



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему

«Модернізація системи запуску та захисту електричних двигунів земснарядів в умовах діючої пульпо-насосної станції»

Керівник роботи

Микола ГОЛОТЮК

Консультант від
бази практики

Віктор ПАТРЕЧЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Максим Семенюк

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Андрій ГОЛОЯДОВ



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»

Світлана ГУРКОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«12» липня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Семенюка Максима Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Модернізація системи запуску та захисту електричних двигунів земснарядів в умовах діючої пульпо-насосної станції
керівник роботи (проєкту) Голотюк Микола Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри АВЕРС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 01.07.2024 р. №162/01.07.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з галузевого машинобудування, автоматизації; методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи за тематикою досліджень; літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: _____

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)
1-4	Голотюк М.В., доцент кафедри АБЕРС

7. Дата видачі завдання 05 липня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проекта)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	09.09.2024 – 03.11.2024	
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	04.11.2024 – 10.11.2024	
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	11.11.2024 – 17.11.2024	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	18.11.2024 – 20.11.2024	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	21.11.2024 – 24.11.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.11.2024 – 27.11.2024	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Рецензування завершеної роботи.	28.11.2024 – 01.12.2024	
8	Захист	02.12.2024 – 07.12.2024	

Здобувач

(підпис)

Семенюк Максим Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Голотюк Микола Віталійович

(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

Семенюк Максим Сергійович. Модернізація системи запуску та захисту електричних двигунів земснарядів в умовах діючої пульпо-насосної станції. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»– ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження даної роботи є процес запуску та захисту високовольтних двигунів на пульпонасосній станції.

Предметом дослідження є пусковий процес високовольтного двигуна та можливість контролю основних його параметрів під час його роботи.

Мета та завдання. Модернізація системи запуску та захисту високовольтних двигунів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі методи захисту та запуску високовольтних двигунів.
2. Вибрати сучасні засоби захисту та запуску високовольтних двигунів.
3. Модернізація системи запуску та захисту високовольтних двигунів.

У першому розділі надана основна інформація технологічного обладнання пульпонасосної станції, характеристика технологічного процесу. Проаналізовані процеси пуску, зупинки та аварійні відключення високовольтних двигунів. В результаті виявлена необхідність у модернізації системи захисту та запуску високовольтних двигунів, яку планується досліджувати та вирішувати в ході виконання кваліфікаційної роботи.

У другому розділі розглянуто існуючі схеми релейного захисту та схему пуску високовольтних двигунів пульпонасосної станції.

У третьому розділі розглянуто сучасні схеми релейного захисту, схеми пуску високовольтних двигунів та можливості їх контролю.

У четвертому розділі дипломної роботи проведено економічні розрахунки доцільності модернізації. Визначено, що загальні втрати у 2024 році склали 6356577,04 грн., що і є економічним ефектом при впровадженні сучасних систем захисту та запуску високовольтних двигунів.

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, СТРУМОВЕ РЕЛЕ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВРЮВАЧ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЗЕМЛЕСОС



ВСТУП

При експлуатації електроенергетичних систем необхідно зважати на виникнення в них пошкоджень та аварійних режимів.


Найпоширенішими та небезпечними аварійними режимами є короткі замикання. Через них відбуваються руйнування ізоляції об'єкта струмами короткого замикання та плазмою високовольтної дуги, в місці пошкодження відбувається пошкодження ізоляційних струмопровідних частин. Можливе також пошкодження суміжних об'єктів струмами, величина яких перевищує допустимі межі. Крім того, зниження напруги в електроенергетичній системі впливає на порушення технологічних процесів і знижує стійкість цієї системи. Вимкнення пошкодженого елемента від електричної мережі має відбуватися за лічені частки секунди. Через швидкоплинність процесів в електроенергетичних системах, їхнє нормальне функціонування без автоматичних пристроїв неможливе. Для вимкнення пошкодженого об'єкта, та ліквідації режимів перевантажень, застосовують спеціальні пристрої автоматики - пристрої релейного захисту .

Розглянемо виконання пристроїв релейного захисту.

Останні тенденції розвитку релейного захисту об'єктів електроенергетичних систем показують, що електромеханічні пристрої релейного захисту поступаються місцем новому поколінню пристроїв, основою роботи яких є цифрові технології [1].

Апробація роботи:

1. Моделювання системи запуску та захисту електричних двигунів земснарядів в умовах діючої пульпо-насосної станції. *Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти* : тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції MININGMETALTECH 2024, м. Запоріжжя, 28–29 листопада 2024 року, с. 74-76. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-140>



ЗМІСТ	
СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	9
1.1 Призначення релейного захисту	9
1.2 Вимоги до виконання релейного захисту	9
1.3 Структурно-функціональна схема пристрою РЗ	12
1.4 Вимоги до пристроїв релейного захисту	13
1.5 Призначення та основні характеристики реле	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
2.1. Дослідження електромеханічних реле	19
2.2. Дослідження електромагнітних реле	19
2.3. Індукційні реле	23
2.4. Дослідження цифрових пристроїв релейного захисту	29
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-F	32
3.2. Перетворювачі частоти Altivar Process MV ATV6000	38
3.3. Опис проблематики дослідження	46
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	51
ВИСНОВКИ	53



СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

К.з. – коротке замикання

РЗ – релейний захист

РЗА – релейний захист та автоматика

АПВ – автоматичне повторне включення

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ПТЕЕС – правила технічної експлуатації електроустановок споживачів

ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

МСЗ – максимально струмовий захист

АЧР – амплітудно частотне розвантаження

ТУ – телеуправління

ПРВВ – пристрій резервування при відмові вимикача

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АЦП – аналоговий-цифровий перетворювач

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій

ППЗП – перепрограмовувальний запам'ятовуючий пристрій

НЗ – начальник зміни

ЗРУ – закрите розподільче устаткування

ПСУ – приміщення станції управління

ЦТВШГ – цех технічної води та шламового господарства



РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Призначення релейного захисту

Електроенергетична система являє собою складний комплекс електротехнічного обладнання, що розташоване на великій території та працює в єдиному режимі генерації, транспортування та споживання електричної енергії.

У цій системі постійно відбуваються перемикання, зміна навантажень, аварійні відключення, а також зміни в генерації енергії (сонячної, вітрової, газової та інших джерел). Зміни можуть бути плановими, такими як вмикання та вимикання генераторів, добова зміна рівня генерації на електростанціях або перемикання в мережі. Однак є й аварійні ситуації, зокрема пошкодження або режими роботи, які негативно впливають на обладнання та стабільність роботи системи.

Одним з найбільш небезпечних порушень є коротке замикання (к.з.), яке виникає через пошкодження ізоляції струмоведучих частин електричних пристроїв. Коротке замикання може призвести до: [1].

- 1) руйнування обладнання через високі струми короткого замикання або дугу, що виникає в місці пошкодження;
- 2) пошкодження суміжного обладнання на інших об'єктах;
- 3) зниження напруги у вузлових точках системи, що може спричинити порушення її стабільності і призвести до повної втрати живлення споживачів.

Отже, при виникненні короткого замикання важливо якомога швидше відключити пошкоджений елемент від джерел живлення.

Окрім аварій, в електроенергетичній системі можуть виникати перевантаження обладнання. Одним з найбільш поширених режимів є режим перевантаження, коли в елементах мережі виникають струми, більші за номінальні значення, але не досягають рівня короткого замикання.

Для усунення наслідків таких режимів слід вживати відповідних заходів, а якщо це неможливо або виявляється неефективним, — відключати обладнання, яке працює в ненормальному режимі. Вимикання такого обладнання, як правило, здійснюється з витримкою часу. У разі аварійного режиму відключення обладнання здійснюється за допомогою силових вимикачів, які управляються релейними захисними пристроями (РЗ).[1].

1.2 Вимоги до виконання релейного захисту

Пристрої релейного захисту розташовуються так, щоб кожен із них охоплював певну ділянку електроенергетичної системи, яку називають зоною дії захисту. Зона дії захисту може включати окремі елементи системи, такі як генератор, трансформатор, лінія електропередач або інші

компоненти. Вона може також охоплювати кілька елементів, наприклад, лінію електропередач і трансформатор. Якщо пошкодження виникає в межах зони, релейний захист цієї ділянки має спрацювати і вимкнути лише ті вимикачі, які забезпечують живлення пошкодженого елемента.

Для забезпечення більш високої надійності роботи релейного захисту (РЗ) оперативні кола основного та резервного захистів часто підключають до різних автоматичних вимикачів або до різних груп трансформаторів струму. Крім того, напругові кола релейного захисту підключають до різних трансформаторів напруги.

Основним недоліком резервування є неселективне відключення непошкоджених елементів. Час спрацювання захистів, які реалізують дальнє резервування, зазвичай досить великий, інколи до 10 секунд, що може бути неприпустимим з точки зору стабільності роботи енергетичної системи. Однак, основною перевагою дальнього резервування є відсутність необхідності встановлювати додаткові захисти.

Таким чином, можна зробити висновок, що застосування ближнього резервування має ряд переваг порівняно з дальнім резервуванням, зокрема менший час відключення і більш селективне вимкнення пошкоджених елементів.

1.3 Структурно-функціональна схема пристрою РЗ

Загальна структурно-функціональна схема пристрою релейного захисту наведена на рисунку 1.1.

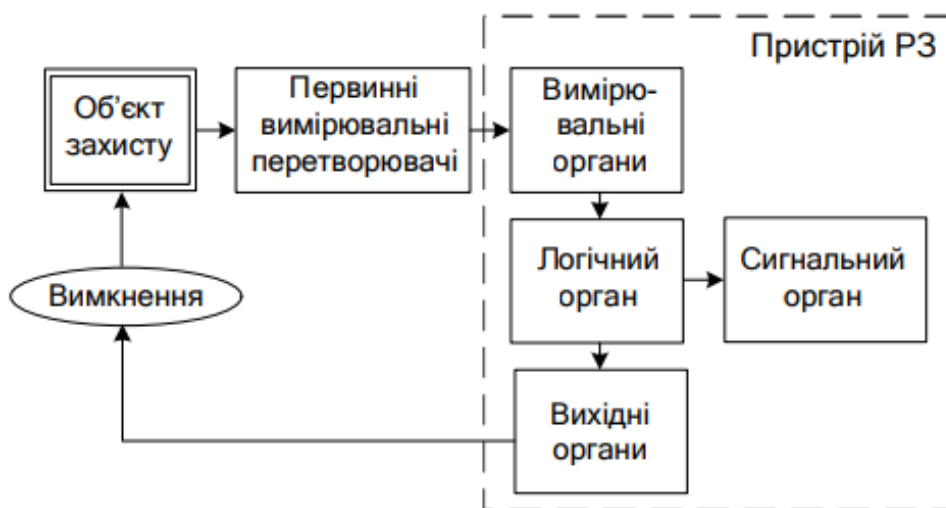



Рисунок 1.1 – Структурно-функціональна схема пристрою РЗ

Пристрій релейного захисту постійно здійснює моніторинг електричної системи, що забезпечує нагляд за її режимами. Для цього безперервно вимірюються координати режиму об'єкта, найчастіше — миттєві значення напруг і струмів. Первинні вимірювальні перетворювачі



виконують дві основні функції: ізолюють пристрій релейного захисту від високовольтних первинних кіл та перетворюють значення напруги та струму в стандартні вторинні величини, що відповідають номінальним значенням для конкретних параметрів.

Органи захисту можуть бути представлені різними типами реле:

1. Реле струму, що реагують на зміни величини струму;
2. Реле напруги, які спрацьовують при зміні величини напруги;
3. Реле опору, що реагують на зміни комплексного опору.

Коли контрольовані величини досягають уставок спрацьовування реле, відповідні пристрої активуються, і на виходах реле з'являється сигнал, який ініціює відповідні дії, наприклад, відключення пошкоджених елементів системи[1].

1.4 Вимоги до пристроїв релейного захисту

Основними вимогами до пристроїв релейного захисту є: селективність, чутливість, швидкодія та надійність.

Селективність (вибірковість) — це здатність пристрою релейного захисту реагувати на пошкодження саме в тій ділянці електроенергетичної системи, для захисту якої він призначений.

Існують два види селективності: абсолютна та відносна.


Водночас, в окремих випадках захист може бути свідомо зроблений неселективним. Це застосовується, коли коротке замикання (к.з.) було нестійким і, наприклад, самовільно ліквідувалось, що дозволяє відновити роботу мережі.

Чутливість захисту є ще однією важливою характеристикою пристроїв релейного захисту. Вона визначає здатність захисту виявляти пошкодження за різних режимів роботи мережі, включаючи як максимально високі струми короткого замикання (к.з.), так і мінімальні рівні струмів, які можуть бути характерні для певних режимів.

Чутливість захисту визначається коефіцієнтом чутливості. Для того, щоб переконатися в чутливості системи, зазвичай проводять перевірку на мінімальному рівні струму к.з. Якщо захист справно працює в умовах мінімального струму, то він буде достатньо чутливим і до високих струмів, що виникають у більшості інших режимів. В залежності від типу захисту, коефіцієнт чутливості визначається різними способами. Зазвичай це співвідношення можна записати за допомогою формули 1.1

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{р.к.з.мін}}}{I_{\text{с.р}}} \quad (1.1)$$

Так, для релейного захисту А1 (рис. 1.6), який призначений для захисту лінії Л1, розрахунковою точкою є кінець лінії Л1. Для захисту А2, зона дії якого охоплює лінію Л1 та лінію Л2 розрахунковими точками к.з., є кінець лінії Л1 (захист виконує функцію ближнього резервування) та кінець



лінії Л2 (захист виконує функції дальнього резервування). Для дистанційного захисту чутливість визначають за формулою 1.2

$$K_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{с.р}}}{Z_{\text{л}}}, \quad (1.2)$$

де $Z_{\text{с.р}}$ – уставка спрацювання вимірного органа захисту; $Z_{\text{л}}$ – опір від місця встановлення захисту до кінця зони, охопленої цим захистом.

Згідно з ПУЕ величину чутливості регламентують так. Для основних захистів залежно від типу захисту коефіцієнт чутливості повинен бути $k \geq 2$ або $k \geq 1,5$. Для резервних захистів величина коефіцієнта чутливості повинна бути дещо меншою і повинна становити $k \geq 1,2$, $k \geq 1,25$ [1].

Надійність пристроїв релейного захисту визначається як здатність цих пристроїв виконувати свої функції, зберігаючи експлуатаційні характеристики в межах заданих норм протягом всього терміну служби, встановленого виробником. Це означає, що пристрій релейного захисту має функціонувати належним чином без збоїв і несправностей протягом гарантійного періоду.

Для перевірки функціональних характеристик пристроїв РЗ протягом їх експлуатації регулярно проводяться регламентні роботи. Ці роботи включають перевірку та обслуговування пристроїв РЗ через певні проміжки часу їх експлуатації. Особливо це актуально для пристроїв релейного захисту на електромеханічній та напівпровідниковій базах. Сучасні пристрої РЗ, побудовані на напівпровідникових елементах, оснащуються системами автоматизованої перевірки їх основних функціональних характеристик. Такі пристрої часто мають автоматичну самодіагностику, тобто програму, що запускається з певним інтервалом часу і перевіряє справність пристрою.

Швидкодія захисту — це важлива характеристика, оскільки чим швидше пристрій вимикає пошкоджений елемент від джерел живлення, тим менше ризиків для безпеки енергосистеми. Швидке відключення дозволяє зменшити:

- 1) ймовірність пошкодження обладнання струмами короткого замикання (к.з.),
- 2) руйнування ізоляції,
- 3) порушення технологічних процесів у споживачів,
- 4) порушення синхронної роботи генераторів, синхронних компенсаторів, синхронних і асинхронних двигунів.

Таким чином, швидке вимкнення пошкодженого елемента допомагає мінімізувати наслідки аварій і забезпечити стабільність роботи енергетичної системи.

Час вимкнення пошкодження зазвичай визначається як сума часу спрацювання релейного захисту та часу спрацювання вимикача.



$$t_{\text{вим}} = t_{\text{р.з}} + t_Q, \quad (1.3)$$

де р.з t – час роботи релейного захисту; t_Q – час спрацювання вимикача.

Час роботи захисту р.з t визначають як відрізок часу від моменту виникнення пошкодження до моменту спрацювання вихідних контактів реле захисту. Пристрій захисту не може миттєво спрацювати після виникнення пошкодження. Захист повинен розпізнати аварійне пошкодження від нормального режиму роботи. У нього є власний час спрацювання вимірювальних та вихідних органів захисту [1].

Основні захисти спрацьовують без витримки часу. Резервні захисти мають витримку часу в спрацюванні – спочатку повинен спрацювати основний захист і тільки тоді, коли він не спрацював, повинен працювати резервний захист, тобто резервний захист "очікує" на результати роботи основного захисту.

Час роботи вимикача t_Q визначають як відрізок часу від моменту подання сигналу на привід вимикача до моменту згасання дуги в дугогасильній камері – до обриву струму в силовому колі.

Поняття швидкодії в кількісному вимірі є різним для різних мереж. Так, для систем електропостачання, швидкодійними є захисти, для яких р.з $t \leq 0,1$ с. Сучасні цифрові захисти мають ще менший час спрацювання. Так, час спрацювання диференційного захисту шин фірми АВВ становить р.з $t = 0,005$ с (5 мс) [1].

1.5 Призначення та основні характеристики реле

Реле — це пристрій, у якому сигнал змінюється стрибкоподібно залежно від зміни вхідної величини (рисунок 1.7). Реле має два стани:

1. Неспрацьований стан, коли вихідний сигнал дорівнює 0,
2. Спрацьований стан, коли вихідний сигнал дорівнює 1.

Величина вхідного сигналу $u_{\text{вх}}$, при якому реле спрацьовує, називається уставкою спрацювання реле. Залежно від характеру зміни вхідного сигналу розрізняють два основних типи реле:

1. Реле максимальної дії спрацьовують при збільшенні рівня вхідного сигналу до уставки спрацювання.
2. Реле мінімальної дії спрацьовують при зменшенні рівня вхідного сигналу до уставки спрацювання.

Ці пристрої використовуються для автоматичного управління та захисту в різних енергетичних і технологічних системах, де важливо зафіксувати зміни в певних параметрах і відповідно реагувати на них.

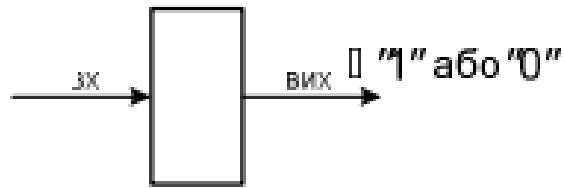


Рисунок 1.7 – Схематичне зображення реле

В залежності від підключення реле розрізняють первинні та вторинні. Первинні реле вмикають безпосередньо в первинне (силове) електричне коло. Вторинні реле вмикають через трансформатори струму та напруги. Первинними вимірювальними перетворювачами слугують зазвичай трансформатори струму та трансформатори напруги. Залежно від дії на комутаційний апарат розрізняють реле прямої дії та реле опосередкованої дії. Ще однією особливістю реле є наявність його гістерезисної характеристики [1].



РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Дослідження електромеханічних реле

Одним з основних елементів пристроїв релейного захисту та автоматики є реле. Переважно застосовують електромеханічні реле.

Принцип роботи електромеханічних реле оснований на взаємному перетворенні електричних та механічних величин. Залежно від принципу роботи розрізняють такі електромеханічні реле:

- 1) електромагнітні;
- 2) індукційні;
- 3) магнітоелектричні;
- 4) електротеплові.

Основним елементом реле є електромагніт, до якого притягується рухомий якір. Залежно від переміщення якоря розрізняють системи:

- 1) з поворотним якорем;
- 2) з поперечним рухом якоря;
- 3) з прямохідним рухом якоря.

2.2. Дослідження електромагнітних реле


Найпоширенішим реле електромагнітного типу є реле струму серії РТ-40 та реле напруги РН-50.

Реле РТ-40 — це електромагнітне реле, яке реагує на зміну струму в електричному колі. Це реле є вторинним, оскільки під'єднується до вторинних кіл трансформаторів струму, що дозволяє вимірювати струм на великій відстані від самого кола, не підключаючи реле безпосередньо до високовольтних елементів системи. Реле серії РТ-40 показано на рисунку 1.9. Реле реагує на зміну струму.

Електромагнітні реле струму широко застосовуються в різних типах струмових захистів в електроенергетичних системах. Вони дозволяють ефективно забезпечити захист від небезпечних струмів, що виникають під час аварійних ситуацій, таких як короткі замикання чи перевантаження. Ось кілька основних видів захистів, де використовуються реле струму:

Струмова відсічка - цей тип захисту застосовується для вимикання елементів системи, коли струм перевищує певний встановлений ліміт. Реле струму спрацьовує, коли рівень струму в мережі досягає заданої уставки, і таким чином відключає пошкоджений або перевантажений елемент. Це дозволяє захистити обладнання від надмірного струму, що може призвести до його руйнування.

Струмова відсічка з витримкою часу - цей захист працює за схожим принципом, але з певною витримкою часу після спрацьовування реле. Тобто реле не вимикає лінію миттєво, а чекає певний час, щоб перевірити, чи є відхилення в струмі короткочасними (наприклад, при запуску двигунів чи інших трансієнтів). Якщо струм перевищує норму протягом цього часу,



система відключає пошкоджену ділянку. Це дозволяє уникнути спрацювання захисту через короточасні скачки струму, що є звичайним явищем під час запуску обладнання.

Максимальний струмовий захист - цей тип захисту призначений для вимикання елемента, коли струм перевищує максимальне значення, яке безпечно для обладнання. Реле струму спрацьовує, коли рівень струму досягає або перевищує встановлену уставку. Це допомагає уникнути перегріву і пошкодження елементів системи, таких як трансформатори, кабелі чи генератори.

Диференційний захист - цей захист використовує принцип порівняння струмів, що входять і виходять із захищеного об'єкта (наприклад, трансформатора або лінії). Якщо різниця між цими струмами перевищує певну межу (що вказує на можливе коротке замикання або іншу аварійну ситуацію), диференційне реле спрацьовує і відключає систему. Це дозволяє виявляти непередбачувані короткі замикання, навіть якщо вони не мають явної видимості з іншими видами захисту.

Захист від замикань на землю - цей тип захисту призначений для виявлення і відключення ліній або елементів мережі, якщо на них виникає замикання на землю (земельне коротке замикання). Це важливо для запобігання пошкодженням ізоляції та руйнуванню обладнання внаслідок контактів з землею, а також для забезпечення безпеки персоналу.

Загальні переваги застосування електромагнітних реле струму: надійність і швидкодія: реле струму здатні миттєво реагувати на зміни струму та відключати пошкоджені ділянки, тим самим запобігаючи подальшим ушкодженням. Універсальність: можуть бути застосовані для захисту різноманітних елементів енергосистем, таких як трансформатори, лінії електропередачі, генератори тощо. Захист від численних аварій: дозволяють забезпечити надійний захист від різноманітних типів коротких замикань та перевантажень, що важливо для стабільної роботи енергосистеми.

Таким чином, електромагнітні реле струму є основними елементами в системах релейного захисту та автоматики, що забезпечують стабільну та безпечну роботу електричних мереж.

Серійно виготовляють такі струмові реле серії РТ-40: РТ-40/0.2; РТ-40/0.6; РТ-40/2; РТ-40/6; РТ-40/10; РТ-40/20; РТ-40/50; РТ-40/100; РТ-40/200; де цифри після риски означають найбільший струм спрацювання.

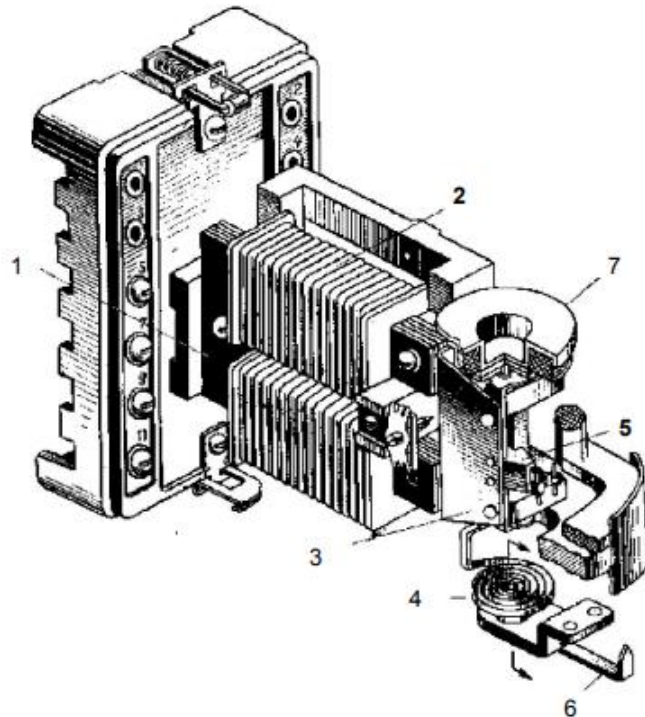


Рисунок 1.9 – Конструкція реле серії РТ-40


Основним елементом реле є електромагніт 1, що складається з П-подібного осердя, виконаного з шихтованої сталі, на якому розташовані дві котушки. Передбачена можливість з'єднати ці котушки послідовно або паралельно [1].

Електромагніт притягає феромагнітний ярір 3, до якого прикріплено контактний місток 5. До осі, щодо якої обертається ярір, закріплена спіральна пружина 4, момент якої регулює важіль 6, чим змінюється параметр спрацювання (уставка) реле.

Реле серії РН-50 — це електромагнітні реле напруги, які реагують на зміни напруги джерела живлення. Вони є важливими елементами в системах релейного захисту та автоматики і застосовуються для захисту елементів енергосистем від небезпечних змін напруги.

Основні характеристики реле РН-50. Принцип роботи: Реле серії РН-50 реагують на зміни напруги в мережі. Вони включаються або вимикаються залежно від того, чи досягає напруга встановленої уставки спрацювання. Тип підключення: Реле підключаються до вторинних кіл трансформаторів напруги. Це дозволяє ізолювати реле від високих напруг та забезпечити надійне вимірювання напруги на рівні, доступному для роботи реле. Тип дії: Реле має опосередковану дію, тобто його сигнал використовується для активації інших пристроїв, таких як проміжні реле, які, у свою чергу, управляють комутаційними апаратами (вимикачами).

Застосування реле серії РН-50. Автоматичне вмикання резерву (АВР): РН-50 застосовуються в схемах автоматичного вмикання резерву,



де важливо, щоб система могла автоматично перемикатися на резервне джерело живлення у разі падіння напруги в основному джерелі. Якщо основне джерело не дає достатньої напруги, реле спрацьовує і запускає резервну систему. Автоматичне повторне вмикання (АПВ): реле використовується в схемах автоматичного повторного вмикання після короточасних відключень живлення. Якщо напруга відновлюється після короточасного падіння, реле РН-50 може спрацювати і дозволити відновлення живлення без ручного втручання. Максимальні струмові захисти з пуском від зниження напруги: реле напруги також застосовуються в схемах, де важливо, щоб захист від перевантаження чи короткого замикання спрацьовував тільки при значному падінні напруги. Це може бути важливим для запобігання пошкодженню елементів, коли напруга падає на рівень, що не дозволяє нормальну роботу обладнання. Контроль живлення різних елементів: реле РН-50 можуть застосовуватися в схемах для контролю рівня напруги на різних елементах мережі, наприклад, для відключення чи включення навантаження, яке працює тільки в межах встановлених параметрів напруги.

Переваги використання реле серії РН-50. Висока чутливість до зміни напруги: Реле точно фіксує зміни напруги і швидко реагує на них, що дозволяє своєчасно відключати або вмикати елементи системи. Безпека і надійність: Використання вторинних трансформаторів напруги для підключення реле дозволяє знижувати вплив високих напруг на самі реле, що забезпечує більшу безпеку та надійність роботи. Універсальність: Реле серії РН-50 можуть бути застосовані в різних типах систем, де потрібно контролювати та регулювати напругу, зокрема в автоматичних системах резервування та повторного включення. Економія на технічному обслуговуванні: Автоматичні функції АВР і АПВ дозволяють значно знизити потребу в ручному втручанні для відновлення нормальної роботи системи.

Загалом, реле серії РН-50 є важливими компонентами для забезпечення стабільної і безпечної роботи електричних мереж, особливо в умовах змінної напруги, де необхідна швидка та автоматична реакція для захисту обладнання та елементів мережі.

2.3. Індукційні реле

Реле серії РТ-80 є найбільш поширеним індукційним реле, яке використовується в енергосистемах понад 60 років. Вони широко застосовуються для струмових захистів ліній напругою 6–35 кВ, забезпечуючи ефективне і надійне реагування на пошкодження в електричних мережах. Принцип роботи реле серії РТ-80 ґрунтується на електромагнітному та індукційному принципах.

Швидкість обертання диска пропорційна квадратові струму в реле.

Контакти реле зв'язані з диском через черв'ячну передачу. Тільки струм у реле досягне струму його спрацювання і черв'ячна пара ввійде в зчеплення, то контакти реле замкнуться через фіксовану кількість обертів диска.

Часова характеристика спрацювання реле (рисунок 1.10).

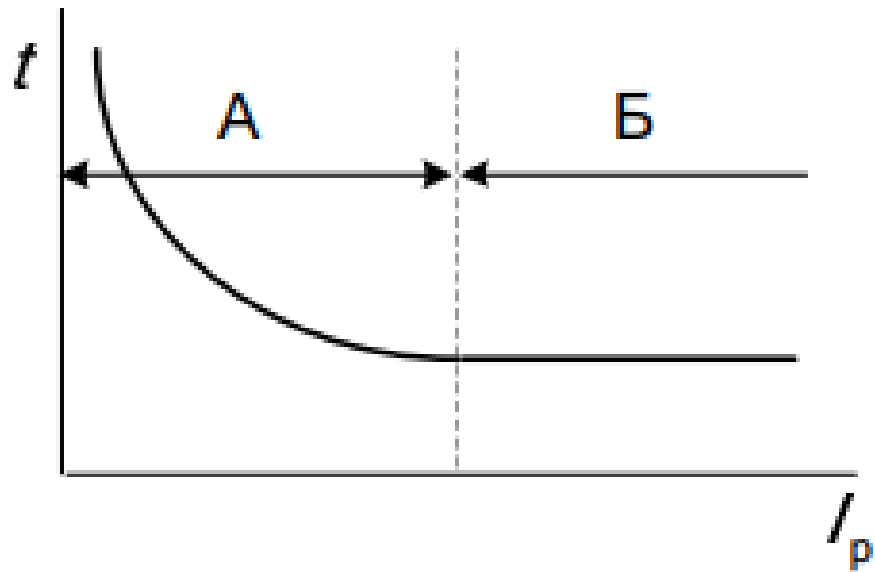


Рисунок 1.10 – Часова характеристика індукційного елемента реле

Характеристика має залежну А і незалежну Б від струму частини. Наявність незалежної частини Б пояснюють насиченням магнітопроводу. У разі насичення магнітопроводу подальше збільшення струму в обмотці реле не призводить до збільшення електромагнітного моменту, він практично не змінюється. На рисунку 1.11 наведена конструкція реле РТ-80:

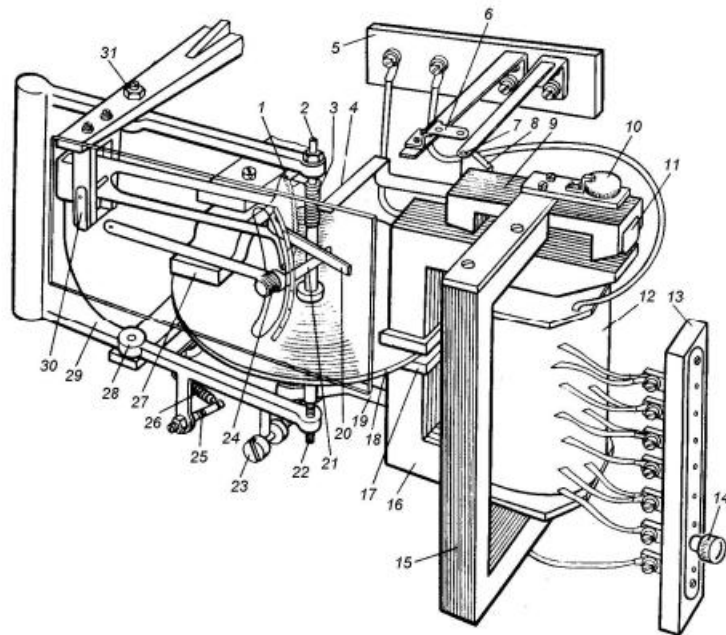



Рисунок 1.11 – Конструкція реле РТ-80, де 1 - зубчастий сектор; 2 - верхня опора диску; 3 - черв'як; 4 - фігурний важіль; 5 - контактна колодка; 6 - нерухомий контакт; 7 - рухомий контакт; 8 - текстолітова пластина; 9 - якір відсічки; 10 - регулювальний гвинт відсічки; 11 - короткозамкнений виток якоря; 12 - котушка; 13 - штепсельний місток; 14 - штепсельний гвинт; 15 - шунт магнітопроводу; 16 - магнітопровід; 17 - екрани; 18 - диск; 19 - скоба; 20 - штовхач; 21 - опора; 22 - нижня опора диска; 23 - опорний гвинт; 24 - фасонний гвинт; 25 - регулювальний гвинт пружини; 26 - пружина; 27 - постійний магніт; 28 - нижня опора рамки; 29 - рамка; 30 - піввісь сектора; 31 - верхня опора рамки

Електромагнітний елемент реле утворений на базі магнітопроводу 16 з котушкою 12 і якоря відсічки 9, діє на систему контактів - рухомого 7 та нерухомого 6. Зміну проміжку між магнітопроводом 16 і якорем відсічки 9 здійснюють за допомогою гвинта регулювання 10. У цьому разі змінюється струм спрацювання електромагнітного елемента реле. Магнітопровід 16 слугує також для індукційного елемента реле. Рухома частина індукційного елемента являє собою алюмінієвий диск 18, який обертається між полюсами магнітів, частина яких охоплена короткозамкненими витками 17. Вісь диска встановлена на двох опорах і рамці 29, яка обертається на опорах 28, 31, закріплених у цоколі реле. На осі диска закріплено черв'як 3. Другим елементом черв'ячної пари є зубчатий сектор 1, який обертається на двох півосях 30. На секторі розташований штовхач 20, який рухає якір відсічки 9. Штовхач 20 лежить на опорі 21, останню фіксують гвинтом 24. Зміною положення опори 21 виставляють необхідну витримку часу реле. Обертоту рамку 29 фіксують гвинтом 23. Рамка відтягнута в крайнє положення зворотною пружиною 26, натяг якої регулюють гвинтом 25. Постійний магніт 27 є складовою



частиною магнітної системи реле. Він створює момент гальмування, пропорційний частоті обертання диска, чим забезпечують стабільність характеристик реле. Крім того, постійний магніт зупиняє обертання диска після скидання струму і, отже, зменшує інерційність вибігу реле. Після збільшення струму в реле до струму спрацювання, диск 18 вже обертається, рамка 29 разом з диском повертається і черв'як 3 входить у зчеплення з зубчатим сектором 21. Зубчатий сектор піднімається разом з штовхачем 20 і приводить до притягання якоря 9 магнітопроводом 16. Швидкість обертання диска і, відповідно, швидкість піднімання штовхача 20 залежить від величини струму в реле. Після зникнення струму в обмотці 12 рамка 29 відтягується пружиною, роз'єднується черв'ячна пара і зубчатий сектор 1 падає на опору 21, контакти реле розмикаються. Уставку струму спрацювання реле РТ-80 визначають кількістю витків котушки, яку виставляють гвинтом 14, що вкручують у відповідне гніздо штепсельного містка 13 [1].

2.4. Дослідження цифрових пристроїв релейного захисту

Загальна характеристика цифрових пристроїв релейного захисту (РЗ)

Цифрові пристрої релейного захисту (РЗ) на базі мікропроцесорних технологій набули широкого застосування в енергосистемах завдяки їх численним перевагам у порівнянні з традиційними електромеханічними та напівпровідниковими пристроями. Мікропроцесор, як один із основних елементів таких пристроїв, використовує цифрові принципи функціонування, що забезпечує високий рівень точності та гнучкості в налаштуваннях і алгоритмах роботи.

Переваги цифрових пристроїв РЗ. Вища точність функціонування. Цифрові пристрої мають вищу точність відтворення заданих характеристик. Похибка апаратних компонентів може досягати лише 3%, що забезпечує надійнішу роботу в порівнянні з традиційними пристроями. Наприклад, коефіцієнт повернення у цифрових захистах може становити 0,999, що дозволяє забезпечити високу точність виявлення аварійних ситуацій. Запам'ятовування координат аварійних режимів. Цифрові пристрої РЗ можуть запам'ятовувати координати аварійного та доаварійного режимів. Це дає можливість оперативному персоналу аналізувати ситуації, визначати причини аварії та коригувати параметри захисту. Гнучкість налаштувань та зміна конфігурації. Використовуючи універсальний процесор та змінюючи вхідні та вихідні кола, можна налаштувати різні типи захистів на одному пристрої. Це дозволяє замінити кілька реле, виконаних на напівпровідникових або електромеханічних елементах, одним цифровим пристроєм. Алгоритми самодіагностики. Цифрові пристрої зазвичай містять функцію самодіагностики, що дозволяє здійснювати контроль справності всіх компонентів пристрою, таких як вхідні та вихідні кола, процесори, АЦП тощо. У разі виявлення

несправностей пристрій автоматично блокується, попереджаючи персонал про проблему. Низьке споживання енергії. Цифрові пристрої споживають значно менше енергії, зазвичай до 10 Вт, що знижує навантаження на джерела енергоживлення і дозволяє підключати більше пристроїв до трансформаторів струму та напруги без перевантаження. Простота в експлуатації. Цифрові пристрої забезпечують простоту в експлуатації завдяки можливості програмування та налаштування на програмному рівні, що зменшує потребу в складних фізичних налаштуваннях.

Всі цифрові пристрої релейного захисту мають схожу структуру, яка наведена на рисунку 1.18.

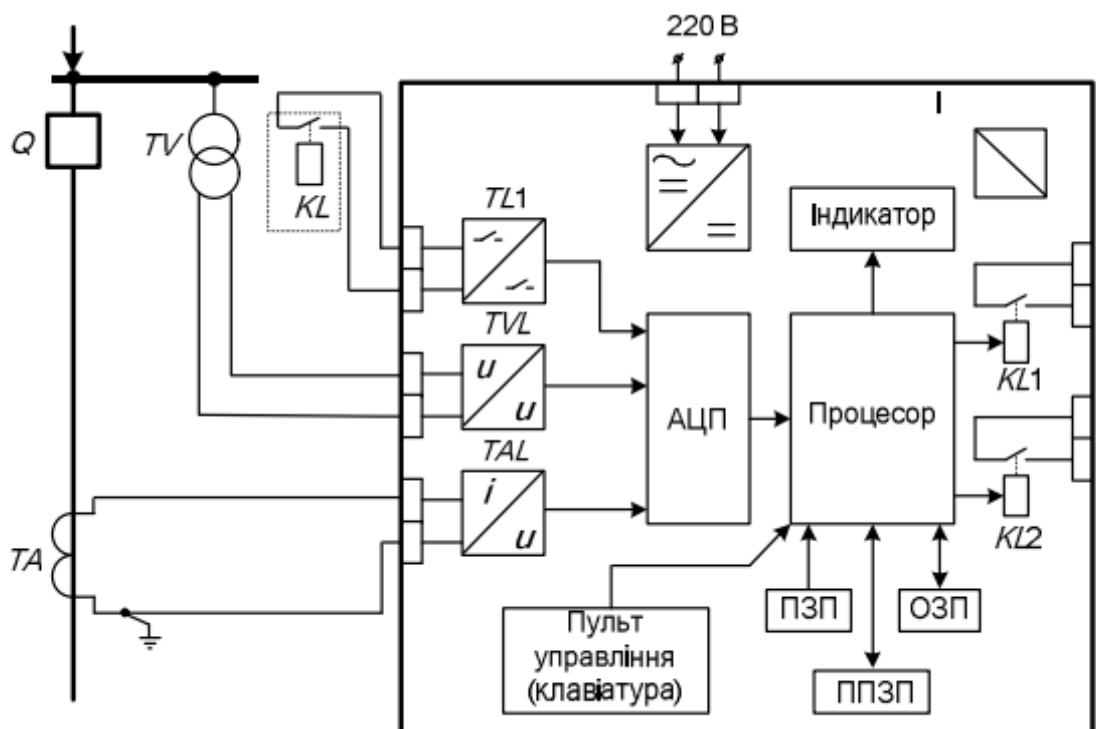



Рисунок 1.18 – Структурна схема цифрового захисту: ТА – трансформатор струму; TV – трансформатор напруги; Q – вимикач; KL – вихідне реле іншого пристрою; TL1 – перетворювач бінарних сигналів; TVL TAL – вхідні перетворювачі аналогових сигналів відповідно напруг та струмів; АЦП – аналогово - цифровий перетворювач; ПЗП – постійний запам’ятовуючий пристрій; ОЗП – оперативний запам’ятовувальний пристрій; ППЗП – перепрограмовуваний запам’ятовувальний пристрій; KL1, KL2 – вихідні реле

Основним елементом цифрового захисту є процесор, в якому реалізований алгоритм роботи конкретного захисту. Залежно від призначення пристрою та фірми виробника може бути застосований один



процесор або декілька. Так, фірма АВВ надає перевагу багатопроцесорним системам, в яких кожен процесор виконує конкретні завдання алгоритму і ці процесори працюють паралельно. Це дозволяє забезпечити потрібну швидкість та точність. Інші фірми застосовують однопроцесорні системи, що вимагає для забезпечення потрібних характеристик застосування потужніших процесорів.[1].

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Пристрій мікропроцесорний захисту, автоматики, контролю і управління приєднань MRZS-F



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд пристрою

Мікропроцесорний пристрій релейного захисту автоматики, використовується для захисту споживачів напругою 150 - 6 кВ, працюючих в ізолюваній або глухозаземленій нейтраллі [2].

Зовнішній вигляд показано на рисунку 3.1.

Використовуються для виконання:

- 1) струмового захисту;
- 2) захисту від замикань на землю;
- 3) дугового захисту *;
- 4) контролю положення ввімкнення та вимкнення вимикача;

Завдяки встановленню роз'ємів для підключенню вторинних кіл комутації пристрій доволі швидко можна замінити на аналогічний [2].

Електроживлення пристрою: напруга 220 В частотою 50 Гц;

Всі технічні характеристики пристрою є у вільному доступі на сайті заводу виробника.

Приклади аварійних режимів роботи які було зафіксовано за допомогою MRZS показано на рисунку 3.2, на рисунку 3.3., на рисунку 3.4.

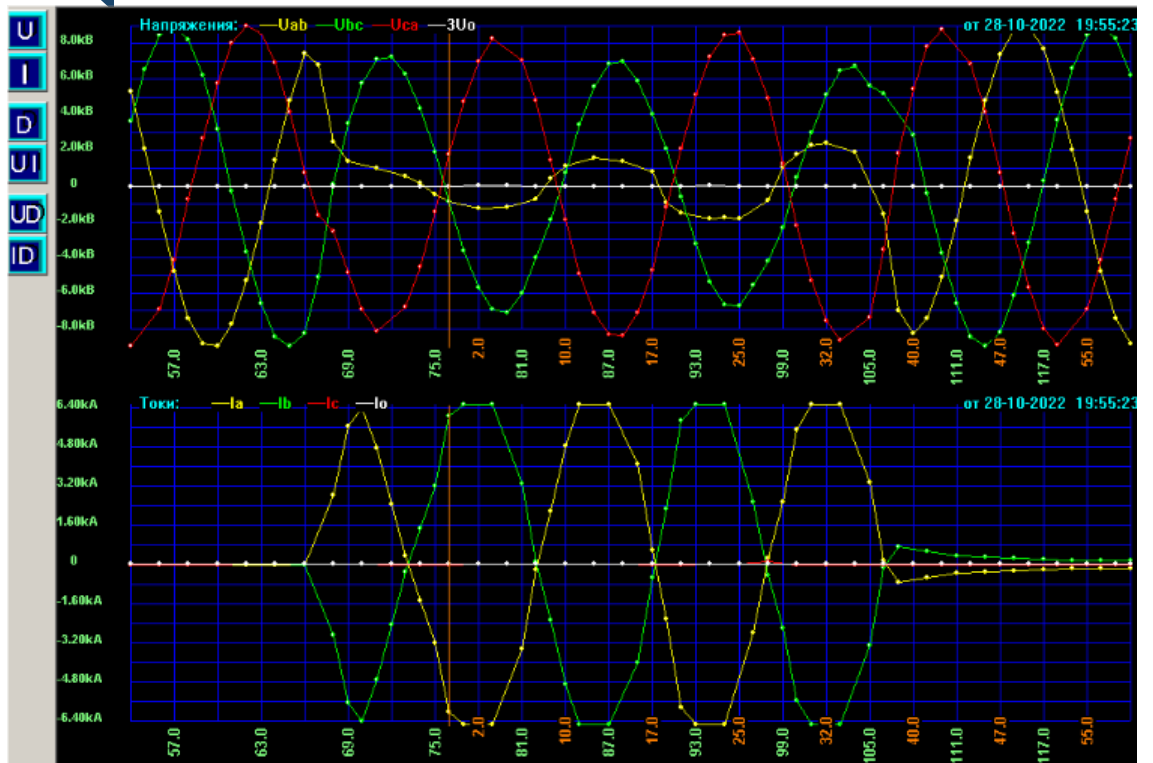


Рисунок 3.2 – Осцилограма зафіксованого короткого замикання
Струмова відсічка

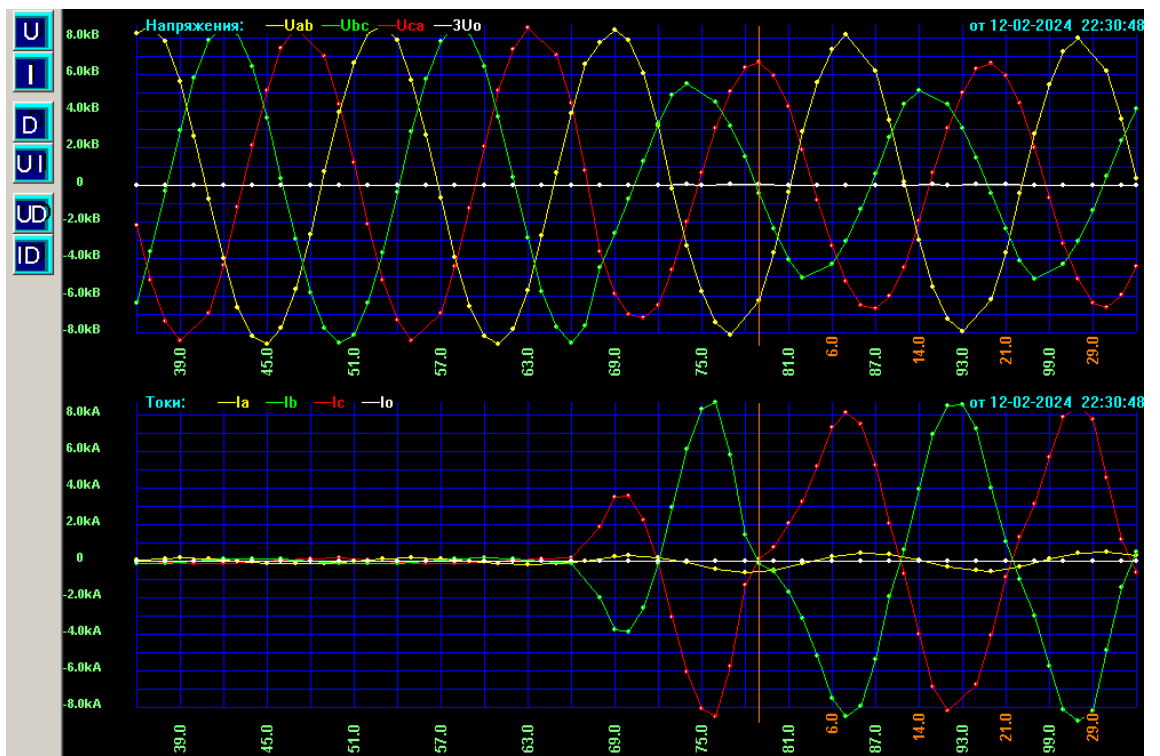


Рисунок 3.3 – Осцилограма зафіксованого короткого замикання
Струмова відсічка

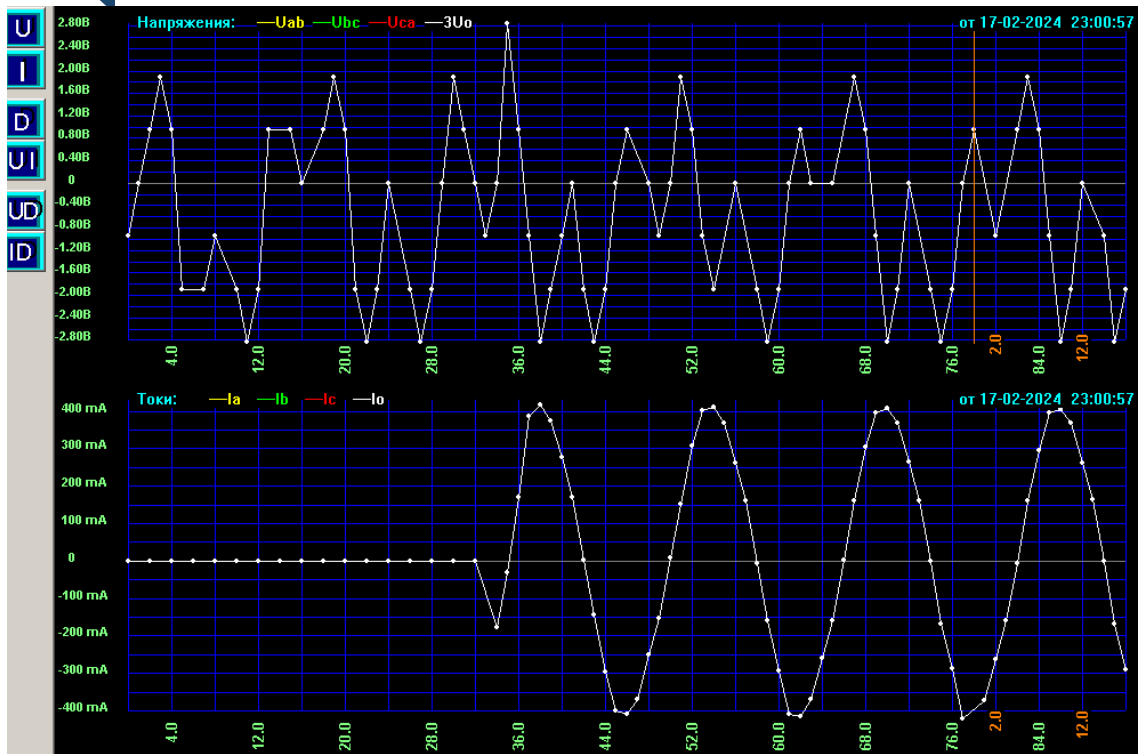


Рисунок 3.4 – Осцилограма зафіксованого короткого замикання
Пошкодження ізоляції та пробій на землю

Технічні можливості мікропроцесорного пристрою релейного захисту вітчизняного виробника ні в чому не уступають європейським аналогам.

З позитивних моментів можна привести приклади технічної підтримки споживачів (користувачів), швидкий гарантійний ремонт, цінова політика відрізняється більш ніж у 3 рази.

Для заміни електромеханічних реле на мікропроцесор MRZS я розробив схеми які забезпечують аналогічний перелік захистів високовольтних двигунів. Детально можна побачити на рисунку 3.5, на рисунку 3.6., на рисунку 3.7., на рисунку 3.8., на рисунку 3.9.

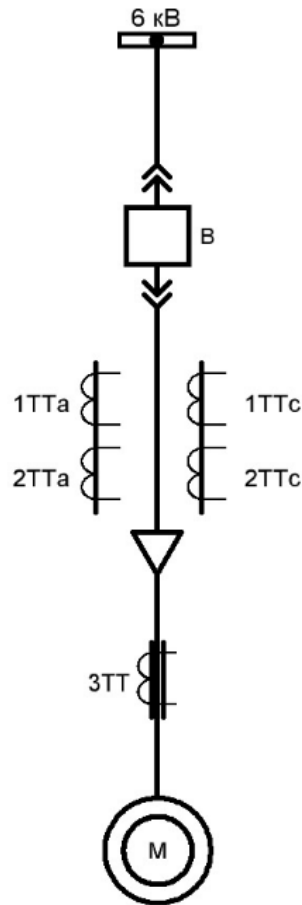
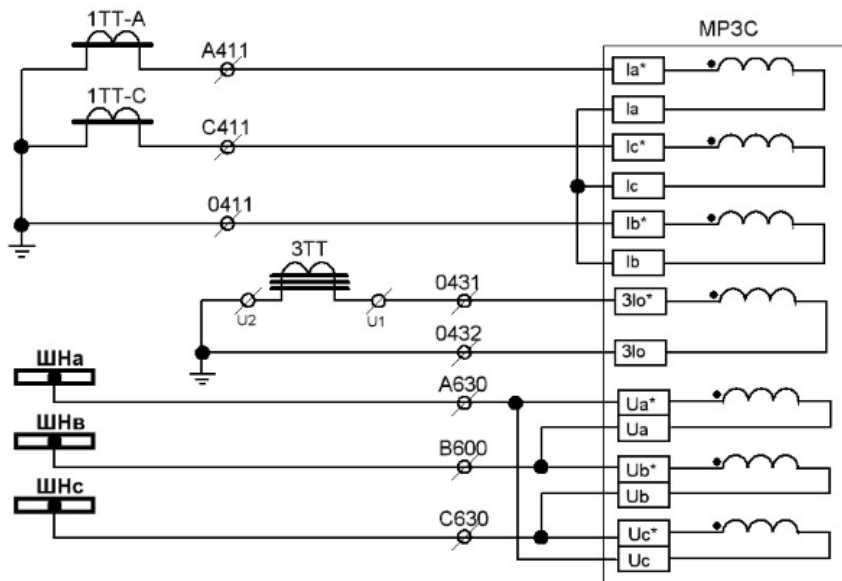


Рисунок 3.5 – Однолінійна схема живлення електродвигуна 6кВ

Де «В» вимикач який відповідає за подачу напруги 6кВ на високовольтний двигун.

ТТa, ТТc, ЗТТ – трансформатори струму

М – високовольтний мотор



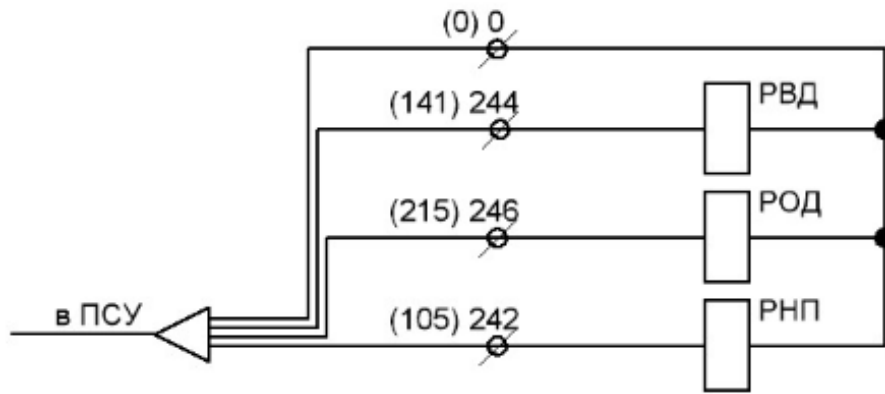


Рисунок 3.8 – Схема гальванічної розв'язки між ПСУ та мікропроцесорним пристроєм релейного

Заважаючи на проходження високовольтних кабельних ліній, збільшеної вологості та довгих маршрутів прокладання контрольних кабелів для керування високовольтною коміркою вважаю за необхідне встановлення гальванічної розв'язки. Це забезпечить надійне керування високовольтним вимикачем. Найпростішою гальванічною розв'язкою модна вважати проміжне реле.

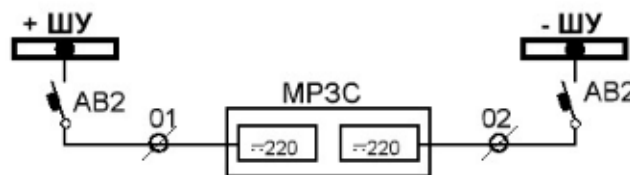


Рисунок 3.9 – Схема живлення мікропроцесорного пристрою

Для більш надійного живлення пропоную використовувати системи з постійним струмом такі як ШНВА, ШОТ або аналогічні.

Це дозволить забезпечити повноцінну роботу мікропроцесорного пристрою навіть при значному зниженні напруги при коротких замиканнях.

3.2.Перетворювачі частоти Altivar Process MV ATV6000



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд перетворювача

Зовнішній вигляд перетворювача показано на рисунку 3.4. Секція управління конструктивно є частиною секції трансформатора і є ізольованим модулем, повністю відокремлений від обладнання середньої напруги. Доступ до секції керування можливий під час роботи частоти перетворювача. Відповідно до вимог замовника до секції можуть встановлюватися додаткові пристрої [3].

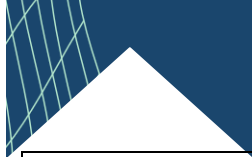
Має такі переваги:

- 1) оптимальне, без штучного ущільнення, розміщення компонентів в обмеженому просторі секції, що забезпечує відсутність локальних перегрівів і, таким чином, збільшує термін служби елементів схеми;
- 2) багаторівнева архітектура, що передбачає вбудований багатообмотувальний трансформатор, що дозволяє уникнути ефекту підшипникових струмів незалежно від дати випуску електродвигуна;
- 3) застосовані технічні рішення дозволяють застосовувати нове покоління перетворювачів частоти для керування вже встановленими електродвигунами без зміни проектних рішень та дозволяють забезпечити скорочення витрат на спожиту електроенергію та технічне обслуговування

перетворювачів частоти навіть із аналогічною топологією силової частини [3].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики перетворювача

1	2
Серія продукту	Altivar Process ATV6000
Тип виробу або компоненту	Перетворювач частоти середньої напруги
Тип виходу	IGBT інверторні, багаторівнева ШІМ
Частота мережі живлення	50 Гц +/- 5%
Кількість фаз мережі	3 фази
Вихідна напруга	<= номінальної напруги живлення
Вихідна частота приводу	0,1 ... 120 Гц
Роздільна здатність за частотою	0,01 Гц
Призначення продукту	Синхронні двигуни Двигуни з постійними магнітами Асинхронні двигуни
Форма керуючої дії асинхронним двигуном	Замкнутий цикл векторного керування U/F вектор керування Керування енергозбереження Векторне керування з компенсацій. ковзання в розімкн. контурі
Форма керуючої дії синхронним двигуном	Управління постій. магнітами у розімкненому контурі Управління постійними магнітами в замкнутому контурі Двигун з постійними магнітами з лінійним пуском
Коефіцієнт потужності	96



Тип дисплея	10 дюймів сенсорний РК-екран багатомовний
-------------	---

Продовження таблиці 3.1

1	2
Тип захисту	Перенапруга в мережі : привід Недонапруга в мережі : привід фази живлення : привід Перенапруга у ланці постійного струму: привід Теплове перевантаження трансформатора: привід Перегрів шафи : привід Перевантаження по току: привід Перевантаження : привід Захист від короткого замикання : привід IGBT для кожної комірки : привід Тепловий захист : двигун Обрив фази двигуна : двигун Замикання двигуна на землю: двигун Обрив у ланцюзі керування : привід Моніторинг вентилятора



Живлення ланцюгів управління	Внутрішнє живлення для потенціометра (1..10 кОм) 10,5 В постійний струм +/- 5 %, <10 мА захист від перевантаження та короткого замикання Зовнішнє живлення для цифрових входів 24 У постійний струм 19...30 У Зовнішнє живлення для схеми керування 100...240 В Додаткове джерело живлення 230 В змінний струм +/- 10 % Зовнішнє живлення для вентилятора охолодження 400 В змінний струм +/- 10 %
------------------------------	---

Продовження таблиці 3.1

1	2
Кількість аналогових входів	3
Кількість дискретних входів	10
Тип дискретного виходу	DI1...DI8 програмований , 24 В постійна напруга (≤ 30 В), повний опір : 3,5 кОм DI7, DI8 програмується як імпульсний вхід : 0...30 кГц, 24 постійна напруга (≤ 30 В) POEA, POEB Активація виходу ШІМ, 24 Постійна напруга (≤ 30 В), повний опір : $> 2,2$ кОм
Кількість аналогових виходів	2
Тип аналогового виходу	Конфігурована напруга : 0...10 В постійний струм повний опір 470 Ом, роздільна здатність 10 біт

	Конфігурований струм: 0...20 мА повний опір 500 Ом, роздільна здатність 10 біт
Кількість дискретних виходів	2
Тип дискретного виходу	Логічний вихід ≤ 30 постійний струм 100 мА
Кількість релейних виходів	3
Тип релейного виходу	Конфігурована релейна логіка R1: реле несправності нормально відкритий / закритий Конфігурована релейна логіка R2: реле послідовності нормально відкритий Конфігурована релейна логіка R3: реле послідовності нормально відкритий

Зовнішній вигляд внутрішніх блоків показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд внутрішніх блоків

Секція інвертора містить силові осередки, з'єднані певним чином, і виконують завдання формування кривої напруги на виході перетворювача частоти [3].

Кількість інверторних осередків визначається напругою двигуна та вимогами до резервування.

Інверторні осередки закріплені на напрямних, що забезпечують можливість доступу та заміни будь-якого з осередків. Має такі особливості:

1) оптимальність розміщення елементів (економія часу при діагностики та обслуговування);

2) компактність та невелика вага осередків (менші витрати часу на заміну);

3) простота установки (економія часу на встановлення та підключення) [3].

Топологія перетворювача частоти показана на рисунку 3.6.

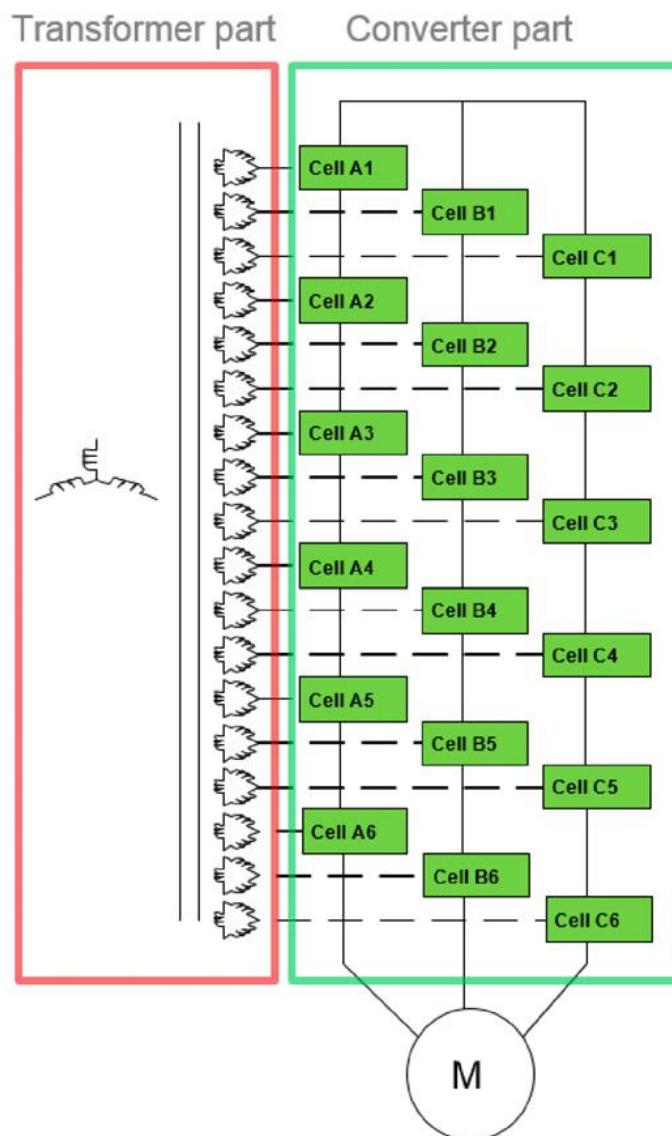


Рисунок 3.6 – Топологія перетворювача



Доступ до секції управління здійснюється з передньої панелі перетворювача, секції низької та середньої напруги повністю розділені. Секції трансформатора та інвертора розділені та можуть встановлюватися та транспортуватися окремо. Schneider Electric може запропонувати трансформатори з різним ККД залежно від вимог замовника.

Орієнтація на самодіагностику та своєчасне обслуговування:

- 1) створення масивів коректної та актуальної технічної інформації про стан приводу;
- 2) чудові комунікаційні можливості, можливість прогнозного технічного обслуговування;
- 3) дистанційний доступ та діагностика в режимі реального часу;
- 4) отримання технічної інформації за QR-кодом;
- 5) 10 дюймова рідкокристалічна панель оператора Magelis;
- 6) індикатори стану ключових елементів системи;
- 7) мінімальний час зупинки на обслуговування;
- 8) мінімальний час на проведення робіт;
- 9) мінімальна кількість запасних частин завдяки модульній архітектурі;
- 10) одностороннє обслуговування;
- 11) інтелектуальні можливості;
- 12) прогнозне технічне обслуговування;
- 13) можливість прогнозного технічного обслуговування, включаючи безперервний контроль параметрів, загальну оцінку ризику та рекомендований план дій за допомогою програмного забезпечення EcoStruxure™ Asset Advisor;
- 14) визначення потенціалу економії енергії;
- 15) оптимізація витрат на обслуговування;
- 16) постійна самодіагностика з видачею звітів та рекомендацій;
- 17) запис критичних параметрів обладнання;
- 18) можливість цілодобового доступу до сервісної служби Schneider Electric;
- 19) управління та контроль за споживанням електроенергії;
- 20) зменшення споживання електроенергії завдяки інноваційній системі керування;
- 21) можливість технічного обліку електроенергії без застосування додаткового обладнання (похибка виміру менше 5%);
- 22) оптимізація магнітного потоку двигуна у функції навантаження у всіх режимах роботи;
- 23) збір максимальної кількості даних та надання до них доступу в режимі реального часу [3].

Вихідні параметри зображено на рисунку 3.7.

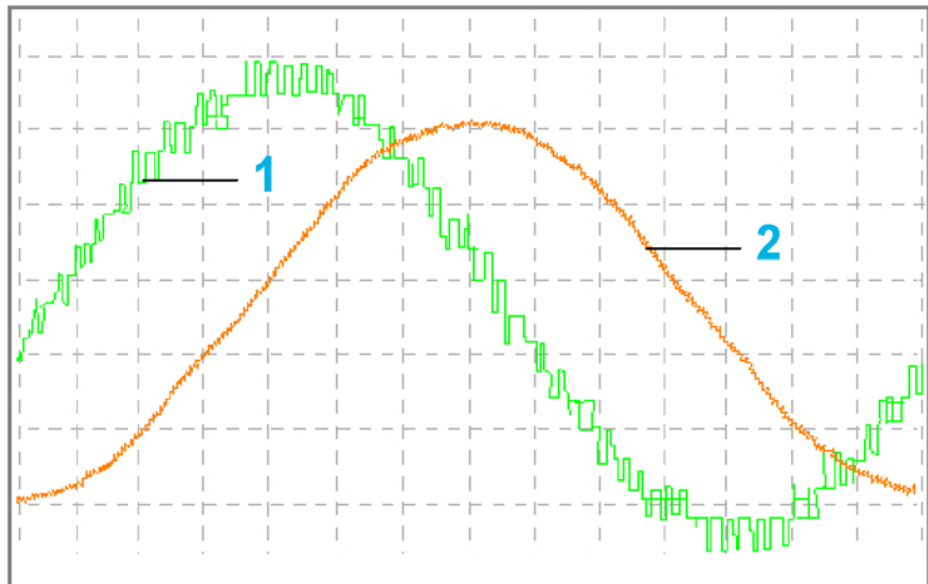


Рисунок 3.7 – Криві напруги (1) та струму (2) на виході перетворювача частоти.

- Відсутність спотворень кривих напруги та струму дає такі переваги:
- 1) можливість вбудовування в існуючу систему електропостачання;
 - 2) відсутність вищих гармонік у кривій струму, що споживається з мережі;
 - 3) гладка крива струму, споживаного електродвигуном;
 - 4) зниження втрат, відсутність вібрації та пульсацій моменту [3].
- Структуру електроприводу показано на рисунку 3.8.

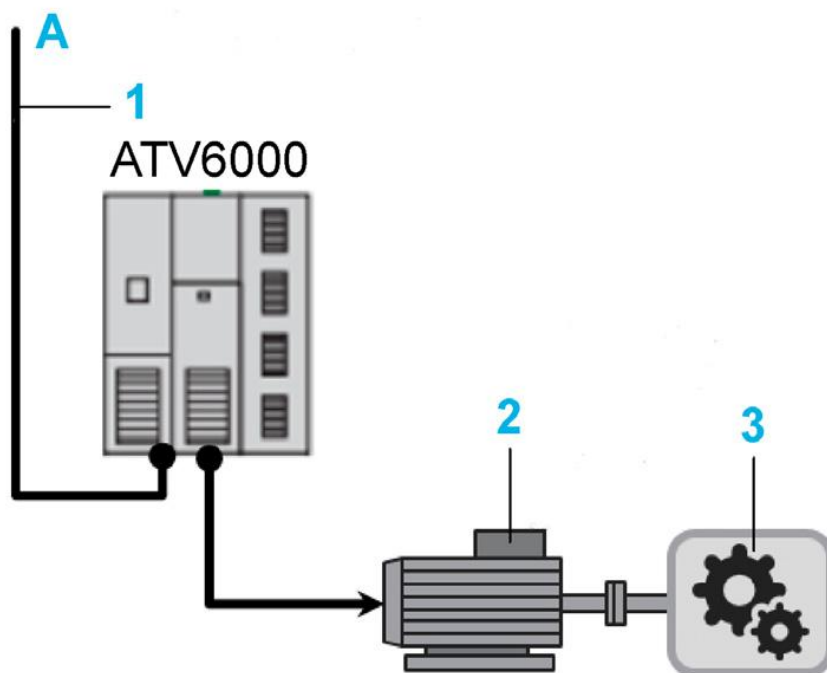


Рисунок 3.8 – Структура електроприводу: А - мережа живлення, 1 -

перетворювач частоти (струм, напруга та потужність, споживані з мережі), 2 - електродвигун (струм, напруга, частота обертання, температура обмоток та підшипників, споживання електроенергії), 3 - механізм (для насоса - перевантаження та низьке навантаження, заклинювання, кавітація, витрата, тиск, точка максимального ККД).

Наявність байпаса інверторного осередку дозволяє перетворювачу частоти ATV6000 продовжувати роботу навіть за виходу з ладу силових елементів схеми.

Випереджувальне технічне обслуговування.

Удосконалені функції діагностики дозволяють за допомогою порівняльних вимірювань та аналізу параметрів перетворювача частоти передбачати негативний розвиток подій та заздалегідь планувати роботи з технічного обслуговування. Модульна конструкція дозволяє проводити технічне обслуговування перетворювача частоти ATV6000 без значних тимчасових витрат [3].

Вибір оптимальної робочої точки технологічного обладнання

Забезпечення максимальної ефективності технологічного процесу, внесення коригувань при відхиленні від точки оптимального ККД системи (рисунок 3.9) [3].

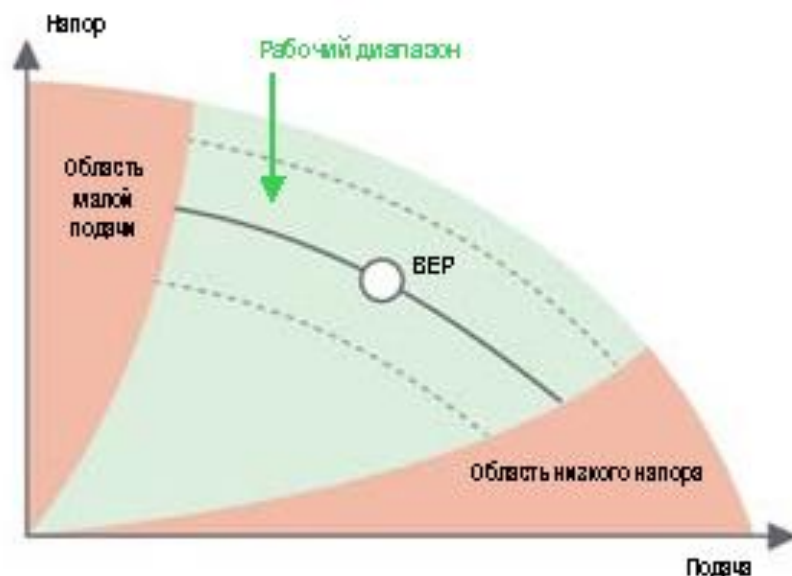


Рисунок 3.9 – Точка оптимального ККД (ВЕР, Best Efficiency Point)

3.3.Опис проблематики дослідження

Технологічна схема ЦТВШГ включає в себе операції з подачі технічної води споживачам та прийом, транспортування гідротранспортом промислових стоків та хвостів збагачення.

Насосами Д6300/80 насосною стаціонарною станцією зворотного водопостачання з пруда оборотного водопостачання технічна вода подається на РЗФ-1, РЗФ-2, ЦВО-1, ЦВО-2. Після збагачення руди по хвостовим лоткам хвости збагачення потрапляють на ПНС-1, звідки землесосами 2Грк8000/71 та насосними системами LHD-49 пульпа по 12-и пульпопроводам гідротранспортом перекачується на хвостосховище. Серед яких в постійній роботі знаходиться бшт., 4 – в резерві (на випадок аварійного відключення одного з робочих насосів), 2 – в ремонті (планове обслуговування, капітальний ремонт, модернізація тощо).

Регулювання пропускної кількості пустої породи відбувається за допомогою задвижки на вході а технологічний агрегат. Це не дає змогу оперативно відреагувати на зміни в потоку хвостів та приводить до частих виходів з ладу як самої задвижки так і робочого колеса агрегату.

Через збільшення кількості вимушених ремонтів при регулюванні задвижкою цей спосіб застосовують у крайніх випвдках.

Для запобігання переливу та затопленню машинного відділення надлишок хвостів скидають прямоютоком до першої аварійної ємності.

Пульпонасосну станцію живлять три розподільчі підстанції 6кВ №28, 38, 39. Однолінійні схеми яких наведені нижче на рисунку 3.10, рисунку 3.11 та рисунку 3.12.

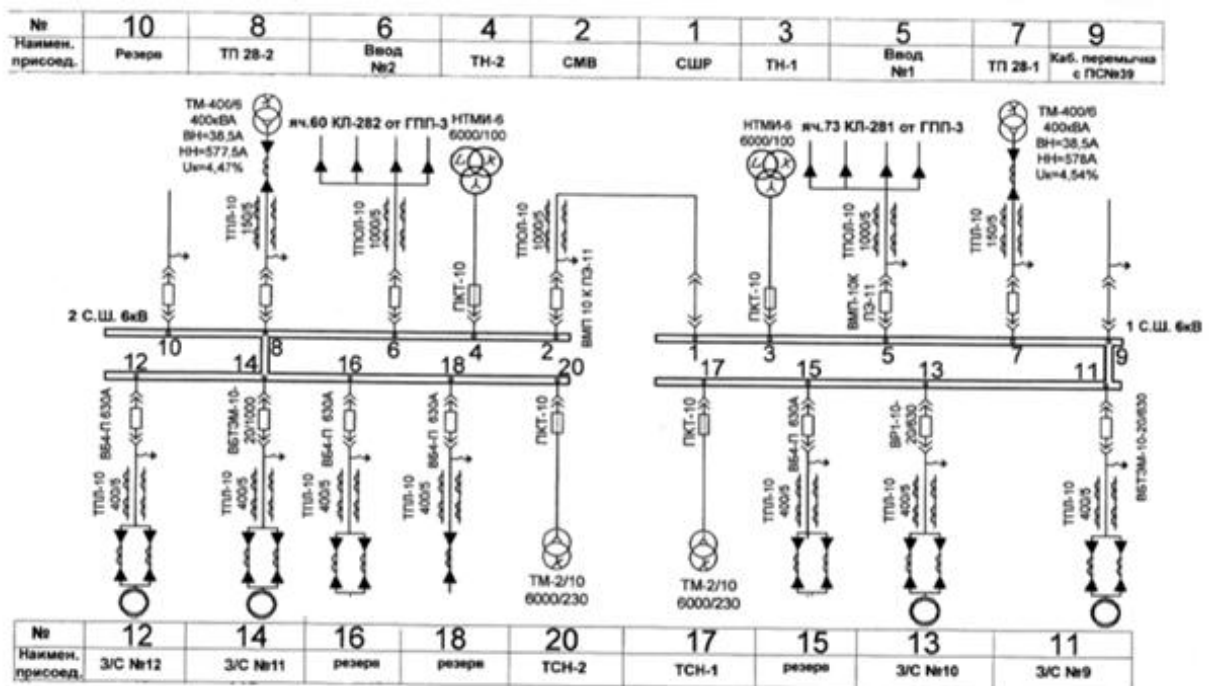


Рисунок 3.10 – Однолінійна схема підстанції №28

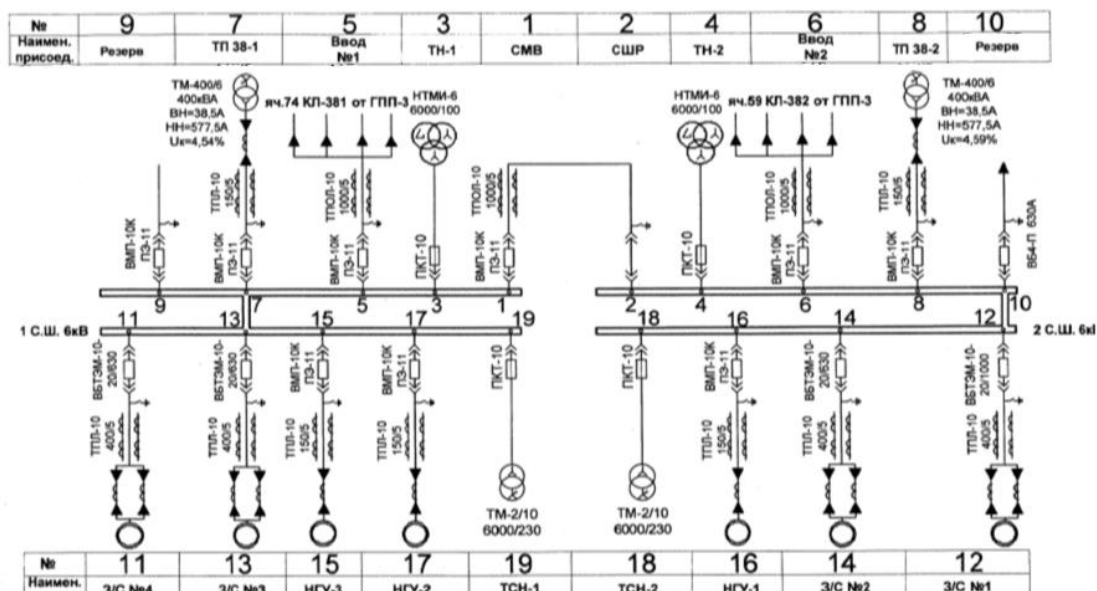


Рисунок 3.11 – Однолінійна схема підстанції №38

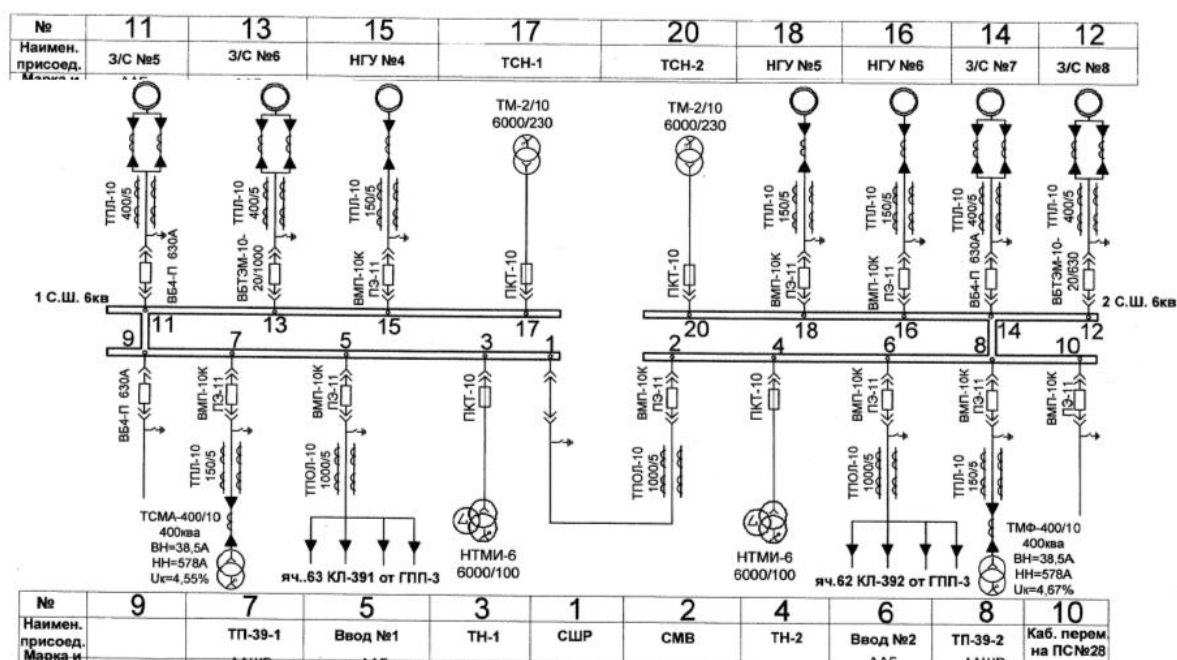


Рисунок 3.12 – Однолінійна схема підстанції №39

Релейний захист високовольтних комірок цих підстанцій виконаний на базі електромеханічних реле 1967-82 років випуску. Дані реле вичерпали свій механічний та моральний ресурс.

Фото релейної шафи на розподільчих підстанціях пульпонасосної станції на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Фото існуючої системи РЗ



Рисунок 3.14 – Приклад сучасної системи РЗ

Сучасні засоби релейного захисту (рисунок 3.14) використовуються на базі різноманітних мікропроцесорних пристроїв.

При виборі пристроїв релейного захисту я користувався наступними критеріями:

- 1) їх повинен виробляти вітчизняний виробник;
- 2) пристрій повинен бути сертифікований Українськими та європейськими інститутами;

- 3) мати власний повний цикл виробництва на території України;
- 4) досвід в сфері релейного захисту та автоматики не менше 20 років.

Після вивчення різних виробників та моделей я обрав "Київприлад" з приладом релейного захисту MRZS-F.

На пульпонасосній станції використовуються високовольтні агрегати типу 2Грк8000/71 та LHD-49 з «прямим пуском». Це негативно впливає на живлячу електромережу – «важкі» запуски двигунів завжди супроводжуються збільшеними струмами та просадкою напруги що може загрожувати виходу з ладу як самого двигуна так і високовольтної кабельної продукції, силових вимикачів, інших електричних машин. Через різке збільшення тиску в пульпопроводах виникають пориви труб як поперечного так і повздовжнього характеру.

Спричинені аварійні ситуації під час запуску високовольтних двигунів приводять до зниження планових обсягів виробництва концентрату та обкотків. Для ліквідації аварій необхідно залучення спец техніки та додатковий ресурс ремонтного персоналу [4].

Для зменшення аварійних ситуацій необхідно використовувати плавний запуск високовольтних двигунів, «дешеві» системи плавного запуску використати не можливо з причин їх короткочасного режиму роботи (повний цикл пуску двигуна займає до 30с,) що не забезпечує вихід на робочі характеристики технологічних агрегатів. Отже необхідно використовувати частотний перетворювач який здатен виводити технологічний агрегат на його робочі характеристики протягом декількох хвилин [4].

Пропоную встановити частотний перетворювач за допомогою якого можна плавно запускати технологічне обладнання та регулювати його технічні характеристики.

Спрощена схема живлення технологічного обладнання за допомогою частотного перетворювача показана на рисунку 3.15.

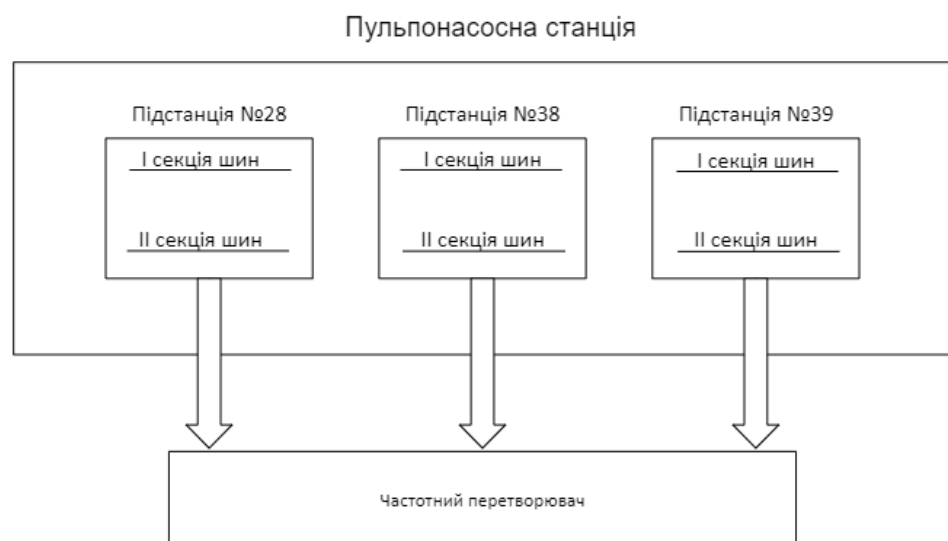




Рисунок 3.15 – Блок-схема сучасної схеми живлення

Спрощена схема роботи частотного перетворювача на рисунку 3.16.

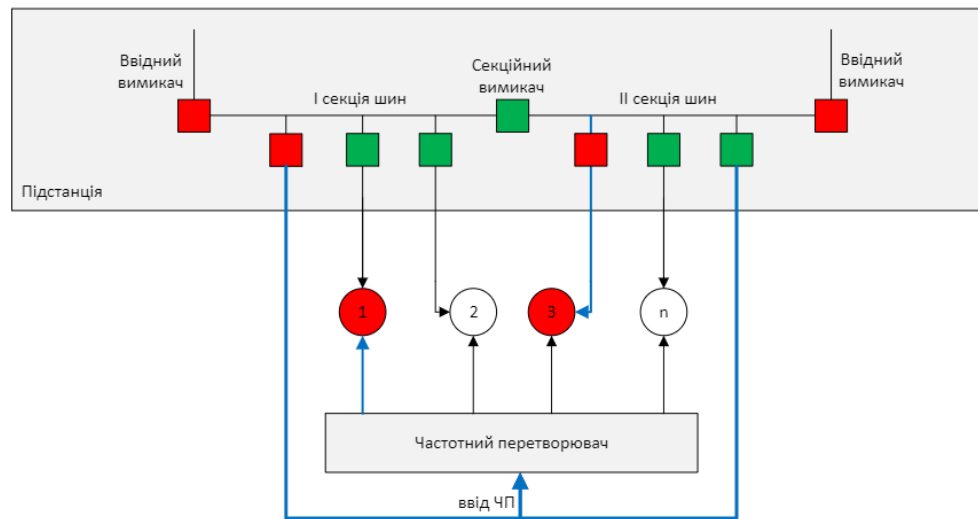


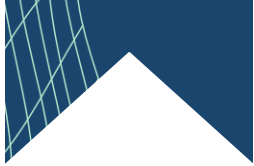
Рисунок 3.15 – Блок-схема спрощеної схеми живлення

Як видно зі схеми високовольтні двигуни можна запускати як прямим пуском так і за допомогою частотного перетворювача.

Одночасно можна запускати лише один високовольтний двигун, після того як він вийде на свої робочі характеристики двигун перемикається на свою робочу комірку та продовжую працювати з неї а контактор частотного перетворювача відключається. Що дає змогу запускати наступний високовольтний двигун.

За виробничої необхідності є можливість збільшити або зменшити частоту обертання двигуна та залишити його працювати в такому режимі від частотного перетворювача.

Як видно зі схеми до одного частотного перетворювача можна підключити для запуску декілька високовольтних двигунів навіть якщо вони будуть живитися з різних підстанцій, або тривалої роботи одного високовольтного двигун



РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Рудозбагачувальна фабрика отримує сировину з дробильної фабрики №1. Максимально одночасно в роботі може бути задіяно 22 секції з 24 можливих.

Діюче електрообладнання ЦТВШГ налічує 12 замлесосів, які задіяні у технологічному ланцюзі виробництва концентрату РЗФ-1 – перекачують хвости.

На РЗФ-1 в роботі 18 секцій. Відкачку хвостів з яких забезпечують від 6 до 8 аргегаті в залежності від кількості поступаючих хвостів. Зупинка одного з насосів ЦТВШГ призводить до пропорційного зниження виробництва (2-4 секції рудозбагачувальної фабрики). Тобто впровадження модернізації знизить не тільки питомі втрати електроенергії на експлуатацію електричних машин, а ще й підвищить надійність виробництва кінцевої продукції підприємства.

Для впровадження проєкт з модернізації необхідний час – 1 рік. За рік РЗФ-1 згідно оперативного плану отримує продукції 221715,69 тис. доларів.

Витрати на закупку ТМЦ, підключення, налагодження та розробку проєктної документації складають 12500 тис. грн, тобто інвестиційні кошти ІК складатимуть в перерахунку приблизно 301,5 тис. доларів. Так як період реалізації один рік, то сума грошового потоку ГП і буде дорівнювати сумі доходу за оперативним планом.

За формулою 4.1, наведеною нижче, визначимо чисту поточну вартість NPV проєкту,

$$NPV = ГП - ІК \quad (4.1)$$

Підставивши всі необхідні значення, отримаємо:

$$NPV = 221715,69 - 301,5 = 221414,2 \text{ тис. доларів}$$

За формулою 4.2 визначимо індекс прибутковості проєкту.

$$IP = \frac{ГП}{ІК} \quad (4.2)$$

Тоді, підставивши всі необхідні значення, отримуємо:

$$IP = \frac{221715,69}{301,5} = 735,4$$



За формулою 4.3 визначимо період окупності проєкту.

$$PP = \frac{IK}{\Gamma\Pi/n} \quad (4.3)$$

В результаті отримаємо період окупності:

$$PP = \frac{301,5}{221715,69/1} = 0,014 \text{ років,}$$

що становить 4 доби роботи підрозділу РЗФ-1 на повну завантаженість.

Дані розрахунки економічного проєкту говорять про те, що впровадження доцільне, так як показник чистої поточної вартості позитивний, період окупності складає менше за період реалізації, 4 доби роботи фабрики РЗФ-1 на повну завантаженість, індекс прибутковості має позитивне значення.



ВИСНОВКИ

Під час розробки дипломної роботи на підприємстві було виявлено проблему, яка призводить до значних виробничих втрат. Ця проблема полягає в застарілому обладнанні релейного захисту та «прямих» запусках високовольтних двигунів, що призводить до виходу з ладу дорого вартісного обладнання та значних фінансових затрат на виконання ремонту та відновлення обладнання.

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано замінити електромеханічні реле на сучасні мікропроцесорні пристрої релейного захисту, а запуски високовольтних двигунів виконувати за допомогою частотних перетворювачів. Це дозволить знизити ризики виходу з ладу електромеханічного обладнання, високовольтної кабельної продукції та інше.

Модернізація обладнання дозволить проводити запуски високовольтних двигунів як прямим пуском так і за допомогою частотного перетворювача.

Навіть при встановленні одного частотного перетворювача одночасно можна буде запускати лише один високовольтний двигун, але після того як він вийде на свої робочі характеристики двигун перемикається на свою робочу комірку та продовжує працювати з нею а контактор частотного перетворювача відключається. Що дає змогу запускати наступний високовольтний двигун. Від одного частотного перетворювача можна підключити для запуску декілька високовольтних двигунів навіть якщо вони будуть живитися з різних підстанцій, або тривалої роботи одного високовольтного двигуна

За виробничої необхідності є можливість збільшити або зменшити частоту обертання двигуна та залишити його працювати в такому режимі від частотного перетворювач.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник. Львів : Львівська політехніка, 2013. 533 с.
2. Пристрій захисту MRZS. Промавтоматика. *Промавтоматика*: веб-сайт URL: <https://rza.promav.com/product/zahist-vvodu-i-vidhidnih-linij/mrzs-f3/> (дата звернення 29.11.2024).
3. Перетворювач частоти середньої напруги Altivar Process ATV6000. Schneider Electric: веб-сайт URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/65607-altivar-process-atv6000/#products> (дата звернення 21.11.2024).
4. Дослідження експлуатаційних властивостей машин і обладнання / М. В. Голотюк та ін. Рівне : НУВГП, 2021. 383с.
5. Проектування електричних машин / Д. В. Ципленков та ін. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 408с.
6. Хорольський В. П., Ю. М. Коренець: підручник. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2022. 375 с.