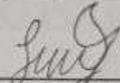


Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Магістерська кваліфікаційна робота на тему:

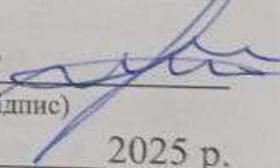
**«МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД
АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ»**

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

Ілля БРІГЛЕВИЧ 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«24» 11 2025 р.

Керівник к.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Микола МОШНОРІЗ 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«25» 11 2025 р.

Опонент доц. каф. ЕСС

Володимир Непредьбський 
(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

Брігілевичу Іллі Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” вересня 2025 року № 313

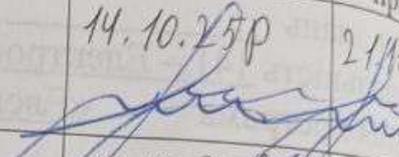
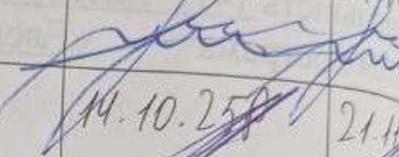
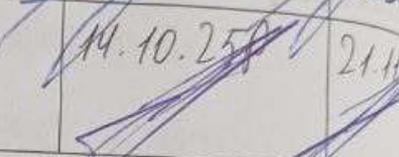
2. Строк подання студентом роботи 25.11.2025 р

3. Вихідні дані до роботи: Номінальна потужність електромеханічної системи – 30кВт; напруга живлення електромеханічної системи – АС400/230В; тривалість роботи – 2 зміни по 8 год. протягом 365 днів на рік; тривалість увімкнення – 100%; коефіцієнт завантаження – 0,5; коефіцієнт потужності електропривода – 0,96; коефіцієнт корисної дії електродвигуна змінного струму – 0,92.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальні відомості. Підхід. Розробка системи. Практична реалізація. Економічна частина. Охорона праці.

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

6. Консультанти розділів роботи

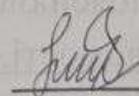
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Мошноріз М. М., к.т.н., доц. каф. КЕМСК	14.10.25р 	21.11.25р 
Економічна частина	Шулле Ю. А., к. т. н., доц. каф. ЕСЕЕМ	14.10.25р 	21.11.25р 

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістрської роботи	Строк виконання етапів роботи	Прийняв
1	Формування та затвердження теми магістрської дипломної роботи (МКР)	24.09.25р	
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	28.10.2025р	
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	21.11.2025р	
4	Виконання розділу «Економічна частина»	21.11.2025р	
5	Попередній захист МКР	25.11.2025р	
6	Нормоконтроль МКР	24.11.2025р	
7	Опонування МКР	19.12.2025р	
8	Захист МКР	24.12.2025р	

Студент

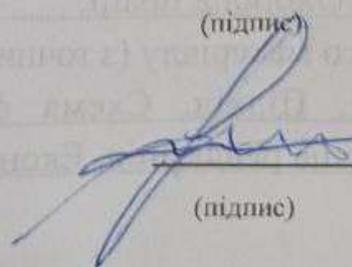


І. Ю. Бригілевич

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



М. М. Мошноріз

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.3

Брігілевич І. Ю. Мікропроцесорна система захисту електропривода від аварійних режимів роботи. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2025. 93 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв.; рис.: 23; табл. 11.

Отримав подальший розвиток підхід до реалізації систем захисту електромеханічних пристроїв перетворення енергії, який на відміну від відомих об'єднує в одному блоці живлення всі функції захисту електропривода, що дозволить підвищити надійність роботи електромеханічних систем.

Розроблено пристрій захисту електропривода від аварійних ситуацій, який на відміну від відомих, об'єднує в одному корпусі всі функції захисту електромеханічної системи, що дозволяє уніфікувати функцію захисту електропривода, полегшити його обслуговування і підвищити надійність роботи.

Ключові слова: електромеханічна система, захист, несиметрія живлення, мікропроцесорна система, замикання на землю, пробій ізоляції, електропривод, електричний двигун, ізоляція, коротке замикання.

THE SUMMARY

Brigilevich I. Yu. Microprocessor system for protecting an electric drive from emergency operating modes. Master's thesis in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 93 p.

In Ukrainian. Bibliography: 23 titles; Fig.: 23; Table. 11.

An approach to implementing protection systems for electromechanical energy conversion devices has been developed, which, unlike the known ones, combines all the functions of protecting an electric drive in one power supply unit, which will allow to increase the reliability of electromechanical systems.

A device for protecting an electric drive from emergency situations has been developed, which, unlike the known ones, combines all the functions of protecting an electromechanical system in one housing, which allows to unify the function of protecting an electric drive, facilitate its maintenance and increase the reliability of operation.

Keywords: electromechanical system, protection, power unbalance, microprocessor system, ground fault, insulation breakdown, electric drive, electric motor, insulation, short circuit.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАХИСТ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ	8
1.1 Класифікація та характеристика аварійних режимів роботи електроприводів	8
1.2 Вимоги до надійності живлення електромеханічних систем	9
1.3 Параметри живлення та їх вплив на роботу ЕМСА	11
1.4 Сучасні підходи до побудови систем захисту	11
2 ПІДХІД ДО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ	13
3 СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	17
3.1 Алгоритм роботи системи захисту	17
3.2 Структурна схема системи захисту	20
3.3 Вибір елементної бази системи захисту	23
3.3.1 Вибір мікропроцесорного пристрою захисту електродвигунів від аварійних режимів роботи	23
3.3.2 Розрахунок та вибір клемних затискачів	38
3.3.3 Розрахунок і вибір силового автоматичного вимикача	39
3.3.4 Розрахунок та вибір автоматичного вимикача захисту кіл керування пристрою захисту	41
3.3.5 Розрахунок і вибір вимірювальних трансформаторів струму	43
3.3.6 Розрахунок пристрою індикації наявності напруги	45
3.3.7 Розрахунок та вибір кабелів живлення пристрою захисту	46
3.4 Електрична схема системи захисту	48
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ	50
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59

5.1	Визначення капітальних вкладень	59
5.2	Розрахунок основного фонду заробітної плати	62
5.3	Розрахунок експлуатаційних затрат	64
5.4	Розрахунок економічної ефективності	67
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
6.1	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	69
6.1.1	Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	69
6.1.2	Електробезпека	72
6.2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	72
6.2.1	Мікроклімат	72
6.2.2	Склад повітря робочої зони	73
6.2.3	Виробниче освітлення	74
6.2.4	Виробничий шум	75
6.2.5	Виробнича вібрація	76
6.2.6	Виробничі випромінювання	77
6.2.7	Психофізіологічні фактори	78
6.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	79
6.3.1	Дослідження стійкості роботи лабораторного стенда для аналізу енергетичних параметрів електричної машини в умовах дії іонізуючих випромінювань	80
6.3.2	Дослідження стійкості роботи мікропроцесорної системи	82
	ВИСНОВКИ	85
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
	Додаток А. Технічне завдання	90
	Додаток Б. Ілюстративні матеріали	94

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку промислового виробництва характеризується масовим впровадженням складних електромеханічних систем автоматизації (EMCA), які забезпечують виконання критично важливих технологічних операцій. Електричний привод, як основний силовий елемент цих систем, споживає понад 60% всієї електроенергії, що виробляється у світі. Враховуючи високу інтенсивність експлуатації та складність режимів роботи, питання забезпечення надійності та захисту електроприводів від аварійних режимів набуває стратегічного значення.

Аварійні режими в EMCA не лише призводять до виходу з ладу дорогого обладнання, але й спричиняють значні економічні збитки через простої виробничих ліній, брак продукції та витрати на позаплановий ремонт. Розвиток мікропроцесорної техніки та методів цифрової обробки сигналів дозволяє перейти від традиційних методів захисту до інтелектуальних систем моніторингу та діагностики, що здатні ідентифікувати загрозу на ранніх стадіях її виникнення.

Тому питання захисту електромеханічних систем від аварійних режимів роботи є особливо актуальним.

Об'єктом дослідження є процес виявлення аварійної ситуації в процесі роботи електричного двигуна та розробка пристрою для захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Предметом дослідження є математичні моделі та закономірності вибору обладнання для захисту електромеханічної системи від аварійних режимів роботи та елементна база для розробки пристрою захисту.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення рівня надійності роботи електромеханічних систем за рахунок покращення якості контролю та виявлення аварійних режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) виконати аналіз методів виявлення аварійних режимів роботи електричних двигунів змінного струму;

2) сформулювати підхід до побудови системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи;

3) розробити структуру пристрою захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який дозволить виконувати аналіз параметрів живлення та формувати керуючу дію на вимкнення живлення двигуна;

4) вибрати елементну базу та зібрати пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи.

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 аналізу аварійних ситуації в електромеханічній системі, який на відміну від відомих, дозволяє реалізувати всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи.

2. Отримав подальший розвиток підхід до захисту електропривода від перегріву, який на відміну від відомих дозволяє оцінювати параметр перегріву по значеннях струму двигуна обираючи різні сталі часу, що спрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який поєднує всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного

процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи.

2. Розроблено алгоритм роботи системи захисту електропривода змінного струму від аварійних режимів роботи, який відтворює всі основні функції захисту електропривода без використання дороговартісних і складних у налаштуванні та завадостійності зворотних зв'язків, щоспрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

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

Апробація результатів роботи. Результати роботи частково доповідалися на таких науково-технічних конференціях:

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

1 ЗАХИСТ ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Класифікація та характеристика аварійних режимів роботи електроприводів

Аварійний режим — це стан системи, при якому виникають відхилення параметрів від номінальних значень, що загрожує цілісності обладнання або безпеці персоналу. В електромеханічних системах аварії можна розділити на електричні, механічні та технологічні.

Електричні перевантаження та короткі замикання - це найбільш небезпечні види аварій. Короткі замикання (міжфазні, на землю, виткові) характеризуються миттєвим зростанням струму, що призводить до руйнівного термічного та електродинамічного впливу.

Режим заклинювання (стопоріння) ротора - виникає при механічному перевантаженні робочого органу. У цьому режимі струм статора досягає пускових значень $I_{start} = (5-7)I_{nom}$, що при відсутності швидкої реакції захисту призводить до обвуглювання ізоляції обмоток за лічені секунди.

До аномальних режимів живлення відносяться:

- Обрив фази: призводить до несиметрії магнітного поля, виникнення зворотних послідовностей струмів та інтенсивного нагріву ротора.
- Провали та стрибки напруги: спричиняють нестабільність моменту та можуть вивести з ладу силову електроніку (перетворювачі частоти).

Аварійні режими в електромеханічних системах супроводжуються різкими змінами електромагнітних та механічних параметрів. Для побудови надійного захисту необхідно розуміти фізику цих процесів.

Коротке замикання є найбільш важким режимом. Струм КЗ складається з періодичної (вимушеної) та аперіодичної (вільної) складових. Миттєве значення струму $i_{кз}(t)$ описується рівнянням:

$$I_{\text{кз}} = I_{\text{м.кз}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + I_{\text{м.кз}} \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{-t/T_a}, \quad (1.1)$$

де $I_{\text{м.кз}}$ — амплітуда усталеного струму КЗ;

T_a — електромагнітна стала часу кола;

α — фазовий кут напруги в момент виникнення КЗ.

Найбільше значення струму (ударний струм $i_{\text{уд}}$) досягається через півперіоду ($t = 0,01$ с для 50 Гц) і розраховується як:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{кз}} \cdot k_{\text{уд}}, \quad (1.2)$$

де $k_{\text{уд}}$ — ударний коефіцієнт (зазвичай від 1 до 2).

Двигун має обмежену теплову акумулюючу здатність. Зміна температури обмоток $\tau(t)$ при постійному навантаженні описується експоненціальним законом:

$$\tau(t) = \tau_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T_{\text{наг}}}) + \tau_{\text{поч}} \cdot e^{-t/T_{\text{наг}}}, \quad (1.3)$$

де $\tau_{\text{уст}}$ — усталене значення температури нагріву обмоток двигуна;

$\tau_{\text{поч}}$ — початкове значення температури нагріву обмоток двигуна;

$T_{\text{наг}}$ — стала часу нагріву обмоток двигуна.

Сучасні цифрові реле захисту використовують термічну модель I^2t , яка інтегрує квадрат струму для оцінки поточної температури, що дозволяє уникнути вимкнення при короткочасних пусках, але миттєво зреагувати на тривале перевантаження.

1.2 Вимоги до надійності живлення електромеханічних систем

Надійність електропостачання — це здатність системи забезпечувати безперебійне живлення споживачів у межах заданих параметрів. Згідно з

нормативними документами (зокрема ПУЕ), споживачі ЕМСА поділяються на три категорії.

За рівнем надійності електропостачання розрізняють такі категорії споживачів:

I категорія: Об'єкти, перерва в живленні яких може призвести до небезпеки для життя людей, значних матеріальних збитків або пошкодження дорогого обладнання. Вимагають живлення від двох незалежних джерел з пристроєм автоматичного введення резерву (АВР).

II категорія: Об'єкти, де перерва призводить до масового недовипуску продукції та простоїв. Допускається живлення від двох джерел, але з можливістю ручного перемикачання персоналом.

III категорія: Всі інші споживачі (допускається перерва на час ремонту до 24 годин).

Для забезпечення кращої надійності встановлюються пристрої автоматичного вмикання (введення) резерву (АВР). Типова схема містить два вводи та секційний вимикач. Алгоритм роботи наступний:

1. Діагностика: Реле контролю напруги (РКН) фіксує падіння $U_{\text{ф}}$ нижче $0,85 U_{\text{ном}}$ на час більше $t_{\text{зад}}$.
2. Ізоляція: Вимикається основний ввідний автомат (для запобігання підживленню місця аварії від резерву).
3. Перевірка: Контроль відсутності КЗ на шинах (блокування АВР при КЗ).
4. Комутація: Вмикається резервний ввід або секційний вимикач.

Час перемикачання $t_{\text{авр}}$ має бути мінімальним, щоб запобігти зупинці технологічного процесу та розсинхронізації двигунів (зазвичай 0,2–0,8 с).

1.3 Параметри живлення та їх вплив на роботу ЕМСА

Якість функціонування автоматизованого електропривода прямо залежить від стабільності параметрів електричної енергії. Основні вимоги регламентуються стандартом ДСТУ EN 50160:2014.

Зміна напруги впливає на момент двигуна, оскільки $M \propto U^2$. Зниження напруги на 10% призводить до падіння моменту на 19%, що може спричинити зупинку двигуна під навантаженням.

Використання потужних перетворювачів частоти створює вищі гармоніки, які спричиняють додаткові втрати в сталі та міді двигуна. Коефіцієнт несинусоїдальності напруги (THD_U) не повинен перевищувати 8% для мереж низької напруги.

1.4 Сучасні підходи до побудови систем захисту

Традиційні теплові реле та запобіжники поступово замінюються на мікропроцесорні пристрої захисту (МПЗ), які реалізують складні математичні моделі теплового стану двигуна.

Основні функції сучасного захисту:

1. Теплова модель: обчислення інтеграла зміни квадрата струму для точного визначення моменту вимкнення.
2. Захист від несиметрії: контроль струмів зворотної послідовності.
3. Діагностика ізоляції: моніторинг струмів витoku в режимі реального часу.

Вибір захисту для ЕМСА здійснюється за трьома основними критеріями: за номінальним струмом, за пусковим струмом та за вимикальною здатністю.

Номінальний струм теплового розчеплювача вимикача $I_{н.р.}$ повинен задовольняти умові:

$$I_{н.р.} \geq K_H \cdot I_{ном.д}, \quad (1.4)$$

де K_H — коефіцієнт надійності;

$I_{ном.д}$ — номінальний струм двигуна.усталене значення температури нагріву обмоток двигуна.

Електромагнітний розчеплювач (відсічка) не повинен спрацювати при пуску двигуна. Умова вибору струму спрацювання $I_{спр}$:

$$I_{спр} \geq K_{відс} \cdot I_{пуск}, \quad (1.5)$$

де $I_{пуск} = k_s I_{ном}$ — пусковий струм двигуна;

k_s — кратність пускового струму (зазвичай $k_s = 5-7$);

$K_{відс}$ — коефіцієнт, що враховує розкид параметрів ($K_{відс} = 1.2-1.4$).

Сучасні виробники пропонують інтелектуальні системи, що об'єднують функції силової комутації та цифрового моніторингу. Сьогодні захист переходить від "реактивного" (вимкнення після аварії) до "предикативного". Наприклад, блоки Schneider Electric TeSys Island дозволяють відстежувати кількість пусків та загальний наробіток, прогножуючи час заміни вузлів до того, як станеться аварія.

Отже, для досягнення мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- 1) виконати аналіз методів виявлення аварійних режимів роботи електричних двигунів змінного струму;
- 2) сформулювати підхід до побудови системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи;
- 3) розробити структуру пристрою захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який дозволить виконувати аналіз параметрів живлення та формувати керуючу дію на вимкнення живлення двигуна;
- 4) вибрати елементну базу та зібрати пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи.

2 ПІДХІД ДО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ

Мікропроцесорна система захисту електропривода має містити підсистеми вимірювання напруг та струмів двигуна, розрахунку параметрів аварійної ситуації, прийняття рішення про наявність аварійної ситуації і виконавчу систему, яка вимикає живлення двигуна, коли має місце ситуація, що визнається як аварійна.

Функціональну схему системи зобразимо на рисунку 2.1. Нижня частина схеми – це силова частина, яка забезпечує подачу напруги живлення на двигун і по якій протікає силовий струм. У силовій частині системи захисту електропривода знаходиться пристрій захисту від короткого замикання та перевантаження, а також вимірювальні трансформатори струму та комутаційний елемент. У якості пристрою захисту електропривода від струмів короткого замикання та перевантаження зручно використати автоматичний повітряний вимикач закритого виконання.

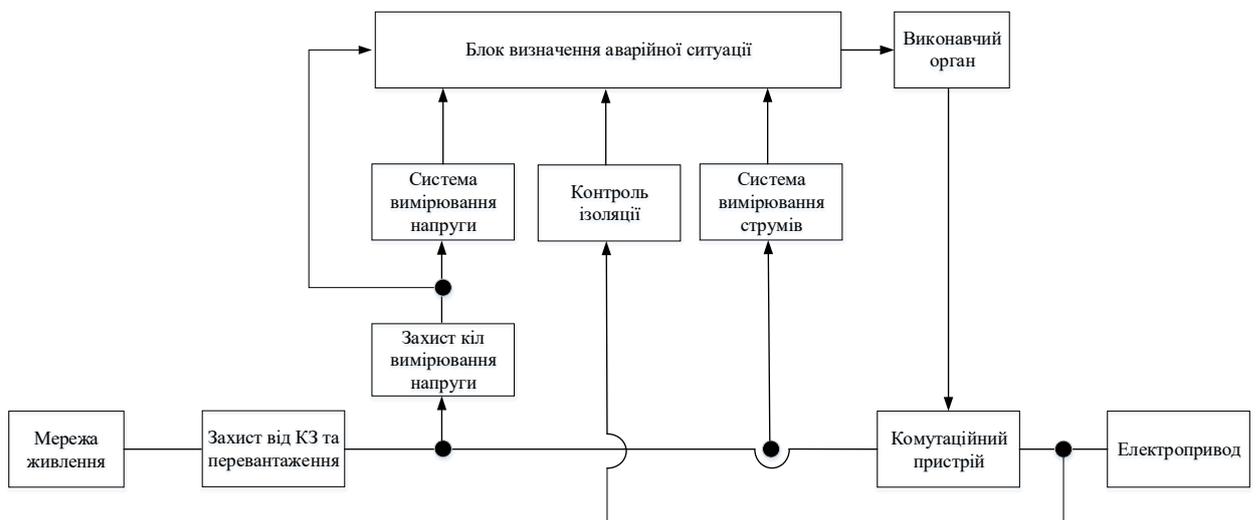


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи захисту електропривода

Живлення від мережі подається на автоматичний вимикач, після якого через вимірювальні засоби та комутаційний пристрій на електричний двигун. Вимірювальні засоби слід розділити за типом сигналу вимірювання. Першим

відбувається вимірювання напруги по всіх фазах та нульовому провіднику. Далі виконується вимірювання значення струму, що протікатиме у фазних провідниках.

Вимкнення живлення електропривода у разі аварійної ситуації буде забезпечувати комутаційний пристрій. В нормальному стані він буде замикати силові контакти, а у момент виявлення аварійної ситуації ці силові контакти мають розімкнутися. Таку функцію виконуватиме контактор з трьома силовими контактами.

Блок вимірювання параметрів напруги живлення вмикається через захисний пристрій, який додатково перестраховує мікропроцесорний засіб від великих струмів керування. Одночасно з блоком вимірювання напруги після захисного пристрою забезпечується живлення мікропроцесорного засобу виявлення аварійної ситуації.

Для контролю ізоляції силових контактів комутаційного пристрою на систему виявлення аварійної ситуації подається сигнал силової напруги живлення двигуна. У випадку, коли комутаційний пристрій не подає живлення на двигун, сигнал контролю ізоляції має бути відсутній. Інакше ізоляція комутаційного елемента несправна.

Система вимірювання струмів має виконувати вимірювання струми хоча б у двох фазних провідниках для аналізу наявності явища перевантаження чи пошкодження обмоток двигуна. У випадку перевантаження струм в обох фазних провідниках буде більшим за нормований. У випадку пошкодження обмоток двигуна в результаті виткових замикань струм фазних провідників буде відрізнятися.

Також система вимірювання струмів забезпечує контроль ізоляції між фазними провідниками і корпусом електропривода. Тобто виконується контроль струму витоку. Якщо у разі аварії виникне пробій ізоляції однієї з обмоток двигуна на корпус, виникне диференційний струм, який буде сигналізувати про аварійну ситуацію.

Результатом роботи блоку визначення аварійної ситуації має бути дискретний сигнал наявності аварії чи її відсутності. Цей сигнал подається на виконавчий орган, який забезпечує перемикання контактів, які в свою чергу вимикають коло живлення комутаційного пристрою.

Перевірка на перегрів може виконуватися опосередковано. Тобто параметр нагріву двигуна оцінюється теоретично за кривою нагріву і охолодження по вимірюваному струму і часу протікання. В процесі роботи вирішується рівняння теплового балансу двигуна [7]. Припускається, що до увімкнення двигун був холодним; при роботі двигуна виділяється тепло, пропорційне квадрату струму; після вимкнення двигуна йде його охолодження за експонентою.

Для забезпечення уніфікації для різних двигунів можна враховувати струмо-часову характеристику, яку зобразимо на рисунку 2.2 [7].

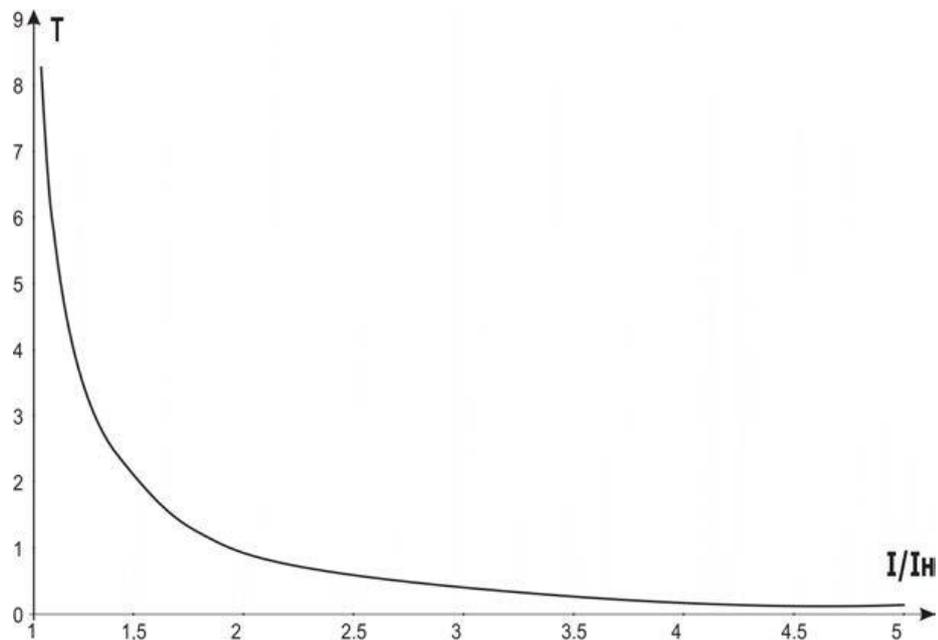


Рисунок 2.2 – Струмо-часова характеристика

На рисунку використано позначення: I/I_n – кратність струму відносно номінального; T – фактичний час спрацьовування.

Спрацьовування за тепловим перевантаженням (теплова модель електродвигуна) відбувається за фіксованою тепловою постійною двигуна,

що відповідає певному часу вимкнення при роботі з двократним перевантаженням відносно більшого з номінальних струмів із холодного стану.

Після вимкнення навантаження за тепловим перевантаженням воно буде автоматично знову вмикатися. Якщо час АПВ = 0, тоді за тепловим гістерезисом двигун повинен охолонути на 33% від накопиченого тепла. Якщо час АПВ не дорівнює 0, до двигун повторно вмикається з часом АПВ, відмінним від нуля..

Підбираючи різні параметри часу АПВ з урахуванням теплового гістерезису, можна досягти обмеження кількості пусків в одиницю часу, так як при повторно-короткочасному режимі роботи [7].

3 СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Для захисту електропривода від аварійних режимів роботи необхідно забезпечити вимірювання струму та напруги живлення електропривода. Вимірювання напруги виконується за сигналом клем живлення електропривода, а вимірювання струму – шляхом підключення послідовно з фазними провідниками трансформаторів струму. Ці трансформатори необхідно встановлювати певним чином, щоб забезпечувати вимірювання струмів, потужності та витоку струму на корпус.

Крім того, система захисту має забезпечувати функцію захисту електропривода від струмів короткого замикання, зникання навантаження, несиметрії напруг тощо.

3.1 Алгоритм роботи системи захисту

Алгоритм роботи системи захисту відображає логіку роботи системи. Ця логіка роботи програмується в мікропроцесорному блоці визначення аварійної ситуації. Вимірювання даних відбувається постійно в процесі подання живлення. Як тільки виникне аварійна ситуація відразу подається команда виконавчим органом на комутаційний пристрій. Мікропроцесорна система передбачає можливість регулювання уставок струму спрацювання та часових затримок.

Алгоритм роботи системи захисту зображено на рисунку 3.1.

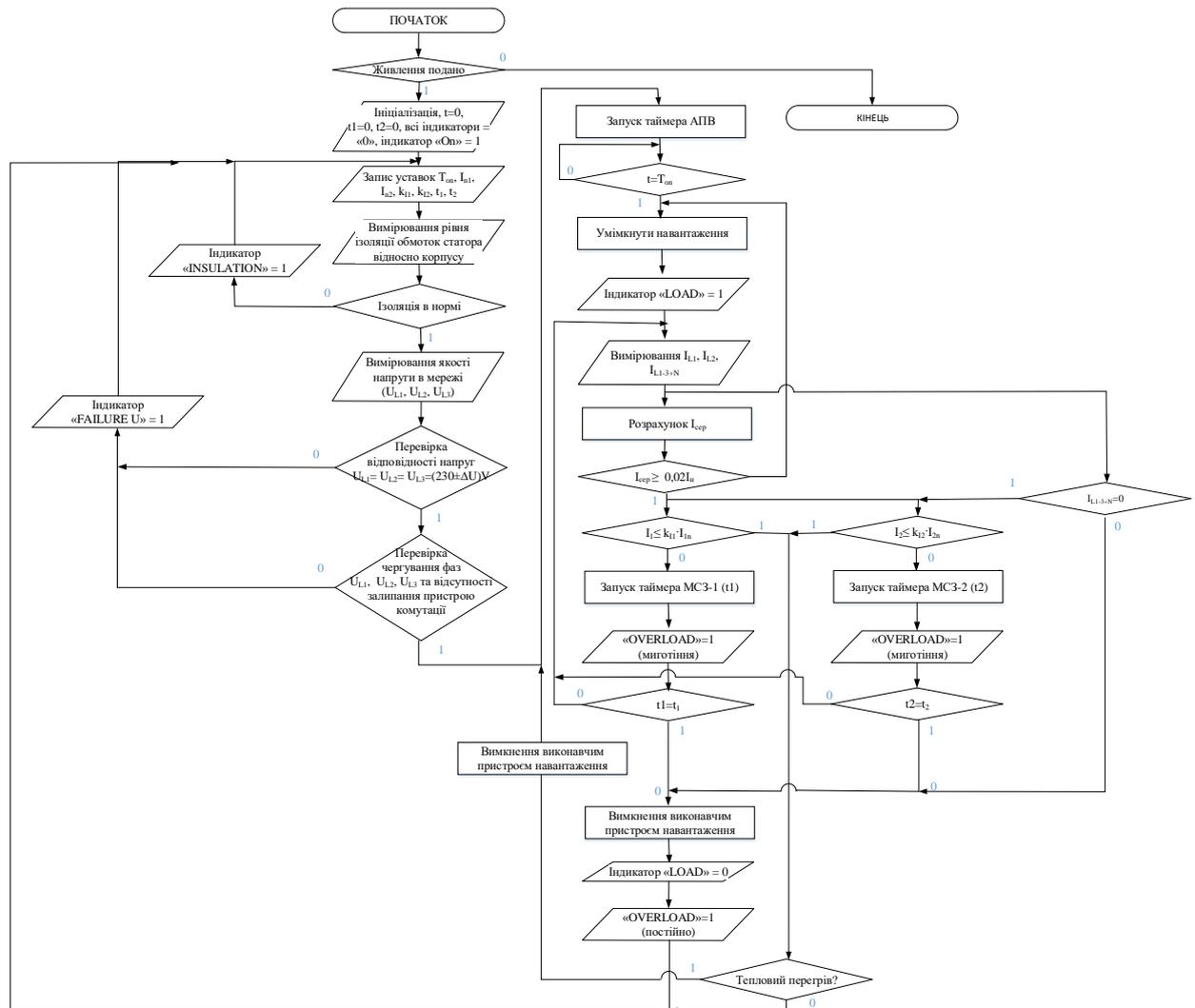


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи системи захисту

Згідно алгоритму роботи пристрою захисту від аварійних режимів роботи після подачі живлення відбувається індикація наявності живлення «On» та обнулення всіх таймерів і всіх інших індикаторів стану системи. Далі зчитуються параметри, які регулюються і задаються оператором, а саме:

- час автоматичного повторного вмикання (АПВ) $T_{оп}$;
- номінальне значення струму у першому фазному проводі I_{1n} ;
- кратність максимального струму у першому фазному проводі (МСЗ, k_{11});
- час повторного вмикання при спрацюванні МСЗ у першому фазному проводі (t_1);
- номінальне значення струму у другому фазному проводі I_{2n} ;

- кратність максимального струму у другому фазному проводі (МСЗ, k_{I2});
- час повторного вмикання при спрацюванні МСЗ у другому фазному проводі (t_2).

Після цього відбувається перевірка ізоляції обмоток статора двигуна. Якщо вона позитивна, тобто ізоляція знаходиться в допустимих межах, відбувається вимірювання параметрів напруги живлення. Напруга живлення перевіряється за якісними показниками: повнофазність, симетричність, величина діючої лінійної напруги. Якщо хоча б одна з перевірок напруги не виконується видається індикація несправності напруги живлення і пристрій не вмикає живлення на двигун.

Якщо всі перевірки напруги виконуються, то відбувається запуск таймера автоматичного повторного вмикання. Після проходження часу T_{on} пристрій подає команду запуску на виконавчий пристрій і замикається живлення на котушку контактора. Контактор вмикає живлення на двигун. Відразу відбувається індикація про наявність навантаження «LOAD».

Після цього система захисту перевіряє струми двигуна. Розраховується середнє значення струму навантаження і якщо це значення більше за 2% від номінального, то перевіряється умова перегріву, наявності струму витoku і струму максимального струмового захисту по двох фазах. Якщо ж струм навантаження менший за 2% від номінального, то система продовжує вимірювати параметри напруги і струмів при увімненому навантаженні.

Якщо струм по одній з фаз з контролем максимального струмового захисту (МСЗ) не перевищує відповідної уставки МСЗ, то система перевіряє наявність перегріву і, якщо його немає, переходить на початок алгоритму починаючи з контролю стану ізоляції. Якщо ж один з контрольованих струмів перевищить уставку МСЗ, система запустить таймер МСЗ по відповідному струму. Після проходження часу уставки, якщо струм продовжує перевищувати уставку відповідного МСЗ, видається команда на зупинку електропривода і алгоритм переходить на початок.

У момент, коли буде тривати уставка МСЗ відбувається мигання індикатора «OVERLOAD», що символізує про підозру на перевищення уставки струму. Двигун при цьому не вимикається.

У випадку, коли спрацює індикатор струму витoku (нульової послідовності), то система миттєво видає команду на зупинку електропривода і алгоритм переходить на початок. Вимкнення двигуна у випадку цієї аварійної ситуації відбувається миттєво без перевірки на перегрів чи величину струму.

Перевірка на перегрів виконується лише у випадках, коли струм не перевищує уставок МСЗ. Якщо перевірка на наявність теплового перегріву виконується, тобто перегрів відсутній, система переходить на початок алгоритму. Якщо ж система виявляє наявність перегріву, то відбувається вимкнення навантаження і система повертається до моменту запуску таймера автоматичного повторного вмикання. Після проходження часу уставки T_{on} система захисту повторно запускає двигун і всі перевірки струму повторюються з початку.

3.2 Структурна схема системи захисту

Якщо порівнювати структурну схему з функціональною, то вони відрізнятимуться за функціональною ознакою групування. На функціональних схемах блоки групуються за ознакою призначення, а на структурних – за ознакою розташування і будови.

Мікропроцесорний пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи забезпечує функцію обробки вимірювальних сигналів напруг і струмів відповідно до описаного у попередньому розділі алгоритму. Він має містити сам мікропроцесор, аналого-цифрові перетворювачі та модулі зв'язку. Додактові даний пристрій має мати блок живлення та виконавчий блок, який будемо уявляти під виглядом електромагнітного реле.

Блоки вимірювання сигналів напруги та струму, а також блок контролю ізоляції обмоток двигуна виконують відповідні їм функції, а саме перетворення аналогових сигналів напруги та струму у сигнали потрібної величини, що сприйматимуться аналого-цифровими перетворювачами мікропроцесорного блоку. Крім того, вимірювальні блоки мають забезпечувати гальванічну розв'язку сигналів силових кіл від кіл керування. Часто ці блоки інтегрують з мікропроцесорними пристроями, щоб забезпечити якісне узгодження вимірювальних сигналів. Таким чином, мікропроцесорний блок захисту електропривода від аварійних режимів роботи, може містити сам мікропроцесор з обов'язкою і вимірювальні блоки різних величин.

Структурну схему системи захисту зображено на рисунку 3.2.

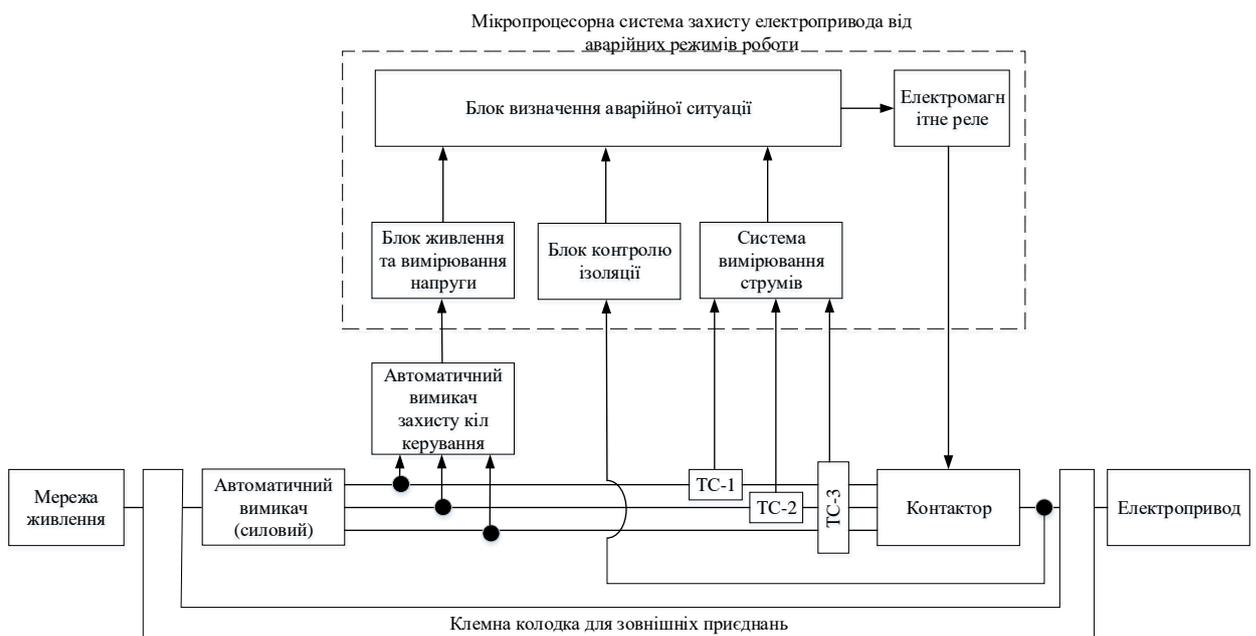


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи захисту

На рисунку вписано назви всіх блоків окрім трансформаторів струму: ТС-1 – трансформатор струму, що вимірює струм у одному з трьох фазних провідників живлення електропривода; ТС-2 – трансформатор струму, що вимірює струм в іншому з трьох фазних провідників живлення електропривода; ТС-3 – трансформатор струму нульової послідовності, що

вимірює сумарний струм у трьох фазних провідниках та нульовому PN-провіднику.

Мережа живлення електропривода приєднується до клемної колодки пристрою захисту від аварійних режимів роботи. Клемний затискач забезпечує можливість приєднання до пристрою силових кабелів, а , відповідно, можливість збирання пристрою окремим блоком, який можна встановити у довільному місці.

До вхідних клем клемної колодки зі сторони пристрою приєднується автоматичний вимикач. Цей автоматичний вимикач розраховується на силовий струм двигуна і має забезпечувати захист електропривода від перегріву і струмів короткого замикання. Також автомат забезпечує другорядну функцію ручного вимкнення електропривода за командою оператора. Якщо його облаштувати незалежним розціплювачем, то вимкнення пристрою можна виконувати не контактором, а цим самим автоматичним вимикачем.

Додатково у пристрої захисту необхідно передбачити захист кіл керування та живлення мікропроцесорного блоку. Це можна зробити або запобіжниками на малий струм, або ж модульним автоматичним вимикачем.

Контактор виконує функцію комутації силового струму двигуна. Саме він подає живлення на електропривод і вимикає його. Контакти контактора мають бути розраховані на силовий струм, тривале його пропускання і повинні мати певну стійкість до пускових струмів та струмів короткого замикання. Котушка контактора заживлюється через виконавчий елемент мікропроцесорного пристрою, у якості якого використовується електромагнітне реле.

3.3 Вибір елементної бази системи захисту

Вибір елементної бази мікропроцесорної системи захисту електропривода розпочнемо з інтелектуального модуля розрахунку та визначення аварійного режиму роботи двигуна.

3.3.1 Вибір мікропроцесорного пристрою захисту електродвигунів від аварійний режимів роботи

З мережі інтернет виберемо одні з самих вживаних пристроїв захисту електропривода і зведемо порівняння їхніх характеристик у таблицю 3.1 [4-6].

У таблиці подано основні переваги та недоліки запропонованих варіантів реалізації пристрою захисту. До пропозиції подано пристрій БЗУ-2-10-Т, який встановлюється в мережах 0,4-10кВ і забезпечує інтеграцію в системи автоматичного комерційного обліку; можливість віддаленого моніторингу та керування; достатню точність ліцензованих вимірювань [4]. Пристрій UBZ-301-01 (5-50А) має можливість контролю специфічних параметрів електропривода таких як опір ізоляції обмоток, перегрів тощо; має достатню точність вимірювань для формування аналітичних висновків; постачається в комплекті з трансформаторами струму тороїдного типу [5]. Засіб E.CONTROL.M02 є типовим для багатьох виробників електротехнічної модульної продукції володіє найменшою із зіпропонваних варіантів ціною, зручність монтажу та компактність [6].

Якщо порівнювати всі запропоновані до аналізу пристрої з подібним функціональним призначенням, то можна керуватися двома основними критеріями: якістю роботи та ціною. Стосовно якості, то найкращою вона буде для першої пропозиції (пристрій БЗУ-2-10-Т), а найгіршою – для 3-ї (пристрій E.CONTROL.M02 і йому подібні).

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика пристроїв захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Назва пристрою	Фото пристрою	Переваги	Недоліки
БЗУ-2-10-Т		<ol style="list-style-type: none"> 1. Інтеграція в системи автоматичного комерційного обліку. 2. Можливість віддаленого моніторингу та керування. 3. Вітчизняне виробництво. 4. Точність вимірювання. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ціна вище 30тис.грн. 2. Призначений в основному для мереж високовольтних 6-10кВ. 3. Необхідність придбання додатково вимірювальних трансформаторів струму та напруги в разі потреби.
UBZ-301-01 (5-50A)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість контролю специфічних параметрів електропривода таких як опір ізоляції обмоток, перегрів тощо 2. Ціна 4615грн. 3. Вітчизняне виробництво. 4. Точність вимірювання. 5. В комплекті трансформатори струму тороїдного типу. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неможливість віддаленого моніторингу параметрів та керування електроприводом. 2. Відсутність сертифікації для реалізації захисних функцій комерційного обліку.
E.CON TROL. M02		<ol style="list-style-type: none"> 1. Ціна до 2000грн. 2. Компактність. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неможливість моніторингу та керування. 2. Суттєво обмежений функціонал захистів.

Якщо керуватися ціною, то найменша вона в E.CONTROL.M02, але при врахуванні вартості трьох трансформаторів струму, дешевшим стане варіант пристрою UBZ-301-01 (5-50A). Таким чином, керуючись цими двома критеріями відбору, найкращим варіантом реалізації функції автоматичного захисту електродвигунів стане пристрій UBZ-301-01 (5-50A) виробництва ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО».

Отже в якості мікропроцесорного пристрою автоматичного захисту електроприводів використаємо пристрій UBZ-301-01 (5 – 50A) компанії «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна [7]. Зовнішній вигляд пристрою подано на рисунку 3.3.

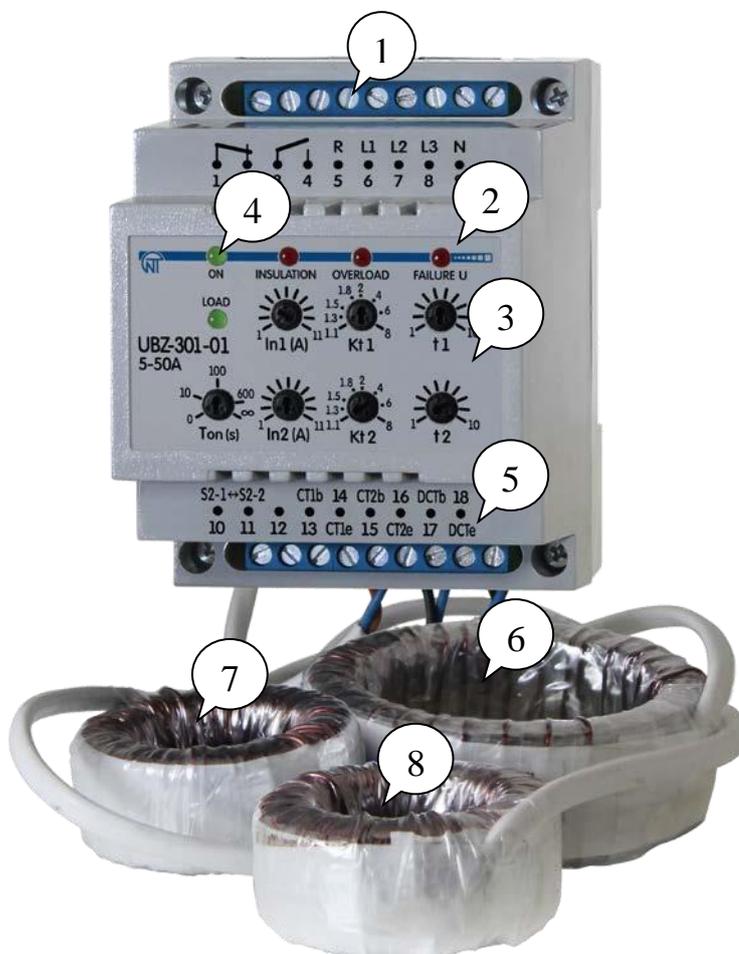


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд мікропроцесорного пристрою захисту від аварійних режимів роботи UBZ-301-01 (5 – 50A) ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО»

На фото зовнішнього вигляду пристрою позначено: 1 – клемні затискачі для приєднання до мережі живлення кіл живлення, вимірювання напруги та підключення котушки контактора (два «сухих» контакти NO та NC); 2 – індикатори аварійних ситуацій; 3 – пристрої регулювання та встановлення уставок спрацювання засобу; 4 – індикатори робочих ситуацій; 5 – клемні затискачі для приєднання трансформаторів струму і додаткових контактів керування; 6 – трансформатор струму нульової послідовності (диференційного захисту); 7-8 – трансформатори струму для вимірювання струму у двох лініях живлення електропривода.

Універсальний блок захисту електродвигунів UBZ-301-01(5-50A) (далі за текстом UBZ-301-01, виріб) [7] призначений для захисту двошвидкісних (двообмотних) асинхронних двигунів, постійного контролю параметрів напруги мережі, діючих значень фазних/лінійних струмів кожної з обмоток та перевірки значення опору ізоляції обмоток статора електродвигунів на корпус. Пристрій забезпечує захист асинхронних двошвидкісних (двообмотних) електродвигунів, номінальним струмом від 5 до 50 А при використанні зовнішніх струмових трансформаторів, що постачаються в комплекті із виробом. Здійснює повний і ефективний захист електродвигунів вимкненням від мережі і/або блокуванням його пуску в наступних випадках:

- неякісній нарузі мережі (недопустимі стрибки напруги, обрив фаз, порушення чергування та злипання фаз, перекіс фазних/лінійних напруг);
- механічних перевантаженнях (симетричне перевантаження за фазними/лінійними струмами);
- захист за максимальним струмом із залежною витримкою часу (тепловий захист, теплова модель електродвигуна);
- захист за максимальним струмом із незалежною витримкою часу (далі за текстом МСЗ);
- несиметричних перевантажень за фазними/лінійними струмами, пов'язаних із пошкодженнями всередині двигуна – захист від перекосів фазних струмів із наступною заборною АПВ;

- несиметрії фазних струмів без перевантаження, пов'язаних із порушенням ізоляції всередині двигуна і/або підвідного кабелю;
- зникненні моменту на валу електродвигуна (далі за текстом ЕД) – захист за мінімальним робочим струмом;
- при недопустимо низькому рівні ізоляції на корпус – перевірка перед увімкненням із блокуванням пуску при поганій ізоляції;
- замкненні на «землю» обмотки статора під час роботи – захист за струмом витіку на «землю».

Виріб забезпечує захист електрообладнання шляхом керування котушкою магнітного пускача (контактора). UBZ-301-01 має два режими роботи за встановленим номінальним струмом:

за струмом першої обмотки (велика швидкість); - за струмом другої обмотки (мала швидкість).

Керування режимами номінальних струмів здійснюється по замиканню/розмиканню зовнішніх контактів, що приєднуються до клем 10-11 (S2-1, S2-2, рис. 3.3), що є сигналом про перехід двигуна в режим відповідної швидкості: розімкнене положення – струм першої обмотки (велика швидкість); замкнене положення – струм другої обмотки (мала швидкість).

UBZ-301-01 забезпечує [7]:

- просту та точну установку номінальних струмів електричного двигуна (ЕД), використовуючи стандартну шкалу номінальних струмів
 - спрацьовування за перевантаженням із залежною витримкою часу.
- Струмо-часова характеристика наведена на рисунку далі. Ця характеристика побудована для умовно холодного двигуна. В процесі роботи вирішується диференційне рівняння теплового балансу ЕД. Такий підхід дозволяє враховувати попередній стан ЕД та найбільш достовірно приймати рішення про наявність теплового перевантаження. Цей метод дозволяє також враховувати нагрів ЕД при пусках та обмежити (за бажанням замовника) їх число в одиницю часу;

- спрацьовування за максимальним струмом із встановленою кратністю по струму від номінального та зі встановленою витримкою часу (МСЗ із незалежною витримкою часу);
- виставлення порогів спрацьовування регульованих параметрів;
- забезпечення автоматичного повторного включення із заданим часом між сусідніми увімкненнями;
- індикацію виду аварії, наявності напруги мережі, струмового діапазону, на який налаштований UBZ-301-01, і увімкнення навантаження.

Параметри мікропроцесорного пристрою захисту від аварійних режимів роботи UBZ-301-01 (5 – 50А) ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» зведено у таблицю 3.2 [7].

UBZ-301-01 є мікропроцесорним цифровим пристроєм із високим ступенем надійності і точності. Оперативне живлення не потрібне – контрольована напруга є одночасно напругою живлення. Одночасний роздільний незалежний контроль за напругою мережі та фазним струмам дозволяє розрізнити наступні види аварій ЕД [7].: при аваріях напруги мережі UBZ-301-01 здійснює автоматичне повторне включення (АПВ) навантаження після відновлення параметрів напруги; якщо аварія виникла через пошкодження всередині двигуна (поява струму зворотної послідовності, при симетричній нарузі мережі, наявність струмів витіку тощо) відбувається блокування повторного пуску.

UBZ-301-01 комплектується трьома тороїдальними сенсорами струму, два з яких – сенсори фазного/лінійного струму (ТС1, ТС2), крізь які продіваються силові фазні проводи. Третій датчик відрізняється збільшеним діаметром – диференційний датчик струму (ДТС), крізь який продіваються три силових проводи. Клемами 6, 7, 8, 9 (L1, L2, L3, N) (див. рис. 3.3) UBZ-301-01 вмикається паралельно контрольованій мережі. На виході – замикаючий і розмикаючий контакти (клеми 1, 2, 3, 4). Вихідні клеми 3-4 включаються в розрив кола живлення котушки контактора. Клема 5 призначена для контролю рівня ізоляції.

Таблиця 3.2 – Параметри мікропроцесорного пристрою захисту UBZ-301-01 (5 – 50А) ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» від аварійних режимів роботи електроприводів

Найменування	Значення
Номінальна лінійна напруга	400/415 В
Частота мережі	45 – 55 Гц
Гармонійний склад (несинусоїдність) напруги живлення	ДСТУ EN 50160:2014
Діапазон номінальних струмів першої та другої обмоток,	5 – 50 А
Діапазон регулювання МСЗ за кратністю від номінального струму (Kt)	1,5 – 8
Діапазон регулювання часу спрацьовування МСЗ	1 – 10 с
Діапазон регулювання за перекосом фаз	5 – 20%
Діапазон регулювання часу АПВ (Топ(s))	0 – 600, ∞ с
Фіксований поріг за мін./макс. напругою	20 % від ном.
Фіксований поріг перекосу струмів, зворотна послідовність	10%
Фіксований поріг перекосу напруги, зворотна послідовність	10%
Коефіцієнт гармонік в мережі, що дозволяє увімкнення	≤ 10%
Час першого увімкнення навантаження при Топ=0	1 – 2 с
Час спрацьовування за струмовим перевантаженням (тепловий захист, теплова модель)	По струмо-час. х-ці
Час спрацьовування при аваріях за напругою	1,5 с
Час спрацьовування при аваріях за струмом, окрім перевантаження	1,5 с
Фіксована уставка спрацьовування за струмом витіку	0,5 А
Фіксована уставка спрацьовування за мінімальним струмом	20 % від ном.
Поріг контролю опору ізоляції	500+20 кОм
Гістерезис за напругою (фазн/лін)	10/17 В
Гістерезис за теплом, % від накопиченого при вимкненні	33
Точність визначення порогу спрацьовування за струмом	≤ 2 – 3 % від Іном
Точність визначення порогу за напругою	≤ 3 В
Точність визначення перекосу фаз	≤ 1,5%
Напруга, за якої зберігається працездатність	50 – 130 % від ном.
Споживана потужність (під навантаженням)	≤ 3 Вт
Максимальний комутуючий струм вихідних контактів	5 А
Номінальна напруга ізоляції,	450 В
Номінальна імпульсна напруга, що витримується	4 кВ

При виникненні критичної аварійної ситуації вимкнення навантаження пристроєм відбувається шляхом розриву кола живлення котушки контактора через розмикаючі контакти 3-4.

Габаритні та установчі розміри мікропроцесорного пристрою захисту від аварійних режимів роботи електродвигунів UBZ-301-01 (5 – 50А), а також позначення усіх його елементів зобразимо на рисунку 3.4 [7]

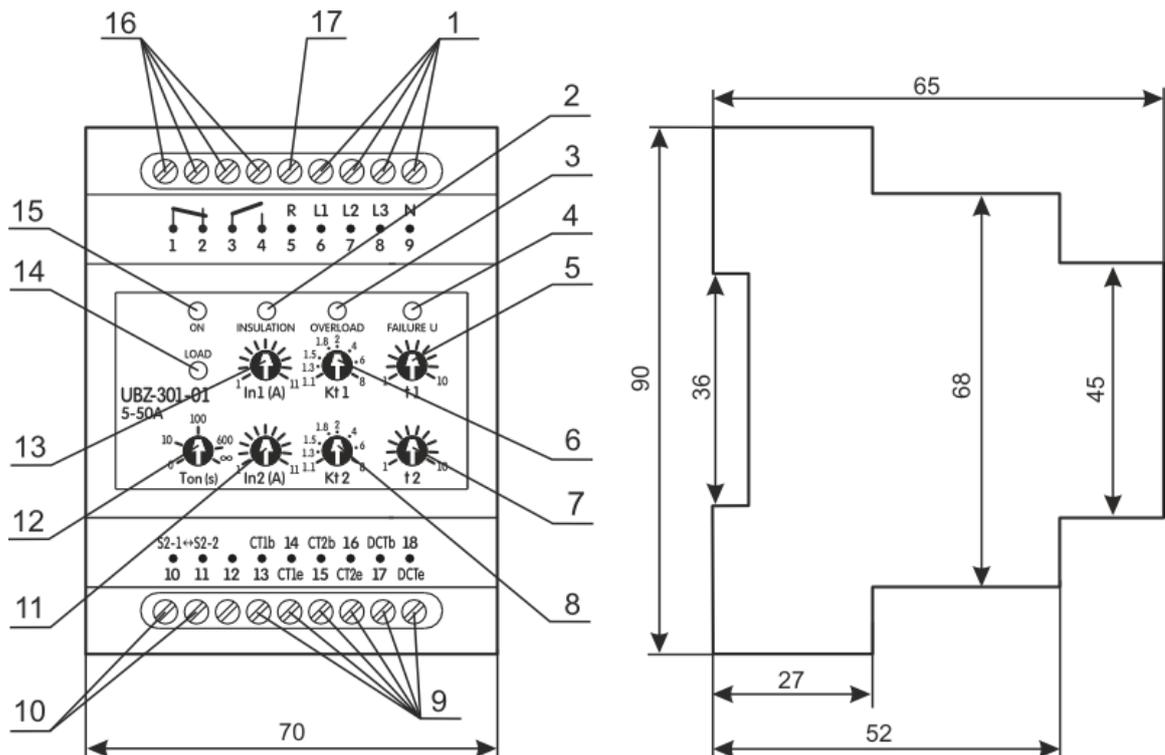


Рисунок 3.4 – Розміри та позначення UBZ-301-01 (5 – 50А)

На рисунку 3.4 позначено [7]: 1 – вхідні клеми (підключення до мережі); 2, 3, 4 – червоні індикатори аварій; 5 – регулятор виставлення затримки спрацьовування за МСЗ першої обмотки (t_1); 6 – регулятор виставлення кратності за струмом МСЗ першої обмотки (Kt_1); 7 – регулятор виставлення затримки спрацьовування за МСЗ другої обмотки (t_2); 8 – регулятор виставлення кратності за струмом МСЗ другої обмотки (Kt_2); 9 – вхідні клеми від виносних ТС; 10 – клеми зовнішнього керуючого контакту; 11 – регулятор виставлення номінального струму другої обмотки ($In_2(A)$); 12 – регулятор виставлення часу автоматичного повторного включення

(Ton(s)); 13 – регулятор виставлення номінального струму першої обмотки (In1(A)); 14 – зелений індикатор увімкнення навантаження, вказівник увімкнення першої/другої обмотки (LOAD); 15 – зелений індикатор наявності напруги в мережі/вказівник встановленого номінального струму (ON); 16 – вихідні клеми; 17 – клема контролю ізоляції .

Виставлення номінального струму для кожної з обмоток відбувається регуляторами In1(A), In2(A) (рис. 3.5). Регулятори мають по одинадцять положень. Кожне положення відповідає конкретному стандартному значенню шкали номінальних струмів (табл. 3.2). Кожне положення характеризується конкретною кількістю блимань зеленого індикатора «ON». Для виставлення номінального струму необхідно встановити регулятор у відповідне положення, кількість блимань індикатора «ON» після подання напруги на UBZ-301-01 повинна відповідати таблиці 3.2. Необхідно враховувати, що між положеннями є «мертві» зони, в яких індикатор «ON» світиться без блимань, а номінальний струм вважається невизначеним [7].

Номінальний струм кожної з обмоток виставляються індивідуально.

Для виставлення номінального струму першої обмотки необхідно переконатися, що знята перемичка між клемми 10, 11 (S2-1, S2-2). У цьому випадку блимання індикатора «ON» буде відповідати встановленому номінальному струму першої обмотки [7].

Для виставлення номінального струму другої обмотки потрібно встановити перемичку між клемми 10-11 (S2-1, S2-2). У цьому випадку блимання індикатора «ON» відповідає встановленому струму другої обмотки [7].

В подальшому, при роботі UBZ-301-01 в залежності від стану зовнішніх контактів, підключених до клем 10-11 блимання індикатора «ON» буде відповідати встановленому номінальному струму кожної з обмоток: розімкнено – струм першої обмотки, замкнено – струм другої обмотки [7].

UBZ-301-01 має сім незалежних регулювань [7]:

1 – $I_{n1}(A)$ – установка номінального струму першої обмотки, одинадцять положень, кожне з яких відповідає конкретному струму з таблиці номінальних струмів; має «мертву» зону між положеннями, в якій зелений індикатор «ON» постійно світиться;

2 – $Kt1$ – уставка спрацьовування МСЗ із незалежною витримкою часу за максимальним струмом першої обмотки, кратність від номінального, діапазон 1,5 – 8 раз;

3 – $t1$ – уставка за затримкою спрацьовування МСЗ першої обмотки, секунди. При перевищенні струму на величину $I_{n1}(A) \times Kt1$ відбувається вимкнення навантаження із цим часом, діапазон 1-10 секунд. АПВ забороняється, UBZ-301-01 блокується; При зниженні струму нижче уставки спрацьовування під час дії затримки накопичений час обнуляється;

4 – $T_{on}(s)$ – час автоматичного повторного включення в секундах; від 0 до 600 секунд, логарифмічна шкала. В положенні « ∞ » АПВ відміняється (повторне увімкнення блокується);

5 – $I_{n2}(A)$ – установка номінального струму другої обмотки, одинадцять положень, кожне з яких відповідає конкретному струму з таблиці номінальних струмів; має «мертву» зону між положеннями, в яких зелений індикатор «ON» постійно світиться;

6 – $Kt2$ – уставка спрацьовування МСЗ з незалежною витримкою часу за максимальним струмом другої обмотки, кратність від номінального, діапазон 1,5 – 8 раз;

7 – $t2$ – уставка за затримкою спрацьовування МСЗ другої обмотки, секунди. При перевищенні струму на величину $I_{n2}(A) \times Kt2$ відбувається вимкнення навантаження з цим часом, діапазон 1-10 секунд. АПВ забороняється, UBZ-301-01 блокується. При зниженні струму нижче уставки спрацьовування під час дії затримки накопичений час обнуляється.

Слід зазначити, що поріг спрацьовування за перекосом струмів та напруг визначається за величиною зворотної послідовності. Параметр розраховується як відношення струму/напруги зворотної послідовності до

струму/напрузі прямої. Якщо відношення послідовностей струмів у два рази перевищує відношення зворотної і прямої послідовності напруг – вважається, що перекіс визваний пошкодженнями всередині двигуна, а не перекосом в мережі. При такій аварії забороняється АПВ, UBZ-301-01 блокується.

Контроль мінімального робочого струму використовується для захисту від втрати моменту на валу.

Зазначимо призначення елементів індикації пристрою [7]:

- зелений індикатор «ON» (Мережа), сигналізує про наявність напруги в мережі. У блимаючому режимі кількість блимань між паузами відповідає конкретному номінальному струму з таблиці 2, «мертва» зона – постійне світіння. Під час виставлення номінального струму потрібно добитися блимаючого режиму;

- зелений індикатор «LOAD» (Навантаження), сигналізує про увімкнення навантаження (замкненні клем 3-4); постійне світіння – увімкнена перша обмотка (велика швидкість), світіння зі змінною яскравістю – увімкнена друга обмотка (мала швидкість);

- червоний індикатор «INSULATION» (Ізоляція), засвічується постійним світінням перед пуском у випадку недопустимо низького рівня ізоляції обмотки статора і/або підвідного кабелю (менше 500 кОм), а також під час роботи при спрацьовуванні за диференційним струмом. UBZ-301-01 блокується.

- червоний індикатор «FAILURE U» (Аварія U) – аварія за напругою мережі. Блимаючий режим при:

- недопустимому зниженні/підвищенні напруги, перекосі фаз за напругою мережі, неповнофазному режимі; при неправильному чергуванні або злипанні фаз – блимають по чергову всі три червоних індикатори; – червоний індикатор «OVERLOAD» (Перевантаження):

- блимаючий режим, швидке блимання – перевищення середнього фазного струму над номінальним за уставкою МСЗ. Після спрацьовування за МСЗ – постійне світіння;

- блимаючий режим, повільне блимання – перевищення середнього фазного струму над номінальним за тепловим захистом (за струмо-часовою характеристикою). Після спрацювання за тепловим захистом – світіння зі змінною яскравістю.

Типова схема приєднань UBZ-301-01 зображена на рисунку 3.5 [7].

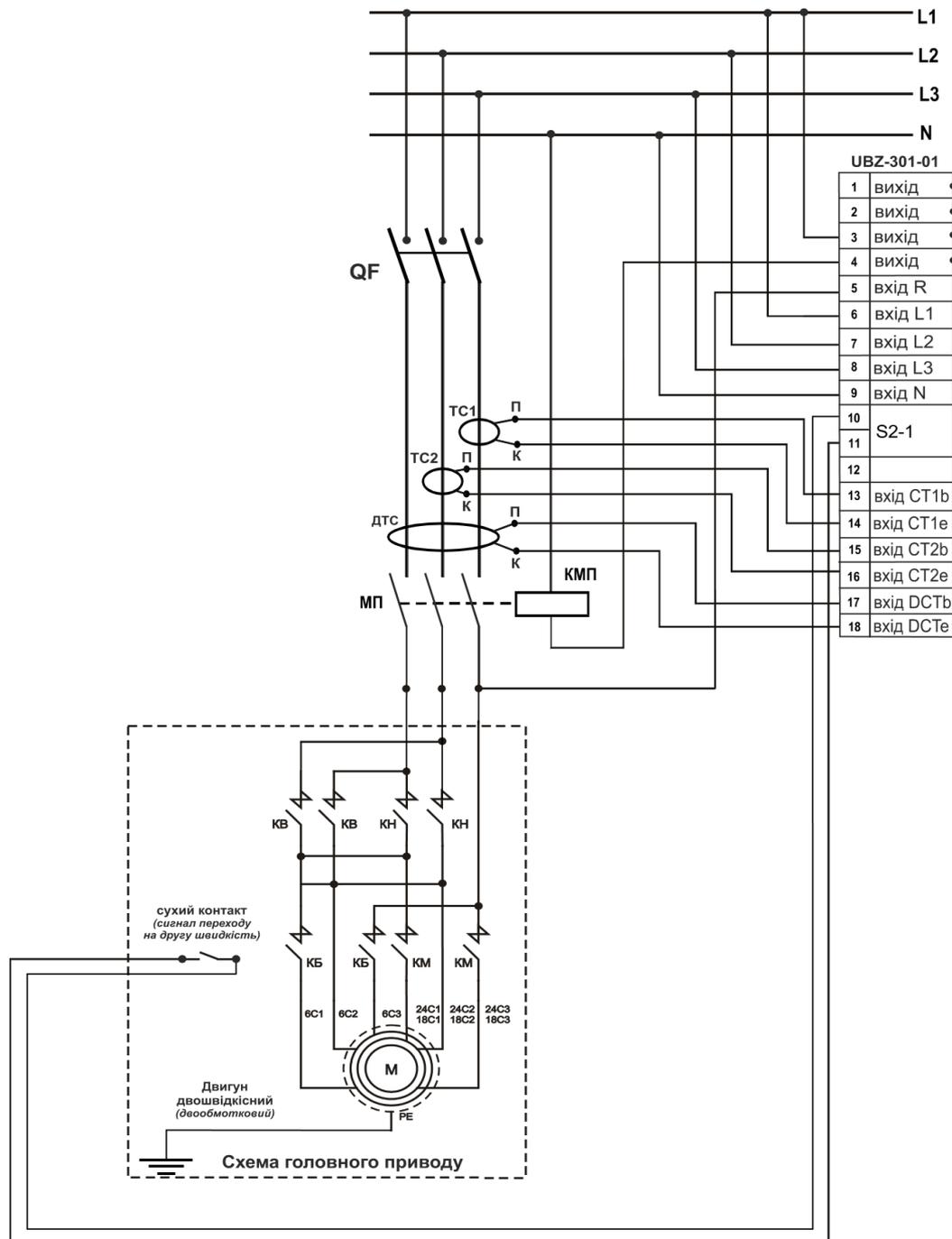


Рисунок 3.5 – Схема електричних приєднань UBZ-301-01 до двошвидкісного ЕД

На схемі приєднань позначено [7].: МП - магнітний пускач; КМП - котушка МП; ДТС - сенсор диференційного струму (диференційний трансформатор струму); ТС1 - фазний вимірювальний струмовий трансформатор 1; ТС2 - фазний вимірювальний струмовий трансформатор 2.

Після подання напруги на UBZ-301-01 перед увімкненням вихідного реле перевіряються [7]:

- рівень ізоляції обмотки статора на корпус. При опорі ізоляції нижче 500 ± 20 кОм навантаження не вмикається, постійно світиться червоний індикатор «INSULATION»;

- якість напруги мережі: повнофазність, симетричність, величина діючої лінійної напруги – при наявності будь-якого із забороняючих факторів навантаження не вмикається, червоний індикатор «FAILURE U» блимає;

- правильне чергування фаз, відсутність їх злипання – при наявності будь-якого з забороняючих факторів навантаження не вмикається, всі червоні індикатори по чергово блимають.

Якщо всі параметри в нормі, тоді через час $T_{on}(s)$ вмикається вихідне реле UBZ-301-01 (контакти 3-4 замикаються, 1-2- розмикаються) – спалахує зелений індикатор «LOAD». Якщо при цьому струми навантаження не з'явилися (менше 2% номіналу), вважається, що навантаження не увімкнене, контроль та прийняття рішення за якістю напруги та рівню ізоляції зберігається. У випадку, якщо у безструмову паузу з'явилися забороняючі фактори – вихідне реле UBZ-301-01 вимикається.

Після вмикання навантаження (появи струмів більше 2% номіналу) UBZ-301-01 здійснює контроль за напругою та струмам. Рішення на вимкнення навантаження приймається за наступними факторами [7]:

- перевищення діючого значення струму над номінальним – згідно уставок МСЗ та за струмо-часовою характеристикою; якщо перевантаження виникло за струмом, але діє витримка часу МСЗ, або тепловому захисту – червоний індикатор «OVERLOAD» блимає, навантаження не вимикається; якщо витримка часу за МСЗ закінчилась або струмове перевантаження

призвело до теплового – навантаження вимикається, червоний індикатор «OVERLOAD» постійно світиться; АПВ при МСЗ забороняється, при теплового захисті – дозволено, окрім положення «∞» ($T_{on(s)}$, рис.3.5);

- відносно значення зворотної послідовності струмів в два рази перевищує відносно значення зворотної послідовності напруг – навантаження вимикається, всі червоні індикатори постійно світяться, UBZ-301-01 блокується, АПВ забороняється. Для розблокування необхідно зняти напругу з UBZ-301-01. Припускається, що такий вид аварії пов'язаний із пошкодженням всередині двигуна;

- відносна зворотна послідовність струмів, що перевищує зворотну послідовність напруг менше, ніж в 2 рази- – навантаження вимикається, постійно світиться червоний індикатор «FAILURE U», АПВ дозволено, окрім положення «∞» ($T_{on(s)}$, рис. 3.5);

- відносно значення зворотної послідовності струмів менше подвійного відносного значення зворотної послідовності напруг – навантаження вимикається, блимає червоний індикатор «FAILURE U», АПВ дозволено, окрім положення «∞» ($T_{on(s)}$, рис.3.5);

- середнє значення струму менше $I_{мін}$. – навантаження вимикається, всі червоні індикатори одночасно блимають, UBZ-301-01 блокується, АПВ заборонено. Для розблокування – зняти напругу з виробу.

Перевірка на перегрів виконується у пристрої UBZ-301-01 опосередковано. Тобто параметр нагріву двигуна оцінюється теоретично за кривою нагріву і охолодження по виміряному струму і часу протікання. В процесі роботи вирішується рівняння теплового балансу двигуна [7]. Припускається, що до увімкнення двигун був холодним; при роботі двигуна виділяється тепло, пропорційне квадрату струму; після вимкнення двигуна йде його охолодження за експонентою.

У пристрій UBZ-301-01 закладено струмо-часову характеристику, яку зобразимо на рисунку 3.6 [7].

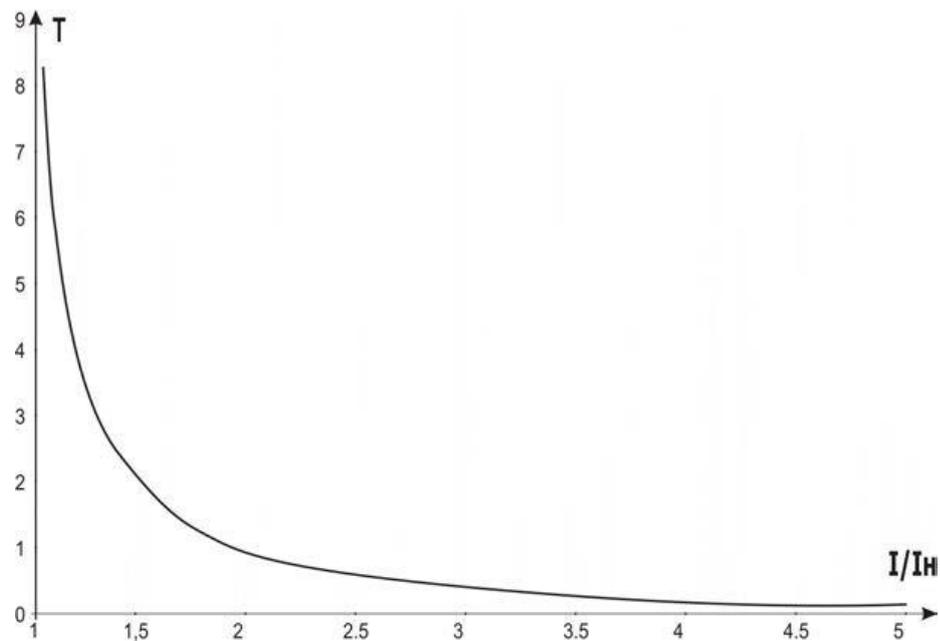


Рисунок 3.6 – Струмо-часова характеристика UBZ-301-01

На рисунку використано позначення: I/I_n – кратність струму відносно номінального; T – фактичний час спрацьовування.

Спрацьовування за тепловим перевантаженням (теплова модель електродвигуна) відбувається за фіксованою тепловою постійною двигуна, що відповідає часу вимкнення 60 секунд при роботі з двократним перевантаженням відносно більшого з номінальних струмів із холодного стану. Значення кратності струму і сталої часу нагріву та охолодження базової серії двигунів, отримані експериментальним шляхом, зведемо у таблицю 3.3 [7].

Таблиця 3.3 – Значення кратності струму і сталої часу нагріву та охолодження базової серії двигунів, отримані експериментальним шляхом

$I/I_{ном}$	1,1	1,2	1,4	1,7	2	2,7	3
T_c	365	247	148	88,6	60	36,4	24,6

$I/I_{ном}$	4	5	6	7	8	10	15
T_c	13,5	8,5	5,9	4,3	3,3	2,1	0,9

Після вимкнення навантаження за тепловим перевантаженням воно буде автоматично знову вмикатися. Якщо час $T_{on}=0$, тоді за тепловим гістерезисом двигун повинен охолонути на 33% від накопиченого тепла. Якщо T_{on} не дорівнює 0, до двигун повторно вмикається з часом T_{on} (уставка $T_{on}(s)$).

Підбираючи різні T_{on} з урахуванням теплового гістерезису, можна досягти обмеження кількості пусків в одиницю часу, так як при повторно-короткочасному режимі роботи UBZ-301-01 запам'ятовує кількість тепла, що виділяється під час пуску двигуна [7].

3.3.2 Розрахунок та вибір клемних затискачів

Термінальні затискачі у системи захисту повинні бути розраховані на струм споживача. Для розрахунків задамося параметрами ЕП:

- 1) максимальна потужність ЕД: $N_n = 30\text{кВт}$;
- 2) коефіцієнт потужності електропривода згідно рекомендацій щодо якості електропостачання: $\cos \varphi_n = 0,96$;
- 3) режим роботи – тривалий.

Струм трифазного ЕД 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 ЕД;

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

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

η_n - номінальне значення коефіцієнта корисної дії ЕД (прийmemo рівним $\eta_n = 0,92$).

Отримаємо розрахунковий струм:

$$I_r = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,96 \cdot 0,92} = 49 \text{ (A)}.$$

Затискачі для приєднання силових кабельних ліній виконуються зі сталевих, мідних або латунних шин, у які закручені гвинти. Оскільки сталь з перелічених матеріалів має найбільший питомий опір, розглянемо цей матеріал (якщо розрахунками підібрати переріз сталевих шин, то мідні чи латунні такого ж перерізу точно задовільнять умови вибору). Згідно Правил улаштування електроустановок ПУЕ-2017 таблиці 1.3.46 переріз сталевих шин має становити [8]: не менше 16x2,5мм. Обираємо клемні затискачі з розміром шин для приєднання кабелів – 15x3мм.

Зовнішній вигляд обраного клемного затискача подамо на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд клемного затискача на струм 50А

На рисунку видно, що обраний клемник складається з 10 клем, кожна з яких має два гвинтові затискачі з різьбою М5. Планується використати 5 клем для приєднання живлення (L1, L2, L3, PN, PE) від електромережі та 3 клем для приєднання ЕД (L11, L21, L31). Нульовий контакт двигуна в разі потреби, приєднується до РН-контакту клемного затискача мережі живлення.

Решта 3 контакти клемника використаємо для подачі живлення на котушку контактора (2шт) і отримання зворотного зв'язку про замикання контактора (відсутності залипання контактів).

3.3.3 Розрахунок і вибір силового автоматичного вимикача

Автоматичний вимикач (АВ) за визначенням забезпечує захист електрообладнання від струмів короткого замикання. Більшість АВ мають

розщиплювач теплового захисту, тому передбачають можливість захисту електрообладнання від струмів перегріву. Деякі автоматичні вимикачі облаштовуються додатковими контактами, незалежними розщиплювачами, органами налаштування стуму спрацювання. В нашому випадку обираємо звичайний щитовий (промисловий) автоматичний вимикач в литому суцільному корпусі без додаткових елементів з функцією захисту від струмів короткого замикання. Тепловий захист нам не потрібний, оскільки дану функцію реалізує пристрій захисту від аварійних режимів роботи.

Умова вибору автоматичного вимикача для електричних двигунів має вигляд:

$$I_{\text{avt}} \geq I_n, \quad (3.2)$$

$$I_{\text{avt.m}} \geq I_p, \quad (3.3)$$

де I_n - номінальний струм двигуна, прийємо його рівним розрахунковому;

$I_{\text{avt.m}}$ - максимальний струм АВ, який він вимкне без пошкодження, А;

I_p - пусковий струм ЕД, А.

Пусковий струм ЕД можна розрахувати для режиму прямого пуску, у якому струм асинхронного двигуна може мати перерегулювання величиною:

$$I_p = (5 \div 7) \cdot I_r. \quad (3.4)$$

Для максимального значення пускового струму отримаємо:

$$I_p = 7 \cdot I_r = 7 \cdot 49 = 343 \text{ (А)}.$$

Обираємо автоматичний вимикач ВА88-33 на струм $I_{\text{avt}} = 50\text{А}$, $I_{\text{avt.m}} = 10I_{\text{avt}}$. Оскільки $50\text{А} > 49\text{А}$, а максимальний струм автомата: $500\text{А} > 343\text{А}$, то обраний АВ задовільнятиме умовам вибору.

Зовнішній вигляд ВА88-33 подано на рисунку 3.8 [9].



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд ВА88-33

У роботі не виконується порівняння різних автоматичних вимикачів, оскільки до них в даному випадку не ставляться особливі вимоги. Крім того саме даний автоматичний вимикач був наявний в лабораторній базі катедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

3.3.4 Розрахунок та вибір автоматичного вимикача захисту кіл керування пристрою захисту

За технічними даними пристрою захисту ЕД від аварійних режимів роботи UBZ-301-01 споживана ним потужність в номінальному режимі становить 3Вт. Струм споживання при цій потужності буде складати міліампери. Тому автоматичний вимика обирається на мінімальний струм з поміж доступних варіантів.

Обираємо автоматичний вимикач АВВ С10 3р на струм $I_{\text{авт}} = 10\text{А}$, $I_{\text{авт.м}} = 7I_{\text{авт}}$. Обраний АВ задовільнятиме умові вибору, але не захищатиме обладнання від перегріву. Крім того, будь який АВ виконує функцію ручного

вимикання та вмикання споживача. Більше того, саме даний АВ складається з трьох незалежних полюсів і має розділені органи вмикання. Тобто, він дозволяє подавати живлення на окремі фази кіл вимірювання напруги. Це передбачає можливість перевірки працездатності пристрою захисту від несиметрії напруги чи обриву живлення тощо.

Зовнішній вигляд АВВ С10 3р подано на рисунку 3.9.

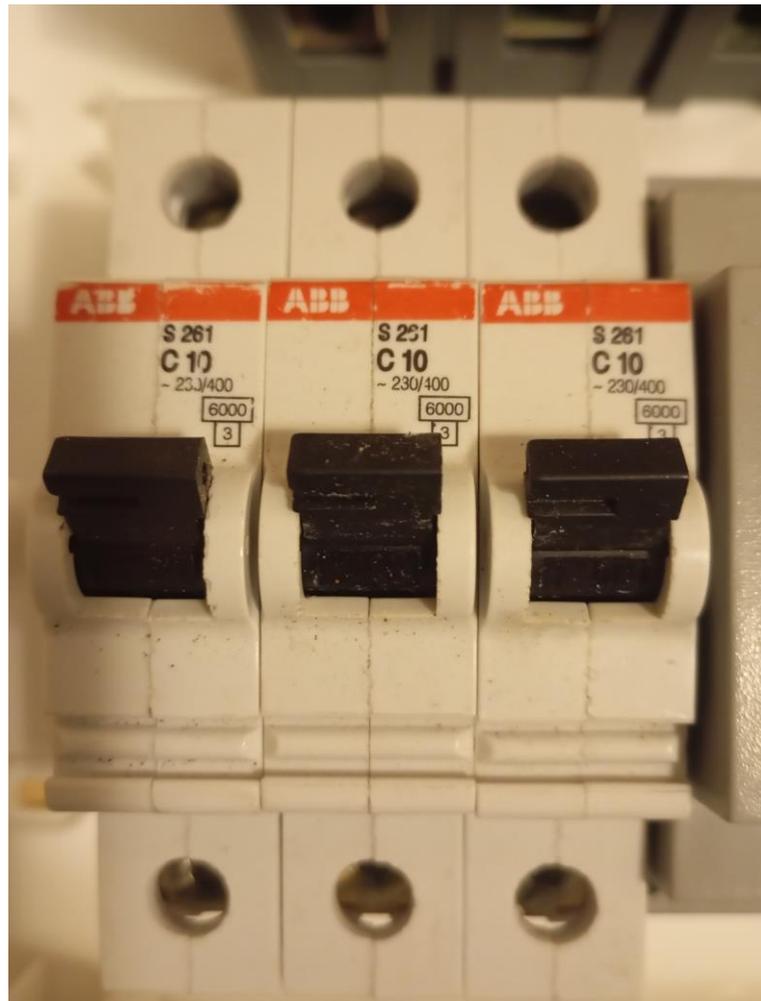


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд вимикача АВВ С10 3р

Так само, як при виборі силового АВ у роботі не виконується порівняння різних автоматичних вимикачів і так само даний автоматичний вимикач був наявний в лабораторній базі катедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

3.3.5 Розрахунок і вибір вимірювальних трансформаторів струму

Умова вибору трансформаторів струму має вигляд:

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

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

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

При відомому розрахунковому струмі споживача $I_r = 49$ (А), обираємо трансформатори струму з $I_{\text{ТС.n}} = 50$ А.

Зовнішній вигляд обраних трансформаторів струму подамо на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд обраних трансформаторів струму

На структурній схемі пристрою захисту ЕД від аврійних режимів роботи позначено два трансформатори струму у фазних провідниках і один трансформатор диференційного струму. На рисунку зображено трансформатори для фазних провідників.

Перевірка вимірювальних 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 ($I_{1TC,n} = 50A$).

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

$$k_{TC,L} = 50 / 5 = 10.$$

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:

$$I_{2\text{ТС.Л}} = \frac{I_{1\text{ТС.Г}}}{k_{\text{ТС.Л}}} = \frac{49}{10} = 4,9 \text{ (А)}. \quad (3.9)$$

Таким чином, перевірка вибраних трансформаторів струму буде мати вигляд:

$$4,9 \geq 0,4 \cdot 5 = 2 - \text{виконується.}$$

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

3.3.6 Розрахунок пристрою індикації наявності напруги

Оскільки пристрій захисту ЕД від аварійних режимів роботи має вбудовану в корпусі індикацію робочих та аварійних режимів, то додаткової сигнальної індикації не потрібно передбачати. Але так як на пристрій подається живлення по трьох фазах, а він сигналізує одним індикатором про наявність напруги і ще одним індикатором про аварію мережі живлення, то важко зрозуміти у якій саме фазі мережі живлення є проблема. Тому було прийнято рішення встановити додатково індикатор наявності напруги на лінії живлення пристрою.

Індикатори наявності напруги пропонуються практично усіма виробниками щитового обладнання. Обираються вони за величиною напруги живлення, родом струму та кольором свічення.

Обираємо комплектний індикатор напруги на три лампи напругою 230V змінного струму у кольорі позначення фазних проводів: жовтий, зелений, червоний.

Зовнішній вигляд індикатора напруги ETI SON H-3K подано на рисунку 3.11 [10].



Рисунок 3.11 – Зовнішній виклдя індикатора напруги ETI SON H-3K

Індикатор наявності напруги трьох фаз в одному корпусі ETI SON H-3K призначений для роботи в електричних колах змінного струму напругою 230V. Передбачає тривалий режим роботи і ступінь захисту IP20. Виробником обмежуються переріз проводів для підключення індикатора – 4мм².

3.3.7 Розрахунок та вибір кабелів живлення пристрою захисту

Для приєднання пристрою захисту використаємо мідний п'ятижильний кабель. Згідно ПУЕ-2017 таблиці 1.3.4 мінімальний переріз чотирижильного мідного кабеля у трубі на розрахунковий струм $I_r = 49$ становить 16мм.кв. Обираємо кабель ВВГнгд-5х16. Виконаємо перевірку обраного кабелю за перегрівом і падінням напруги.

Допустимий струм мідного трижильного кабеля в трубі перерізом 16 мм.кв. згідно таблиці 1.3.4 ПУЕ-2017, становить: $I_{доп} = 0,8 \cdot 70 = 56A$

(коефіцієнт «0,8» враховує пониження допустимого струму в кабелі при кількості жил, більшій за 3). Виконаємо перевірку на перегрів:

$$I_{\text{доп}} = 56\text{А} > 49 = I_{\text{г}} \text{ – виконується.} \quad (3.10)$$

Виконаємо перевірку обраного кабеля за падінням напруги.

Згідно ПУЕ-2017 допустиме падіння напруги в силових кабельних лініях становить: $\Delta u_{\text{доп}} = 5\%$, а для ліній освітлення – 3%.

Падіння напруги в трифазних кабельних лініях розраховується за формулою:

$$\Delta u = 1,73 \cdot I_{\text{г}} \cdot (R \cdot \cos\varphi \cdot L + X \cdot \sin\varphi \cdot L) / U_{\text{л}} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

де $I_{\text{г}}$ – розрахунковий струм навантаження, А;

R - активний опір одного метру провідника заданого перерізу, Ом;

X – індуктивний опір одного метру провідника заданого перерізу, Ом;

$\cos\varphi_{\text{н}}$ – коефіцієнт потужності споживача, $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,96$;

L – довжина лінії живлення, м;

$U_{\text{л}}$ - лінійна напруга живлення споживача, В.

Довжину лінії з врахуванням запасу на підключення кабелів приймемо рівною 10м.

Падіння напруги у кабельній лінії буде дорівнювати:

$$\Delta u = 1,73 \cdot 49 \cdot (0,0011 \cdot 0,8 \cdot 10 + 0,00033 \cdot 0,6 \cdot 10) / 380 \cdot 100\% = 0,22\%.$$

Отже, втрати напруги не перевищують 5%, тому кабель вибрано вірно.

Результати розрахунку зведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.4 – Розрахунок силового кабелю живлення генератора

Позначення	Переріз, мм.кв.	Матеріал жили	Довжина, м	Напруга, кВ	Потужність, кВт	Коефіцієнт потужності	Активний опір, Ом/м	Індуктивний опір, Ом/м	Струм, А	Втрати напруги, В	Втрати напруги, %
ПВС-5х	16	Мідь	10	0,4	30	0,960	0,0011	0,00033	45,11	0,89	0,22

Оскільки втрати напруги в кабельній лінії довжиною 10м не перевищують 5%, кабель живлення обрано вірно.

3.4 Електрична схема системи захисту

Клемну колодку, якою відбувається підключення пристрою до мережі живлення і електропривода доцільно буде розділити на електричній схемі на дві частини: частина, до якої приєднується кабель мережі живлення, і частина, до якої приєднується контактор з двигуном. Позначимо першу частину ХТ1.1, а другу – ХТ1.2. Насправді це одна клемна колодка в одному корпусі.

З внутрішнього боку пристрою захисту електропривода від аварійних режимів роботи до ХТ1.1 приєднується силовий автоматичний вимикач QF1 промислового виконання. Вихід автоматичного вимикача приєднується до клемних затискачів ХТ1.2 і одночасно до автоматичного вимикача QF2 кіл керування пристрою UBZ-301-01.

Силові провода після автоматичного вимикача QF1 до ХТ1.2 проходять через тороїдальні трансформатори струму ТА1, ТА2 та ТА3. Через трансформатор струму ТА1 проходить жила фази L3, а через трансформатор струму ТА2 – жила фази L2. Через вимірювальний трансформатор ТА3 проходить одночасно усі три фазні проводи.

Схема електрична принципова системи мікропроцесорного захисту електроприводів від аварійних режимів роботи зображена на рисунку 3.12.

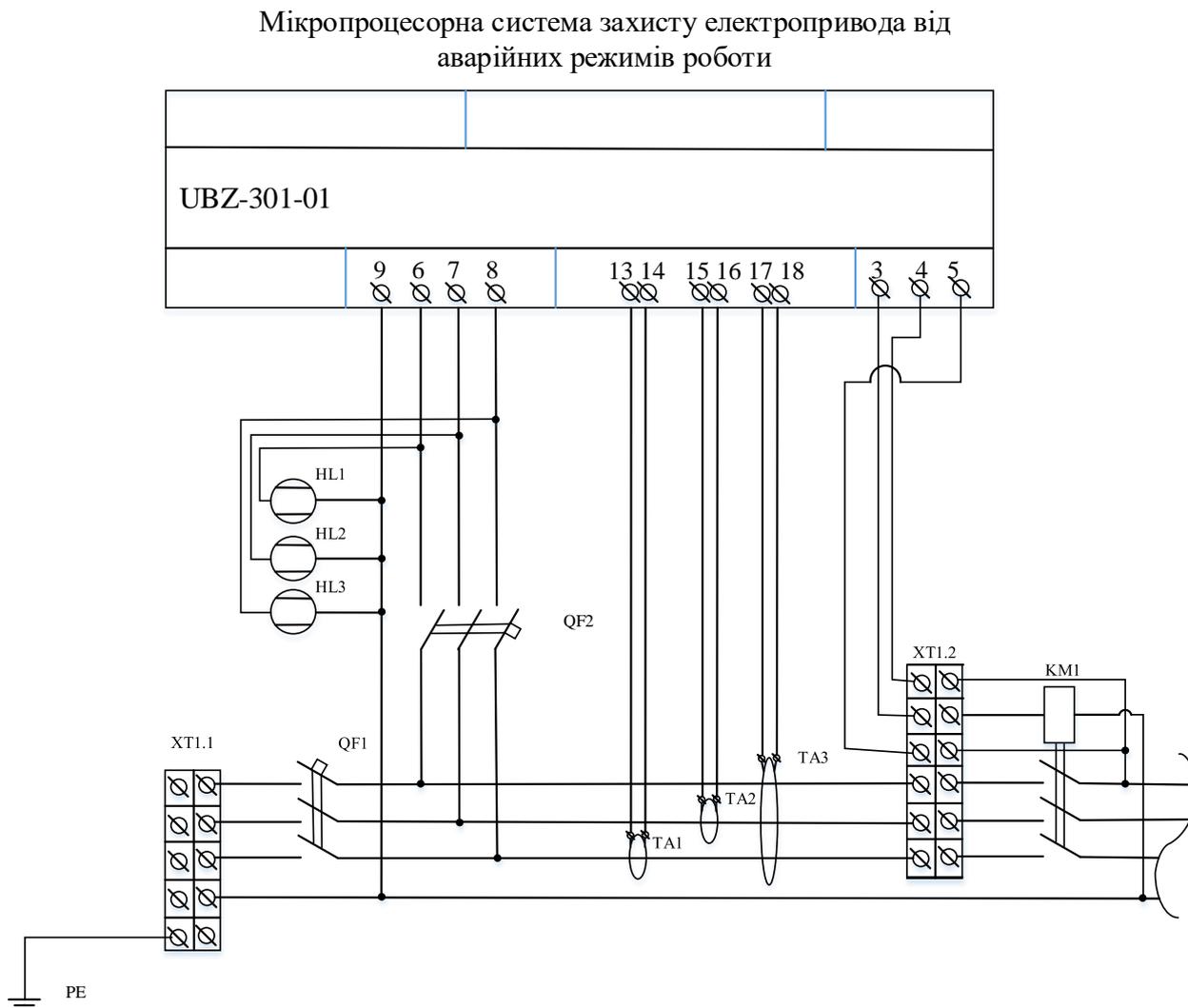


Рисунок 3.12 – Схема електрична принципова системи захисту від аварійних режимів роботи

Оскільки контактор КМ1, що виконує функцію вмикання та вимикання електропривода в аварійних ситуаціях, може мати великі габаритні розміри, живлення його котушки виноситься на зовні за межі корпусу системи захисту, а саме на клемник ХТ1.2. Додаково на клемник ХТ1.2 подається сигнал з виходу одного з силових контактів контактора, для сигналізації ситуації «залипання» контактів.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

Практична реалізація системи захисту параметрів мережі складається з наступних етапів:

- 1) підготовка і пристосування корпусу для монтажу системи захисту;
- 2) встановлення автоматичного вимикача подачі живлення на пристрій;
- 3) монтаж пристрою захисту UBZ-301-01 (5 – 50А) і приєднання провідників до всіх інформаційних виходів;
- 4) монтаж термінальних затискачів для приєднання силових електричних кабелів;
- 5) встановлення трансформаторів струму;
- 6) розключення кіл керування.

Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи захисту подано на рисунку 4.1.

На фотографії подано внутрішню частину пристрою з наповненням основними елементами. Корпус для системи захисту електропривода виконано з пластику ПВХ, що не підтримує горіння. Лицева панель корпусу виконана прозорою для забезпечення видимості стану індикаторів пристрою. Розмір корпусу: 300x250x100мм, ступінь захист IP32.

Особливістю реалізації системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи є те, що вона виконується в окремому корпусі, який можна змонтувати на стіні, щиті безпосередньо біля виконавчого механізму. Лицева панель корпусу виконується закритою для додаткового захисту від потрапляння механічних частин та прозорою для забезпечення з видимості стану індикаторів аварії. Крім того даний пристрій має бути уніфікованим універсальним вузлом, який підходить до великої кількості електроприводів (за потужністю) і який складається з типових блоків та монтується окремим блоком незалежно від електропривода.

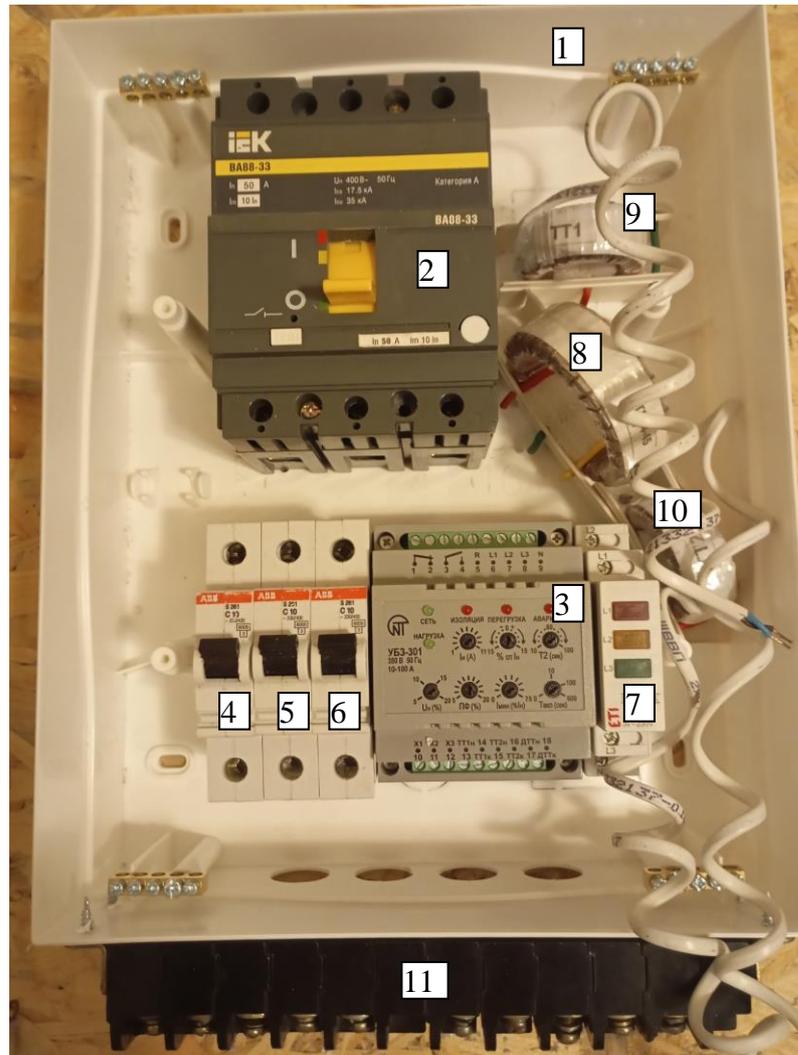


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи захисту

На рисунку позначено:

- 1 – пластиковий корпус розміром 300x250x100мм IP40 на 16 модулів прозорий полікарбонат з 4-ма шинами РЕ/Н на 6 отворів;
- 2 – автоматичний вимикач ввідний на струм 50А;
- 3 – універсальний блок захисту електродвигунів змінного струму до 50А з трьома трансформаторами струму 8–10 в комплекті;
- 4-6 – автоматичні вимикачі живлення фаз пристрою захисту;
- 7 – індикатор наявності напруги живлення на фазних входах пристрою захисту;
- 8 – трансформатор струму витoku на землю (в комплекті з пристроєм захисту UBZ-301-01);

9-10 – трансформатори фазних струмів живлення електропривода (2 шт. в комплекті з пристроєм захисту UBZ-301-01);

11 – клемна колодка для приєднання кабелів живлення та електропривода.

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

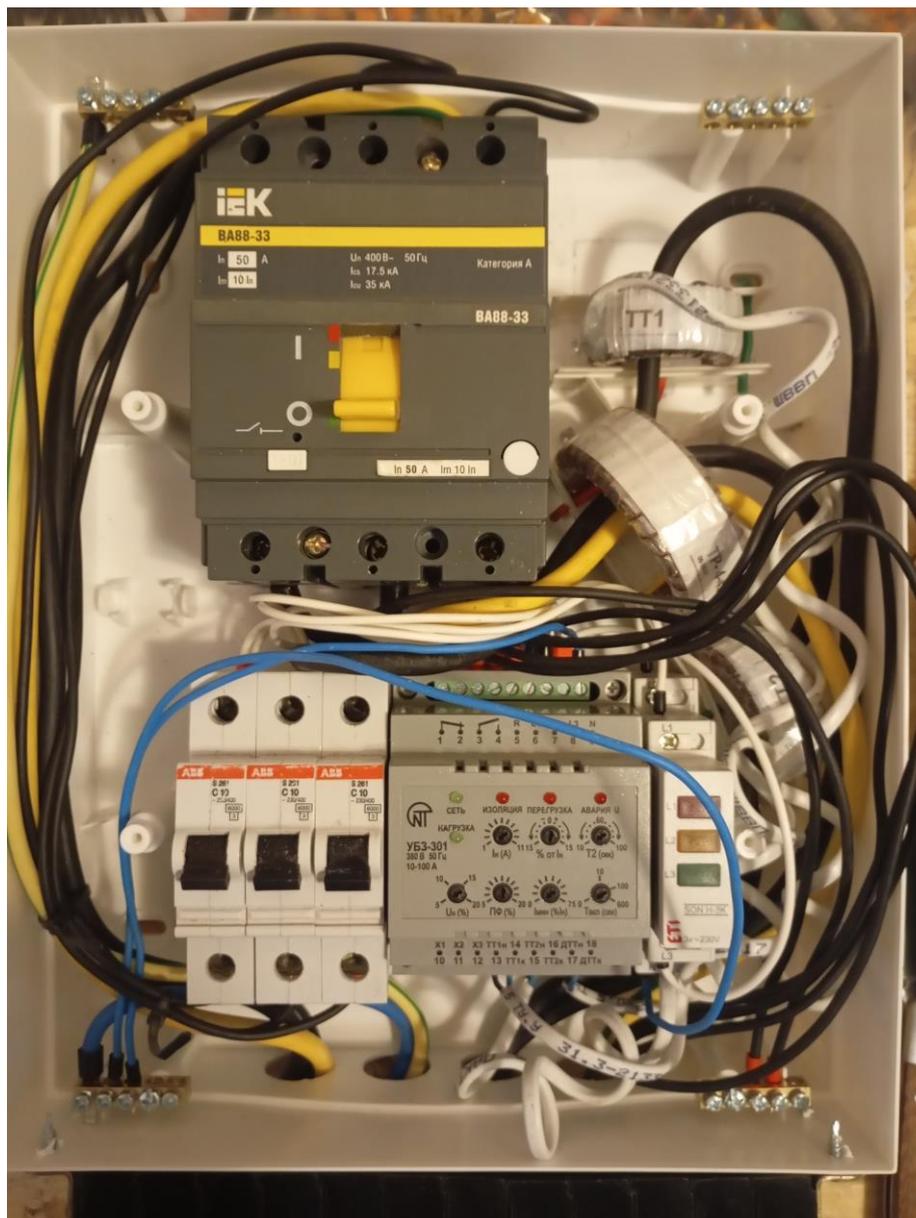


Рисунок 4.2 – Пристрій захисту з приєднаними провідниками

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

- чорним кольором провідників подається сигнали напруги AC230/400V;

- синім кольором подається живлення PN;

- білим кольором приєднуються кола керування пристрою.

Провідники для приєднання до вторинних обмоток трансформаторів струму виконано гнучкими кабелями ВВГнгд-2х1мм².

Пристрій UBZ-301-01 (5 – 50А) та автоматичний вимикач монтується на DIN-рейку, яка кріпиться з внутрішнього боку на задній стрінці корпусу. Трансформатори струму виконуються прохідними, тобто фазні провідники продіваються через трансформатори. Для забезпечення можливості безпечного транспортування пристрою трансформатори струму кріпляться у спеціальних тримачах, які виконано з ізоляційних магнітним матеріалів. Фотографія встановлення і кріплення трансформаторів струму зображено на рисунку 4.3.

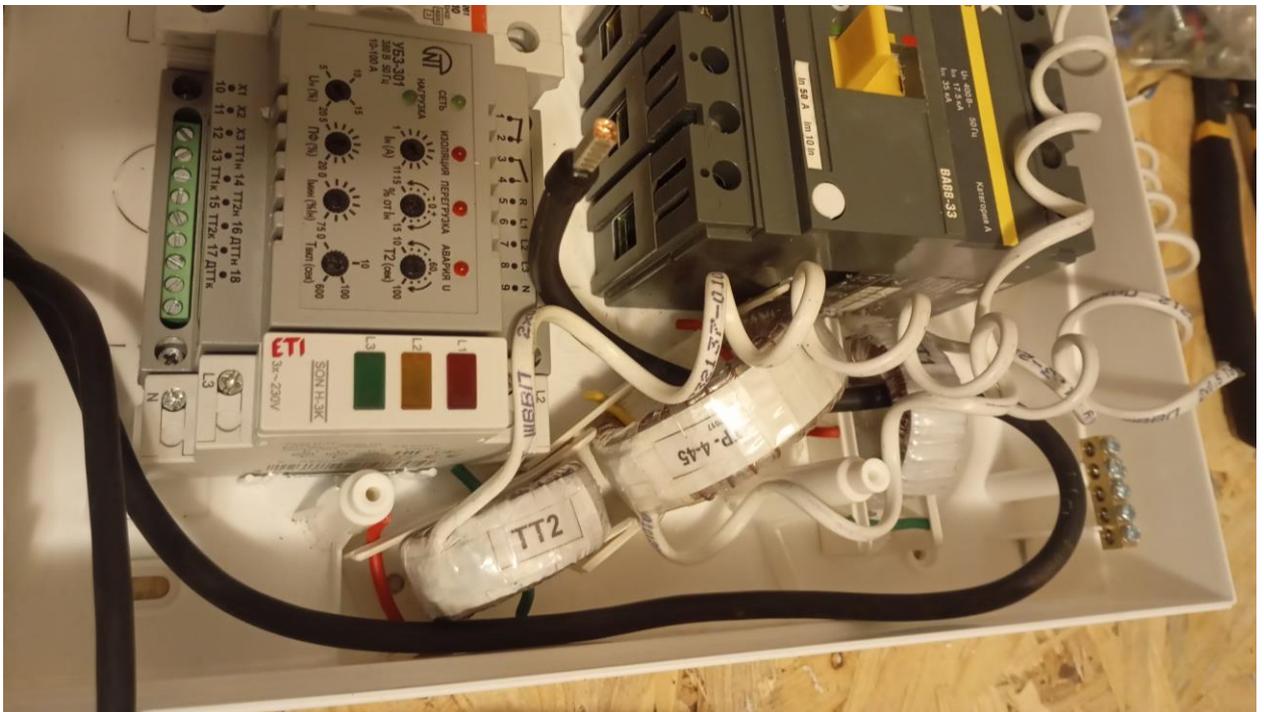


Рисунок 4.3 – Розташування та кріплення трансформаторів струму пристрою захисту

На рисунку видно, що трансформатори струму розміщуються довільно у обмеженому просторі корпусу пристрою захисту двигунів. Під час монтажу необхідно чітко дотримуватися напрямку проходження силового провідника та напрямку намотування вторинних витків. Всі фазні провідники мають співпадати з напрямком намотування витків вторинної обмотки. Якщо буде розбіжність у напрямках провідників, пристрій буде невірно обліковувати споживаний струм і постійно сигналізуватиме про аварійну ситуацію несиметрії живлення.

У нижній частині корпусу пристрою захисту встановлюємо клемну колодку для приєднання кабелів живлення і електропривода. Фотографія встановленого клемного затискача подана на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Встановлення клемної колодки для підключення кабелів

Клемна колодка складається з 11 секцій клемних затискачів, розділених ізоляційними перегородками. Затискачі розраховано на струм електропривода 50А. Одна секція колодки пуста для розділення частини приєднання кабеля живлення від частини колодки, до якої приєднується кабель електропривода.

Зовнішній вигляд проміжного етапу розключення проводів кіл керування пристрою захисту подано на рисунку 4.5.

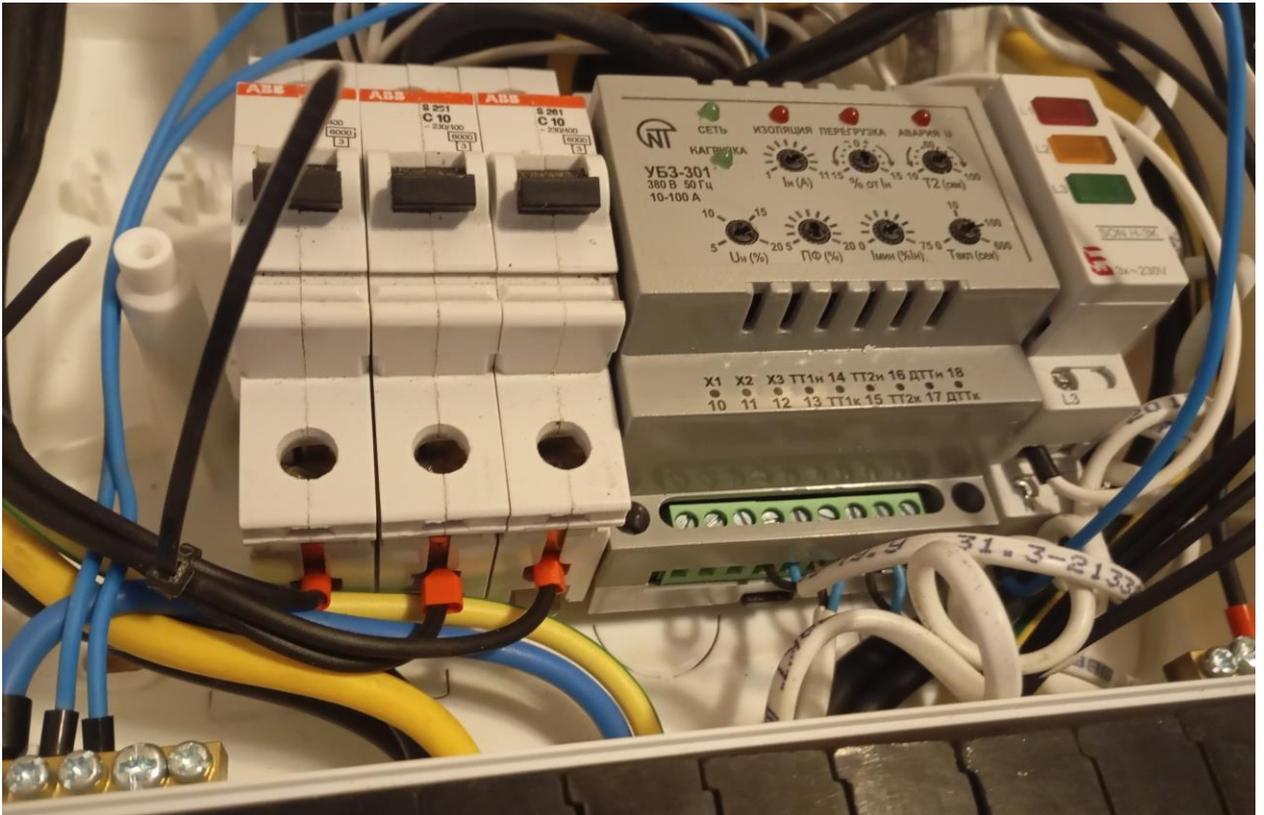


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд проміжного етапу розключення проводів кіл керування пристрою захисту

Зовнішній вигляд етапу розключення проводів живлення пристрою захисту подано на рисунку 4.6.

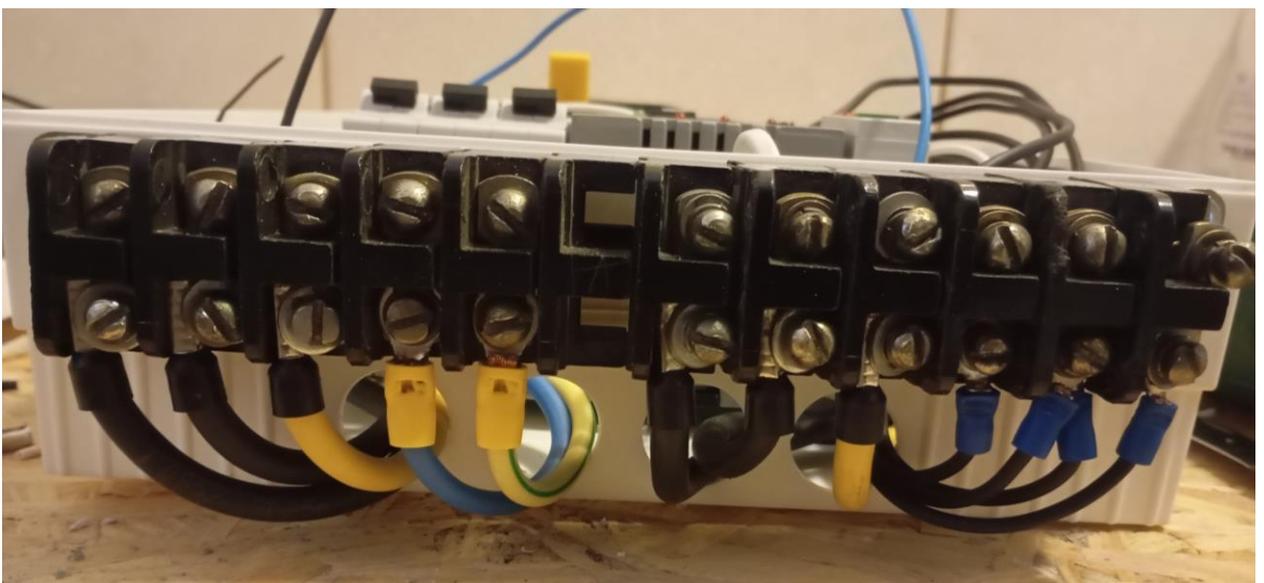


Рисунок 4.6 – Зовнішній вигляд етапу розключення проводів живлення пристрою захисту

На фототографіях процесу розключення проводів видно кольорове маркування фазних провідників, провідників кіл керування та підключення трансформаторів струму. Провода живлення пристрою виконуються з запасом перерізом мідної жили 16мм^2 . Нульовий захисний та робочий провідники виконано перерізом мідної жили 10мм^2 .

Всі з'єднання кабелів виконуються гвинтовими затискачами з попереднім обтисканням жил провідників штировими чи кільцевими накінецьниками відповідного перерізу.

Захисний провідник пристрою приєднується до корпусу пристрою і всіх металевих деталей, до яким можливий дотик людини. Для необхідного рівня безпеки обслуговуючого персоналу захисний провідник повинен мати зв'язок з зовнішнім контуром заземлення.

Зовнішній вигляд зібраного пристрою подано на рисунку 4.7.

На фотографії видно, що всі провідники погруповані у пучки і розташовані довкола основних елементів. Корпус пристрою захисту електропривода має вбудовані 4 шини на 5 отворів провідника до 6мм^2 . Одну шину використано для приєднання РЕ-клеми клемної колодки. Одну шину використано для приєднання РN-жили кабельної лінії. Ще одна шина використовується для улаштування точки відгалудження фазного провідника на клему R пристрою захисту. Одна шина корпусу залишається у резерві.

Зовнішній вигляд зібраної мікропроцесорної системи захисту електропривода від аварійний режимів роботи подано на рисунку 4.9.

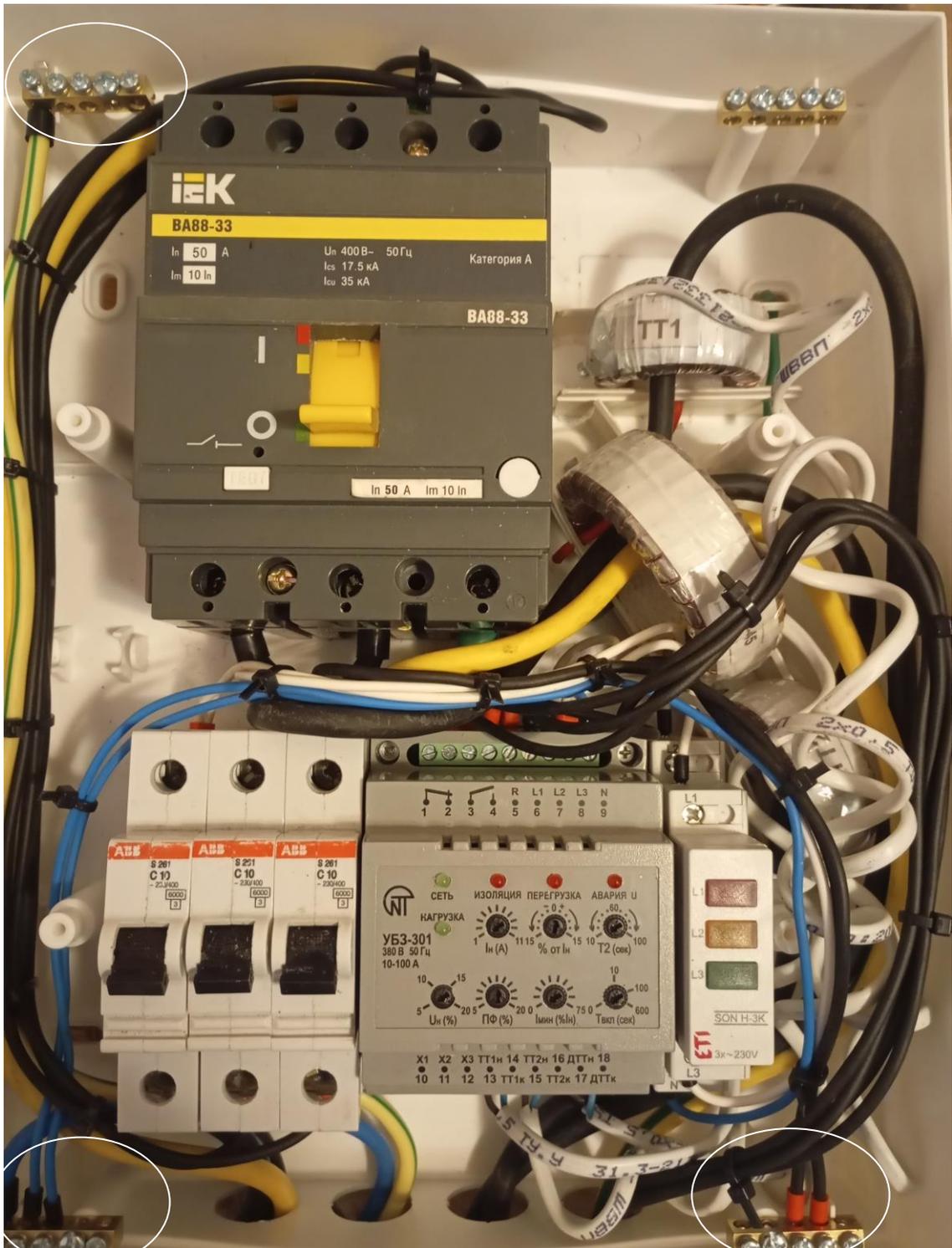


Рисунок 4.7 – Зовнішній вигляд зібраного пристрою системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд зібраної мікропроцесорної системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи має компактний розмір, може кріпитися на стіні чи горизонтальній поверхні всередині приміщень у місцях, захищених від прямих сонячних променів, опадів та низьких температур. Кабеля живлення пристрою та приєднання електроприводу, а також, провідник захисного заземлення приєднуються знизу пристрою на клемні гвинтові затискачі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний ефект від впровадження мікропроцесорної системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи можна розрахувати за методом приведених затрат [11-13]. Приведені затрати на реалізацію технічної пропозиції визначається за формулою:

$$З = С + E_n \cdot K, \quad (5.1)$$

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 захисту від аварійних режимів роботи електромеханічної системи використаємо звичайну релейно-контакторну систему з захистом електропривода автоматичним вимикачем і

тепловим реле. Автоматичний вимикач захищатиме і кабельну лінію, якою живиться електропривод і сам електропривод від коротких замикань в лінії чи двигуні, а теплове реле буде захитати від перевантаження двигуна. Автоматичний вимикач та контактор використовуватиметься і в базовому і в новому варіантах реалізації, то розглянемо лише теплове реле. Вартість теплового реле на струм 50А може складати 2720грн з ПДВ [14]. Зовнішній вигляд теплового реле компанії «ETI» подамо на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд теплового реле ETI RE67D

Автоматичний вимикач IEK BA88-32 50А вартує 2113грн [9]. Контактор IEK TNSy KMM35011 50А вартує 857грн [15]. Корпус електромонтажний зовнішнього виконання для монтажу всередині приміщень «LEZARD» на 16 модулів коштує 436грн [16].

Новий варіант системи керування побудуємо на розробленій мікропроцесорній системі захисту електропривода від аварійних режимів роботи UBZ-301-01 (5 – 50А). Вартість реалізації нового варіанту оцінимо по вартості самого пристрою захисту UBZ-301-01 (5 – 50А), яка на офіційному сайті зазначена як: 4615грн [5].

Для реалізації вимірювань електричних параметрів для нового варіанту необхідно передбачити використання існуючих трансформаторів струму на 50/5А та клемного затискача. Вартість клемних затискачів на струм до 80А виробництва ТОВ «PROMFACTOR» становить: 160грн з ПДВ [16].

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів наведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	нова
1	Автоматичний вимикач ВА 88-33 50А	1	1402,0	1402,0	1402,0
2	Пристрій захисту асинхронних від аварійних режимів роботи	1		2720,0	4615,0
3	Контактор	1		857,0	857,0
4	Клемник 80А	8	160	0,0	1280,0
5	Корпус	1	436,0	0,0	436,0
6	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)			249,0	429,5
7	Вартість обладнання			5228,0	9019,5
8	Транспортні витрати (7%)			366,0	631,4
9	Вартість всього			5593,9	9650,9
10	Монтажні роботи (10÷50%)			559,4	4825,4
11	Капітальні вкладення всього			6153,3	14476,3

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

трансформаторів струму, приєднанням силових проводів, розключенням кіл керування тощо.

З таблиці видно, що капіталовкладення для базового варіанту реалізації становлять $K_b = 6153,3$ грн, а для нового – $K_n = 14476,3$ грн.

5.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати

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

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

$$ТС = K \cdot ТС_1 \quad (5.4)$$

де K – тарифний коефіцієнт.

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

Отримаємо:

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

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

Річна заробітна плата кожного працівника складає:

$$З_p = ТС \cdot 12, \quad (5.5)$$

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

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

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$П_n = \frac{З_p \cdot Н_n}{100}, \quad (5.6)$$

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

Отримаємо:

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

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

Всього заробітна плата складає:

$$З_n = З_p + П_n; \quad (5.7)$$

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

$$З_{n.i} = 217920 + 21792 = 239712 \text{ (грн)}.$$

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

$$П_{np} = \frac{З_n \cdot К_n}{100}, \quad (5.8)$$

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

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

Всього повна заробітна плата за рік складає :

$$Z_{\text{пов}} = Z_{\text{п}} + \Pi_{\text{пр}}; \quad (5.9)$$

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

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

Загальний фонд оплати праці складе:

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

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

5.3 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати в більшій мірі визначаються вартістю електричної енергії, яка споживається електроприводом. Припустимо електропривод, який захищається пристроєм, працює в тривалому режимі протягом 8 годин на добу з коефіцієнтом завантаження 0,5. Знайдемо вартість електроенергії за рік за формулою:

$$C_{\text{д}} = \Delta W_{\Sigma} \cdot c, \quad (5.11)$$

де $\Delta W_{\Sigma\text{дв}}$ – 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:

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = (P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{ном}}) \cdot k_{\text{з}} \cdot \Phi_{\text{д}} \quad (5.12)$$

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

$\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати електроенергії через роботу в аварійних режимах;

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

Φ_d – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

В аварійних режимах роботи виникають випадки перевантаження, несиметрії напруги, відсутності фаз, замикання на корпус чи міжфазне. Все це буде призводити до погіршення ефективності виконання електроприводом корисної роботи. Якщо припустити, що погіршення ефективності роботи електропривода в результаті настання аварійної ситуації буде становити 10% від повної потужності, то втрати спожитої електроенергії в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{ном}} = 0,1 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (5.13)$$

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

0,1 – номінальний ККД вимірювальної системи.

Будемо вважати, що ефективність погіршується у базовому варіанті, а у новому вона не змінюється. Отримаємо наступні значення потужності втрат базового і нового варіанту системи:

$$\Delta P_{\text{ном.б}} = 0,1 \cdot 30 = 3 \text{ (кВт)}, \quad (5.14)$$

$$\Delta P_{\text{ном.н}} = 0 \text{ (кВт)}. \quad (5.15)$$

Дійсний фонд часу роботи електромеханічної системи за рік:

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

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

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 365$ днів);

$Z_{p.z.}$ – кількість робочих змін ($Z_{p.z.} = 2$);

$t_{p.z.}$ – тривалість робочої зміни ($t_{p.z.} = 8$ год),

$$\Phi_d = 365 \cdot 2 \cdot 8 = 5840 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарна кількість електроенергії для базового та нового варіанту дорівнюватимуть:

$$\Delta W_{\Sigma_{дв.б}} = (30 + 30 \cdot 0,1) \cdot 0,5 \cdot 2000 = 33000 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)};$$

$$\Delta W_{\Sigma_{дв.н}} = 30 \cdot 0,5 \cdot 2000 = 30000 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Затрати на електроенергію для базового і нового варіантів електропривода:

$$Z_{вт.б} = 33000 \cdot 10 = 330000 \text{ (грн)},$$

$$Z_{вт.н} = 30000 \cdot 10 = 300000 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$Z_a = K \cdot A, \tag{5.17}$$

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

Отримаємо:

$$Z_{аб} = 6153,3 \cdot 0,1 = 615,33 \text{ (грн/рік)},$$

$$Z_{ан} = 14487,3 \cdot 0,1 = 1448,73 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування нового варіанту технічної системи приймаємо рівними 2,5% від вартості капітальних затрат, а для базового варіанту -10%. Отримаємо:

$$\begin{aligned} Z_p &= (0,025 \div 0,13) \cdot K; & (5.18) \\ Z_{pb} &= 6153,3 \cdot 0,10 = 615,33 \text{ (грн/рік).}; \\ Z_{pn} &= 14487,3 \cdot 0,025 = 361,9 \text{ (грн/рік).} \end{aligned}$$

Витрати на допоміжні матеріали для нового варіанту приймемо – 13% від фонду оплати праці. Для старого будемо рахувати такі витрати відсутніми, оскільки старий варіант системи захисту реалізується на інсуючій елементній базі. Отримаємо:

$$\begin{aligned} Z_{mb} &= (0 \div 0,13) \cdot \Phi; & (5.19) \\ Z_{mb} &= 0 \cdot 418968 = 0 \text{ (грн/рік);} \\ Z_{mn} &= 0,13 \cdot 418968 = 54466 \text{ (грн/рік).} \end{aligned}$$

Річні експлуатаційні затрати разом:

$$\begin{aligned} Z_e &= Z_{вт} + Z_a + Z_p + Z_m + \Phi, & (5.20) \\ Z_{eб} &= 330000 + 615,33 + 615,33 + 0 + 418968 = \\ &= 750199 \text{ (грн/рік);} \\ Z_{eн} &= 300000 + 1447,63 + 361,9 + 54466 + 418968 = \\ &= 775243 \text{ (грн/рік).} \end{aligned}$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$Z_{e\Phi} = Z_{eб} - Z_{eн}, \quad (5.21)$$

$$Z_{\text{ЕФ}} = 775243 - 750199 = 25045 \text{ (грн)}.$$

Якщо врахувати обсяг капітальних затрат, то можна оцінити термін, за який запропоноване рішення окупиться у загальних матеріальних вкладеннях з базовим варіантом. Розрахуємо термін окупності обладнання [11]:

$$T_{\text{ЗР}} = \frac{K_{\text{Н}} - K_{\text{Б}}}{Z_{\text{ЕФ}}}, \quad (5.22)$$

$$T_{\text{ЗР}} = \frac{14476 - 6153}{25045} = 0,33 \text{ (роки)}.$$

Така тривалість вказує на те, що через 0,33 роки запропонований у роботі пристрій окупить всі капітальні вкладення на його реалізацію. Слід зазначити, що він розрахований, виходячи з того, що запропонована система буде працювати цілий рік протягом однієї зміни з тривалістю увімкнення 100%. В реальності тривалість роботи може бути меншою, що призведе до збільшення терміну окупності. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване у роботі рішення до побудови систем захисту електропривода від аварійних режимів роботи дозволяє отримати позитивний ефект після року експлуатації. Річний економічний ефект в такому випадку буде дорівнювати:

$$EE = (Z_{\text{ЕБ}} - Z_{\text{ЕН}}) - E_{\text{Н}} \cdot (K_{\text{Б}} - K_{\text{Н}}), \quad (5.23)$$

$$EE = (775243 - 750199) - 0,2 \cdot (14476 - 6153) = 26709 \text{ (грн)}.$$

Тобто кожен рік експлуатації запропонованої системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи дозволяє отримувати ефект 26709 грн. Починаючи від 4-х місяців експлуатації всі вкладення на реалізацію захисту будуть себе викуповувати.

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 захисту від аварійних режимів роботи електромеханічної системи автоматизації. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що виконує дослідження визначені за Гігієнічною класифікацією [19-23].

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 можливі 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 [21-22]: 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 [23] 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 [23], 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 [22] 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» [23]. 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 [23]. 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 терміналу, 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» [19].

Важкість праці визначається за дод. 15 [19], 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 [19], 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 військовий дій, 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, $D_{доп}(P)$, або поняттям граничного рівня радіації, $P_{гр}(P/год)$, при яких система буде працювати стабільно.

Для цього, потрібно дослідити, які граничні допустимі дози опромінення, $D_{гр}$, 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		$D_{гр,i}, P$	$D_{гр}, P$
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 захисту 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

У роботі зроблено аналіз методів виявлення аварійних режимів роботи електричних двигунів змінного струму; сформульовано розвиток підходу до побудови системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи; розроблено структуру пристрою захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який дозволить виконувати аналіз параметрів живлення та формувати керуючу дію на вимкнення живлення двигуна; вибрано елементну базу та зібрано пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи. Отримав подальший розвиток підхід до аналізу аварійних ситуацій в електромеханічній системі, який на відміну від відомих, дозволяє реалізувати всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи. Отримав подальший розвиток підхід до захисту електропривода від перегріву, який на відміну від відомих дозволяє оцінювати параметр перегріву по значеннях струму двигуна обираючи різні сталі часу, що спрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

Розроблено пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який поєднує всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи.

Розроблено алгоритм роботи системи захисту електропривода змінного струму від аварійних режимів роботи, який відтворює всі основні функції захисту електропривода без використання дорогих і складних у налаштуванні та заводостійності зворотних зв'язків, що спрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. 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.
3. ДСТУ ГОСТ 32144:2019 (ГОСТ 32144-2013, IDT). Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення [Текст]. - 2019. - 31 с.
4. Сайт компанії ТОВ «НПВ-РУДПРОМАВТОМАТИКА». Каталог продукції / Блоки захисту та управління (БЗУ) для високовольтного та низьковольтного обладнання / Блок захисту та управління типу БЗУ-2-10-Т. Посилання: <https://nra.ua/katalog-produkcziyi/bloky-zahystu-bzu/blok-zahystu-ta-upravlinnya-typu-bzu-2-10-t/>.
5. Сайт компанії ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО». Продукція > Захист асинхронних електродвигунів > Універсальний блок захисту електродвигунів UBZ-301-01 (5 – 50А). URL: <https://novatek-electro.com/ua/electric-motor-protection-unit-ubz-301-01-5-50-a/> (дата звернення: 01.11.2025р).
6. Сайт компанії «E.NEXT». Каталог продукції / Пристрої контролю та управління / Реле захисту двигуна М / Motor protection relay e.control.m02, 40-200А. Посилання:
https://enext.ua/catalog/rele_zakhistu_dviguna_m/rele_zakhistu_dviguna_e_control_m02_40_200a/.
7. Універсальний блок захисту електродвигунів UBZ-301-01 (5 – 50А): керівництво з експлуатації (паспорт). ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна. 8с. URL:

electro.com/media/brander_product_attachmentscustom/u/b/ubz-301-01_ua_5-50a.pdf.

8. Правила улаштування електроустановок. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України (Наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476), Київ. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#n14>.

9. Сай компанії ТОВ «АХІОМPLUS». Головна > Низьковольтне обладнання > Автомати > ІЕК > Автомат електричний ІЕК ВА88-33 3Р 50А 35кА. URL: <https://axiomplus.com.ua/ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/product-33275/?srsltid=AfmBOopABKtEMChc45VzCNi7btdN2S623eBBxMnpF6bwxOek5tGeKbvk> (дата звернення: 01.11.2025р).

10. Сай компанії ЕТІ. Продукція > Пристрої автоматизації, сигналізації та контролю > Індикатор SON Н-3К. Посилання: <https://www.eti.ua/produktsiya-ua/002471553> (дата звернення: 01.11.2025р).

11. Кавецький В.В., Причепя І.В., Нікіфорова Л.О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2016. 137 с.

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

13. 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

14. Сайт компанії «ЕТІОПТ». Для електродвигунів > Силові контактори > Теплове реле RE 67.1D-50. Режим доступу: https://eti-opt.com.ua/teplove-rele-re-67.1d-50-32-50a/?srsltid=AfmBOoqMpGD_uW9NczLGQIB8VANd7ZgSoXWjA0nGOiB8wWPENJCR4BY. Дата звернення: 2025.12.01.

15. Сай компанії ТОВ «АХІОМPLUS». Головна > Низьковольтне обладнання > Контактори > ІЕК > Контактор TNSy KMM35011 50A 230/АС3 1NO+1NC. URL: <https://axiomplus.com.ua/ua/kontaktery/product-138340/> (дата звернення: 01.12.2025р).

16. Сай компанії ТОВ «КАПРО». Головна > Шафи, бокси та комплектуючі > Щити освітлення > Бокс для зовнішньої установки 16 модулів Lezard 730-2000-016. URL: https://kapro.ua/ua/boks_dlya_naruzhnoy_ustanovki_16_moduley_lezard_730-2000-016 (дата звернення: 01.12.2025р).

17. Сай компанії ТОВ «PROMFACTOR». Низьковольтне обладнання > Продукція > Вироби і матеріали для електромонтажу > Розподільчі клемні блоки DTB > Розподільчий клемний блок DTB080 80A (7 контактів). URL: <https://promfactor.com/product/dtb080> (дата звернення: 01.12.2025р).

18. 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>.

19. 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.

20. 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->

21. 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.

22. 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.

23. 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 2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД
АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ**

08-24.МКР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доцент

Микола МОШНОРИЗ

“21” 10 2025 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-24м

Ілля БРІГІЛЕВИЧ

“21” 10 2025 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ».

Скорочене найменування розробки – «Пристрій захисту електродвигуна змінного струму».

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 захисту електропривода від аварійних режимів роботи призначена для застосування при підключенні індивідуальних електроприводів потужністю до 30кВт. Система може працювати з електроприводами довільних технологічних процесів за умови дотримання ступеню кліматичного виконання УХЛ та IP30.

4 Вимоги до розробки

Номінальна потужність електромеханічної системи – 30кВт; напруга живлення електромеханічної системи – АС400/230В; тривалість роботи – 2 зміни по 8 год. протягом 365 днів на рік; тривалість увімкнення – 100%; коефіцієнт завантаження – 0,5; коефіцієнт потужності електропривода – 0,96; коефіцієнт корисної дії електродвигуна змінного струму – 0,92.

5 Комплектація розробки

Мікропроцесорна система захисту електропривода від аварійних режимів роботи виконана у пластиковому корпусі. Ззовні корпусу знаходиться клемна колодка для приєднання кабелів та лінії живлення контактора. Лицеву панель корпусу виконано прозорою для забезпечення видимості індикації про аварійну ситуацію. Всі інші елементи системи, а саме, автоматичні вимикачі, мікропроцесорний пристрій захисту, індикатори,

трансформатори струму, знаходяться всередині корпусу. Ззовні корпусу встановлюється контактор або використовується існуючий контактор електричного двигуна.

6 Технічні характеристики

Номінальна потужність пристрою – 30кВт. Номінальний струм – 50А. Режим роботи – тривалий при розрахунковому коефіцієнті завантаження 0,5 і тривалості увімкнення – 100%. Габаритні розміри: 250x200x100мм. Спосіб кріплення пристрою: на стіні анкерами або на бокових стінках шаф гвинтами.

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. Універсальний блок захисту електродвигунів UBZ-301-01 (5 – 50А): керівництво з експлуатації (паспорт). ТОВ «НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО» м. Одеса Україна. 8с. URL: https://novatek-electro.com/media/brander_product_attachmentscustom/u/b/ubz-301-01_ua_5-50a.pdf.

8 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

9 Конструктивне виконання

Пристрій захисту виготовляється одним блоком кліматичного виконання УХЛІ та ступеню захисту IP30. Монтаж пристрою передбачається на вертикальні основи на висоті 1,3-1,6м від рівня підлоги.

10 Показники технологічності

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

Передбачити можливість приєднання пристрою до заземлюючого провідника або контуру заземлення. Корпус пристрою виконано з ізоляційних матеріалів, але є елементи кріплення, які можуть містити небезпеку для ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу.

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 відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення пристрою

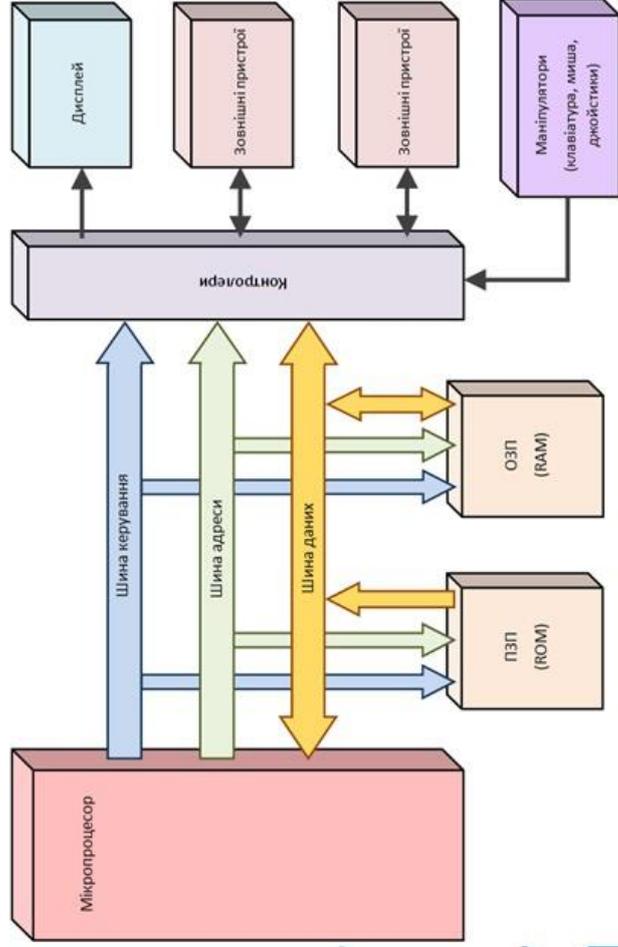
Живлення мікропроцесорної системи захисту електропривода виконується від чотирипровідної мережі TN-C-S 0,4кВ частотою 50Гц.

Додаток Б

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ

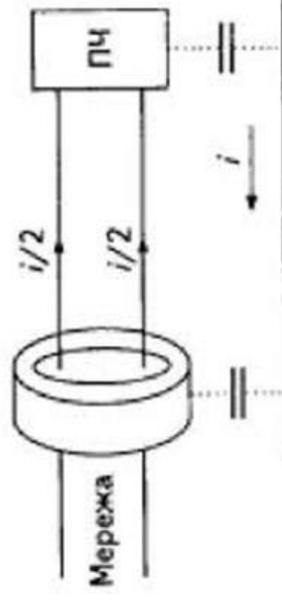
**МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ВІД АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ**

Загальні відомості

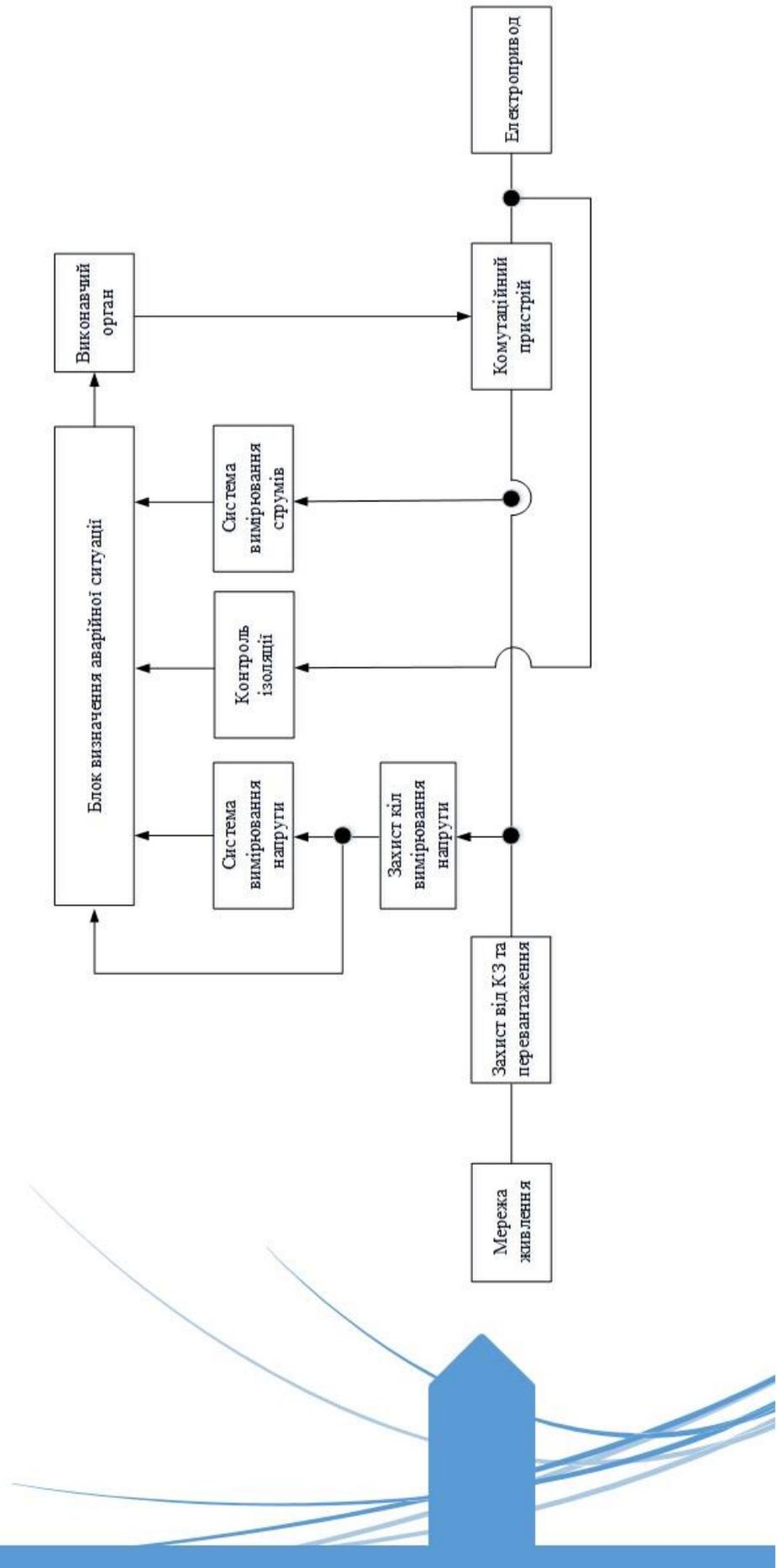


Загальна структура

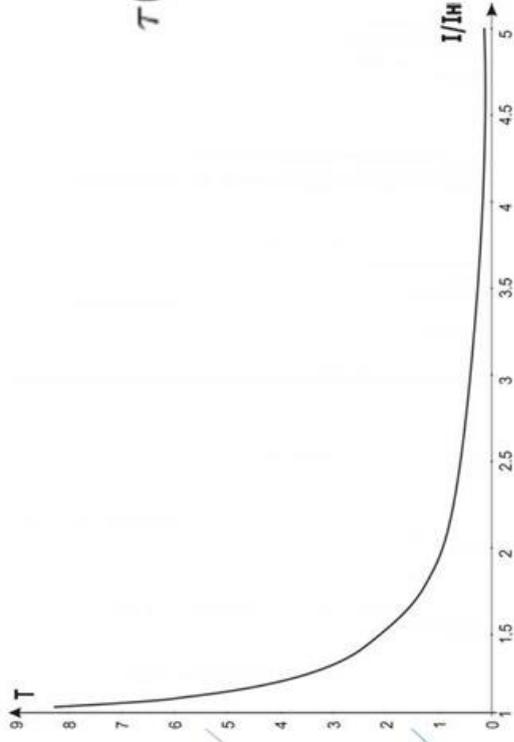
Принцип діагностування



Функціональна схема



Тепловий захист



Струмо-часова характеристика

$$\tau(t) = \tau_{уст} \cdot (1 - e^{-t/T_{нагр}}) + \tau_{поч} \cdot e^{-t/T_{нагр}}$$

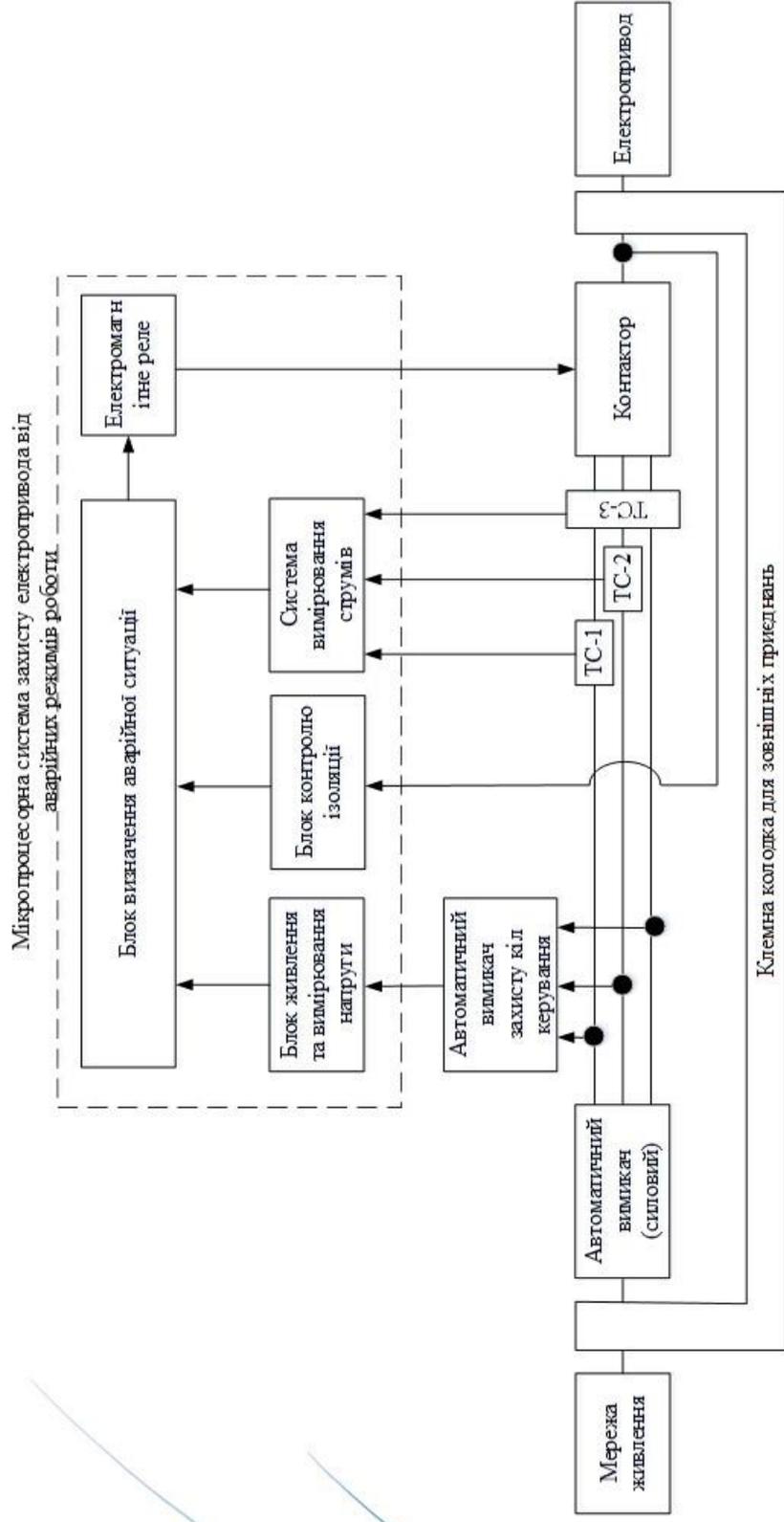
Рівняння визначення температури двигуна
опосередкованим способом

Значення кратності струму і сталої часу нагріву та охолодження базової
серії двигунів, отримані експериментальним шляхом

I/In _{ном}	1.1	1.2	1.4	1.7	2	2.7	3
Tс	365	247	148	88,6	60	36,4	24,6

I/In _{ном}	4	5	6	7	8	10	15
Tс	13,5	8,5	5,9	4,3	3,3	2,1	0,9

Структурна схема мікропроцесорної системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи



Вибір елементної бази

Порівняльна характеристика пристроїв захисту електроприймола від аварійних режимів роботи

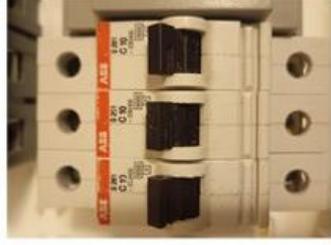
Назва пристрою	Фото пристрою	Переваги	Недоліки
БЗУ-2-10-Т		<ol style="list-style-type: none"> Інтеграція в автоматичного комерційного обліку. Можливість віддаленого моніторингу та керування. Вітчизняне виробництво. Точність вимірювання. 	<ol style="list-style-type: none"> Ціна вище 30тис.грн. Призначений в основному для мереж високовольтних 6-10кВ. Необхідність придбання додатково вимірювальних трансформаторів струму та напруги в разі потреби.
UBZ-301-01 (5-50А)		<ol style="list-style-type: none"> Можливість контролю специфічних параметрів електроприймача таких як опір ізоляції обмоток, перегрів тощо. Ціна 4615грн. Вітчизняне виробництво. Точність вимірювання. В комплекті трансформатори струму того ж типу. 	<ol style="list-style-type: none"> Неможливість віддаленого моніторингу параметрів та керування електроприймачом. Відсутність сертифікації для реалізації захисних функцій комерційного обліку.
ECON TROL M02		<ol style="list-style-type: none"> Ціна до 2000грн. Компактність. 	<ol style="list-style-type: none"> Неможливість моніторингу та керування. Суттєво обмежений функціонал замість.



Зовнішній вигляд клемного затискача на струм 50 А



Зовнішній вигляд ВА88-33



Зовнішній вигляд автомата ABB C10 Ф



Зовнішній вигляд обраних трансформаторів струму



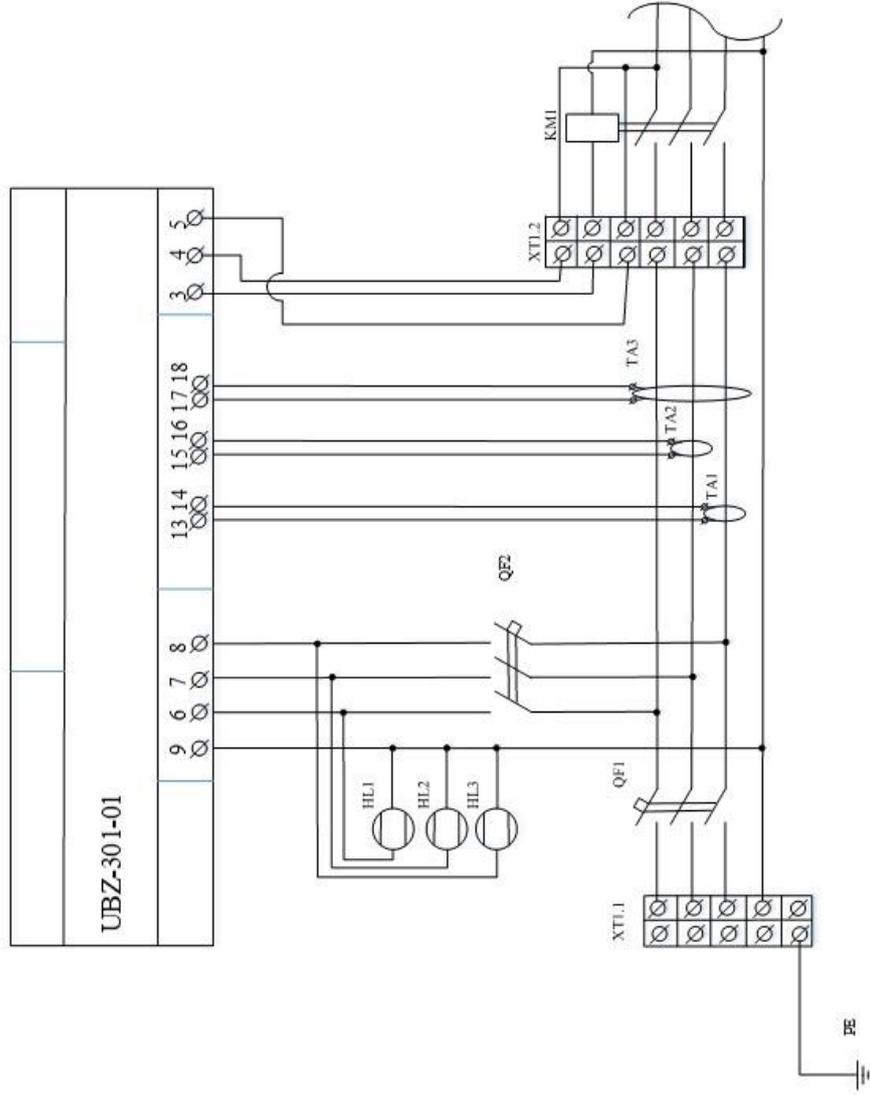
Зовнішній вигляд трансформатора струму ETISON H-1K

Розрахунок силового кабелю живлення генератора

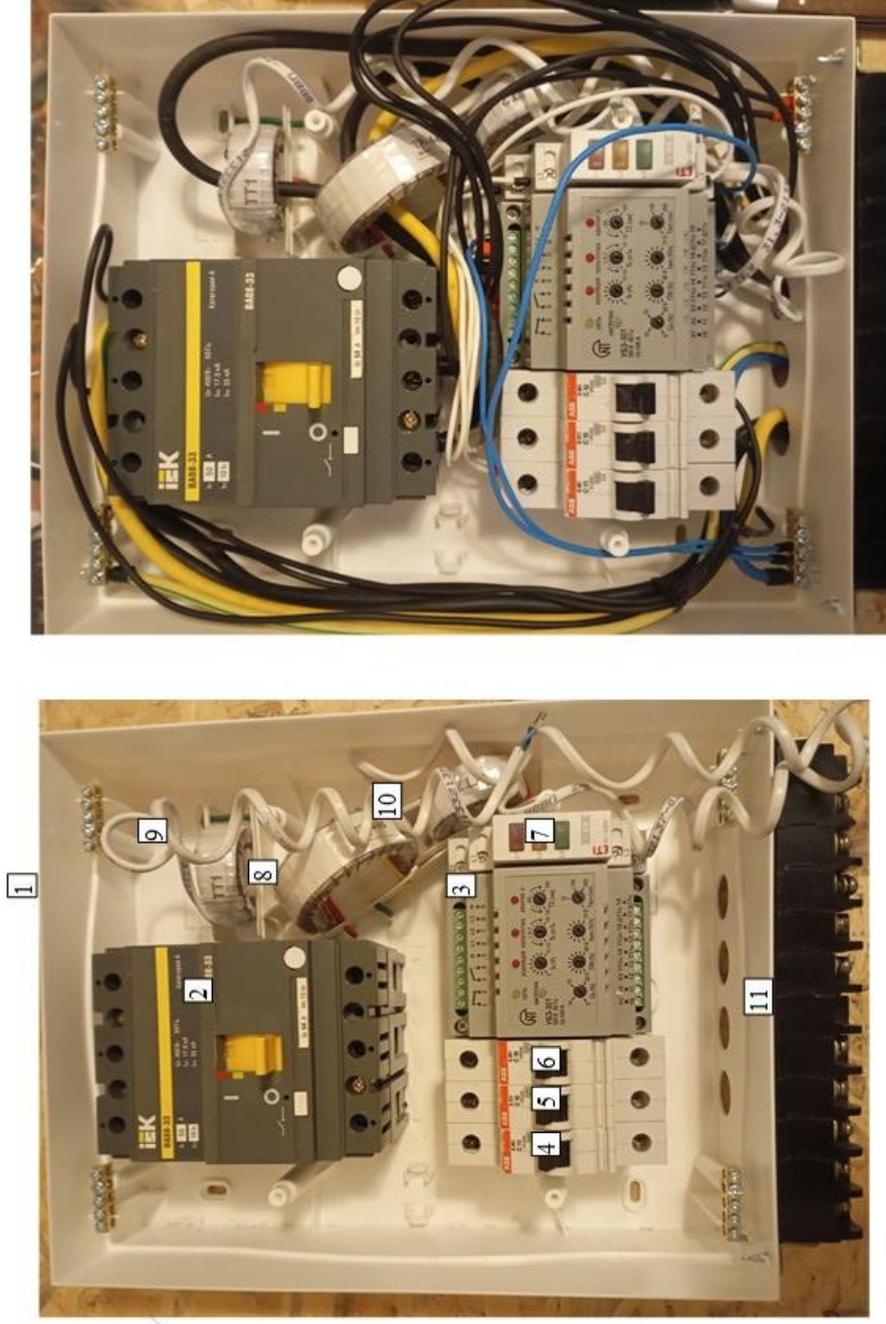
Позначення	Перепис, мм.кв.	Категорія ж/п	Довжина, м	Напряга, кВ	Потужність, кВт	Коефіцієнт потужності	Активний опр, Ом/м	Індуктивний опр, Ом/м	Струм, А	Втрати напруги, В	Втрати напруги, %
ПВС-5х	16	Б	10	0,4	30	0,96	0,001	0,0003	45,1	0,8	0,2

Схема електрична принципова системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Мікропроцесорна система захисту електропривода від аварійних режимів роботи



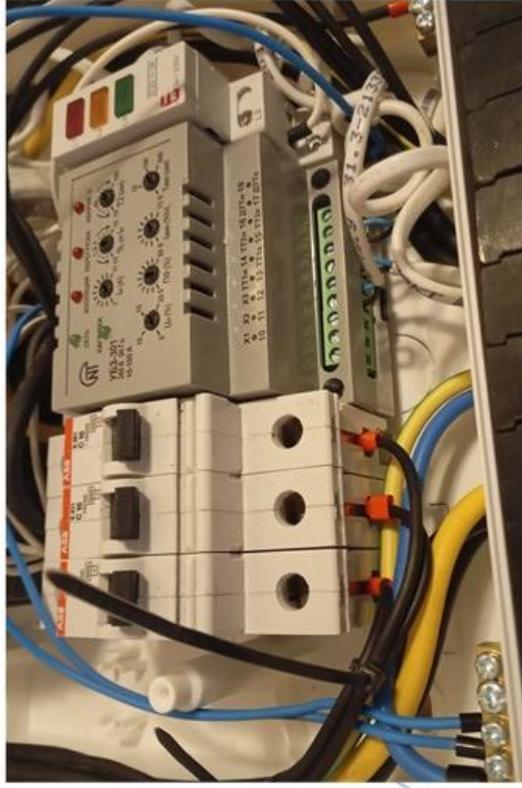
Практична реалізація системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи



Зовнішній вигляд корпусу для монтажу системи захисту

Пристрій захисту з приєднаними провідниками

Практична реалізація системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи



Зовнішній вигляд проміжного етапу роз'єднання проводів кіл керування пристроєм захисту

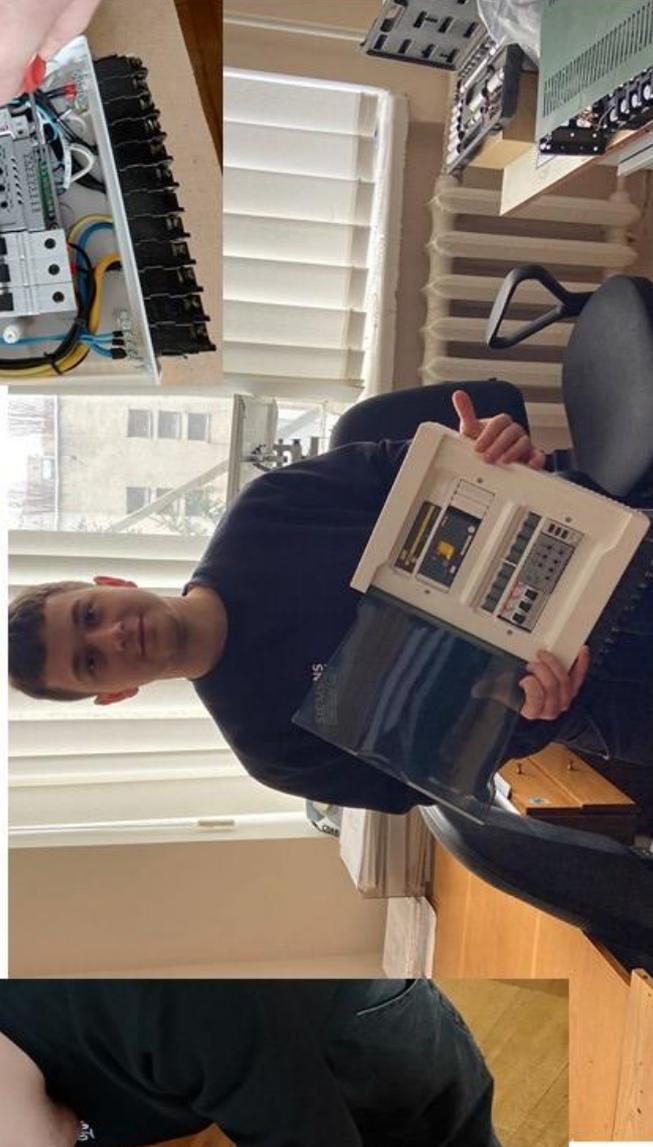
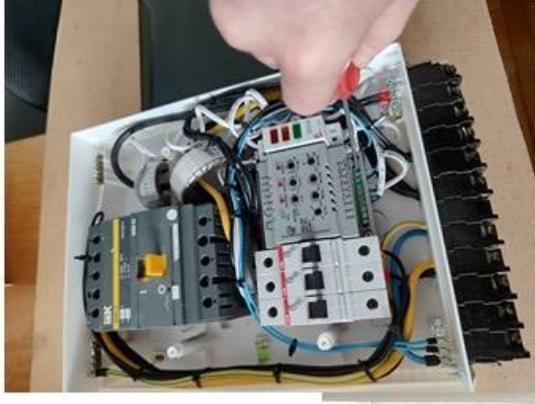


Зовнішній вигляд етапу роз'єднання проводів живлення пристрою захисту



Зовнішній вигляд зібраної мікропроцесорної системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Практична реалізація системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи



Економічна частина

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{н}} - K_{\text{б}}}{3_{\text{об}}}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{14476 - 6153}{7669} = 1,08 \text{ (роки)}$$

Така тривалість вказує на те, що через 1,08 роки запропонований у роботі пристрій окупить всі капітальні вкладення на його реалізацію. Слід зазначити, що він розрахований, виходячи з того, що запропонована система буде працювати цілий рік протягом однієї зміни з тривалістю увімкнення 100%. В реальності тривалість роботи може бути меншою, що призведе до збільшення терміну окупності. Отже, можна зробити висновок, що запропоноване у роботі рішення до побудови систем захисту електропривода від аварійних режимів роботи дозволяє отримати позитивний ефект після року експлуатації. Річний економічний ефект в такому випадку буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} EE &= (3_{\text{об}} \cdot 3_{\text{зм}}) \cdot E_{\text{н}} \cdot (K_{\text{б}} - K_{\text{н}}), \\ EE &= (498556 - 490887) \cdot 0,2 \cdot (14476 - 6153) = \\ &= 6004 \text{ (грн)}. \end{aligned}$$

Тобто кожен рік експлуатації запропонованої системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи дозволяє отримувати ефект 6004 грн. Починаючи від року експлуатації всі вкладення на реалізацію захисту будуть себе викуповувати.

Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	нова
1	Автоматичний вимикач ВА 88-33 50А	1	1402,0	1402,0	1402,0
2	Пристрій захисту асинхронних від аварійних режимів роботи	1		2720,0	4615,0
3	Контактор	1		857,0	857,0
4	Клемник 80А	8	160	0,0	1280,0
5	Корпус	1	436,0	0,0	436,0
6	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)			249,0	429,5
7	Вартість обладнання			5228,0	9019,5
8	Транспортні витрати (7%)			366,0	631,4
9	Вартість всього			5593,9	9650,9
10	Монтажні роботи (10+50%)			559,4	4825,4
11	Капітальні вкладення всього			6153,3	14476,3

Висновки

У роботі зроблено аналіз методів виявлення аварійних режимів роботи електричних двигунів змінного струму; сформульовано розвиток підходу до побудови системи захисту електропривода від аварійних режимів роботи; розроблено структуру пристрою захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який дозволить виконувати аналіз параметрів живлення та формувати керуючу дію на вимкнення живлення двигуна; вибрано елементну базу та зібрано пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи.

Отримав подальший розвиток підхід до аналізу аварійних ситуацій в електромеханічній системі, який на відміну від відомих, дозволяє реалізувати всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи.

Отримав подальший розвиток підхід до захисту електропривода від перегріву, який на відміну від відомих дозволяє оновлювати параметр перегріву по значеннях струму двигуна обираючи різні сталі часу, що спрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

Розроблено пристрій захисту електропривода від аварійних режимів роботи, який поєднує всі основні функції захисту електричного двигуна змінного струму без зворотних зв'язків за параметрами технологічного процесу, що дозволяє підвищити рівень надійності при відносній простоті реалізації технічної системи.

Розроблено алгоритм роботи системи захисту електропривода змінного струму від аварійних режимів роботи, який відтворює всі основні функції захисту електропривода без використання дороговартісних і складних у налаштуванні та завадостійності зворотних зв'язків, що спрощує побудову сучасних засобів захисту і зменшує вартість реалізації технічних систем.

Апробация результатов работы. Результаты работы частично оповещались на таких науково-технічних конференціях:

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

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Мікропроцесорна система захисту електропривода від аварійних режимів роботи

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

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

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 28,89 %

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

Паянок О.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Микола МОШНОРІЗ

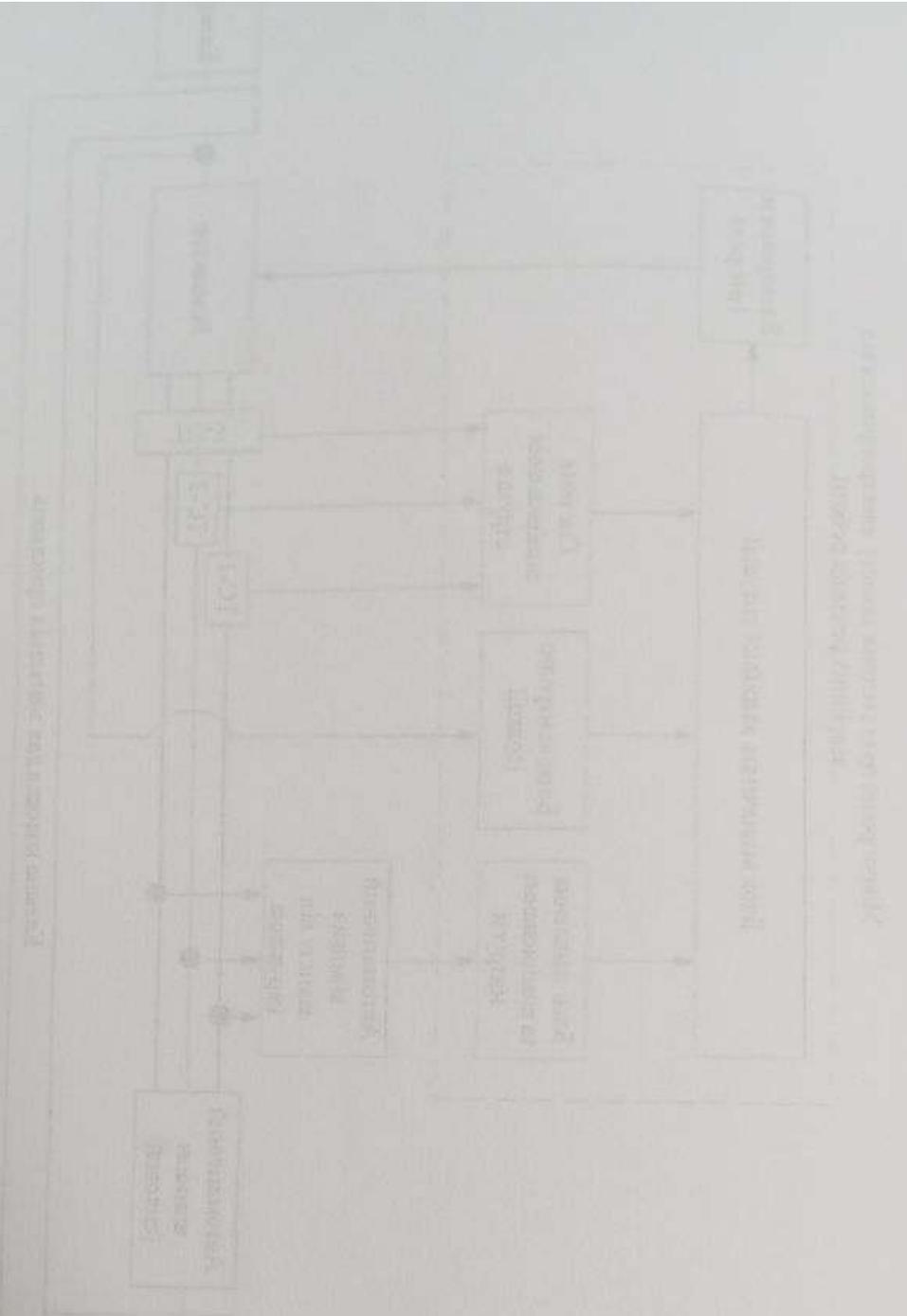
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Ілля БРІГЛЕВИЧ

(прізвище, ініціали)



08-24.МКР.001.00.000

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Мікропроцесорна система захисту електропривода від аварійних режимів роботи	Літера	Маса	Маса
Розробив		Брігілеви І.	<i>[Signature]</i>	21.11			У	
Перевірив		Мошнорізі М.М.	<i>[Signature]</i>	21.11				
Т. контр.								
Рецензент		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	19.12				
Н.контр.		Бомбик В. С.	<i>[Signature]</i>	24.11				
Зав.		Мошнорізі М.	<i>[Signature]</i>	25.11				
						Аркуш		Аркуш
						ВНТУ, ЕПА-24		