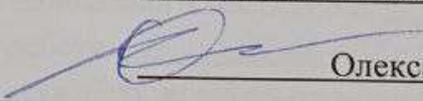


Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

**Магістерська кваліфікаційна робота на тему:**  
**«МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ**  
**ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ**  
**АВТОМАТИЗАЦІЇ»**

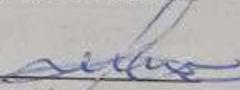
Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-24м  
Спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
Освітньої програми – «Електромеханічні  
системи автоматизації та електропривод»

  
Олександр ОГОРОДНИК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

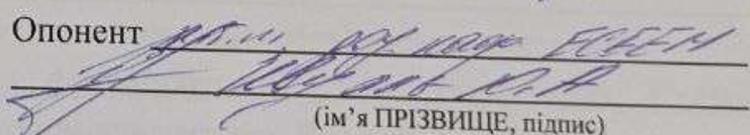
«25» 11 2025 р.

Керівник \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Микола МОШНОРІЗ 

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«25» 11 2025 р.

Опонент 

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«19» 12 2025 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри КЕМСК  
Микола МОШНОРІЗ

(прізвище та ініціали)

«25» 11 2025 р.

Вінниця, ВНТУ – 2025 року

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів  
Рівень вищої освіти другий (магістрський)  
Галузь знань 14 – Електрична інженерія  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри КЕМСК**

**к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ**

**“14” 10 2025 року**

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Огороднику Олександровичу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

керівник роботи Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н., доц.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від “24” 09 2025 року № 313

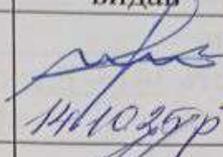
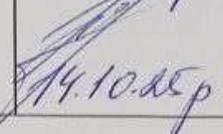
2. Строк подання студентом роботи 25.11.2025р

3. Вихідні дані до роботи: потужність електромеханічної системи – 50кВт; напруга живлення електромеханічної системи – АС400/230В; режим роботи: тривалий; тривалість увімкнення: 100%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальні відомості про моніторинг параметрів електричної мережі. Підхід до моніторингу параметрів електричної мережі. Практична реалізація. Економічна частина. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальні відомості. Підхід. Схема функціональна. Схема структурна. Схема електрична. Практична реалізація. Економічна частина. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Мошноріз М. М., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	 11.10.25р	 21.11.25р
Економічна частина	Шулле Ю. А., к. т. н., доц. каф. ЕСЕЕМ	 14.10.25р	 21.11.25р

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістрської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістрської дипломної роботи (МКР)	24.09.25р	вик
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	28.10.25р.	вик
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	21.11.25р.	вик
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.25р.	вик
5	Попередній захист МКР	21.11.25р.	вик
6	Нормоконтроль МКР	24.11.25р.	вик
7	Опонування МКР	19.12.20.25р	вик
8	Захист МКР	23.12.25р.	вик

Студент

 О. В. Огородник  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

 М. М. Мошноріз  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**УДК:** 621.3

Огородник О. В. Мікропроцесорна система моніторингу параметрів електричної мережі в електромеханічних системах автоматизації. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2025. 81 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв.; рис.: 22; табл. 12.

Отримав подальший розвиток підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволить виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшої обробки результатів вимірювання, який на відміну від відомих реалізовано на доступній елементній базі, що дозволяє досягти підвищення рівня надійності роботи електричних мереж з потужними електричними двигунами.

Розроблено пристрій моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволяє виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшого аналізу та обробки результатів вимірювання. Це дозволяє виявляти ділянки роботи споживача з перевантаженням або недопустимими параметрами живлення.

Ключові слова: електромеханічна система, моніторинг, електричні параметри, мікропроцесорна система, реєстратор електричних параметрів, пристрій.

## THE SUMMARY

Ogorodnyk O. V. Microprocessor system for monitoring electrical network parameters in electromechanical automation systems. Master's qualification work in specialty 141 - Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 81 p.

In Ukrainian. Bibliography: 21 titles; Fig.: 22; Table. 12.

An approach to monitoring electrical network parameters has been developed, which will allow collecting information about all important electrical parameters of the consumer with the possibility of further processing of measurement results, which, unlike the known ones, is implemented on an accessible element base, which allows to achieve an increase in the level of reliability of electrical networks with powerful electric motors.

A device for monitoring electrical network parameters has been developed, which allows collecting information about all important electrical parameters of the consumer with the possibility of further analysis and processing of measurement results. This allows you to identify areas of consumer operation with overload or unacceptable power parameters.

Keywords: electromechanical system, monitoring, electrical parameters, microprocessor system, electrical parameters recorder, device.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ	8
2 ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	12
3 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	17
3.1 Функціональна схема мікропроцесорної системи моніторингу параметрів електричної мережі	17
3.2 Алгоритм роботи системи моніторингу	20
3.3 Структурна схема системи моніторингу	23
3.4 Вибір елементної бази для системи моніторингу	24
3.4.1 Вибір мікропроцесорного пристрою	24
3.4.2 Вибір клемних затискачів	30
3.4.3 Вибір автоматичного вимикача	32
3.4.4 Вибір трансформаторів струму	34
3.5 Електрична схема системи моніторингу	37
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	40
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	48
5.1 Визначення капітальних вкладень	48
5.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати	53
5.3 Розрахунок експлуатаційних затрат	55
5.4 Розрахунок економічної ефективності	59
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	61
6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	61

6.1.2	Електробезпека	64
6.2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	64
6.2.1	Мікроклімат	64
6.2.2	Склад повітря робочої зони	65
6.2.3	Виробниче освітлення	66
6.2.4	Виробничий шум	67
6.2.5	Виробнича вібрація	68
6.2.6	Виробничі випромінювання	69
6.2.7	Психофізіологічні фактори	70
6.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	71
6.3.1	Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії іонізуючих випромінювань	72
6.3.2	Дослідження стійкості роботи мікропроцесорної системи	74
	ВИСНОВКИ	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
	Додаток А. Технічне завдання	82
	Додаток Б. Ілюстративні матеріали	86

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Параметри електричної мережі необхідно вимірювати для оцінки якості електропостачання. Чим більше споживачів приєднано до електричної мережі і чим потужніший генератор енергії, тим менше відчувається вплив кожного окремого споживача на параметри мережі загалом. У випадку, коли потужність генератора співрозмірна з потужністю окремих споживачів, що підключені до цього генератора, вплив окремих споживачів стає вагомим. Тоді зміни параметрів потужних споживачів призводять до відповідної зміни параметрів мережі загалом. Особливо показово це у випадку живлення потужних електричних приводів, які під час перехідного процесу запуску чи реверсування, можуть генерувати кратні до номінальних навантаження на електромережу.

В силу поступового руху до повної автоматизації та цифровізації технологічного процесу сучасного виробництва засоби вимірювання та контролю реалізують на промислових контролерах, які можна інтегрувати в мережі SCADA. Також їх можна перепрограмувати, виконати збір і аналіз інформації, систематизувати цю інформацію і на основі штучного інтелекту в тому числі видати рішення для покращення, передбачення несправності тощо.

Тому питання вимірювання та моніторингу параметрів електричної мережі саме в електромеханічних системах є особливо актуальним.

**Об'єктом дослідження** є процес вимірювання та збору вимірювальної інформації про параметри електричної мережі, що живить потужні споживачі та електромеханічні системи.

**Предметом дослідження** є лабораторний стенд для моніторингу параметрів електричної мережі та математичний апарат для розрахунку параметрів мережі, які важко виміряти доступними вимірювальними засобами.

**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення рівня надійності роботи електричних мереж за рахунок моніторингу електричних параметрів споживачів з електричними двигунами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) виконати аналіз методів вимірювання та розрахунку параметрів мережі живлення споживачів з електричними двигунами;

2) сформулювати підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволить виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшої обробки результатів вимірювання;

3) розробити структуру пристрою моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволить виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшої обробки результатів вимірювання;

4) вибрати елементну базу та зібрати пристрій моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволить виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшої обробки результатів вимірювання.

**Методи дослідження:** аналіз та синтез, математичне моделювання, алгоритмізація, методи теорії автоматичного управління, статистичного аналізу, методи спостереження та вимірювання, проведення лабораторного експерименту тощо.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Отримав подальший розвиток підхід до реєстрації електричної мережі, який на відміну від відомих дозволить виконувати збір інформації про такі важливі параметри електромеханічної системи, як температура та механічний потужність, що дозволяє прискорити процес встановлення аномальних параметрів живлення і досягти підвищення рівня надійності роботи обладнання.

2. Розроблений адаптивний підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, який на відміну від відомих доповнений функцією оцінки ККД, що дозволяє досягти підвищення рівня надійності та енергоефективності електромеханічних систем. Перехід від тотального запису до моніторингу, заснованого на подіях, у поєднанні з діагностикою ефективності, дозволяє промисловим підприємствам оптимізувати свої експлуатаційні витрати та реалізувати сучасні стратегії керування активами на основі фактичного технічного стану.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Розроблено пристрій моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволяє виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшого аналізу та обробки результатів вимірювання. Це дозволяє виявляти ділянки роботи споживача з перевантаженням або недопустимими параметрами живлення.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати роботи прийнято до програми міжнародної конференції і очікується публікація тез доповідей: «Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця».

# 1 МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Електромеханічні системи автоматизації (ЕМСА) є основою сучасних промислових процесів, енергетики та транспорту. До їхнього складу входять електричні приводи, насосні станції, конвеєрні лінії та роботизовані комплекси, критично важливі для безперервності виробництва. Якість та стабільність роботи цих систем безпосередньо залежать від якості електроенергії (КOE), що подається з мережі. Моніторинг параметрів електричної мережі (МПЕМ) є ключовим інструментом для забезпечення надійності, енергоефективності та довговічності ЕМСА.

КOE — це ступінь відповідності характеристик електричної енергії в точці передачі необхідним стандартам. Відхилення параметрів мережі призводять до:

- зменшення ресурсу обладнання.
- збоїв у роботі чутливої електроніки та систем керування.
- збільшення технологічних втрат та нераціонального споживання енергії.

МПЕМ включає постійний контроль таких показників:

1. Напруга та частота: Середньоквадратичне значення (RMS) напруги та відхилення частоти.
2. Синусоїдальність та гармонічний склад: Наявність вищих гармонік струму та напруги, які генеруються нелінійними навантаженнями (наприклад, перетворювачами частоти, блоками живлення).
3. Симетрія та несиметрія: Рівність (симетрія) напруг у трифазній системі. Несиметрія викликає додатковий нагрів обмоток двигунів та їхнє передчасне старіння.
4. Провали та перенапруги: Короткочасні значні відхилення напруги.

Моніторинг здійснюється згідно з міжнародними та національними стандартами, які визначають допустимі межі відхилень КОЕ.

Джерело 1: ДСТУ EN 50160:2014 (На основі європейського стандарту), -- за яким "Характеристики напруги електропостачання електричної енергії загальнодоступних електричних мереж". Визначає основні показники, такі як номінальна частота ( $f_n = 50$ ) та допустимі відхилення напруги (зазвичай  $\pm 10\%$  від номінального значення).

Джерело 2: ІЕС 61000-4-30, -- за яким "Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4-30. Методи випробувань та вимірювань. Методи вимірювання показників якості електроенергії". Регламентує точні методи вимірювання всіх показників КОЕ.

Сучасні системи МПЕМ базуються на мікропроцесорній техніці, що забезпечує високу точність, швидкодію та інтеграційні можливості. Типова мікропроцесорна система моніторингу включає:

1. Сенсори: трансформатори струму та напруги для ізоляції та масштабування сигналів.
2. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП): Перетворює аналогові сигнали в цифрову форму з високою частотою дискретизації ( $f_s$ ).
3. Мікроконтролер (MCU) / Цифровий сигнальний процесор (DSP): Основний обчислювальний блок для обробки даних та реалізації алгоритмів.
4. Комунікаційні інтерфейси: Для передачі даних до SCADA-систем (наприклад, RS-485, Ethernet, Modbus TCP).

Ключовим методом аналізу несинусоїдальних сигналів є дискретне перетворення Фур'є (DFT) або його швидка реалізація Швидке перетворення Фур'є (FFT). Вони дозволяють розкласти складний сигнал на гармонічні складові.

Розрахунок середньоквадратичного значення (RMS) напруги:

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_k^2} \quad (1.1)$$

де:  $u_k$  — дискретне значення напруги в момент  $k$ .

$N$  — кількість дискретних відліків за період.

Розрахунок коефіцієнта гармонічних спотворень (THD, Total Harmonic Distortion) показує ступінь несинусоїдальності сигналу напруги або струму:

$$\text{THD}_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H U_h^2}}{U_1} \quad (1.2)$$

де:  $U_h$  — середньоквадратичне значення  $h$ -ї гармоніки;

$U_1$  — середньоквадратичне значення основної (першої) гармоніки;

$H$  — максимальний порядок гармонік, що враховується (згідно зі стандартами, зазвичай до 40-го або 50-го).

Розрахунок коефіцієнта несиметрії напруг за зворотною послідовністю ( $K_{2U}$ ):

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

Цей коефіцієнт характеризує ступінь нерівності фазних напруг у трифазній системі і критичний для асинхронних двигунів. Він розраховується через симетричні складові:  $U_2$  — середньоквадратичне значення напруги зворотної послідовності,  $U_1$  — середньоквадратичне значення напруги прямої послідовності.

МПЕМ є невід'ємною частиною інтелектуальної системи керування ЕМСА, виконуючи такі функції:

1. Предикативне обслуговування: Виявлення зростання гармонік, що може вказувати на погіршення стану ізоляції або фільтрів у перетворювачах частоти (ПЧ).

2. Оптимізація роботи ПЧ: Контроль спотворень струму, що споживається приводами, для забезпечення їхньої максимальної ефективності та зменшення теплових втрат.

3. Захист обладнання: Швидке виявлення та реєстрація провалів/перенапруг для активації захисних механізмів або реєстрації події для подальшого аналізу причин.

4. Управління компенсацією реактивної потужності: Моніторинг коефіцієнта потужності ( $\cos\varphi$ ) для динамічного керування компенсаційними установками.

Отже, моніторинг параметрів електричної мережі є критично важливим для забезпечення надійності, довговічності та енергоефективності електромеханічних систем автоматизації. Завдяки використанню мікропроцесорних технологій та складних математичних алгоритмів (FFT, RMS, THD), сучасні системи МПЕМ здатні надавати точну та своєчасну інформацію про КОЕ, дозволяючи персоналу приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації, обслуговування та захисту дороговартісного промислового обладнання.

## 2 ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Надійність функціонування електромеханічних систем автоматизації (EMSA) критично залежить від стабільності параметрів живлючої електричної мережі. Традиційні системи моніторингу часто виконують або безперервний запис великих обсягів даних (що є надмірним), або фіксують лише інтегральні показники. Це ускладнює оперативну діагностику та ідентифікацію короточасних, але критичних подій, таких як провали напруги чи перехідні процеси.

Водночас, актуальною проблемою промислових підприємств є оцінка фактичної енергоефективності обладнання. Знос, механічні пошкодження або неоптимальні режими керування призводять до збільшення споживання електричної потужності при незмінній або зниженій механічній продуктивності. Це вимагає розробки інтегрованих методів, які б поєднували моніторинг КОЕ з діагностикою ефективності роботи системи.

Запропонований підхід базується на двоступеневому контролі, реалізованому на базі мікропроцесорної системи (МПС).

На першому етапі МПС постійно працює в режимі швидкого сканування (наприклад, з частотою дискретизації вище  $f_s = 3.2\text{кГц}$ , що відповідає вимогам стандарту ІЕС 61000-4-30), контролюючи ключові параметри, які можуть бути обчислені за короткий проміжок часу (наприклад, за період 10/12 циклів):

- середньоквадратичне значення напруги ( $U_{\text{rms}}$ );
- частота мережі ( $f$ );
- коефіцієнт гармонічних спотворень напруги ( $\text{THD}_U$ ).

Ці параметри безперервно порівнюються з попередньо встановленими межами допустимих відхилень згідно з ДСТУ EN 50160:2014).

Якщо значення будь-якого з контрольованих параметрів виходить за межі встановленого допуску, МПС автоматично ініціює режим глибокого аналізу та запису даних.

Тривалість запису: Запис включає часовий інтервал до моменту виникнення відхилення (пре-тригер) і після нього (пост-тригер) для повного аналізу перехідного процесу.

Параметри запису: У цьому режимі записуються не лише інтегральні показники, але й осцилограми напруги та струму, що дозволяє детально аналізувати форму сигналу, фазові кути та природу спотворень (провал, перенапруга, імпульс).

Такий адаптивний підхід значно зменшує обсяг збережених даних, зосереджуючи інформаційну цінність лише на аномальних подіях, що спрощує пошук причин збоїв.

Для оцінки енергоефективності ЕМС використовується функція порівняння фактичної електричної та розрахункової механічної потужностей.

Фактична електрична потужність, споживана системою, обчислюється в режимі реального часу за вимірними значеннями напруги  $u(t)$  та струму  $i(t)$ :

$$P_{\text{ел}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \quad (2.1)$$

де  $T$  — період вимірювання (зазвичай 1 або декілька періодів основної частоти).

Механічна потужність, що видається обладнанням, визначається за допомогою додаткових сенсорів:

$$P_{\text{мех}} = M \cdot \omega \quad (2.2)$$

де:  $M$  — обертальний момент на валу, вимірюється тензOMETричними датчиками або оцінюється за струмом якоря (для DC-машин) чи вектором струму (для AC-машин).

$\omega$  — кутова швидкість обертання валу, вимірюється енкодером або тахогенератором.

Коефіцієнт корисної дії системи ( $\eta$ ) обчислюється шляхом порівняння отриманих потужностей:

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{ел}}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Діагностичне значення: зниження  $\eta$  нижче встановленого порогу (наприклад, 5% ÷ 10% від номінального значення) при незмінному навантаженні свідчить про:

- збільшення втрат у самому двигуні (знос підшипників, погіршення ізоляції).
- збільшення механічних втрат у приводному механізмі (наприклад, тертя у редукторі).
- неоптимальне керування двигуном (особливо для векторних приводів).

Запропонований підхід базується на двоступеневому контролі, реалізованому на базі мікропроцесорної системи (МПС).

Для забезпечення адаптивного моніторингу пропонується така архітектура МПС: сенсори (ТТ/ТН), АЦП, мікроконтролер/DSP, блок "Онлайн-контроль та порівняння", блок "Активация запису" (пам'ять), комунікаційний інтерфейс.

Процес прийняття рішень щодо режиму роботи системи може підпорядковуватися алгоритму на рисунку 2.1.

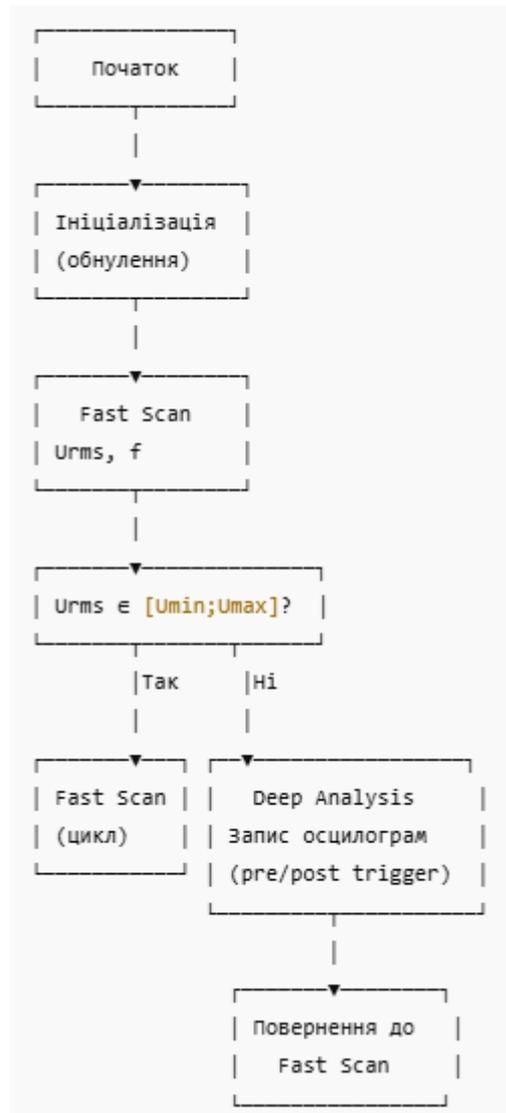


Рисунок 2.1 – Підхід до моніторингу параметрів живлення

Ключові етапи алгоритму:

1. Початок (старт), ініціалізація, обнулення всіх попередніх процесів.
2. Вимірювання ключових параметрів (наприклад,  $U_{rms}$ ,  $f$  в режимі Fast Scan (швидкого моніторингу)).
3. Блок перевірки відхилень від заданих меж зміни контрольованих параметрів:  $U_{rms}$ ,  $U_{min}$ ,  $U_{max}$ .
4. Якщо всі параметри в нормі, продовжити Fast Scan (крок 2).

5. Якщо є відхилення контрольованих параметрів від встановлених граничних значень виконати активацію режиму Deep Analysis (активації запису даних).

6. Запис осцилограм (з пре- та пост-тригером).

7. Повернення до Fast Scan.

Запропонований адаптивний підхід реалізується на базі високопродуктивного мікроконтролера або цифрового сигнального процесора (DSP), що забезпечує необхідну швидкість обробки даних для FFT-аналізу та одночасного виконання алгоритмів розрахунку потужності та ККД.

Основні переваги підходу:

1. Економія ресурсів зберігання: Мінімізація обсягу даних шляхом запису лише значущих подій.

2. Підвищення оперативності: Швидке виявлення та фіксація аномалій, що скорочує час діагностики.

3. Інтегрована діагностика: Одночасний контроль якості живлення та енергоефективності обладнання.

4. Реалізація предикативного обслуговування: Зниження ККД ( $\eta$ ) є чітким кількісним індикатором необхідності технічного обслуговування до настання аварійного відмови.

### **3 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

Для моніторингу параметрів електричної мережі АС0,4кВ необхідно передбачити можливість вимірювання струму та напруги в мережі. Вимірювання напруги виконується по трьох фазах та нульовому захисному провіднику шляхом паралельного підключення до шин відповідних виводів мережі живлення. Вимірювання струму в мережах змінного струму відбувається шляхом встановлення в мережу додаткових трансформаторів струму. Ці трансформатори необхідно вмонтувати в усі три фази робочого струму та нульовий провідник.

Вимірювальні трансформатори струму мають певну дискретність у діапазоні вимірювань. Вони встановлюються в мережу з конкретним значенням струму. Дискретність діапазонів вимірювань регламентується номіналом трансформаторів. Для забезпечення вимірювання струму різного номіналу, який відноситься до різних дискретних проміжків вимірювання, необхідно передбачити можливість підключення додаткових трансформаторів струму на інший номінал.

#### **3.1 Функціональна схема мікропроцесорної системи моніторингу параметрів електричної мережі**

Функціональна схема мікропроцесорної системи відображає функціональні зв'язки між блоками системи. Виходячи з функціонального призначення системи і необхідності забезпечення вимірювань струму система моніторингу параметрів електричної мережі повинна містити такі основні елементи:

- блок вимірювання струму (БВС) в мережі (у трьох фазних провідниках та нульовому робочому провіднику);

- блок вимірювання напруги (БВН) в мережі між трьома фазними провідниками та робочим «нулем»;
- блок вимірювання інших параметрів (БВП) процесу (наприклад температури, вологості тощо);
- блок керування процесом вимірювання (БКПВ);
- блок реєстрації даних (БРД) з годинником реального часу (ГРЧ) та додатковим блоком живлення (ДБЖ);
- блок розрахунку даних (БРЗД);
- блок візуалізації даних (БВД);
- блок зв'язку з зовнішніми периферійними пристроями (БЗ) та запису даних на зовнішню карту пам'яті (ЗКП).

Додатково система моніторингу містить блоки живлення, захисту, гальванічних розв'язок, санкціонованого доступу тощо.

Функціональну схему системи зображено на рисунку 3.1.

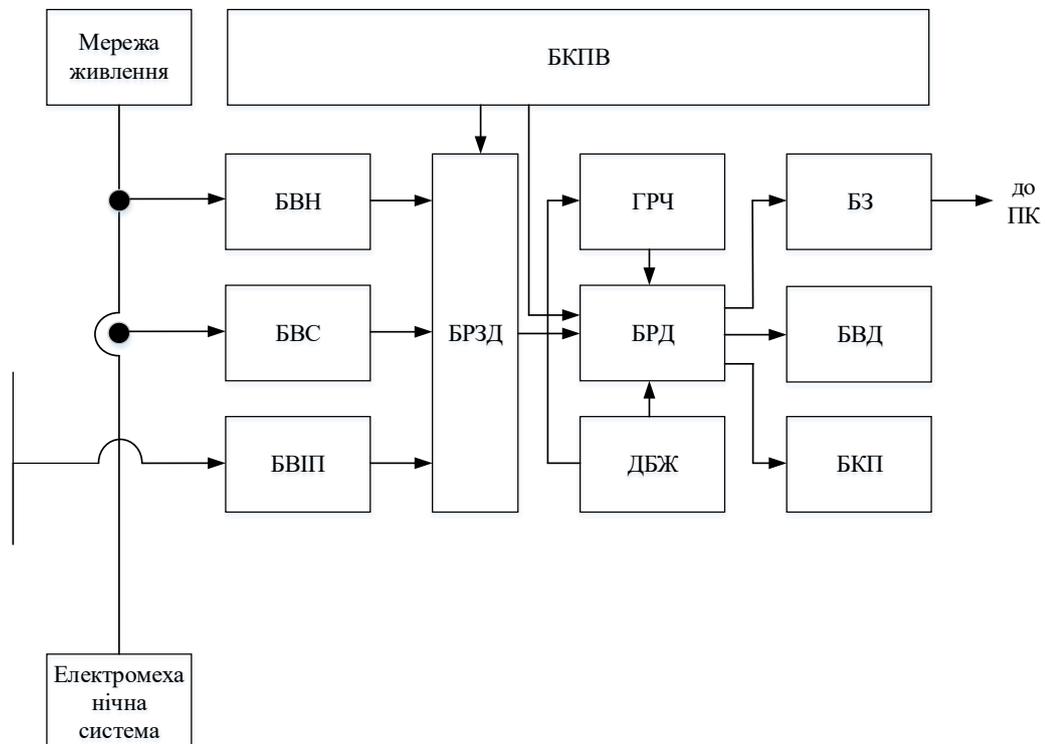


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи моніторингу

БВПІ призначений для вимірювання додаткових параметрів, які впливають на працездатність об'єкта електропостачання. Якщо об'єктом електропостачання є електричний двигун, то БВПІ може збирати інформацію з сенсора температури статора чи підшипників двигуна, сенсора вологості чи температури навколишнього середовища, сенсора наближення, швидкості технологічного процесу тощо. Ця інформація може використовуватися для визначення ефективності роботи технологічного процесу, його показників якості та надійності. Наприклад, за параметрами швидкості електропривода і струму можна опосередковано визначати його фактичну потужність на валу, що слід розцінювати як корисну потужність. Співставлення виміряної електричної потужності та розрахованої фактичної потужності на валу механізму дозволяє зробити висновок про ефективність роботи.

БРЗД забезпечує розрахунок параметрів потужності (активної, реактивної, повної), коефіцієнта потужності, несиметрії напруги живлення тощо. Результатом роботи цього блоку є відповідні сигнали розрахункових та вимірних параметрів.

БРД виконує зберігання вимірних і розрахованих даних у пам'ять БКП. При цьому на кожний параметр накладається значення часу з ГРЧ.

ДБЖ забезпечує живлення ГРЧ, БРЗД та БРД у випадку, коли живлення від мережі може зникати.

БЗ призначений для комунікації системи моніторингу з периферійними пристроями, іншими засобами чи ПК.

БВД забезпечує виведення вимірної інформації на дисплей пристрою моніторингу та спрацювання деякої світлової індикації.

БКПВ дозволяє керувати моментом початку та кінця запису (реєстрації) і розрахунку даних.

### 3.2 Алгоритм роботи системи моніторингу

Алгоритм роботи системи моніторингу відображає логіку роботи системи. Ця логіка роботи програмується в БКПВ, БРЗД і БРД. Вимірювання даних відбувається з певною дискретністю, яка задається користувачем. Чим менша дискретність вимірювань, тим більше вимірюваної інформації записується в пам'ять системи і тим точніше здійснюються параметри технологічного процесу.

Система моніторингу параметрів мережі забезпечує вимірювання сигналів струму та напруги мережі живлення. Дані потужностей, частоти, рівня несиметрії, гармонічних спотворень розраховуються пристроєм. Математична модель розрахунків розглядалася у розділі 2 випускової роботи.

Алгоритм роботи системи моніторингу зображено на рисунку 3.2.

На рисунку позначено «ПОЧАТОК» як процедуру підключення системи моніторингу до мережі живлення та подачі живлення в систему.

Якщо живлення системи подається, то відбувається вимірювання сигналів фазних напруг та струмів. Слід зазначити, що обов'язково необхідно передбачити можливість вимірювання струму в нульовому робочому провіднику мережі живлення споживача.

Назвемо основні вимірювальні параметри:

- 1)  $U_{L1, L2, L3}$  – фазна напруга мережі живлення у провіднику фази L1, L2 та L3 відповідно, В;
- 2)  $I_{L1, L2, L3}$  – фазні струми мережі живлення у провіднику фази L1, L2 та L3 відповідно, А;
- 3)  $I_N$  – струм мережі живлення у нульовому робочому провіднику, А;
- 4)  $T$  – температура, °С;
- 5) <струмовий сигнал> -- будь який технологічний параметр, значення якого вимірюється сигналом струму  $0 \div 10 \text{mA DC}$ ;

б) <сигнал напруги> -- будь який технологічний параметр, значення якого вимірюється сигналом напруги  $0 \div 10\text{V DC}$ .

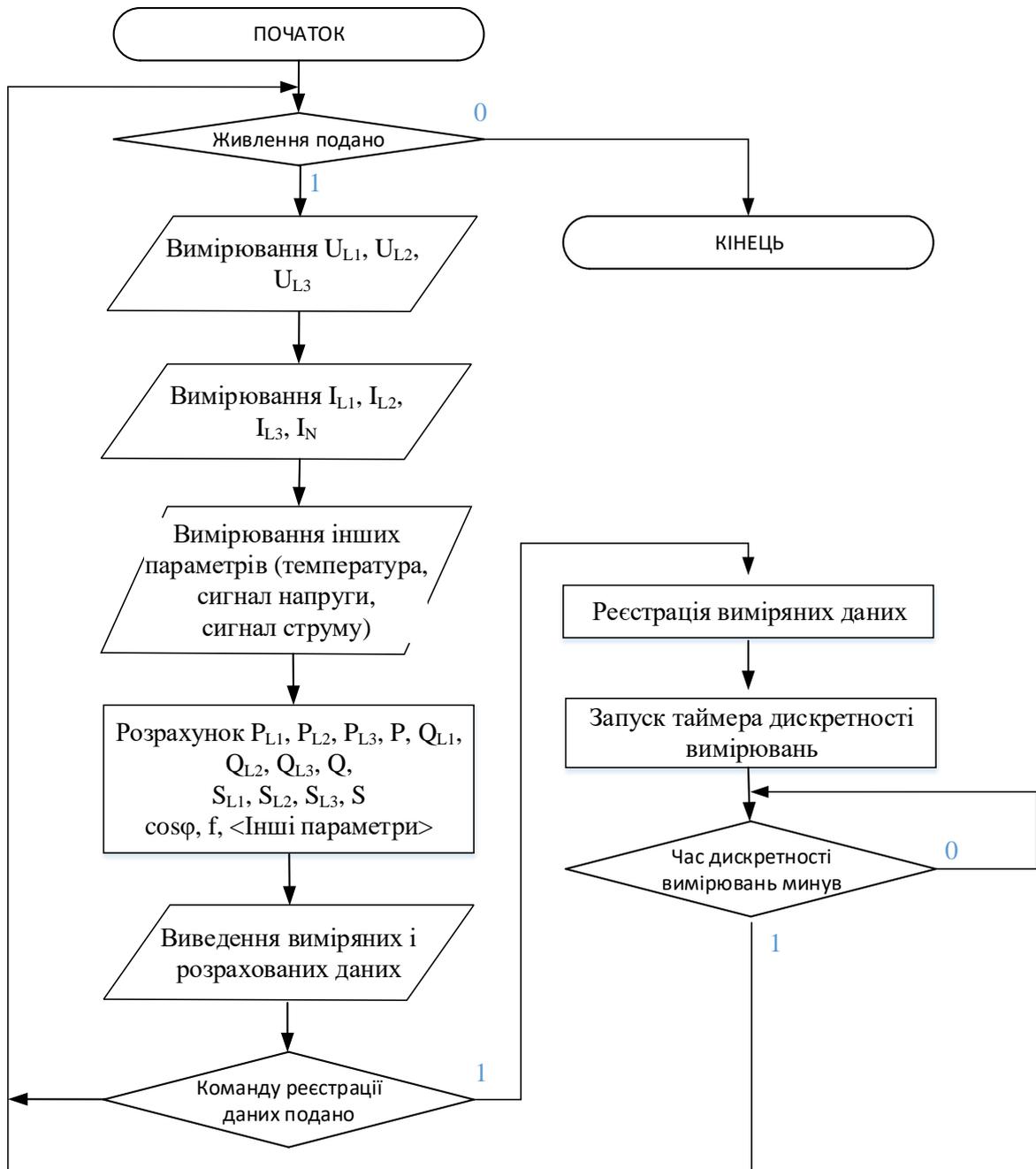


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи моніторингу

В процесу розрахунку отримуються наступні дані:

- 1)  $P_{L1}, P_{L2}, P_{L3}$  – потужність активна мережі живлення, що постачається фазними провідниками L1, L2 та L3 відповідно, Вт;
- 2)  $P$  – повна трифазна активна потужність мережі живлення, Вт;

- 3)  $Q_{L1, L2, L3}$  – потужність реактивна мережі живлення, що постачається фазними провідниками L1, L2 та L3 відповідно, ВАр;
- 4)  $Q$  – повна трифазна реактивна потужність мережі живлення, ВАр;
- 5)  $S_{L1, L2, L3}$  – потужність повна мережі живлення, що постачається фазними провідниками L1, L2 та L3 відповідно, ВА;
- 6)  $S$  – повна трифазна потужність мережі живлення, ВА;
- 7)  $\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності споживача;
- 8)  $f$  – частота напруги живлення.

Після розрахунку параметрів алгоритм роботи системи моніторингу перевіряє умову необхідності реєстрації даних. Тобто реєстрація даних може розпочинатися і закінчуватися за командою оператора чи за певною умовою, яка спрацьовуватиме автоматично. Наприклад, команду розпочинати реєстрацію параметрів живлення можна подавати після запуску основного приводного двигуна, або коли система переходить на іншу лінію живлення (спрацьовує АВР).

Якщо відповідної команди на реєстрацію не дається, то пристрій працюватиме у режимі постійних вимірювань і виведення на дисплей вимірюваних та розрахункових даних.

Після того, як відбулося запам'ятовування вимірюваних та розрахункових даних, відбувається затримка часу, яка відповідає часу дискретності вимірювань (задається при налаштування пристрою) і процедура повторюється від моменту перевірки наявності живлення.

Якщо живлення системи реєстрації вимкнута, то алгоритм переходить у режим «КІНЕЦЬ».

### 3.3 Структурна схема системи моніторингу

Структурна схема відображає структуру системи, її внутрішню будову фізичний зв'язок між елементами системи.

Для підключення пристрою до мережі живлення, а також, для приєднання до нього споживачів необхідно передбачати термінальні модулі для приєднання.

Структурну схему системи моніторингу зображено на рисунку 3.3.

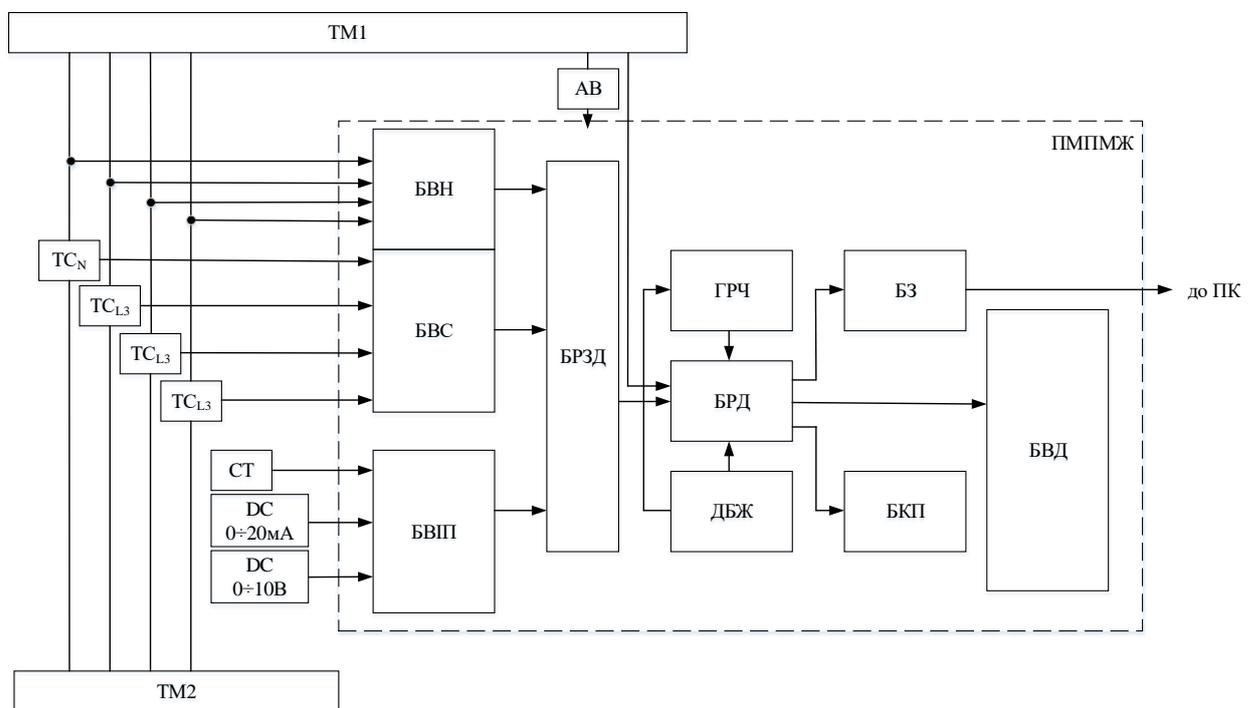


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи моніторингу

На рисунку використано позначення блоків з схеми функціональної. Штриховою лінією окреслено межі пристрою моніторингу параметрів мережі живлення (ПМПМЖ), який складається з функціональних блоків, призначення яких описувалося у схемі функціональній. Фізично все те, що окреслено ПМПМЖ є одним пристроєм, до якого підключаються всі вимірювальні засоби та пристрої комунікації.

Всі підключення до мережі живлення та споживача відбуваються через термінальні затискачі ТМ1 та ТМ2. До ТМ1 приєднуються жили мережі

живлення зі сторони джерела електропостачання, а до ТМ2 – зі сторони споживача. У якості споживача може виступати будь який пристрій, група пристроїв, цех чи підприємство в цілому. Основною метою даної роботи є моніторинг параметрів саме електромеханічної системи, тому передбачається приєднання до ТМ2 електричних двигунів.

Для подачі живлення на ПМППМЖ передбачається використання автоматичного вимикача АВ. Саме цей вимикач запускатиме алгоритм роботи системи моніторингу, подаючи на неї живлення.

Для вимірювання параметрів струму в мережі використовуються трансформатори струму  $ТС_{L1}$ ,  $ТС_{L2}$ ,  $ТС_{L3}$ ,  $ТС_N$ , які встановлюються послідовно у лініях відповідно фаз L1, L2, L3 та PN.

Серед інших параметрів, які дозволяє вимірювати система моніторингу, на структурній схемі зображено сенсор температури СТ, та сенсори з вихідними сигналами струму  $0 \div 20\text{mA}$  та напруги  $0 \div 10\text{V}$ .

Враховуючи позначення на структурній схемі можна зробити висновок, що система моніторингу параметрів мережі живлення – це ПМППМЖ та всі необхідні сенсори з термінальними затискачами для приєднання кабелів мережі живлення і споживача.

### **3.4 Вибір елементної бази для системи моніторингу**

Згідно зі структурною схемою, зображеною на рис. 3.3 назвемо основні елементи системи моніторингу параметрів мережі живлення: ПМППМЖ, ТМ, АВ, ТС. Виконаємо розрахунок та вибір всіх перелічених елементів.

#### **3.4.1 Вибір мікропроцесорного пристрою**

У якості ПМППМЖ використаємо мікропроцесорний реєстратор електричних параметрів РРМ-416 компанії «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна [1]. Зовнішній вигляд пристрою подано на рисунку 3.4.

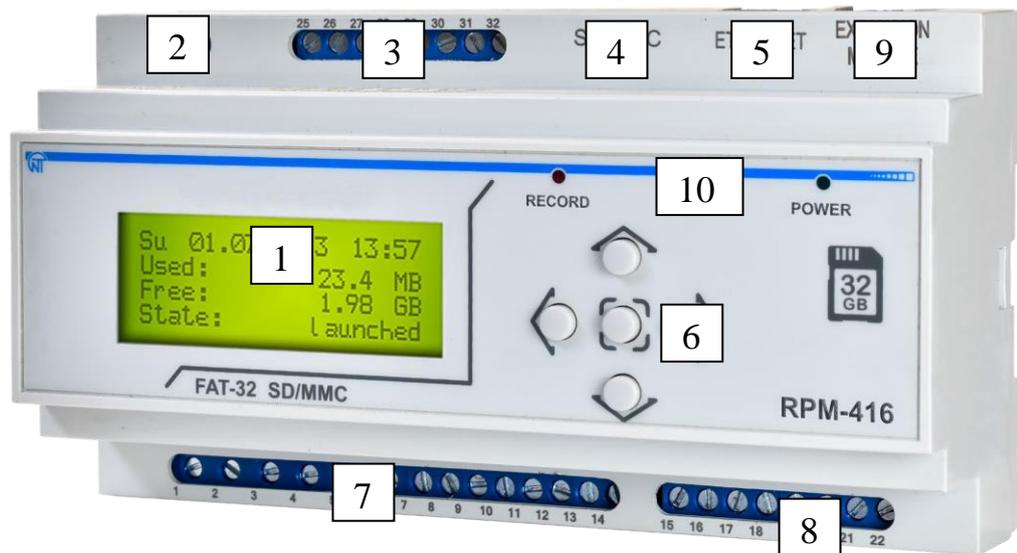


Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

На фото зовнішнього вигляду пристрою позначено: 1 – дисплей зі службовою інформацією про налаштування пристрою і виміряні та розрахункові параметри; 2 – порти живлення пристрою AC230V; 3 – порти подажі сигналів керування роботою пристрою (запису чи припинення запису даних); 4 – слот для карти пам'яті SSD (до 32 Гб); 5 – роз'єм для приєднання кабеля Ethernet RJ45; 6 – органи налаштування пристрою (кнопки) та перегляду виміряних даних; 7 – порт підключення сигналів напруги та вимірювальних трансформаторів струму; 8 – порт підключення сенсорів інших вимірювальних даних; 9 – роз'єм RJ11 для приєднання до іншого подібного пристрою для влаштування SCADA-системи; 10 – світлова індикація наявності живлення, запису (реєстрації) даних та наявності приєднання до іншого модуля в системі SCADA.

Параметри мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» зведемо у таблицю 3.1 [1].

Габаритні та установчі розміри мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 зобразимо на рисунку 3.5 [1].

Таблиця 3.1 – Параметри мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

<b>Назва</b>	<b>Значення</b>
Номінальна напруга живлення	230/240 V (~)
Напруга, при якій зберігається працездатність	24 – 265 V ~ / ⎓
Частота мережі живлення	45 – 65 Hz
Споживана потужність (від мережі ~230 V)	≤ 6,0 W
Споживана потужність (від джерела живлення +24 V)	≤ 2,2 W
Період запису даних на карту пам'яті	0,001 – 3600 s
Зовнішній накопичувач (карта пам'яті)	SD(v1.0, v1.1) / SDHC, Class 4, 6, 10
Максимальна ємність зовнішнього накопичувача	32 GB
Підтримувані файлові системи зовнішнього накопичувача	12, 16, 32 FAT
Мінімальний розмір файлу даних	32 KB
Максимальний розмір файлу даних	512 MB
Розмір одного блоку записуваних даних (20 параметрів)	88 byte
Похибка ходу годинника, при температурі 25 °C	не гірше 1 s/day
Зв'язок з Ethernet або ПК	10Base-T / 100Base-T
Modbus TCP	є
Web-інтерфейс	є
FTP	є
Призначення виробу	Пристрої цифрової індикації
Номінальний режим роботи	Тривалий
Ступінь захисту виробу (корпус / клемник)	IP40 / IP20
Клас захисту від ураження електричним струмом	II
Кліматичне виконання	УХЛ 3.1
Допустима ступінь забруднення	II
Категорія перенапруги	II
Номінальна напруга ізоляції	450 V
Номінальна імпульсна витримувана напруга	2,5 kV
Переріз проводів для підключення до клем	0,2 – 2,5 mm <sup>2</sup>
Момент затягування гвинтів клем	0,4 N*m
Маса	≤ 0,5 kg
Габаритні розміри (рис. 1.1), Н*В*L	91x157x56,3 mm
Монтаж виробу – стандартна DIN-рейка 35 mm	

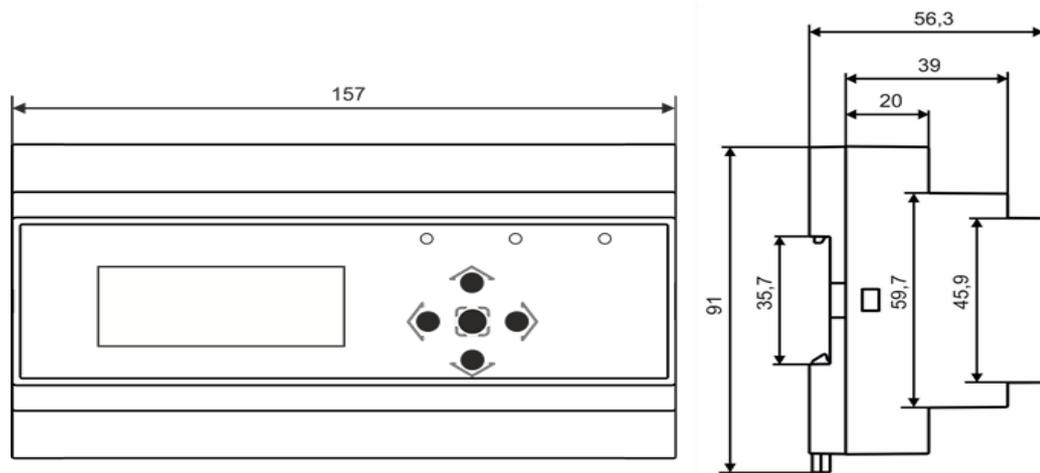


Рисунок 3.5 – Габаритні та установчі розміри RPM-416

Реєстратор конструктивно виконаний у пластмасовому корпусі, призначеному для кріплення на DIN-рейку 35 mm, розміри корпусу (91 mm x 157 mm x 56,3 mm) 9 модулів типу S. Корпус виконаний з самозгасаючого матеріалу. Принцип дії пристрою заснований на вимірюванні значень з усіх датчиків, підключених до входів реєстратора, накопиченні даних у внутрішній пам'яті реєстратора і запису їх на зовнішній носій – карту пам'яті (SD/MMC).

Реєстратор оснащений вбудованим годинником реального часу, живлення якого здійснюється (у разі відключення основного живлення) від вбудованого елемента резервного живлення – літієвої батареї. Енергії батареї вистачає на безперервну роботу годинника протягом 10 років (при температурі 25 °C). У разі експлуатації реєстратора при температурі на межах робочого діапазону, тривалість роботи годинника скорочується.

Характеристику входів RPM-416 зведено в таблицю 3.2 [1].

Схема електричних приєднань RPM-416 зображена на рисунку 3.6.

Таблиця 3.2 – Характеристика входів RPM-416

Назва	Значення
Вхід напруги	3 канали
Діапазон вимірювання напруги	3 – 450 V
Похибка вимірювання напруги (для синусоїдного сигналу)	до 300 V $\pm$ 1% більше 300 V $\pm$ 1,5%
Тип вимірювання напруги	RMS/Миттєве/Пікове
Діапазон вимірювання частоти напруги	25 – 70 Hz
Похибка вимірювання частоти напруги (для синусоїдного сигналу)	$\pm$ 0,05 %
Діапазон вимірювання КГС	0 – 100%
Похибка вимірювання КГС ( при рівні сигналу більше ніж 14 % від діапазону)	$\pm$ 2%
Вхід струму	4 канали
Діапазон вимірювання струму	0,05 – 10 A
Похибка вимірювання струму (для синусоїдного сигналу)	$\pm$ 2,5 %
Тип вимірювання струму	RMS/Миттєве/Пікове
Тип датчика струму	ТС з виходом 5 A
Підтримувані номінали ТС	від 5 до 9999 A
Діапазон вимірювання частоти струму	25 – 70 Hz
Похибка вимірювання частоти струму (для синусоїдного сигналу)	$\pm$ 0,05 %
Перевантажувальна здатність 50 A (не частіше одного разу на хвилину)	$\leq$ 0,3 s
Діапазон вимірювання КГС	0 – 100 %
Похибка вимірювання КГС (при рівні сигналу більше ніж 14 % від діапазону)	$\pm$ 2 %
*Вхід потужності	3 канали
Діапазон вимірювання активної потужності	30 – 200 000 000 W
Діапазон вимірювання реактивної потужності	30– 200 000 000 VAr
Діапазон вимірювання повної потужності	30– 200 000 000 VA
Діапазон вимірювання коефіцієнта потужності	0,01 – 1 cos $\varphi$
Похибка вимірювання потужності (для синусоїдного сигналу)	$\pm$ 3,5%
Максимальне значення лічильника активної енергії	999 999 999 kW*h
Максимальне значення лічильника реактивної енергії	999 999 999 kVAr*h
Вхід температури	2 канали
Тип датчика температури	PTC1000 / PT1000
Діапазон вимірювання температури для PTC1000	від - 50 до +120 °C
Діапазон вимірювання температури для PT1000	від - 50 до +250 °C
Похибка вимірювання температури	$\pm$ 1,5 %
Вхід напруги 0 – 10 V (..... )	1 канал
Діапазон вимірювання напруги	0,01 – 10 V

## Продовження таблиці 3.2

Назва	Значення
Похибка вимірювання напруги	$\pm 1 \%$
Тип датчика напруги	0 – 10 V
Вхід струму 0 – 20 mA (.....)	1 канал
Діапазон вимірювання струму	0 – 20 mA
Похибка вимірювання	$\pm 1 \%$
Тип датчика струму	0 – 20 mA
Цифровий вхід	4 канали
Діапазон вимірювання	Замкнено – розімкнено
Тип датчика цифрового сигналу	Сухий контакт
Діапазон вимірювання частоти імпульсів	1 – 15000 imp*min
Максимальне значення лічильника імпульсів	999999999

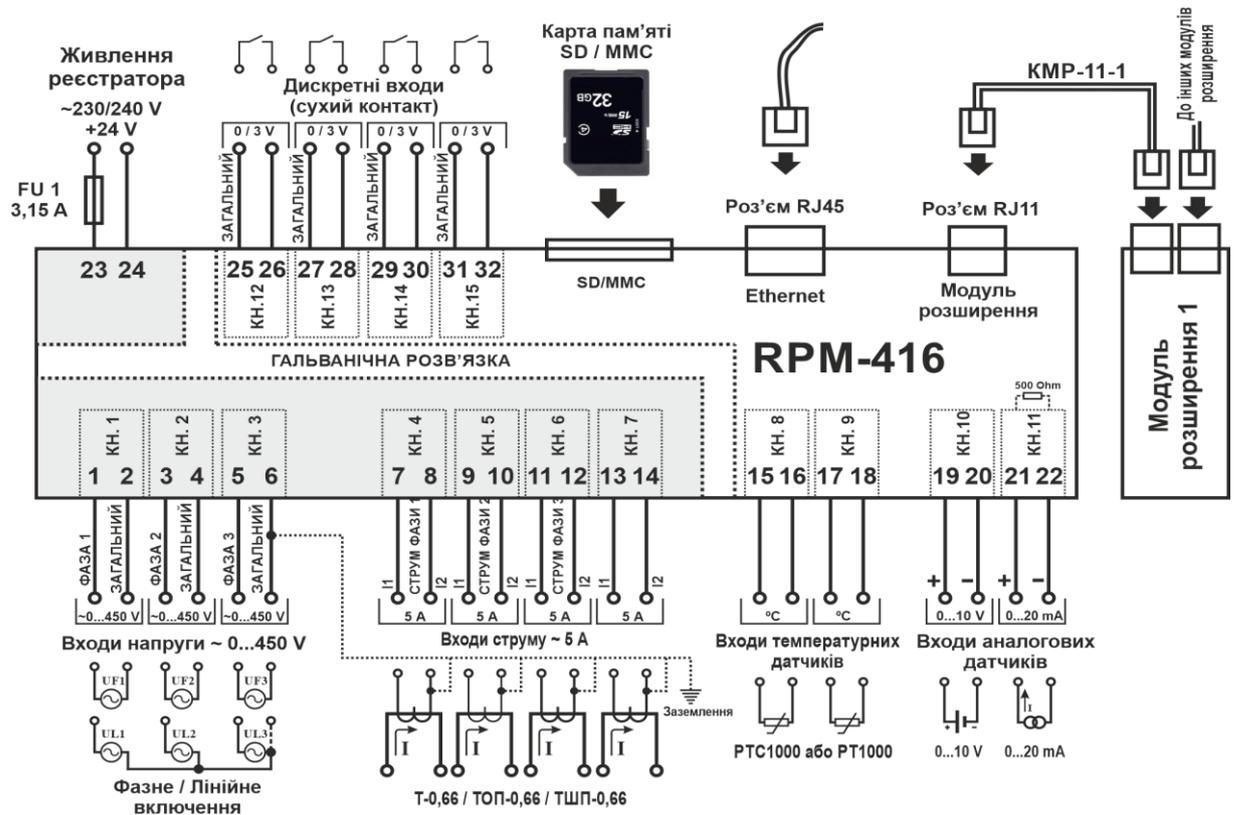


Рисунок 3.6 – Схема електричних приєднань RPM-416

Для забезпечення надійності електричних з'єднань слід використати гнучкі (багатодротяні) проводи з ізоляцією на напругу не менше 450 V.

Рекомендований переріз кабелю для вимірювання струму: 1,5 – 2,5 mm<sup>2</sup>, для інших з'єднань 0,75 – 2,5 mm<sup>2</sup>. Кріплення проводів повинне виключати механічні ушкодження, скручування і стирання ізоляції проводів.

Для зменшення впливу електромагнітних завад, при прокладанні силових ліній слід виділити їх у самостійну трасу (або кілька трас). Траси розташовують окремо від силових кабелів, а також від кабелів, що створюють високочастотні та імпульсні завади. Траси слід планувати таким чином, щоб довжина сигнальних ліній була мінімальною.

Підключення реєстратора до мережі Ethernet здійснюється за допомогою кабелю, виконаного за стандартом ANSI EIA TIA 568B.

При використанні джерела резервного живлення, підключення якого виконується до тих самих клем, що й основне джерело живлення, необхідно передбачити схему АВР (автоматичне введення резерву) переключення з основного джерела живлення на резервне.

Для забезпечення безперервного запису даних, АВР повинно виконувати переключення на резервне джерело живлення за час, що не перевищує 0,5 с.

### 3.4.2 Вибір клемних затискачів

Клемні затискачі у системи моніторингу повинні бути розраховані на струм споживача. Для розрахунків задамося параметрами споживача:

- 1) максимальна потужність споживання:  $N_n = 50\text{кВт}$ ;
- 2) коефіцієнт потужності споживача:  $\cos \varphi_n = 0,8$ ;
- 3) режим роботи – тривалий.

Струм трифазного споживача можна розрахувати за формулою:

$$I = \frac{N_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1.n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (3.1)$$

де  $N_n$  – номінальна потужність споживача;

$U_{1,n}$  – номінальна лінійна напруга живлення споживача ( $U_{1,n} = 0,4\text{kV}$ );

$\cos \varphi_n$  - номінальний коефіцієнт потужності споживача;

$\eta_n$  - номінальне значення коефіцієнта корисної дії споживача (прийmemo рівним  $\eta_n = 1$ ).

Отримаємо розрахунковий струм:

$$I_r = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 1,0} = 90,21 \text{ (A)}.$$

Затискачі для приєднання кабельних ліній виконуються зі сталевих або латунних шин, у які закручені гвинти, що затискають кабельний накінецьник. Переріз сталевих шин для пропускання рорзаунокового струму згідно Правил улаштування електроустановок ПУЕ-2017 таблиці 1.3.46 має становити [7]: не менше 16x2,5мм. Обираємо термінальні затискачі з розміром шин для приєднання кабелів – 25x4мм.

Зовнішній вигляд клемного затискача зобразимо на рисунку 3.7.

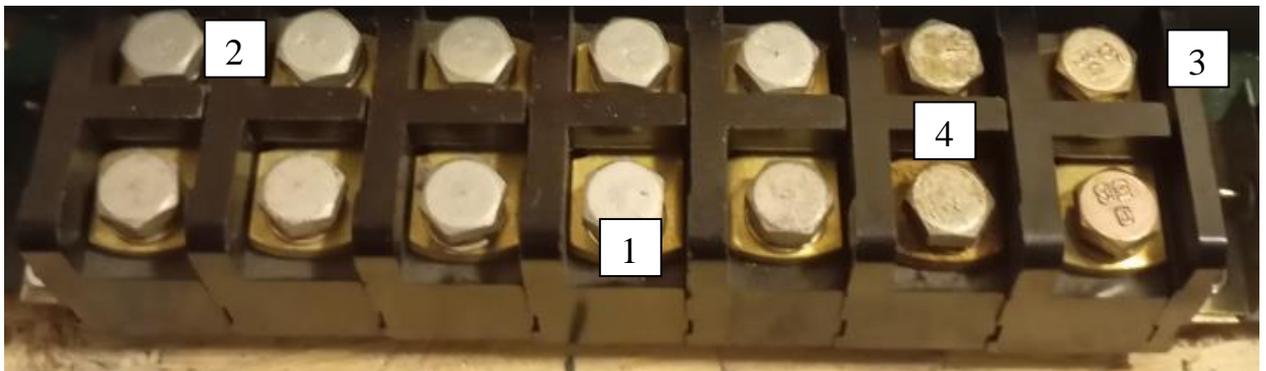


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд клемного затискача

На рисунку позначено: 1 – основа ізоляційна для кріплення контактних пластин; 2 – перегородка ізоляційна між сусідніми секціями; 3 – перегородка кінцева глуха; 4 – гвинт М12, що закручений у контактну латунну пластину.

Клемний затискач складається з набору секцій, які між собою з'єднуються шпилькою. Для приєднання кабелів живлення та споживача

необхідно використати 8 секцій клемного затискача. Тому стандартна кількість секцій 7шт, яка не передбачає розрив нульового робочого провідника, нам не підійде. Тому додатково було додано ще одну секцію і замінено з'єднувальну шпильку клемника. Таким чином використано клемний затискач з гвинтами M12 на 8 секцій.

### 3.4.3 Вибір автоматичного вимикача

Автоматичний вимикач подачі живлення на пристрій моніторингу виконує функцію вимикача. Умова вибору автоматичного вимикача для полегшених умов роботи має вигляд:

$$I_{\text{авт}} \geq I_{\text{ррм}}, \quad (3.2)$$

де  $I_{\text{ррм}}$  -- струм споживання пристрою реєстрації/

Виходячи з рекомендації встановлення для захисту блоку живлення пристрою запобіжника зі струмом 3,15А, можна отримати розрахункову потужність пристрою 600Вт. Розрахунковий струм реєстратора RPM-416 можна визначити за формулою струму однофазного споживача:

$$I = \frac{W}{U_{\text{f.n}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (3.3)$$

де  $W$  – номінальна потужність споживача ( $W = W_{\text{ррм}} = 600\text{Вт}$ );

$U_{\text{f.n}}$  – номінальна напруга живлення споживача ( $U_{\text{f.n}} = 0,23\text{кВ}$ );

$\cos \varphi_n$  - номінальний коефіцієнт потужності споживача;

$\eta_n$  - номінальне значення коефіцієнта корисної дії пристрою (прийmemo рівним  $\eta_n = 1$ ).

Отримаємо розрахунковий струм споживання пристрою RPM-416:

$$I_{\text{ррм}} = \frac{600}{230 \cdot 1 \cdot 1} = 2,6 (\text{А}).$$

Тепловий розчіплювач автоматичного вимикача повинен реагувати на 20% перевищення струму, тому умова вибору автоматичного вимикача буде мати вигляд:

$$I_{\text{авт}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{рпм}}, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{авт}} \geq 1,2 \cdot 2,6 = 3,13(\text{А}).$$

З ряду номінальних значень автоматичних вимикачів для захисту пристрою обираємо вимикач на струм 10А. Технічні характеристики автоматичного вимикача зведемо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики автоматичного вимикача

Назва параметру	Значення
Тип	6кА С-10А
Кількість і тип полюсів	1/1Р
Крива захису	С
Номінальна робоча напруга змінного струму, В	230 / 400
Відключаюча спроможність, кА	6
Номінальна робоча напруга змінного струму, В	460
Номінальний струм при 30 °С, А	10
Діапазон спрацювання термічного розчіплювача	(1,13 – 1,45) $I_{\text{н}}$
Поріг електромагнітного розчіплювача	(5 – 10) $I_{\text{н}}$

### 3.4.4 Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму обираються виходячи з умови:

$$I_{\text{ITC.r}} \leq I_{\text{ITC.n}}, \quad (3.5)$$

де  $I_{\text{ITC.r}}$  -- розрахункове значення струму через первинну обмотку трансформатора струму, А;

$I_{\text{ITC.n}}$  -- номінальне значення струму через первинну обмотку трансформатора струму, А.

Орієнтуючись на розрахунковий струм споживача  $I_r = 90,21(\text{A})$ , обираємо трансформатори струму з  $I_{\text{ITC.n}} = 200\text{A}$  для фазних провідників і  $I_{\text{ITC.n}} = 100\text{A}$  – для нульового робочого провідника.

Зовнішній вигляд трансформаторів струму фазних провідників зобразимо на рисунку 3.8.

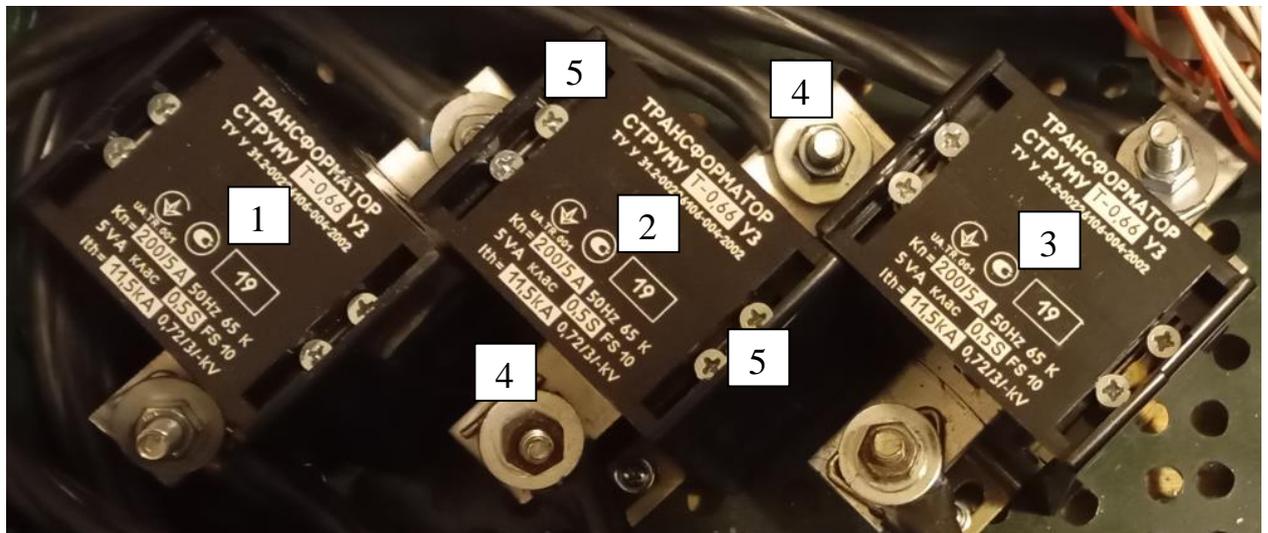


Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд трансформаторів струму фазних провідників

На рисунку позначено: 1 – трансформатор струму фази L1; 2 – трансформатор струму фази L2; 3 – трансформатор струму фази L3; 4 – контакти виходів первинної обмотки трансформатора фази L2; 5 – контакти виходів вторинної обмотки трансформатора фази L2.

Первинна обмотка обраного трансформатора струму реалізована у вигляді алюмінієвої шини перерізом 25x3мм. Така жина згідно ПУЕ-2017 таблиці 1.3.46 може витримати струм 340А [7]. Тому вона відповідає розрахунковому струму споживача.

До одного кінця шини трансформатора струму приєднується жила кабеля мережі живлення, а до іншого – жила кабеля споживача. Важливо, щоб кабельні жили одного кабеля приєднувалися з одного і того ж боку трансформаторів струму.

Технічні характеристики трансформаторів струму зведемо у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики трансформаторів струму

Назва параметру	Значення	
	Призначення	L1, L2, L3
Тип	T-0,66 УЗ	T-0,66 УЗ
Коефіцієнт трансформації, А/А	200/5	100/5
Напруга ізоляції трансформатора, В	660	660
Частота змінного струму, Гц	50	50
Клас точності вимірювання	0,5S	0,5
Номінальна споживана трансформатором потужність, ВА	5	5
Стійкість до струму КЗ, кА	11,5	10

Перевірка трансформаторів виконується за формулою:

$$I_{2TC.r} \geq 0,4 \cdot I_{2TC.n}, \quad (3.6)$$

де  $I_{2TC.r}$  -- розрахункове значення струму вторинної обмотки трансформатора, А;

$I_{2TC.n}$  -- номінальне значення струму вторинної обмотки трансформатора

$$(I_{2TC.n} = 5A).$$

Щоб знайти струми вторинної обмотки трансформаторів знайдемо їх коефіцієнт трансформації за формулою:

$$k_{TC} = I_{1TC.n} / I_{2TC.n}, \quad (3.7)$$

де  $I_{1TC.n}$  -- номінальне значення струму первинної обмотки трансформатора ( $I_{1TC.n} = 200\text{А}$  для фазних ліній і  $I_{1TC.n} = 100\text{А}$  для нульової лінії живлення).

Отримаємо коефіцієнти трансформації трансформаторів струму фазних та нульової лінії живлення споживача:

$$k_{TC.L} = 200 / 5 = 40,$$

$$k_{TC.N} = 100 / 5 = 20.$$

Розрахунковий струм вторинної обмотки трансформатора струму можна знайти за формулою:

$$I_{2TC.r} = \frac{I_{1TC.r}}{k_{TC}}. \quad (3.8)$$

Отримаємо значення розрахункових струмів вторинної обмотки трансформатора струму фазних і нульової лінії живлення споживача:

$$I_{2TC.rL} = \frac{I_{1TC.r}}{k_{TC.L}} = \frac{90,2}{40} = 2,255 \text{ (А)}, \quad (3.9)$$

$$I_{2TC.rN} = \frac{I_{1TC.r}}{k_{TC.N}} = \frac{90,2}{20} = 4,511 \text{ (А)}. \quad (3.10)$$

Таким чином, перевірка вибраних трансформаторів струму буде мати вигляд:

$$2,255 \geq 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ -- виконується;}$$

$$4,511 \geq 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ -- виконується.}$$

Оскільки умови перевірки вибору трансформаторів струму виконуються, трансформатори обрано вірно.

### 3.5 Електрична схема системи моніторингу

Для забезпечення можливості підключення до системи моніторингу трансформаторів струму різного номіналу необхідно передбачити клемний затискач для зовнішнього приєднання і перемикач трансформаторів струму. Цей перемикач має перемикати лінію підключення струмових кіл пристрою реєстрації на вбудовані трансформатори струму або інші зовнішні.

Схема електрична монтажна системи моніторингу зображена на рисунку 3.9.

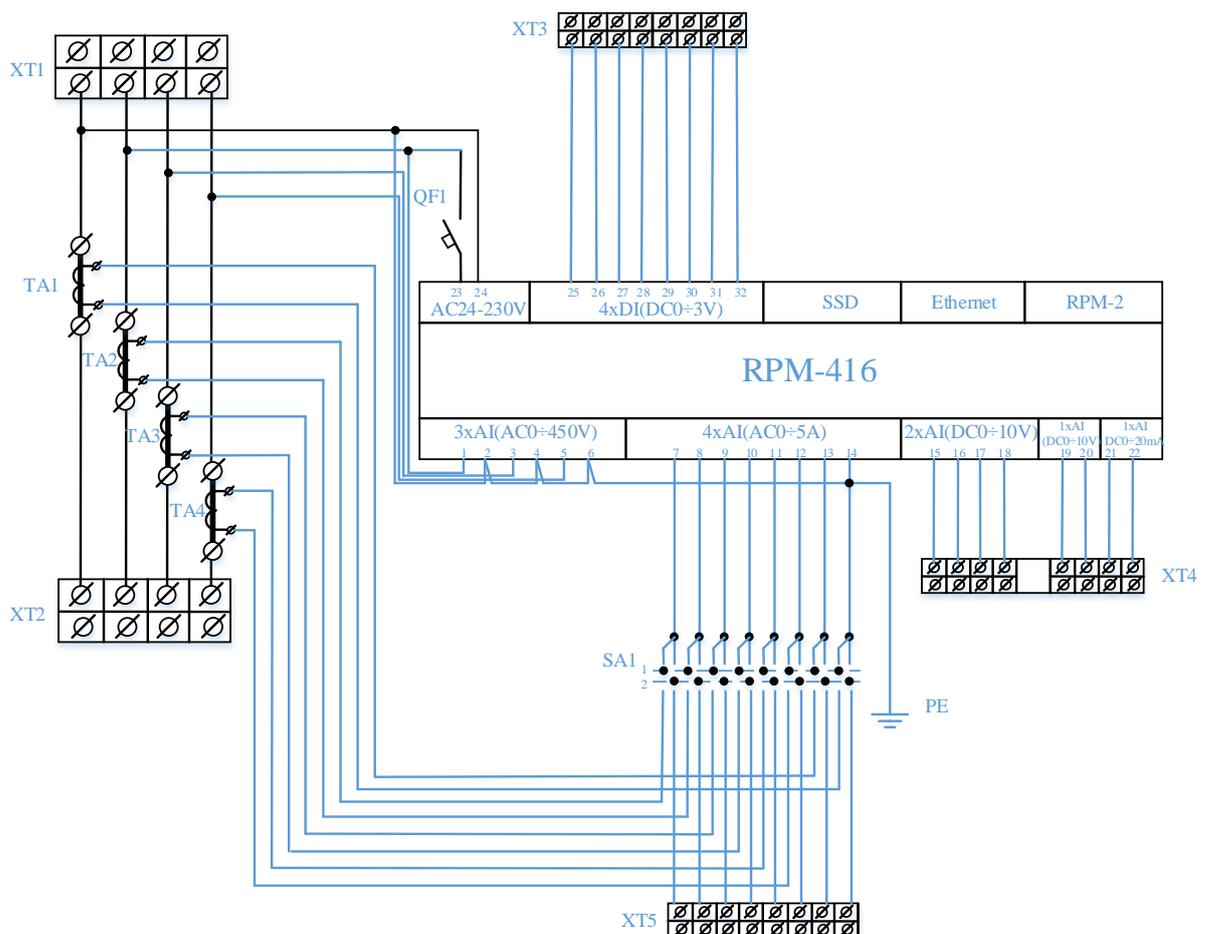


Рисунок 3.9 – Схема електрична монтажна системи моніторингу

На рисунку позначено: ХТ1, ХТ2 – термінальні затискачі ввідного та вихідного силових кабелів відповідно; ХТ3 – клемна колодка цифрових входів на пристрій для подачі команд керування; QF1 – автоматичний вимикач захисту і подачі живлення на пристрій реєстрації; RPM-416 – сам пристрій реєстрації параметрів мережі; SA1 – перемикач вибору трансформаторів струму для вимірювання (вбудованих чи зовнішніх виносних); ХТ4 – клемна колодка зовнішніх приєднань сенсорів інших параметрів; ХТ5 – клемна колодка зовнішніх приєднань зовнішні трансформаторів струму (виносних).

Згідно інструкції приладу реєстрації RPM-416 його необхідно приєднували лише через трансформатори струму, тому для вимірювання струмів більших за 100А, а також менших, ніж 40А (дане значення струму буде крайнім, що задовільнятиме перевірку трансформаторів струму), передбачено можливість приєднання трансформаторів іншого номіналу. Більше того, дуже часто необхідно виміряти параметри мережі і провести реєстрацію виміряних даних, не розриваючи кола живлення споживача. Наприклад у ситуації, коли відсутня фізична можливість винести кабельну лінію за межі щита живлення або неможливості відключення споживача в під час слідування технологічного процесу. В такому випадку можна приєднати до системи моніторингу вторинні обмотки існуючих трансформаторів струму або ж використати виносні трансформатори струму з роз'ємним магнітопроводом. Такі трансформатори струму можна «накидати» на силові кабеля не розриваючи ліній живлення.

Таким чином вимірювання і реєстрацію параметрів живлення можна виконувати не вимикаючи технологічний процес і не розриваючи кабельні лінії живлення споживачів.

Для завершення процесу вибору необхідного обладнання для системи моніторингу виконаємо вибір пакетного перемикача SA1. Його ізоляція має витримувати напругу 400V а контакти – тривалий струм 5А. У нього також має бути передбачена можливість комутації 8-ми електричних кіл одночасно.

Цим критеріям відповідає перемикач ПГК-3ПЗН. Зовнішній вигляд перемикача зображено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд перемикача ПГК-3ПЗН

На рисунку зображено перемикач галетний керамічний з однією секцією (пакетом) на три контакти. Кожен з контактів замикається згідно певної діаграми перемикань. Діаграма перемикань та установчі розміри перемикача зображено на рисунку 3.11.

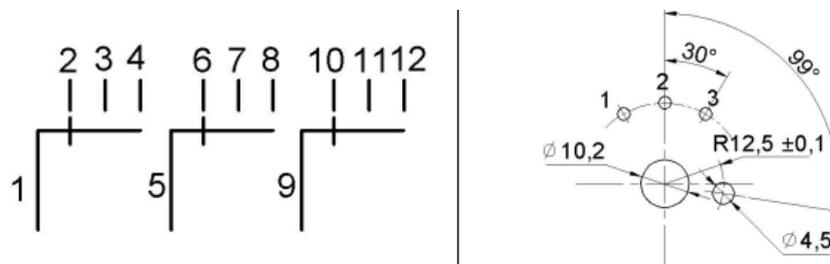


Рисунок 3.11 – Діаграма перемикань та установчі розміри перемикача ПГК-3ПЗН

З рисунку видно, що кожен контакт перемикача може мати три лінії комутації. Конструктив перемикача дозволяє обмежити кількість положень. Для нашого випадку достатньо буде лише два положення. Таким чином, для реалізації функції перемикання виходів вторинних обмоток чотирьох трансформаторів струму обираємо перемикач ПГК-3ПЗН на два положення з трьома секціями.

#### 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

Практична реалізація системи моніторингу параметрів мережі складається з наступних етапів:

- 1) підготовка і пристосування корпусу для монтажу системи моніторингу;
- 2) встановлення автоматичного вимикача подачі живлення на пристрій;
- 3) монтаж пристрою реєстрації RPM-416 і приєднання провідників до всіх інформаційних виходів;
- 4) встановлення перемикача вибору трансформаторів струму;
- 5) монтаж термінальних затискачів для приєднання силових електричних кабелів;
- 6) встановлення трансформаторів струму;
- 7) приєднання силовими провідниками трансформаторів струму до термінальних затискачів;
- 8) розключення кіл керування.

Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи моніторингу подано на рисунку 4.1. На фотографії показано лицеву панель металевого корпусу в розібраному вигляді з підготовленим вирізом для встановлення автоматичного вимикача і пристрою реєстрації. Металевий корпус має розміри: 500x400x150мм, ступінь захист IP30, виготовлений з дюралюмінію.

Особливістю такого корпусу є те, що його зручно переносити, оскільки він має ручки з обох боків лицевої панелі. Крім того, він передбачає можливість встановлення на будь яку грань, в тому числі і лицеву, оскільки вона захищається ручками.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи моніторингу

Пристрій реєстрації параметрів мережі та автоматичний вимикач на етапі встановлення з приєднаними провідниками зображено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Пристрій реєстрації параметрів мережі та автоматичний вимикач з приєднаними провідниками

На рисунку видно, що для приєднання використано провідники різного кольору. Для зручності прийнято наступне маркування кольору провідників:

- чорним кольором провідників подається сигнали напруги АС230V;
- синім кольором подається живлення РN;
- коричневим кольором приєднуються входи вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму;
- білим кольором приєднуються виходи вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму;
- оранжевим та білим кольором провідника меншого перерізу приєднуються сенсори інших вимірювальних параметрів (температури, швидкості тощо);
- жовтим та коричневим кольором виконано приєднання дискретних входів керування процесом моніторингу.

Провідники для приєднання до вторинних обмоток трансформаторів струму виконано гнучкими з міді перерізом:  $1,5\text{мм}^2$ .

Пристрій RPM-416 та автоматичний вимикач монтується на DIN-рейку, яка кріпиться з внутрішнього боку на бокових стрінках корпусу. Фотографія встановленого пристрою в корпусі подана на рисунку 4.3.

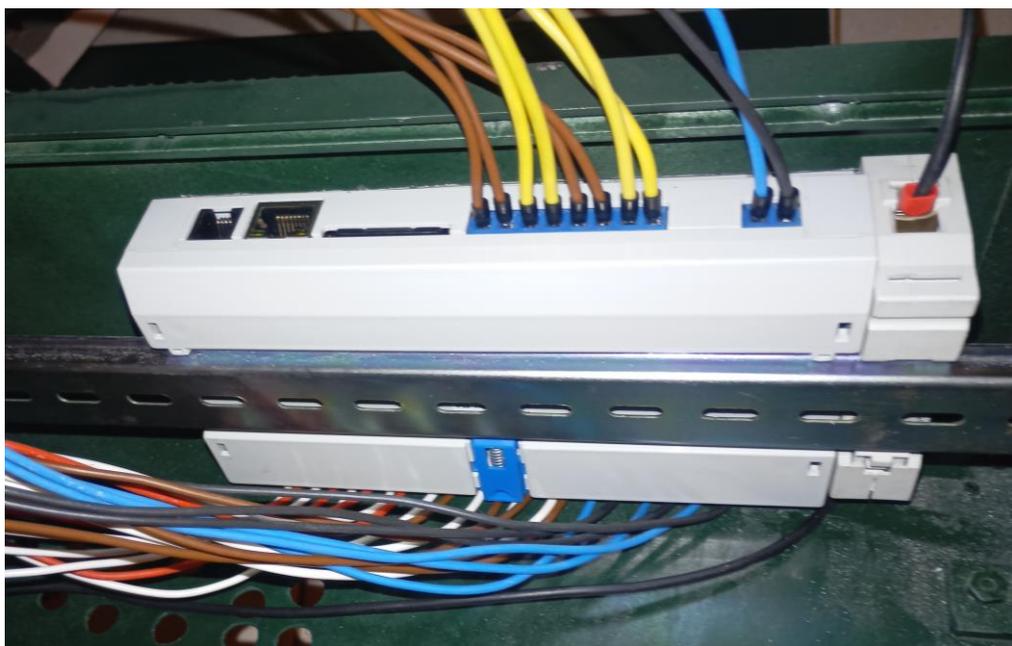


Рисунок 4.3 – Пристрій RPM-416 та автоматичний вимикач (монтаж)

У фронтальній частині корпусу встановлюємо перемикач вибору трансформаторів струму. На зовнішній стороні корпусу кріпимо руків'я перемикача. Фотографія встановленого перемикача подана на рисунку 4.4.

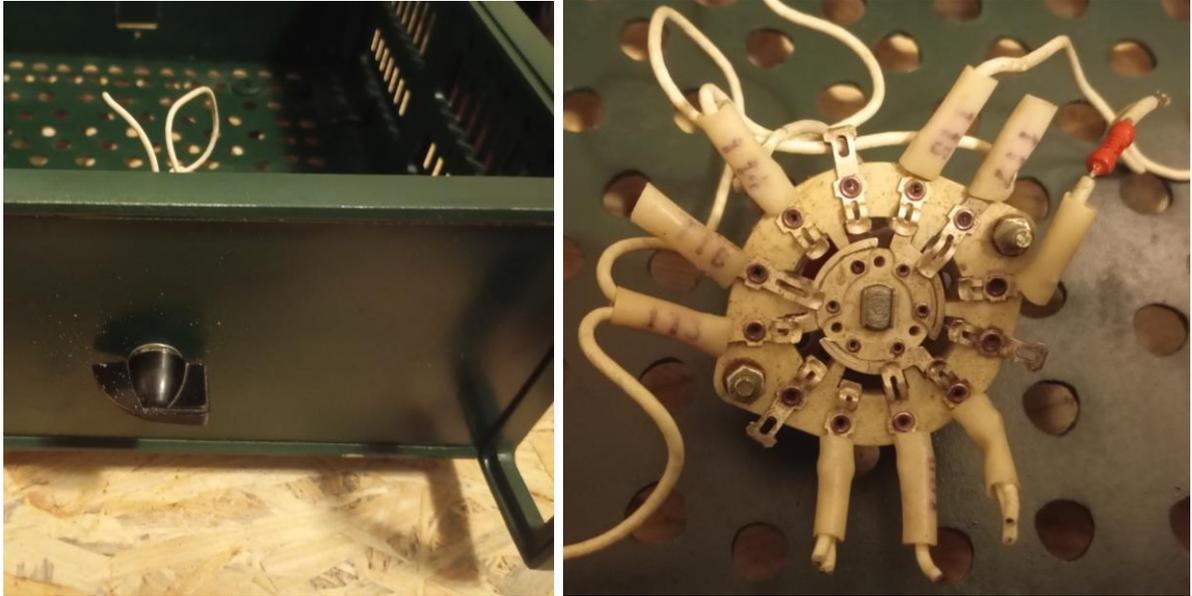


Рисунок 4.4 – Встановлення перемикача трансформаторів струму

В задній частині корпусу монтуємо термінальні затискачі для приєднання електричних кабелів. Слід врахувати те, що ці затискачі необхідно відокремити від пристрою реєстрації. Це виконується для захисту слабкострумівих елементів системи моніторингу від пошкодження під час приєднання кабелів.

Зовнішній вигляд монтажного корпусу зі встановленими клемними затискачами для приєднання кабелів подано на рисунку 4.5.

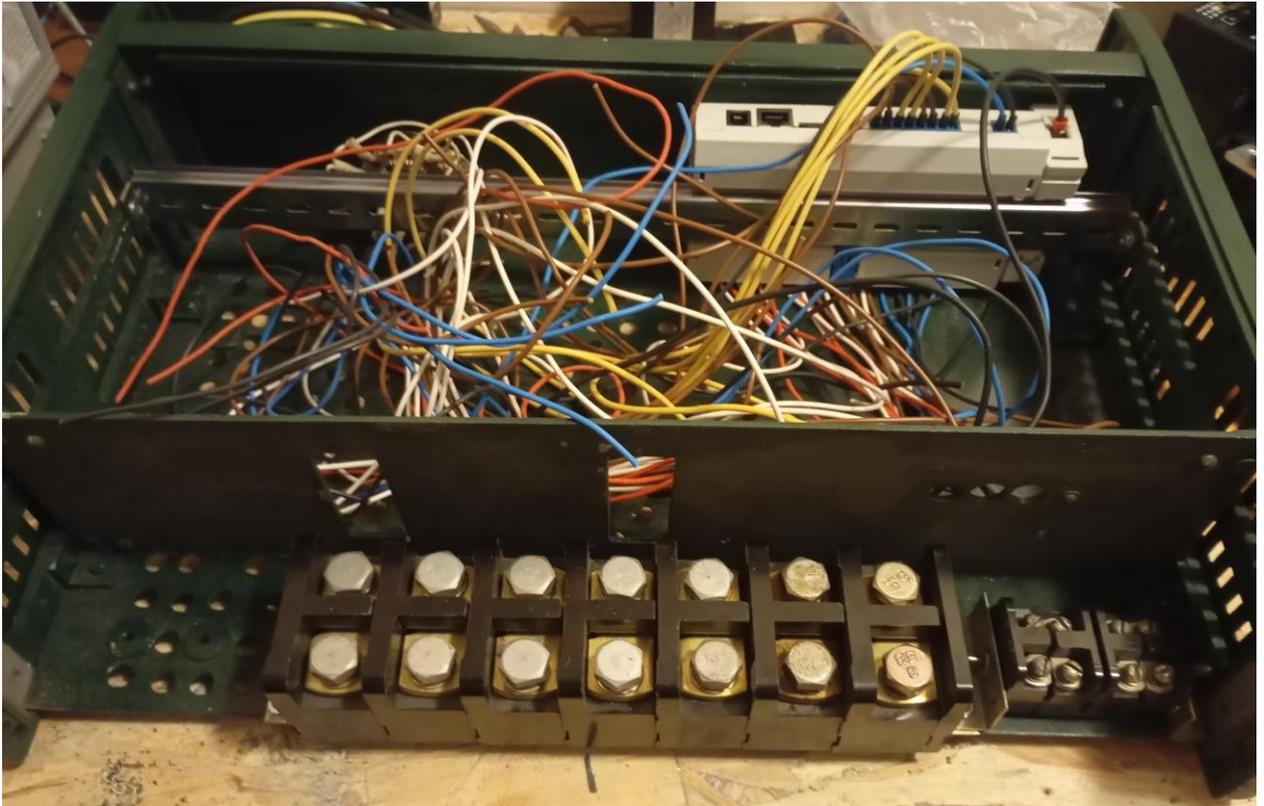


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд монтажного корпусу зі встановленими клемними затискачами

На фотографії видно, що відділення для зовнішніх приєднань відділене від основного відсіку перегородкою з отворами. Ці отвори будуть використовуватися для прокладання провідників від затискачів до трансформаторів струму, а також для виведення інформаційних входів/виходів на клемні колодки. Задня частина корпусу буде відкрита для зовнішніх приєднань, чим забезпечиться зручність приєднань та розміщення пристрою.

Трансформатори струму встановлюються в основному відсіці корпусу і кріпляться жорстко до його основи. Фотографія змонтованих трансформаторів струму та приєднаних до них провідників зображена на рисунку 4.6.

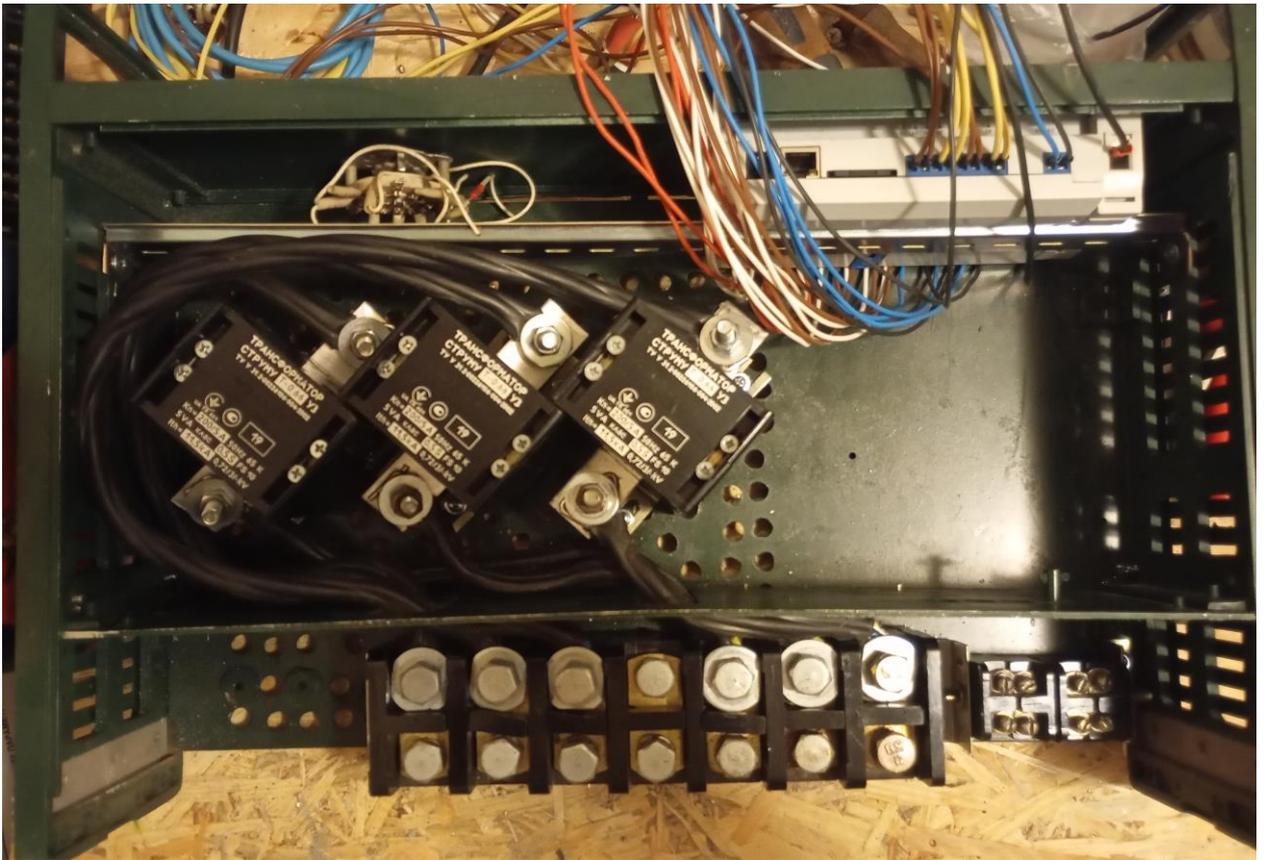


Рисунок 4.6 – Фотографія змонтованих трансформаторів струму та приєднаних до них провідників

Для приєднання нульового робочого провідника використовуємо нульову шину на 10 отворів з перерізом приєднаних провідників до  $6\text{мм}^2$ . Для приєднання кіл керування та введення/виведення вимірювальних сигналів використовуємо клемні колодки на 8 виводів для приєднання провідників до  $4\text{мм}^2$ . Нульова шина монтується у основному відсіці пристрою, а клемні колодки – у відсіці для приєднання кабелів.

Процес розключення пристрою подано на фотографії 4.7.

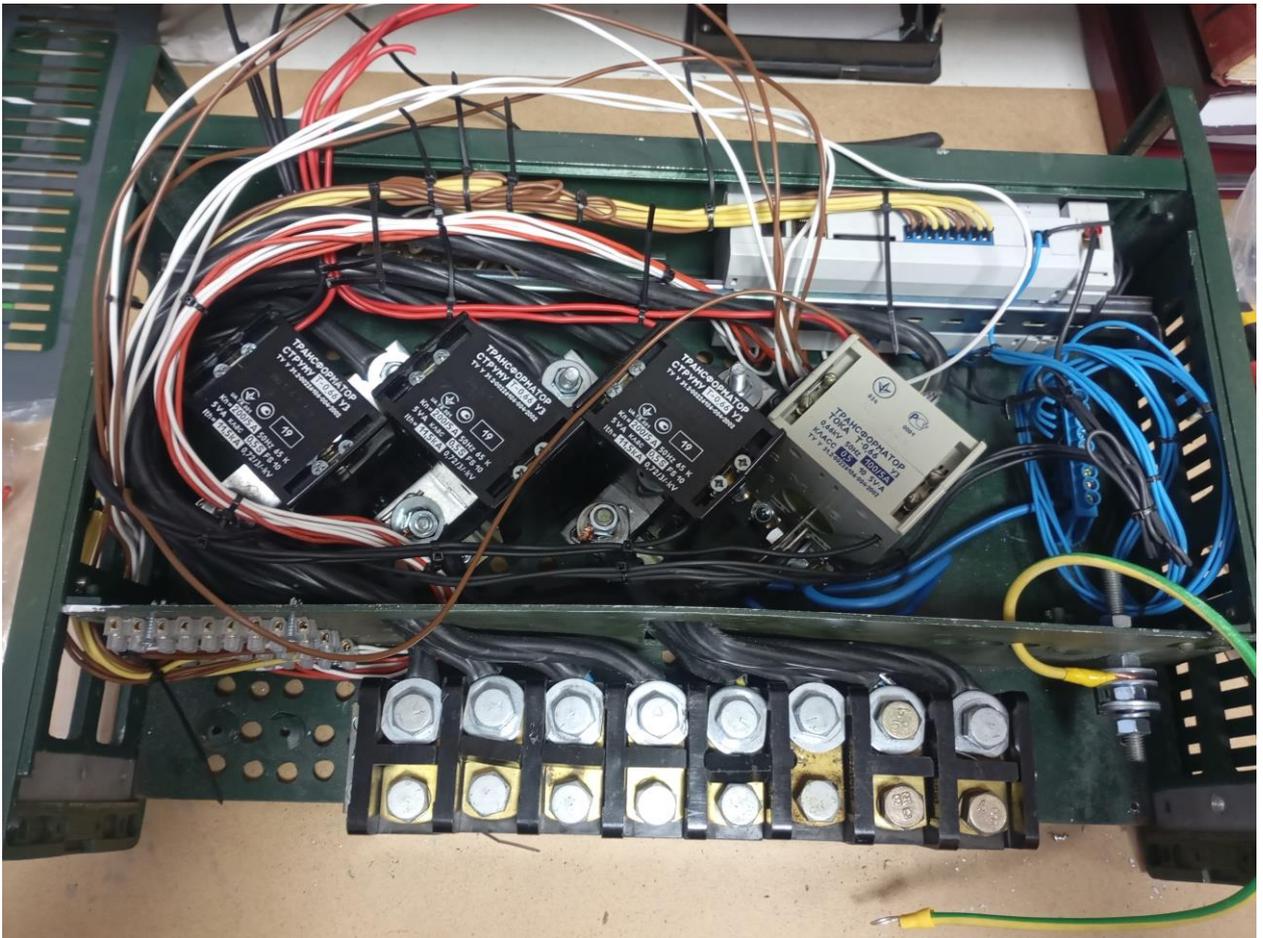


Рисунок 4.7 – Процес розключення пристрою моніторингу

Всі провідники згруповано у пучки за функціональною ознакою. Можна виділити такі функціональні ознаки груп провідників:

- силові (чорного та синього кольору);
- вимірювальні (червоного та білого кольорів);
- керуючі (жовтого та коричневого кольорів).

Зовнішній вигляд зібраного пристрою подано на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд зібраного пристрою системи моніторингу параметрів мережі

На фотографії видно, що пристрій має мінімальну кількість елементів, що винесені на зовні. Його можна зручно транспортувати і ставити на всі поверхні. Це особливо актуальне, коли виконується приєднання до пристрою електричних кабелів.

Крім того, зверху на пристрій можна встановити персональний комп'ютер і приєднати його до пристрою. Це дозволяє достатньо зручно виконувати моніторинг параметрів, завантажувати інформацію, виконувати аналіз даних.

Віддік для приєднання кабелів знаходиться у задній частині пристрою і закритий верхньою та нижньою пластинами. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень безпеки користування пристроєм під час приєднаних електричних кабелів.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний ефект від впровадження мікропроцесорної системи моніторингу параметрів мережі живлення електромеханічної системи можна розрахувати за методом приведених затрат [8--10]. Приведені затрати на реалізацію технічної пропозиції визначається за формулою:

$$З = C + E_n \cdot K, \quad (5.1)$$

де  $C$  – річні експлуатаційні затрати, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності ( $E_n=0,2$ );

$K$  – капітальні вкладення, грн.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$EE = E_n(K_1 - K_2) - (C_1 - C_2), \quad (5.2)$$

де індекси "1" та "2" відносяться до базового і нового варіантів відповідно.

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{\Delta C} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}, \quad (5.3)$$

де  $T_{ок}$  – термін окупності додаткових капітальних затрат.

### 5.1 Визначення капітальних вкладень

У якості базового варіанту реалізації системи моніторингу параметрів живлення електромеханічної системи використаємо пристрій SATEC PM175. У доказ його популярності подамо зображення вікна пошуку інтернет-

оглядача за запитом «найбільш популярний аналізатор параметрів електричної мережі» на рисунку 5.1.

The image shows a screenshot of a Google search results page. The search bar contains the text 'найбільш популярний аналізатор параметрів'. Below the search bar, there are navigation tabs: 'Режим ИИ', 'Все', 'Картинки', 'Покупки', 'Видео', 'Короткие видео', 'Новости', and 'Ещё'. The main content area features an AI overview section titled 'Обзор от ИИ'. The text in this section discusses the popularity of network parameter analyzers, mentioning brands like SATEC (PM175), Metrel (MI 2892 Power Master), F&F (DMM-5T-2), and Sonel (PQM-700UA). Below the overview, there is a section titled 'Популярні моделі та бренди:' followed by a bulleted list of these brands and their features.

Режим ИИ **Все** Картинки Покупки Видео Короткие видео Новости Ещё ▾

◆ Обзор от ИИ

Найбільш популярні аналізатори параметрів мережі залежать від потреб (стаціонарні чи портативні), але бренди як **SATEC (напр., PM175)**, **Metrel (напр., MI 2892 Power Master)**, **F&F (напр., DMM-5T-2)** та **Sonel (напр., PQM-700UA)** є провідними, пропонуючи точний моніторинг, відповідність стандартам якості (ДСТУ EN 50160) та розширені функції, як-от реєстрація перехідних процесів і дистанційне керування через Modbus, Ethernet, Wi-Fi, що робить їх незамінними для енергоменеджменту та промисловості. [↗](#)

**Популярні моделі та бренди:**

- **SATEC (PM175):** Популярний для моніторингу в мережах низької та середньої напруги, відповідає стандартам ДСТУ OIML D11, EN 62052-11, EN 62053-22.
- **Metrel (MI 2892 Power Master):** Сертифікований клас A (IEC 61000-4-30), ідеальний для енергоменеджменту, фіксує понад 600 параметрів та перехідні процеси, має розширені можливості зв'язку (LAN, GSM, WiFi).
- **F&F (DMM-5T-2):** Багатофункціональний щитовий аналізатор, зручний для дистанційного моніторингу завдяки Modbus RTU.
- **Sonel (PQM-700UA):** Розроблений для складних умов, стійкий до електромагнітних полів (IP65), має внутрішній акумулятор та підігрів, підходить для роботи просто неба. [↗](#)

Рисунок 5.1 – Вікно пошуку інтернет-оглядача за запитом «найбільш популярний аналізатор параметрів електричної мережі»

З аналізу штучним інтелектом популярності застосування різних аналізаторів можна зробити висновок, що SATEC PM175 є одним з провідних пристроїв в даній сфері. Наведемо його зовнішній вигляд на рисунку 5.2 та основні технічні характеристики у таблиці 5.1 [11].



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд аналізатора якості електричної енергії SATEC PM175

Однією з ключових функцій PM175 є можливість автоматичного фіксування подій за тригерами, таких як відхилення напруги за межі допустимих меж, пускові струми або інші аномалії в роботі електромережі. Це робить його корисним інструментом для діагностики проблем у системах електропостачання.

Таблиця 5.1 – Технічні дані аналізатора якості електричної енергії SATEC PM175

Параметр	Значення(опис)
1	2
<b>Основні характеристики</b>	
Клас точності	0.2S для обліку електроенергії згідно 3 IEC 62053-22.
Кількість входів	Три входи напруги та 3 входи струму з повною гальванічною ізоляцією.
Гармонічний аналіз	До 50-ї гармоніки напруги та струму.
Осцилографування	6 каналів (3 для напруги та 3 для струму) для детального аналізу подій.
Реєстрація подій	Перенапруги, провали, імпульсні перенапруги, флікер, несиметрія, відхилення частоти.
Годинник реального часу/ Real Time Clock (RTC)	Енергонезал. з похиб. 0,5 сек/день та можливістю синхронізації.
<b>Реєстрація та зберігання даних</b>	
Вбудована пам'ять	Забезпечує збереження графіків навантаження та журналів подій.
Режими реєстрації	Безперервна реєстрація RMS значень, подій, осцилограм з можливістю налаштування періоду усереднення та умов запуску.
Експорт даних	через RS232, RS485, Ethernet, Profibus DP з підтримкою протоколів Modbus RTU, ASCII, DNP 3.0.
<b>Комунікації та інтерфейси</b>	
Порти зв'язку	2 незалежних порти (RS232, RS422, RS485, Ethernet, Profibus DP).
Протоколи	Modbus RTU, ASCII, DNP 3.0.
Додаткові можливості	Підтримка MV-датчиків для моніторингу в розподільчих мережах 6/10/35 кВ.
<b>Конструктивні особливості</b>	
Монтаж	На OIM-рейку або в панельний виріз 92x92 мм.
Ступінь захисту	Забезпечує надійну роботу в промислових умовах.
Діапазон робочих температур	Від -20°C до +55°C.

Вартість приладу становить 72800 грн станом на 11.2025р [12], що робить його доступним для промислових підприємств, енергопостачальних компаній та комерційних об'єктів.

Новий варіант системи керування побудуємо на розробленій мікропроцесорній системі моніторингу параметрів електричної мережі RPM-416. Вартість реалізації нового варіанту оцінимо по вартості самого пристрою реєстрації RPM-416, яка на офіційному сайті зазначена як: 16870грн [13].

Для реалізації вимірювань електричних параметрів для нового варіанту необхідно передбачити придбання додатково трансформаторів струму та клемного затискача. Вартість трансформаторів струму виробництва ТОВ «МЕГОММЕТР» становить: 1080грн з ПДВ [14]. Вартість клемних затискачів на струм до 160А виробництва ТОВ «PROMFACTOR» становить: 366грн з ПДВ [14].

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів наведений в таблиці 5.2. При складанні кошторису враховувалось, що транспортні витрати складатимуть 7% від вартості обладнання, а вартість монтажних робіт 10 % від вартості обладнання з транспортними витратами для базового варіанту, і 50% -- для нового варіанту. Така різниця у вартості монтажних робіт обумовлена необхідністю збирання пристрою в корпусі з встановленням стаціонарних трансформаторів струму, приєднанням силових проводів, розключенням кіл керування тощо.

## Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	нова
1	Реєстратор / Аналізатор	1		72800,0	16870,0
2	Трансформатори струму	4	1080	0,0	4320,0
3	Клемний затискач 8р на струму 160А	8	366	0,0	2928,0
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)			0,0	1687,0
5	Вартість обладнання			72800,0	25805,0
6	Транспортні витрати (7%)			5096,0	1806,4
7	Вартість всього			77896,0	27611,4
8	Монтажні роботи (10%)			7789,6	13805,7
9	Капітальні вкладення всього			85685,6	41417,0

З таблиці видно, що капіталовкладення для базового варіанту реалізації становлять  $K_b = 85685,6$  грн, а для нового –  $K_n = 41417,0$  грн.

## 5.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати

Припустимо, що пристрій реєстрації встановлюється і експлуатується одним слюсарем-електромонтером 3-го розряду, а його налаштування та здіймання даних, аналіз цих даних – інженером 13 -го розряду.

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Тарифну ставку 1-го розряду  $ТС_1$  приймемо рівною 8000 грн/міс. Тарифна ставка кожного працівника буде розраховуватись за формулою:

$$TC = K \cdot TC_1 \quad (5.4)$$

де  $K$  – тарифний коефіцієнт.

Тарифний коефіцієнт електромонтера 3-го розряду дорівнює: 1,18 ( $K_e = 1,18$ ); тарифний коефіцієнт інженера 13-го розряду – 2,27 ( $K_i = 2,27$ ) [16].

Отримаємо:

$$TC_m = 1,18 \cdot 8000 = 9440 \text{ (грн/міс);}$$

$$TC_i = 2,27 \cdot 8000 = 18160 \text{ (грн/міс).}$$

Річна заробітна плата кожного працівника складає:

$$Z_p = TC \cdot 12, \quad (5.5)$$

$$Z_{p,m} = 12 \cdot 9440 = 113280 \text{ (грн);}$$

$$Z_{p,i} = 12 \cdot 18160 = 217920 \text{ (грн).}$$

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$P_n = \frac{Z_p \cdot H_n}{100}, \quad (5.6)$$

де  $H_n$  – надбавка за професійну діяльність ( $H_n = 10\%$ ).

Отримаємо:

$$P_{n,m} = \frac{113280 \cdot 10}{100} = 11328 \text{ (грн);}$$

$$P_{n,i} = \frac{217920 \cdot 10}{100} = 21792 \text{ (грн).}$$

Всього заробітна плата складає:

$$Z_n = Z_p + P_n; \quad (5.7)$$

$$З_{п.м} = 113280 + 11328 = 124608 \text{ (грн);}$$

$$З_{п.і} = 217920 + 21792 = 239712 \text{ (грн).}$$

Оплата премії працівнику (при коефіцієнті премії  $K_p = 15\%$ );

$$П_{пр} = \frac{З_p \cdot K_p}{100}, \quad (5.8)$$

$$П_{пр.м} = 0,15 \cdot 124608 = 18691 \text{ (грн);}$$

$$П_{пр.і} = 0,15 \cdot 239712 = 35957 \text{ (грн).}$$

Всього повна заробітна плата за рік складає :

$$З_{пов} = З_p + П_{пр}; \quad (5.9)$$

$$З_{пов.м} = 124608 + 18691 = 143299 \text{ (грн);}$$

$$З_{пов.і} = 239712 + 35957 = 275669 \text{ (грн).}$$

Загальний фонд оплати праці складе:

$$\Phi = З_{пов.м} + З_{пов.і}; \quad (5.10)$$

$$\Phi = 143299 + 275669 = 418968 \text{ (грн).}$$

### 5.3 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати в більшій мірі визначаються вартістю електричної енергії, яка реєструється технічною системою. Знайдемо вартість електроенергії виходячи з повної завантаженості споживача, який працює 8 годин на добу протягом усього року.

Вартість зареєстрованої електроенергії за рік буде становити:

$$C_D = \Delta W_{\Sigma} \cdot c, \quad (5.11)$$

де  $\Delta W_{\Sigma_{дв}}$  – сумарна енергія, яку буде споживати електромеханічна система при роботі з певним коефіцієнтом завантаженості за рік, (кВт·год)/рік;  
 $c$  – вартість однієї кіловатгодини енергії (прийmemo рівним  $c = 10$  грн/(кВт·год)).

Загальна кількість електроенергії протягом роботи за рік визначається за формулою:

$$\Delta W_{\Sigma_{дв}} = (P_{ном} + \Delta P_{ном}) \cdot k_3 \cdot \Phi_{д} \quad (5.12)$$

де  $P_{ном}$  – споживана потужність в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{ном}$  – втрати вимірної електроенергії через похибку вимірювань;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження за потужністю (прийmemo рівним 0,5);

$\Phi_{д}$  – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати вимірної електроенергії в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{ном} = P_{ном} \cdot \frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}}, \quad (5.13)$$

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність споживача;

$\eta_{ном}$  – номінальний ККД вимірювальної системи.

Під час розрахунку експлуатаційних затрат базового і нового варіантів будемо опертувати точністю вимірювання. Згідно паспортних даних обраних реєстраторів [6, 11] точність вимірювань базового варіанту становить 0,2, а точність вимірювання нового варіанту системи – 0,5. Тому ефективність роботи базового варіанту прийmemo рівною 0,98, а базового – 0,95. Таким чином, отримаємо наступні значення потужності втрат базового і нового варіанту системи:

$$\Delta P_{\text{ном.б}} = 50 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 1,02 \text{ (кВт)}, \quad (5.14)$$

$$\Delta P_{\text{ном.н}} = 50 \cdot \frac{1 - 0,95}{0,95} = 2,63 \text{ (кВт)}. \quad (5.15)$$

Дійсний фонд часу роботи електромеханічної системи за рік:

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{ТВ_{\text{факт}\%}}{100} \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (5.16)$$

де  $ТВ_{\text{факт}\%}$  – фактична тривалість ввімкнення (припустимо, що  $ТВ_{\text{факт}\%} = 100\%$ );

$Z_{\text{р.д.}}$  – кількість робочих днів за рік ( $Z_{\text{р.д.}} = 250$  днів);

$Z_{\text{р.з.}}$  – кількість робочих змін ( $Z_{\text{р.з.}} = 1$ );

$t_{\text{р.з.}}$  – тривалість робочої зміни ( $t_{\text{р.з.}} = 8$  год),

$$\Phi_{\text{д}} = 250 \cdot 1 \cdot 8 = 2000 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарна кількість електроенергії для базового та нового варіанту дорівнюватимуть:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв.б}} = (50 + 1,02) \cdot 0,5 \cdot 2000 = 51020 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)};$$

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв.н}} = (50 + 2,63) \cdot 0,5 \cdot 2000 = 52632 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Затрати на електроенергію для базового і нового варіантів електропривода:

$$З_{\text{вт.б}} = 51020,4 \cdot 10 = 510204 \text{ (грн)},$$

$$З_{\text{вт.н}} = 52631,6 \cdot 10 = 526316 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$Z_a = K \cdot A, \quad (5.17)$$

де  $A$  – норма амортизації основних засобів ( $A = 10\%$ ).

Отримаємо:

$$Z_{аб} = 85685,6 \cdot 0,1 = 8569 \text{ (грн/рік)},$$

$$Z_{ан} = 41417 \cdot 0,1 = 4142 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування технічної системи приймаємо рівними 2,5% для обох варіантів реалізації. Отримаємо:

$$Z_{рб} = 85685,6 \cdot 0,025 = 2142 \text{ (грн/рік)}.;$$

$$Z_{рн} = 285157,6 \cdot 0,025 = 1035 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на допоміжні матеріали для обох варіантів – 13% від фонду оплати праці:

$$Z_{мб} = 0,13 \cdot \Phi; \quad (5.18)$$

$$Z_{мб} = 0,13 \cdot 418968 = 54466 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{мн} = 0,13 \cdot 418968 = 54466 \text{ (грн/рік)}.$$

Річні експлуатаційні затрати разом:

$$Z_e = Z_{вт} + Z_a + Z_p + Z_m + \Phi, \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned} Z_{еб} &= 510204 + 8569 + 2142 + 54466 + 418968 = \\ &= 994349 \text{ (грн/рік)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{ен} &= 526316 + 4142 + 1035 + 54466 + 418968 = \\ &= 1004927 \text{ (грн/рік)}. \end{aligned}$$

## 5.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$Z_{\text{ЕФ}} = Z_{\text{ЕБ}} - Z_{\text{ЕН}}, \quad (5.20)$$

$$Z_{\text{ЕФ}} = 994349 - 1004927 = -10578 \text{ (.грн).}$$

Оскільки ефективність запропонованого рішення від'ємна, то це означає, що воно не кращим ніж базовий варіант з точки зору експлуатаційних показників. З цим можна погодитися, виходячи з того, що базовий варіант рішення має кращу точність реєстрації параметрів мережі, а відповідно і кращу ефективність. Більше того, слід зазначити, що запропоноване у роботі рішення є пропозицією бюджетної лінійки пристроїв, а порівняння його виконувалося з флагманом професійної лінійки пристроїв. Проте дане рішення є економічно виправданим з точки зору порівняння капітальних затрат на його реалізацію. Якщо врахувати обсяг капітальних затрат, то можна оцінити термін, за який запропоноване рішення зрівняється у загальних матеріальних вкладеннях з базовим варіантом. Назвемо цей цю тривалість «терміном зрівняння».

Розрахуємо термін зрівняння за формулою терміну окупності обладнання при позитивній ефективності:

$$T_{\text{ЗР}} = \frac{K_{\text{Н}} - K_{\text{Б}}}{Z_{\text{ЕФ}}}, \quad (5.21)$$

$$T_{\text{ЗР}} = \frac{41417 - 85686}{-10578} = 4,18 \text{ (роки).}$$

Така тривалість вказує на те, що через 4,18 років запропонований у роботі пристрій зрівняється у загальних матеріальних затратах на його реалізацію та експлуатацію з базовим варіантом. Цей термін є значним і слід

взяти до уваги, що він розрахований, виходячи з того, що запропонована система буде працювати цілий рік протягом однієї зміни з тривалістю увімкнення 100%. В реальності реєстрація даних відбуватиметься періодично протягом дня-тижня часу, тому тривалість її зрівняння у загальних матеріальних затратах буде ще більшою. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване у роботі рішення до побудови систем моніторингу параметрів електричної мережі дозволяє отримати задовільні параметри якості вимірювань за менші кошти капітальних затрат. Різниця у реалізації такої системи порівняно з відомими закордонними аналогами становить:

$$\Delta K = K_B - K_H, \quad (5.22)$$

$$\Delta K = 85686 - 41417 = 44269 \text{ (грн/рік)}. \quad (5.23)$$

Річний економічний ефект в такому випадку буде позитивним:

$$EE = (Z_{EB} - Z_{EH}) - E_H \cdot (K_H - K_B), \quad (5.24)$$

$$\begin{aligned} EE &= (994349 - 1004927) - 0,2 \cdot (41417 - 85686) = \\ &= 19432 \text{ (грн)}. \end{aligned}$$

Тобто кожен рік до вичерпання терміну зрівняння може давати ефект  $EE$ , якщо замість базового варіанту реалізації системи реєстрації та моніторингу встановити новий, який і розробляється у цій роботі.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці та цивільного захисту під час дослідження мікропроцесорної системи моніторингу параметрів електропостачання електромеханічної системи автоматизації. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що виконує дослідження визначені за Гігієнічною класифікацією [17--21].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо). Хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (органічний пил). Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

### **6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта**

#### **6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць**

Живлення системи електропостачання та системи освітлення виробничого приміщення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму, відповідно до нормативної документації залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою ІІІ; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

### **6.1.2 Електробезпека**

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [19--20]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги; електрозахисні засоби захисту (до 1000В) поділяються на основні (ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірвальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками) та допоміжні (діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки).

## **6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії**

### **6.2.1 Мікроклімат**

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [21] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату передбачено: температури внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; ля забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

## 6.2.2 Склад повітря робочої зони

Якість повітря за ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, у першу чергу, залежить від наявності, рівня небезпечності та кількості шкідливих речовин. Шкідливі речовини можуть потрапляти до організму людини інгаляційними та іншими шляхами надходження (пероральний, шкірно-резорбтивний).

Вміст шкідливих речовин у повітрі промислових і цивільних приміщень не повинен, згідно з [21], перебільшувати гранично допустимих концентрацій (ГДК п.рз) – максимально разових робочої зони (ГДК мр.рз) та середньо змінних робочої зони (ГДК сз.рз).

Таблиця 6.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню від нього. Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше,
- щодня протирати гарячі поверхні.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [20] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 6.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т.ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	4	2,4

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

#### 6.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [21]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з								
							2	4	8
Постійні робочі місця в промисло	07	5	7	2	8	5	3	1	9

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

### 6.2.5 Виробнича вібрація

У нашому виробничому приміщенні присутня вібрація типу – За [21]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, транспортери, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	$Z_0, Y_0, X_0$	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

### 6.2.6 Виробничі випромінювання

Відео монітор є джерелом випромінювання кількох діапазонів електромагнітного спектра. Реальна інтенсивність кожного діапазону, частота та інші параметри залежать від технічної конструкції конкретного термінала, екранування та інших факторів.

Види випромінювань, часова залежність яких не може бути описана за допомогою простої синусоїдальної функції (однієї визначеної частоти), породжують “гармоніки” з більш високими частотами та більш низькими амплітудами. Більшість діапазонів значною мірою залежить від режимів роботи відео монітора.

## 6.2.7 Психофізіологічні фактори

Робота електротехнічного персоналу є достатньо складною і потребує різних навичок та характеристик працюючого, тому і впливи від робіт різні і визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [17].

Важкість праці визначається за дод. 15 [17], звідки видно, що даний вид робіт за показниками важкості умов праці характеризується як допустимі умови праці:

- енергозатрати організму: при регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) – до 7800;

- загальні енергозатрати організму, Вт – до 290;

- робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної);

- нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: 51-100;

Напруженість праці визначається за дод. 16 [17], робота відноситься до інтелектуальної, і має наступні характеристики:

- зміст роботи: відсутня необхідність прийняття рішення;

- сенсорні навантаження : 51-75;

- розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни: 5,0-1,1 мм більше 50% часу;

- тривалість робочого дня, год. – 8 годин;

- змінність роботи - однозмінна робота (без нічної зміни).

Дані характеристики вказуються на те, що за напруженістю робота інженера-проектувальника (цивільне будівництво), який здійснює чисельне моделювання перерозподілу зусиль між елементами кущового пальового

фундаменту в залежності від кількості паль відноситься до другого класу з допустимими умовами напруженості праці (напруженість праці середнього ступеня).

### **6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Загрозливі чинники надзвичайних ситуацій, можна поділити на:

- природні;
- техногенні.

До природних чинників відносять усі загрозливі чинники, які викликані природними явищами, як наприклад: землетрус; повінь; різкий приморозок; ожеледиця, тощо. На теренах України, найбільш шкідливими природними загрозливими чинниками є повінь, ожеледиця та перепади температури. Через низьку активність сходження земельних плит, тобто землетрусів, проведення розрахунку стійкості в випадку цього загрозливого чинника є недоцільним.

Техногенні чинники – це загрозливі чинники надзвичайних ситуацій, створенні руками людей та цивілізації в цілому. До них можна віднести: хімічні загрози; ядерні загрози, або загроза іонізуючих випромінювань; загрози пов'язані з військовими діями. На території Вінницької області, а саме біля місця розташування лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини, не знаходяться хімічні виробництва, які б могли завдати шкоди, як обладнанню, так і персоналу для обслуговування.

Загроза іонізуючого випромінювання, особливо, в умовах військових дій на території України, залишається великою. Тому потрібно поррахувати стійкість роботи лабораторного стенда при цьому загрозливому чиннику.

Також, для Вінниці, найбільш імовірними пошкодженнями від військової дії, за винятком прямого влучання, є і буде, загроза застосування електромагнітного імпульсу (ЕМІ), у вигляді гуманної зброї. Оскільки, ця загроза залишається постійною та є найбільш вірогідною, то потрібно розрахувати стійкість ще й при застосуванні ЕМІ.

### 6.3.1 Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії іонізуючих випромінювань

Для дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії іонізуючих випромінювань, користуються поняттям допустима доза радіації,  $D_{\text{доп}}(P)$ , або поняттям граничного рівня радіації,  $P_{\text{гр}}(P/\text{год})$ , при яких система буде працювати стабільно.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні допустимі дози опромінення,  $D_{\text{гр}}$ , має кожен елемент системи. Дані граничних доз опромінення кожного елемента наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Граничні значення експозиційних доз лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини

Елементи блоків		$D_{\text{гр},i}, P$	$D_{\text{гр}}, P$
БЖ	Випрямлячі	$10^6$	$10^6$
	Конденсатори	$10^7$	
	Резистори	$10^8$	
БК	Мікросхема	$10^3$	$10^3$
	АЦП	$10^4$	
	Транзистори	$10^4$	
	Кварцовий генератор	$10^{10}$	

Граничне значення стійкості системи, визначається по мінімальному значенню допустимої дози в елементній базі. Проаналізувавши таблицю 8.1, можна зробити висновок, що самою уразливою ланкою в системі, є блок керування, з мінімальною допустимою дозу  $D_{гр} = 10^3 (P)$ .

Можлива доза опромінення визначається за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{п}})}{k_{осл}}, \quad (6.1)$$

де  $P_1$  - задана доза опромінення ( $P_1 = 4,04 P/\text{год}$ );

$t_k$  - мінімальний час наробітки елементів системи на відказ ( $t_k = 2 \cdot 355 \cdot 24 = 17040 \text{ год.}$ );

$t_{п}$  - час з початку опромінення ( $t_{п} = 1 \text{ год.}$ );

$k_{осл}$  - коефіцієнт ослаблення радіації деякими умовами ( $k_{осл} = 2$ ).

Отримаємо

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,04 \cdot (\sqrt{17040} - \sqrt{1})}{2} = 526,871 (P).$$

Порівнюючи, значення з мінімально допустимою дозою, виходить:

$$D_m < D_{гр} \quad (526,871 < 10^3).$$

Отже, можна зробити висновок, що мікропроцесорна система моніторингу параметрів мережі живлення електромеханічної системи автоматизації, є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання, та не потребує додаткових заходів по підвищенню стійкості.

### 6.3.2 Дослідження стійкості роботи мікропроцесорної системи

Для оцінки впливу дії електромагнітного імпульсу, потрібно брати до уваги, що ЕМІ має горизонтальну і вертикальну складові напруженості електричного поля, що означає, що потрібно визначати значення напруги, як по горизонтальній так і по вертикальній ділянках ліній.

Оскільки, живлення двигуна виконується від мережі 0,4кВ, а також, з урахуванням того, що усі елементи пристрою знаходяться в сталевій коробці товщиною 1 мм, то перед обрахунком коефіцієнтів безпеки, потрібно порахувати яке додаткове випромінювання від ЕМІ, витримає пристрій. Визначимо коефіцієнт погашення, за формулою:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, \quad (6.2)$$

де  $f$  – частота ЕМІ ( $f=15000$  Гц);

$t$  – товщина захисного екрану в сантиметрах ( $t=0,3$ ).

Отримаємо:

$$A = 5,2 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{15000} = 191,06 \text{ (дБ)}.$$

Отже, до розрахованих даних, потрібно буде додати ще значення 191,06 дБ.

Напруга, по горизонтальній струмопровідній частині визначається:

$$U_r = E_b \cdot l_r, \quad (6.3)$$

де  $E_b$  - напруженість електромагнітного імпульсу ( $E_b = 10,21$  кВ/м);

$l_r$  - довжина горизонтальної струмопровідної частини ( $l_r = 2$  м).

Отримаємо:

$$U_r = 10,21 \cdot 2 = 20,42 \text{ (кВ)}.$$

Напругу по вертикальній струмопровідній частині, можна визначити:

$$U_B = \frac{E_B \cdot l_B}{1000}, \quad (6.4)$$

де  $l_B$  - довжина вертикальної струмопровідної частини ( $l_B = 2 \text{ м}$ ).

Отримаємо:

$$U_B = \frac{10,21 \cdot 2}{1000} = 20,42 \text{ (В)}.$$

Допустиме коливання мережі:

$$U_{\text{доп}} = U_M + \frac{U_M}{100} \cdot N, \quad (6.5)$$

де  $U_M$  - напруга мережі;

$N$  – допустиме відхилення мережі в відсотках ( $N = 5\%$ ).

$$U_{\text{доп}} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231.$$

Визначимо коефіцієнт безпеки, за наступною формулою:

$$K_B = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\text{ЕМІ}}} \right), \quad (6.6)$$

Для кола живлення лабораторного стенда, по горизонтальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{231}{20420}\right) = -38,929 \text{ (дБ)}.$$

А по вертикальній струмопровідній лінії:

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{231}{20,42}\right) = 21,071 \text{ (дБ)}.$$

Знайдемо коефіцієнт безпеки, відповідно до розрахованого додаткового захисту елементів пристрою.

$$K_{\text{БГ}} = 191,06 + (-38,929) = 152,131 \text{ (дБ)}$$

$$K_{\text{БВ}} = 191,06 + (21,071) = 212,131 \text{ (дБ)}$$

Отримані результати занесемо в таблицю 6.7.

Таблиця 6.7 – Результати обчислення стійкості роботи електричного приводу змінного струму в умовах дії ЕМІ

Напруга мережі	$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{В}}$	$K_{\text{БГ}}$	$K_{\text{БВ}}$	Стійкість
Електромережа, 400 В	2	2	152,1	212,1	Стійка

Отже, мікропроцесорний пристрій стійким при ЕМІ. Єдиною вразливою ланкою в цьому стенді є провідники, від розетки до лабораторного стенду. В самому лабораторному стенді передбачений захист від КЗ та температурних перевищень, в вигляді двох автоматичних показників і контакторів, тому загрози перегоранню приладів в середині лабораторного стенду неможливе.

## ВИСНОВКИ

Отримав подальший розвиток підхід до реєстрації електричної мережі, який на відміну від відомих дозволить виконувати збір інформації про такі важливі параметри електромеханічної системи, як температура та механічний потужність, що дозволяє прискорити процес встановлення аномальних параметрів живлення і досягти підвищення рівня надійності роботи обладнання.

Розроблений підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, доповнений функцією оцінки ККД, являє собою ефективний інструмент підвищення надійності та енергоефективності електромеханічних систем. Перехід від тотального запису до моніторингу, заснованого на подіях, у поєднанні з діагностикою ефективності, дозволяє промисловим підприємствам оптимізувати свої експлуатаційні витрати та реалізувати сучасні стратегії керування активами на основі фактичного технічного стану.

Розроблено пристрій моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволяє виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшого аналізу та обробки результатів вимірювання. Це дозволяє виявляти ділянки роботи споживача з перевантаженням або недопустимими параметрами живлення.

Розраховано абсолютну ефективність за експлуатаційними витратами, яка становить:  $Z_{\text{ЕФ}} = -10578$  (грн). Оскільки ефективність запропонованого рішення від'ємна, то це означає, що запропонований пристрій не є кращим ніж базовий варіант з точки зору експлуатаційних показників. З цим можна погодитися, виходячи з того, що базовий варіант рішення має кращу точність реєстрації параметрів мережі, а відповідно і кращу ефективність. Більше того, слід зазначити, що запропоноване у роботі рішення є пропозицією бюджетної лінійки пристроїв, а порівняння його виконувалося з флагманом професійної лінійки пристроїв. Проте дане рішення є економічно виправданим з точки зору порівняння капітальних затрат на його реалізацію.

Якщо врахувати обсяг капітальних затрат, то можна оцінити термін, за який запропоноване рішення зрівняється у загальних матеріальних вкладеннях з базовим варіантом.

Така тривалість вказує на те, що через 4,18 років запропонований у роботі пристрій зрівняється у загальних матеріальних затратах на його реалізацію та експлуатацію з базовим варіантом. Цей термін є значним і слід взяти до уваги, що він розрахований, виходячи з того, що запропонована система буде працювати цілий рік протягом однієї зміни з тривалістю увімкнення 100%. В реальності реєстрація даних відбуватиметься періодично протягом дня-тижня часу, тому тривалість її зрівняння у загальних матеріальних затратах буде ще більшою. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване у роботі рішення до побудови систем моніторингу параметрів електричної мережі дозволяє отримати задовільні параметри якості вимірювань за менші кошти капітальних затрат. Різниця у реалізації такої системи порівняно з відомими закордонними аналогами становить:  $\Delta K = 44269$  (грн/рік). Річний економічний ефект в такому випадку буде позитивним: 19432 (грн). Тобто кожен рік до вичерпання терміну зрівняння може давати ефект ЕЕ, якщо замість базового варіанту реалізації системи реєстрації та моніторингу встановити новий, який і розробляється у цій роботі.

Основні результати роботи прийнято до програми міжнародної конференції і очікується публікація тез доповідей: «Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 30804.2.25-2003 (МЕК 60050-161:1990). Електричні та електромагнітні явища. Терміни та визначення. – [Чинний від 2004-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 34 с.
2. IEEE Std 100-2000. The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms. – 7th ed. – New York : IEEE, 2000. – 1360 p.
3. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги в електричних мережах загального призначення [Текст]. – Чинний від 2015-07-01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 40 с.
4. IEC 61000-4-30:2021. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods [Text]. - 3rd ed. - Geneva: International Electrotechnical Commission, 2021. – 158 p.
5. ДСТУ ГОСТ 32144:2019 (ГОСТ 32144-2013, IDT). Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення [Текст]. - 2019. - 31 с.
6. Реєстратор електричних параметрів мікропроцесорний RPM-416: керівництво з експлуатації (паспорт). ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна. 68с. URL: [https://novatek-electro.com/media/brander\\_product\\_attachmentscustom/r/p/rpm-416\\_ua\\_p.pdf](https://novatek-electro.com/media/brander_product_attachmentscustom/r/p/rpm-416_ua_p.pdf).
7. Правила улаштування електроустановок. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України (Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476), Київ. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#n14>.
8. Кавецький В.В., Причепа І.В., Нікіфорова Л.О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2016. 137 с.

9. Яковлєв А.І. Методика визначення ефективності інвестицій, інновацій, господарських рішень в сучасних умовах. Вид. 2-е, переробл. і доп. Х: видво «Підручник НТУ «ХПШ», 2017. 100 с.

10. Полінкевич О. М., Волинець І. Г. Обґрунтування господарських рішень та оцінювання ризиків: навч. посіб. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 336 с.  
URL:

[http://www.esnuir.eenu.edu.ua/bitstream/123456789/15846/1/Polinkevych\\_Volynets\\_O GROR2018.pdf3](http://www.esnuir.eenu.edu.ua/bitstream/123456789/15846/1/Polinkevych_Volynets_O GROR2018.pdf3)

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

12. Сай компанії ТОВ «Промтехенерго». Товари та послуги. Олік електроенергії. Аналізатор якості електроенергії PM175. URL: <https://promteh.ua.market/product/2339521-analizator-yakosti-elektroenergiji.html> (дата звернення: 01.11.2025р).

13. Сай компанії ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО». Продукція > Реєстратори електричних процесів > Реєстратор електричних параметрів мікропроцесорний RPM-416. URL: [https://novatek-electro.com/ua/logger-rpm-416/?srsltid=AfmBOop5NO8ud\\_tSxR6fT5GtHgo32o2iCrrw-6-wIyJdqJlU1a5tltY](https://novatek-electro.com/ua/logger-rpm-416/?srsltid=AfmBOop5NO8ud_tSxR6fT5GtHgo32o2iCrrw-6-wIyJdqJlU1a5tltY) (дата звернення: 01.11.2025р).

14. Сай компанії ТОВ «МЕГАНОММЕТР». Продукція > Ціни. URL: <https://www.megommetr.com/%d1%86%d1%96%d0%bd%d0%b8/> (дата звернення: 01.11.2025р).

15. Сай компанії ТОВ «PROMFACTOR». Низьковольтне обладнання > Продукція > Вироби і матеріали для електромонтажу > Розподільчі клемні блоки DTB > Розподільчий клемний блок DTB160 160A (8 контактів). URL: <https://promfactor.com/product/dtb160> (дата звернення: 01.11.2025р).

16. Про впорядкування умов оплати праці та затвердження схем тарифних розрядів працівників навчальних закладів, установ освіти та

наукових установ. Міністерство освіти і науки України (Наказ від 26.09.2005 № 557, оновлення від 27.01.2025 № 100), Київ. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1130-05#Text>.

17. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073).

18. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

19. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

20. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

21. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

Додаток А  
(Обов'язковий)  
Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Завідувач кафедри КЕМСК  
к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ  
"21" 10 2025 р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ  
ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

08-24.МКР.008.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доцент

Микола МОШНОРИЗ

"21" 10 2025 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-24м

Олександр ОГОРОДНИК

"21" 10 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

## **1 Загальні відомості**

Повне найменування розробки – «МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ».

Скорочене найменування розробки – «Система моніторингу параметрів мережі».

Замовник – кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

## **2 Підстави для розробки**

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістрських кваліфікаційних робіт.

## **3 Призначення розробки і галузь використання**

Мікропроцесорна система моніторингу параметрів електромеханічних систем автоматизації призначена для запису даних про параметри мережі живлення та параметри технологічного процесу при потужності споживачів змінного струму до 50кВт. Галузь використання мікропроцесорної системи: легке і важке машинобудування, житлово-комунальне господарство, харчова промисловість, електровимірювальні лабораторії тощо.

## **4 Вимоги до розробки**

Система моніторингу параметрів мережі призначена для надійної роботи в тривалому режимі при коефіцієнті включення 100% та температурі до 120<sup>0</sup>С в умовах полегшеної дії кліматичних факторів при IP40 та нормальних перенапруженнях електромагнітного поля.

## **5 Комплектація розробки**

Система моніторингу параметрів мережі складається з мікропроцесорного пристрою реєстрації даних, вимірювальних трансформаторів струму та клемних затискачів, які встановлено в одному металевому корпусі.

## **6 Технічні характеристики**

Потужність електромеханічної системи – 50кВт; напруга живлення електромеханічної системи – АС400/230В; режим роботи: тривалий; тривалість увімкнення: 100%.

## **7 Джерела розробки**

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

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

3. Реєстратор електричних параметрів мікропроцесорний RPM-416: керівництво з експлуатації (паспорт). ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна. 68с. URL: [https://novatek-electro.com/media/brander\\_product\\_attachmentscustom/r/p/rpm-416\\_ua\\_p.pdf](https://novatek-electro.com/media/brander_product_attachmentscustom/r/p/rpm-416_ua_p.pdf).

4. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Секція "Електроенергетика та електромеханіка". 22 червня 2026 року, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця.

## **8 Елементна база**

Мікропроцесорний пристрій реєстрації даних виробництва ТОВ «Новатек-Електро», вимірювальні трансформатори струму виробництва ПП «Мегаомметр», клемні затискачі, металевий корпус, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

## **9 Конструктивне виконання**

Мікропроцесорна система моніторингу параметрів мережі призначена до встановлення в кліматичних умовах УХЛІ при ступеню захисту IP40 та у відповідності до вимог електробезпеки. Передбачена можливість заземлення усіх елементів системи, що можуть виявитися під напругою у випадку порушення ізоляції пристрою.

## **10 Показники технологічності**

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід відповідає правилам улаштування електроустановок.

## **11 Стадії і етапи розробки**

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	
Графічна частина	

## **12 Технічне обслуговування і ремонт**

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками та інженерами відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

## **13 Живлення гідротурбіни**

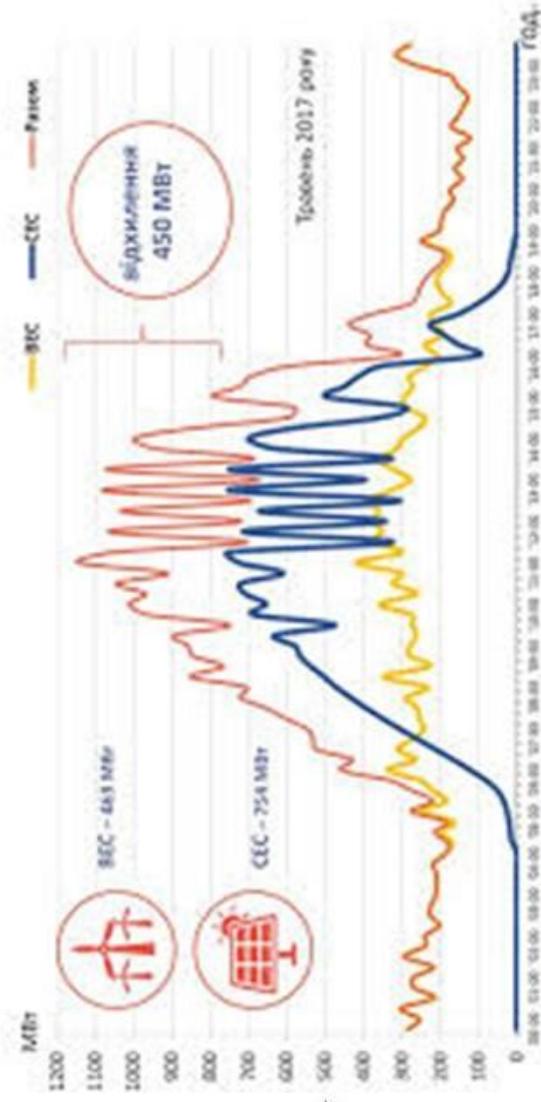
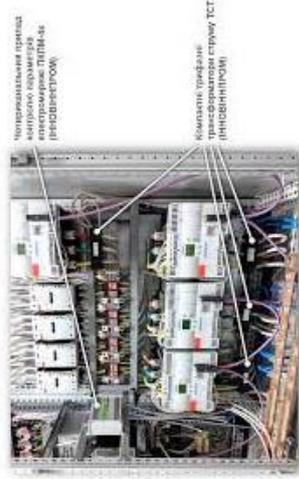
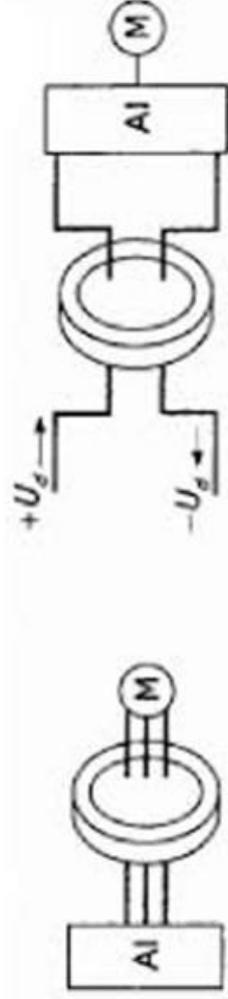
Живлення системи мікропроцесорно пристрою моніторингу виконано трифазною напругою 0,4 кВ частотою 50Гц.

## **Додаток Б**

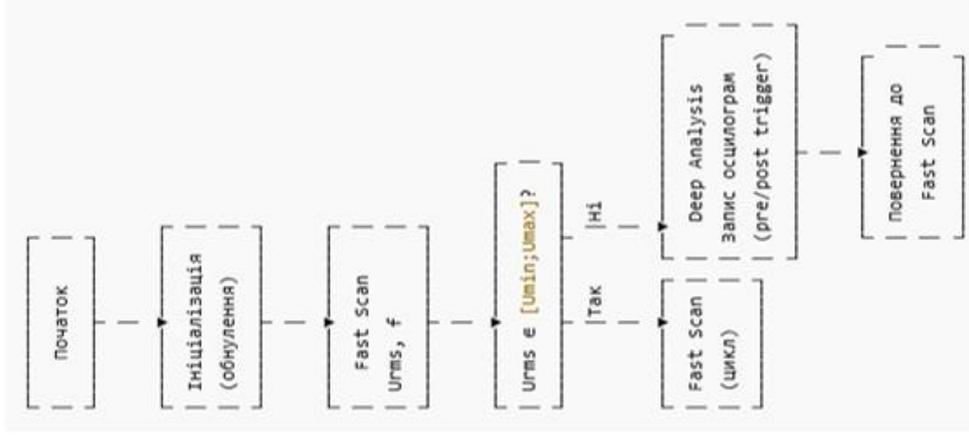
### **ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ**

**МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ  
ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

# МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ



## ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ



Для оцінки енергоефективності ЕМС використовується функція порівняння фактичної електричної та розрахункової механічної потужностей.

Фактична електрична потужність, споживана системою, обчислюється в режимі реального часу за вимірними значеннями напруги  $u(t)$  та струму  $i(t)$ :

$$P_{\text{ст}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$$

де  $T$  — період вимірювання (зазвичай 1 або декілька періодів основної частоти).

Механічна потужність, що видається обладнанням, визначається за допомогою додаткових сенсорів:

$$P_{\text{мех}} = M \cdot \omega$$

де:  $M$  — обертальний момент на валу, вимірюється тензOMETРИЧНИМИ датчиками або оцінюється за струмом жоря (для DC-машин) чи вектором струму (для AC-машин).

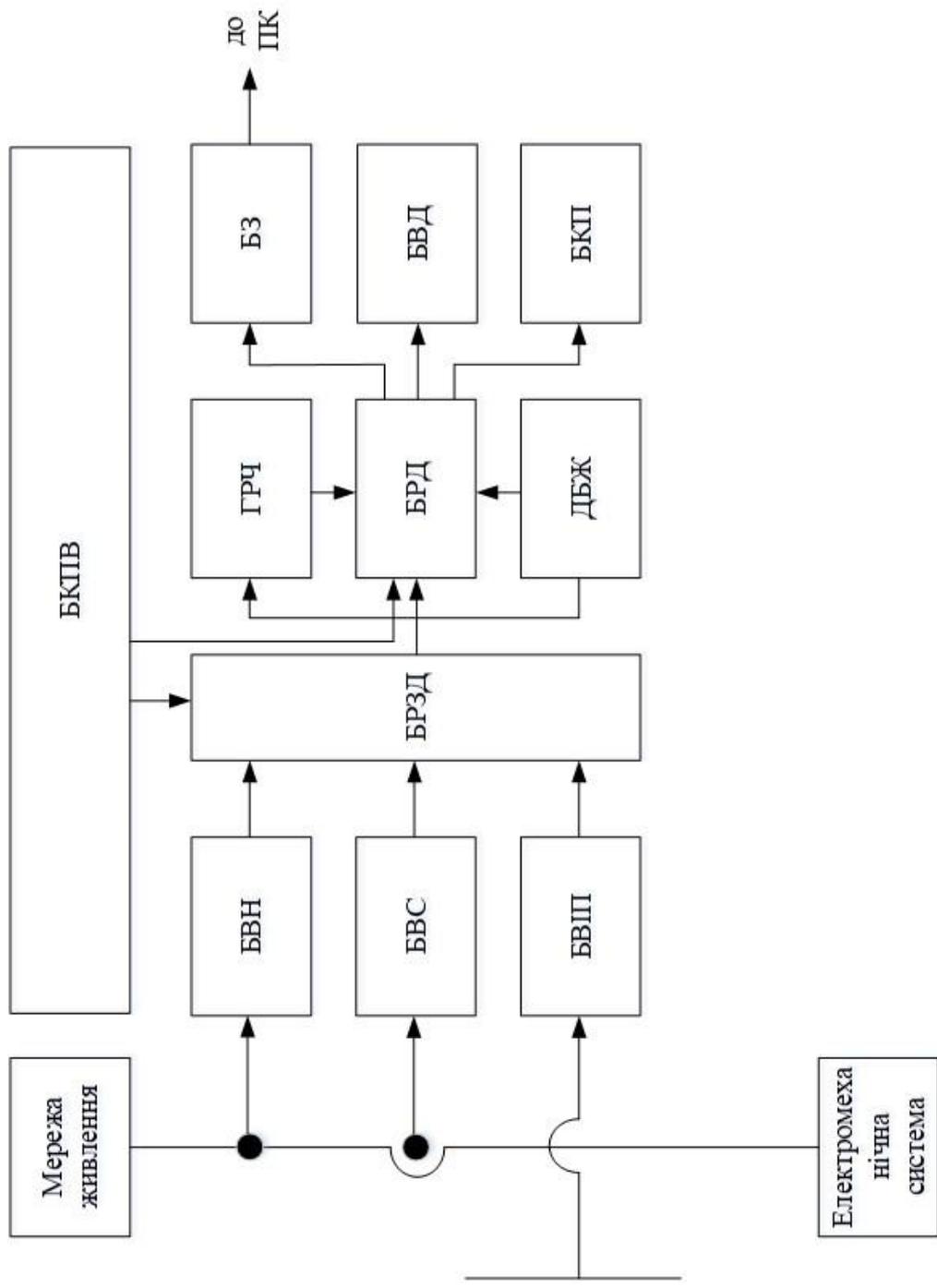
$\omega$  — кутова швидкість обертання валу, вимірюється енкадером або тахометром.

Коефіцієнт корисної дії системи ( $\eta$ ) обчислюється шляхом порівняння отриманих потужностей:

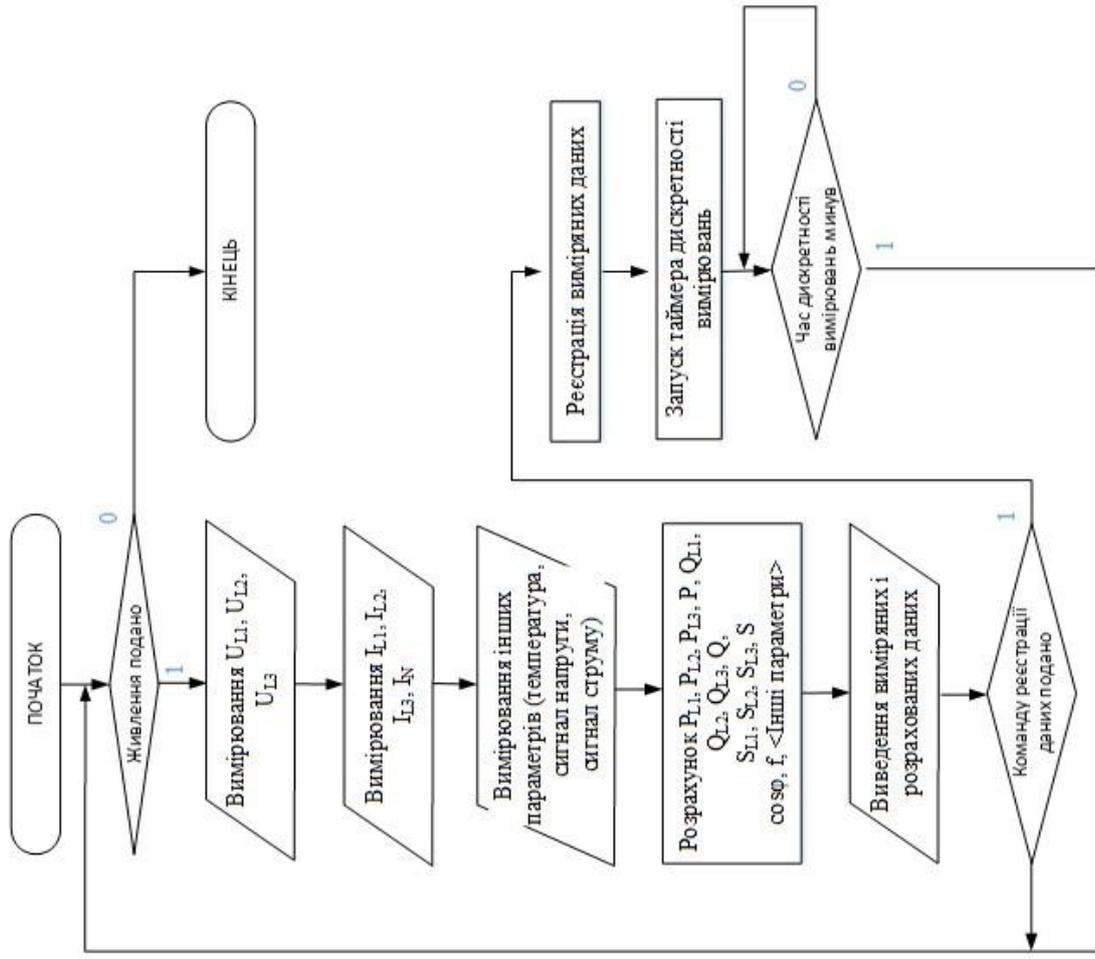
$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P_{\text{ст}}} \cdot 100\%$$

Підхід до моніторингу параметрів живлення

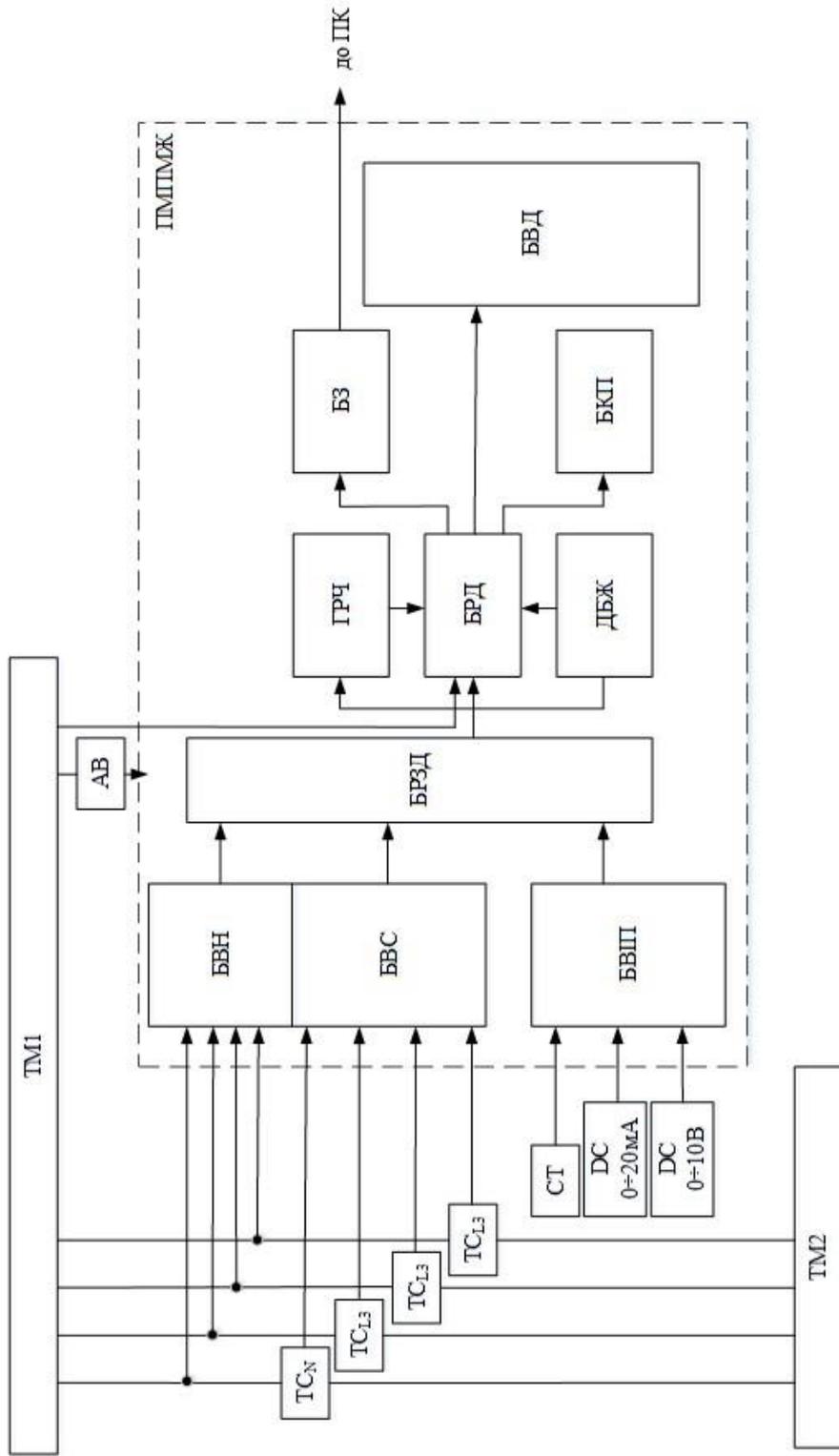
Функціональна схема мікропроцесорної системи моніторингу параметрів  
електричної мережі



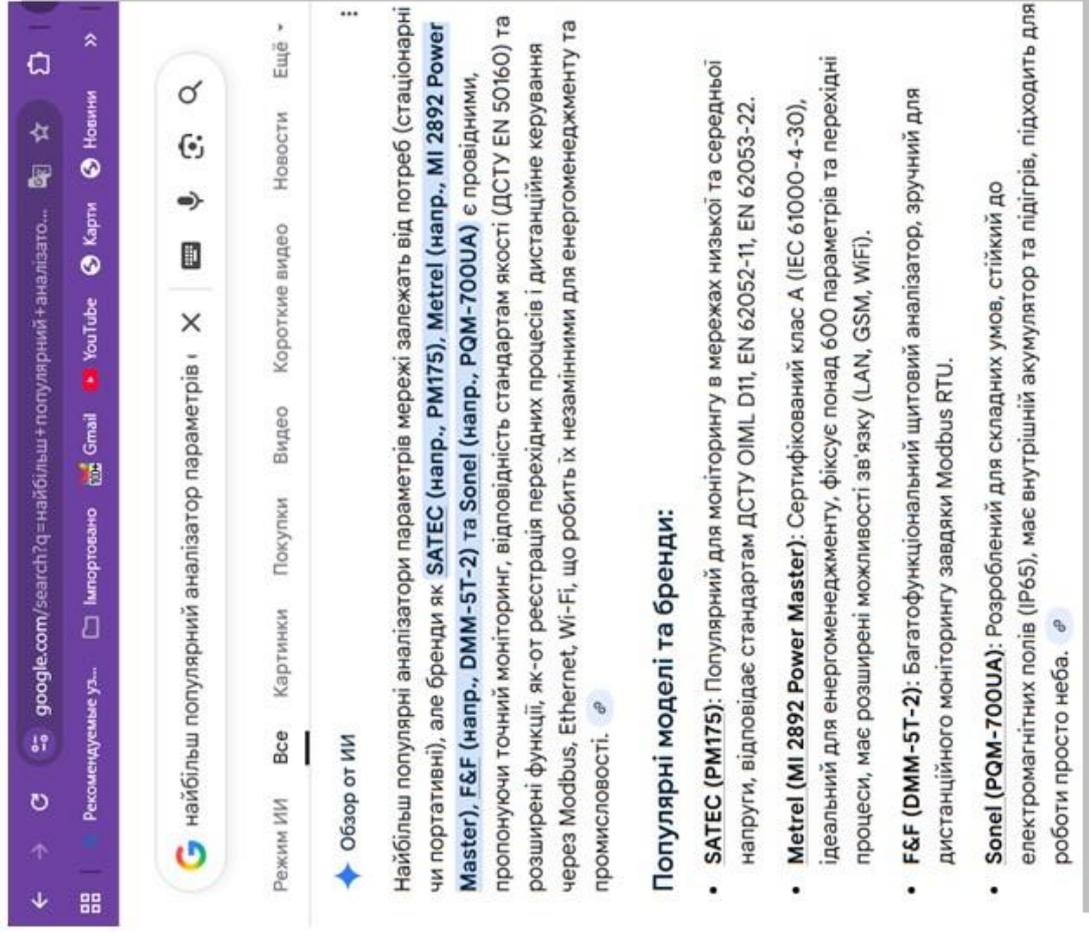
# Алгоритм роботи системи моніторингу



# Структурна схема системи моніторингу



## Вибір елементної бази для системи моніторингу



The screenshot shows a Google search result for the query "найбільш популярний аналізатор параметрів". The search results page includes a navigation bar with icons for home, search, and various services like Gmail, YouTube, and Maps. Below the search bar, there are tabs for "Режим ИИ", "Все", "Картинки", "Покупки", "Відео", "Короткие видео", "Новости", and "Ещё". The main content area features a blue diamond icon and the text "Обзор от ИИ". The search results text states: "Найбільш популярні аналізатори параметрів мережі залежать від потреб (стаціонарні чи портативні), але бренди як **SATEC (напр., PM175)**, **Metrel (напр., MI 2892 Power Master)**, **F&F (напр., DMM-5T-2)** та **Sonel (напр., PQM-700UA)** є провідними, пропонуючи точний моніторинг, відповідність стандартам якості (DСТU EN 50160) та розширені функції, як-от реєстрація перехідних процесів і дистанційне керування через Modbus, Ethernet, Wi-Fi, що робить їх незамінними для енергоменеджменту та промисловості."

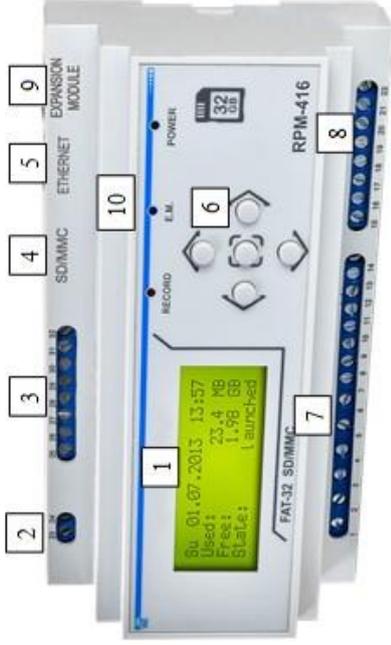
### Популярні моделі та бренди:

- **SATEC (PM175)**: Популярний для моніторингу в мережах низької та середньої напруги, відповідає стандартам DСТU OIML D11, EN 62052-11, EN 62053-22.
- **Metrel (MI 2892 Power Master)**: Сертифікований клас А (IEC 61000-4-30), ідеальний для енергоменеджменту, фіксує понад 600 параметрів та перехідні процеси, має розширені можливості зв'язку (LAN, GSM, WiFi).
- **F&F (DMM-5T-2)**: Багатофункціональний щитовий аналізатор, зручний для дистанційного моніторингу завдяки Modbus RTU.
- **Sonel (PQM-700UA)**: Розроблений для складних умов, стійкий до електромагнітних полів (IP65), має внутрішній акумулятор та підігрів, підходить для роботи просто неба.



Зовнішній вигляд аналізатора якості енергії SATEC PM175

## Вибір елементної бази для системи моніторингу



Параметри мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

Назва	Значення
Номинальна напруга живлення	230/240 V (~)
Напруга, при якій зберігається працездатність	24 – 265 V ~ / $\infty$
Частота мережі живлення	45 – 65 Hz
Споживана потужність (від джерела живлення)	$\leq 6.0$ W
Споживана потужність (від джерела живлення +2.4 V)	$\leq 2.2$ W
Період запису даних на карту пам'яті	0,001 – 3600 s
Зовнішній накопичувач (карта пам'яті)	SD(v1.0, v1.1) / SDHC, Class 4, 6, 10
Максимальна ємність зовнішнього накопичувача	32 GB
Підтримувані файлові системи зовнішнього накопичувача	12, 16, 32 FAT
Мінімальний розмір файлу даних	32 KB
Максимальний розмір файлу даних	512 MB
Розмір одного блоку записуваних даних (20 параметрів)	88 byte
Похибка ходу годинника, при температурі 25 °C	не гірше 1 s/day
Зв'язок з Ethernet або ПК	10Base-T / 100Base-T
Modbus TCP	€
Web-інтерфейс	€
FTP	€
Призначення виробу	Пристрої цифрової індикації
Номинальний режим роботи	Тривалий
Ступінь захисту виробу (корпус / клемник)	IP40 / IP20
Клас захисту від ураження електричним струмом	II
Кліматичне виконання	УХЛ 3.1
Допустима ступінь забруднення	II
Категорія перенапруги	II
Номинальна напруга ізоляції	450 V
Номинальна імпульсна витримувана напруга	2,5 kV
Переріз проводів для підключення до клем	0,2 – 2,5 mm <sup>2</sup>
Момент затягування гвинтів клем	0,4 N*m
Маса	$\leq 0,5$ kg
Габаритні розміри (рис. 1.1), Н*В*L	91x157x56,3 mm
Монтаж виробу – стандартна DIN-рейка	35 mm

Зовнішній вигляд мікропроцесорного реєстратора електричних параметрів RPM-416 ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

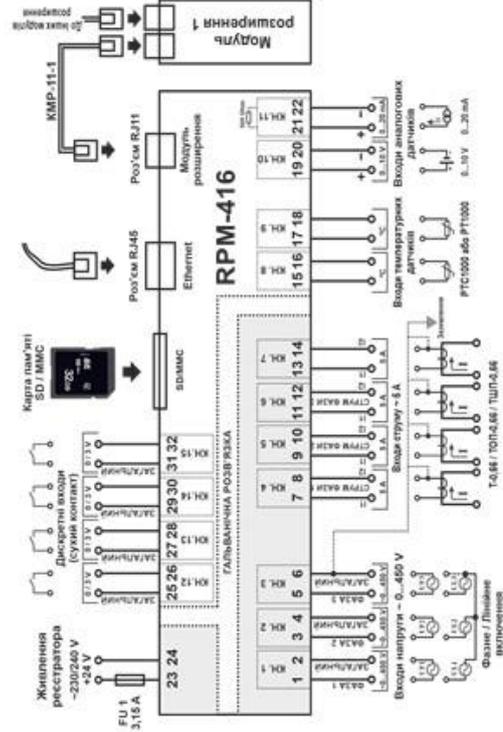


Схема електричних приєднань RPM-416

## Вибір елементної бази для системи моніторингу



Зовнішній вигляд перемикача ПГК-3ПЗН

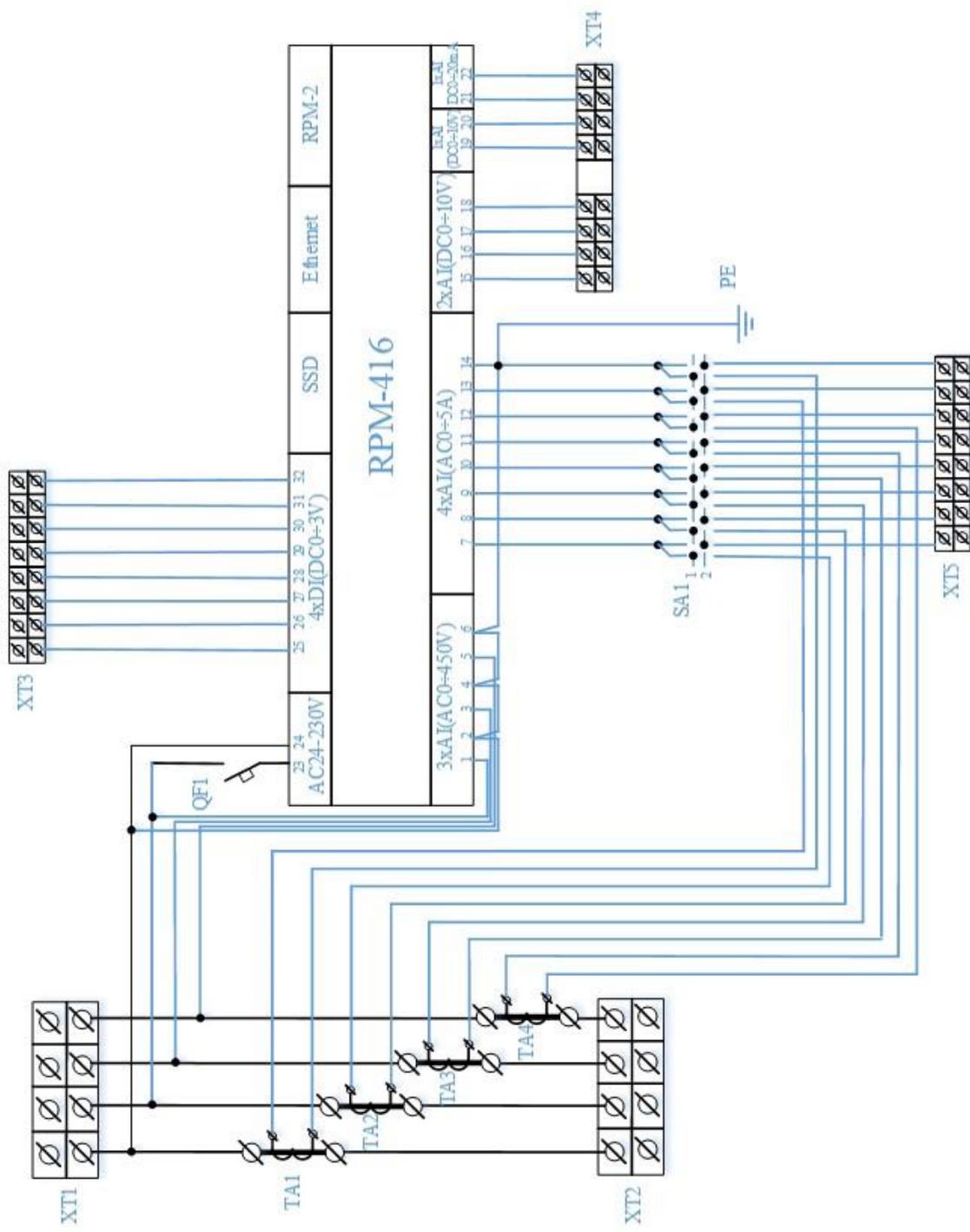


Зовнішній вигляд клемного запискача



Зовнішній вигляд трансформаторів струму фазних провідників

Електрична схема системи моніторингу



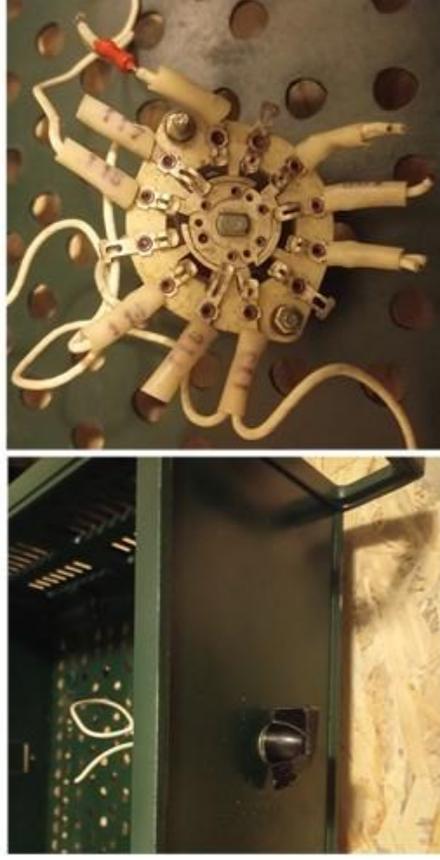
## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ



Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи моніторингу



Пристрій реєстрації параметрів мережі та автоматичний вимикач з приєднаннями провідниками

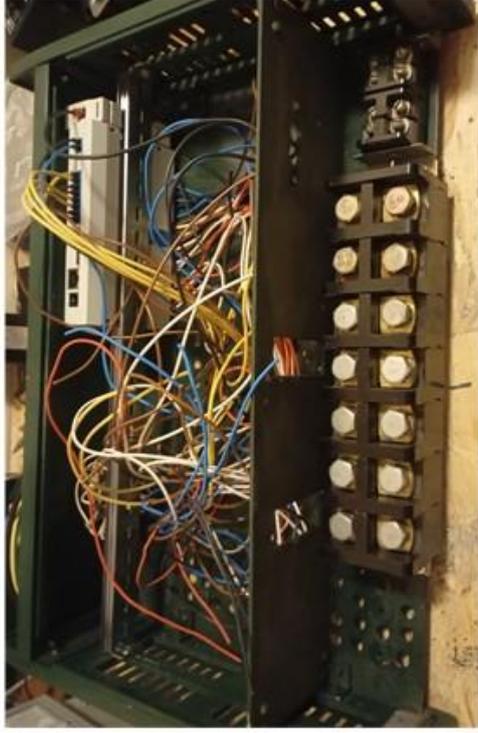


Встановлення перемикача трансформаторів струму

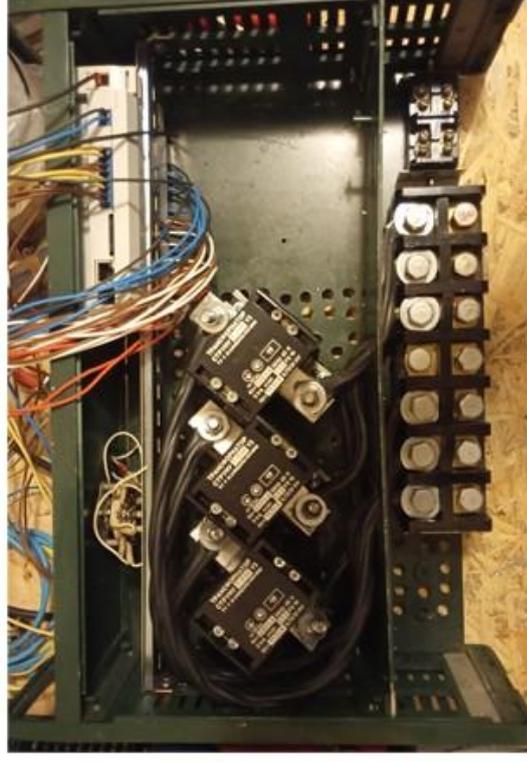


Пристрій RRM-416 та автоматичний вимикач (монтаж)

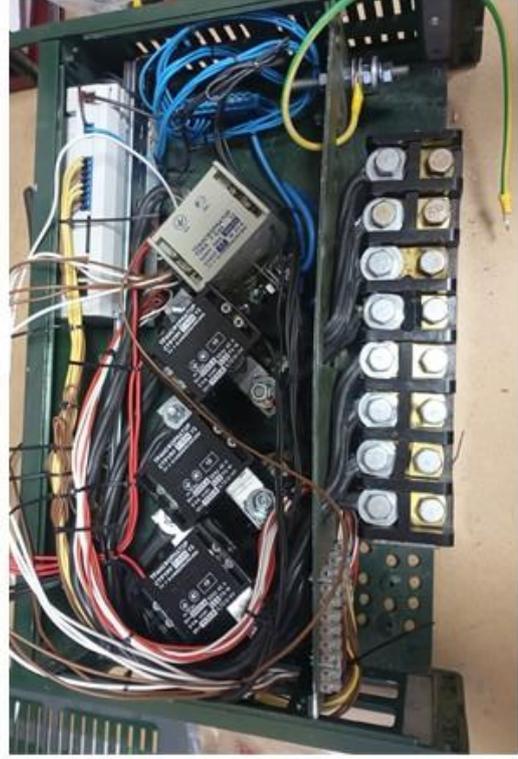
## ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ



Зовнішній вигляд монтажного корпусу зі встановленими клемними записками



Фотографія змонтованих трансформаторів струму та приєднаних до них провідників



Процес розключення пристрою моніторингу



овнішній вигляд зібраного пристрою системи моніторингу параметрів мережі

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ



## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Визначення кошторису виграл для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	нова
1	Реєстратор / Аналізатор	1		72800,0	16870,0
2	Трансформатори струму	4	1080	0,0	4320,0
3	Клемний запискач 8p на струму 160A	8	366	0,0	2928,0
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)			0,0	1687,0
5	Вартість обладнання			72800,0	25805,0
6	Транспортні витрати (7%)			5096,0	1806,4
7	Вартість всього			77896,0	27611,4
8	Монтажні роботи (10%)			7789,6	13805,7
9	Капітальні вкладення всього			85685,6	41417,0

З таблиці видно, що капіталовкладення для базового варіанту реалізації становлять  $K_6 = 85685$  грн, а для нового –  $K_n = 41417$  грн.

Розрахуємо термін зрівняння за формулою терміну окупності обладнання при позитивній ефективності:

$$T_{пр} = \frac{K_n - K_6}{3 \cdot E_0},$$

$$T_{пр} = \frac{41417 - 85686}{-10578} = 4,18 \text{ (роки)}.$$

Така тривалість вказує на те, що через 4,18 років запропонований у роботі пристрій зрівняється у загальних матеріальних затратах на його реалізацію та експлуатацію з базовим варіантом. Цей термін є значним і слід взяти до уваги, що він розрахований, виходячи з того, що запропонована система буде працювати цілий рік протягом однієї зміни з тривалістю увімкнення 100%. В реальності реєстрація даних відбуватиметься періодично протягом дня-тижня часу, тому тривалість її зрівняння у загальних матеріальних затратах буде ще більшою. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване у роботі рішення до побудови систем моніторингу параметрів електричної мережі дозволить отримати задовільні параметри якості вимірювань за менші кошти капітальних затрат. Різниця у реалізації такої системи порівняно з відомими закордонними аналогами становить:

$$\Delta K = K_6 - K_n;$$

$$\Delta K = 85686 - 41417 = 44269 \text{ (грн/рік)}.$$

Річний економічний ефект в такому випадку буде позитивним:

$$EE = (3 \cdot E_0 - 3 \cdot E_n) - E_n \cdot (K_n - K_6),$$

$$EE = (994349 - 1004927) - 0,2 \cdot (41417 - 85686) = 19432 \text{ (грн)}.$$

## ВИСНОВКИ

Отримав подальший розвиток підхід до реєстрації електричної мережі, який на відміну від відомих дозволить виконувати збір інформації про такі важливі параметри електромеханічної системи, як температура та механічний потужність, що дозволяє прискорити процес встановлення аномальних параметрів живлення і досягти підвищення рівня надійності роботи обладнання.

Розроблений підхід до моніторингу параметрів електричної мережі, доповнений функцією оцінки ККД, являє собою ефективний інструмент підвищення надійності та енергоефективності електромеханічних систем. Перехід від тотального запису до моніторингу, заснованого на подіях, у поєднанні з діагностикою ефективності, дозволяє промисловим підприємствам оптимізувати свої експлуатаційні витрати та реалізувати сучасні стратегії керування активами на основі фактичного технічного стану.

Розроблено пристрій моніторингу параметрів електричної мережі, який дозволяє виконувати збір інформації про всі важливі електричні параметри споживача з можливістю подальшого аналізу та обробки результатів вимірювання. Це дозволяє виявляти ділянки роботи споживача з перевантаженням або недопустимими параметрами живлення.

Основні результати роботи прийнято до програми міжнародної конференції і очікується публікація тез доповідей: «Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Секція "Електросенергетика та електромеханіка". Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця».

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Мікропроцесорна система моніторингу параметрів  
електричної мережі в електромеханічних системах автоматизації

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-24м

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 10,78 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП Проценко Д.П.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку [підпис]

Паянок О.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник [підпис]

(підпис)

Микола МОШНОРИЗ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач [підпис]

(підпис)

Олександр ОГОРОДНИК

(прізвище, ініціали)

					08-24.МКР.008.00.000		
					Мікропроцесорна система моніторингу параметрів електричної мережі в електромеханічних системах автоматизації		
					У		
					Аркуш		Аркушів
					ВНТУ, ЕПА-24м		
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив		Огородник Q					
Перевірив		Мошноріз М.М.					
Т. контр.							
Рецензент							
Н.контр.		Бомбик В. С.					
Затв.		Мошноріз М.					