне ядро ATtiny44A реалізує 8-бітну RISC-архітектуру з фіксованою довжиною інструкцій, оптимізовану для ефективного виконання керуючих алгоритмів. Наявність 32 робочих регістрів загального призначення дозволяє значно зменшити кількість звернень до оперативної пам'яті, що позитивно впливає на швидкодію та енергоспоживання. Арифметико-логічний пристрій підтримує операції додавання, віднімання, логічні операції, зсуви та операції множення, що виконуються апаратно.

Система переривань ATtiny44A забезпечує реакцію на зовнішні та внутрішні події з мінімальною затримкою. Кожне джерело переривання має власний вектор, що дозволяє гнучко організовувати пріоритети обробки подій.

Мікроконтролер ATtiny44A містить декілька типів пам'яті, кожен з яких виконує окрему функцію у процесі роботи пристрою (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Характеристики пам'яті ATtiny44A

Тип пам'яті	Обсяг	Призначення
	4 КБ	Зберігання програми користувача
	256 Б	Оперативні змінні та стек
	256 Б	Збереження даних при вимкненні живлення

Flash-пам'ять призначена для зберігання виконуваного коду і підтримує багаторазове перезаписування. EEPROM використовується для збереження калібрувальних коефіцієнтів, налаштувань або результатів вимірювань, які повинні зберігатися після вимкнення живлення. SRAM забезпечує швидкий доступ до змінних і використовується для організації стеку викликів підпрограм.

ATtiny44A оснащений універсальними портами введення-виведення, кожен з яких може бути сконфігурований програмно як вхід або вихід. Кожна лінія порту має індивідуальний керуючий регістр, що дозволяє гнучко налаштовувати напрямок передачі даних, підтягувальні резистори та альтернативні функції.

Порти введення-виведення тісно інтегровані з периферійними модулями, такими як таймери, аналого-цифровий перетворювач і послідовні інтерфейси, що дозволяє використовувати одні й ті самі виводи для різних функцій залежно від конфігурації системи.

Мікроконтролер містить 8-бітні таймери/лічильники, які можуть працювати у режимах лічильника імпульсів, таймера з порівнянням або генератора сигналів PWM. Таймери застосовуються для формування часових інтервалів, реалізації програмних затримок, генерації ШІМ-сигналів для керування виконавчими пристроями, а також для вимірювання частоти та тривалості імпульсів.

ATtiny44A оснащений 10-бітним аналого-цифровим перетворювачем з мультиплексованими входами, що дозволяє підключати декілька аналогових джерел сигналу. ADC підтримує вибір опорної напруги та різні режими запуску перетворення, що робить його придатним для використання у вимірювальних системах.

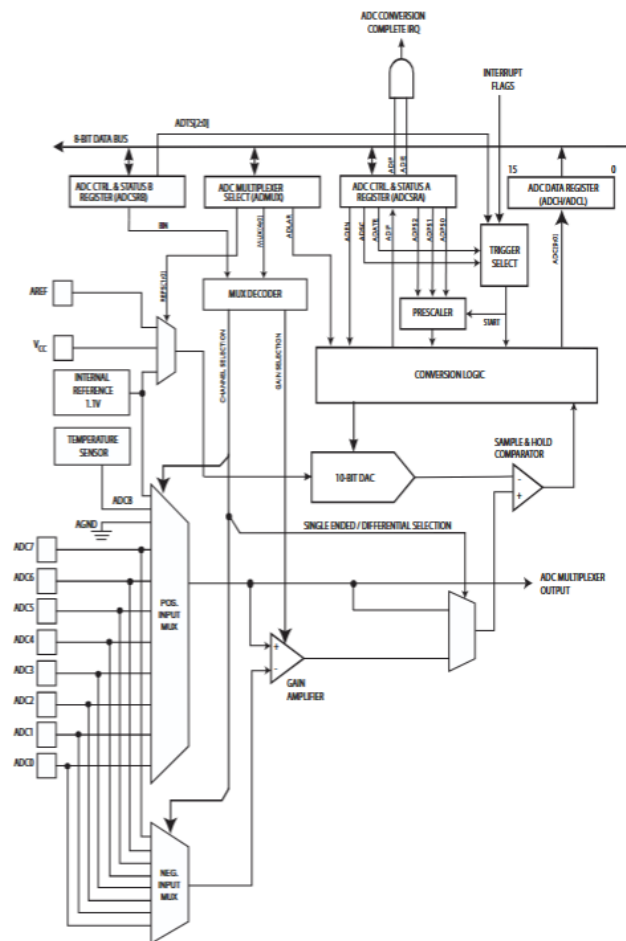


Рисунок 2.7 - Структурна схема аналого-цифрового перетворювача ATtiny44A

Для обміну даними з зовнішніми пристроями ATtiny44A підтримує послідовні інтерфейси, зокрема універсальний асинхронний приймач-передавач (UART, реалізований програмно або через USI), синхронний

інтерфейс SPI та дволінійну шину I²C. Ці інтерфейси дозволяють організовувати зв'язок з датчиками, пам'яттю, іншими мікроконтролерами або комп'ютерними системами.

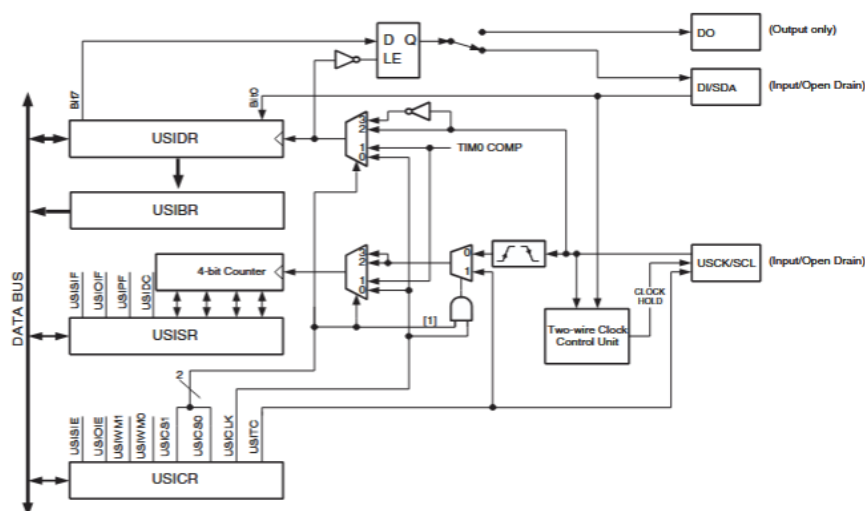


Рисунок 2.8 - Universal Serial Interface (USI), блок-діаграма модуля комунікації мікроконтролера ATtiny44A

Однією з ключових переваг ATtiny44A є наявність розвиненої системи енергозбереження. Мікроконтролер підтримує декілька режимів сну, у яких відключаються окремі функціональні блоки з метою зменшення споживаного струму. Це дозволяє використовувати пристрій у автономних системах з живленням від батарей або акумуляторів.

Завдяки поєднанню компактності, функціональності та низького енергоспоживання, мікроконтролер ATtiny44A є доцільним вибором для побудови діагностичних та вимірювальних модулів, зокрема допоміжних пристроїв збору та попередньої обробки даних у складі комп'ютерних систем діагностики.

2.1.3 Розробка схеми пристрою

Пристрій підключається до ПК за допомогою USB порту (роз'єм XP3) стандартним дротом типу А-В (з одного кінця дроту знаходиться штекер USB типу А, з іншого - типу В). Оскільки більшість сучасних комп'ютерів працює з рівнями сигналів порту USB рівними 3,3В, паралельно кожній лінії даних в

пристрої встановлено стабілітрон на напругу близько 3,6В. Причиною такого рішення є необхідність сумісності розроблюваного пристрою з рівнями сигналів 5В, що подаються на його паралельний вхід. Для майбутнього вдосконалення на платі пристрою передбачається встановлення інтегрального стабілізатору на напругу 3,3В, при цьому стабілітрони на лініях даних будуть не потрібні. Інтегральний стабілізатор на схемі пристрою обведено пунктирною лінією. При збірці пристрою у випадку не використання інтегрального стабілізатора, тобто коли потрібно, щоб пристрій працював з сигналами рівня 5В, необхідно встановити резистор-перемичку R1.

Згідно специфіки порту USB версії 1.1 на лінію D - встановлюється підтягуючий резистор щоб хост-контролер (ПК) зміг визначити що до нього підключено пристрій та яку версію інтерфейсу він підтримує і почати роботу.

Для захисту хост-контролеру та мікроконтролеру в пристрої від випадкових виходів із строю в кожен ліній даних встановлено струмознижуючі резистори які захистять лінії мікроконтролеру від виходу зі строю при поломках порту ПК, або навпаки.

Пристрій починає працювати одразу після подачі напруги живлення; через резистор R1 починає текти струм створюючи потенціал високого рівня (логічну одиницю) на виводі скидання мікроконтролеру. Оскільки лінія скидання є інверсною при появи на ній логічної одиниці мікроконтролер переходить в режим роботи.

Як вже було сказано, на платі пристрою можливе встановлення інтегрального стабілізатора для зниження напруги живлення пристрою до рівня 3,3В. Для пристрою було обрано мікросхему Low drop-out стабілізатора. Даний стабілізатор має невелику вартість і не є дефіцитним, а також має дуже багато аналогів від різних виробників.

За допомогою конденсаторів C1..C3 виконується фільтрація завад в ланцюгах живлення, що підвищує надійність роботи мікроконтролеру. Завади можуть передаватися як від ПК так і наводитися на з'єднувальні дроти сторонньою апаратурою. Конденсатори C1, C2 встановлюються як можливо ближче до виводу живлення МК і призначені для фільтрування завад з високою

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

частотою. Електролітичний конденсатор С3 встановлюється поблизу роз'єму

В пристрої присутній орган індикації — світлодіод HL1 який сигналізує про наявність напруги живлення в схемі. Вихідні дані подаються від пристрою тестування на пристрій зв'язку через роз'єм XP1. Даний роз'єм містить 16 контактів, розташованих в два ряди; вісім контактів призначені для підключення ланцюгів даних, а інші вісім для об'єднання загальних ланцюгів приладів. Програмування мікроконтролеру виконується через спеціальний роз'єм для внутрішнього схемного програмування (роз'єм XP2). На роз'єм виведено інтерфейс програмування SPI, лінія скидання мікроконтролеру, а також ланцюг живлення, який дозволяє виконати програмування МК з живленням всього пристрою від програматору.

2.2 Розробка печатної плати

2.2.1 Обґрунтування вибору САПР

Внаслідок детального аналізу систем проектування друкованих плат, вибір зупинено на системі P-CAD. Саме ця САПР була обрана серед інших через наступні свої переваги:

- а) Велика поширеність P-CAD дозволяє знайти практично будь яку бібліотеку елементів, що значно скорочує час підготовки проектування ПП.
- б) Системні вимоги програми P-CAD дозволяють комфортно працювати з даним пакетом навіть на не потужних ПК.
- в) Основна перевага P-CAD – наявність програми автоматичного розміщення компонентів і трасування провідників SPECTRA, яка дозволяє підвищити ефективність трасування і автоматичного розміщення компонентів на платі.

2.2.2 Компоновка елементів проектного пристрою

Компоновка елементів на печатній платі проводилася з дотриманням наступних критеріїв:

- розміщувати елементи так, щоб отримати мінімальну сумарну довжину всіх ланцюгів;
- забезпечити мінімальну відстань між функціонально зв'язаними один із одним елементами;
- розміщення окремих елементів здійснювати з урахуванням вимог до конструкції (елементи передньої панелі, з'єднувачі, органи управління тощо);
- враховувати технологічні обмеження на збірку пристрою;
- враховувати розміри та форму плати, виходячи з конкретних місць установки;
- враховувати місця кріплення печатної плати.

Необхідно також враховувати розміщення елементів в порядку зменшення кількості задіяних у них виводів. Тобто компоновка проводилася, починаючи з найбільшого елемента, потім навколо нього розташовувалися менші за розмірами елементи, та закінчувалася компоновка розміщенням простих двовивідних елементів.

В пристрої використані радіоелементи, що випускаються в стандартизованих промисловістю корпусах. Креслення всіх корпусів для розробки посадкових місць було взято з офіційних документів на радіодеталі від виробників. В таблиці 2.5 наведено перелік типів корпусів відповідно до деталі.

Таблиця 2.5 – Перелік типів корпусів

Позиційне позначення	Тип корпусу
C1,C2,C5	SMD0603
C3	SMD3528
C4	SMD6032
DA1	SOT-223
DD1	SOIC-14
HL1	SMD0805
R1..R6	SMD0603

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

Позиційне позначення	Тип корпусу
XP1	BH-16
XP2	BH-10
XP3	USB-BM

2.3 Розробка програмного забезпечення мікроконтролеру

2.3.1 Розробка програми формування пакета даних для мікроконтролеру

Відповідно до постановки завдання на кваліфікаційну роботу потрібно написати програму формування пакета даних для мікроконтролеру, в якому перші два біти будуть номером ПК (відповідно 00, 01, 10 і 11), наступні 8 біт – вхідний потік даних.

При включенні пристрою відбувається ініціалізація мікроконтролера.

Після завершення цієї процедури пристрій діє під управлінням мікропрограми і в циклі виконує задані їй дії.

– мікроконтролер циклічно зчитує дані з вхідного восьмирозрядного порту. В разі, якщо дані є кодовою комбінацією №1, вони доповнюються номером ПК, який повинен обробляти дану комбінацію (00), після чого десяти біт даних відправляються згідно використовуваному протоколу передачі;

– у випадках, якщо дані є кодовою комбінацією №2 або №3, або №4, вони доповнюються номером відповідного ПК (01, 10, 11) і після цього здійснюється їх пересилка на ПК, до якого підключений розроблений пристрій;

– якщо 8 біт даних не відповідають жодній з оброблюваних комбінацій, вони ігноруються;

– мікроконтролер працює в безкінечному циклі, який може бути перерваний виключенням пристрою. Програма-прошивка для мікроконтролеру представлена у додатку А.

2.3.2 Розробка програми-драйверу

2.3.2.1 Інтерфейс USB у системі зв'язку пристрою діагностики з персональним комп'ютером

У сучасних комп'ютерних системах діагностики важливу роль відіграє надійний, універсальний та стандартизований інтерфейс обміну даними між вимірювальним або керуючим пристроєм і персональним комп'ютером. Одним із найбільш поширених та технологічно розвинених інтерфейсів такого типу є Universal Serial Bus (USB), який забезпечує високошвидкісну передачу даних, підтримку автоматичної конфігурації пристроїв та сумісність з широким спектром апаратного і програмного забезпечення. У даній роботі інтерфейс USB використовується як основний канал зв'язку між пристроєм діагностики вольтамперфазоміру МІРА-А та персональним комп'ютером.

Інтерфейс USB було розроблено з метою уніфікації способів підключення периферійних пристроїв до обчислювальних систем. Його архітектура ґрунтується на ієрархічній топології типу «ведучий–підлеглий», де роль ведучого завжди виконує хост, яким у даному випадку є персональний комп'ютер. Пристрій діагностики виступає у ролі USB-периферії та не може ініціювати передачу даних самостійно, а лише відповідає на запити хоста або передає дані у дозволені часові інтервали.

Фізичний рівень USB передбачає використання диференціальної пари ліній даних D+ та D–, а також ліній живлення VBUS і загального проводу GND. Диференціальний спосіб передавання сигналів забезпечує високу завадостійкість і дозволяє зменшити вплив електромагнітних перешкод, що є особливо важливим для діагностичних систем, які працюють у промислових або лабораторних умовах. Живлення через USB може використовуватися як основне або допоміжне джерело енергії для пристрою діагностики, що спрощує його конструкцію та зменшує кількість зовнішніх компонентів.

На логічному рівні обмін даними в USB організовано у вигляді транзакцій, які складаються з пакетів різних типів. Кожна транзакція

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арх
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

ініціюється хостом і може включати пакет токена, пакет даних та пакет підтвердження. Такий підхід дозволяє забезпечити контроль цілісності переданої інформації, повторну передачу у разі виникнення помилок та ефективно керування пропускнуою здатністю шини. Для перевірки достовірності даних у USB використовується контрольна сума CRC, що підвищує надійність обміну між пристроєм діагностики та комп'ютером.

Залежно від вимог до швидкості передавання інформації та складності реалізації, інтерфейс USB підтримує декілька режимів роботи. Для більшості діагностичних пристроїв, зокрема систем збору та аналізу вимірювальних даних, достатнім є режим Full Speed зі швидкістю до 12 Мбіт/с. Цей режим забезпечує оптимальний баланс між швидкодією та апаратною складністю, що дозволяє реалізувати USB-інтерфейс навіть на мікроконтролерах з обмеженими ресурсами або із застосуванням зовнішніх USB-UART перетворювачів.

Важливою особливістю USB є механізм автоматичного розпізнавання та конфігурації пристроїв, відомий як enumeration. Після фізичного підключення пристрою діагностики до комп'ютера хост ініціює процедуру опитування, у ході якої зчитуються стандартні дескриптори USB. Ці дескриптори містять інформацію про тип пристрою, його функціональне призначення, підтримувані режими роботи та параметри обміну даними. Завдяки цьому операційна система автоматично визначає пристрій і завантажує відповідний драйвер або використовує стандартні класові драйвери.

Для спрощення програмної інтеграції пристрою діагностики з комп'ютером доцільним є використання стандартних USB-класів. Найпоширенішим рішенням у вимірювальних та діагностичних системах є застосування класу CDC (Communications Device Class), який дозволяє представити USB-пристрій у вигляді віртуального послідовного порту. У такому випадку програмне забезпечення на стороні ПК може взаємодіяти з пристроєм за допомогою стандартних засобів роботи з COM-портами, що значно спрощує розробку та підвищує сумісність з різними операційними системами.

У структурі пристрою діагностики USB-інтерфейс виконує роль шлюзу

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						61
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

між внутрішніми модулями обробки даних і зовнішнім програмним середовищем комп'ютера. Дані, отримані від аналого-цифрових перетворювачів або інших вимірювальних вузлів, передаються через мікроконтролер до USB-інтерфейсу, де вони упаковуються у відповідний формат і надсилаються хосту. У зворотному напрямку через USB можуть передаватися команди керування, параметри конфігурації або запити на виконання діагностичних процедур.

З точки зору надійності та безпеки функціонування системи, USB-інтерфейс також забезпечує захист від некоректних режимів роботи. Контроль напруги живлення, обмеження струму та програмні механізми перевірки коректності команд дозволяють запобігти пошкодженню як пристрою діагностики, так і персонального комп'ютера. Крім того, використання протоколу USB полегшує реалізацію криптографічного захисту переданих даних, зокрема шифрування та автентифікації, що є актуальним для систем діагностики з підвищеними вимогами до інформаційної безпеки.

Таким чином, застосування інтерфейсу USB для підключення пристрою діагностики до персонального комп'ютера є технічно обґрунтованим та доцільним рішенням. USB забезпечує високу універсальність, достатню пропускну здатність, простоту інтеграції з програмним забезпеченням та можливість масштабування системи. Використання цього інтерфейсу дозволяє створити сучасну комп'ютерну систему діагностики, що відповідає вимогам надійності, зручності експлуатації та сумісності з широким колом апаратних платформ.

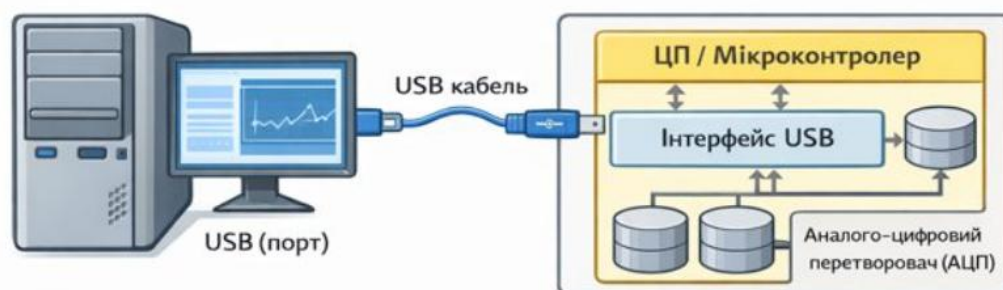


Рисунок 2.9 - Структура USB-з'єднання пристрою діагностики з ПК

На рисунку 2.9 зображено структуру USB-з'єднання між персональним

комп'ютером та пристроєм діагностики, яка відображає основні функціональні блоки та напрямки обміну інформацією. Персональний комп'ютер у даній системі виконує роль ведучого пристрою (USB-хоста), через стандартний USB-порт якого здійснюється підключення зовнішнього діагностичного модуля. З боку комп'ютера обмін даними реалізується програмними засобами операційної системи, які забезпечують ініціалізацію USB-пристрою, керування передачею даних та їх подальшу обробку і візуалізацію.

Фізичне з'єднання між комп'ютером і пристроєм діагностики здійснюється за допомогою USB-кабелю, який одночасно забезпечує передавання цифрових даних та, за необхідності, живлення електронних компонентів пристрою. Передача інформації по USB-інтерфейсу відбувається у вигляді пакетів, що формуються хостом і обробляються периферійним пристроєм відповідно до протоколу USB.

У складі пристрою діагностики центральним елементом є мікроконтролер, який виконує функції керування, обробки вимірювальних даних та організації зв'язку з персональним комп'ютером. До мікроконтролера безпосередньо підключено USB-інтерфейс, який може бути реалізований як вбудований апаратний модуль або у вигляді зовнішнього USB-UART перетворювача. USB-інтерфейс відповідає за приймання команд від комп'ютера, передачу результатів вимірювань та забезпечення протокольної взаємодії з хостом.

Дані, що підлягають передаванню на персональний комп'ютер, формуються у внутрішніх модулях пристрою діагностики. Зокрема, аналогові сигнали, отримані з вимірювальних каналів, надходять на аналого-цифровий перетворювач, де вони перетворюються у цифрову форму. Результати аналого-цифрового перетворення передаються до мікроконтролера, який виконує їх попередню обробку, буферизацію та підготовку до передачі через USB-інтерфейс.

У зворотному напрямку через USB-з'єднання можуть передаватися керуючі команди, параметри налаштування або запити на виконання певних діагностичних процедур. Мікроконтролер приймає ці команди, аналізує їх та

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідним чином змінює режими роботи аналого-цифрового перетворювача або інших функціональних блоків пристрою. Таким чином, USB-інтерфейс забезпечує двосторонній обмін даними між персональним комп'ютером і пристроєм діагностики.

Зображена структура демонструє, що USB-інтерфейс виконує роль універсальної комунікаційної шини, яка поєднує програмне середовище персонального комп'ютера з апаратними засобами збору та обробки вимірювальної інформації. Використання такого підходу дозволяє реалізувати гнучку комп'ютерну систему діагностики, у якій обчислювальні ресурси ПК використовуються для аналізу, зберігання та візуалізації даних, а мікроконтролер зосереджується на виконанні функцій вимірювання та первинної обробки сигналів.

2.3.3 Шифрування інформації методом RSA

Захист інформації у комп'ютерних системах діагностики є необхідною умовою забезпечення конфіденційності та достовірності даних, що передаються між вимірювальними пристроями, персональними комп'ютерами та серверними компонентами. Одним із найбільш відомих та широко застосовуваних алгоритмів асиметричного шифрування є метод RSA, який ґрунтується на складності обчислювальної задачі факторизації великих цілих чисел. Алгоритм RSA дозволяє реалізувати механізми захищеного обміну даними та електронного цифрового підпису без необхідності попередньої передачі секретного ключа захищеним каналом.

Математична основа алгоритму RSA базується на властивостях модульної арифметики та функції Ейлера. На першому етапі формування криптосистеми випадковим чином обираються два великі прості числа p та q . На їх основі обчислюється модуль шифрування

$$n=p \cdot q$$

який використовується як у відкритому, так і у закритому ключі. Далі визначається значення функції Ейлера для числа nn

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						64
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varphi(n)=(p-1)(q-1).$$

Наступним кроком є вибір цілого числа e , яке задовольняє умові

$$1 < e < \varphi(n), \quad \gcd(e, \varphi(n)) = 1$$

де $\gcd$ - найбільший спільний дільник. Число e є показником відкритого ключа. Після цього обчислюється закритий ключ d як мультиплікативна обернена величина до e за модулем $\varphi(n)$

$$d \equiv e^{-1} \pmod{\varphi(n)}$$

Таким чином, відкритий ключ має вигляд пари чисел (e, n) , а закритий ключ - (d, n) . Відкритий ключ може вільно розповсюджуватися, тоді як закритий ключ повинен зберігатися в таємниці.

Процес шифрування інформації в алгоритмі RSA полягає у перетворенні відкритого повідомлення M , представленого у вигляді цілого числа, меншого за n , у зашифроване повідомлення C за формулою

$$C = M^e \pmod n$$

Дешифрування зашифрованого повідомлення здійснюється за допомогою закритого ключа відповідно до виразу

$$M = C^d \pmod n$$

Коректність роботи алгоритму гарантується теоремою Ейлера та властивостями модульної експоненти, що забезпечують відновлення початкового повідомлення лише при використанні правильного значення закритого ключа.

На практиці повідомлення, що шифруються, зазвичай мають вигляд послідовності байтів або бітів, тому перед застосуванням RSA виконується перетворення даних у числовий формат. Для цього блоки даних інтерпретуються як великі цілі числа або застосовуються спеціальні криптографічні схеми доповнення. Такі схеми підвищують стійкість алгоритму до атак, пов'язаних з аналізом структури відкритого тексту.

Алгоритм RSA також широко використовується для формування електронного цифрового підпису. У цьому випадку хеш-значення повідомлення $H(M)$ підписується закритим ключем відправника за формулою

$$S = H(M)^d \bmod n$$

а перевірка підпису здійснюється з використанням відкритого ключа

$$H(M) = S^e \bmod n$$

Такий механізм дозволяє підтвердити автентичність джерела даних та цілісність інформації, що є особливо важливим для систем діагностики вимірювальних приладів.

Криптографічна стійкість алгоритму RSA визначається складністю задачі факторизації модуля n на прості множники p та q . За сучасного рівня розвитку обчислювальної техніки вважається, що при довжині ключа 2048 біт і більше виконання факторизації за прийнятний час є практично неможливим. Водночас використання менших розмірів ключів або неякісних генераторів простих чисел може значно знизити рівень захисту інформації.

У вбудованих системах та мікроконтролерних пристроях алгоритм RSA застосовується обмежено через значну обчислювальну складність операцій модульного піднесення до степеня. Тому у практичних реалізаціях RSA часто використовується для безпечного обміну симетричними ключами, після чого основний потік даних шифрується швидшими симетричними алгоритмами.

Таким чином, алгоритм RSA є надійним і теоретично обґрунтованим методом асиметричного шифрування, який дозволяє забезпечити захист інформації у комп'ютерних системах діагностики. Його використання у складі програмного забезпечення серверної частини та персонального комп'ютера дає змогу реалізувати захищений обмін даними, що відповідає сучасним вимогам інформаційної безпеки.

2.3.4 Опис програми-драйверу

У складі розробленої комп'ютерної системи діагностики важливу роль відіграє програмне забезпечення, що забезпечує обмін даними між персональним комп'ютером та діагностичним пристроєм, а також захист переданої інформації від несанкціонованого доступу. Для реалізації цих функцій було розроблено програмний драйвер мовою C/C++, який поєднує в

собі механізми криптографічного захисту на основі алгоритму RSA та засоби обміну даними через USB-інтерфейс із використанням бібліотеки libusb.

Програма реалізована у вигляді одного вихідного файлу та призначена для роботи в середовищі операційної системи Windows. Вона використовує стандартні бібліотеки мови C/C++ для введення-виведення, роботи з файлами та математичних обчислень, а також зовнішню бібліотеку libusb для безпосереднього доступу до USB-пристроїв без необхідності встановлення спеціалізованих драйверів ядра.

Структурно програму можна поділити на кілька логічних блоків:

- блок криптографічних функцій (шифрування та дешифрування методом
- блок допоміжних математичних функцій;
- блок роботи з файлами;
- блок взаємодії з USB-пристроєм;
- головний керуючий модуль, що координує виконання програми.

Така модульна побудова спрощує аналіз, супровід та можливу модифікацію програмного забезпечення.

Для реалізації алгоритму RSA у програмі використовуються допоміжні функції, що забезпечують виконання базових математичних операцій. Зокрема, реалізовано функцію піднесення числа до степеня з використанням цілочисельної арифметики, а також функцію перевірки числа на простоту. Остання використовується під час формування параметрів криптосистеми RSA, оскільки алгоритм вимагає використання двох великих простих чисел.

Функція шифрування реалізує класичний алгоритм RSA. На першому етапі користувач задає два великі прості числа p та q , на основі яких обчислюється модуль:

$$n = p \cdot q$$

Далі користувач вводить секретний ключ d , який має бути взаємно простим із значенням функції Ейлера:

$$\varphi(n) = (p - 1)(q - 1)$$

Після цього задається відкритий ключ e , для якого виконується умова:

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$e \cdot d \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$$

Таким чином формується пара ключів RSA: відкритий ключ (e, n) та закритий ключ (d, n) .

Шифрування вхідного повідомлення виконується побайтово. Символи зчитуються з текстового файлу, перетворюються у числове представлення та для кожного елемента обчислюється шифротекст за формулою:

$$C = M^e \bmod n$$

де M - числове представлення символу відкритого тексту, а C - відповідний елемент шифротексту.

Отримані зашифровані значення записуються у файл у вигляді послідовності чисел, розділених пробілами.

Процедура дешифрування є оберненою до шифрування. Користувач вводить закритий ключ d та модуль n , після чого програма зчитує зашифровані числові значення з файлу. Для кожного елемента шифротексту виконується операція:

$$M = C^d \bmod n$$

в результаті якої відновлюється числове представлення початкового повідомлення.

Отримані значення перетворюються у символи та записуються у файл, формуючи вихідний відкритий текст. Таким чином забезпечується повний цикл криптографічного захисту інформації.

Програма використовує файловий механізм для збереження як відкритих, так і зашифрованих даних. Ім'я файлу задається користувачем, після чого до нього автоматично додається розширення. Це дозволяє спростити організацію збереження та повторної обробки інформації.

Для обміну даними з діагностичним пристроєм використовується бібліотека `libusb`. У програмі реалізовано функцію пошуку та відкриття USB-пристрою за ідентифікаторами виробника (VID) та продукту (PID). Додатково виконується перевірка рядкових дескрипторів виробника та назви пристрою, що підвищує надійність ідентифікації обладнання.

Обмін даними здійснюється за допомогою керуючих USB-запитів.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Програма надсилає команди до пристрою та приймає відповіді у вигляді масивів байтів. Отримані дані аналізуються, після чого, залежно від їхнього вмісту, ініціюється процедура шифрування або формування вихідних пакетів даних для подальшої передачі.

У завершальній частині програми реалізовано передачу сформованих і зашифрованих даних із використанням мережевих функцій та механізмів керування з'єднанням. Це дозволяє інтегрувати драйвер у загальну комп'ютерну систему діагностики та забезпечити централізований збір і обробку інформації.

Розроблений програмний драйвер забезпечує повний цикл обробки даних у комп'ютерній системі діагностики: від приймання інформації з USB-пристрою до її криптографічного захисту та передачі. Використання алгоритму RSA дозволяє гарантувати конфіденційність даних, а застосування бібліотеки libusb забезпечує універсальність і незалежність від конкретних драйверів операційної системи. Запропоноване програмне рішення є придатним для використання у навчальних та прикладних системах діагностики мікропроцесорних пристроїв.

Висновок: у даному розділі було розглянуто мікроконтролери AVR, проведено обґрунтування вибору мікроконтролеру ATMEL AVR Attiny44A, спроєктована принципіальна схема пристрою та розроблена друкована плата, був розглянутий паралельний інтерфейс USB, розроблена програма драйвер для підключення пристрою діагностики до USB-порту, описано алгоритм шифрування RSA та розроблено програму шифрування цим методом Текст драйверу представлено в Додатку Б.

3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Вибір вхідних даних

Вихідні дані для проєктування корпоративної КМ вибираються за номерами варіантів n , m , k . За номером $n = \text{№}$ який є порядковим номером прізвища студента в журналі групи деталізується конфігурація КМ. За номером $m = \text{№} \bmod 8$, де задані технічні параметри Локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ). За номером $k = \text{№} \bmod 9$, вибирається IP адресація комп'ютерів в мережі.

3.1.1 Конфігурація проєктованої КМ

В єдину корпоративну КМ необхідно об'єднати 8 ЛКМ. Конфігурація такої КМ відповідає “дереву”. Гілками графа є ЛКМ. Номери гілок графа, з яких необхідно скласти конфігурацію корпоративної КМ, вибирається з табл. 3.1. Локальні КМ (гілки графа) з'єднані за допомогою маршрутизаторів А, В, С. Один з маршрутизаторів корпоративної КМ зазначений в табл. А1 [1], безпосередньо зв'язаний з маршрутизатором М глобальної КМ (ГКМ) – Internet. Для реалізації цього зв'язку мають використовуватись орендовані канали або лінії зв'язку.

Таблиця 3.1 – Конфігурація «дерева» графа корпоративної КМ

Номер вар-нту N	Номера гілок “дерева” які входять до корпоративної КМ									Інтеграція в Internet
										Марш-тор
3	2	5	6P	7V	8	9	11	12S		A

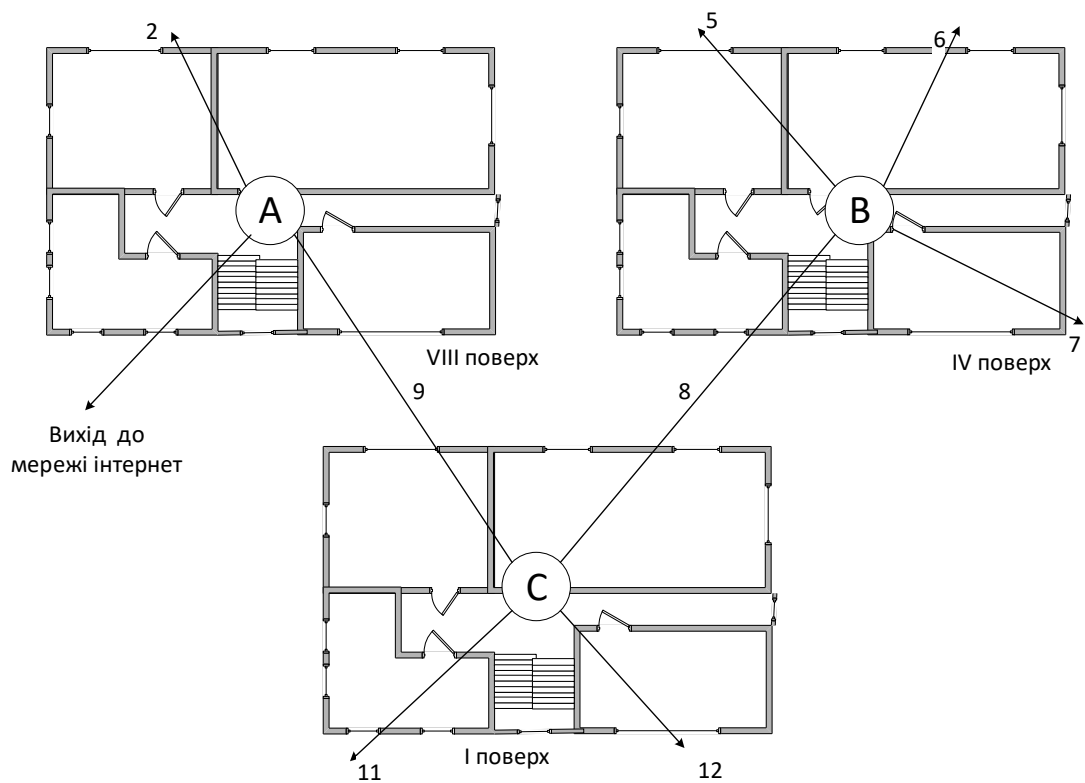


Рисунок 3.1 Загальний граф корпоративної КМ.

3.1.2 Технічні параметри КМ

Локальні КМ повинні проектуватись за вимогами міжнародних стандартів. Ці стандарти в першу чергу стосуються топології ЛКМ, методів доступу, параметрів середовища передавання, форматів кадрів, будови сегментів, об'єднання сегментів тощо [18].

У табл.3.2 подані посилання на стандарти, за якими мають проектуватись ЛКМ. У цій таблиці застосовані такі скорочення:

BT – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 10Base-T;

BF – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 100Base-FL;

B2 – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 100Base-2;

B5 – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 100Base-5;

TR – Стандарт IEEE 802.5.

В табл. 3.2. також для кожної ЛКМ подані такі її параметри: проектна кількість робочих станцій (PC) N та проектна протяжність L . Протяжність L задана як частина від довжини l де l – максимальна допустима довжина сегмента ЛКМ в мережах 100Base-2 і 100Base-5, або середня довжина відвідного кабелю

в мережах 10Base-T і Token Ring (між концентратором і PC) та в мережі 100Base-FL (між концентратором і трансивером). Середня протяжність інтерфейсного АUI кабелю $(30+n)\%$ від максимальної.

Таблиця 3.2 – Варіанти параметрів ЛКМ корпоративної КМ

Параметр ЛКМ	Номер гілки графа (ЛКМ)							
	2	5	6	7	8	9	11	12
Стандарт	BT	B5	B2	-	B5	B2	-	BF
Кількість PC, N	30-n	90+n	30+n	40-n	115-n	45-n	20+n	30-(n/2)
Протяжність, L	0.85l	Nl/60	Nl/30	0.8l	Nl/60	Nl/30	Nl/50	0.7l

У деяких проєктованих ЛКМ можна чекати інтенсивного обміну даними між PC (задана в табл.3.1, де V – відео, S – звук, P – зображення). Цю обставину необхідно враховувати при проєктуванні ЛКМ, використовуючи для змінення трафіка мости або ЛКМ швидкісних стандартів. Ознаки ЛКМ зі збільшеним трафіком, у нашому випадку, це не заданий стандарт ЛК і велика, більша за 90, кількість вузлів N в ЛКМ.

Для проєктування засобів зв'язку між маршрутизаторами корпоративної КМ та ГKM Internet використаний оптоволоконний зв'язок.

У проєктованій КМ передбачається використання спеціалізованих комп'ютерів – серверів (файлових, баз даних тощо). Кожний з серверів розташовано на кожному поверсі в серверній. Номера серверних надано в Табл. А4 [1].

Будинок має три поверхи. Всі поверхи мають однакове розташування кімнат. Основні розміри поверхів надані на рис. 3.2.

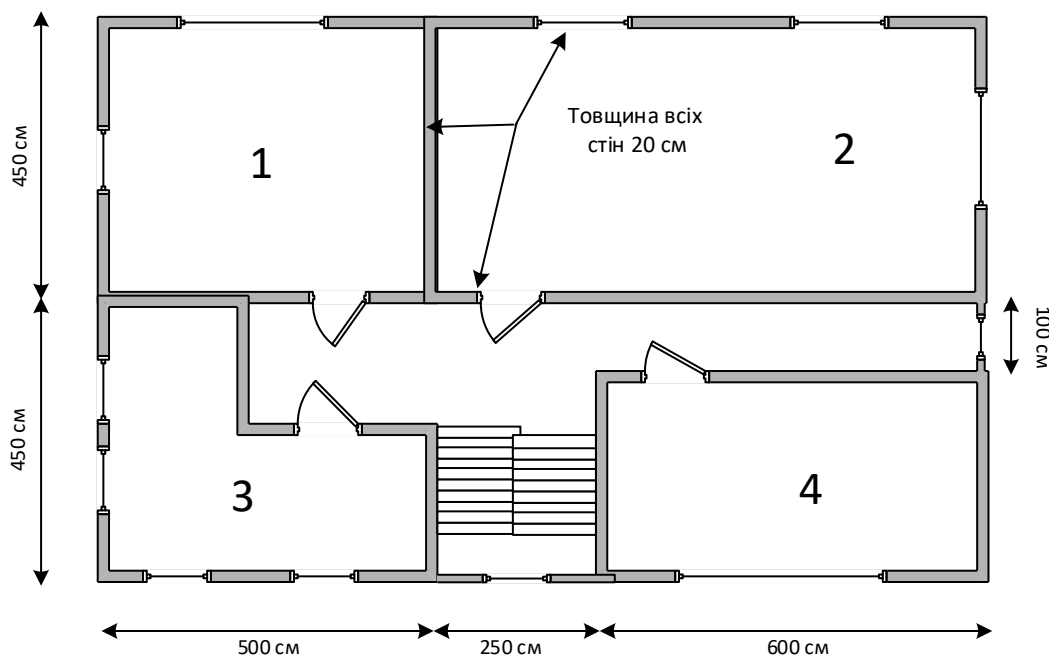


Рисунок 3.2 – Основні розміри кімнат на поверсі

Маршрутизатори КМ мають підтримувати міжмережний ряд протоколів TCP/IP, які забезпечать міжмережну маршрутизацію пакетів. Комп'ютери під управлінням ОС UNIX можуть використовуватись як маршрутизатори.

3.1.3 Адресація мереж та вузлів

Мережна адресація комп'ютерів в корпоративній КМ відповідає адресації в мережі Internet. Мережна IP-адреса Internet виділяється центром мережної інформації (DDN Network Information Center-InterNIC) і використовується для адресації пакетів даних на мережному рівні. Організації, які мають КМ з числом комп'ютерів до 256, можуть запитувати мережну адресу класу С. Для КМ з більшою кількістю комп'ютерів виділяється декілька IP-адрес класу С або одна класу В [20].

Варіанти гіпотетичних IP-адрес проєктованої корпоративної КМ зазначені в табл. 3.3. Також там подані IP-адреси вузла маршрутизатора Internet і зв'язаного з ним вузла маршрутизатора корпоративної КМ.

Рекомендується третій (Р) і четвертий (Х) байти (октети) заданої IP-адреси класу В використати для адресації відповідно підмережі та її вузлів. За

таким розподіленням байтів Р та Х можна створити 256 підмереж по 254 вузли в кожній. Для проєктованої КМ значення десяткового числа третього байта Р необхідно вибрати таким:

$$P = 8(n - 1) + i, \text{ де } i - \text{номер гілки "дерева" КМ.}$$

Старші біти четвертого байта (Х) ІР-адреси класу С також можна використати для адресації підмережі, а молодші – для нумерації вузлів. Якщо, наприклад, два старші біти четвертого байта Х використати для адресації підмережі, то в межах однієї ІР-адреси класу С можна створити чотири адреси підмереж і 62 номери вузлів у кожній.

Розподіл байтів, бітів ІР-адреси на адресу мережі чи підмережі та на номер вузла практично здійснюється за допомогою мережної маски. Цю маску задають у стартових файлах робочих станцій та маршрутизаторів [21].

В ЛКМ для адресації кадрів на каналному рівні використовуються фізичні адреси вузлів. В ЛКМ типу Ethernet фізичною адресою є глобальний шестибайтовий номер мережної інтерфейсної карти (Network Interface Card – NIC). Для прикладу в табл. 3.3 подані гіпотетичні номери NIC (Ethernet-адреси) деяких комп'ютерів однієї ЛКМ Ethernet з підвищеним трафіком.

Таблиця 3.3 – Варіанти адресації комп'ютерів в корпоративній КМ

Номер варіанту, К	ІР-адреси корпоративної КМ	ІР-адреси вузлів маршрутизаторів Internet та КМ	Internet – адреси деяких вузлів ЛКМ
3	200.30.20.X 200.30.21.X 200.30.22.X 200.30.23.X	198.88.34.17 198.88.34.18	08:C1:01:00:A3:B7 08:C1:11:09:08:C1 08:C1:11:31:C8:F1 08:C1:1B:18:93:28

3.2 Технічні параметри КМ

3.2.1 Порівняльна характеристика мереж Ethernet та Token Ring

Сучасні комп'ютерні мережі базуються на стандартизованих технологіях передачі даних, серед яких історично важливе місце займають мережі Ethernet та Token Ring. Обидві технології були розроблені для організації локальних обчислювальних мереж, проте вони істотно відрізняються за принципами доступу до середовища передачі, топологією, методами керування трафіком та експлуатаційними характеристиками.

Технологія Ethernet була запропонована у 1970-х роках і згодом стандартизована в межах сімейства стандартів IEEE 802.3. Вона ґрунтується на принципі спільного доступу до середовища передачі даних, де всі вузли мережі мають рівні права на ініціювання передачі. Початково Ethernet використовував метод множинного доступу з виявленням колізій CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Перед передачею даних вузол перевіряє стан каналу, а у разі одночасної передачі кількох станцій виникає колізія, яка виявляється, після чого передача повторюється з випадковою затримкою. Такий підхід забезпечує простоту реалізації та високу гнучкість, однак у разі значного навантаження може призводити до зниження ефективності використання пропускної здатності.

На відміну від Ethernet, технологія Token Ring була розроблена компанією IBM і стандартизована як IEEE 802.5. Основною особливістю Token Ring є детермінований метод доступу до середовища передачі, заснований на циркуляції спеціального маркера, або токена. Право на передачу даних має лише той вузол, який володіє токеном. Після завершення передачі маркер передається наступному вузлу логічного кільця. Такий механізм практично виключає колізії та забезпечує передбачувані затримки передачі, що є важливим для систем реального часу. Разом із тим реалізація Token Ring є складнішою, а вартість обладнання традиційно вища порівняно з Ethernet.

З точки зору топології, класичний Ethernet спочатку використовував фізичну шину, однак з розвитком технологій перейшов до зіркоподібної топології з використанням комутаторів. Token Ring логічно організований у вигляді кільця, навіть якщо фізично реалізується через концентратори типу MAU. Логічна кільцева структура накладає додаткові вимоги до працездатності вузлів, оскільки відмова одного елемента може вплинути на роботу всієї мережі, якщо не передбачено механізмів обходу несправного вузла.

Пропускна здатність мереж Ethernet у процесі еволюції значно зросла: від 10 Мбіт/с у ранніх версіях до 100 Мбіт/с, 1 Гбіт/с і більше в сучасних реалізаціях. Token Ring зазвичай працював на швидкостях 4 або 16 Мбіт/с, що з часом стало суттєвим обмеженням. Незважаючи на спроби підвищити

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						75
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість Token Ring, технологія поступово втратила конкурентоспроможність на тлі стрімкого розвитку Ethernet.

Важливим аспектом є також масштабованість і вартість розгортання. Ethernet характеризується простотою підключення нових вузлів, широкою підтримкою обладнання різних виробників та низькою вартістю мережевих компонентів. Token Ring, навпаки, вимагав спеціалізованого обладнання, що обмежувало його поширення та ускладнювало обслуговування мережі. З цієї причини Token Ring використовувався переважно в корпоративних мережах IBM і поступово був витіснений Ethernet.

Порівняльна характеристика цих стандартів представлена в табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняльна характеристика стандартів Ethernet і Token Ring

Характеристика	Ethernet	Token Ring
Стандарт IEEE	802.3	802.5
Метод доступу до середовища	CSMA/CD (у класичних реалізаціях)	Передача маркера (Token Passing)
Наявність колізій	Можливі	Відсутні
Логічна топологія	Шина / зірка	Кільце
Типові швидкості	10, 100, 1000 Мбіт/с і вище	4 або 16 Мбіт/с
Детермінованість затримок	Низька	Висока
Складність реалізації	Невисока	Вища
Вартість обладнання	Низька	Вища
Поширеність	Дуже широка	Обмежена, застаріла

Таким чином, порівняльний аналіз показує, що Ethernet є більш універсальною та економічно доцільною технологією для побудови локальних мереж загального призначення, включно з комп'ютерними системами діагностики та збору даних. Token Ring, попри свої переваги у вигляді детермінованого доступу до середовища, поступився Ethernet через складність, вищу вартість і обмежені можливості масштабування. У сучасних умовах Ethernet фактично став стандартом де-факто для локальних комп'ютерних мереж.

3.2.2 Обґрунтування будови ЛКМ

У корпоративній КМ, яку необхідно побудувати, задані такі стандарти:

BT – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 10Base-T;

B2 – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 10Base-2;

B5 – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 10Base-5;

BF – Стандарт IEEE 802.3, специфікація 100Base-FL.

Визначимо незадані стандарти. Гілки за номерами 6 та 9 є типовими локальними мережами, навантаження на дані вузли не є значним. Коаксіальний кабель в більшості мереж зараз замінюється крученою парою або оптичними кабелями, він важаться застарілим. Обирати стандарт, який використовує даний вид кабелю, недоцільно. Якщо брати до уваги оптоволокно: велика вартість кабелю, складність закладення конекторів (при якій потрібно зварювання скловолокна), необхідність застосування додаткових трансиверів, що перетворюють світлові сигнали в електричні і назад - все це помітно підвищує загальну вартість розгортання мережі, тому досі оптоволокно в локальних мережах застосовується рідше, ніж вита пара. Завдяки своїй дешевизні, легкості в установці і універсальності (може використовуватися в більшості мережевих технологій), неекранована вита пара зараз є найпоширенішим типом кабелю, використовуваним при побудові локальних мереж. Тому для локальних мереж 6 та 9 також обрано стандарт 10Base-T [23].

Розраховуємо кількість комп'ютерів для кожної мережі в залежності від номеру варіанту.

За вказаним номером варіанту: $n=3$

Гілка 2: $30-3=27$ робочих станцій;

Гілка 5: $90+3=93$ робочі станції;

Гілка 6: $30+3=33$ робочі станції;

Гілка 7: $40-3=43$ робочі станції;

Гілка 8: $115-3=112$ робочих станцій;

Гілка 9: $45-3=42$ робочі станції;

Гілка 11: $20+3=23$ робочі станції;

Гілка 12: $30-(3/2)=29$ робочих станцій.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						77
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже розрахувавши кількість робочих станцій за завданням, отримуємо в деяких гілках кількість робочих станцій, яка протирічить нормам стандарту з охорони праці щодо площі приміщення для одного робочого місця. Розрахувавши, що загальна корисна площа на один поверх дорівнює 139м^2 , можна розподілити загальну кількість комп'ютерів для кожної гілки. Отже за стандартом мінімальна площа на одне робоче місце складає $3,25\text{м}^2$, то загальна кількість комп'ютерів на поверх становить $139/3,25=42$ одиниць. Розподілимо їх за гілками

Гілка 2: 27 робочих станцій;

Гілка 5: 14 робочих станцій;

Гілка 6: 14 робочих станцій;

Гілка 7: 14 робочих станцій;

Гілка 8: 18 робочих станцій;

Гілка 9: 15 робочих станцій;

Гілка 11: 12 робочих станцій;

Гілка 12: 12 робочих станцій.

Розрахуємо протяжність кожного сегменту.

За умовою протяжність L задана як частина від довжини $1\text{ де }1$ — максимальна допустима довжина сегмента ЛКМ в мережах 10Base-2 і 10Base-5, або середня довжина відвідного кабелю в мережах 10Base-T і TokenRing (між концентратором і PC) та в мережі 10Base-FL (між концентратором і трансивером). Середня протяжність інтерфейсного AUI кабелю $(30+p)\%$ від максимальної [24].

Оскільки $p=3$, середня протяжність інтерфейсного кабелю складає 33% від максимальної довжини сегменту.

Таблиця 3.5 - Задані стандарти ЛКМ

Тип сегменту	Максимальна довжина сегменту, м
10Base-5	500
10Base-2	185

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

10Base-T	100
10Base-FL	2000
Token Ring	500

Для зручності розрахунків, округлимо числа в сторону більшої довжини.

Гілка 2 – стандарт BT: $0.85l = 0.85 \cdot 100 = 85\text{м}$

Гілка 5 – стандарт B5: $Nl/60 = 93 \cdot 500/60 = 775\text{м}$

Гілка 6 – стандарт B2: $Nl/30 = 33 \cdot 185/30 = 203.5\text{м}$

Гілка 7 – стандарт BT: $0.8l = 0.8 \cdot 100 = 80\text{м}$

Гілка 8 – стандарт B5: $Nl/60 = 112 \cdot 500/60 \approx 933\text{м}$

Гілка 9 – стандарт B2: $Nl/30 = 42 \cdot 185/30 = 259\text{м}$

Гілка 11 – стандарт BT: $Nl/50 = 23 \cdot 100/50 = 46\text{м}$

Гілка 12 – стандарт BF: $0.7l = 0.7 \cdot 2000 = 1400\text{м}$

Таблиця 3.6 – Визначені стандарти гілок ЛКМ

Параметр ЛКМ	Номер гілки графа (ЛКМ)							
	2	5	6	7	8	9	11	12
Стандарт	BT	B5	B2	-	B5	B2	-	BF
Кількість РС, N	30-n	90+n	30+n	40-n	115-n	45-n	20+n	30-(n/2)
Протяжність, L	0.85l	Nl/60	Nl/30	0.8l	Nl/60	Nl/30	Nl/50	0.7l

Розрахуємо кількість серверів.

Загальна кількість РС: $27+14+14+14+18+15+12+12=126$

Кількість серверів: $126 \cdot 0,02 = 2,52 \approx 3$ комп'ютерів

Маршрутизатори КМ підтримують між мережевий ряд протоколів TCP/IP, які забезпечать між мережеву маршрутизацію пакетів.

3.2.3 Перелік необхідного обладнання та матеріалів

Необхідне обладнання, матеріали та мережне забезпечення, які визначають капітальні затрати на побудову цієї КМ, зведені в таблиці 3.7 [25].

Таблиця 3.7 – Необхідне обладнання, матеріали та мережне забезпечення

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						79
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Г. Комп'ютери

80

№ п п	Назва обладнання	Один. вимір	Кількість одиниць обладнання								
			№ ЛКМ								Всього по ЛКМ
			2	5	6	7	8	9	11	12	
21	Процесор Intel Core i7-2600 (3.4 ГГц) / RAM 6 ГБ / HDD 320 ГБ / Intel HD Graphics 2000/ LAN	шт	27	14	14	14	18	15	12	12	126
22	Dell Power Edge T20, процесор Intel Xeon E3-1225 v5 (4 core, 8M Cache, 3.30 GHz)/ RAM 4 ГБ/ HDD 1 ТБ/ LAN 1000 Мбс/	шт	1	0	1	0	0	0	0	1	3
Д. Мережні ОС											
23	Windows 10	шт	27	14	14	14	18	15	12	12	126
24	Windows Server 2016	шт	1	0	1	0	0	0	0	1	3

3.2.4 Просторові показники сигналу в ЛКМ

Обчислимо просторові показники сигналу в ЛКМ, а саме найбільшу та загальну протяжність.

Загальну протяжність ЛКМ отримуємо складанням довжин кабелю наступних ЛКМ (рис 2.1):

$$\text{ЛКМ 2} + \text{ЛКМ 5} + \text{ЛКМ 6} + \text{ЛКМ 7} + \text{ЛКМ 8} + \text{ЛКМ 9} + \text{ЛКМ 11} + \text{ЛКМ 12} = 85 + 775 + 203,5 + 80 + 933 + 259 + 46 + 1400 = 3781,5 \text{ м.}$$

Найбільшу протяжність отримаємо при обранні шляху із 6 гілки ЛКМ до 12 гілки. ЛКМ 6 виступає у якості лівого сегменту, оскільки з нього починається шлях сигналу від виходу передавачу кінцевого вузла. Далі сигнал проходить через маршрутизатор В, проходить ЛКМ 8, проходить через маршрутизатор С, доходить до приймача найбільш віддаленого вузла, найбільш віддаленого сегменту 12, який ми приймаємо як правий. Отже, найбільша протяжність складає: $203,5 + 112 + 1400 = 1715,5 \text{ м.}$

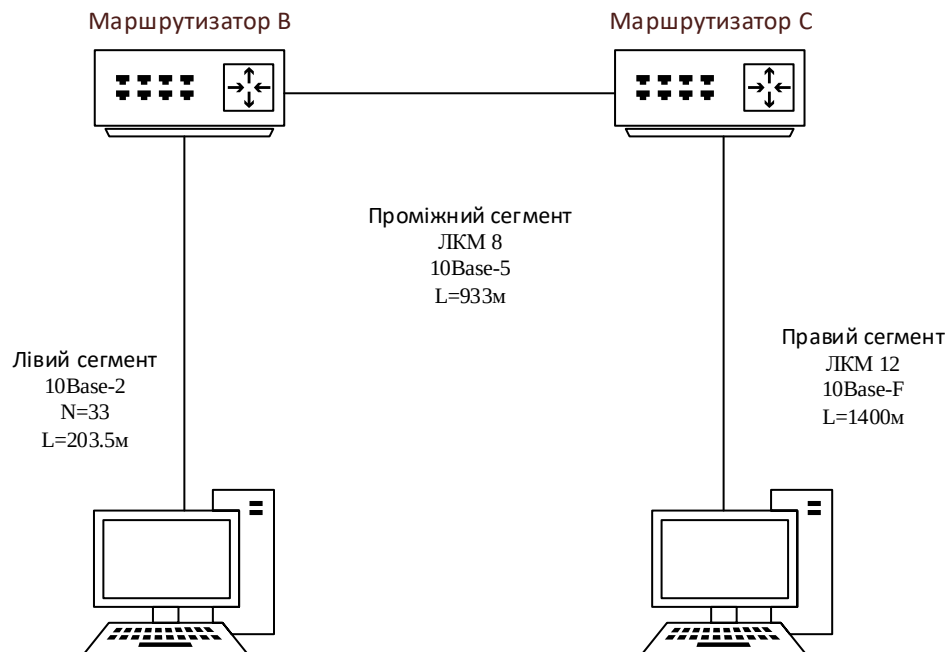


Рисунок 3.3 – Найдовша протяжність між ЛКМ

3.2.5 Час затримки сигналу в ЛКМ

Обчислимо час затримки сигналу в ЛКМ Ethernet: найбільшої протяжності та відповідно до розрахунків, зробимо висновки про можливість виявлення “зіткнень”. Проведемо оцінку коректності конфігурації в ЛКМ для того щоб зробити висновки про можливість “зіткнень”. Загальна довжина мережі складає 1715.5 м, що не порушує правило 2500 м. Так як найвіддалені під мережі проектованої КМ мають різні типи мереж, тому потрібно провести подвійний розрахунок [26].

Розрахуємо значення PDV.

Перший розрахунок PDV(лівий сегмент – мережа 6):

Лівий сегмент 6 (10Base-2): $11,8(\text{база}) + 203,5 * 0,1026 = 32,6791 \text{ bt}$.

Проміжний сегмент 8 (10Base-5): $46,5 + 933 * 0,0866 = 127,2978 \text{ bt}$.

Правий сегмент 12 (10Base-F): $156,5 + 1400 * 0,1 = 296,5 \text{ bt}$.

$PDV = 32,6791 + 127,2978 + 296,5 = 456,4769 \text{ bt}$.

Другий розрахунок PDV(лівий сегмент – мережа 12):

Лівий сегмент 12 (10Base-F): $12,3 + 1400 * 0,1 = 152,3 \text{ bt}$.

Проміжний сегмент 8 (10Base-5): $46,5 + 933 * 0,0866 = 127,2978 \text{ bt}$.

Правий сегмент 6 (10Base-2): $169,5 + 203,5 \cdot 0,1026 = 190,3278 \text{ bt}$.

$PDV = 78,915 + 61,323 + 51,605 + 250,2978 = 469,9256 \text{ bt}$.

Значення PDV не перевищує максимально допустиму величину 575 bt., то дана мережа цілком підходить по критерію часу подвійного оберту сигналу.

Таблиця 3.8 – Оцінка часу затримки сигналу мережним обладнанням

Назва обладнання	Приблизна затримка сигналу
Товстий коаксіальний кабель типу RG11	4,33 мкс/км
Тонкий коаксіальний кабель типу RG58	5,14 мкс/км
Вита пара неекранована (UTP) та екранована (STP)	5,7 мкс/км
Оптичне волокно товщиною 62,5/125 мікрон	5,0 мкс/км
Повторювач, багатопортовий повторювач (HUB)	0,1 мкс
Оптично-волоконний повторювач чи HUB	1,55 мкс
Оптично-волоконний трансивер	0,2 мкс

Таблиця 3.9 – Оцінка часу затримки сигналу мережним обладнанням

Тип сегмента	База лівого сегмента, bt	База проміжного сегмента, bt	База правого сегмента, bt	Затримка середовища на 1 м, bt	Макс. довжина сегмента, м
10Base-5	11,8	46,5	169,5	0,0866	500
10Base-2	11,8	46,5	169,5	0,1026	185
10Base-T	15,3	42,0	165,0	0,113	100
10Base-FB	-	24,0	-	0,1	2000
10Base-FL	12,3	33,5	156,5	0,1	2000
FOIRL	7,8	29,0	152,0	0,1	1000
AUI (>2)	0	0	0	0,1026	2+48

Лівий сегмент(10Base-6) = 16 bt.

Проміжний сегмент = 11 bt.

$PVV = 16 + 11 = 27 \text{ bt}$.

Сума приведених величин дає значення $PVV = 27 \text{ bt}$.

Розрахунок PVV показав, що проєктована КМ буде коректно працювати, так як значення зменшення міжкадрового інтервалу при проходженні повторювачів різних фізичних середовищ не перевищує максимально допустиме значення - 49 бітових інтервалів.

Таблиця 3.10 – Зменшення міжкадрового інтервала повторювача

Тип сегмента	Передавальний сегмент,	Проміжний сегмент, bt
10Base-5 або 10Base-2	16	11
10Base-FB	-	2
10Base-FL	10,5	8
10Base-T	10,5	8

У результаті проведених розрахунків, при заміні маршрутизатора на концентратор отримали значення PDV, яке не перевищує максимально допустиму величину 575 bt, та значення PVV, яке менше ніж 49 бітових інтервалів. Отже при заміні маршрутизатора на концентратор мережа гарантує ефективну працездатність.

3.3 Адресація мереж вузлів

3.3.1 Підрахунок кількості адрес для адресації IP-вузлів

Кількість адрес на одній ЛКМ підраховується за допомогою підключених комп'ютерів і маршрутизаторів до однієї ЛКМ. Загальна кількість адрес всіх ЛКМ подана у таблиці 3.11

Таблиця 3.11 – Загальна кількість необхідних адрес

Номер ЛКМ	Кількість адрес
1	27
2	14
4	14
5	14
7	18
8	15
10	12
11	12
Всього адрес	126

3.3.2 Схема IP - адресації мереж та вузлів

В таблиці 3.12 вже зазначені IP-адреси вузла маршрутизатора Internet та IP-адреса зв'язаного з ним вузла маршрутизатора.

Корпоративна КМ, об'єднує вісім ЛКМ, застосовано три ІР маршрутизатори. В проєктованій КМ передбачається статичний метод адресації ІР-вузлів мережі. Враховуючі перспективи розвитку КМ, для ІР-адресації її мережних пристроїв виділена ІР адреса класу С: 200.30.20.X, 200.30.21.X, 200.30.22.X, 200.30.23.X. Мережна маска корпоративної КМ: 255.255.255.0.

У всіх ЛКМ розташовано від 12 до 27 РС. З урахуванням можливого збільшення кількості РС для адресації ІР- вузлів цих ЛКМ вибрана підмережна маска 255.255.255.224. Ця маска дає можливість адресувати в кожній ЛКМ до 30 ІР вузлів (табл. 3.12)

Таблиця 3.12 – Розподіл адресного простору

Варіант маски в мережі	Маска підмережі	ІР-адреси підмережі	Широкомовні ІР-адреси підмережі	Кількість вузлів	ІР-адреси вузлів у підмережі
2	255.255.255.224	200.30.20.0	200.30.20.31	27	200.30.20.0, ... , 200.30.20.30
5	255.255.255.224	200.30.20.32	200.30.20.63	14	200.30.20.33, ... , 200.30.20.64
6	255.255.255.224	200.30.21.0	200.30.21.31	14	200.30.21.0, ... , 200.30.21.30
7	255.255.255.224	200.30.21.32	200.30.21.63	14	200.30.21.33, ... , 200.30.21.64
8	255.255.255.224	200.30.22.0	200.30.22.31	18	200.30.22.0, ... , 200.30.22.30
9	255.255.255.224	200.30.22.32	200.30.22.63	15	200.30.22.33, ... , 200.30.22.64
11	255.255.255.224	200.30.23.0	200.30.23.31	12	200.30.23.0, ... , 200.30.23.30
12	255.255.255.224	200.30.23.32	200.30.23.63	12	200.30.23.33, ... , 200.30.23.64

Схема ІР - адресації із зазначенням інтерфейсів приведена на плакаті.

3.3.3 ARP-таблиця перетворення адрес

У комп'ютерних мережах з протоколом TCP/IP процес передавання даних між вузлами ґрунтується на використанні адрес різних рівнів моделі OSI. На мережевому рівні застосовуються логічні ІР-адреси, тоді як на канальному рівні передавання кадрів здійснюється з використанням фізичних MAC-адрес. У зв'язку з цим під час надсилання повідомлення виникає необхідність

перетворення IP-адреси вузла призначення у відповідну MAC-адресу. Дану функцію виконує протокол ARP (Address Resolution Protocol), який є невід'ємною складовою мереж IPv4.

Процедура перетворення адрес розпочинається на етапі формування пакета прикладним або транспортним рівнем. Коли прикладна програма ініціює передавання даних, інформація послідовно інкапсулюється в сегмент транспортного рівня, IP-пакет мережевого рівня та, зрештою, у кадр канального рівня. На цьому етапі система повинна визначити MAC-адресу вузла, якому призначено IP-пакет. Якщо вузол-отримувач знаходиться в тій самій локальній мережі, то MAC-адреса відповідає безпосередньо мережевому інтерфейсу цього вузла. Якщо ж IP-адреса належить іншій підмережі, то як адреса призначення використовується MAC-адреса шлюзу за замовчуванням.

Для встановлення відповідності між IP- та MAC-адресами використовується ARP-запит. Якщо у пам'яті комп'ютера відсутня інформація про відповідну фізичну адресу, мережевий вузол формує широкомовний ARP-запит, який містить IP-адресу шуканого пристрою. Цей запит передається всім вузлам локальної мережі. Кожен вузол порівнює вказану IP-адресу зі своєю власною, і лише той пристрій, якому вона належить, формує ARP-відповідь. В ARP-відповіді передається відповідна MAC-адреса, після чого ініціатор запиту може завершити формування Ethernet-кадру та виконати передавання даних.

Важливою складовою механізму ARP є ARP-таблиця, яка зберігається в оперативній пам'яті мережевого вузла. ARP-таблиця містить пари відповідностей між IP- та MAC-адресами, що були отримані раніше в процесі обміну ARP-повідомленнями. Завдяки наявності ARP-таблиці значно зменшується кількість широкомовних запитів у мережі, що позитивно впливає на її продуктивність і знижує навантаження на канальний рівень.

ARP-таблиця формується динамічно в процесі роботи мережі. Кожен запис має обмежений час життя, після закінчення якого він автоматично видаляється. Це дозволяє підтримувати актуальність інформації у разі зміни конфігурації мережі або заміни мережевих інтерфейсів. Окрім динамічних записів, у деяких випадках можуть використовуватися статичні записи ARP, які задаються

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						86
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

адміністратором вручну та не підлягають автоматичному видаленню. Такі записи застосовуються переважно з міркувань безпеки або в спеціалізованих мережних системах.

Структура типової ARP-таблиці включає кілька основних полів, які дозволяють однозначно ідентифікувати відповідність між логічними та фізичними адресами, а також контролювати актуальність запису. Приклад ARP-таблиці – табл.3.13.

Таблиця 3.13 – Приклад ARP-таблиці

IP-адреса	MAC-адреса	Тип запису	Інтерфейс
192.168.1.1	00-1A-2B-3C-4D-5E	Динамічний	Ethernet
192.168.1.10	08-00-27-AB-CD-EF	Динамічний	Ethernet
192.168.1.254	00-50-56-FF-EE-DD	Статичний	Ethernet

Процес перетворення адрес має важливе значення для коректної роботи локальних мереж, оскільки без встановлення відповідності між IP- та MAC-адресами передавання кадрів на канальному рівні є неможливим. Водночас використання ширококомовних ARP-запитів створює потенційні загрози безпеці, зокрема можливість реалізації атак типу ARP-spoofing або ARP-poisoning. У таких атаках зловмисник підмінює ARP-відповіді, змушуючи вузли мережі надсилати дані на неправильну MAC-адресу. Для захисту від подібних загроз застосовуються механізми фільтрації ARP-пакетів, статичні ARP-записи та функції динамічного захисту на рівні керованих комутаторів.

3.3.4 IP-таблиці маршрутів

Використовуючи схему IP-адресації, розробимо IP-таблицю маршрутів для: маршрутизаторів КМ, маршрутизатора Internet, безпосередньо зв'язаного з КМ, будь-якої кінцевої і проміжної (між маршрутизаторами) РС. Маршрути приведені у таблицях 3.14-3.17.

Таблиця 3.14 – Маршрутна таблиця маршрутизатора А

IP-адреса мережі	Маршрутизація	IP-шлюз адреса	Інтерфейс
------------------	---------------	----------------	-----------

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		87

призначення			
200.30.20.0	Пряма	-	ie0
200.30.22.32	Пряма	-	ie1
200.30.22.32	Непряма	200.30.22.33	ie1
Default	Непряма	125.910.1	pp0

Таблиця 3.15 – Маршрутна таблиця маршрутизатора В

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-шлюз адреса	Інтерфейс
200.30.20.32	Пряма	-	ie0
200.30.21.32	Пряма	-	ie1
200.30.21.0	Пряма	-	ie2
200.30.22.0	Пряма	-	ie3
Default	Непряма	200.30.22.1	ie3

Таблиця 3.16 – Маршрутна таблиця маршрутизатора С

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-шлюз адреса	Інтерфейс
200.30.22.64	Пряма	-	ie0
200.30.22.0	Пряма	-	ie1
200.30.23.32	Пряма	-	ie2
200.30.23.0	Пряма	-	ie3
2200.30.22.32	Непряма	22.30.22.64	ie0
Default	Непряма	200.30.22.	ie1

Таблиця 3.17 – Маршрутна таблиця кінцевого РС ЛКМ №12 з IP-адресою 200.30.23.40

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-шлюз адреса	Інтерфейс
200.30.23.32	Пряма	-	ie2
Default	Непряма	200.30.23.33	ie2

3.3.5 Алгоритм маршрутизації пакету

Для прикладу розглянемо алгоритм маршрутизації пакету з комп'ютеру локальної мережі №5 до одного з комп'ютерів ЛКМ №7.

Послідовність дій системи матиме вигляд, представлений на рисунку 3.5.

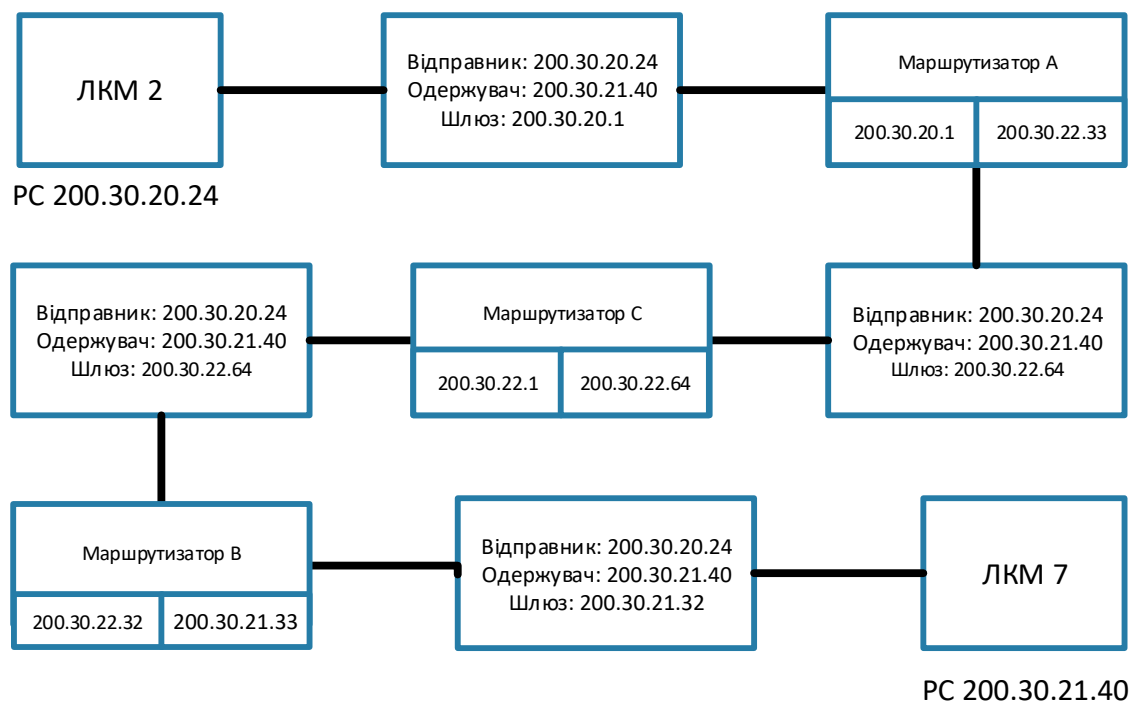


Рисунок 3.5 – Алгоритм маршрутизації пакету

Комп'ютер з ЛКМ-2(200.30.20.24) передає пакет комп'ютеру в ЛКМ-7 (200.30.21.40). Так як ці комп'ютери знаходяться в різних сегментах, тому нижче буде описаний алгоритм маршрутизації пакета через два маршрутизатора.

РС звертається до своєї таблиці маршрутизації і по ній визначає IP-адрес шлюзу маршрутизатора МА (200.30.20.1), на який необхідно відправити пакет. Після того як пакет був отриманий шлюзом маршрутизатора МА, пакет потрібно буде відправити на шлюз маршрутизатора МС. Так як вузол призначення не належить будь-якій підмережі, яка підключена безпосередньо до маршрутизатора МС, то маршрутизатор МС звертається до своєї таблиці маршрутизації і знаходить необхідний шлюз на маршрутизаторі МС с IP-адресою 200.30.22.64 і відправляє пакет. Після того, як пакет був отриманий шлюзом маршрутизатора МС, пакет треба буде відправити на шлюз маршрутизатора МВ. Так як вузол призначення не належить будь-якій підмережі, яка підключена безпосередньо до маршрутизатора МС, то маршрутизатор МС звертається до своєї таблиці маршрутизації і знаходить

необхідний шлюз на маршрутизаторі М2 с ІР-адресою 200.30.22.32 і відправляє пакет.

Після того як маршрутизатор В отримав пакет, він переглядає свою таблицю маршрутизації і визначає, що вузол призначення належить мережі, яка підключена безпосередньо до шлюзу маршрутизатора з ІР-адресою 200.30.21.32. Далі маршрутизатор відправляє пакет за ІР-адресою призначення 200.30.21.40.

За такою схемою передається пакет від вузла однієї підмережі, через усі маршрутизатори, до кінцевого вузла.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		90

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СЕРВЕРУ

4.1 Імітаційне моделювання систем масового обслуговування

Під час проектування комп'ютерних систем діагностики та обробки вимірjuвальної інформації важливим етапом є аналіз роботи серверної частини системи. Сервер виконує функції приймання, обробки, зберігання та передавання даних, тому його продуктивність безпосередньо впливає на загальну ефективність системи. Для оцінювання навантаження, часу очікування запитів і пропускної здатності серверу доцільно застосовувати методи імітаційного моделювання, зокрема моделювання систем масового обслуговування.

Імітаційне моделювання полягає у створенні програмної моделі реальної системи, яка відтворює поведінку її елементів у часі з урахуванням випадкових факторів. На відміну від аналітичних методів, імітаційне моделювання дозволяє досліджувати складні системи зі змінною інтенсивністю потоків, різними дисциплінами обслуговування та обмеженими ресурсами. Це робить його особливо придатним для аналізу серверів комп'ютерних мереж і систем збору даних.

Сервер у більшості випадків можна подати у вигляді системи масового обслуговування, яка складається з джерела заявок, черги, обслуговувального пристрою та вихідного потоку. Заявками в такій системі є запити від клієнтів або пристроїв діагностики, а обслуговувальним пристроєм — програмно-апаратні ресурси серверу. Основними параметрами системи масового обслуговування є інтенсивність надходження заявок, швидкість їх обслуговування та кількість обслуговувальних каналів.

У класичній теорії масового обслуговування припускається, що надходження заявок відбувається за пуассонівським законом з інтенсивністю λ , а час обслуговування має експоненціальний розподіл з параметром μ . За таких умов система описується моделлю типу $M/M/1$, де перша літера означає

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		91

пуассонівський потік заявок, друга — експоненціальний розподіл часу обслуговування, а одиниця — кількість каналів обслуговування.

Коефіцієнт завантаження серверу визначається співвідношенням:

$$\rho = \lambda / \mu$$

Для стійкої роботи системи необхідно, щоб виконувалася умова $\rho < 1$, тобто середня швидкість обслуговування перевищувала інтенсивність надходження заявок. У протилежному разі черга буде зростати необмежено, що призведе до перевантаження серверу.

Середня кількість заявок у системі для моделі М/М/1 визначається формулою:

$$L = \rho / (1 - \rho)$$

Середній час перебування заявки в системі, який включає час очікування в черзі та час обслуговування, визначається за формулою:

$$W = 1 / (\mu - \lambda)$$

Зв'язок між середньою кількістю заявок і середнім часом перебування у системі описується законом Літтла:

$$L = \lambda \cdot W$$

Наведені аналітичні залежності є справедливими для ідеалізованих моделей. У реальних комп'ютерних системах сервер може обслуговувати кілька типів запитів, мати обмежений буфер черги, змінну швидкість обробки та пріоритети обслуговування. У таких випадках використання імітаційного моделювання дозволяє отримати більш точні результати та оцінити поведінку системи в різних режимах роботи.

Для реалізації імітаційного моделювання систем масового обслуговування широко застосовується програмне середовище GPSS World. GPSS (General Purpose Simulation System) є мовою та середовищем імітаційного моделювання, орієнтованим на дискретно-подійні системи. GPSS World дозволяє моделювати потоки заявок, черги, обслуговувальні пристрої та логіку їх взаємодії у зручній формі, близькій до опису реальної системи.

У середовищі GPSS World кожна заявка представляється у вигляді транзакта, який переміщується між блоками моделі. Блоки визначають операції,

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						92
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

що виконуються над транзактом, зокрема генерацію заявок, постановку в чергу, обслуговування та вихід із системи. Генерація заявок зазвичай здійснюється за допомогою блоку GENERATE, який дозволяє задати інтервали надходження транзактів з урахуванням випадкових величин. Черга реалізується блоком QUEUE, а обслуговування — блоками SEIZE, ADVANCE та RELEASE, які моделюють захоплення ресурсу, час обробки та звільнення обслуговувального пристрою.

Сервер у GPSS World може бути змодельований як ресурс із заданою кількістю каналів, що дозволяє аналізувати як одноканальні, так і багатоканальні системи масового обслуговування. У процесі моделювання автоматично збирається статистика, яка включає середню довжину черги, середній час очікування, завантаженість ресурсів та кількість оброблених заявок. Це дає змогу оцінити ефективність роботи серверу та виявити потенційні вузькі місця.

Застосування GPSS World дозволяє не лише теоретично обґрунтувати вибір параметрів серверу, але й наочно продемонструвати результати моделювання у вигляді статистичних звітів і графіків. Моделювання різних сценаріїв навантаження дає змогу оцінити поведінку серверу в умовах пікового трафіку та визначити резерви для підвищення продуктивності системи.

Таким чином, імітаційне моделювання систем масового обслуговування є ефективним інструментом аналізу роботи серверу в комп'ютерних системах діагностики. Використання середовища GPSS World дозволяє адекватно відтворити процес обробки запитів, отримати кількісні характеристики роботи серверу та обґрунтувати прийняті інженерні рішення на етапі проєктування системи.

4.2 Розробка програми моделювання

Локальна комп'ютерна мережа складається з сервера з маршрутизатором, інтегрованим з Internet, та восьми підмереж.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		93

Потік заявок, які формуються на робочих станціях користувачів, надходить з підмереж для обробки сервером. Закон генерації заявок обирається в залежності від типу даних, що надходять із підмережі.

Сервер обробляє до 5 заявок. Час обробки заявки розподілено за нормальним законом з математичним очікуванням. У кожній підмережі створюється черга на 1 заявку, нові заявки від підмережі не приймаються до передачі існуючої заявки на сервері. Повторно заявка посилається на сервер через проміжок часу.

В процесі моделювання фіксується кількість оброблених заявок в ЛКМ та кількість заявок, яким відмовлено в обслуговуванні.[1]

Текст програми моделювання приведений у додатку В.

Результат моделювання приведений у таблиці :

QUEUE	ENTRY	AVE.TIME	SAVEVALUE
QW5	6	9.000	7
QW6	4	8.000	7
QW4	18	2.778	18
QW3	17	3.176	18
QW1	18	3.778	18
QW2	17	3.647	20
PROCESSED	79	283.475	–
REFUGEE	8	414.115	–

AVE.TIME – середній час обслуговування однієї заявки.

ENTRY - кількість заявок, які пройшли через вузол за час моделювання.

SAVEVALUE – кількість генерованих заявок.

З таблиці видно, що при даній конфігурації мережі сервер не впорався з навантаженням кількість оброблених заявок - 79, а не оброблених - 8. Найбільший час обробки заявки у заявок які надходять з черг QW5 та QW6 з інших поверхів. Необроблені заявки 3 – з 11 мережі (зображення), 4 – з інших поверхів, та 1 – з інших мереж, для покращення роботи системи необхідно підвищити швидкість обробки заявок з пріоритетом на заявки які надходять з 11 мережі, для цього необхідно зменшити затримку ADVANCE.

Результат роботи після зменшення затримки наведений у таблиці:

QUEUE	ENTRY	AVE.TIME	SAVEVALUE
QW5	7	0.000	7
QW6	7	0.857	7
QW4	17	1.059	17
QW3	18	0.444	18
QW1	18	0.667	18
QW2	20	0.021	20
PROCESSED	85	291.263	–
REFUGEE	–	–	–

Висновок: після зменшення затримки всі заявки оброблені, для більш швидкої обробки заявок необхідно підвищити потужність сервера, змінивши його конфігурацію, наприклад замінивши апаратні компоненти на більш нові. Також для обробки усіх заявок необхідно збільшити чергу, при цьому зросте середній час обробки однієї заявки. При більш значних навантаженнях необхідно збільшити кількість обслуговуючих пристроїв, а саме серверів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розв'язано актуальну задачу розробки комп'ютерної системи діагностики мікропроцесорного вольтамперфазоміру МІРА-А, призначеної для підвищення ефективності контролю працездатності вимірювальних пристроїв, автоматизації процесу збору, обробки та захисту діагностичної інформації, а також інтеграції діагностичного обладнання з комп'ютерною мережею.

У ході виконання роботи було проведено аналіз сучасних комп'ютерних систем діагностики та апаратно-програмних засобів, що застосовуються у вимірювальних і мікропроцесорних системах. На основі цього аналізу обґрунтовано вибір архітектурних і технічних рішень, які забезпечують оптимальне поєднання функціональності, надійності та економічної доцільності розроблюваної системи.

У межах апаратної частини роботи спроектовано пристрій діагностики на базі мікроконтролера ATMEL AVR ATtiny44A. Обґрунтовано доцільність використання мікроконтролерів AVR для задач збору та попередньої обробки вимірювальних даних завдяки їх гарвардській архітектурі, наявності розвинених периферійних модулів, низькому енергоспоживанню та підтримці роботи в реальному часі. Розглянуто структурну організацію ATtiny44A, принципи роботи його аналого-цифрового перетворювача та інтерфейсів обміну даними, що дозволило забезпечити ефективну взаємодію пристрою діагностики з зовнішніми модулями та персональним комп'ютером.

Для підключення пристрою діагностики до ПК використано інтерфейс USB, що забезпечує універсальність, простоту підключення та сумісність із сучасними комп'ютерними системами. Розроблено програмний драйвер, який реалізує обмін даними між пристроєм і комп'ютером. Реалізований драйвер забезпечує приймання, обробку та передачу діагностичної інформації у складі комп'ютерної системи.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						96
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою підвищення рівня інформаційної безпеки в роботі реалізовано криптографічний захист передаваних даних із застосуванням алгоритму RSA. Описано математичні основи алгоритму, принципи формування відкритого та закритого ключів, а також програмну реалізацію процедур шифрування та дешифрування. Використання асиметричного шифрування дозволяє гарантувати конфіденційність і цілісність діагностичної інформації під час її передачі каналами зв'язку.

У роботі також виконано проєктування корпоративної комп'ютерної мережі, призначеної для обслуговування розробленої системи діагностики. Проведено порівняльний аналіз мережевих технологій Ethernet і Token Ring, на основі якого обґрунтовано вибір Ethernet як найбільш універсальної, масштабованої та економічно доцільної технології для сучасних комп'ютерних систем. Розглянуто процедуру перетворення адрес під час передавання повідомлень у мережі та принципи роботи ARP-таблиці, що забезпечує коректну взаємодію між мережевим і канальним рівнями.

Окрему увагу приділено моделюванню роботи серверу комп'ютерної системи діагностики. Розглянуто основи імітаційного моделювання систем масового обслуговування, наведено основні характеристики та показники ефективності таких систем. Для реалізації моделі використано середовище GPSS World, яке дозволяє досліджувати поведінку серверу за різних режимів навантаження, оцінювати час обслуговування запитів та виявляти потенційні вузькі місця в роботі системи.

Результати виконаної кваліфікаційної роботи підтверджують, що поставлена мета досягнута, а всі основні завдання роботи виконані в повному обсязі. Розроблена комп'ютерна система діагностики вольтамперфазоміру МІРА-А може бути використана на виробництві та в сервісних центрах для перевірки працездатності вимірювальних пристроїв такого типу, а також у навчальному процесі для вивчення принципів побудови вбудованих комп'ютерних систем, комп'ютерних мереж і засобів криптографічного захисту інформації.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
						97
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації до виконання, оформлення та захисту кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» / Веселовська Г.В., Дроздова Є.А., Козел В.М. Іванчук О.В. – Херсон: ХНТУ, 2025. – 73 с.
2. Шарко, Б. М. Програмування мікроконтролерів AVR: навчальний посібник / Б. М. Шарко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – 312 с.
3. Mazidi, M. A., Naimi, S., & Naimi, S. ARM Assembly Language Programming & Architecture / M. A. Mazidi, S. Naimi, S. Naimi. – Pearson, 2016. – 480 p.
4. Iyer, S. Embedded Real-Time Systems: Concepts, Design, and Programming / S. Iyer. – New York: McGraw-Hill, 2015. – 352 p.
5. Barrett, S. F., & Pack, D. J. Embedded Systems: Introduction to the MSP432 Microcontroller / S. F. Barrett, D. J. Pack. – Morgan & Claypool Publishers, 2019. – 255 p.
6. Leens, F. An Introduction to I²C and SPI Protocols / F. Leens. – IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2019. – Vol. 12, Issue 1. – P. 8–13.
7. Еременко, А. В. Шина USB та її застосування в системах автоматизації / А. В. Еременко, О. В. Захарченко. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 140 с.
8. Axelsen, D. USB Complete: The Developer's Guide / D. Axelsen. – 6th ed. – Lakeview Research, 2020. – 480 p.
9. USB Developer Resources. – USB Implementers Forum [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.usb.org/document-library> (дата звернення: 10.01.2026).
10. Jan Axelson's USB FAQ: Answers to common USB questions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://janaxelson.com/usbfaq.htm> (дата звернення: 10.01.2026).
11. Wright, P. USB System Architecture / P. Wright. – Addison-Wesley, 2021. – 320 p.
12. Гнатюк, С. А. Основи криптографії: підручник / С. А. Гнатюк. – Київ: Вид. дім «Слово», 2021. – 364 с.

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		98

13. Stallings, W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice / W. Stallings. – 8th ed. – Pearson, 2020. – 768 p.
14. Ferguson, N., Schneier, B., & Kohno, T. Cryptography Engineering: Design Principles and Practical Applications / N. Ferguson, B. Schneier, T. Kohno. – Wiley, 2018. – 384 p.
15. Katz, J., & Lindell, Y. Introduction to Modern Cryptography / J. Katz, Y. Lindell. – 3rd ed. – CRC Press, 2020. – 660 p.
16. Криптографічні протоколи / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cybersecurity.kpi.ua> (дата звернення: 12.02.2026).
17. Колісниченко, О. П. Основи програмування мікроконтролерів: навчальний посібник / О. П. Колісниченко. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2022. – 280 с.
18. Valvano, J. W. Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex-M Microcontrollers / J. W. Valvano. – 5th ed. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2019. – 500 p.
19. Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools / M. Barr, A. Massa. – O'Reilly Media, 2021. – 352 p.
20. Embedded Systems Programming. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.embedded.com> (дата звернення: 15.04.2025).
21. Documentation for AVR Microcontrollers. – Microchip Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com> (дата звернення: 10.01.2026).
22. IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spectrum.ieee.org> (дата звернення: 11.02.2026).
23. Open-source hardware projects for microcontrollers / Hackaday [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hackaday.com> (дата звернення: 10.01.2026).
24. Data Encryption Standards: NIST Special Publications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://csrc.nist.gov/publications> (дата звернення: 02.03.2026).
25. Вікіпедія: Програмування мікроконтролерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		99

https://uk.wikipedia.org/wiki/Програмування_мікроконтролерів

(дата

звернення: 10.02.2026).

26.ARM Developer Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://developer.arm.com> (дата звернення: 10.01.2026).

27.Тарасов Л. В. Системи масового обслуговування. Київ: Видавництво КПІ,

2015. 285 с.

28.Матвеев Ю. Г., Коробко О. М. Імітаційне моделювання: теорія та практика.

Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. 328 с.

29.Козлов О. М. Моделювання роботи інформаційних систем. Наукові праці

ОНАХТ, 2020, № 2 (51), с. 25-31.

30.GPSS World Tutorial. Minuteman Software. URL:

<https://www.minutemansoftware.com/gpss> (дата звернення: 13.04.2026).

					ХНТУ 123.23019.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		100

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРОМ

```
// Програма мікроконтролеру
//CPUcode.cpp
#include <avr/io.h>           // файл реєстрів введення-виведення
#include <avr/interrupt.h>    // файл контролеру переривань
#include <avr/pgmspace.h>     // файл контролеру генератору
#include <avr/eeprom.h>       // файл пам'яті EEPROM
#include <avr/wdt.h>          // файл WatchDog Timer

#include "usbdrv.h"           // основний файл ЮСБ
#include "oddebug.h"          // файл для відлагодження
#include <util/delay.h>       // файл для функції затримки

#define EEPROM_LOCATION (void *)37

static uchar    actionTimers[8];

static void outputByte(uchar b)
{
PORTB = (PORTB & ~0xfc) | (b & 0xfc);
PORTD = (PORTD & ~0x30) | ((b << 4) & 0x30);
}
static uchar    computeTemporaryChanges(void)
{
uchar    i, status = 0, mask = 1;
for(i=0;i<8;i++)
{
if(actionTimers[i])
status |= mask;
mask <=< 1;      // зсуваємо значення в змінній mask на 1 біт ліворуч
}
return status;  // повертаємо значення змінної status
}
static void computeOutputStatus(void)
{
uchar    status = eeprom_read_byte(EEPROM_LOCATION) ^
computeTemporaryChanges();
outputByte(status);
}
static void timerInterrupt(void)
{
static uchar    prescaler; // множник таймеру
uchar i;          // змінна-лічильник
if(!prescaler--) // якщо досягли кінця (downto-цикл):
{
prescaler = 8;
for(i=0;i<8;i++)
{
if(actionTimers[i])
actionTimers[i]--;
}
computeOutputStatus();
}
}
```

```

USB_PUBLIC uchar usbFunctionSetup(uchar data[8])
{
    usbRequest_t *rq = (void *)data;
    uchar status = eeprom_read_byte(EEPROM_LOCATION);
    static uchar replyBuf[2]; // буфер
    usbMsgPtr = replyBuf;
    if(rq->bRequest == 0) // эхо-відповідь (пуста)
    {
        replyBuf[0] = rq->wValue.bytes[0];
        replyBuf[1] = rq->wValue.bytes[1];
        return 2; // повертаємо 2
    }
    if(rq->bRequest == 1)
    {
        replyBuf[0] = status;
        replyBuf[1] = computeTemporaryChanges();
        return 2; // повертаємо 2
    }
    if(rq->bRequest == 2 || rq->bRequest == 3)
    {
        uchar bit = rq->wIndex.bytes[0] & 7;
        uchar mask = 1 << bit;
        uchar needChange, isOn = status & mask;
        if(rq->bRequest == 2)
        {
            status |= mask;
            needChange = !isOn;
        }
        else
        {
            status &= ~mask;
            needChange = isOn;
        }
        if(rq->wValue.bytes[0] == 0)
        {
            actionTimers[bit] = 0;
            eeprom_write_byte(EEPROM_LOCATION, status);
        }
        else if(needChange)
        {
            actionTimers[bit] = rq->wValue.bytes[0];
        }
    }
    computeOutputStatus();
    return 0;
}

#ifdef TCCR0 && defined TCCR0B
#define TCCR0 TCCR0B
#endif
#ifdef TIFR && defined TIFR0
#define TIFR TIFR0
#endif

int main(void)
{
    uchar i; // змінна-лічильник
    wdt_enable(WDTO_1S); // вкл. сторожовий таймер
    odDebugInit(); // ініціалізуємо функції для відлагодження
}

```

```

DDRD = (1 << 2) || (1 << 4);
PORTD = 0;
PORTB = 0;
DDRB = ~USBMASK; /* зробити входами всі лінії порту В */
computeOutputStatus();
usbDeviceDisconnect();
i = 0;
while(--i)
{
    wdt_reset();
    delay_ms(2);
}
usbDeviceConnect();
TCCR0 = 5;
usbInit();
sei();
for(;;)
{
    wdt_reset();
    usbPoll();
    if(TIFR & (1 << TOV0))
    {
        TIFR |= 1 << TOV0;
        timerInterrupt();
    }
}
return 0;
}
}

```

ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ-ДРАЙВЕРУ

```
// driver.cpp
#include "stdafx.h"
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <iostream.h>
#include "nb.h"
#include "ncmd.h"
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <usb.h>          // бібліотека libusb, завантажена з
//http://libusb.sourceforge.net/
#define USBDEV_SHARED_VENDOR
#define USBDEV_SHARED_PRODUCT 0x05DC
#define PSCMD_ECHO 0
#define PSCMD_GET 1
#define PSCMD_ON 2
#define PSCMD_OFF 3
// команди специфічних установок, що використовуються пристроєм
int p,q,d,e,n,i,k,mas[100];FILE *f;char c;char *filename;
void risunok()
{clrscr(); int j;
for (j=1;j<20;j++)
printf("\n");
for (j=1;j<80;j++)
printf("-");printf("\n");
printf("\t\t\t\t RSA");printf("\n");
for (j=1;j<80;j++)
printf("-");
getch(); clrscr();
}

long int pow(long int a,long int b)
{long int j,t=1;
for (j=0;j<b;j++)
t=t*a;
return t;}

int prost(long int a)
{int rez=1,j=1;
do {j=j+1;
if (a%j==0) rez=0;}
while ((rez!=0)&&(j<=a/2));
if (a==1) rez=0;
return rez;}

void shifr()
{clrscr();
printf("\n Input 2 big simple numbers p and q ");
do {scanf("%d %d",&p,&q);}
while (prost(p)==prost(q)!=1);
n=p*q;
printf("\n Input secret key d (big number simple to (p-1)(q-1)) ");
```



```

do {scanf("%d",&d);}
while (((p-1)*(q-1))%d) == 0);
printf("\n Input open key e ((ed)mod((p-1)(q-1))=1) ");
do {scanf("%d",&e);}
while ((e*d)%((p-1)*(q-1)) != 1);
i=0;
while (fscanf(f,"%c",&c)!=EOF)
{mas[i]=int(c)-48;i++;};
k=i;
for (i=0;i<k;i++)
{mas[i]=pow(mas[i],e)%n;}
i=0;f=fopen(filename,"wt");
while ((i!=k)|| (k==0))
{fprintf(f,"%d",mas[i]);fprintf(f," ");i++;}
fclose(f);f=fopen(filename,"rt");
k=0;}

void deshifr()
{int j=0,s[10];clrscr();
printf("\n Input secret key (d,n) ");
scanf("%d %d",&d,&n);
while (fscanf(f,"%c",&c)!=EOF)
{if (c!=' ')
{s[j]=int(c)-48;j++;}
else {mas[k]=0;
for (i=0;i<j;i++)
mas[k]=mas[k]+pow(10,j-i-1)*s[i];
j=0;k++;}}
for (i=0;i<k;i++)
{mas[i]=pow(mas[i],d)%n;}
i=0;f=fopen(filename,"wt");
while ((i!=k)|| (k==0))
{fprintf(f,"%d",mas[i]);i++;}
fclose(f);f=fopen(filename,"rt");
k=0;}

void main()
{risunok(); int ind;
printf("Input name of file ");
gets(filename);filename=strcat(filename,".dat");
f=fopen(filename,"rt");
clrscr();
printf("If you want to make secret text put 1, if you want get text from
secret put 2 ");
do {scanf("%d",&ind);}
while ((ind!=1)&&(ind!=2));
if (ind==1) shifr();
else deshifr();
printf("\n");
do {if (ind==1)
{printf("\n If you want get text from secret put 2 ");
scanf("%d",&ind);
if (ind==2) deshifr();
else exit(0);}
else
{printf("\n If you want to make secret text put 1 ");
scanf("%d",&ind);
if (ind==1) shifr();
else exit(0);}}

```

```

while ((ind==1)|| (ind==2));
fclose(f);
}
#define USB_ERROR_NOTFOUND 1
#define USB_ERROR_ACCESS 2
#define USB_ERROR_IO 3
static int usbOpenDevice(usb_dev_handle **device, int vendor, char
*vendorName, int product, char *productName)
//функція відкриття пристрою, визначення фірми чіпу та назви продукту
{
struct usb_bus *bus;
struct usb_device *dev;
usb_dev_handle *handle = NULL;
int errorCode = USB_ERROR_NOTFOUND;
static int didUsbInit = 0;
if(!didUsbInit){
didUsbInit = 1;
usb_init();
}
usb_find_busses();
usb_find_devices();
for(bus=usb_get_busses(); bus; bus=bus->next){
//якщо не знайдено, перейти до наступної
for(dev=bus->devices; dev; dev=dev->next){
if(dev->descriptor.idVendor == vendor && dev->descriptor.idProduct ==
product){
char string[256];
int len;
handle = usb_open(dev);
if(!handle){
errorCode = USB_ERROR_ACCESS;
fprintf(stderr, "Warning: cannot open USB device: %s\n", usb_strerror());

continue;
}
if(vendorName == NULL && productName == NULL){
break;
}
len = usbGetStringAscii(handle, dev->descriptor.iManufacturer, 0x0409,
string, sizeof(string));
if(len < 0){
errorCode = USB_ERROR_IO;
fprintf(stderr, "Warning: cannot query manufacturer for device: %s\n",
usb_strerror());
}else{
errorCode = USB_ERROR_NOTFOUND;
if(strcmp(string, vendorName) == 0){
len = usbGetStringAscii(handle, dev->descriptor.iProduct, 0x0409, string,
sizeof(string));
if(len < 0){
errorCode = USB_ERROR_IO;
fprintf(stderr, "Warning: cannot query product for device: %s\n",
usb_strerror());
}else{
errorCode = USB_ERROR_NOTFOUND;
if(strcmp(string, productName) == 0)
break;
}
}
}
}
}
}

```

```

}
}
usb_close(handle);
handle = NULL;
}
}
if(handle)
break;
}
if(handle != NULL){
errorCode = 0;
*device = handle;
}
return errorCode;
}
int main(int argc, char **argv)
{
char sendbuf[4][10], change [2][4];
usb_dev_handle *handle = NULL;
unsigned char buffer[8];
int nBytes;
usb_init();
if(usbOpenDevice(&handle, USBDEV_SHARED_VENDOR, "www.obdev.at",
USBDEV_SHARED_PRODUCT, "Device") != 0)
{
fprintf(stderr, "Could not find USB device \"Device\" with vid=0x%x
pid=0x%x\n", USBDEV_SHARED_VENDOR, USBDEV_SHARED_PRODUCT);
exit(1);
}
else
{
int i=0,j = 0;
for (int k=-1;k<3;k++)
{
nBytes = usb_control_msg(handle, USB_TYPE_VENDOR | USB_RECIP_DEVICE |
USB_ENDPOINT_IN, PSCMD_GET, 0, 0, (char *)buffer, sizeof(buffer), 5000);
if(nBytes == 8)
{
if
(buffer[1]=='1'&&buffer[2]=='0'&&buffer[3]=='0'&&buffer[4]=='1'&&buffer[5]
]=='0'&&buffer[6]=='1')
{
k++;
sendbuf[k][0]='0';
sendbuf [k][1]='0';
shiphrr ();
}
if
(buffer[0]=='1'&&buffer[1]=='0'&&buffer[2]=='0'&&buffer[3]=='0'&&buffer[4]
]=='0'&&buffer[5]=='0'&&buffer[6]=='0')
{
k++;
sendbuf[k][0]='0';
sendbuf [k][1]='1';
shiphrr ();
}
}
}
}

```

```

    if
    (buffer[2]=='1'&&buffer[3]=='0'&&buffer[4]=='0'&&buffer[5]=='1'&&buffer[6]
    ]=='1'&&buffer[7]=='0')
    {
    k++;
    sendbuf[k][0]='1';
    sendbuf [k][1]='0';
    shiphr ();
    }
    if
    (buffer[0]=='1'&&buffer[1]=='1'&&buffer[2]=='1'&&buffer[3]=='0'&&buffer[6]
    ]=='0'&&buffer[7]=='1')
    {
    k++;
    sendbuf[k][0]='1';
    sendbuf [k][1]='1';
    shiphr ();
    }}}}
    RESET();
    int err = 0, cur_lsn = 0;
    char      name['c','a','l','l'],      call_name['l','i','s','t','e','n'];
        //додання імені у власну таблицю імен
    err = ADD_NAME(name);
    if (err)
    Error(err);
    err = CALL(call_name, name);
    if (err)
    Error(err);
    cur_lsn = ncb.lsn;
    for (i=0;i<4;i++)
    {
    for (j=0;j<10;j++)
    {
    err = SEND(cur_lsn,&sendbuf[i][j],2);
    if(err)
    Error(err);
    }}
    HANGUP(cur_lsn);
    break;
    }}
    return 0;
}

```

ДОДАТОК В

КОД ПРОГРАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

```
SERVER STORAGE 5
GENERATE 5, FN$EXPON
ASSIGN WS, 1
TEST L Q$QW1, 1, REFUSE
QUEUE QW1
TRANSFER , PROC

GENERATE 7, FN$EXPON
ASSIGN WS, 2
TEST L Q$QW2, 1, REFUSE
QUEUE QW2
TRANSFER , PROC

GENERATE 10, FN$EXPON
ASSIGN WS, 3
TEST L Q$QW3, 1, REFUSE
QUEUE QW3
TRANSFER , PROC

GENERATE 6, FN$EXPON
ASSIGN WS, 4
TEST L Q$QW4, 1, REFUSE
QUEUE QW4
TRANSFER , PROC

GENERATE 7, FN$EXPON
ASSIGN WS, 5
TEST L Q$QW7, 5, REFUSE
QUEUE QW5
TRANSFER , PROC

GENERATE 21, FN$EXPON
ASSIGN WS, 6
TEST L Q$QW6, 1, REFUSE
QUEUE QW6
TRANSFER , PROC

GENERATE 23, FN$EXPON
ASSIGN WS, 7
TEST L Q$QW7, 1, REFUSE
QUEUE QW7
TRANSFER , PROC

GENERATE 15, FN$EXPON
ASSIGN WS, 8
TEST L Q$QW8, 1, REFUSE
QUEUE QW8
TRANSFER , PROC

GENERATE 18, FN$EXPON
ASSIGN WS, 9
TEST L Q$QW9, 1, REFUSE
QUEUE QW9
TRANSFER , PROC

GENERATE 30, FN$EXPON
ASSIGN WS, 10
TEST L Q$QW10, 1, REFUSE
QUEUE QW10
```

```

PROC GATE SF SERVER,PROCESS
  ADVANCE (NORMAL(1,18,3)) ; retry delay
  TRANSFER ,PROC
PROCESS ENTER SERVER

  TEST E P$WS,1,TEST2
  DEPART QW1
  ADVANCE (NORMAL(1,18,3)) ; 1
  TRANSFER ,COMPLETED

TEST2 TEST E P$WS,2,TEST3
  DEPART QW2
  TRANSFER ,PROC2
TEST3 TEST E P$WS,3,TEST4
  DEPART QW3
PROC2 ADVANCE (NORMAL(1,16,2)) ; 2 i 3
  TRANSFER ,COMPLETED

TEST4 TEST E P$WS,4,TEST5
  DEPART QW4
  TRANSFER ,PROC3
TEST5 TEST E P$WS,5,TEST6
  DEPART QW5
PROC3 ADVANCE (NORMAL(1,19,3)) ; 4 i 5
  TRANSFER ,COMPLETED

TEST6 TEST E P$WS,6,TEST7
  DEPART QW6
  TRANSFER ,PROC4
TEST7 TEST E P$WS,7,TEST8
  DEPART QW7
PROC4 ADVANCE (NORMAL(1,23,1)) ; 6 i 7
  TRANSFER ,COMPLETED

TEST8 TEST E P$WS,8,TEST9
  DEPART QW8
  TRANSFER ,PROC5
TEST9 TEST E P$WS,9,PROC6
  DEPART QW9
PROC5 ADVANCE (NORMAL(1,23,1)) ; 8 i 9
  TRANSFER ,COMPLETED

PROC6 DEPART QW10
  ADVANCE (NORMAL(1,15,2))
COMPLETED LEAVE SERVER
  QUEUE PROCESSED ; оброблені
  TERMINATE
REFUSE QUEUE REFUGEE ; відкинуті
  TERMINATE

  GENERATE 28800 ; таймер
  TERMINATE 1
EXPON FUNCTION RN2,C24
0,0/0.1,0.104/0.2,0.222/0.3,0.355/0.4,0.509
0.5,0.69/0.6,0.915/0.7,1.2/0.75,1.38/.8,1.6
.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81
.95,2.99/.96,3.2/.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6
.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8

```