

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 РЕЛЕ
НАПРЯМКУ ПОТУЖНОСТІ РНМ-01**

Development of a computer diagnostic system for PHM-01 power direction relay

Виконав: студент IV курсу, групи 4зКСМ
спеціальності

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Горний М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дроздова Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Карамушка М.В.

(прізвище та ініціали)

Форма № Н-9.01

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

Горному Максиму Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Розробка комп'ютерної системи діагностики
реле напрямку потужності РНМ-01

Development of a computer diagnostic system for РНМ-01 power direction relay

керівник роботи

Дроздова Євгенія Анатоліївна, старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «_» _січня_ 2026 року № _с_

2. Строк подання студентом роботи

14 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи

Методичні рекомендації до виконання,
оформлення та захисту кваліфікаційної роботи бакалавра, стандарти,
література, технічна документація на реле напрямку потужності РНМ-01

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд стану питання та постановка завдання на кваліфікаційну роботу

обґрунтування вибору мікроконтролеру; розробка програми кодування інформації
циклічним методом; проєктування комп'ютерної мережі; моделювання роботи
сервера

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Пристрій діагностики. Електрична принципіальна схема;

Робота драйверу пристрою. Алгоритм; Кодування циклічним кодом. Алгоритм;

Схема комп'ютерної мережі

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 09 лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення стану питання	22.02.2026	
2	Підбір матеріалів за тематикою роботи	28.02.2026	
3	Розробка пристрою діагностики	12.05.2026	
4	Розробка програмного забезпечення	19.05.2026	
5	Розробка комп'ютерної мережі	26.05.2026	
6	Розробка програми моделювання роботи сервера	30.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки та креслень	07.06.2026	

Студент

(підпис)

Горний М.О.

(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	123.25059	Реферат	1	РФ	
2	A4	123.25059	Пояснювальна записка		ПЗ	
3	A2	123.25059	Пристрій діагностики. Схема електрична принципiальна	1	ЕЗ	
4	A1	123.25059	Робота драйверу пристрою. Алгоритм	1	АГ1	
5	A1	123.25059	Кодування циклічним кодом. Алгоритм	1	АГ2	
6	A1	123.25059	ЛКМ. Структурна схема	1	Е7	

					ХНТУ 123.25059.ВП						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Горний М.О.				ВІДОМІСТЬ ОБСЯГУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Дроздова Є.А.										
Реценз.											
Н. Контр.	Дроздова Є.А.								4зКСМ		
Затверд.	Григорова А.А.										

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить: 97 сторінок, 29 ілюстрацій, 26 таблиць, 24 джерела в переліку посилань, 4 додатки.

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система діагностики реле напрямку потужності РНМ-01.

Мета роботи – розробити комп'ютерну систему діагностики реле напрямку потужності РНМ-01, в складі якої спроектувати пристрій діагностики, під'єднаний до комп'ютерної мережі, розробити програмне забезпечення системи - програми формування пакета даних для мікроконтролеру, програми-драйверу, кодування циклічним методом, моделювання роботи серверу, спроектувати комп'ютерну мережу відповідно до варіанту.

Комп'ютерна система, розроблена у даній кваліфікаційній роботі бакалавра, може бути використана на підприємствах та в сервісних центрах для перевірки працездатності мікропроцесорних реле.

РЕЛЕ НАПРЯМКУ ПОТУЖНОСТІ РНМ-01, ПАРАЛЕЛЬНИЙ ПОРТ LPT, МІКРОСХЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, КАБЕЛЬНА СХЕМА, ДРАЙВЕР, КОДУВАННЯ ЦИКЛІЧНИМ МЕТОДОМ, КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, IP АДРЕСА, СЕРВЕР, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

					ХНТУ 123.25059			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Лист	Листов
Розроб.		Горний М.О.						
Перевір.		Дроздова Є.А.						
Реценз.						43КСМ		
Н. Контр.		Дроздова Є.А.						
Затверд.		Григорова А.А.						

АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система діагностики реле напрямку потужності РНМ-01.

Мета роботи – розробити комп'ютерну систему діагностики реле напрямку потужності РНМ-01, в складі якої спроектувати пристрій діагностики, під'єднаний до комп'ютерної мережі, розробити програмне забезпечення системи - програми формування пакета даних для мікроконтролеру, програми-драйверу, кодування циклічним методом, моделювання роботи серверу, спроектувати комп'ютерну мережу відповідно до варіанту.

Комп'ютерна система, розроблена у даній кваліфікаційній роботі бакалавра, може бути використана на підприємствах та в сервісних центрах для перевірки працездатності мікропроцесорних реле.

ABSTRACT

The object of research is a computer-based diagnostic system for the power direction relay RNM-01.

The purpose of the work is to develop a computer-based diagnostic system for the RNM-01 power direction relay, which includes the design of a diagnostic device connected to a computer network, the development of system software comprising programs for data packet formation for the microcontroller, a driver program, cyclic encryption of transmitted data, server operation modeling, as well as the design of a computer network in accordance with the specified variant.

The computer system developed in this bachelor's qualification work can be used at industrial enterprises and service centers to test the operability of microprocessor-based relays.

					ХНТУ 123.25059 ПЗ						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Горний М.О.			ABSTRACT				Літ.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.									
Реценз.									43КСМ		
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 Пристрій мікропроцесорний РНМ-01	12
1.1.1 Технічні характеристики.....	13
1.1.2 Конструкція пристрою	19
1.1.3 Устрій та робота	22
1.1.4 Опис функцій пристрою.....	24
1.2 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу.....	32
2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТИКИ	35
2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролера.....	35
2.1.1 Загальні відомості про мікроконтролери та їх призначення.....	35
2.1.2 Архітектура мікроконтролерів	36
2.1.3 Пам'ять у мікроконтролерах.....	36
2.1.4 Периферійні модулі та інтерфейси введення-виведення	37
2.1.5 Архітектура мікроконтролерів AVR	38
2.1.6 Організація пам'яті в AVR-мікроконтролерах	39
2.1.7 Порти введення-виведення та робота з паралельним інтерфейсом LPT	39
2.1.8 1.8 Порівняння мікроконтролерів для систем діагностики.....	40
2.1.9 Загальна характеристика мікроконтролера ATmega168	41
2.2 Розробка схеми пристрою	44
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ	
ДІАГНОСТИКИ	47
3.1 Аналіз програмних засобів роботи з мікроконтролерами	47
3.2 Розробка програми формування пакета даних для мікроконтролера	50
3.3 Розробка програми-драйверу	50

					ХНТУ 123.25059 ПЗ					
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб..		Горний М.О.			ЗМІСТ			Лім.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.								
Реценз.										
Н. Контр.		Дроздова Є.А.								
Затверд.		Григорова А.А.								
								4зКСМ		

3.4	Циклічні коди	53
3.4.1	Алгоритм обчислення циклічного коду	56
3.5	Описання програми-драйверу	58
4	ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ	61
4.1	Вибір вхідних даних	61
4.2	Параметри комп'ютерної мережі	63
4.2.1	Будова локальної комп'ютерної мережі.....	63
4.2.2	Перелік необхідних матеріалів та обладнання	67
4.2.3	Просторові показники сигналу локальної комп'ютерної мережі	69
4.2.4	Час затримки сигналів в локальній комп'ютерній мережі.....	69
4.3	Адресація вузлів у мережі	72
4.3.1	Кількість зайнятих IP-адрес у мережах.....	73
4.3.2	Схема IP-адресації вузлів та мереж	73
4.3.3	Таблиці IP-маршрутизації.....	74
4.3.4	Алгоритм маршрутизації пакету	75
5	МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СЕРВЕРУ	79
5.1	Моделювання комп'ютерних мереж.....	79
5.2	Розробка програми моделювання	81
5.3	Аналіз результатів моделювання	82
	ВИСНОВКИ	84
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	86
	ДОДАТОК А	88
	ДОДАТОК Б.....	91
	ДОДАТОК В.....	95
	ДОДАТОК Г	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСУ	—	автоматизована система управління
АЛП	—	арифметико-логічний пристрій
ВІС	—	велика інтегральна схема
ДБЖ	—	джерело безперебійного живлення
КЗ	—	коротке замикання
ЛКМ	—	локальна комп'ютерна мережа
МК	—	мікроконтролер
НВІС	—	надвелика інтегральна схема
ОС	—	операційна система
ПД	—	пристрій діагностики
ПЗ	—	програмне забезпечення
ПК	—	персональний комп'ютер
ПМ	—	посадкові місця
ПП	—	печатна плата
РЗП	—	реєстри загального призначення
УГП	—	умовні графічні позначення
ЦПП	—	центральний процесорний пристрій

					ХНТУ 123.25059 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	Лім.	Лист	Листов
Розроб.		Горний М.О.						
Перевір.		Дроздова Є.А.						
Реценз.						43КСМ		
Н. Контр.		Дроздова Є.А.						
Затверд.		Григорова А.А.						

ВСТУП

Сучасний розвиток електроенергетичних систем характеризується широким упровадженням мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики, які забезпечують підвищення надійності, селективності та швидкодії електричних мереж. Одним із важливих елементів таких систем є реле напрямку потужності, що застосовуються для визначення напрямку потоку електричної потужності та забезпечення коректної роботи захистів у мережах різних класів напруги. Надійність функціонування реле напрямку потужності безпосередньо впливає на безпеку експлуатації електроустановок і безперервність електропостачання споживачів.

У процесі експлуатації мікропроцесорні реле піддаються впливу різноманітних факторів, таких як електромагнітні завади, зміна параметрів елементної бази, програмні збої та ін. Це зумовлює необхідність регулярної перевірки їх технічного стану, параметрів спрацювання та коректності обробки вимірювальних сигналів. Традиційні методи діагностики, що базуються на ручних вимірюваннях або використанні автономних випробувальних стендів, не завжди забезпечують достатню точність, гнучкість і зручність, особливо в умовах сервісних центрів та промислових підприємств.

Актуальним напрямом удосконалення засобів контролю та перевірки релейного захисту є розробка комп'ютерних систем діагностики, які поєднують апаратні засоби вимірювання з програмним забезпеченням для збору, обробки, передавання та захисту даних. Використання комп'ютерних мереж та стандартних інтерфейсів зв'язку дозволяє забезпечити дистанційний доступ до результатів діагностики, централізоване зберігання інформації та інтеграцію з іншими інформаційними системами підприємства. Додаткового значення набуває питання інформаційної безпеки, зокрема шифрування переданих даних,

					ХНТУ 123.25059 ПЗ						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП			Літ.	Лист	Листов	
Розроб.		Горний М.О.									
Перевір.		Дроздова Є.А.									
Реценз.								4зКСМ			
Н. Контр.		Дроздова Є.А.									
Затверд.		Григорова А.А.									

що є важливим для захисту результатів вимірювань від несанкціонованого доступу.

У зв'язку з цим розробка комп'ютерної системи діагностики реле напрямку потужності РНМ-01 є актуальною та практично значущою задачею. Така система повинна забезпечувати надійний обмін даними між пристроєм діагностики та персональним комп'ютером, виконувати формування та обробку пакетів даних, реалізовувати програмні засоби захисту інформації, а також підтримувати моделювання роботи серверної частини для аналізу ефективності функціонування системи в цілому.

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка комп'ютерної системи діагностики реле напрямку потужності РНМ-01, яка дозволить підвищити ефективність перевірки працездатності мікропроцесорних реле та може бути використана в умовах промислових підприємств і сервісних центрів.

					ХНТУ 123.25059 ПЗ						
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Горний М.О.			ВСТУП				Лім.	Лист	Листов
Перевір.		Дроздова Є.А.									
Реценз.									4зКСМ		
Н. Контр.		Дроздова Є.А.									
Затверд.		Григорова А.А.									

1 ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Пристрій мікропроцесорний РНМ-01

Мікропроцесорний пристрій (реле напрямку потужності) РНМ-01 (рис.1.1) призначений для використання у складі схем релейного захисту в якості чутливого органу, що визначає напрямки потужності та реалізує функцію напрямленого максимального струмового захисту трифазної мережі.



Рисунок 1.1 - Пристрій мікропроцесорний РНМ-01

Пристрій призначений для встановлення в релейних відсіках КЗО, КРП, КРПН електричних станцій та підстанцій, а також на панелях та в шафах РЗА, розміщених у релейних залах та пунктах керування.

Пристрій забезпечує такі експлуатаційні можливості:

- напрямлений максимальний струмовий захист;
- контроль напрямку протікання струму;
- введення та зберігання уставок захистів та автоматики;
- захист паролем усіх налаштувань та уставок;
- сигналізація спрацьовування за допомогою реле та світлодіодів, а також по каналу АСУ;
- вимірювання та індикація фазних струмів і напруг, лінійних напруг;
- вимірювання та індикація вторинної активної та реактивної потужностей;
- реєстрація подій та аварійних параметрів, запис осцилограм аварійних подій з прив'язкою до дати та часу;

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

- інформативний морозостійкий OLED-дисплей та світлодіодна сигналізація поточного стану пристрою, спрацьовування захистів та автоматики;
- отримання дискретних сигналів керування та блокувань, видача аварійної та попереджувальної сигналізації;
- виконання функцій телесигналізації, телевимірювання та телекерування, передача параметрів аварії, введення та зміна уставок по лінії зв'язку;
- постійний автоконтроль справності (самодіагностика);
- блокування всіх виходів при несправності пристрою для виключення хибних спрацьовувань;
- гальванічна розв'язка всіх входів і виходів, включаючи живлення, підвищена потужність імпульсу при спрацьовуванні дискретних входів для забезпечення високої завадозахищеності;
- високий опір та міцність ізоляції входів та виходів відносно корпусу та між собою для підвищення стійкості пристрою до перенапруг, що виникають у вторинних ланцюгах КРУ.

1.1.1 Технічні характеристики

Пристрій має такі основні технічні параметри:

- кількість аналогових входів – 6;
- кількість дискретних входів – 5;
- кількість дискретних виходів (реле) – 6;
- маса пристрою – не більше 3 кг.

Живлення пристрою здійснюється від джерела постійного, змінного або випрямленого струму напругою 220 В. Параметри оперативного живлення пристрою наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1– Параметри живлення

Найменування параметру	Значення	
Оперативне живлення	~ 220 В	= 220 В
Діапазон напруги оперативного живлення, В	90 – 254	
Час готовності до роботи після подачі оперативного живлення, с, не більше (до спрацювання реле KWD)	0,12	

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Найменування параметру	Значення	
Стійкість до переривання напруги живлення, с, не менше	1	0,5
Споживана потужність, Вт, не більше	4	5

Пристрої зберігають працездатність при їх живленні:

- від мережі 220 В змінного струму (або постійного зі значенням пульсацій не більше 12 %) у діапазоні напруг $0,4 \dots 1,2 U_n$;
- від джерела безперебійного живлення (ДБЖ, ІБП) з номінальною напругою $U_{ном} = 220 \text{ В}$, і вихідним сигналом типу «модифікована синусоїда».

Пристрої не спрацьовують хибно і не пошкоджуються:

- при знятті та подачі оперативного струму, а також при перервах живлення будь-якої тривалості, з подальшим відновленням;
- при замиканні на землю в ланцюгах оперативного струму;
- при подачі напруги постійного та випрямленого оперативного струму зворотної полярності.

У пристроях передбачено сигналізацію виходу на режим джерела живлення та сигналізацію справності та готовності пристроїв до роботи за допомогою двоколірного світлодіоду «Робота/ Неисправность».

Засвічування цього світлодіоду зеленим кольором відбувається при мінімально допустимій напрузі (з гарантією та необхідними запасами) і сигналізує, що всі функції пристрою працездатні.

Засвічування цього світлодіоду червоним кольором вказує на наявність критичної несправності пристрою, тобто виявлення системою самодіагностики несправностей, що перешкоджають виконанню основних функцій.

Повний час затримки з моменту подачі живлення на «холодні» пристрої до спрацювання реле «Kwd» - не більше 0,2 с.

Опір ізоляції пристроїв відповідає ряду 3 ДСТУ 3020 – 95 (ГОСТ 12434-88). Електричний опір ізоляції між незалежними електричними ланцюгами МП РЗ та між цими ланцюгами та корпусом у холодному стані становить:

- не менше 50 МОм – у нормальних кліматичних умовах;
- не менше 20 МОм – при верхньому значенні температури повітря;

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

- не менше 2 МОм – при верхньому значенні відносної вологості повітря.

Електрична ізоляція незалежних ланцюгів пристрою (крім ланцюгів інтерфейсів зв'язку) витримує випробувальну напругу 2000 В частотою 50 Гц протягом 60 с.

Електрична ізоляція незалежних ланцюгів, крім інтерфейсів зв'язку, витримує три позитивні та три негативні імпульси напруги з наступними параметрами:

- амплітуда – 5,0 кВ $\pm 10\%$;
- тривалість переднього фронту – 1,2 мкс $\pm 30\%$;
- тривалість напівспаду заднього фронту – 50 мкс $\pm 20\%$;
- тривалість інтервалів між імпульсами – 5 с. До незалежних ланцюгів пристрою належать:
- вхідні ланцюги вимірювання струмів та напруги;
- вхідні ланцюги оперативного живлення;
- ланцюги вихідних реле (з'єднані разом контакти одного реле);
- ланцюги дискретних входів (крім тих, що живляться від вбудованого джерела постійного струму). Пристрої за міцністю ізоляції задовольняють вимоги МЕК 255-5 та ДСТУ 3020 – 95.

Електрична ізоляція ланцюгів інтерфейсів зв'язку (USB, RS-485) пристроїв витримує, протягом 60 с випробувальну напругу 500 В частотою 50 Гц, а також по три позитивні й негативні імпульси напруги:

- амплітудою – 1 кВ $\pm 10\%$;
- тривалістю переднього фронту – 1,2 мкс $\pm 30\%$;
- тривалістю напівспаду заднього фронту – 50 мкс $\pm 20\%$;
- інтервалом прямування – 5 с.

Пристрої забезпечують стійкість до зовнішніх завад відповідно до вимог ДСТУ ІЕС/TS 61000-6-5:2008:

- електростатичного розряду 3 ступеня жорсткості за ДСТУ ІЕС 61000-4-2:2008 з випробувальною напругою імпульсу розрядного струму (контактний розряд - 6 кВ; повітряний розряд - 8 кВ);

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- щодо несприйнятливості до радіочастотного електромагнітного поля випромінювання на порт корпусу, ступінь жорсткості 3 за ДСТУ ІЕС 61000-4-3;
- наносекундних імпульсних завад 4 ступеня жорсткості за ДСТУ ІЕС 61000-4-4:2008 із заданими амплітудою та частотою випробувальних імпульсів:
 - лінії електроживлення – 4 кВ, 2,5 кГц;
 - лінії сигналів вводу/виводу – 2 кВ, 5 кГц;
- щодо несприйнятливості до стрибків напруги та струму на вхідний порт електроживлення змінного та постійного струму, на порти керування та вводу-виводу, ступінь жорсткості 4 за ДСТУ ІЕС 61000-4-5;
- щодо несприйнятливості до кондуктивних завад, індукованих радіочастотними полями, ступінь жорсткості 3 за ДСТУ ІЕС 61000-4-6;
- динамічних змін напруги електроживлення по 4 ступені жорсткості за ДСТУ ІЕС 61000-4-11:2007:
 - провали напруги 30% U_n протягом 2000 мс;
 - переривання напруги 100% U_n протягом 500 мс;
 - викиди напруги 20% U_n протягом 2000 мс;
- повторювальних коливальних загасаючих завад (КЗП) 3 ступеня жорсткості за ДСТУ ІЕС 61000-4-12:2006 амплітуда імпульсів напруги:
 - при подачі КЗП за схемою «провід-провід» - 1 кВ;
 - при подачі КЗП за схемою «провід-земля» - 2,5 кВ;
- магнітного поля промислової частоти 4 ступеня жорсткості за ДСТУ 2465-94 (ДСТУ ІЕС 61000-4-8:2012) напруженістю поля:
 - тривало - 30 А/м;
 - короткочасно – 300 А/м.
- імпульсного магнітного поля 4 ступеня жорсткості за ДСТУ ІЕС 61000-4-9:2007 – напруженість поля 300 А/м.

Пристрій має такі аналогові входи струмових ланцюгів:

- три входи вимірювання струму фаз ІА, ІВ, ІС.

Основні технічні характеристики струмових ланцюгів наведені в таблиці

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Параметри вимірювальних ланцюгів струму наведено у вторинних одиницях.

Задання уставок по струму виконується у вторинних одиницях.

Таблиця 1.2– Технічні характеристики вимірювальних ланцюгів фазних струмів

Найменування параметру	Значення	
Номінальне значення вхідного фазного струму, А	5,0	1,0
Кількість фазних струмів	3	3
Діапазон вимірюваних значень вторинного струму, А	0,25 – 130,0	0,025 – 7
Споживана потужність вхідних вимірювальних ланцюгів фазних струмів в номінальному режимі, ВА, не більше	0,1	0,06
Основна відносна похибка вимірювання, – в діапазоні от 0,25 до 1,0 А (от 0,025 до 0,1 А); – в діапазоні от 1 А до 130 А (от 0,1 до 7 А).	± 0,03 А ± 2 %	± 0,003 А ± 2 %
Похибка вимірювання фазових кутів, градус, не більше	± 1,0	± 1,0
Термічна стійкість вимірювальних ланцюгів струму, А: протягом 1 с	400	100
тривало	15	5
Номінальна частота, Гц	50	

Пристрій має три входи призначені для вимірювання фазаних напруг UA, UB, UC (з перерахунком в лінійні UAB, UBC, UCA).

Характеристики вимірювальних входів по напрузі наведено у таблиці 1.3.

Параметри вимірювальних ланцюгів напруги наведено у вторинних одиницях. Задання уставок по напрузі виконується у вторинних одиницях.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики вимірювальних ланцюгів напруги

Найменування параметру	Значення
Номінальне значення	100
Кількість вимірюваних фазних напруг	3
Діапазон вимірюваних значень фазних напруг, В	5 – 250
Споживана потужність вхідних ланцюгів для напруг в номінальному режимі (U = 100 В), ВА, не більше	0,8
Робочий діапазон частоти змінного струму, Гц	49 – 51
Основна відносна похибка вимірювання фазних напруг при $U \geq 0,2 U_{ном}$, %	± 3,0

Похибка вимірювання фазових кутів, градус, не більше	$\pm 1,0$
Термічна стійкість, В:	
- тривало	150
- протягом 1 с	260

Додаткові похибки вимірювання параметрів та спрацьовування алгоритмів при зміні температури навколишнього середовища не перевищують 2% у всьому діапазоні температур.

Додаткова похибка при контролі струмів та напруги із зміною частоти вхідних сигналів у діапазоні від 45 до 55 Гц не перевищує 0,5 % на кожен 1 Гц відносно номінальної частоти 50 Гц.

Пристрій має 5 дискретних входів (D1, D2, D3, D4, D5) з можливістю інвертування.

Основні технічні характеристики вхідних дискретних ланцюгів пристроїв наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні технічні характеристики дискретних входів

Параметр	Значення
Кількість оптоізольованих входів	2
Номінальна напруга змінного, випрямленого (постійного) струму, В	220
Рівень порогової напруги працювання постійного, змінного, випрямленого струму, В	135 – 170
Значення напруги стійкого неспрацьовування, В:	0 – 100
Вхідний струм, мА:	
– при ввімкненні (<15 мс)	20
– споживаний (у ввімкненому стані)	4
Тривалість сигналу, достатня для спрацьовування входу, не менше, мс	20 - 40
Граничне значення напруги, В	300
Кількість входів	3
Номінальна напруга змінного, випрямленого або постійного струму, В	220

Пристрій має 5 дискретних виходів (реле) та 1 реле («Kwd») жорстко призначене на функцію контролю справності.

Вихідні реле пристрою:

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

- K1, Kwd – моностабільні реле з однією групою перемикаючих контактів;
- K2 – бістабільне реле з однією групою перемикаючих контактів;
- K3, K5 – моностабільні реле з однією групою нормально розімкнених (замикаючих) контактів;
- K4 – моностабільне реле з двома групами перемикаючих контактів.

Основні технічні характеристики вихідних ланцюгів пристрою наведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Основні технічні характеристики реле

Параметр	Значення
Кількість вихідних реле, з них:	6
– із замикаючим контактом	2
– із перемикаючим контактом	4
Максимальна комутуюча напруга постійного струму, В	300
Максимальна комутуюча напруга змінного струму, В	400
Максимально допустимий струм через контакти – тривало, А	6
Струм замикання та розмикання змінної напруги, А, не більше	8
Струм розмикання постійної напруги при активно-індуктивному навантаженні із сталою часу L/R не більше 20 мс, А, не більше	0,3

Пристрої мають високу надійність, що забезпечує їхню тривалу безвідмовну експлуатацію.

Пристрої забезпечують такі показники надійності:

- середнє напрацювання на відмову – не менше 100 000 годин;
- повний середній термін служби не менше 30 років, за умови заміни технічних засобів, які виробили свій ресурс;
- середній термін зберігання (у заводській упаковці в приміщенні, що опалюється) – не менше 3,5 років.

1.1.2 Конструкція пристрою

Конструктивно пристрій виконаний у вигляді металевого (прямокутного) корпусу, що складається з основи, лицьової панелі та кожуха. Усередині

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

пристрою розміщені датчики струму та датчики напруги, друковані плати з елементами функціональних блоків пристрою.

На нижній поверхні корпусу виступаючого виконання пристрою розташована клемна колодка X1 для підключення зовнішніх ланцюгів вимірювальних трансформаторів струму (клеми «IA», «IB», «IC»). Клемна колодка дозволяє затискати одножильний або багатожильний провід перетином від 1,0 до 2,5 мм². У разі використання проводів більшого перерізу необхідно застосовувати Y-подібні наконечники.

На правій бічній поверхні корпусу пристрою розташовані у два ряди клемні колодки, призначені для підключення зовнішніх ланцюгів «під гвинт»:

- 2 виводи (X2.1, X2.2) для підключення оперативної напруги живлення «У пит» («220 В»);
- 4 виводи (X2.5 – X2.8) для підключення інтерфейсу RS-485;
- 8 виводів (X4.1 – X4.8) для підключення вихідних дискретних сигналів (реле K4, K5);
- 8 виводів (X5.1–X5.8) для підключення вихідних дискретних сигналів (реле K1, K2, K3);
- 3 виводи (X3.6–X3.8) для підключення виводів реле контролю справності (KWD);

На лівій бічній поверхні корпусу пристрою розташовані у два ряди клемні колодки, призначені для підключення зовнішніх ланцюгів «під гвинт»:

- 6 виводів (X6.3 – X6.8) для підключення напруг UA, UB, UC;
- 4 виводи (X7.5 – X7.8) для підключення 2-х оптоізольованих дискретних входів (D1, D2);
- 4 виводи (X7.1 – X7.4) для підключення 3-х дискретних входів із загальним проводом (D3, D4, D5).

Клеми виконані роз'ємними (цілою групою), що дозволяє при необхідності оперативно замінити пристрій, не порушуючи монтаж підвідних проводів.

Клемні з'єднувачі забезпечують підключення зовнішніх провідників

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

перетином не більше:

- для вимірювальних струмових ланцюгів: одного провідника – перетином до $2,5 \text{ мм}^2$, двох провідників – перетином до $1,5 \text{ мм}^2$ кожен;
- для інших ланцюгів: одного провідника – перетином до 2 мм^2 , двох провідників – перетином до 1 мм^2 .

Ступінь захисту, що забезпечується оболонкою пристрою за ГОСТ 14254-96:

- по колодках з'єднувальних аналогових входів – IP00;
- по колодках з'єднувальних дискретних входів, вихідних реле, входів оперативного живлення та виводів інтерфейсів RS485 – IP20;
- інше – IP40.

На корпусі пристрою з лівого боку знаходиться гвинт заземлення з маркуванням « $\oplus$ », до якого повинен підключатися провід перетином не менше $2,5 \text{ мм}^2$.

На передній панелі пристрою розміщені такі органи керування (рисунок 1.2):



Рисунок 1.2 – Панель введення параметрів та навігації по меню

- чотири кнопки «стандартної» навігації по меню;
- кнопки для входу та виходу з редагування уставок;
- дев'ять функціональних кнопок «швидкої» навігації по меню та 10 кнопок введення числового значення уставки;
- кнопка для квітування аварійного стану світлової сигналізації та реле сигналізації.

Всі кнопки на передній панелі виконані на основі плівкової клавіатури.

Функціональні кнопки дозволяють швидко й легко виконувати дії, що часто повторюються. Їхнє звичайне застосування включає перехід до конкретних рівнів дерева меню.

На передній панелі є такі органи індикації:

- OLED-дисплей, містить два рядки по 20 знакомісць;
- точковий двоколірний світлодіод «РАБОТА» / «НЕИСПРАВНОСТЬ»;
- 14 світлодіодів СДИ «1» – «14» (колір – червоний) – жорстко призначені на функції РНМ-01;
- світлодіоди СДИ «15» і СДИ «16» (колір – червоний) – не використовуються.

У пристрої забезпечено можливість скидання спрацювавших світлодіодних індикаторів із запам'ятовуванням (у режимах «Триггерный») через кнопку «СБРОС» або дискретний вхід D5 призначений на функцію «Квитирование».

Для зв'язку пристрою з ПК слугує порт USB-B, встановлений на лицьовій панелі.

1.1.3 Устрій та робота

Пристрій постійно перебуває в режимі контролю струмів та напруг.

Пристрій одночасно вимірює миттєві значення електричних величин за допомогою багатоканального АЦП. Зняті значення АЦП обробляються по програмі цифрової фільтрації відносно першої гармоніки промислової частоти.

Для порівняння з уставками захистів використовуються лише діючі значення першої гармоніки вхідних сигналів, приведені до вторинних величин. Ці ж значення використовуються для індикації кожного струму та напруги на вбудованому міні-дисплеї пристрою.

Значення модулів векторів обчислюються кожні 5 мс і порівнюються з уставками, введеними у пристрій під час налаштування його на конкретне застосування.

Всі уставки пристрою зберігаються в енергонезалежній пам'яті, що

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

дозволяє багатократно робити необхідні зміни.

Відображення вимірюваних значень струмів і напруг на індикаторі пристрою у початковому стані та в програмі «Монітор-2» здійснюється також в первинних одиницях з урахуванням введених значень коефіцієнта трансформації трансформаторів струму й напруги.

Дворядковий двадцятизначний мінідисплей забезпечує зчитування інформації за будь-якої освітленості.

Світлодіодні індикатори на лицьовій панелі пристрою забезпечують сигналізацію поточного стану пристрою, спрацьовування захистів та функцій автоматики.

Пристрій забезпечує функцію календаря та годин астрономічного часу з індикацією року, місяця, дня, години, хвилини та секунди.

Пристрій забезпечує збереження параметрів налаштування й конфігурації захистів та автоматики (уставок) протягом усього терміну служби.

Пристрій забезпечує збереження ходу годинника, а також журналу подій, параметрів аварійних подій та осцилограм:

- за наявності оперативного струму – необмежено;
- за відсутності оперативного струму – не менше 200 годин.

При ввімкненні живлення відбувається повна перевірка програмно доступних вузлів пристрою, включаючи сам процесор, ПЗП, ОЗП, енергонезалежну пам'ять уставок, вхідні та вихідні дискретні порти, а також АЦП. У разі виявлення відмов, а також за відсутності оперативного живлення, видається сигнал нормально замкнутими контактами реле Кwd «Отказ», і робота пристрою блокується.

В процесі роботи процесор постійно проводить самодіагностику і перепрограмує так званий сторожовий таймер, який, якщо його періодично не скидати, викликає апаратне скидання процесора пристрою і запускає всю програму з початку, включаючи повне початкове самотестування, як при ввімкненні живлення.

Самодіагностика забезпечує контроль роботи процесорної частини

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрою. При виявленні внутрішньої несправності в пристрої система самодіагностики видає сигнал, який призводить до повернення вихідного реле несправності Kwd «Отказ», нормально підтягнутого при справному пристрої, світлодіодний індикатор «РАБОТА / НЕИСПРАВНОСТЬ» на лицьовій панелі пристрою світиться червоним кольором.

1.1.4 Опис функцій пристрою

Визначення напрямку потужності (ОНМ) здійснюється за величиною фазового кута між струмом IA (IB, IC) та напругою UBC (UCA, UAB) окремо для кожної пари сигналів.

Напрямок потужності визначається за величиною фазового кута між першою гармонічною складовою сигналів струму та напруги окремо для кожної пари сигналів.

Різниця кутів між струмом та лінійною напругою (Угол UBC (UCA, UAB) - IA (IB, IC)) вимірюється відносно UBC (UCA, UAB). Усі виміри кутів здійснюються відносно фазної напруги UA. Якщо напруга UA відсутня, то опорною напругою буде UB і так далі.

Можливий вибір положення сектора зони спрацьовування за допомогою уставки «ОНМ направление»: «В линию», «В шину» або з вільним призначенням сектора («Сектор»).

Для задання області роботи напрямленого захисту в режимі з вільним призначенням сектора «Сектор» необхідно задати дві уставки: «ОНМ угол» – кут максимальної чутливості (ФМЧ) і «ОНМ сектор» – зону спрацьовування (ФСЕКТ). Кут ФМЧ відраховується від вектора напруги UBC (UCA, UAB) проти годинникової стрілки.

Зона спрацьовування ОНМ(Φ) відраховується протилежно напрямку кута максимальної чутливості ($\Phi_{МЧ}+180^0$) в обидві сторони на значення $\pm 1/2 \Phi_{СЕКТ}$ і визначається як:

$$(\Phi_{МЧ} + 180^0) - \frac{1}{2} \cdot \Phi_{СЕКТ} < \Phi < (\Phi_{МЧ} + 180^0) + \frac{1}{2} \cdot \Phi_{СЕКТ}.$$

В режимі ОНМ «Сектор», дозвіл роботи визначення напрямку потужності

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

по конкретній фазі відбуватиметься, якщо відносний від напруги (UBC) кут струму (IA*) потрапить у зону спрацювання.

Для задання області роботи напрямленого захисту у режимі «В лінію» необхідно задати тільки уставку «ОНМ кут» – кут максимальної чутливості (Φ_{MC}). Значення кута сектора зони спрацювання незмінне і становить 180° . Кут Φ_{MC} також відраховується від вектора напруги UBC (UCA, UAB) проти годинникової стрілки.

Зона спрацювання ОНМ(Φ) під час роботи «В лінію» відраховується від напрямку максимальної чутливості (Φ_{MC}) в обидві сторони на значення 90° і визначається як:

$$\Phi_{MC} - 90^\circ < \Phi < \Phi_{MC} + 90^\circ.$$

Аналогічно, в режимі ОНМ «В лінію», дозвіл роботи визначення напрямку потужності по конкретній фазі відбуватиметься, якщо відносний від напруги (UBC) кут струму (IA*) потрапить в зону спрацювання.

Для задання області роботи напрямленого захисту в режимі «В шину» необхідно задати тільки уставку «ОНМ угол» – кут максимальної чутливості (Φ_{MC}). Значення кута сектора зони спрацювання незмінне і становить 180° . Кут Φ_{MC} також відраховується від вектора напруги UBC (UCA, UAB) проти годинникової стрілки.

Зона спрацювання ОНМ(Φ) при роботі «В шину» відраховується протилежно напрямку кута максимальної чутливості ($\Phi_{MC} + 180^\circ$) в обидві сторони на значення 90° і визначається як:

$$(\Phi_{MC} + 180^\circ) - 90^\circ < \Phi < (\Phi_{MC} + 180^\circ) + 90^\circ.$$

Аналогічно, в режимі ОНМ «В шину», дозвіл роботи визначення напрямку потужності по конкретній фазі відбуватиметься, якщо відносний від напруги (UBC) кут струму (IA*) потрапить в зону спрацювання.

Передбачено можливість встановлення мінімального рівня спрацювання ОНМ по струму та лінійній напрузі. ОНМ буде працювати тільки якщо фазний струм і відповідна лінійна напруга будуть більші за уставки «Наличие тока» та «Наличие U».

Якщо струм конкретної фази менший від уставки «Наличие тока», то

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

засвітиться відповідний світлодіод.

Аналогічно, якщо конкретна лінійна напруга менша від уставки «Наличие U», то засвітиться відповідний світлодіод.

Чутливість ОНМ по струму – задане значення уставки по струму понад 0,2 А, по напрузі – задане значення уставки по напрузі понад 10 В.

Похибка визначення кутів на краях діапазонів зони спрацьовування не перевищує $\pm 5\%$.

При нечіткому визначенні поточного напрямку потужності (у зоні невизначеності, а також при зниженні напруги або струму нижче порога чутливості) ОНМ може не спрацювати.

Напрявлений максимальний струмовий захист призначений для відключення вимикача у разі, якщо струм перевищує уставку «МТЗ-ток» і потрапляє в зону спрацьовування ОНМ.

Напрявлений МТЗ перевіряється пофазно з ОНМ відповідної фази.

ОНМ працює незалежно для кожної пари струму та лінійної напруги, але при цьому сигнал на пуск МТЗ видається згідно вибраного режиму спрацьовування (уставка «ОНМ режим»):

- «Хотя бы одна фаза» – пуск МТЗ, якщо хоча б один із струмів потрапляє в зону спрацьовування;
- «Не менее двух фаз» – пуск МТЗ, якщо струм у двох або всіх трьох фазах потрапляє в зону спрацьовування;
- «Все три фазы» – для пуску МТЗ необхідно, щоб струм у всіх трьох фазах потрапив у зону спрацьовування.

При спрацюванні органів напрямку потужності згідно «ОНМ режим» замикається реле К4 та дозволяється пуск МТЗ. Також при спрацюванні конкретного органу напрямку потужності засвітиться відповідний світлодіод.

На час пуску МТЗ:

- засвічується СДИ1 (до закінчення аварійного режиму);
- засвічується СДИ2 (до закінчення аварійного режиму і до квітування);
- замикається реле К5 (до закінчення аварійного режиму або часу витримки).

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Сигнал на відключення МТЗ з'явиться після закінчення відліку часу витримки МТЗ. Після сигналу на відключення МТЗ слідує:

- видача імпульсу відключення на реле К1,
- замикається реле бістабільне К2 (до закінчення аварійного режиму і до квіттування);

засвічується СДИЗ (до закінчення аварійного режиму і до квіттування).

Квіттування СДИ2, СДИЗ і К2 здійснюється кнопкою «СБРОС» або через ДВ5.

Пуск МТЗ можна заблокувати зовнішнім сигналом через ДВ3. Також ДВ3 можна використовувати для введення/виведення МТЗ на відключення.

Характеристики органу напрямку потужності та спрямованого максимального струмового захисту наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристики ОНМ та напрямленого МТЗ

Найменування параметру	Значення
Номінальний струм, А	5 (1)
Діапазон уставок по струму спрацьовування, А	0,25–130,0 (0,025–6)
Дискретність уставок по струму спрацьовування, А	0,01 (0,001)
Діапазон уставок по струму пуску ОНМ, В	0,25–130,0 (0,025–6)
Дискретність уставок по струму пуску ОНМ, В	0,01 (0,001)
Діапазон уставок по напрузі пуску ОНМ, В	10 –150
Дискретність уставок по напрузі пуску ОНМ, В	0,1
Діапазон уставок за часом витримки, с	0,05 –600
Дискретність уставок за часом витримки, с	0,01
Напрямок потужності (сектор спрацьовування)	В лінію; В шину; Сектор
Діапазон уставки по куту максимальної чутливості, град	0 – 360
Дискретність уставки по куту максимальної чутливості, град	1
Діапазон уставок ширини сектора спрацьовування ОНМ, град	20 – 340
Мінімальне значення порога чутливості ОНМ по струму, А	0,3 (0,03)
Мінімальне значення порога чутливості ОНМ по напрузі, В	10
Мінімальна потужність спрацьовування (поріг чутливості реле напрями потужності), Вт	3 (0,3)
Мінімальний час спрацьовування захисту, с	≤ 0,05

Найменування параметру	Значення
Основна похибка по струму, не більше	$\pm 2 \%$
Основна похибка по напрямку потужності спрацьовування при куті максимальної чутливості та номінальних значеннях струму та напруги, не більше градусів	± 2

Пристрій має 5 апаратних виходів (реле). Усі реле, крім реле К3, вже призначені на свої функції без можливості зміни режиму роботи (К1 – Відключення по МТЗ (імпульсний режим), К2 – Робота МТЗ (бістабільне реле, до квитивання), К4 – Сигналізація роботи ОНМ (лінійний режим), К5 – Пуск МТЗ (лінійний режим).

Реле К3 можна призначити на будь-який доступний сигнал функції напруженого МТЗ, а також на дискретні входи ДВ1 і ДВ2. Вибір функції для реле К3 здійснюється бітовою уставкою «К3 функція».

Бітова уставка «К3 функція» - число <00000>, що визначає вибір функцій для активації реле К3. Задається вибором із двох варіантів: «1» (Вкл) або «0» (Вимк).

Для реле К3 доступний вибір режиму роботи:

- лінійний – реле замкнено доки є сигнал активації відповідно «К3 функція»;
- імпульсний – реле замикається на час, який задається параметром «К3 імпульс» в діапазоні 0 – 600 с з дискретністю 0,01 с, після появи сигналу активації згідно з «К3 функція»;
- тригерний – реле замикається після появи активації відповідно «К3 функція» до скидання сигналом «Квитиование» по ДВ, ДУ або з ПП кнопкою «СБРОС»;

Стан реле в цей момент часу можна проконтролювати за допомогою параметру «Сост реле 1-5» в меню пристрою.

У пристрої реалізовано скидання тригерної сигналізації (тригерний режим для реле К2 і для СДИ2 і СДИ3), яке здійснюється:

- за наявності сигналу на дискретному вході ДВ5, призначеному на «Квитивання»;

- при натисканні на кнопку Сброс на лицьовій панелі пристрою, якщо скидання дозволено параметром «Сброс с ПП».
- при надходженні команди «Квитування» через ДУ, якщо дистанційне керування дозволено параметром «ДУ».

Пристрій здійснює реєстрацію, зберігання та відображення на дисплеї параметрів спрацьовування функцій захисту та автоматики.

Параметри аварійного режиму фіксуються по спрацьовуванню МТЗ. Сигналом аварійного режиму є сигнал «Работа МТЗ».

Реєстратор подій дозволяє:

- сигналізувати аварійний режим (відпрацювання захистів на вимкнення) на дисплеї ПП пристрою. При цьому на дисплеї фіксується пункт меню «Авария» до натискання кнопки «СБРОС». При спрацьовуванні пристрою на дисплей виводиться причина відключення (вид спрацювавшего захисту або автоматики, зовнішнє відключення), дата та час спрацьовування функції та значення вимірних величин струмів та напруг у момент аварії;
- зберегти всі події (у тому числі і події аварійного режиму) та їх параметри (час, вимірювання, стан реле та ДВ) у журнал подій з подальшим формуванням звіту подій.

Аварійний осцилограф дозволяє:

- записати осцилограму аварійної події (якщо сигнал «Работа МТЗ» введено на активацію осцилографа уставкою «ОСЦ режим»);
- записати осцилограму при надходженні сигналу на ДВ4;
- записати осцилограму через ДУ, якщо дистанційне керування дозволено параметром «ДУ».

Інформація про кожну подію та осцилограми зберігаються в енергонезалежній пам'яті пристрою в кільцевому буфері.

Реєстрація подій (Журнал подій). До подій відносяться системні події (ввімкнення пристрою, оперативне живлення), всі пуски і робота захистів, дії функцій автоматики, зміна входних та вихідних дискретних змінних, а також будь-які дії на кнопки керування, віртуальні входи. Кожна подія послідовно

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

записується в журнал подій, який з метою спрощення алгоритму являє собою кільцевий буфер фіксованого розміру, що зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Максимальна ємність журналу подій – 256 подій. Роздільна здатність за часом - 0,01 с. Нова подія розміщується у верхньому рядку списку, при цьому весь список зміщується вниз, а остання подія – безповоротно зникає.

Журнал складається з подій, розміщених у хронологічному порядку із зазначенням дати (числа, місяця, року) та часу (години, хвилини, секунди, десятки мілісекунд). Подія формується по передньому, по задньому або по обох фронтах сигналу, що її активував. Різні події мають різний режим формування. Наприклад, події пуску захистів формуються двічі по обох фронтах (початок і кінець пуску), а події роботи захистів – лише по передньому. Стан події (її початок або кінець) зберігаються та відображаються у стовпці «Значение» журналу подій.

Для всіх подій також зберігаються значення виміряних величин і стану всіх ДВ та реле в момент події.

Усі події поділені на кілька рівнів:

- Система (внутрішні події зміни стану пристрою такі як: увімкнення пристрою, переустановлення годинника та календаря, зміна уставок та інше);
- ДВ (події зміни станів ДВ по обох фронтах);
- Реле (події зміни станів реле по обох фронтах);
- Пуски захистів (події пуску всіх ступенів захисту по обох фронтах);
- Робота захистів (події роботи всіх ступенів захистів по передньому фронту);
- Автоматика (події функцій автоматики, контролю);
- Осцилограма (події пусків осцилограм);
- Телеуправління (події керування по ДУ).

Перегляд вмісту всього журналу подій та формування звіту подій доступний з ПК, який працює під керуванням програми «Монітор-2». Перегляд подій останньої аварії та списку подій доступний на дворядковому OLED-дисплеї пристрою.

					ХНТУ 123.25059 ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

У пристрої передбачено можливість очищення журналу подій за допомогою параметра «Сброс журнала/осц» в підменю «Параметры» → «Управления». Журнал буде очищено відразу після активації пункту «Сброс» і пристрій перезапуститься.

Характеристики функції «Цифровой регистратор» (Реєстрація подій) наведено у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7- Характеристика функції «Цифровой регистратор»

Найменування параметру	Значення
Роздільна здатність, мс, дискретний сигнал	10
Кількість сигналів струму та напруги, що реєструються	8
Кількість дискретних сигналів, що реєструються: - вхідних - вихідних	до 5 до 5
Кількість подій, що реєструються	до 256
Кількість аварій, що реєструються	до 30

Параметри інтерфейсів RS-485 та Ethernet наведені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Параметри інтерфейсу RS-485 та Ethernet

Найменування	Параметр	
	RS-485	Ethernet
Тип	Порт на бічній поверхні пристрою, вита пара	Порт на бічній поверхні пристрою, роз'єм 8P8C (RJ-45, для кабелю витої пари 5 категорії)
Протокол	MODBUS RTU	MODBUS TCP
Швидкість передачі	9600/ 19200/ 38400/ 57600/ 115200 бод (програмується)	10/100 Мбіт/с для пристроїв з роз'ємом 8P8C (RJ-45) підтримується автоматично

У пристрої передбачено дистанційне керування за допомогою віртуальних входів та виходів. Керування здійснюється за протоколом MODBUS RTU. Адреси віртуальних входів та виходів представлені у відповідних картах MODBUS.

Користувачеві доступні такі віртуальні входи:

- «Квитирование» - віртуальний вхід скидання сигналізації;
- «Запуск осцилограмми» - віртуальний вхід запуску осцилограми.

Дистанційне керування по всіх віртуальних входах дозволяється параметром «ДУ».

Кожен логічний вихід функцій захистів контролю та автоматики має свій віртуальний вихід із конкретною адресою. Віртуальні виходи робіт захистів та деяких функцій автоматики працюють у тригерному режимі та скидаються за допомогою сигналу «Квитирование». Віртуальні виходи пусків та функцій контролю працюють у лінійному режимі.

Назви віртуальних виходів збігаються із назвами логічних виходів.

Габаритні та установчі розміри, зовнішній вигляд передньої панелі пристрою РНМ-01-У наведені на рис.1.2.

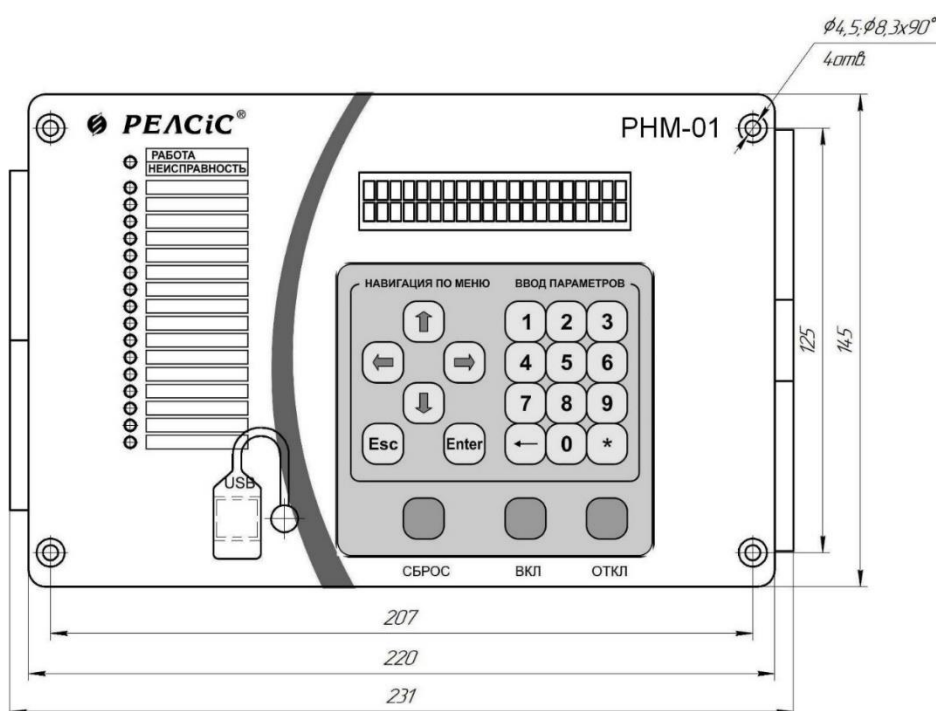


Рисунок 1.2 – Габаритні та установчі розміри, зовнішній вигляд передньої панелі пристрою РНМ-01-У

1.2 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу

У кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно розробити комп'ютерну систему діагностики реле напрямку потужності РНМ-01.

Необхідно виконати наступні етапи:

- Описати роботу пристрою, який 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;
- Написати програму формування пакета даних для ПД, де перші два біти - номер ПК, наступні 8 біт – вхідний потік даних;
- В ПД виконати кодування (шифрування) отриманої інформації;
- Спроектувати комп'ютерну мережу (КМ);

Комбінації вхідного потоку даних, які повинні обробляти пристрій діагностики, отримуються за наступним алгоритмом.

У двійковій системі число, що задає вхідний потік даних, згідно з варіантом має вигляд: 1100 0111 0010 1000 0101 0101. Дані фіксуються в табл.1.9.

Таблиця 1.9 – Вхідний потік даних

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

Виділено біти, значення яких можуть бути будь-якими (за варіантом біти № 1, 6, 7, 17, 18, 20, 21) – табл.1.10.

Таблиця 1.10 – Вхідний потік з виділеними бітами

V ₈	V ₇	V ₆	V ₅	V ₄	V ₃	V ₂	V ₁	
<u>1</u>	1	0	1	0	0	1	<u>0</u>	ПК1
<u>1</u>	0	0	0	0	0	0	1	ПК2
0	1	1	0	0	1	<u>1</u>	<u>1</u>	ПК3
1	0	<u>0</u>	<u>0</u>	0	1	1	1	ПК4

Отримано 4 набори даних, кожен з яких призначений для відповідного

ПК. Пристрій діагностики повинен бути розпізнати ці кодові комбінації, додати до них номер відповідного ПК і таким чином сформувати потік даних.

Тестування мікропроцесорного реле буде здійснюватися у діагностичному режимі, що вмикається згідно з документацією. В кваліфікаційній роботі необхідно побудувати пристрій діагностики, що під'єднується до діагностичного виходу реле, зчитує дані та формує коди помилок. Коди помилок та їх розшифровку наведено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Розшифровка кодів помилок

Код	Розшифровка
X101001X	Вихід з ладу OLED-дисплею
X0000001	Помилка живлення
011001XX	Помилка запису в ОЗП
10XX0111	Помилка на інтерфейсі Ethernet

Висновок: у даному розділі було описано мікропроцесорне реле напрямку потужності, його устрій, застосування та обслуговування. Поставлено завдання на кваліфікаційну роботу, описано основні можливості щодо отримання вхідних даних в рамках цієї розробки.

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТИКИ

Завдання, що буде виконуватися пристроєм на базі мікроконтролера, полягає у вибірці 8-бітної комбінації з вхідного потоку даних і формуванні пакета даних, де перші два біти – номер ПК (від 1 до 4), наступні 8 біт – вхідний потік даних. Порт для обміну інформацією – LPT.

2.1 Обґрунтування вибору мікроконтролера

2.1.1 Загальні відомості про мікроконтролери та їх призначення

Мікроконтролери є базовими елементами сучасних вбудованих комп'ютерних систем і широко застосовуються в промисловій автоматизації, вимірювальній техніці, релейному захисті, системах керування та діагностики. На відміну від універсальних мікропроцесорів, мікроконтролер являє собою однокристальний обчислювальний пристрій, що поєднує в одному корпусі центральний процесор, пам'ять програм і даних, а також набір периферійних модулів введення-виведення. Така інтеграція дозволяє створювати компактні, енергоефективні та надійні пристрої, оптимізовані для виконання конкретних функцій.

У комп'ютерній системі діагностики реле напрямку потужності РНМ-01 мікроконтролер виконує роль центрального керуючого вузла, який забезпечує зчитування вимірювальних сигналів, їх первинну обробку, формування пакетів даних, обмін інформацією з персональним комп'ютером через паралельний інтерфейс LPT, а також керування допоміжними режимами роботи пристрою. Саме тому до вибору мікроконтролера висуваються підвищені вимоги щодо функціональності, надійності, детермінованості роботи та простоти апаратної реалізації.

Сучасні мікроконтролери класифікуються за розрядністю (8-, 16- та 32-

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

бітні), типом архітектури, обсягом вбудованої пам'яті, набором периферійних модулів і можливостями розширення. Для систем діагностики, що працюють у реальному часі та взаємодіють з вимірювальними сигналами, особливе значення має передбачуваність часових характеристик виконання програм, що є перевагою класичних 8-бітних RISC-мікроконтролерів.

2.1.2 Архітектура мікроконтролерів

Архітектура мікроконтролера визначає принципи організації обчислювального процесу, взаємодії процесорного ядра з пам'яттю та периферійними модулями, а також ефективність виконання програмного коду. У більшості сучасних мікроконтролерів використовується гарвардська або модифікована гарвардська архітектура, яка передбачає розділення пам'яті програм і пам'яті даних. Таке розділення дозволяє одночасно зчитувати інструкцію та дані, що підвищує швидкодію системи та зменшує кількість тактів, необхідних для виконання команд.

Центральним елементом мікроконтролера є процесорне ядро, яке містить арифметично-логічний пристрій, регістровий файл, блок керування та систему переривань. Арифметично-логічний пристрій забезпечує виконання базових операцій додавання, віднімання, логічних операцій, зсувів та порівнянь. Регістровий файл використовується для зберігання операндів і результатів обчислень, що дозволяє мінімізувати доступ до повільнішої пам'яті даних.

Особливу роль у мікроконтролерах відіграє система переривань, яка дозволяє реагувати на зовнішні події, такі як надходження даних через інтерфейс зв'язку, завершення перетворення аналого-цифрового перетворювача або спрацювання таймера. Для системи діагностики це є критично важливим, оскільки дозволяє реалізувати квазіпаралельну обробку вимірювальних процесів і обміну з комп'ютером без втрати даних.

2.1.3 Пам'ять у мікроконтролерах

Типова структура пам'яті мікроконтролера включає пам'ять програм,

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

оперативну пам'ять даних та енергонезалежну пам'ять для зберігання параметрів. Пам'ять програм, як правило, реалізується на основі Flash-технології, що дозволяє багаторазове перепрограмування пристрою без його демонтажу. Це є важливою перевагою на етапі розробки та модернізації системи діагностики.

Оперативна пам'ять використовується для зберігання змінних, буферів прийому та передавання даних, а також проміжних результатів обробки. Її обсяг безпосередньо впливає на складність реалізованих алгоритмів, зокрема алгоритмів шифрування та формування пакетів даних для передавання через LPT-інтерфейс. Енергонезалежна пам'ять типу EEPROM застосовується для зберігання калібрувальних коефіцієнтів, налаштувань режимів роботи та ідентифікаційних параметрів пристрою.

2.1.4 Периферійні модулі та інтерфейси введення-виведення

Однією з ключових переваг мікроконтролерів є наявність вбудованих периферійних модулів, які дозволяють реалізувати функції введення-виведення без використання додаткових мікросхем. До таких модулів належать порти введення-виведення загального призначення, таймери, аналого-цифрові перетворювачі, а також апаратні засоби підтримки інтерфейсів зв'язку.

У межах даної кваліфікаційної роботи особливу увагу приділено використанню паралельного інтерфейсу LPT, через який пристрій діагностики підключається до персонального комп'ютера. Для реалізації такого інтерфейсу необхідна наявність достатньої кількості програмованих ліній введення-виведення, можливість швидкої зміни напрямку передачі сигналів та підтримка синхронної роботи з зовнішніми логічними рівнями. Мікроконтролери з гнучкою системою портів введення-виведення дозволяють безпосередньо підключати лінії LPT-порту через буферні схеми, що спрощує апаратну частину пристрою та підвищує його надійність.

2.1.5 Архітектура мікроконтролерів AVR

Архітектура AVR мікроконтролерів базується на модифікованій гарвардській організації пам'яті, де інструкції виконуються з окремої пам'яті програм, а дані з окремої області пам'яті даних. Такий підхід дозволяє одночасно передавати інструкції та доступатися до даних, підвищуючи продуктивність та скорочуючи число тактів на інструкцію.

AVR-ядро містить 32 регістри загального призначення, які безпосередньо підключені до арифметично-логічного пристрою (ALU), що дозволяє виконувати більшість інструкцій за один тактовий цикл.

Блок переривань є важливим компонентом, який дозволяє мікроконтролеру ефективно реагувати на зовнішні події, такі як сигнали від таймерів або дані з периферійних модулів.

Блокова архітектура мікроконтролера AVR із основними модулями: Flash-пам'яттю, регістровим файлом, арифметично-логічним пристроєм, SRAM та периферійними модулями наведена на рис.2.1.

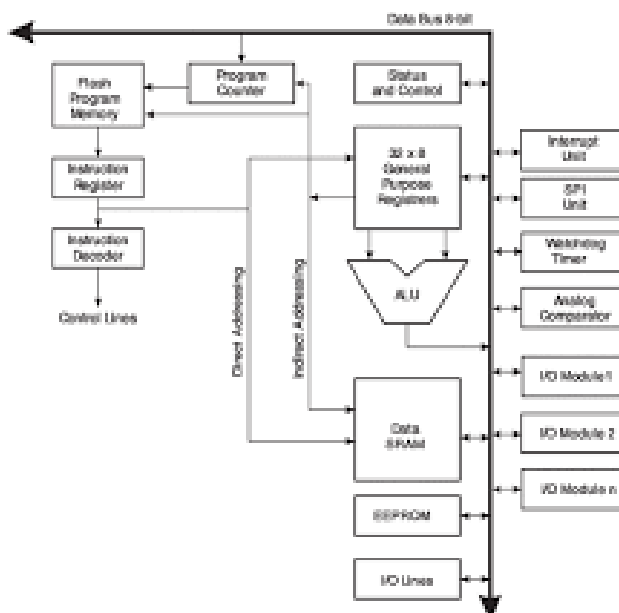


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема архітектури мікроконтролерів AVR

2.1.6 Організація пам'яті в AVR-мікроконтролерах

Модифікована гарвардська архітектура AVR передбачає фізичне розділення пам'яті програм і пам'яті даних. Пам'ять програм реалізується на базі Flash-пам'яті та використовується для зберігання виконуваного коду. Пам'ять даних включає оперативну пам'ять SRAM та енергонезалежну пам'ять EEPROM. Такий підхід дозволяє одночасно виконувати зчитування інструкції та доступ до даних, що підвищує швидкодію та зменшує кількість тактів на виконання програм.

Важливою особливістю є підтримка доступу до Flash-пам'яті як до джерела константних даних, що дозволяє зберігати таблиці, калібрувальні коефіцієнти та службову інформацію без використання оперативної пам'яті.

Таблиця 2.1 – Типова організація пам'яті AVR-мікроконтролера

Тип пам'яті	Призначення	Характеристика
Flash	Пам'ять програм	Перепрограмовувана, зберігає код
SRAM	Оперативна пам'ять	Змінні, буфери, стеки
EEPROM	Постійні дані	Зберігання налаштувань

2.1.7 Порти введення-виведення та робота з паралельним інтерфейсом LPT

Однією з ключових переваг мікроконтролерів AVR є гнучка система портів введення-виведення. Кожен порт складається з восьми ліній, напрямок роботи яких може програмно змінюватися. Для кожного порту передбачено три основні регістри: регістр напрямку даних, регістр вихідних значень та регістр зчитування стану входів. Така структура дозволяє ефективно реалізовувати паралельний обмін даними.

У розроблюваній комп'ютерній системі діагностики передавання інформації між мікроконтролером і персональним комп'ютером здійснюється через паралельний інтерфейс LPT. Цей інтерфейс забезпечує одночасну передачу кількох бітів інформації, що дозволяє зменшити часові затримки при передаванні вимірювальних даних і керуючих сигналів. Для реалізації LPT-зв'язку

використовується група портів введення-виведення мікроконтролера, які формують шину даних та керуючі сигнали.

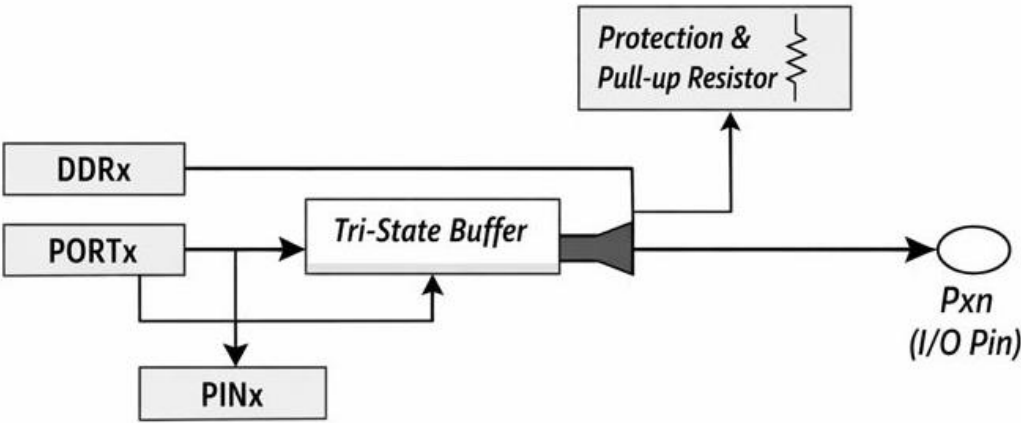


Рисунок 2.2 – Внутрішня структура порту введення-виведення AVR-мікроконтролера

2.1.8 1.8 Порівняння мікроконтролерів для систем діагностики

При виборі мікроконтролера для системи діагностики важливо враховувати не лише продуктивність, але й простоту апаратної реалізації, кількість портів введення-виведення та доступність документації. AVR-мікроконтролери вигідно відрізняються від багатьох альтернативних рішень своєю простотою інтеграції та широкою підтримкою в навчальних і промислових проєктах (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння популярних 8-бітних мікроконтролерів

Параметр	AVR (ATmega)	PIC (Mid-Range)	8051
Архітектура	RISC	RISC	CISC
Робочі регістри	32	1 (W)	Обмежені
Простота програмування	Висока	Середня	Низька
Підтримка паралельних портів	Висока	Середня	Обмежена

Враховуючи вимоги до комп’ютерної системи діагностики реле напрямку потужності РНМ-01, мікроконтролер повинен забезпечувати достатню кількість ліній введення-виведення для організації паралельного інтерфейсу LPT, підтримку таймерів для синхронізації обміну, наявність аналого-цифрового

перетворювача для роботи з вимірювальними сигналами та достатній обсяг пам'яті для реалізації програмних алгоритмів обробки й шифрування даних. Ці вимоги в повному обсязі задовольняються мікроконтролером ATmega168.

2.1.9 Загальна характеристика мікроконтролера ATmega168

Мікроконтролер ATmega168 (рис.2.3) належить до класу універсальних 8-бітних мікроконтролерів сімейства AVR і призначений для застосування у вбудованих системах керування, вимірювання та діагностики. Він поєднує в собі достатню обчислювальну потужність, розвинену периферію та компактність, що робить його придатним для використання в апаратурі середнього рівня складності, зокрема в комп'ютерних системах діагностики електротехнічних пристроїв.

ATmega168 підтримує роботу на тактових частотах до 20 МГц, що дозволяє реалізовувати алгоритми обробки даних у реальному часі. Завдяки RISC-архітектурі більшість інструкцій виконується за один такт, що забезпечує передбачуваний часовий характер виконання програм. Це є важливою вимогою для діагностичних систем, у яких затримки та часові збої можуть призводити до спотворення результатів вимірювань.

Процесорне ядро ATmega168 побудоване на основі класичної AVR-архітектури з розширеним регістровим файлом. У складі ядра реалізовано 32 регістри загального призначення, які безпосередньо з'єднані з арифметично-логічним пристроєм. Така організація дозволяє виконувати операції без звернення до оперативної пам'яті, що значно підвищує швидкодію.

Вбудований блок керування інструкціями забезпечує підтримку розгалуженої системи переривань, що дозволяє ефективно обробляти зовнішні події, такі як надходження даних з вимірювальних каналів або сигнали керування з боку персонального комп'ютера через LPT-порт. У контексті пристрою діагностики це дозволяє забезпечити коректну синхронізацію обміну даними та мінімізувати втрати інформації.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

AVR Block Diagram

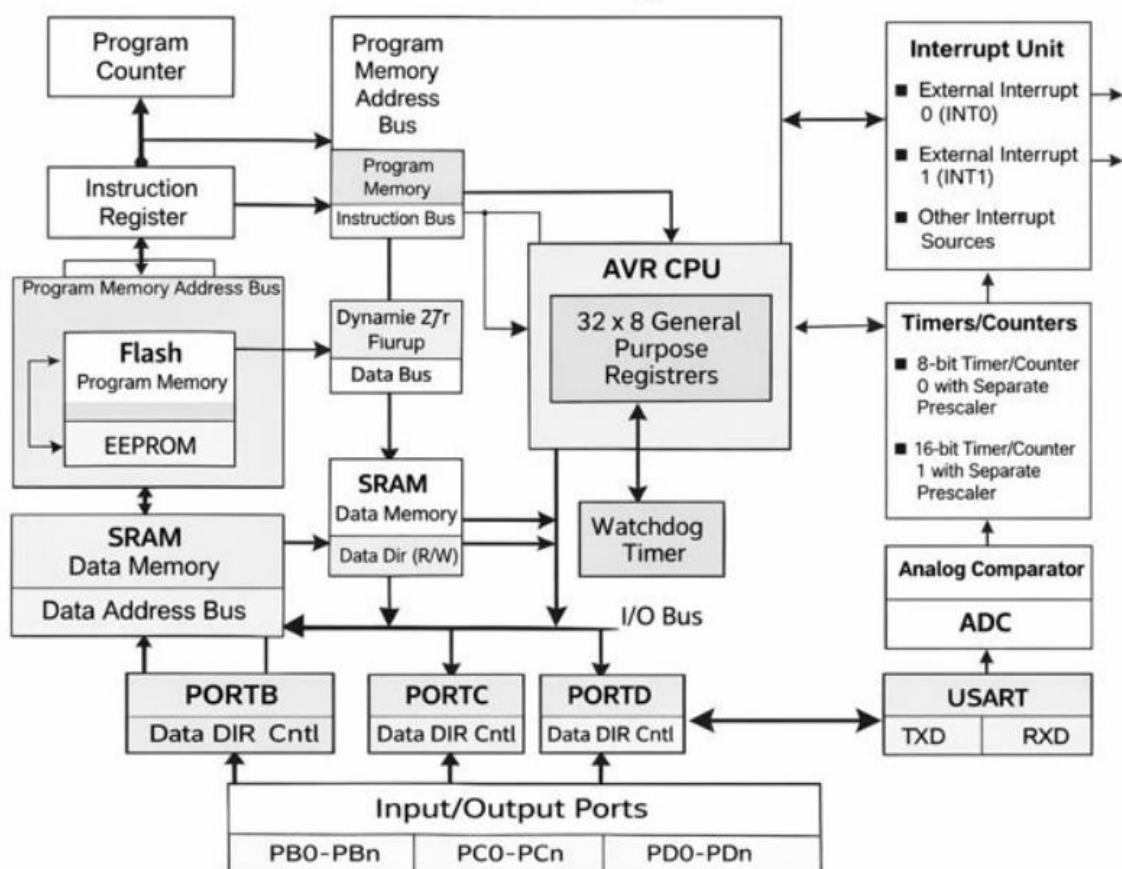


Рисунок 2.3 – Структурна блок-схема мікроконтролера АТmega168

Організація пам'яті АТmega168 є типовою для мікроконтролерів AVR і включає три основні типи пам'яті: Flash, SRAM та EEPROM (табл.2.3). Така структура дозволяє ефективно розподіляти програмні модулі, змінні та постійні параметри.

Таблиця 2.3 – Ресурси пам'яті мікроконтролера АТmega168

Тип пам'яті	Обсяг	Призначення
Flash	16 КБ	Зберігання програми керування
SRAM	1 КБ	Оперативні дані, буфери
EEPROM	512 Б	Налаштування, калібрувальні дані

Flash-пам'ять використовується для розміщення програмного коду системи діагностики, включаючи алгоритми збору даних, формування пакетів для передавання через LPT-порт та реалізацію шифрування. Оперативна пам'ять використовується для буферизації вимірювальних даних та проміжних результатів обробки. EEPROM дозволяє зберігати параметри калібрування та

конфігураційні дані без втрати при вимкненні живлення, що є важливим для промислових застосувань.

Однією з ключових причин вибору ATmega168 є наявність достатньої кількості програмованих портів введення-виведення. Мікроконтролер має до 23 ліній GPIO, які можуть використовуватися як входи або виходи залежно від конфігурації регістрів.

Для реалізації паралельного інтерфейсу LPT необхідна можливість одночасної передачі декількох бітів даних, а також формування керуючих сигналів. Порти ATmega168 дозволяють організувати 8-бітну шину даних, а додаткові лінії використовувати для сигналів стробування та керування. Завдяки високій швидкодії портів введення-виведення забезпечується стабільний обмін даними з персональним комп'ютером.

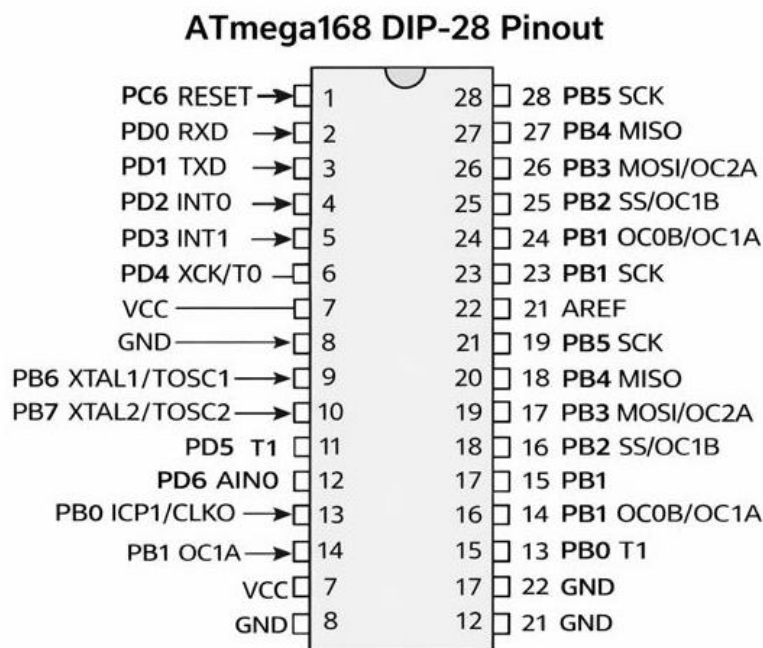


Рисунок 2.4 – Розташування виводів мікроконтролера ATmega168 у корпусі DIP-28

ATmega168 містить два 8-бітних таймери та один 16-бітний таймер, які можуть використовуватися для формування часових інтервалів, синхронізації обміну через LPT-порт і реалізації програмних затримок. Таймери підтримують режими порівняння та переповнення, що дозволяє точно задавати моменти виконання певних операцій.

Система переривань ATmega168 дозволяє реагувати на події від таймерів, портів введення-виведення та внутрішніх модулів. Це дає змогу реалізувати асинхронний обмін даними з персональним комп'ютером без постійного опитування стану портів, що підвищує ефективність використання ресурсів мікроконтролера.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що мікроконтролер ATmega168 повністю відповідає вимогам, які висуваються до пристрою діагностики реле напрямку потужності РНМ-01. Він забезпечує необхідну кількість ліній введення-виведення для реалізації паралельного інтерфейсу LPT, має достатній обсяг пам'яті для реалізації алгоритмів обробки та шифрування даних, а також підтримує розвинену систему таймерів і переривань.

Використання ATmega168 дозволяє реалізувати компактний, надійний та функціонально завершений пристрій діагностики, який може бути інтегрований у комп'ютерну систему та використаний у виробничих і сервісних умовах.

2.2 Розробка схеми пристрою

Основою пристрою діагностики служить мікроконтролер Atmega 168 - мініатюрний контролер з достатньою для поставленого завдання обчислювальною потужністю, а також кількістю виводів.

Вихідні дані подаються на мікроконтролер через роз'єм XP1 на порт В. Далі дані обробляються програмою мікроконтролеру і передаються через паралельний інтерфейс на ПК.

Для можливості підключення пристрою до ПК на платі встановлено двадцяти п'яти контактний роз'єм типу «тато» — DRB-25MA. Згідно специфіки драйверу паралельного порту для зв'язку використовуються всі лінії передачі даних (D[7..0]) та декілька керуючих ліній. Важливою є необхідність підключення лінії ERROR до корпусу пристрою. Це зроблено, оскільки стандартний драйвер Windows перестає працювати, коли на даній лінії

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

з'являється сигнал активного рівня, і це дозволяє роботу спеціалізованого драйверу.

Живлення пристрою відбувається від стабілізованого джерела мережного живлення, яке розташоване на платі пристрою. Пристрій є малопотужним, тому розміри блоку живлення також є мінімальними.

Основою блоку живлення є мережний трансформатор мініатюрного розміру. Трансформована напруга подається на діодний міст для випрямлення, а потім фільтрується на конденсаторах з електролітичним та керамічним діелектриками для зменшення завад різних частот. Відфільтрована напруга подається на інтегральну мікросхему для стабілізації до рівня 5В. До виходу стабілізатору також підключений фільтруючий конденсатор.

Для правильного функціонування інтегрального стабілізатору та для забезпечення вихідної напруги рівнем 5В вхідна напруга стабілізатора повинна складати не менш ніж 7В. Щоб забезпечити надійну роботу пристрою, приймемо потрібну вхідну напругу стабілізатору рівною 9В. Для забезпечення напруги такого рівня на виході діодного мосту діюча напруга вторинної обмотки трансформатору повинна складати:

$$U_{AC} = U_{DC} \div \sqrt{2}, \quad (2.1)$$

$$9 \div \sqrt{2} \approx 6,4(B)$$

Вимогам розроблюваного пристрою відповідає трансформатор BV EI3022020. Первинна обмотка трансформатору розрахована на напругу до 250В. Коефіцієнт трансформації — 1:35. Таким чином, при мережній напрузі 220В на виводах вторинної обмотки трансформатору буде приблизно 6,3В. Потужність трансформатору — 10Вт, максимальний струм вторинної обмотки — 1А, ККД = 60%.

Відповідно до максимального струму вторинної обмотки потрібний діодний міст з запасом по струму, тому обрано DB104, який витримує струм до 2А. Щоб захистити первинну обмотку трансформатору, а також мережу живлення від можливих поломок, в схему блоку живлення встановлено плавкий запобіжник на 100мА. Такий струм спрацювання запобіжника вибрано із

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунку максимального струму в ланцюгу первинної обмотки при максимальному навантаженні.

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2.2)$$

$$P_2 = 6,3 \cdot 1,0 \approx 6,3(Bm),$$

$$P_1 = P_2 \div KКД, \quad (2.3)$$

$$P_1 = 6,3 \div 0,6 = 10,5(Bm),$$

$$I_1 = P_1 \div U_1, \quad (2.4)$$

$$I_1 = 10,5 \div 220 \approx 48(мА),$$

де P_2 — потужність вторинної обмотки, U_2 — напруга вторинної обмотки, I_2 — струм вторинної обмотки, P_1 — потужність первинної обмотки (потужність трансформатору), ККД — коефіцієнт корисної дії, U_1 та I_1 — напруга і струм первинної обмотки.

Отже при максимальному навантаженні на блок живлення запобіжник не спрацює. Спрацьовування і відключення приладу від мережі відбудеться при виникненні замикань в схемі або в обмотці трансформатору, або при значному перевищенні мережної напруги.

Далі треба використати мікросхему для керування живленням MC7805CDTRKG, яка зменшує напругу до 5В, і пропускає силу струму в 1А.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ

3.1 Аналіз програмних засобів роботи з мікроконтролерами

Розробка та експлуатація мікроконтролерних систем неможлива без використання спеціалізованих програмних засобів, які забезпечують написання, налагодження, компіляцію, прошивання та тестування програмного забезпечення. Вибір програмних інструментів істотно впливає на швидкість розробки, надійність програмного коду, можливості діагностики та супроводу мікроконтролерних пристроїв. Далі розглянуто аналіз програмних засобів, що застосовуються для роботи з мікроконтролерами сімейства AVR, зокрема ATmega168.

Загалом програмне забезпечення для роботи з мікроконтролерами поділяється на кілька функціональних груп. До них належать середовища розробки програм, компілятори та асемблери, відлагоджувачі, програматори пам'яті, а також допоміжні утиліти для симуляції та аналізу роботи пристрою. Кожна з цих груп виконує власну роль у життєвому циклі мікроконтролерного проєкту - від створення алгоритму до впровадження готової системи.

Основою програмної розробки є середовище інтегрованої розробки, яке поєднує текстовий редактор, компілятор, засоби керування проєктом і налагодження. Для мікроконтролерів AVR одним з найбільш поширених середовищ є Microchip Studio (раніше Atmel Studio). Дане середовище базується на платформі Microsoft Visual Studio та підтримує мови програмування C, C++ і асемблер AVR. Воно дозволяє створювати проєкти з урахуванням конкретної моделі мікроконтролера, автоматично підключати бібліотеки периферійних модулів, а також виконувати симуляцію та апаратне налагодження.

Важливою складовою програмних засобів є компілятори. Для AVR-мікроконтролерів стандартом де-факто є AVR-GCC, що входить до складу пакету GNU Compiler Collection. AVR-GCC дозволяє створювати ефективний машинний код мовою C із урахуванням обмежених апаратних ресурсів мікроконтролера.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Компілятор підтримує оптимізацію за розміром коду та швидкодією, що є критично важливим для мікроконтролерів з обмеженим обсягом флеш-пам'яті та оперативної пам'яті.

Особливе місце займає програмування мовою асемблера. Асемблер AVR забезпечує повний контроль над апаратними ресурсами, дозволяє максимально ефективно використовувати регістри та інструкції процесора. Проте складність розробки та обмежена переносимість програм зумовлюють те, що асемблер застосовується переважно для критичних ділянок коду. У більшості практичних застосувань використовується мова C у поєднанні з апаратно-орієнтованими бібліотеками.

Окрему групу становлять бібліотеки та програмні фреймворки, що спрощують роботу з периферійними модулями мікроконтролера. Для AVR широко застосовуються стандартні бібліотеки `avr-libc`, які містять визначення регістрів, макроси для роботи з портами введення-виведення, таймерами, перериваннями, АЦП та послідовними інтерфейсами. Використання таких бібліотек значно підвищує читабельність коду та зменшує ймовірність помилок при прямій роботі з регістрами.

Налагодження програм є одним з найскладніших етапів розробки мікроконтролерних систем. Для цього використовуються як програмні симулятори, так і апаратні відлагоджувачі. Симулятор дозволяє виконувати програму без реального мікроконтролера, аналізуючи значення регістрів, стан пам'яті та логіку виконання інструкцій. Проте симуляція не завжди точно відображає поведінку реального пристрою, особливо при роботі з таймінгами та зовнішніми сигналами.

Апаратне налагодження здійснюється за допомогою спеціальних інтерфейсів, таких як ISP, JTAG або `debugWIRE`. Вони дозволяють зупиняти виконання програми, встановлювати точки зупину, переглядати вміст регістрів та змінних безпосередньо на працюючому мікроконтролері. Для AVR-мікроконтролерів часто використовуються програматори та відлагоджувачі типу USBasp, AVRISP або Atmel-ICE.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Програматори пам'яті призначені для запису скомпільованого коду у флеш-пам'ять мікроконтролера. Вони забезпечують передачу даних між комп'ютером і мікроконтролером через відповідний інтерфейс, наприклад USB або LPT. У випадку використання LPT-порту, що є характерним для застарілих систем, програмне забезпечення повинно безпосередньо керувати лініями паралельного інтерфейсу, формуючи сигнали програмування.

У таблиці 2.4 наведено узагальнене порівняння основних програмних засобів, що застосовуються для роботи з мікроконтролерами AVR.

Таблиця 2.4 – Характеристика програмних засобів роботи з AVR-мікроконтролерами

Програмний засіб	Призначення	Переваги	Обмеження
Microchip Studio	IDE, налагодження	Інтегроване середовище, підтримка відлагодження	Вимоги до ОС Windows
AVR-GCC	Компілятор C/C++	Висока оптимізація, відкритий код	Потребує налаштування
avr-libc	Бібліотеки	Зручна робота з периферією	Залежність від компілятора
USBasp / AVRISP	Програмування	Простота, низька вартість	Обмежені функції налагодження

Для задач діагностики мікроконтролерних пристроїв важливу роль відіграють програмні засоби взаємодії з персональним комп'ютером. До них належать драйвери, програми обміну даними та утиліти моніторингу. У таких системах мікроконтролер виступає як підлеглий пристрій, а комп'ютер — як керуючий вузол, що ініціює обмін, аналізує отримані дані та формує керуючі команди.

Таким чином, аналіз програмних засобів роботи з мікроконтролерами показує, що ефективна розробка мікроконтролерних систем можлива лише за умови комплексного використання середовищ розробки, компіляторів, бібліотек, засобів програмування та налагодження. Для мікроконтролерів AVR ці засоби є

добре розвиненими, доступними та перевіреними на практиці, що обґрунтовує їх доцільність використання.

3.2 Розробка програми формування пакета даних для мікроконтролера

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

Програма функціонує за наступним алгоритмом.

При включенні пристрою відбувається ініціалізація мікроконтролера. Після її завершення мікроконтролер діє під управлінням програми і в циклі виконує задані нею дії.

- МК в циклі зчитує дані з вхідного восьмирозрядного порту. Якщо дані є кодовою комбінацією 1, вони доповнюються адресою 00, після чого десять біт даних відправляються згідно використовуваному протоколу передачі;
- якщо дані є кодовою комбінацією №2 або №3, або №4, вони доповнюються адресою 01, або 10, або 11 відповідно і після цього здійснюється їх пересилка на ПК, до якого підключений розроблений пристрій;
- якщо 8 біт даних не відповідають жодній з комбінацій, що обробляються, їх обробка не відбувається;
- МК працює в нескінченному циклі, який може бути перерваний виключенням пристрою.

Повний лістинг програми-прошивки представлений в додатку А.

3.3 Розробка програми-драйверу

Паралельний інтерфейс LPT (Line Printer Terminal) історично використовувався для підключення принтерів до персональних комп'ютерів, однак завдяки простій апаратній реалізації та прямому доступу до ліній введення-виведення він набув широкого застосування у системах керування, вимірювання та діагностики. У межах даної кваліфікаційної роботи інтерфейс

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

LPT розглядається як засіб організації апаратно-програмного обміну між комп'ютером та пристроєм діагностики на базі мікроконтролера, що зумовлює необхідність розробки спеціалізованого драйверного програмного забезпечення.

З точки зору архітектури персонального комп'ютера LPT-порт є апаратним інтерфейсом, підключеним до системної шини та керованим через набір портів введення-виведення. Класичний LPT-порт використовує три послідовні адреси введення-виведення, які відповідають регістру даних, регістру стану та регістру керування. Звернення до цих регістрів здійснюється безпосередньо з програмного коду драйвера, що дозволяє формувати керуючі сигнали та зчитувати стан зовнішніх ліній.

Регістр даних LPT-порту призначений для передачі 8-бітної інформації від комп'ютера до зовнішнього пристрою. У контексті розробки драйверу цей регістр використовується для формування команд, даних конфігурації або бітових послідовностей, які передаються на мікроконтролер. Оскільки лінії регістру даних є вихідними, драйвер повинен забезпечувати коректну послідовність запису значень з урахуванням часових вимог зовнішнього пристрою.

Регістр стану забезпечує зчитування інформації зі зворотних ліній LPT-порту. Він дозволяє драйверу отримувати сигнали підтвердження, готовності або помилки від пристрою діагностики. Особливістю регістру стану є те, що деякі біти мають інверсну логіку, що повинно враховуватися при програмній обробці даних. У драйверному коді це реалізується шляхом маскування та інверсії відповідних бітів.

Регістр керування використовується для формування службових сигналів, таких як стробування, ініціалізація або вибір режиму роботи. У процесі розробки драйверу саме цей регістр відіграє ключову роль у реалізації протоколу обміну, оскільки дозволяє синхронізувати передачу даних між комп'ютером і мікроконтролером. Зміна стану керуючих бітів зазвичай супроводжується затримками, які забезпечують коректне сприйняття сигналів апаратною частиною пристрою.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У таблиці 2.5 наведено узагальнену структуру регістрів стандартного LPT-порту, що використовується при розробці драйверного програмного забезпечення.

Таблиця 2.5 – Регістри LPT-порту та їх призначення

Адреса відносно базової	Регістр	Напрямок	Функціональне призначення
Base + 0	Data	Вихід	Передача даних до пристрою
Base + 1	Status	Вхід	Зчитування стану пристрою
Base + 2	Control	Вихід	Керування режимами та синхронізацією

Розробка драйверу для LPT-інтерфейсу передбачає реалізацію низькорівневого доступу до портів введення-виведення. У середовищах MS-DOS або у старих версіях операційних систем Windows такий доступ міг здійснюватися безпосередньо з користувацького простору за допомогою інструкцій IN та OUT. У сучасних операційних системах прямий доступ до апаратних портів обмежений, тому драйвер повинен працювати у режимі ядра або використовувати спеціальні бібліотеки доступу до апаратури.

Драйвер виконує функції формування командного протоколу, передачі даних на мікроконтролер та приймання відповідей від нього. Драйвер відповідає за перетворення логічних команд прикладного рівня у послідовність бітових сигналів на лініях LPT-порту. Такий підхід дозволяє ізолювати апаратно-залежну частину програмного забезпечення та спростити розробку прикладних програм діагностики.

Важливим аспектом при розробці драйверу є забезпечення часової узгодженості обміну. Оскільки LPT-порт не має вбудованих механізмів синхронізації, драйвер повинен програмно формувати затримки між змінами стану ліній керування та записом даних. Неправильний вибір часових параметрів може призвести до втрати або спотворення даних, що є критичним для діагностичних систем.

Окрім передачі даних, драйвер LPT-інтерфейсу виконує функції ініціалізації та завершення роботи пристрою. Під час ініціалізації

встановлюється початковий стан регістрів, очищуються лінії керування та перевіряється наявність підключеного пристрою. Після завершення сеансу обміну драйвер повертає порт у безпечний стан, що запобігає неконтрольованим сигналам на вихідних лініях.

Таким чином, інтерфейс LPT у поєднанні з відповідним драйверним програмним забезпеченням може ефективно використовуватися для організації зв'язку між персональним комп'ютером та мікроконтролерним пристроєм діагностики. Незважаючи на застарілість даного інтерфейсу, його простота, наочність та можливість прямого керування лініями введення-виведення роблять LPT-порт доцільним для спеціалізованих інженерних застосувань, зокрема у межах розробки комп'ютерної системи діагностики.

3.4 Циклічні коди

Забезпечення достовірності передавання інформації є однією з ключових задач у комп'ютерних системах, зокрема в системах обміну даними між персональним комп'ютером та мікроконтролерними пристроями. Під час передавання інформації каналами зв'язку можливі спотворення бітів унаслідок електромагнітних завад, апаратних збоїв або помилок синхронізації. Для виявлення та, у деяких випадках, виправлення таких помилок використовуються завадостійкі коди. Одним з найбільш поширених класів завадостійких кодів є циклічні коди.

Циклічні коди належать до класу лінійних блокових кодів і широко застосовуються у цифрових системах зв'язку, комп'ютерних мережах, системах зберігання даних та вбудованих системах. Їх основною перевагою є простота апаратної та програмної реалізації, а також висока ефективність виявлення помилок.

Сутність циклічного коду полягає в тому, що будь-який допустимий кодовий вектор має властивість циклічності: якщо виконати циклічний зсув бітів кодового слова, отримане слово також належить до цього коду. Саме ця

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

властивість дала назву даному класу кодів і дозволила застосувати апаратні схеми на основі регістрів зсуву та логічних елементів.

Для математичного опису циклічних кодів використовується апарат алгебри многочленів над полем Галуа $GF(2)$. У цьому полі всі операції виконуються за модулем 2, тобто додавання відповідає операції виключного АБО, а множення - логічному І. Бітова послідовність довжиною n інтерпретується як многочлен степеня не вище $n-1$.

Інформаційне повідомлення довжиною k бітів представляється у вигляді інформаційного многочлена:

$$m(x) = m_{k-1}x^{k-1} + m_{k-2}x^{k-2} + \dots + m_1x + m_0$$

де коефіцієнти $m_i \in \{0,1\}$.

Для побудови циклічного коду використовується породжувальний многочлен $g(x)$ степеня $r = n - k$, який є дільником многочлена $x^n - 1$. Вибір породжувального многочлена визначає властивості коду, зокрема його здатність виявляти та виправляти помилки.

Процес кодування в циклічному коді здійснюється шляхом множення інформаційного многочлена на x^r з наступним діленням на породжувальний многочлен $g(x)$. У результаті отримується остача від ділення, яка додається до інформаційної частини повідомлення.

Кодове слово $c(x)$ формується за формулою:

$$c(x) = m(x) \cdot x^r + r(x)$$

де $r(x)$ - остача від ділення многочлена $m(x) \cdot x^r$ на $g(x)$.

Таким чином, кодове слово завжди кратне породжувальному многочлену, що є основною властивістю циклічних кодів і використовується на приймальній стороні для виявлення помилок.

Процес декодування та виявлення помилок базується на перевірці кратності прийнятого многочлена породжувальному многочлену. Якщо прийняте слово $c'(x)$ ділиться на $g(x)$ без остачі, вважається, що помилок не виявлено. Якщо ж остача від ділення ненульова, робиться висновок про наявність помилки в переданих даних.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						54
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливим і надзвичайно поширеним випадком циклічних кодів є циклічні надлишкові коди CRC (Cyclic Redundancy Check). Вони застосовуються у протоколах Ethernet, USB, CAN, UART, а також у файлових системах і мікроконтролерних каналах зв'язку. CRC-коди орієнтовані переважно на виявлення помилок, а не на їх виправлення, що відповідає вимогам більшості систем передачі даних.

CRC-код утворюється аналогічно загальному циклічному коду, проте для нього використовуються спеціально підібрані породжувальні многочлени, які забезпечують високу ймовірність виявлення типових помилок. До таких помилок належать одиничні бітові помилки, подвійні помилки, пакети помилок обмеженої довжини та помилки з непарною кількістю інвертованих бітів.

Для прикладу, при використанні CRC з породжувальним многочленом степеня r будь-яка одинична помилка завжди буде виявлена. Крім того, всі пакети помилок довжиною менше або рівною r бітам також гарантовано виявляються.

Алгоритмічно операція обчислення циклічного коду може бути реалізована як програмно, так і апаратно. Програмна реалізація ґрунтується на поетапному зсуві регістра та виконанні операцій XOR відповідно до коефіцієнтів породжувального многочлена. Апаратна реалізація зазвичай використовує лінійні зворотні регістри зсуву, які дозволяють обчислювати CRC у реальному часі під час передавання даних.

Для застосування в мікроконтролерних системах циклічні коди є особливо зручними завдяки малій обчислювальній складності та можливості реалізації без значних витрат пам'яті. Це робить їх придатними для використання у вбудованих пристроях діагностики, де ресурси процесора та оперативної пам'яті обмежені.

Застосування циклічних кодів у комп'ютерних системах діагностики дозволяє забезпечити контроль цілісності переданих вимірювальних даних, команд керування та службової інформації. У разі виявлення помилки система

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

може ініціювати повторну передачу даних або зафіксувати факт порушення зв'язку, що підвищує надійність функціонування всієї системи.

Таким чином, циклічні коди є ефективним і практичним засобом виявлення помилок у цифрових каналах зв'язку. Їх математична строгість, простота реалізації та висока ефективність обумовлюють широке використання в сучасних комп'ютерних та мікроконтролерних системах, зокрема у складі комп'ютерних систем діагностики.

3.4.1 Алгоритм обчислення циклічного коду

Для забезпечення контролю цілісності інформації, що передається між елементами комп'ютерної системи діагностики, застосовується алгоритм обчислення циклічного коду. Даний алгоритм ґрунтується на математичному апараті циклічних кодів і реалізується у вигляді операцій над бітовими послідовностями у полі $GF(2)$. Основною метою алгоритму є формування надлишкової контрольної послідовності, яка додається до інформаційного повідомлення та дозволяє виявити помилки під час передавання даних.

На вхід алгоритму подається двійкове інформаційне повідомлення фіксованої або змінної довжини та заздалегідь визначений породжувальний многочлен циклічного коду. Довжина породжувального многочлена визначає кількість контрольних бітів, що додаються до повідомлення. У практичних системах породжувальний многочлен задається у вигляді бітової маски або цілого числа.

Процес обчислення циклічного коду починається з доповнення інформаційного повідомлення нульовими бітами. Кількість додаткових нулів дорівнює степеню породжувального многочлена. Це еквівалентно множенню інформаційного многочлена на x^r , де r - кількість контрольних бітів. Отримана розширена послідовність використовується як ділене в операції двійкового ділення.

Далі виконується двійкове ділення доповненого повідомлення на породжувальний многочлен. Ділення здійснюється за правилами арифметики по

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

модулю 2, тобто без перенесення та з використанням операції XOR замість віднімання. У процесі ділення формується остача, яка має довжину не більше r бітів.

Отримана остача є контрольним кодом циклічного кодування. Вона додається до кінця початкового інформаційного повідомлення, утворюючи кодове слово. Сформоване кодове слово передається каналом зв'язку або зберігається для подальшої обробки.

На приймальній стороні для перевірки цілісності даних виконується аналогічна операція ділення прийнятого кодового слова на той самий породжувальний многочлен. Якщо остача від ділення дорівнює нулю, вважається, що помилки під час передавання не виявлено. У випадку ненульової остачі робиться висновок про наявність помилки в переданій інформації.

У програмній реалізації широко застосовується побітова обробка даних, що дозволяє реалізувати алгоритм без значних обчислювальних витрат.

Нижче наведено псевдокод алгоритму обчислення циклічного коду.

Вхід:

```
DATA[0..k-1]      // інформаційне повідомлення
GEN[0..r]          // породжувальний многочлен
```

Вихід:

```
CRC[0..r-1]        // контрольна послідовність
```

Процедура CRC_Calculate

```
Створити масив TEMP довжиною  $k + r$ 
```

```
Для  $i$  від 0 до  $k-1$ 
```

```
    TEMP[ $i$ ] ← DATA[ $i$ ]
```

```
Для  $i$  від  $k$  до  $k + r - 1$ 
```

```
    TEMP[ $i$ ] ← 0
```

```
Для  $i$  від 0 до  $k-1$ 
```

```
    Якщо TEMP[ $i$ ] = 1 тоді
```

```
        Для  $j$  від 0 до  $r$ 
```

```
            TEMP[ $i + j$ ] ← TEMP[ $i + j$ ] XOR GEN[ $j$ ]
```

```
        Кінець для
```

```
    Кінець якщо
```

```
Кінець для
```

```
Для  $i$  від 0 до  $r-1$ 
```

```
    CRC[ $i$ ] ← TEMP[ $k + i$ ]
```

```
Кінець для
```

Кінець процедури

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Описання програми-драйверу

Для забезпечення взаємодії пристрою діагностики з персональним комп'ютером у роботі було розроблено програмний драйвер, який реалізує приймання сигналів з паралельного інтерфейсу LPT, формування інформаційних пакетів та їх передавання до серверної частини системи через мережевий інтерфейс NetBIOS. Особливу увагу в програмі приділено підвищенню надійності передавання інформації шляхом застосування циклічного коду для контролю помилок.

Робота драйвера ґрунтується на використанні апаратних переривань, що дозволяє оперативно реагувати на зміну станів сигналів, які надходять з пристрою діагностики. Дані зчитуються безпосередньо з регістру паралельного порту за адресою 0x37F. Отриманий байт представляє собою двійкову інформацію, яка відображає поточний стан вихідних ліній пристрою. Для подальшої обробки цей байт перетворюється у двійкову послідовність з восьми біт, що зберігається у символьному буфері.

У програмі реалізовано спеціальну функцію перетворення байта у двійковий вигляд, яка шляхом побітового зсуву та маскування формує послідовність символів '0' та '1'. Такий підхід дозволяє надалі виконувати логічний аналіз станів окремих ліній порту та приймати рішення щодо формування пакета даних.

Залежно від комбінації сигналів, що надійшли з порту, формується один з чотирьох можливих пакетів. Кожен пакет містить два адресні біти, які використовуються для ідентифікації джерела або типу даних, шість інформаційних бітів та два перевіірочні біти. Адресні біти не змінюються в процесі кодування, оскільки вони виконують службову функцію і необхідні для коректної маршрутизації даних на серверній стороні.

Для забезпечення контролю цілісності інформації у драйвері використано циклічний код типу CRC. На відміну від простого побітового шифрування або

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

операції XOR, циклічний код дозволяє виявляти помилки, що виникають у каналі зв'язку, зокрема одиночні та групові спотворення бітів. У даній роботі застосовано CRC-4 з породжувальним поліномом виду

$$G(x)=x^4+x+1 \quad G(x) = x^4 + x + 1 \quad G(x)=x^4+x+1,$$

який у двійковому представленні має вигляд 10011.

Процес формування циклічного коду полягає у представленні інформаційної частини повідомлення у вигляді полінома та виконанні ділення по модулю два на породжувальний поліном. Залишок від цього ділення утворює контрольні біти, які додаються до кінця повідомлення. У програмі реалізація CRC виконується у вигляді окремої функції, що послідовно обробляє інформаційні біти та формує чотирибітний контрольний код.

Отримане значення CRC додається до пакета даних, після чого сформований пакет зберігається у двовимірному масиві, призначеному для накопичення інформації перед передаванням. Драйвер формує чотири пакети, після чого припиняє обробку переривань та переходить до етапу мережевого обміну.

Передавання даних на сервер здійснюється з використанням механізмів NetBIOS. На початковому етапі відбувається ініціалізація мережевого з'єднання, реєстрація імені вузла та встановлення сесії з віддаленим сервером. Після успішного встановлення з'єднання дані передаються послідовно, побітово, що забезпечує максимальну сумісність з приймальною стороною та спрощує реалізацію перевірки CRC на сервері.

Після завершення передавання усіх пакетів виконується коректне завершення сесії та звільнення мережевих ресурсів. Таким чином, розроблений драйвер забезпечує повний цикл обробки інформації — від зчитування сигналів з апаратного порту до передавання захищених від помилок даних у комп'ютерну мережу.

Запропоноване програмне рішення є універсальним та може бути адаптоване для використання з іншими типами пристроїв діагностики.

Код програми наведено в Додатку Б.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок: у даному розділі було проведено обґрунтування вибору мікроконтролеру, розроблено принципіальну схему пристрою, був розглянутий інтерфейс LPT, проведено загальний огляд середовищ програмування мікроконтролерів, спроектовані програма-драйвер та програма формування пакету даних, проведений опис методу кодування циклічним зсувом.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						60
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Вибір вхідних даних

Згідно з варіантом обрано гілки комп'ютерної мережі та спосіб підключення до мережі Internet. Відповідні дані вказано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вхідні дані

Номера гілок “дерева” які входять до корпоративної КМ								Інтеграція в Internet
								Маршрутизатор
2P	3S	5	6	7	8	9V	12	В

Де V, S, P визначена інтенсивність обміну даними між підмережами (V – відео, S – звук, P – зображення).

Для кожної локальної комп'ютерної мережі зазначені такі параметри: проектна кількість робочих станцій (PC) N та проектна протяжність L. Довжина L залежить від параметрів N та l, де l – середня довжина кабелю між концентратором та PC в мережах 10Base-T та Token Ring, та максимально допустима довжина кабелю у мережах 10Base-2 та 10Base-5.[1] Дані параметри вказані у таблиці 4.2.

У таблиці використовуються скорочення:

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 10Base-FL;

TR – Стандарт IEEE 802.5 або IBM Token Ring Network;

Таблиця 4.2 – Параметри ЛКМ корпоративної мережі

Параметри ЛКМ	Номер гілки графу (ЛКМ)							
	2	3	5	6	7	8	9	12
Стандарт	-	BT	B5	B2	BF	BT	-	TR
Кількість РС, N	35-n	n	120-n	30+n	30-(n/2)	8+(n/2)	50-n	60-n
Протяжність L	0.9l	0.6l	Nl/60	Nl/30	0.8l	0.6l	Nl/50	0.85l

IP-адреси проектованої корпоративної комп'ютерної мережі, IP-адреси вузла маршрутизатора Internet, та IP-адреса зв'язаного з ним вузла маршрутизатора корпоративної комп'ютерної мережі вказані у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри ЛКМ корпоративної КМ

Номер варіанту	IP-адреси корпоративної КМ	IP-адреси вузлів маршрутизаторів Internet та КМ	Internet – адреси деяких вузлів ЛКМ
4	140.60.P.X	210.44.1.65 210.44.1.66	08:0A:22:15:70:16 08:0A:46:19:F1:2D 08:0A:20:F4:60:90 08:0A:30:00:21:18

Для передачі даних між корпоративною комп'ютерною мережею та мережею Internet використовується оптоволоконний зв'язок [20, 22].

5.1.2 Конфігурація комп'ютерної мережі

В корпоративній комп'ютерній мережі об'єднано 8 ЛКМ. Конфігурація мережі відповідає «дереву». Граф мережі відображена на рисунку 4.1. Гілки графу є ЛКМ, що з'єднані за допомогою маршрутизаторів А, В, С.

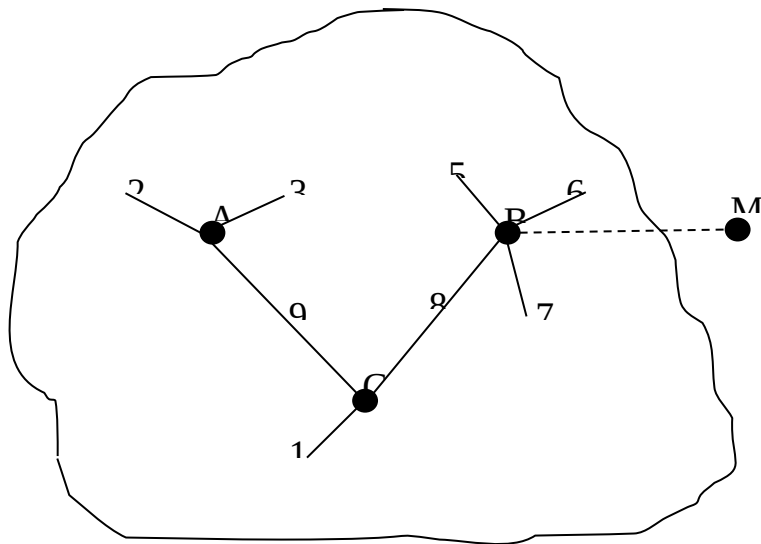


Рисунок 4.1 – Загальний граф корпоративної комп’ютерної мережі

Маршрутизатор В використовується для підключення корпоративної комп’ютерної мережі до глобальної мережі Internet. Він має підключення до маршрутизатора М через оптоволоконний зв’язок.

4.2 Параметри комп’ютерної мережі

4.2.1 Будова локальної комп’ютерної мережі

Для ЛКМ 2, 9 було обрано стандарт 10Base-T через низький вплив завантаженості на швидкість, низьку ціну та велику кількість можливих підключень. Для вибору стандарту було використано таблицю 4.4, в якій дано порівняльну характеристику стандартів [21].

Таблиця 4.4 – Порівняльна характеристика стандартів

	10Base-2	10Base-5	10Base-T	10Base-F
Низький вплив завантаженості на швидкість передачі	-	-	+	+
Низька ціна	+	+	+	-
Максимальна кількість комп’ютерів	30	100	1024	1024

	10Base-2	10Base-5	10Base-T	10Base-F
Максимальна довжина кабелю	185	500	100	2000

Для кожної мережі розраховано кількість станцій за умови, що $n = 12$:

Гілка 2: $35 - 12 = 23$ робочих станцій;

Гілка 3: 12 робочих станцій;

Гілка 5: $120 - 12 = 108$ робочих станцій;

Гілка 6: $30 + 12 = 42$ робочих станцій;

Гілка 7: $30 - (12/2) = 24$ робочих станцій;

Гілка 8: $8 + (12/2) = 14$ робочих станцій;

Гілка 9: $50 - 12 = 38$ робочих станцій;

Гілка 12: $60 - 12 = 48$ робочих станцій.

Згідно із завданням протяжність L гілок мережі задана залежить від l та N , де l - l – середня довжина кабелю між концентратором та РС в мережах 10Base-T та Token Ring, та максимально допустима довжина кабелю у мережах 10Base-2 та 10Base-5.

Довжина інтерфейсного АUI кабелю складає $(30+n)\%$ від максимальної. За умови, що $n=12$ отримано значення 42%, що у метрах складає 21 метрів.

Використовуючи значення довжини сегменту кабелю з таблиці 4.5 розраховано довжину кабелів у гілках мережі.

Таблиця 4.5 – Задані стандарти мереж

Тип мережі	Довжина сегменту, м
10Base-T	100
10Base-2	185
10Base-5	500
10Base-FL	2000
Token Ring	101

Отримані значення були округлені в сторону більшої довжини. Отримані величини:

Гілка 2 – стандарт ВТ: $0.9 \cdot 100 = 90$ м.

Гілка 3 – стандарт ВТ: $0.6 \cdot 100 = 60$ м.

Гілка 5 – стандарт В5: $108 \cdot 500 / 60 = 900$ м.

Гілка 6 – стандарт В2: $42 \cdot 185 / 30 = 259$ м.

Гілка 7 – стандарт ВF: $0.8 \cdot 2000 = 1600$ м.

Гілка 8 – стандарт ВТ: $0.6 \cdot 100 = 60$ м.

Гілка 9 – стандарт ВТ: $38 \cdot 100 / 50 = 76$ м.

Гілка 12 – стандарт TR: $0.85 \cdot 101 = 86$ м.

В таблиці 4.6 вказані параметри гілок локальних комп'ютерних мереж.

Таблиця 4.6 – Параметри гілок ЛКМ

Параметри ЛКМ	Номер гілки графу (ЛКМ)							
	2	3	5	6	7	8	9	12
Стандарт	ВТ	ВТ	В5	В2	ВF	ВТ	ВТ	TR
Кількість РС, N	23	12	108	42	24	14	38	48
Протяжність L	90	60	900	259	1600	60	76	86

Приміщення, в яких планується установка та подальша робота з комп'ютерами, повинні відповідати проєктній документації будинку. Крім того, роботодавець повинен враховувати санітарні нормативи [19]. Площа на одного робітника, який працює за комп'ютером, повинна складати не менше 6,0 кв. м. Будівля має три поверхи. На рисунку 4.2 зображено розташування кімнат.

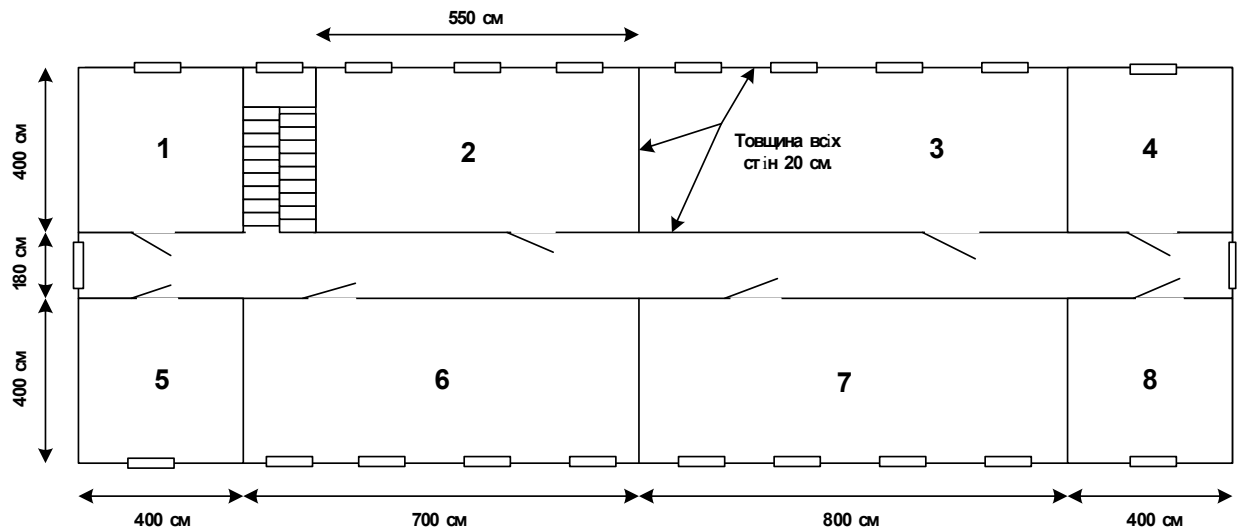


Рисунок 4.2 – Основні розміри кімнат на поверсі

Відповідно до виконаних розрахунків, на кожному поверсі можна розташувати 23 комп'ютери та сервер в окремій кімнаті. В таблиці 4.7 вказані параметри гілок локальних комп'ютерних мереж. Для кожної мережі розраховано кількість станцій за умови, що на поверсі 23 комп'ютера:

1 поверх:

Гілка 2: 6 робочих станцій;

Гілка 3: 5 робочих станцій;

Гілка 9: 12 робочих станцій;

2 поверх:

Гілка 5: 9 робочих станцій;

Гілка 6: 8 робочих станцій;

Гілка 7: 6 робочих станцій;

3 поверх:

Гілка 8: 10 робочих станцій;

Гілка 12: 13 робочих станцій;

Також розраховано довжину кабелів у гілках мережі. Отримані значення були округлені в сторону більшої довжини. Отримані величини:

Гілка 2 – стандарт ВТ: $0.9 \cdot 100 = 90$ м.

Гілка 3 – стандарт ВТ: $0.6 \cdot 100 = 60$ м.

Гілка 5 – стандарт B5: $9 \cdot 500 / 60 = 75$ м.

Гілка 6 – стандарт B2: $8 \cdot 185 / 30 = 50$ м.

Гілка 7 – стандарт BF: $0.8 \cdot 2000 = 1600$ м.

Гілка 8 – стандарт BT: $0.6 \cdot 100 = 60$ м.

Гілка 9 – стандарт BT: $12 \cdot 100 / 50 = 24$ м.

Гілка 12 – стандарт TR: $0.85 \cdot 101 = 86$ м.

Таблиця 4.7 – Параметри гілок ЛКМ

Параметри ЛКМ	Номер гілки графу (ЛКМ)							
	2	3	5	6	7	8	9	12
Стандарт	BT	BT	B5	B2	BF	BT	BT	TR
Кількість РС, N	6	5	9	8	6	10	12	13
Протяжність, L	90	60	75	50	1600	60	24	86

4.2.2 Перелік необхідних матеріалів та обладнання

Необхідні матеріали, обладнання та мережне забезпечення, які використовуються для побудови корпоративної комп'ютерної мережі зазначені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Матеріали, обладнання та мережне програмне забезпечення корпоративної мережі

№	Назва обладнання	Один. вимір	Кількість одиниць обладнання									Всього
			№ ЛКМ									
			2	3	5	6	7	8	9	12		
А. Мережні пристрої												
1	Мережевий комутатор Ethernet з 8 портами RJ-45	Шт.	1	1								2
2	Мережевий комутатор Ethernet з 16 портами RJ-45	Шт.						1	1			2
3	Оптичний концентратор з 8 портами TX та RX	Шт.					1					1
4	NIC Ethernet портом RJ-45	Шт.	7	7				13	14			41

№	Назва обладнання	Один. вимір	Кількість одиниць обладнання								
			№ ЛКМ								Всього
			2	3	5	6	7	8	9	12	
5	NIC Ethernet з портом DB-15	Шт.			10		8				18
6	Трансивер 10Base5	Шт.			10						10
7	Оптично-волоконний трансивер	Шт.					8				8
8	Мережна інтерфейсна карта BNC	Шт.				9					9
9	Мережевий комутатор з 16 портами MIC	Шт.								1	1
10	NIC Token Ring з портом MIC	Шт.								14	14
11	Модем з інтерфейсом Ethernet	Шт.									1
Б. З'єднувачі											
17	Коннектор RJ-45	Шт.	14	14				26	28		82
20	DB15 – коннектор	Шт.			20		16				36
21	ST – коннектор	Шт.					32				32
23	BNC – коннектори	Шт.				18					18
24	BNC-T – коннектор	Шт.				9					9
25	Коннектор MIC	Шт.								28	28
В. Кабелі											
26	Кабель 2 пари UTP 3 категорії	М.	6*90 =540	5*60 =300				10*6 0=60 0	12*7 6=91 2		2352
27	Коаксіальний кабель RG11	М.			75						75
28	Трансиверний інтерфейсний AUI (4 пари UTP)	М.			21*1 0=21 0		21*8 =168				378
29	Оптично-волоконний кабель	М.					1600				1600
30	Коаксіальний кабель RG58	М.				50					50
31	Екранований кабель. Тип 1	М.								14*86 =1204	1204
Г. Комп'ютери											
32	Core i9-7980XE / RAM 32 ГБ / SSD 1 ТБ / LAN / GTX 1080Ti	Шт.	6	5	9	8	6	10	12	13	69
33	XEON Platinum 8180M / RAM 512 ГБ / SSD 20 ТБ / LAN 10 Гбит	Шт.		1			1	1			3
Д. Мережеві ОС											

№	Назва обладнання	Один. вимір	Кількість одиниць обладнання								Всього
			№ ЛКМ								
			2	3	5	6	7	8	9	12	
34	Windows 10	Шт.	6	5	9	8	6	10	12	13	69
35	Windows Server 2016	Шт.		1			1	1			3
36	UNIX	Шт.									3

4.2.3 Просторові показники сигналу локальної комп'ютерної мережі

Згідно стандарту, найбільша протяжність мережі між двома крайніми станціями не повинна перевищувати 2500 метрів. При невиконанні цієї умови мережа зможе працювати, якщо значення часу подвійного обороту сигналу та скорочення міжкадрового інтервалу відповідає стандарту [23, 24].

Оскільки у корпоративній мережі використовуються маршрутизатори, то перевірку необхідно виконувати для кожної мережі окремо.

Отримані розрахунки:

ЛКМ 2: $90 \times 2 = 180$ м.

ЛКМ 3: $60 \times 2 = 120$ м.

ЛКМ 5: $900 + 2 \times 21 = 942$ м.

ЛКМ 6: 259 м.

ЛКМ 7: $1600 + 2 \times 21 = 1642$ м.

ЛКМ 8: $60 \times 2 = 180$ м.

ЛКМ 9: $76 \times 2 = 152$ м.

ЛКМ 12: $86 \times (13 - 1) = 1032$ м.

Згідно з отриманими результатами усі локальні комп'ютерні мережі відповідають стандарту відстані між вузлами.

4.2.4 Час затримки сигналів в локальній комп'ютерній мережі

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

У корпоративній комп'ютерній мережі використовуються 5 стандартів комп'ютерних мереж: 10Base-T, 10Base-2, 10Base-5, 10Base-FL, Token Ring. Оскільки для мереж 10Base-T використовуються комутатори за стандартом IEEE 802.3u, то в цих мережах не виникає колізії. Розрахунок часу подвійного обороту необхідно виконувати лише для мереж ЛКМ 7 та ЛКМ 2 [24, 27].

Значення часу подвійного обороту має бути меншим за 575 bt. Тоді вузли мережі зможуть вчасно знаходити колізію.

Використовуючи таблицю 4.9, було отримано значення PDV:

Лівий сегмент ЛКМ 7: $12.3 + 1600 * 0.0866 + 42 * 0.1026 = 155.2$ bt.

Проміжний сегмент ЛКМ 8: $42.0 + 60 * 0.113 = 48.8$ bt.

Проміжний сегмент ЛКМ 9: $42.0 + 23 * 0.113 = 44.6$ bt.

Правий сегмент ЛКМ 2: $165.0 + 90 * 0.0866 + 42 * 0.1026 = 177.1$ bt.

PDV: $155.2 + 48.8 + 44.6 + 177.1 = 425.7$ bt.

Отримані результати відображають, що час подвійного обороту відповідає стандарту.

Таблиця 4.9 – Затримки сигналу мережевим обладнанням

Тип сегмента	База лівого сегмента, bt	База проміжного сегмента, bt	База правого сегмента, bt	Затримка середовища на 1 м, bt	Максимальна довжина сегменту, 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 м)	0	0	0	0,1026	2+48

Використовуючи таблицю 4.10 розраховано час затримки сигналу в корпоративній мережі.

ЛКМ 2: 10Base-T, комутатор, протяжність 180 м:

$0.18 \times 5.7 + 0.1 = 1.126$ мкс. = 0.1126 bt.

ЛКМ 3: 10Base-T, комутатор, протяжність 120 м:

$$0,12 \times 5.7 + 0.1 = 0.784 \text{ мкс.} = 0.0784 \text{ bt.}$$

ЛКМ 5: 10Base-5, комутатор, протяжність 942 м:

$$0.942 \times 4.33 + 0.1 = 4,18 \text{ мкс.} = 0,418 \text{ bt.}$$

ЛКМ 6: 10Base-2, протяжність 259 м:

$$0.259 \times 5.14 + 0.1 = 1.43 \text{ мкс.} = 0.143 \text{ bt.}$$

ЛКМ 7: 10Base-BF, повторювач, протяжність 1642 м:

$$1.642 \times 5.0 + 0.1 = 8.31 \text{ мкс.} = 0.831 \text{ bt.}$$

ЛКМ 8: 10Base-T, комутатор, протяжність 180 м:

$$0.18 \times 5.7 + 0.1 = 1.126 \text{ мкс.} = 0.1126 \text{ bt.}$$

ЛКМ 9: 10Base-T, протяжність 152 м:

$$0.152 \times 5.7 + 0.1 = 0.966 \text{ мкс.} = 0.0966 \text{ bt.}$$

ЛКМ 12: Token Ring, комутатор, протяжність 1032 м:

$$1.032 \times 5.7 + 0.1 = 6 \text{ мкс.} = 0.6 \text{ bt.}$$

Таблиця 4.10 – Затримки сигналу мережним обладнанням

Назва обладнання	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, концентратор, міст, комутатор	0.1 мкс/км
Оптично-волоконний повторювач чи HUB	1.55 мкс/км
Оптично-волоконний трансивер	0.2 мкс/км

Для розрахунку зменшення міжкадрового інтервалу повторювачами було визначено найбільшу відстань для передачі пакету. Схема зображена на рисунку 4.3.

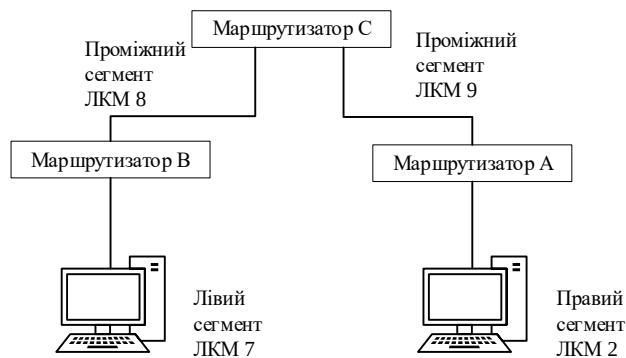


Рисунок 4.3 – Схема ЛКМ з найбільшою протяжністю

Найбільша відстань складає:

$$\text{ЛКМ 7} + \text{ЛКМ 8} + \text{ЛКМ 9} + \text{ЛКМ 2} = 1600 + 60 + 24 + 90 = 1774 \text{ м.}$$

Використовуючи таблицю 4.11 розраховане значення PVV:

1) Лівий сегмент 7 (10Base-FL) $10.5 + 0,831 = 11.331 \text{ bt.}$

Проміжний сегмент 8 (10Base-T) $11 + 0.1126 = 11.1126 \text{ bt.}$

Проміжний сегмент 9 (10Base-T) $11 + 0.0966 = 11.0966 \text{ bt.}$

$$\text{PVV} = 11.331 + 11.1126 + 11.0966 = 33.54 \text{ bt.}$$

2) Лівий сегмент 2 (10Base-T) $10.5 + 0.1126 = 10.6126 \text{ bt.}$

Проміжний сегмент 9 (10Base-T) $11 + 0.0966 = 11.0966 \text{ bt.}$

Проміжний сегмент 8 (10Base-T) $11 + 0.1126 = 11.1126 \text{ bt.}$

$$\text{PVV} = 10.6126 + 11.0966 + 11.1126 = 32.82 \text{ bt.}$$

Згідно з отриманими розрахунками зменшення міжкадрового інтервалу повторювачами відповідає стандарту, оскільки менше 49 бітових інтервалів.

Таблиця 4.11 – Зменшення міжкадрового інтервалу повторювачами.

Тип сегменту	Передавальний сегмент, bt	Проміжний сегмент, bt
10Base-T	16	11
10Base-2	-	2
10Base-5	10.5	8
10Base-FL	10.5	8

4.3 Адресація вузлів у мережі

4.3.1 Кількість зайнятих IP-адрес у мережах

Кількість зайнятих IP-адрес у мережах визначається сумою кількості вузлів, серверів та маршрутизаторів підключених до мережі. Кількість зайнятих адрес зазначено у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Кількість зайнятих IP-адрес

Номер ЛКМ	Кількість адрес
2	6
3	5
5	9
6	8
7	6
8	10
9	12
12	13

4.3.2 Схема IP-адресації вузлів та мереж

IP-адреси маршрутизатора Internet та пов'язаного з ним маршрутизатора корпоративної мережі вказано в таблиці 4.3.

У корпоративній мережі третій октет P визначає адресу підмережі, а четвертий октет X визначає адреси вузлів.

Для проєктованої корпоративної мережі значення третього октету визначається:

$P=8(n-1)+i$, де i – номер гілки комп'ютерної мережі, n – номер варіанту.

Отримані значення третього октету:

ЛКМ 2: $P=8(12-1)+2 = 90$;

ЛКМ 3: $P=8(12-1)+3 = 91$;

ЛКМ 5: $P=8(12-1)+5 = 93$;

ЛКМ 6: $P=8(12-1)+6 = 94$;

ЛКМ 7: $P=8(12-1)+7 = 95$;

ЛКМ 8: $P=8(12-1)+8 = 96$;

ЛКМ 9: $P=8(12-1)+9 = 97$;

ЛКМ 12: $P=8(12-1)+12 = 100$.

У таблиці 4.13 зазначено адресний розподіл для всіх вузлів корпоративної мережі.

Таблиця 4.13 – Розподіл адресного простору

ЛКМ	Адреса підмережі	Широкомовний IP	Адреси вузлів	Маска мережі
2	140.60.90.0	140.60.90.255	140.60.90.1-140.60.90.254	255.255.255.0
3	140.60.91.0	140.60.91.255	140.60.91.1-140.60.91.254	255.255.255.0
5	140.60.93.0	140.60.93.255	140.60.93.1-140.60.93.254	255.255.255.0
6	140.60.94.0	140.60.94.255	140.60.94.1-140.60.94.254	255.255.255.0
7	140.60.95.0	140.60.95.255	140.60.95.1-140.60.95.254	255.255.255.0
8	140.60.96.0	140.60.96.255	140.60.96.1-140.60.96.254	255.255.255.0
9	140.60.97.0	140.60.97.255	140.60.97.1-140.60.97.254	255.255.255.0
12	140.60.100.0	140.60.100.255	140.60.100.1-140.60.100.254	255.255.255.0

4.3.3 Таблиці IP-маршрутизації

Використовуючи схему IP-адресації, приведену у Додатку Г, розроблені IP-таблиці маршрутів для маршрутизаторів комп'ютерної мережі, кінцевого і проміжного РС у мережі [26]. Отримані маршрути приведені у таблицях 4.14-4.18.

Таблиця 4.14 – Маршрутна таблиця маршрутизатора А

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-адреса шлюзу	Вихідний мережний інтерфейс
140.60.90.0	Прямий	-	ie1
140.60.91.0	Прямий	-	ie2
140.60.96.0	Прямий	-	ie0
default	Непрямий	140.60.96.12	ie0

Таблиця 4.15 – Маршрутна таблиця маршрутизатора В

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-адреса шлюзу	Вихідний мережний інтерфейс
140.60.93.0	Прямий	-	ie2
140.60.94.0	Прямий	-	ie3
140.60.95.0	Прямий	-	ie1
140.60.97.0	Прямий	-	ie0
default	Непрямий	210.44.66	pp0

Таблиця 4.16 – Маршрутна таблиця маршрутизатора С

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-адреса шлюзу	Вихідний мережний інтерфейс
140.60.90.0	Непрямий	140.60.96.12	ie0
140.60.91.0	Непрямий	140.60.96.12	ie0
140.60.93.0	Непрямий	140.60.97.1	ie0
140.60.94.0	Непрямий	140.60.97.1	ie0
140.60.95.0	Непрямий	140.60.97.1	ie0
140.60.96.0	Прямий	-	ie1
140.60.97.0	Прямий	-	ie0
140.60.100.0	Прямий	-	ie2
default	Непрямий	140.60.97.13	ie0

Таблиця 4.17 – Маршрутна таблиця кінцевого РС ЛКМ 7

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-адреса шлюзу	Вихідний мережний інтерфейс
140.60.95.0	Прямий	-	ie1
default	Непрямий	140.60.95.1	ie1

Таблиця 4.18 – Маршрутна таблиця проміжного РС ЛКМ 9

IP-адреса мережі призначення	Маршрутизація	IP-адреса шлюзу	Вихідний мережний інтерфейс
140.60.96.0	Прямий	-	ie1
140.60.97.0	Прямий	-	ie0
140.60.100.0	Прямий	-	ie2
default	Непрямий	140.60.97.1	ie0

Default – напрям за замовчуванням.

4.3.4 Алгоритм маршрутизації пакету

Для вузла, що має IP-адресу 140.60.95.3, розроблено алгоритм маршрутизації пакету, який відправляється вузлу з IP-адресою 140.60.100.9.

Послідовність дій системами відображено на рисунку 4.4.

Вузол використовує власну таблицю маршрутизації і по ній визначає IP-адресу шлюзу маршрутизатора В (140.60.91.1/24), на який відправляється пакет. Маршрутизатор В перевіряє власну таблицю маршрутизації, не знайшовши у власній таблиці необхідний вузол, маршрутизатор відправляє пакет на шлюз за замовчуванням (140.60.97.1/24). Пакет отримує маршрутизатор С. Маршрутизатор С перевіривши власну таблицю маршрутизації, визначає що вузол призначення знаходиться в одній з мереж, безпосередньо підключеної до нього. Після чого маршрутизатор С передає пакет отримувачу (140.60.90.5/24) [26, 27].

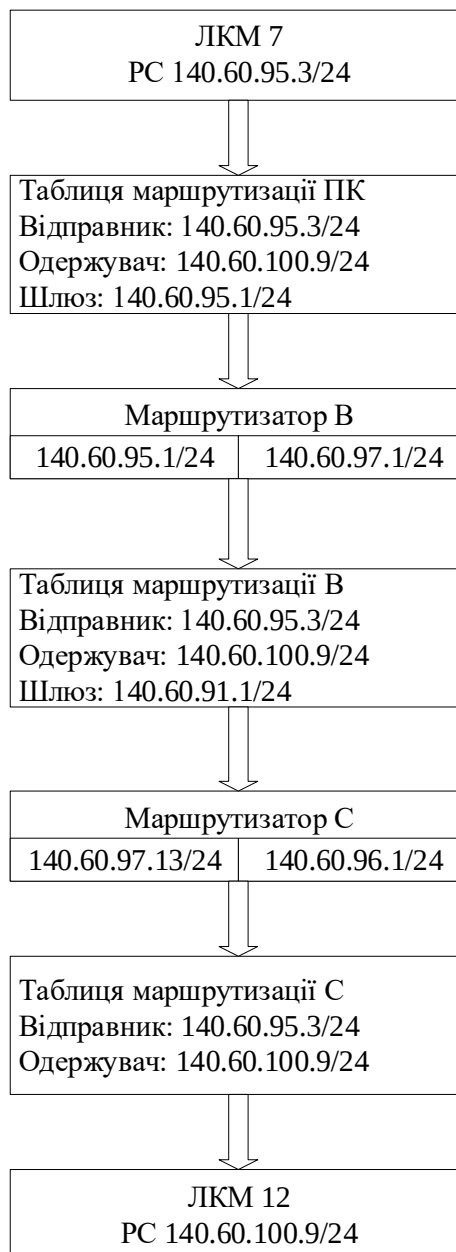


Рисунок 4.4 – Алгоритм маршрутизації пакету

Висновок: Для кожної мережі було розраховано кількість комп'ютерів, беручи до уваги розміри кімнат. Кількість комп'ютерів було рівномірно зменшено керуючись тим, що в кожній локальній комп'ютерній мережі працюють окремі групи людей.

Розрахований час подвійного обороту (PDV), та час зменшення міжкадрового інтервалу (PVV), та загальна протяжність мережі показали, що дана комп'ютерна мережа відповідає стандартам та цілком працездатна.

Для корпоративної мережі виконане розподілення IP-адрес для вузлів та маршрутизаторів. Розроблено схему IP-адресації вузлів та мереж, із зазначенням мережних інтерфейсів, мережної маски, IP-адрес підмереж, IP-адрес маршрутизаторів, вузлів та серверів. Схема мережі наведена на ХНТУ 123.25059.E7.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

5.1 Моделювання комп'ютерних мереж

Сучасні комп'ютерні мережі характеризуються складною структурою, наявністю великої кількості взаємодіючих елементів та стохастичним характером потоків даних. Проектування та дослідження таких систем на основі аналітичних методів часто є ускладненим або взагалі неможливим, особливо у випадках, коли необхідно оцінити часові характеристики обробки запитів, завантаження серверу та ймовірність виникнення затримок. У зв'язку з цим широкого застосування набули методи моделювання, зокрема імітаційне моделювання, яке дозволяє відтворювати роботу реальної мережі у вигляді формалізованої моделі та аналізувати її поведінку за різних умов.

Моделювання комп'ютерних мереж полягає у створенні абстрактного представлення мережевої системи, яке відображає її основні компоненти, структуру взаємозв'язків та правила функціонування. Такими компонентами можуть бути робочі станції, сервери, канали зв'язку, буфери, черги повідомлень та протоколи обміну даними. Особливу роль у мережевих системах відіграє сервер, який виконує функції приймання, обробки та передавання інформаційних запитів від клієнтських вузлів. Саме тому дослідження характеристик роботи серверу є одним з ключових завдань при моделюванні комп'ютерних мереж.

У більшості випадків сервер у мережі можна розглядати як систему масового обслуговування, у якій вхідним потоком є запити від клієнтів, а вихідним потоком — оброблені відповіді. Надходження запитів, як правило, має випадковий характер, а час їх обробки залежить від складності запиту та ресурсів серверу. У таких умовах використання класичних детермінованих моделей не дозволяє отримати адекватні результати, тому доцільним є застосування імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання передбачає поетапне відтворення подій, які відбуваються у реальній системі, з урахуванням часових затримок, випадкових факторів та взаємодії між елементами системи. У процесі моделювання фіксуються основні показники ефективності, такі як середній час перебування запиту у системі, довжина черги, коефіцієнт завантаження серверу та пропускна здатність мережі. Отримані результати дозволяють зробити висновки щодо доцільності обраної архітектури та визначити можливі вузькі місця системи.

При моделюванні роботи серверу важливим є правильний вибір моделі потоку запитів. У багатьох практичних випадках надходження запитів до серверу описується пуассонівським потоком, що характеризується інтенсивністю надходження заявок. Час обслуговування запитів часто моделюється експоненційним або рівномірним розподілом. Такий підхід дозволяє описати роботу серверу у вигляді одноканальної або багатоканальної системи масового обслуговування з чергою.

Для реалізації імітаційного моделювання систем масового обслуговування широко використовується мова та програмне середовище GPSS (General Purpose Simulation System). GPSS є спеціалізованим засобом для моделювання дискретно-подієвих систем, що дозволяє описувати логіку роботи складних об'єктів за допомогою набору стандартних блоків. Кожен блок відповідає певній дії або події у системі, наприклад, генерації заявки, її затримці, постановці у чергу або обслуговуванню сервером.

У середовищі GPSS сервер моделюється як обслуговуючий пристрій, який має певну продуктивність та обмежені ресурси. Запити, що надходять у систему, представляються у вигляді транзакцій, які проходять послідовність блоків, що відповідають етапам їх обробки. Черга перед сервером описується спеціальним блоком, який накопичує транзакції у випадку, коли сервер зайнятий. Час обслуговування задається за допомогою відповідного розподілу, що дозволяє враховувати випадковий характер цього процесу.

Перевагою використання GPSS є можливість детального аналізу поведінки системи у часовій області. У процесі моделювання автоматично збирається

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						80
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

статистика щодо завантаження серверу, середньої та максимальної довжини черги, кількості оброблених запитів та часу очікування. Це дозволяє оцінити ефективність роботи серверу за різних сценаріїв навантаження та визначити граничні режими його функціонування.

У рамках даної кваліфікаційної роботи імітаційне моделювання використовується для аналізу роботи серверу комп'ютерної системи діагностики. Сервер розглядається як центральний елемент мережі, що приймає дані від пристроїв діагностики, обробляє їх та зберігає результати. За допомогою GPSS було змодельовано процес надходження пакетів даних, їх обробки та передавання відповідей клієнтам. Отримані результати моделювання дозволили оцінити здатність серверу обслуговувати задану кількість пристроїв без втрати продуктивності та з допустимими часовими затримками.

Таким чином, застосування імітаційного моделювання, зокрема з використанням системи GPSS, є ефективним інструментом для дослідження та оптимізації роботи комп'ютерних мереж. Воно дозволяє на етапі проєктування виявити потенційні проблеми, зменшити ризики перевантаження серверу та обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів, що забезпечують надійну та стабільну роботу всієї системи.

5.2 Розробка програми моделювання

Завданням на кваліфікаційну роботу бакалавра передбачено моделювання роботи серверу за 6 годин. При цьому потрібно:

- Оцінити, при якому мінімальному значенні середнього інтервалу надходження заявок від підмережі з меншим номером сервер не впорається із навантаженням. Інші параметри не змінювати.
- Оцінити, при якому максимальному значенні середнього часу обслуговування заявок, що надходять від даної підмережі, сервер не впорається з навантаженням. Інші параметри не змінювати.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При моделюванні з кожної мережі буде надходити по 5 заявок на обслуговування.

Згідно з описаними вимогами написано програму GPSS моделі сервера.

Лістинг програми наведено в додатку Г.

5.3 Аналіз результатів моделювання

Після моделювання роботи сервера було отримано наступні результати: всього надійшло 29020 заявок, з яких 6036 опрацьовано і 22984 відхилено. Це означає, що сервер не справляється з навантаженням і таку систему не можна вважати результативною. Результат моделювання наведено на рис. 5.1.

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
QW12	1	1	2633	1505	0.854	9.338	21.798	0
QW11	1	1	1661	813	0.751	13.020	25.502	0
QW10	1	1	1750	864	0.746	12.274	24.243	0
REFUGEE	22984	22984	22984	0	11414.390	14302.751	14302.751	0
PROCESSED	6036	6036	6036	0	3017.796	14399.027	14399.027	0

Рисунок 5.1 – Результат моделювання

Дану систему можливо оптимізувати наступними змінами у моделі:

- 1) Збільшити швидкість обробки заявок сервером. Для застосування цього методу потрібно збільшити завантаженість або потужність сервера;
- 2) Збільшити кількість одночасно оброблюваних сервером заявок. Аналогічно попередньому, для застосування цього методу потрібно збільшити завантаженість або потужність сервера;
- 3) Збільшити кількість заявок, які можуть перебувати в черзі на обслуговування. Цей метод не є оптимальним, тому що збільшиться час перебування кожної заявки в черзі на обслуговування;
- 4) Використовувати комбінацію перерахованих вище методів.

Для оптимізації системи буде використано другий метод - збільшувати кількість одночасно обслугованих заявок, намагаючись зменшити до мінімального значення кількість відкинутих заявок.

Результати оптимізації системи наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Залежність кількості оброблених заявок від кількості одночасно оброблюваних сервером заявок

Кількість одночасно оброблюваних сервером заявок	Надійшло заявок	Оброблені заявки	Необроблені заявки
5	29020	6036	22984
10	29018	11107	17911
15	29013	15854	13159
20	29009	21261	7748
25	29007	26617	2390
30	29007	28863	144
33	29019	28992	17
34	29008	29008	0

Таким чином, збільшивши потужність сервера до 34 одночасно оброблюваних заявок, було досягнуто 100% обробку усіх заявок. Результат моделювання наведено на рис. 5.2.

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE. (-0) RETRY
QW12           1    0 16216 16216      0.000      0.000      0.000    0
QW11           1    0  6443  6443      0.000      0.000      0.000    0
QW10           1    0  6369  6369      0.000      0.000      0.000    0
PROCESSED      29008 29008 29008      0 14419.371 14315.978 14315.978    0

```

Рисунок 5.2 – Результат моделювання після оптимізації

Висновки: спроектована модель роботи сервера показала погану результативність: через те, що сервер не справлявся з потоком, було не опрацьовано 79,2% заявок. Після внесення змін у модель (зміна одночасно оброблюваних сервером заявок до 34) сервер опрацював 100% заявок.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання даної кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено комп'ютерну систему діагностики реле напрямку потужності РНМ-01, яка поєднує апаратні та програмні засоби збору, передавання, обробки та захисту діагностичної інформації.

У ході роботи виконано аналіз принципу дії та особливостей функціонування реле напрямку потужності РНМ-01, визначено вимоги до вхідного потоку даних та засобів його обробки. На основі цього спроєктовано пристрій діагностики з використанням мікроконтролера, розроблено принципову електричну схему та друковану плату пристрою.

Розроблено програмне забезпечення системи, яке включає програму формування пакета даних для мікроконтролера та драйвер для підключення пристрою до персонального комп'ютера через паралельний порт LPT. Для підвищення надійності та завадостійкості передавання інформації реалізовано кодування даних циклічним методом, а також програмне шифрування інформації методом Вернама.

У межах роботи спроєктовано корпоративну комп'ютерну мережу, обґрунтовано її структуру, вибрано необхідне мережеве обладнання та виконано розрахунки просторових і часових характеристик сигналів у локальній мережі Ethernet. Проведено адресацію вузлів мережі.

Окрему увагу приділено моделюванню роботи серверної частини комп'ютерної системи діагностики. За допомогою імітаційного моделювання, зокрема з використанням системи GPSS, досліджено процес обробки запитів сервером. Результати моделювання показали, що початкова конфігурація сервера не забезпечувала необхідну продуктивність, унаслідок чого значна частина заявок залишалася необробленою. Після оптимізації параметрів моделі та збільшення кількості одночасно оброблюваних заявок до 34 було досягнуто 100% обробки вхідних запитів, що підтвердило ефективність запропонованих рішень.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						84
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблена комп'ютерна система діагностики може бути використана на промислових підприємствах і в сервісних центрах для перевірки працездатності мікропроцесорних реле напрямку потужності та подібних пристроїв, а також може слугувати основою для подальшого розвитку та впровадження сучасних засобів автоматизованої діагностики.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
						85
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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. Гольдфарб Ю. А., Нікулін В. В. Основи мікроконтролерної техніки. — Київ: Видавничий дім "Кондор", 2016. — 256 с.
3. Mazidi M. A., Mazidi J. G., McKinlay R. D. The 8051 Microcontroller and Embedded Systems Using Assembly and C. — Pearson Education, 2013. — 624 p.
4. Barrett S. F., Pack D. J. Embedded Systems: Design and Applications with the 68HC12 and HCS12. — Pearson Education, 2005. — 664 p.
5. Балакін В. В., Шевченко П. В. Мікропроцесорні системи: навчальний посібник. — Харків: ХНУРЕ, 2020. — 288 с.
6. Silva M. Embedded Systems Design: A Comprehensive Guide. — Newnes, 2001. — 360 p.
7. Kleitz W. Digital and Microprocessor Fundamentals: Theory and Applications. — Pearson, 2014. — 464 p.
8. Панчук В. М., Петренко О. О. Програмування мікроконтролерів: навчальний посібник. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. — 340 с.
9. Таненбаум Е. С., Веттер Р. Комп'ютерні мережі. — Київ: КМ-Букс, 2019. — 864 с.
10. Axelson J. Parallel Port Complete: Programming, Interfacing, and Using the PC's Parallel Printer Port. — Lakeview Research, 1996. — 302 p.
11. Седакова О. В. Цифрові інтерфейси зв'язку: навчальний посібник. — Київ: Видавничий дім "Слово", 2015. — 248 с.
12. IEEE 1284 Standard: IEEE Standard Signaling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers. — IEEE, 1994. — 120 p.

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		86

- 13.Захарченко С. В. Інтерфейси передачі даних у комп'ютерних системах. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2018. — 360 с.
- 14.Яровий С. П. Основи архітектури комп'ютерів. — Харків: ХНУРЕ, 2020. — 320 с.
- 15.Mazidi M. A., Mazidi J. G., McKinlay R. D. The 8051 Microcontroller and Embedded Systems Using Assembly and C. — Pearson Education, 2013. — 624 p.
- 16.Smith T. PC Parallel Port Programming and Interfacing with Linux. — Open Source Publishing, 2009. — 400 p.
- 17.Кухаренко В. М., Колесников О. О. Основи криптографії. — Харків: ХНУРЕ, 2017. — 240 с.
- 18.Меньшов С. В. Криптографія: підручник для студентів технічних спеціальностей. — Київ: Видавничий дім "Слово", 2020. — 312 с.
- 19.Stalling W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice. — Pearson Education, 2020. — 800 p.
- 20.Diffie W., Hellman M. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory. — 1976. — Vol. 22, No. 6. — P. 644–654.
- 21.Rivest R., Shamir A., Adleman L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems // Communications of the ACM. — 1978. — Vol. 21, No. 2. — P. 120–126.
- 22.Таненбаум Е. С., Ветер Р. Комп'ютерні мережі. — Київ: Видавничий дім "КМ-Букс", 2019. — 864 с.
- 23.Міжнародна організація зі стандартизації. ISO/IEC 27002:2013. Information technology — Security techniques — Code of practice for information security controls.
- 24.Імітаційне моделювання в системі GPSS WORLD, 2014. URL: https://stud.com.ua/145145/informatika/imitatsiyne_modelyuvannya_sistemi_gpss_world (дата звернення: 27.04.2026).

					ХНТУ 123.25059.ПЗ	Арк
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		87

ДОДАТОК А

Програма формування пакета даних для мікроконтролеру

```
// Програма мікроконтролеру
// Розробив студент групи 4зКСМ Горний М.
#include <mega168.h>      // файл з описом регістрів
#include <delay.h>        // файл для функції delay_ms
#include <stdio.h>        // файл стандартних функцій введення-
виведення

void main(void)
{
    // локальні змінні
    #pragma used+
        unsigned char buffer;
    #pragma used-

    // Ініціалізація портів введення-виведення
    // Порт А
    // Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out
    Func1=Out Func0=Out
    // State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0
    State0=0
    PORTA=0x00;
    DDRA=0xFF;

    // Порт В
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=Out Func3=Out Func2=In
    Func1=Out Func0=Out
    // State7=P State6=P State5=P State4=0 State3=0 State2=P State1=0
    State0=1
    PORTB=0xE5;
    DDRB=0x1B;

    // Порт С
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
    Func0=In
    // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T
    State0=T
    PORTC=0x00;
    DDRC=0x00;

    // Порт D
```



```
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
Func0=In
// State7=P State6=P State5=P State4=P State3=P State2=P State1=P
State0=P
PORTD=0xFF;
DDRD=0x00;

// Ініціалізація таймеру-лічильнику №0
// Джерело частоти: система
// Значення таймеру: таймер не використовується
// Режим: нормальний top=FFh
// OC0 вихід: відкл.
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Ініціалізація таймеру-лічильнику №1
// Джерело частоти: система
// Значення таймеру: таймер не використовується
// Режим: нормальний top=FFFFh
// OC1A вихід: відкл.
// OC1B вихід: відкл.
// мінімізація шумів: Off
// Тип синхронізації - по спаду
// Переривання при переповненні: відкл.
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Ініціалізація таймеру-лічильнику №2
// Джерело частоти: система
// Значення таймеру: таймер не використовується
// Режим: нормальний top=FFh
// OC2 вихід: відкл.
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// Ініціалізація зовнішніх переривань
```

```

// INT0: відкл.
// INT1: відкл.
// INT2: відкл.
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Ініціалізація переривань таймерів-лічильників
TIMSK=0x00;

// Ініціалізація USART
// Параметри: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART приймач: відкл.
// USART передавач: вкл.
// USART режим: асинхронний
// USART швидкість: 115200
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x48;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x05;
// Ініціалізація аналогового компаратору
// Аналоговий компаратор: відкл.
// Зпрацьовування компаратору при переповненні таймеру лічильнику
№1: відкл.
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ввімкнення переривання
#asm("sei")

while (1)
{
    buffer = PORTD;          // зчитуємо дані з порту C
    PORTA = buffer;         // передача отриманих даних на ПКвід
    PORTB.0 ^= 1; // виклик переривання по LPT-порту, встановлюючи
0 на лінії PB0
    delay_ms(1);             // затримка
    PORTB.0 ^= 1; // Встановлення 1 на лінії PB0
    delay_ms(39);            // затримка
}
}

```

ДОДАТОК Б

Програма-драйвер зв'язку МК із ПКвід

```
// driver.cpp
#include "stdafx.h"
#include <windows.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <stdbool.h>

#include "xDRV.h"
#include "nb.h"
#include "ncmd.h"

/* -----
   Глобальні змінні
   ----- */
char sendbuf[4][10];      // 4 пакети по 10 біт
char buf[8];              // 8-бітні дані з LPT
int k = -1;               // лічильник пакетів

/* -----
   Формування двійкового рядка з байта
   ----- */
void byteToBinary(unsigned char data)
{
    for (int i = 0; i < 8; i++)
        buf[7 - i] = ((data >> i) & 1) + '0';
}

/* -----
   CRC-4 ( $G(x)=x^4+x+1 \rightarrow 10011$ )
   ----- */
unsigned char crc4(unsigned char *data, int length)
{
    unsigned char crc = 0x00;
    unsigned char poly = 0x13; // 10011

    for (int i = 0; i < length; i++)
    {
        crc ^= (data[i] << 4);
        for (int j = 0; j < 4; j++)
        {
            if (crc & 0x10)
                crc = (crc << 1) ^ poly;
            else
                crc <<= 1;
        }
    }
    return crc & 0x0F;
}
```

```

/* -----
   Формування пакета з циклічним кодом
   ----- */
void makePacket()
{
    unsigned char dataBits[6];
    unsigned char crc;

    // копіюємо 6 інформаційних бітів
    for (int i = 0; i < 6; i++)
        dataBits[i] = buf[i + 2] - '0';

    crc = crc4(dataBits, 6);

    // запис даних
    for (int i = 0; i < 6; i++)
        sendbuf[k][i + 2] = buf[i + 2];

    // запис CRC (4 біти)
    sendbuf[k][8] = ((crc >> 1) & 1) + '0';
    sendbuf[k][9] = (crc & 1) + '0';
}

/* -----
   Обробник переривання LPT
   ----- */
void LPT_InterruptHandler()
{
    unsigned char data = xDRV_Read(0x37F);
    byteToBinary(data);

    if (k >= 3)
        return;

    // Аналіз кодів стану
    if (buf[0]=='0' && buf[1]=='0' && buf[2]=='0' && buf[4]=='1')
    {
        k++;
        sendbuf[k][0]='0';
        sendbuf[k][1]='0';
        makePacket();
    }
    else if (buf[0]=='0' && buf[2]=='0' && buf[5]=='1')
    {
        k++;
        sendbuf[k][0]='0';
        sendbuf[k][1]='1';
        makePacket();
    }
    else if (buf[0]=='0' && buf[2]=='1' && buf[3]=='1')
    {
        k++;
        sendbuf[k][0]='1';
    }
}

```

```

        sendbuf[k][1]='0';
        makePacket();
    }
else if (buf[1]=='0' && buf[2]=='1' && buf[4]=='1')
{
    k++;
    sendbuf[k][0]='1';
    sendbuf[k][1]='1';
    makePacket();
}
}

/* -----
   Головна функція
   ----- */
int main()
{
    bool opened = xDRV_OpenDriver();
    if (!opened)
    {
        printf("Driver start error\n");
        getch();
        return 1;
    }

    xDRV_InitInterput(LPT_InterruptHandler, NULL);

    // Очікування формування 4 пакетів
    while (k < 3)
        Sleep(10);

    xDRV_StopDriver();

    /* ----- NetBIOS ----- */
    RESET();

    int err, cur_lsn;
    char name[5] = "call";
    char call_name[7] = "listen";

    err = ADD_NAME(name);
    if (err) Error(err);

    err = CALL(call_name, name);
    if (err) Error(err);

    cur_lsn = ncb.lsn;

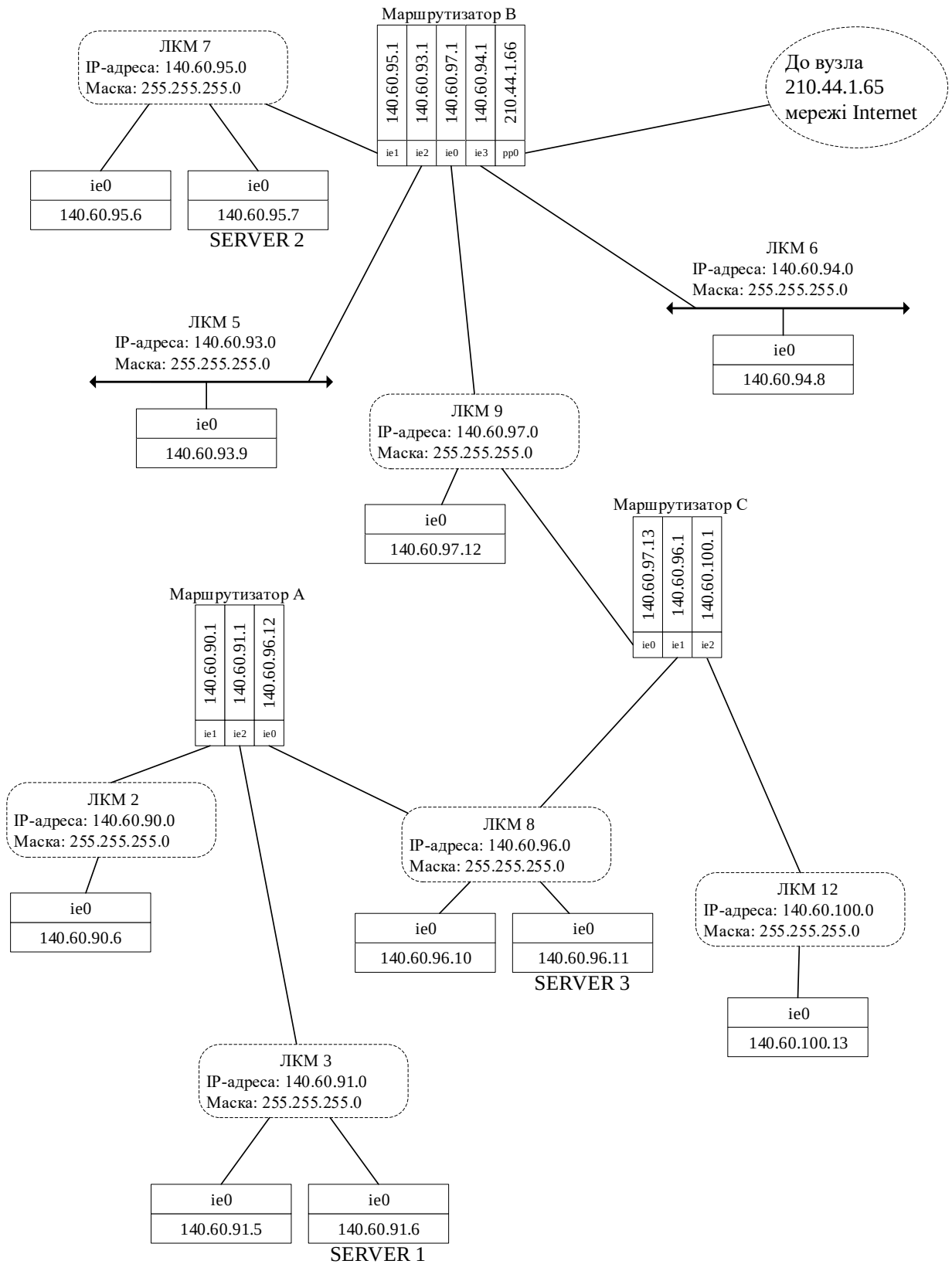
    for (int i = 0; i < 4; i++)
        for (int j = 0; j < 10; j++)
        {
            err = SEND(cur_lsn, &sendbuf[i][j], 1);
            if (err) Error(err);
        }
}

```

```
HANGUP(cur_lsn);  
  
return 0;  
}
```

ДОДАТОК В

СХЕМА IP-АДРЕСАЦІЇ ІЗ ЗАЗНАЧЕННЯМ ІНТЕРФЕЙСІВ



ДОДАТОК Г

ПРОГРАМА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СЕРВЕРУ

```
SERVER STORAGE 5 ;
GENERATE (EXPONENTIAL(11,3,21))
SAVEVALUE BB1+,1
ASSIGN WS,1 ;
TEST L Q$QW10,1,REFUSE
QUEUE QW10 ; черга QW10
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,2,23))
SAVEVALUE BB2+,1
ASSIGN WS,2
TEST L Q$QW10,1,REFUSE
QUEUE QW10
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,3,15))
SAVEVALUE BB3+,1
ASSIGN WS,3
TEST L Q$QW10,1,REFUSE
QUEUE QW10
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,1,18))
SAVEVALUE BB4+,1
ASSIGN WS,4
TEST L Q$QW10,1,REFUSE
QUEUE QW10
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,2,30))
SAVEVALUE BB5+,1
ASSIGN WS,5
TEST L Q$QW10,1,REFUSE
QUEUE QW10
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,3,21))
SAVEVALUE BB6+,1
ASSIGN WS,6
TEST L Q$QW11,1,REFUSE
QUEUE QW11
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,2,23))
SAVEVALUE BB7+,1
ASSIGN WS,7
TEST L Q$QW11,1,REFUSE
QUEUE QW11
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,3,15))
SAVEVALUE BB8+,1
ASSIGN WS,8
TEST L Q$QW11,1,REFUSE
QUEUE QW11
TRANSFER ,PROC
GENERATE (EXPONENTIAL(11,1,18))
SAVEVALUE BB9+,1
ASSIGN WS,9
TEST L Q$QW11,1,REFUSE
```



```

QUEUE QW11
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,2,30))
SAVEVALUE    BB10+,1
ASSIGN WS,10
TEST L Q$QW11,1,REFUSE
QUEUE QW11
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,3,5))
SAVEVALUE    BB11+,1
ASSIGN WS,11
TEST L Q$QW12,1,REFUSE
QUEUE QW12
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,2,7))
SAVEVALUE    BB12+,1
ASSIGN WS,12
TEST L Q$QW12,1,REFUSE
QUEUE QW12
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,3,10))
SAVEVALUE    BB13+,1
ASSIGN WS,13
TEST L Q$QW12,1,REFUSE
QUEUE QW12
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,1,6))
SAVEVALUE    BB14+,1
ASSIGN WS,14
TEST L Q$QW12,1,REFUSE
QUEUE QW12
TRANSFER      , PROC
GENERATE      (EXPONENTIAL(11,2,7))
SAVEVALUE    BB15+,1
ASSIGN WS,15
TEST L Q$QW12,1,REFUSE
QUEUE QW12
PROC GATE SF SERVER,PROCESS
ADVANCE (NORMAL(1,18,3))
TRANSFER,PROC
PROCESS      ENTER SERVER
TEST E P$WS,1,TEST2
        DEPART QW10
        TRANSFER,PROC1
TEST2    TEST E P$WS,6,TEST3
        DEPART QW11
        TRANSFER,PROC1
TEST3    TEST E P$WS,11,TEST4
        DEPART QW12
PROC1    ADVANCE 18,3
        TRANSFER ,COMPLETED
TEST4    TEST E P$WS,2,TEST5
        DEPART QW10
        TRANSFER,PROC2
TEST5    TEST E P$WS,7,TEST6
        DEPART QW11
        TRANSFER,PROC2
TEST6    TEST E P$WS,12,TEST7

```

```

PROC2      DEPART QW12
           ADVANCE 16,2
           TRANSFER ,COMPLETED
TEST7      TEST E P$WS,3,TEST8
           DEPART QW10
           TRANSFER ,PROC3
TEST8      TEST E P$WS,8,TEST9
           DEPART QW11
           TRANSFER ,PROC3
TEST9      TEST E P$WS,13,TEST10
           DEPART QW12
PROC3      ADVANCE 19,3
           TRANSFER ,COMPLETED
TEST10     TEST E P$WS,4,TEST11
           DEPART QW10
           TRANSFER ,PROC4
TEST11     TEST E P$WS,9,TEST12
           DEPART QW11
           TRANSFER ,PROC4
TEST12     TEST E P$WS,14,TEST13
           DEPART QW12
PROC4      ADVANCE 23,1
           TRANSFER ,COMPLETED
TEST13     TEST E P$WS,5,TEST14
           DEPART QW10
           TRANSFER ,PROC4
TEST14     TEST E P$WS,10,TEST15
           DEPART QW11
           TRANSFER ,PROC4
TEST15     TEST E P$WS,14,PROC5
           PROC5      DEPART QW12
           ADVANCE 15,2
           COMPLETED LEAVE SERVER
           QUEUE PROCESSED
           TERMINATE
           REFUSE      QUEUE REFUGEE
           TERMINATE
           GENERATE 28800 ;
           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
           START 1

```