

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ  
ПІДПРИЄМСТВА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЮ  
КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОМПЕНСАЦІЇ  
РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НАВАНТАЖЕННЯ»**

Виконав: студент VI курсу  
групи Ен-61 спеціальності  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

( шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Сіверський Н.С.

Керівник: \_\_\_\_\_ Гречин Д.П.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Лиса О.В.

**ДУБЛЯНИ 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – *другий (магістерський) рівень*

Спеціальність 141 «*Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

к.т.н., доцент В.Р. Левонюк

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Сіверському Назарію Сергійовичу

Тема роботи: «Аналіз роботи системи електропостачання підприємство із використанням пристрою конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності навантаження»

Керівник роботи: \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент, Гречин Д.П. \_\_\_\_\_.

затверджені наказом по університету від “ \_\_\_\_ ” червня 2024р., № \_\_\_\_ /к-с.

1. Строк подання студентом роботи: \_\_.\_\_.2024р.

2. Вихідні дані до роботи:

1. ДСТи, СНіПи; 2. Документація виробника до контролерів Beluk BLR-CX 14 R, Документація виробника до автоматичних вимикачів і контакторів Siemens;

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

Потреба і актуальність встановлення компенсуючої конденсаторної установки.

Опис конструкції. Підбір компонентів. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Ефективність прийнятих рішень.

5. Перелік графічного матеріалу – презентація.

## 6. Консультанти з розділів кваліфікаційної роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	<i>Дробот І. М., ст.викладач</i>			
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>			

## 7. Дата видачі завдання 12.05.2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ етапу	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Отримання завдання. Вивчення рекомендованої літератури за темою КР, написання аналітичного огляду кваліфікаційної роботи, вивчення об'єкту (I розділ роботи).	19.02 - 21.03.23	
2.	Написання методичної частини роботи (II розділ роботи).	22.03 - 11.04.23	
3.	Розроблення установки, вибір та обґрунтування позицій щодо реалізації результатів роботи. Розроблення питань з охорони праці, Написання економічної частини. (III- V розділи роботи).	12.04 - 11.05.23	
4.	Кінцеве оформлення кваліфікаційної роботи та оформлення ілюстративних матеріалів, таблиць, здача КР на рецензування.	12.05 - 17.05.23	
5.	Підготовка до захисту в ЕК (написання доповіді). Пробний захист на кафедрі, виправлення зауважень. Завершення кваліфікаційної роботи в цілому	18.05 - 23.05.23	

Студент

(підпис)

Сіверський Н.С.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Гречин Д.П.

УДК 65.011.5:633.1

## Р Е Ф Е Р А Т

Сіверський Н.С. «Аналіз роботи системи електропостачання підприємство із використанням пристрою конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності навантаження». Кваліфікаційна робота, Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 64 ст. текстової частини, 29 рис., 4 табл., 24 джерел посилання.

**Об’єкт дослідження:** система електропостачання підприємства, яка потребує оптимізації енерговитрат та покращення якості електропостачання.

**Метою роботи:** аналіз ефективності роботи системи електропостачання підприємства із використанням пристрою конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності навантаження. Дослідження спрямоване на вивчення можливостей підвищення стабільності електропостачання, зменшення енергетичних втрат та підвищення економічної ефективності.

**Завдання дослідження:** дослідити теоретичні основи компенсації реактивної потужності, провести аналіз параметрів електропостачання підприємства до і після впровадження конденсаторної установки для оцінки її ефективності, розрахувати оптимальні параметри конденсаторної установки та визначити її вплив на навантаження в електромережі, проаналізувати питання охорони праці, провести економічну оцінку.

У кваліфікаційній роботі: досліджено теоретичні основи компенсації реактивної потужності, проведено аналіз параметрів електропостачання підприємства до і після впровадження конденсаторної установки для оцінки її ефективності, розраховано оптимальні параметри конденсаторної установки та визначено її вплив на навантаження в електромережі, проаналізовано питання охорони праці, проведено економічну оцінку.

**Ключові слова:** конденсатор, контролер, автоматичний вимикач, контактор потужність.

### **Анотація**

Кваліфікаційна робота на тему «Аналіз роботи системи електропостачання підприємства із використанням пристрою конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності навантаження».

В кваліфікаційній роботі проведено: аналіз роботи компенсуючої конденсаторної установки, аналіз 2 різних концепцій компенсуючої конденсаторної установки, проведено вибір та обґрунтування вимірювальної техніки, комутаційної апаратури, конденсаторів та контролерів для підприємства, розроблено електричну схему для компенсуючої конденсаторної установки, в роботі розроблено заходи з охорони праці, розраховано економічну доцільність.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Характеристика систем електропостачання промислових підприємств	11
1.2 Природа реактивної потужності: причини та наслідки її виникнення..	13
1.3 Вплив реактивної потужності на ефективність роботи електромережі	15
1.4 Принцип дії конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності .....	16
1.5 Основні характеристики та параметри конденсаторних установок .....	17
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	19
2.1 Загальна характеристика підприємства та його енергетичного господарства .....	19
2.2 Аналіз споживання активної та реактивної потужності.....	21
2.3 Оцінка параметрів навантаження та якості електроенергії до впровадження конденсаторних установок.....	24
2.4 Опис електричної схеми та аналіз компоновки конденсаторної установки .....	27
3 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВА .....	29
3.1 Вибір і розрахунок параметрів конденсаторної установки для підприємства.....	29
3.2 Методика розрахунку необхідної потужності конденсаторної установки .....	29

3.3 Підбір комплектуючих частин конденсаторної установки .....	30
3.4 Електрична схема системи автоматичного навантаження зерна .....	46
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	49
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	56
ВИСНОВКИ .....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	61

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АС – (англ. Alternating current) – змінний струм.

ДС – (англ. Direct current) – постійний струм.

АВР – автоматичне ввімкнення резерву

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння.

ДГУ – дизель-генераторна установка.

ККУ – компенсуюча конденсаторна установка.

НАПБ – нормативно-правовий акт із питань пожежної безпеки.

НД – нормативні документи.

НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці.

ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

ПТЕЕС – правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

ПУЕ – правила улаштування електроустановок.

РУ – розподільча установка.

ТП – трансформаторна підстанція.



## ВСТУП

Система електропостачання підприємства відіграє ключову роль у забезпеченні стабільної роботи обладнання, підтримці високої якості продукції та оптимізації виробничих процесів. У сучасних умовах зростання цін на енергоресурси та вимог до якості електроенергії, питання підвищення енергоефективності стає дедалі важливішим для підприємств різних галузей. Одним із основних факторів, що впливають на якість електропостачання та зростання енергетичних витрат, є реактивна потужність, яка, хоч і не виконує корисної роботи, створює додаткове навантаження на електромережу. Компенсація реактивної потужності – важливий аспект для підприємств, які прагнуть зменшити витрати та забезпечити стабільну роботу електромережі.

Для компенсації реактивної потужності та зниження енергетичних втрат широко використовуються компенсуючі конденсаторні установки (ККУ), що дозволяють зменшити реактивну потужність в електромережі, підвищуючи ефективність системи електропостачання. Завдяки використанню ККУ можна суттєво знизити навантаження на електромережу та мінімізувати енергетичні втрати. Ефективне управління компенсацією реактивної потужності сприяє оптимізації витрат на електроенергію та підвищенню стабільності електропостачання, що важливо для безперебійної роботи обладнання на підприємстві.

Завдання дослідження

Досягнення цієї мети передбачає вирішення наступних завдань:

- дослідити теоретичні основи компенсації реактивної потужності в системах електропостачання підприємств;
- провести аналіз параметрів електропостачання підприємства до і після впровадження конденсаторної установки для оцінки її ефективності;
- розрахувати оптимальні параметри конденсаторної установки та визначити її вплив на навантаження в електромережі;

- розробити рекомендації щодо поліпшення безпеки та зниження ризиків при експлуатації конденсаторної установки;
- провести економічне обґрунтування доцільності впровадження конденсаторної установки для оцінки економічного ефекту та терміну окупності.

Предметом дослідження є процес компенсації реактивної потужності за допомогою конденсаторної установки та її вплив на показники електромережі підприємства.

Актуальність теми — дослідження зумовлено необхідністю зниження витрат підприємств на електроенергію в умовах війни, пошкоджень електромереж, постійного зростання тарифів на енергоресурси. Використання конденсаторних установок дозволяє підприємствам не лише компенсувати реактивну потужність, але й забезпечувати більш стабільне електропостачання, що важливо для ефективної роботи виробничого обладнання. Цей аспект особливо важливий для підприємств, де безперебійність електропостачання є критичним фактором.

Для реалізації мети та завдань використовуватимуться методи аналізу електротехнічних параметрів, розрахунки економічної ефективності, а також інструменти аналізу ризиків для охорони праці.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Характеристика систем електропостачання промислових підприємств

Системи електропостачання промислових підприємств забезпечують постачання електроенергії для всіх технологічних процесів, обладнання та допоміжних потреб підприємства. Вони мають специфічні вимоги до потужності, стабільності параметрів струму і напруги, а також високої надійності через постійні інтенсивні навантаження, характерні для промислового виробництва.

Зазвичай система електропостачання промислових підприємств включає такі основні компоненти:

1. Внутрішні електромережі — електричні мережі, що розподіляють енергію від підстанції підприємства до різних виробничих цехів та установок. Вони можуть бути як високовольтними, так і низьковольтними, залежно від потреб конкретного обладнання.

2. Підстанції та розподільчі пункти — місця, де електроенергія трансформується з високої напруги (яка зазвичай подається від мережі енергопостачальної компанії) на рівень, необхідний для живлення обладнання підприємства. Підстанції також захищають обладнання від перепадів напруги та коротких замикань.

3. Системи автоматичного керування та захисту — обладнання для забезпечення безпеки та стабільності роботи всієї системи електропостачання. Воно дозволяє автоматично відключати окремі лінії або обладнання в разі аварійних ситуацій, а також регулювати роботу мережі для зниження навантаження. Сюди ж відносяться АВР (Рис. 1.1)



Рисунок 1.1 – Пристрій автоматичного вводу резерву Siemens SENTRON ATC5300 3KC9-000-8TL30 [1]

4. Джерела резервного живлення — на багатьох промислових підприємствах передбачені генератори або інші резервні джерела енергії для забезпечення безперервності процесів у випадку збоїв у основній мережі. Зазвичай це є ДГУ (Рис.1.2), так як дизельне пальне завжди є в доступі, а самий дизельний ДВЗ є економнішим за аналогічний бензиновий. Приклад схеми із резервною ДГУ показано на Рис.1.3



Рисунок 1.2 – ДГУ JCB G545QX [2]

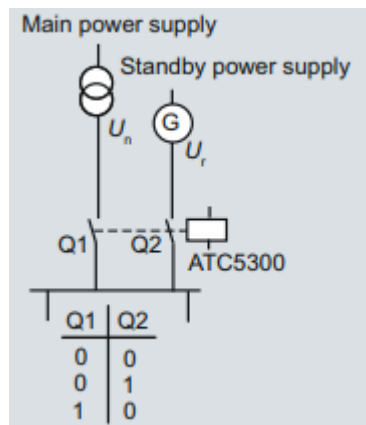


Рисунок 1.3 – Схема із резервною ДГУ та пристроєм АВР Siemens SENTRON ATC5300 ЗКС9-000-8TL30 [1]

Від особливостей системи електропостачання промислових підприємств залежать також вимоги до компенсації реактивної потужності, яка часто є значною через велику кількість індуктивних навантажень. Зменшення реактивної потужності дозволяє оптимізувати роботу мережі, знижуючи навантаження на кабельні лінії та підвищуючи коефіцієнт потужності, що веде до економії енергоресурсів.

Такі системи вимагають регулярного обслуговування, моніторингу та оптимізації, оскільки їх стан безпосередньо впливає на ефективність виробничих процесів, якість продукції та безпеку на підприємстві.

## 1.2 Природа реактивної потужності: причини та наслідки її виникнення

Реактивна потужність – це компонента електричної потужності, яка не здійснює корисної роботи, але є необхідною для утворення електромагнітних полів у пристроях, що мають індуктивні та ємнісні елементи. На відміну від активної потужності, яка перетворюється на теплову, механічну чи іншу енергію, реактивна потужність "переміщується" між джерелом та

навантаженням, не виконуючи корисної роботи. Але попри те, що вона не виконує корисної роботи, підприємства зобов'язані платити за неї.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

Причини виникнення реактивної потужності:

1. Індуктивні навантаження: Більшість промислових споживачів, таких як електродвигуни, трансформатори та індукційні печі, мають індуктивну природу. Вони споживають реактивну потужність для утворення магнітного поля, необхідного для їхньої роботи.

2. Ємнісні навантаження: Хоча їхній вплив зазвичай менший, ємнісні елементи, такі як кабельні мережі (Рис. 1.4), конденсатори та деякі види освітлювального обладнання, також вносять свій вклад у формування реактивної потужності.



Рисунок 1.4 – Кабельний лоток, заповнений кабелями

Наслідки виникнення реактивної потужності:

1. Зростання струму в мережі: Реактивна потужність збільшує загальний струм у проводах, що призводить до підвищення втрат потужності на нагрівання.

2. Зниження коефіцієнта потужності: Високий рівень реактивної потужності знижує коефіцієнт потужності ( $\cos \phi$ ), який є важливим показником енергоефективності. Низький коефіцієнт потужності свідчить про те, що мережа працює з великими втратами.

3. Перепади напруги: Збільшення струму, викликане реактивною потужністю, може спричинити значні перепади напруги в мережі, що негативно впливає на чутливе обладнання.

4. Некономічна робота обладнання: Через зростання навантаження на генератори, трансформатори та інші елементи електромережі їхній ресурс зменшується, що підвищує частоту ремонтів та експлуатаційні витрати. Окрім цього, як було сказано раніше, реактивна потужність оплачується так само, як і активна.

Загалом, реактивна потужність негативно впливає на енергоефективність мережі, збільшуючи витрати на енергопостачання та обслуговування обладнання.

### **1.3 Вплив реактивної потужності на ефективність роботи електромережі**

Реактивна потужність створює додаткове навантаження на електричну мережу, що призводить до низки негативних наслідків.

Вплив на ефективність електромережі:

1. Збільшення загальних втрат у мережі: Реактивна потужність збільшує струм у проводах, що підвищує втрати потужності на опір проводів. Це призводить до того, що частина енергії просто витрачається на нагрівання.

2. Зниження пропускної здатності: Оскільки трансформатори, генератори та кабельні лінії мають обмежену потужність, реактивна компонента зменшує можливість передачі активної потужності, необхідної для виконання корисної роботи.

3. **Перевантаження обладнання:** Реактивна потужність підвищує навантаження на елементи електромережі, що призводить до їх швидшого зносу, частих відмов у роботі та збільшення потреби у ремонтах.

4. **Погіршення якості електроенергії:** Реактивна потужність сприяє появі перепадів та флуктуацій напруги, що негативно впливає на роботу чутливого електронного обладнання, особливо на високотехнологічне виробниче устаткування.

**Економічний аспект:** Зниження коефіцієнта потужності через реактивну потужність підвищує витрати на електроенергію. Багато енергетичних компаній запроваджують штрафи для споживачів із низьким коефіцієнтом потужності, стимулюючи їх до впровадження систем компенсації реактивної потужності.

#### **1.4 Принцип дії конденсаторних установок для компенсації реактивної потужності**

Конденсаторна установка — електроустановка, що складається з конденсаторів, допоміжного електроустаткування (вимикачів, роз'єднувачів, розрядних резисторів, пристроїв регулювання, захисту тощо), що належать до них, та ошиновки.

Конденсаторна установка може складатися з однієї чи декількох конденсаторних батарей або з одного або декількох окремо встановлених одиничних конденсаторів, приєднаних до мережі через комутаційні апарати. [3]

Конденсаторні установки використовуються для компенсації індуктивної реактивної потужності, яка створюється індуктивними навантаженнями. Завдяки цьому, коефіцієнт потужності мережі підвищується, що сприяє покращенню енергоефективності системи електропостачання.

**Принцип дії:**



1. Генерація ємнісної реактивної потужності: Конденсаторні батареї генерують реактивну потужність, протилежну за фазою до індуктивної реактивної потужності. Це дозволяє зменшити загальний обсяг реактивної потужності в мережі.

2. Компенсація реактивної потужності: Оскільки індуктивна та ємнісна потужності взаємно компенсуються, зменшується потреба в реактивній потужності, що надходить від генератора.

3. Підвищення коефіцієнта потужності: Компенсація реактивної потужності призводить до збільшення коефіцієнта потужності, що дозволяє більш ефективно використовувати наявні потужності мережі.

Типи конденсаторних установок:

- Постійно ввімкнені: Вони використовуються для компенсації постійного рівня реактивної потужності у випадку стабільного навантаження.
- Автоматичні: Оснащені контролерами, які вмикають і вимикають конденсатори залежно від зміни навантаження.

Конденсаторні установки є одним з найбільш ефективних і економічно вигідних рішень для компенсації реактивної потужності.

### **1.5 Основні характеристики та параметри конденсаторних установок**

Для забезпечення ефективною компенсації реактивної потужності конденсаторні установки повинні мати відповідні характеристики, які дозволяють їм взаємодіяти з іншими елементами електромережі.

Основні параметри конденсаторних установок:

1. Номінальна потужність: Потужність конденсаторної установки визначає обсяг реактивної потужності, яку вона може компенсувати. Вона має відповідати потребам конкретної мережі, щоб забезпечити оптимальний коефіцієнт потужності.

2. Робоча напруга: Конденсаторні установки повинні працювати при нарузі, що відповідає параметрам електромережі підприємства.

3. Тип регулювання: Автоматичне регулювання дозволяє налаштовувати обсяг компенсації залежно від поточного навантаження, тоді як статичні установки мають фіксовану потужність.

4. Кількість і тип конденсаторів: Конденсаторні установки можуть складатися з кількох конденсаторних батарей, що дозволяє точніше регулювати рівень компенсації.

5. Захисні механізми: Конденсаторні установки оснащуються захисними пристроями, такими як запобіжники, реле перенапруги та захист від перегріву, щоб гарантувати їхню безпечну роботу в умовах інтенсивного навантаження.

Додаткові характеристики:

- Енергоефективність: Високоєфективні установки споживають мінімальну кількість активної потужності, що знижує загальні витрати на електроенергію.

- Термін експлуатації: Більшість конденсаторних установок розраховані на тривалий термін експлуатації, що дозволяє підприємствам мінімізувати витрати на їхнє технічне обслуговування.

- Вимоги до обслуговування: Конденсаторні установки потребують регулярної діагностики для забезпечення стабільної та безперебійної роботи.

## **2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА**

### **2.1 Загальна характеристика підприємства та його енергетичного господарства**

Прикладом для опису буде слугувати олійно-екстракційний завод. Він спеціалізується на виробництві рослинної олії, зокрема соняшnikової, соєвої або ріпакової. Основна продукція включає сирі та рафіновані олії, а також побічні продукти, такі як макуха, ліцетин, лушпиння і шрот, що використовується для виробництва комбікормів. Технологічний процес екстракції олії охоплює кілька етапів: підготовку сировини (очищення та обрушення насіння), пресування (вичавлення олії), екстракцію (вилучення олії розчинником) і подальшу рафінацію. Також на олійно-екстракційному заводі є ще цех грануляції, який виготовляє гранули шроту і лушпиння. Кожен з етапів потребує значних обсягів електроенергії, тепла та води.

Олійно-екстракційний завод є енергоємним підприємством, але його енергоспоживання менше порівняно з важкою промисловістю, наприклад, металургією. Середньомісячне споживання енергії залежить від обсягу обробленої сировини і може складати кілька сотень тисяч кВт·год. Споживання змінюється в залежності від періодів високого урожаю, коли обсяги виробництва зростають, і міжсезоння, коли споживання енергії знижується. Для оптимізації витрат енергії завод часто працює у змінному режимі, залежно від доступності сировини.

До складу енергетичного господарства олійно-екстракційного заводу входять:

- Розподільчі електричні мережі – система, що забезпечує подачу електроенергії до всіх виробничих цехів і відділів.
- Трансформаторні підстанції – забезпечують пониження напруги для технологічного обладнання та підтримання стабільного живлення.

- Котельні установки – для виробництва пари, яка необхідна в процесі підготовки сировини та віджиму.
- Силкові установки – двигуни та компресори, що забезпечують безперебійну роботу екстракторів, сепараторів, пресів, транспортерів та інших агрегатів.
- Резервні генератори – використовуються для забезпечення резервного живлення під час перебоїв у мережі.
- Системи контролю та автоматизації – для контролю споживання енергії, управління роботою установок і забезпечення безпеки в екстракційних процесах.

На олійно-екстракційному заводі основними споживачами є обладнання з індуктивним навантаженням – численні електродвигуни, компресори та насоси. Крім того, у системах опалення та кондиціонування можуть використовуватися ємнісні установки. Підприємство має змішане навантаження, і для підтримки стабільної роботи енергетичної системи необхідна компенсація реактивної потужності.

Енергетичне господарство заводу структуроване таким чином, щоб забезпечити безперервність технологічного процесу. Організація роботи включає підрозділи, відповідальні за обслуговування та ремонт обладнання, управління подачею енергії та резервними джерелами. Персонал енергогосподарства складається з інженерів, електриків та операторів, які здійснюють моніторинг, технічне обслуговування і ремонт. Регулярні перевірки, профілактичне обслуговування та наявність резервних джерел живлення дозволяють мінімізувати ризики збоїв у процесі виробництва, що критично для безперервної переробки сировини.

Таким чином, завдяки організованому енергетичному господарству та системам автоматизації олійно-екстракційний завод може ефективно управляти енергоспоживанням, оптимізувати витрати та забезпечувати стабільність виробничого процесу.

## 2.2 Аналіз споживання активної та реактивної потужності

Олійно-екстракційні заводи є одними з найбільш енергоємних підприємств у харчовій промисловості. Їх виробничий процес включає ряд технологічних етапів, таких як очищення насіння, подрібнення, обробка сировини паром, пресування, екстракція олії, рафінація, транспортування і пакування готової продукції. Кожен з цих етапів вимагає використання різного обладнання з високим споживанням активної та реактивної потужності.

Основні етапи аналізу споживання потужності на прикладі олійно-екстракційного заводу наведені нижче.

### Етап 1: Оцінка середнього рівня активної потужності

Активна потужність, яку споживає завод для виконання основних технологічних операцій (дроблення, пресування, екстракція, грануляція тощо), становить 10 МВт. Цей рівень активної потужності відповідає середньому навантаженню в межах робочої зміни.

### Етап 2: Оцінка рівня реактивної потужності

Реактивна потужність на підприємстві забезпечує підтримку магнітного поля в індуктивних навантаженнях, таких як електродвигуни та котушки. У виробничих умовах значна частка реактивної потужності витрачається на забезпечення роботи цього обладнання.

Нехай, коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ) до встановлення конденсаторної установки дорівнює 0,85. Використовуючи це значення, розраховую відповідну реактивну потужність  $Q$ .

#### 2. Розрахунок кута зсуву фаз ( $\varphi$ ):

$$\cos \varphi = 0.85;$$

Звідси кут  $\varphi$ :

$$\varphi = \arccos(0.85) \approx 31.79;$$

#### 3. Розрахунок реактивної потужності ( $Q$ ):

Використовую формулу для обчислення реактивної потужності:

$$Q = P \cdot \tan \varphi;$$

де:

$P = 10000$  кВт – активна потужність;

$$\tan \varphi = \tan 31.79^\circ \approx 0.619;$$

Тоді:

$$Q = 10000 \times 0.619 = 6190 \text{ кВАр};$$

Отже, для підприємства з активною потужністю 10 МВт реактивна потужність становить близько 6,19 МВАр.

Таблиця 2.1 — Споживання потужностей олійно-екстракційним заводом по цехах.

Тип споживача	Активна потужність, кВт	Реактивна потужність, кВАр
Цех підготовки	4000	2476
Цех екстракції	3000	1857
Цех грануляції	2000	1238
Інші потреби	1000	619
Загалом	10000	6190

### Етап 3: Розподіл споживання за типами споживачів

Розподіл споживання активної та реактивної потужності за основними типами споживачів на заводі дозволяє точніше визначити, які підрозділи найбільше потребують компенсації реактивної потужності.

Такий розподіл вказує на те, що основними споживачами реактивної потужності є цех підготовки продукції та цех екстракції. Тому пріоритет у

компенсації слід надати саме цим підрозділам, що дозволить найбільш ефективно зменшити загальне навантаження на мережу.

Етап 4: Коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ )

Коефіцієнт потужності показує ефективність використання електроенергії на підприємстві. Низький коефіцієнт свідчить про надмірне споживання реактивної потужності, що створює додаткове навантаження на мережу та зменшує енергоефективність.

Розрахунок повної потужності (S):

Повна потужність обчислюється за формулою:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

де:

$$P = 10000 \text{ кВт};$$

$$Q = 6190 \text{ кВАр}$$

Тоді:

$$S = \sqrt{10000^2 + 6190^2} \approx 11800 \text{ кВА};$$

1. Перевірка коефіцієнта потужності:

Використовуючи отримане значення повної потужності S, перевіряю коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{10000 \text{ кВт}}{11800 \text{ кВА}} \approx 0.85;$$

Це підтверджує, що коефіцієнт потужності підприємства становить 0,85, що є задовільним, але все ще вказує на значне споживання реактивної потужності.

Підвищення коефіцієнта потужності до 0,95 чи вище за допомогою конденсаторних установок дозволить знизити навантаження на мережу та витрати на електроенергію.

Аналіз споживання потужності показав, що:

Активна потужність підприємства становить 10 МВт, що відповідає його поточному рівню виробництва та потребам у енергії для виконання корисної роботи.

Реактивна потужність складає 6,19 МВАр, що є суттєвим навантаженням на мережу, викликаним індуктивними споживачами.

Коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ) підприємства дорівнює 0,85, що вказує на потребу в компенсації реактивної потужності для зниження витрат на електроенергію.

Для підвищення ефективності енергоспоживання та зниження витрат доцільно розглянути встановлення конденсаторної установки, яка дозволить компенсувати реактивну потужність та підвищити коефіцієнт потужності до значення, близького до 0,95.

### **2.3 Оцінка параметрів навантаження та якості електроенергії до впровадження конденсаторних установок**

Оцінка параметрів навантаження та якості електроенергії до встановлення конденсаторних установок є важливим етапом для розуміння існуючого стану енергопостачальної системи. Цей аналіз дозволяє визначити проблемні зони та спланувати заходи для підвищення енергоефективності та стабільності системи електропостачання на олійно-екстракційному заводі.

#### **1. Параметри навантаження**

Навантаження в мережі є змінним і залежить від конкретного етапу технологічного процесу, часу доби, періодичності роботи окремих виробничих ділянок та інтенсивності виробництва. Аналіз параметрів навантаження передбачає оцінку поточних значень активної та реактивної потужності в режимі реального часу. Це дозволяє виявити пікові значення споживання електроенергії та визначити ділянки, які мають найбільше навантаження.



Пікові навантаження часто виникають у моменти одночасного ввімкнення декількох одиниць потужного обладнання, наприклад, електродвигунів дробарок, пресів та компресорів. На підприємствах подібного типу такі пікові значення можуть досягати навіть 150–200% від середнього рівня активної потужності, що створює додаткове навантаження на трансформатори та лінії електропередачі.

Приклад розрахунку пікового навантаження:

Якщо середня активна потужність підприємства становить  $P_{\text{середн}} = 10$  МВт, то при пікових навантаженнях потужність може сягати:

$$P_{\text{пікове}} = 1,5 \times P_{\text{середн}} = 1,5 \times 10 \text{ МВт} = 15 \text{ МВт};$$

Подібне навантаження є значним і може призвести до короточасних перепадів напруги в мережі, що потребує додаткових заходів для стабілізації.

## 2. Показники якості електроенергії

Показники якості електроенергії включають наступні параметри:

- Напруга — підтримання стабільного рівня напруги (наприклад, 380 В для трифазної мережі) є критичним для коректної роботи обладнання.
- Частота — стандартною частотою вважається 50 Гц, і будь-які відхилення від цього значення можуть негативно вплинути на роботу електродвигунів та іншого обладнання.
- Рівень гармонік — поява гармонік в мережі може призвести до перегріву обладнання, а також викликати його передчасний знос. Наявність гармонік особливо критична для чутливого обладнання, такого як електронні контролери, системи автоматизації та датчики.

Коефіцієнт потужності також є важливим показником ефективності використання електроенергії. Низький коефіцієнт потужності призводить до надмірного споживання реактивної потужності, що знижує загальну енергоефективність системи. У даному випадку коефіцієнт потужності до встановлення конденсаторних установок дорівнює приблизно 0,85, що вказує на значну індуктивну складову споживання. Це означає, що для компенсації

реактивної потужності буде потрібно додаткове обладнання, що дозволить підвищити коефіцієнт до значення, наближеного до 1.

### 3. Перепади та флуктуації напруги

Перепади та флуктуації напруги є одним із основних негативних факторів, що впливають на стабільність роботи електрообладнання. Вони можуть бути викликані кількома факторами:

Нерівномірним навантаженням у мережі, що виникає при різкому включенні або виключенні великого обладнання.

Піковими споживаннями реактивної потужності, коли індуктивні навантаження, як-от електродвигуни, починають працювати на повну потужність.

Перепади напруги на олійно-екстракційному заводі можуть негативно впливати на роботу потужних електродвигунів, які є критичними для стабільної роботи виробничого процесу. Для того щоб зрозуміти ступінь впливу, аналіз перепадів проводять на основі графіків змін напруги протягом робочої зміни, які можуть виглядати як короточасні зниження напруги до 90% від номінальної.

Розрахунок перепаду напруги:

При номінальній напрузі  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ , перепад напруги на 10% складе:

$$U_{\text{перепад}} = U_{\text{ном}} \times 0.1 = 380 \text{ В} \times 0.1 = 38 \text{ В};$$

Таким чином, напруга в мережі може знижуватися до 342 В, що може бути критичним для деякого обладнання і викликати його неправильну роботу або навіть аварійне відключення.

### 4. Аналіз аварійних ситуацій та відмов

До впровадження конденсаторних установок на підприємстві можуть спостерігатися часті відмови обладнання, зумовлені високим рівнем реактивної потужності та перепадами напруги. Аварійні ситуації часто викликаються через:

- Перевантаження мережі внаслідок високих значень реактивної потужності.
- Низький коефіцієнт потужності, що підвищує витрати електроенергії та призводить до додаткових навантажень на трансформатори і нагрів кабелів.

Зазвичай, перед впровадженням конденсаторних установок на заводах проводять аналіз аварійної статистики, який показує частоту відмов обладнання, кількість аварійних зупинок і тривалість простоїв. Часті аварії можуть бути індикатором необхідності оптимізації роботи електромережі шляхом компенсації реактивної потужності.

Наприклад, якщо середньомісячна кількість аварійних зупинок обладнання на заводі становить 10, то після впровадження конденсаторних установок можна очікувати значного зниження цього показника, оскільки стабілізація напруги та підвищення коефіцієнта потужності дозволять знизити навантаження на мережу.

## 2.4 Опис електричної схеми та аналіз компоновки конденсаторної установки

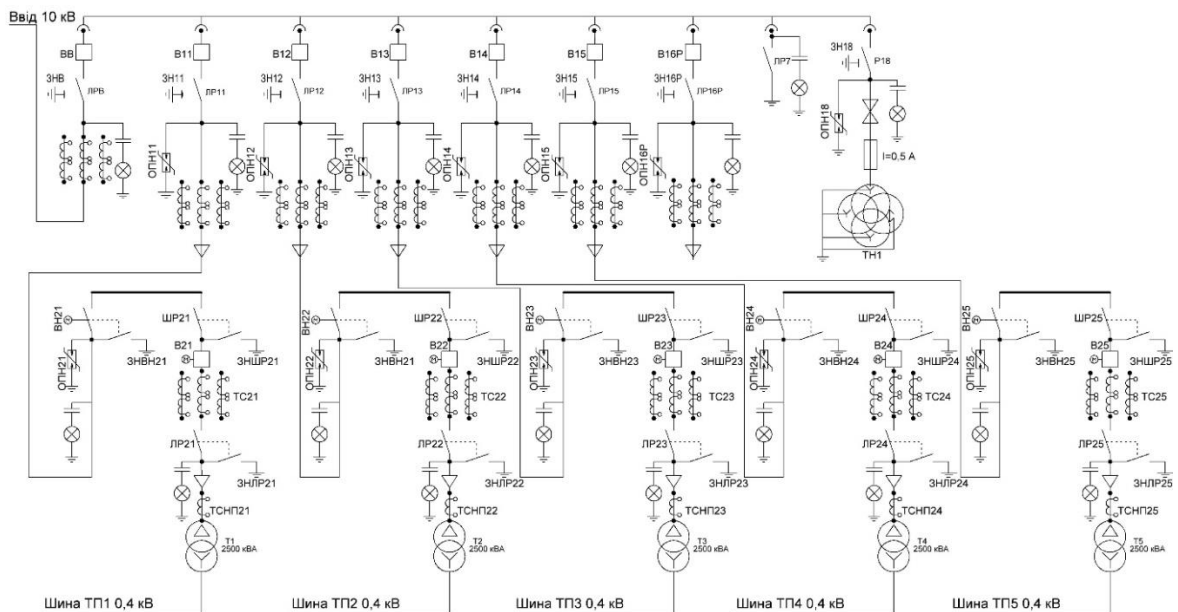


Рисунок 2.1 — Схема розподілу та трансформування електроенергії підприємства (РУ10 та ТП10/0,4)

Олійно-екстракційний завод, як вже було сказано, є підприємством з великим індуктивним навантаженням, повна потужність якого в даному випадку становить 11800 кВА. На підприємство надходить лінія 10 кВ, і в РП розподіляється на 5 основних вводів і 1 резервний. Кожен з 5 вводів заживлює свою ТП 10/0,4. Всього є 5 трансформаторів по 2500 кВА, сумарно 12500 кВА, що дозволить в майбутньому доукомплектувати підприємство обладнанням, за необхідності. Усі трансформатори навантажені приблизно однаково. Це означає, що приблизно однаково можна розподілити конденсатори за їх компенсуючою потужністю на кожній лінії 0,4 кВ.

## **3 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВА**

### **3.1 Вибір і розрахунок параметрів конденсаторної установки для підприємства**

Для правильного вибору конденсаторної установки необхідно враховувати такі критерії:

**1. Необхідна потужність для компенсації:**

Вибір установки залежить від обсягу реактивної потужності, що потребує компенсації. Розрахунок базується на різниці між активною та повною потужністю:

**2. Рівень автоматизації:**

Автоматизовані установки дозволяють вмикати/вимикати конденсатори в залежності від поточного навантаження, що зменшує втрати та оптимізує витрати.

**3. Тип навантаження (індуктивне або ємнісне):**

При переважно індуктивних навантаженнях обирають конденсатори, здатні компенсувати магнітне поле обладнання.

**4. Захист від перенапруги та гармонік:**

Необхідно, щоб конденсаторні установки витримували короткочасні перенапруги та гармонійні спотворення, які часто виникають в мережах із великою кількістю індуктивного обладнання

### **3.2 Методика розрахунку необхідної потужності конденсаторної установки**

Розрахунок необхідної потужності для компенсації реактивної потужності дозволяє визначити, скільки конденсаторів потрібно, щоб досягти бажаного коефіцієнта потужності.

Формула для розрахунку потрібної реактивної потужності:

$$Q_{\text{конденс}} = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2);$$

де:

$Q_{\text{конденс}}$  — необхідна потужність конденсаторної установки;

$\varphi_1$  — початковий коефіцієнт потужності;

$\varphi_2$  — цільовий коефіцієнт потужності;

Як було сказано раніше,  $P = 10000$  кВт, початковий  $\cos \varphi = 0.85$ , а бажаний  $\cos \varphi = 0.95$ .

$\cos \varphi_1 = 0.85$ , тобто  $\varphi_1 = 31,79^\circ$ ;

$\cos \varphi_2 = 0.95$ , тобто  $\varphi_2 = 18^\circ$ ;

Тоді:

$$Q_{\text{конденс}} = 10000 \text{ кВт} \times (\tan 31,79^\circ - \tan 18^\circ) = 10000 \text{ кВт} \times (0,618 - 0,325) \approx 2950 \text{ кВАр};$$

Цей приклад показує, що для досягнення необхідного коефіцієнта потужності потрібна установка конденсаторної потужності на 2950 кВАр.

### 3.3 Підбір комплектуючих частин конденсаторної установки

Як було написано в пункті 3.2, потужність установки має бути 2950 кВАр. Для цієї установки потрібно підібрати конденсатори, регулятор реактивної потужності, засоби захисту (автоматичні вимикачі або запобіжники), та комутаційну апаратуру.

Для даної задачі можна використати конденсатори Electronicon МКРg 50 кВАр (Рис. 3.1).



Рисинок 3.1 — Конденсатор Electronicon MKPg 50 кВАр [4]

Основні характеристики конденсатора Electronicon MKPg 50 кВАр (Рис.3.1):

- Потужність, що компенсується — 50 кВАр
- Ємність — 3x331 мкФ
- Номінальна напруга — 400 В
- Номінальний струм — 3x72,5 А
- Маса — 4,1 кг
- Внутрішнє підключення — трикутник
- Ціна — 8625,36 грн [4]

Тепер потрібно розрахувати кількість конденсаторів, які будуть використовуватись в установці.

$$n = \frac{Q_{\text{конденс}}}{P_{\text{конденсатора}}} = \frac{2950 \text{ кВАр}}{50 \text{ кВАр}} = 59;$$

Таким чином, для компенсації реактивної потужності в 2950 кВАр потрібно 59 конденсаторів Electronicon МКРg 50 кВАр. Але така кількість конденсаторів буде задіюватись не завжди, так як, для прикладу, при споживанні 5 МВт потрібно буде компенсувати тільки приблизно 1450 кВАр. Тому для таких цілей потрібно використати регулятор реактивної потужності. Регулятори реактивної потужності призначенні для ввімкнення необхідної кількості конденсаторів. В даному випадку регулятором реактивної потужності буде Beluk BLR-CX 14R (Рис. 3.2).



Рисунок 3.2 — Регулятор реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R



Основні характеристики регулятора реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R (Рис.3.2):

- Номінальна робоча напруга — 90...550В
- Кількість ступенів — 14
- Струм вимірювання — 15мА – 6А
- Напруга комутуючих виходів — 250В
- Ціна — 11172,98 грн [6]

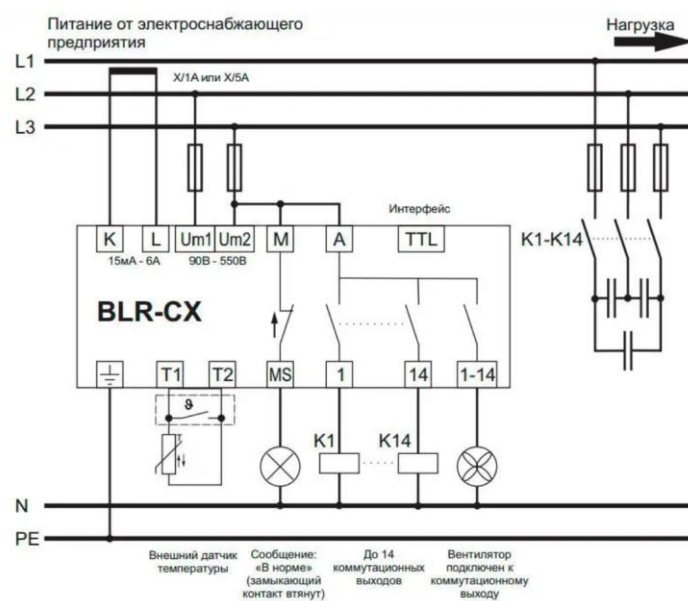


Рисунок 3.3 — Схема підключень регулятора реактивної потужності Beluk BLR-CX [5]

Як видно із характеристик, до регулятора реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R можна підключити до 14 блоків конденсаторів. Тому можна зробити різномірні блоки.

Таблиця 3.1 — Кількість конденсаторів і потужність в кожному блоці.

Номер блоку	Кількість конденсаторів	Загальна потужність, кВАр	Загальна сила струму, А
K1	6	300	435

K2	6	300	435
K3	5	250	362,5
K4	5	250	362,5
K5	5	250	362,5
K6	5	250	362,5
K7	4	200	290
K8	4	200	290
K9	4	200	290
K10	4	200	290
K11	3	150	217,5
K12	3	150	217,5
K13	3	150	217,5
K14	2	100	145

Беручи до уваги таблицю, потрібно підібрати автоматичні вимикачі і контактори відповідно до струмів.

В якості автоматичних вимикачів використовуватиметься лінійка моделей Siemens версії 3VT.

Для блоків K1 – K10 найкраще підходить автоматичний вимикач Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0 (Рис. 3.4). А до автоматичного вимикача найкраще підійде планка роз'єднувача 3VT9 363-6AC00. Так як цей автоматичний вимикач 3-полюсний, то його також необхідно комплектувати втичною корзиною 3VT9 300-4PA30.



Рисунок 3.4 — Автоматичний вимикач Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0 [7] із роз'єднувачем максимального струму 3VT9 363-6AC00

Основні характеристики автоматичного вимикача Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0 із роз'єднувачем максимального струму 3VT9 363-6AC00 (Рис. 3.4):

- Номінальний струм — 630 А
- Діапазон уставки струму перевантаження — 250...630 А
- Вимикаюча здатність — 65 кА
- Номінальна робоча напруга — до 690 В [8]
- Ціна — 27260 грн [7]

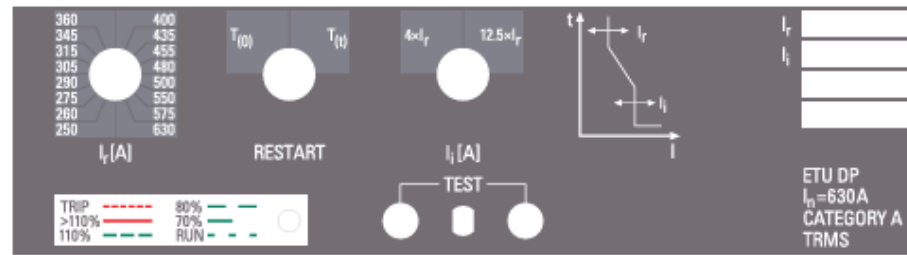


Рисунок 3.5 Роз'єднувач максимального струму 3VT9 363-6AC00 [8]

На Рис. 3.5 зображено рисунок-схему налаштувань роз'єднувача максимального струму 3VT9 363-6AC00. Перше налаштування відповідає за уставку номінального струму, друге регулювання відповідає за ввімкнення і вимкнення теплової пам'яті, третій перемикач відповідає за уставку номінального струму короткого замикання. На рис. 3.6 зображено характеристику спрацювань автоматичних вимикачів на роз'єднувачах максимального струму 3VT9 325-6AC00 (100...250 A), 3VT9 340-6AC00 (160...400 A), 3VT9 363-6AC00 (250...630 A).

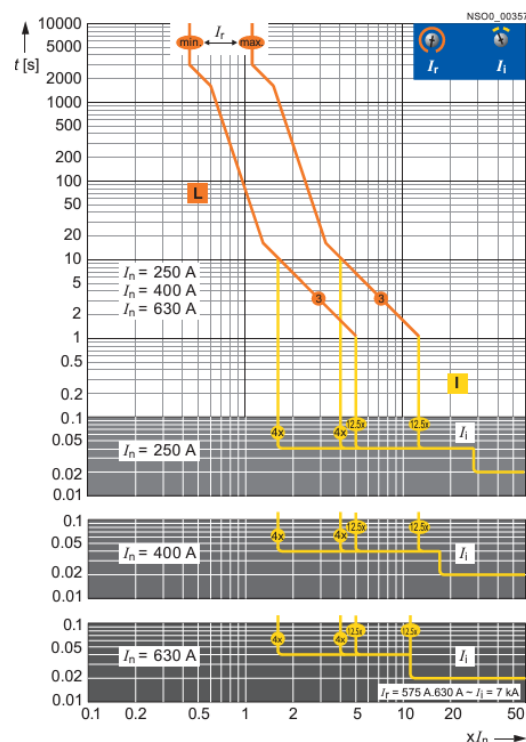


Рисунок 3.6 — Характеристика спрацювань автоматичних вимикачів на роз'єднувачах максимального струму 3VT9 325-6AC00 (100...250 A), 3VT9 340-6AC00 (160...400 A), 3VT9 363-6AC00 (250...630 A) [8]

Із рис. 3.6 видно, що для блоків К3 – К6 можна поставити уставку  $I_r = 360$  А.

Для блоків К11 – К14 найкраще підходить автоматичний вимикач Siemens 3VT2 725-3AA36-0AA0 (Рис. 3.7). А до автоматичного вимикача найкраще підійде планка роз'єднувача 3VT9 225-6AC00 (Рис. 3.8). Так як цей автоматичний вимикач 3-полюсний, то його також необхідно комплектувати втичною корзиною 3VT9 200-4РА30.



Рисунок 3.7 — Автоматичний вимикач Siemens 3VT2 725-3AA36-0AA0 [9]

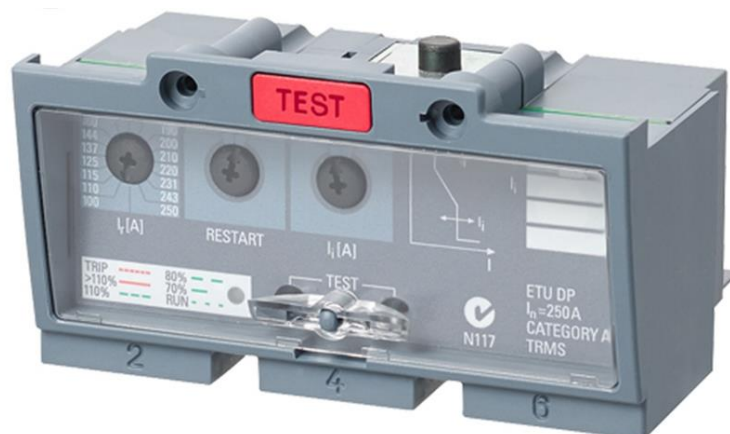


Рисунок 3.8 — Роз'єднувач максимального струму 3VT9 225-6AC00 [10]

Основні характеристики автоматичного вимикача Siemens 3VT2 725-3AA36-0AA0 (Рис. 3.7) із роз'єднувачем максимального струму 3VT9 225-6AC00 (Рис. 3.8):

- Номінальний струм — 250 А
- Діапазон уставки струму перевантаження — 100...250 А
- Вимикаюча здатність — 65 кА
- Номінальна робоча напруга — до 690 В [8]
- Ціна 3VT2 725-3AA36-0AA0 — 8711 грн [9]
- Ціна 3VT9 225-6AC00 — приблизно 15500 грн

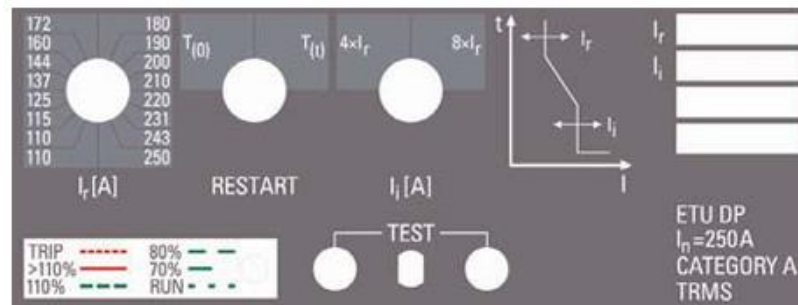


Рисунок 3.9 Роз'єднувач максимального струму 3VT9 225-6AC00 [8]

На Рис. 3.9 зображено рисунок-схему налаштувань роз'єднувача максимального струму 3VT9 225-6AC00. Перше налаштування відповідає за уставку номінального струму, друге регулювання відповідає за ввімкнення і вимкнення теплової пам'яті, третій перемикач відповідає за уставку номінального струму короткого замикання. На рис. 3.10 зображено характеристику спрацювань автоматичних вимикачів на роз'єднувачах максимального струму 3VT9 210-6AC00 (40...100 А), 3VT9 216-6AC00 (63...160 А), 3VT9 225-6AC00 (100...250 А).

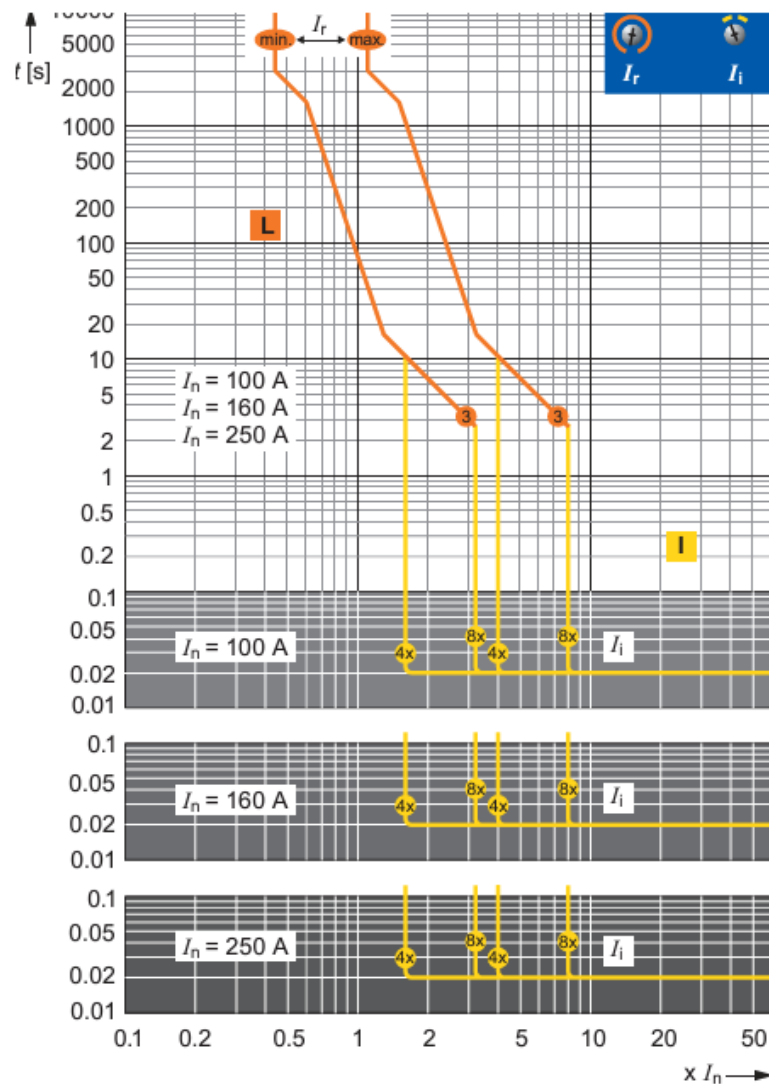


Рисунок 3.10 — Характеристика спрацювань автоматичних вимикачів на роз'єднувачах максимального струму 3VT9 210-6AC00 (40...100 А), 3VT9 216-6AC00 (63...160 А), 3VT9 225-6AC00 (100...250 А) [8]

Із рис. 3.10 видно, що для блоків К11 – К13 можна поставити уставку  $I_r = 220$  А, а для К14 —  $I_r = 144$  А.

Далі для функціонування установки, потрібні контактори, які будуть керуватися подачею 220В, а також будуть витримувати потрібні струми. Так як конденсаторні установки не мають великих пускових струмів, то можна підбирати контактори під клас АС-1

Для блоків К1 – К2 найкраще підходить контактор Siemens Sirius 3RT 1076-6AP36 (Рис. 3.11).



Рисунок 3.11 — Контактор Siemens Sirius 3RT 1076-6AP36 [11]

Основні характеристики контактора Siemens Sirius 3RT 1076-6AP36 (Рис. 3.11) [11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 610 А
- Максимальна напруга — 1000 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 77215 грн [12]

Для блоків К3 – К6 найкраще підходить контактор Siemens Sirius 3RT 1075-6AP36 (Рис. 3.12).



Рисунок 3.12 — Контактор Siemens Sirius 3RT 1075-6AP36 [11]



Основні характеристики контактора Siemens Sirius 3RT 1075-6AP36 (Рис. 3.12) [11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 430 А
- Максимальна напруга — 1000 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 53665 грн [13]

Для блоків К7 – К10 найкраще підходить контактор Siemens Sirius 3RT 1066-6AP36 (Рис. 3.13).



Рисунок 3.13 — Контактор Siemens Sirius 3RT 1066-6AP36 [11]

Основні характеристики контактора Siemens Sirius 3RT 1066-6AP36 (Рис. 3.13) [11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 330 А
- Максимальна напруга — 1000 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 42797 грн [14]

Для блоків К11 – К13 найкраще підходить контактор Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36 (Рис. 3.14).



Рисунок 3.14 — Контактор Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36 [11]

Основні характеристики контактора Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36 (Рис. 3.14) [11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 275 А
- Максимальна напруга — 1000 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 24134 грн [15]

Для блоку К14 найкраще підходить контактор Siemens Sirius 3RT 1054-6AP36 (Рис. 3.15).



Рисунок 3.15 — Контактор Siemens Sirius 3RT 1054-6AP36 [11]

Основні характеристики контактора Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36 (Рис. 3.15) [11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 160 А
- Максимальна напруга — 1000 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 11040 грн [16]

Тепер ще потрібно обрати вимірювальний трансформатор. Маючи повну потужність, можна знайти струм:

$$S = U \times I;$$

$$I = \frac{11\,800\,000 \text{ VA}}{380 \text{ В}} = 31052,6 \text{ А};$$

Отже, як видно із розрахунку, струм по стороні 0,4 кВ є дуже великим, і не вдасться підібрати вимірювальний трансформатор на такий номінал. Тому краще встановлювати і вибирати вимірювальний трансформатор на сторону 10 кВ. Тоді:

$$I = \frac{11\,800\,000 \text{ VA}}{10\,000 \text{ В}} = 1180 \text{ А};$$

Для таких струмів, враховуючи ще й те, що при пусках того чи іншого обладнання, струм може зрости ще, вибір пав на вимірювальний трансформатор ТПОЛУ-10 2000/5 (Рис.3.16).



Рисунок 3.16 — Трансформатор вимірювальний ТПОЛУ-10 2000/5 [17]

Основні характеристики трансформатора вимірювального ТПОЛУ-10 2000/5 (Рис. 3.16) [17]:

- Номінальна напруга — 10 кВ
- Максимальна робоча напруга — 12 кВ
- Номінальна первинна сила струму — 2000 А
- Номінальна вторинна сила струму — 5 А
- Номінальна частота — 50 Гц
- Ціна — 5100 грн

Отже, для даного підприємства і даної конфігурації потрібно використати: 59 конденсаторів Electronicon МКРg 50 кВАр, 1 регулятор реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R, 10 автоматичних вимикачів Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0, 10 роз'єднувачів максимального струму 3VT9 363-6AC00, 4 автоматичних вимикачів Siemens 3VT2 725-3AA36-0AA0, 4 роз'єднувачів максимального струму 3VT9 225-6AC00, 2 контактори Siemens Sirius 3RT 1076-6AP36, 4 контактори Siemens Sirius 3RT 1075-6AP36, 4 контактори Siemens Sirius 3RT 1066-6AP36, 3 контактори Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36, 1 контактор Siemens Sirius 3RT 1054-6AP36, 1 трансформатор вимірювальний ТПОЛУ-10 2000/5.

Розгляну і інший варіант, коли на кожен конденсатор є своє управління. Тоді знадобиться використати 5 контролерів, 5 трансформаторів струму. Окрім цього, потрібно підібрати автоматичний вимикач та контактор під 1 конденсатор.

Для цієї задачі найкраще підходить автоматичний вимикач Siemens 3RV2041-4YA10 (Рис. 3.17).



Рисунок 3.17 — Автоматичний вимикач Siemens 3RV2041-4YA10 [18]

Основні характеристики автоматичного вимикача Siemens 3RV2041-4YA10 (Рис. 3.17) [18]:

- Номінальний струм — 93 А
- Діапазон уставки струму перевантаження — 75...93 А
- Номінальна робоча напруга — до 690 В [8]
- Ціна — 8503 грн [19]

Також в парі з цим автоматичним вимикачем можна використати контактор Siemens 3RT2038-1AP00 (Рис. 3.18)



Рисунок 3.18 — Контактор Siemens Sirius 3RT2038-1AP00 [11]

Основні характеристики контактора Siemens 3RT2038-1AP00 (Рис. 3.18)

[11]:

- Номінальний струм AC-1 при 40°C — 90 А
- Максимальна напруга — 690 В
- Термін служби (комутаційні цикли) — 10 000 000 циклів
- Номінальна напруга управління — 220...240 В
- Ціна — приблизно 7903 грн [20]

Отже, для даного підприємства і даної конфігурації потрібно використати: 59 конденсаторів Electronicon МКРg 50 кВАр, 5 регуляторів реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R, 59 автоматичних вимикачів Siemens 3RV2041-4YA10, 59 контакторів Siemens Sirius 3RT2038-1AP00, 5 трансформаторів вимірювальних ТПОЛУ-10 2000/5.

### 3.4 Електрична схема системи автоматичного навантаження зерна

Для першого варіанту ККУ застосовується схема, зображена на Рис. 3.19.

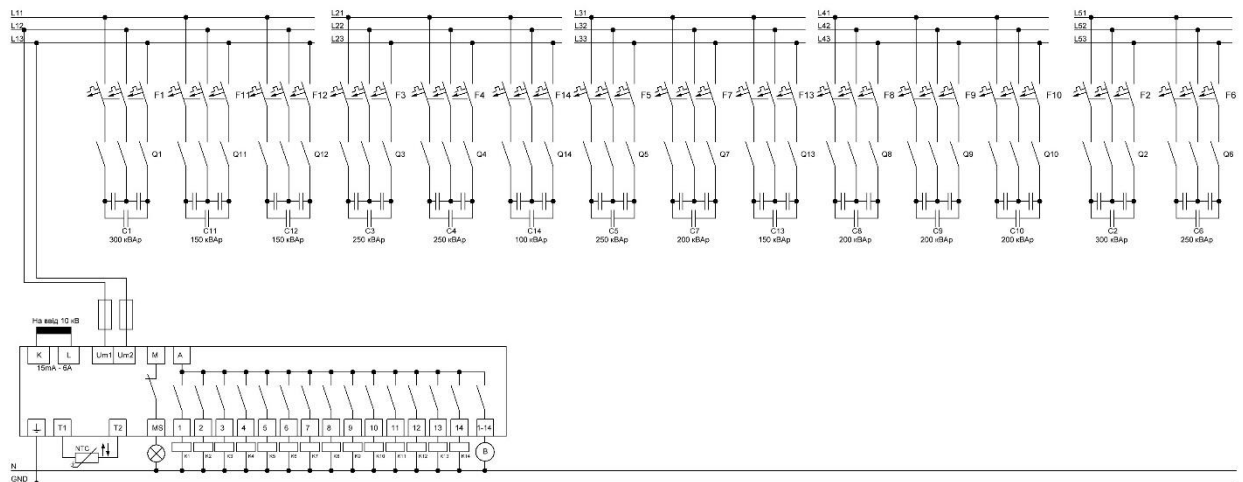


Рисунок 3.19 Схема ККУ для першого варіанту

Із Рис. 3.19 видно, що всі 14 блоків конденсаторів діляться на 5 блоків для 5 ліній 0,4 кВ з приблизно однаковою потужністю компенсації (550-600 кВАр).

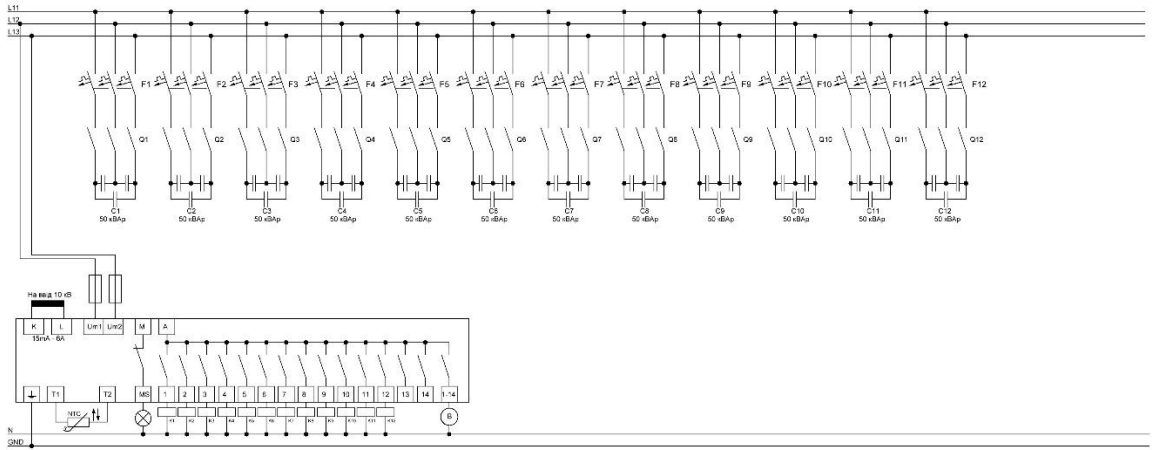


Рисунок 3.20 Схема ККУ для другого варіанту для ТП1

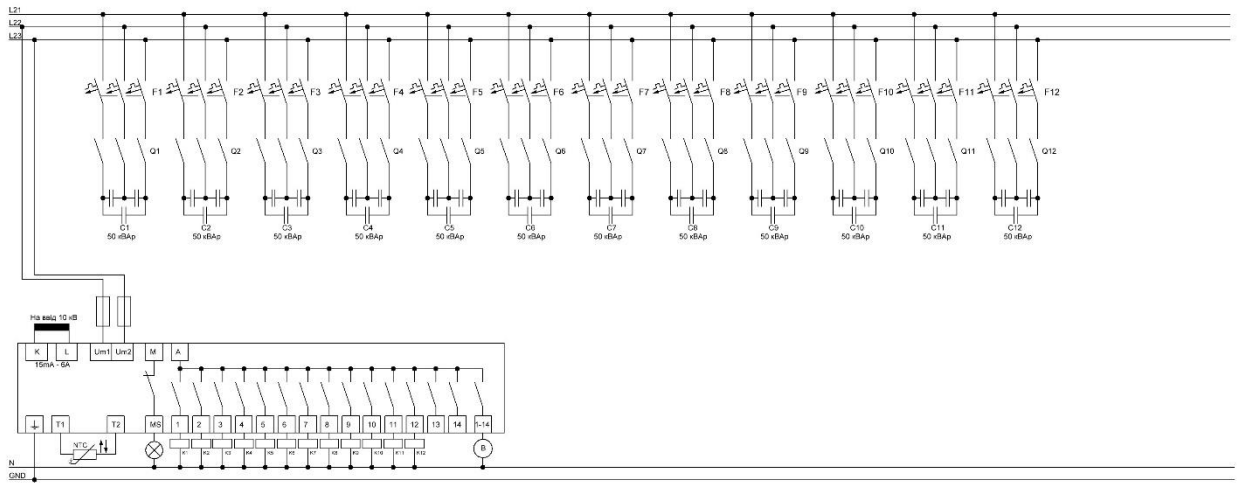


Рисунок 3.21 Схема ККУ для другого варіанту для ТП2

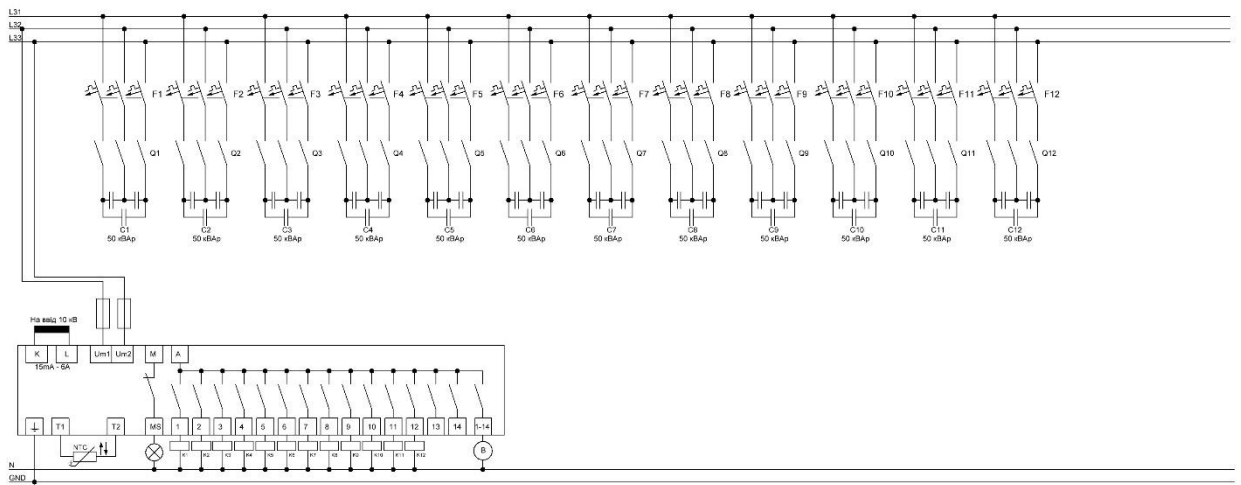


Рисунок 3.22 Схема ККУ для другого варіанту для ТП3

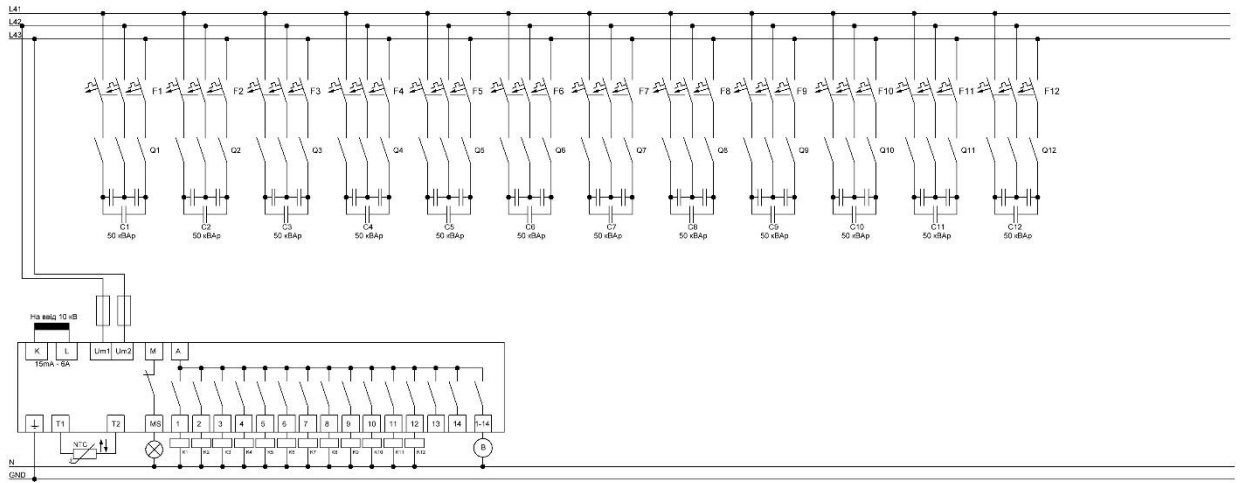


Рисунок 3.23 Схема ККУ для другого варіанту для ТП4

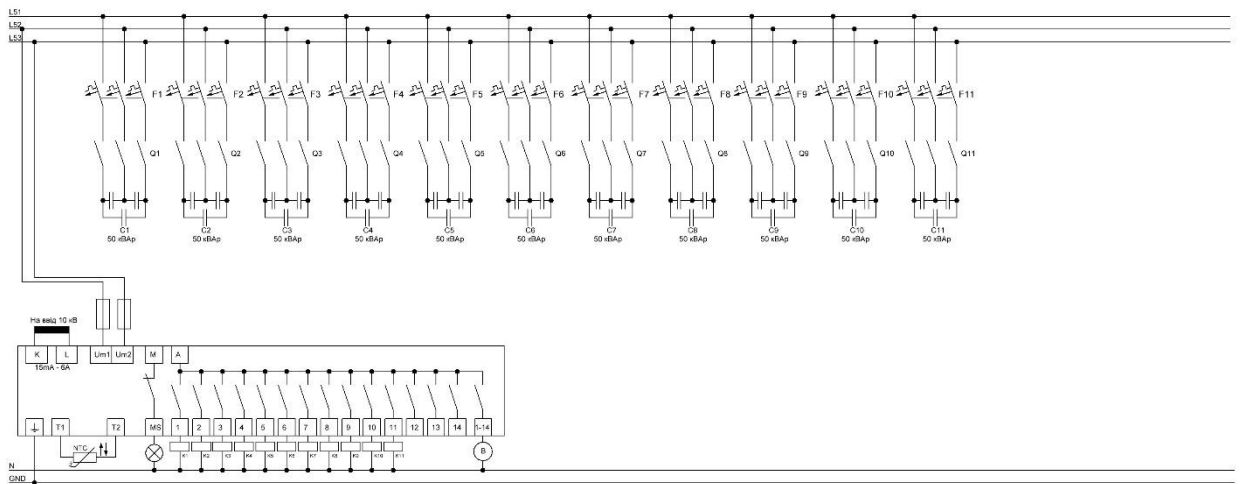


Рисунок 3.24 Схема ККУ для другого варіанту для ТП5

В другому варіанті на кожному із 5 вводів 0,4 кВ є по 12 (в 5 вводі 11) блоків конденсаторів по 50 кВАр.

Порівнюючи цих два варіанти можна сказати, що другий варіант дає більш плавну і якіснішу компенсацію реактивної потужності. Також, в разі виходу з ладу одного елемента, загальна втрата ефективності буде не така відчутна. Але перший варіант також має певні переваги, такі як наприклад більша надійність, за рахунок меншої кількості комплектуючих, а також менше часу займає налаштування і огляд ККУ. А про економічну перевагу того чи іншого варіанту вказано в розділі 5.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності [21].

Надзвичайна ситуація – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, яка призвела (може призвести) до загибелі людей та / або значних матеріальних втрат [22].

Шкідливі виробничі фактори — це фактори середовища і трудового процесу, що можуть спричинити професійну патологію, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищити частоту захворювань, призвести до порушення здоров'я потомства [23].

Для конденсаторних установок в ПТЕЕС виділений окремий 9 розділ.

### 9. Установки конденсаторні

9.1. Вимоги цієї глави поширюються на конденсаторні установки на напругу від 0,22 кВ до 10 кВ частотою 50 Гц, що використовуються для компенсації реактивної потужності і регулювання напруги та приєднуються паралельно індуктивним елементам електричної мережі споживача.

9.2. Конденсаторні установки, їх розміщення та захист повинні відповідати вимогам ПУЕ.

Допускається застосування суміщеної пускової апаратури конденсаторних батарей, що не мають автоматичного регулювання потужності, з пусковою апаратурою технологічного обладнання, тобто здійснення індивідуальної (групової) компенсації реактивної потужності.

9.3. Конденсаторна установка повинна бути в технічному стані, що забезпечує її тривалу та надійну роботу.

Керування режимом роботи конденсаторної установки, як правило, повинно бути автоматичним, якщо в разі ручного керування неможливо забезпечити необхідну якість електроенергії.

Умови праці при експлуатації конденсаторних установок та використання засобів індивідуального захисту повинні здійснюватись відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98 та пунктів 6.17, 6.19 розділу IV цих Правил.

9.4. Тип, потужність, місце встановлення і режим роботи компенсувальних пристроїв вибираються проектною чи спеціалізованою організацією відповідно до технічних умов електропередавальної організації на приєднання електроустановок, технічних характеристик та режимів роботи електроустановок споживачів з урахуванням вимог чинних НД з компенсації реактивної потужності.

Розташування конденсаторів і режими їх роботи повинні відповідати умовам найбільшого зниження втрат активної потужності від реактивних навантажень з урахуванням вимог щодо підтримання рівня напруги на затискачах приймачів.

9.5. У паспорті конденсаторної батареї повинен бути наведений список конденсаторів із зазначенням порядкового номера, заводського номера, дати встановлення, номінальної напруги, потужності і ємності кожного конденсатора відповідно до даних, зазначених на паспортній табличці підприємства-виробника і конденсаторної батареї в цілому.

9.6. У приміщеннях (шафах) конденсаторних батарей (незалежно від їх розташування) повинні бути:

- однолінійна принципова схема конденсаторної установки із зазначенням номінального значення сили струму плавких вставок запобіжників, які захищають окремі конденсатори, всю конденсаторну установку або її частину, а також значення уставки реле максимального струму в разі застосування захисного реле;

- стаціонарні пристрої пофазного вимірювання струму. Для конденсаторних установок потужністю до 400 кВ·Ар допускається застосування одного пристрою, що перемикається за фазами;
- термометр або датчик вимірювання температури навколишнього повітря;
- спеціальна штанга для контрольного розрядження конденсаторів;
- резервний запас запобіжників на відповідні номінальні струми плавких вставок;
- первинні засоби пожежогасіння (необхідна кількість первинних засобів пожежогасіння та їх види визначаються відповідно до НАПБ А.01.001-2004 та НД з питань пожежної безпеки).
- Пристрої для вимірювання температури необхідно розташовувати в найгарячішому місці батареї посередині між конденсаторами. При цьому повинна бути забезпечена можливість спостереження за його показами без вимкнення конденсаторної установки і зняття огорожі.

9.7. Якщо температура навколишнього повітря в місці встановлення конденсаторів нижча за граничнодопустиму мінусову температуру, зазначену на їх паспортних табличках, увімкнення в роботу конденсаторної установки забороняється.

Увімкнення конденсаторної установки допускається лише після підвищення температури навколишнього повітря до вказаного в паспорті значення температури.

9.8. Температура навколишнього повітря в місці встановлення конденсаторів повинна бути не вищою за максимальне значення, зазначене в їх паспортних табличках. У разі перевищення цієї температури повинні вживатись заходи щодо підсилення ефективності вентиляції. Якщо протягом однієї години температура не знижується, конденсаторна установка повинна бути вимкнена.

9.9. Для недопущення режиму перетікання реактивної потужності з електричних мереж споживачів, якщо такий режим не обумовлено

електропередавальною організацією, конденсаторні установки відключаються від електромереж в неробочі години підприємства.

9.10. У конденсаторних установках на напругу понад 1 кВ розрядні пристрої повинні бути постійно приєднані до конденсаторів, тому в колі між резисторами і конденсаторами не повинно бути комутаційних апаратів.

Конденсаторні установки на напругу до 1 кВ з метою економії електроенергії рекомендується виконувати без постійно приєднаних розрядних пристроїв з автоматичним приєднанням останніх у момент вимкнення конденсаторів.

У разі якщо для секціонування конденсаторної батареї використані комутаційні апарати, що вимикають окремі її секції під напругою, на кожній секції встановлюється окремий комплект розрядних пристроїв.

Для конденсаторів із вбудованими розрядними резисторами додаткові зовнішні розрядні пристрої не потрібні.

9.11. Увімкнення і вимкнення конденсаторних установок на напругу 1 кВ і більше за допомогою роз'єднувачів забороняється.

Усі операції щодо увімкнення і вимкнення батарей конденсаторів здійснюються відповідно до вимог цих Правил і ПБЕЕС.

Умикати конденсаторну батарею в той час, коли значення напруги на збірних шинах перевищує найбільше допустиме для даного типу конденсаторів, забороняється.

Перед вимкненням конденсаторної установки необхідно зовнішнім оглядом переконатися у справності розрядного пристрою.

9.12. Заміна згорілих або несправних запобіжників здійснюється на вимкненій конденсаторній батареї після контрольного розряду всіх конденсаторів батареї спеціальною штангою.

У разі наявності індивідуального захисту контрольне розрядження здійснюється шляхом почергового замикання між собою всіх виводів кожного конденсатора, що входить до складу вимкненої батареї. У разі групового

захисту розряджається кожна група конденсаторів, а за наявності тільки загального захисту замикаються між собою відповідні шини в ошиновці батареї.

9.13. У разі вимкнення конденсаторної установки повторне її увімкнення допускається для конденсаторів на напругу понад 1 кВ не раніше ніж через 5 хв після вимкнення, а для конденсаторів на напругу 660 В і нижче - не раніше ніж через 1 хв.

9.14. Увімкнення конденсаторної установки, що була вимкнена дією захистів, допускається після з'ясування й усунення причини, що викликала її вимкнення.

9.15. Огляд конденсаторної установки без вимкнення здійснюється з такою періодичністю:

- на об'єктах з постійним чергуванням працівників - не рідше ніж один раз на добу;
- на об'єктах без постійного чергування працівників - не рідше ніж один раз на місяць.

9.16. Під час огляду конденсаторної установки перевіряють:

- справність огорожі, цілість замків, відсутність сторонніх предметів;
- відсутність пилу, бруду, тріщин на ізоляторах;
- температуру навколишнього повітря в найгарячішому місці приміщення, в якому встановлена батарея;
- відсутність спучування стінок конденсаторів та слідів витікання просочувальної рідини (масла, совтола тощо) з них; наявність плям просочувальної рідини не є причиною для зняття конденсаторів з експлуатації - такі конденсатори слід узяти під нагляд;
- цілісність плавких вставок (зовнішнім оглядом) у запобіжниках відкритого типу;
- значення сили струму і рівномірність навантаження окремих фаз батареї конденсаторів;

- значення напруги на шинах конденсаторної установки або на шинах найближчої РУ;
- справність кола розрядного пристрою;
- справність усіх контактів (зовнішнім оглядом) електричної схеми увімкнення батареї конденсаторів (струмопровідних шин, заземлення, роз'єднувачів, вимикачів тощо);
- наявність і справність блокування для безпечної експлуатації;
- наявність і справність засобів захисту (спеціальної штанги тощо) та засобів гасіння пожежі.

Позачергові огляди конденсаторних установок здійснюються у разі:

- появи розрядів (тріску) у конденсаторних батареях;
- підвищення напруги на затискачах або температури навколишнього повітря до значень, близьких до граничнодопустимих;
- спучування стінок конденсаторної установки та витікання просочувальної рідини.

{Главу 9 розділу VII доповнено новим абзацом згідно з Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 905 від 16.11.2012}

Про результати огляду повинен бути зроблений відповідний запис в оперативному журналі. [24]

Оцінка рівня небезпеки і виникнення травм при роботі із компенсуючими конденсаторними установками

Робота з ККУ пов'язана з низкою небезпек, які можуть призвести до травмування персоналу. Основні ризики включають:

- Електричний удар — конденсатори здатні накопичувати значні заряди, навіть після відключення установки. Неналежне розрядження конденсаторів може призвести до удару струмом. Також висока напруга у мережах, до яких підключені ККУ, створює додаткову небезпеку під час монтажу, обслуговування або ремонту.

- Теплові ризики — при несправності або перевантаженні конденсатори можуть нагріватися, що може викликати опіки під час їх обслуговування. Також є можливість вибуху через внутрішні короткі замикання або перевищення номінальних параметрів установки.
- Механічні травми — можуть статись у разі вибуху корпусу або викиду частин через внутрішній дефект, а також під час транспортування та встановлення важких елементів.
- Хімічні фактори — витік електроліту з конденсаторів може викликати подразнення шкіри, слизових оболонок або отруєння. Також при використанні полімерних або олійних конденсаторів можливе утворення токсичних парів у разі займання.
- Фактори організації робіт — недотримання правил охорони праці та інструкцій підвищує ризик травм. Також відсутність належного навчання персоналу щодо безпечної експлуатації ККУ.

Рекомендації для мінімізації небезпек:

- Використання засобів індивідуального захисту (діелектричні рукавички, інструменти з ізольованими ручками).
- Проведення перевірки наявності залишкового заряду перед обслуговуванням конденсаторів.
- Використання індикаторів напруги та розрядних пристроїв.
- Регулярний технічний огляд установок для виявлення дефектів.
- Забезпечення вентиляції приміщень для уникнення накопичення токсичних парів.
- Навчання персоналу правилам роботи з високовольтним обладнанням

## 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

У зв'язку з тим, що всі підприємства мають різне місцезнаходження того чи іншого обладнання, тому розрахунок буде проводитись без врахування кабелів. Що варто сказати, так це те, що споживання електроенергії також не є сталим, як і кількість конденсаторів, що перебувають в роботі, тому розрахунок буде виконуватись на прикладі повного завантаження заводу, та ввімкнення всіх конденсаторів.

Можна приблизно порахувати собівартість ККУ в першій конфігурації:

Таблиця 5.1 — Вартість обладнання ККУ першої конфігурації

Номенклатура	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Вартість сумарна, грн
Конденсатор Electronicon МКРg 50 кВАр	59	8625,36	508896,24
Регулятор реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R	1	11172,98	11172,98
Автоматичний вимикач Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0 із роз'єднувачами максимального струму 3VT9 363-6AC00	10	27260	272600
Автоматичний вимикач Siemens 3VT2 725-3AA36-0AA0	4	8711	34844
Роз'єднувач максимального струму 3VT9 225-6AC00	4	15500	62000



Контактор Siemens Sirius 3RT 1076-6AP36	2	77215	154430
Контактор Siemens Sirius 3RT 1075-6AP36	4	53665	214660
Контактор Siemens Sirius 3RT 1066-6AP36	4	42797	171188
Контактор Siemens Sirius 3RT 1064-6AP36	3	24134	72372
Контактор Siemens Sirius 3RT 1054-6AP36	1	11040	11040
Трансформатор вимірювальний ТПОЛУ-10 2000/5	1	5100	5100

Отже, приблизна собівартість даної конфігурації становить 1 518 303,22 грн. без врахування кабелів.

Можна приблизно порахувати собівартість ККУ в другій конфігурації:

Таблиця 5.2 — Вартість обладнання ККУ другій конфігурації

Номенклатура	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Вартість сумарна, грн
Конденсатор Electronicon МКРg 50 кВАр	59	8625,36	508896,24
Регулятор реактивної потужності Beluk BLR-CX 14R	5	11172,98	55864,9
Автоматичний вимикач Siemens 3RV2041-4YA10	59	8503	501677

Контактор Siemens Sirius 3RT2038-1AP00	59	7903	466277
Трансформатор вимірювальний ТПОЛУ-10 2000/5	5	5100	25500

Отже, приблизна собівартість даної конфігурації становить 1 558 215,14 грн. без врахування кабелів.

Тепер варто порахувати через скільки окупить себе така система. Але варто пам'ятати, що розрахунки є дуже приблизними і можуть суттєво відрізнятись в залежності від ситуації.

Отже, на жовтень місяць 2024 року вартість реактивної потужності в Хмельницькій області становить 0,239524 грн за кВАр.

Тепер вираховую скільком кВАр еквівалентна перша і друга конфігурація:

$$\frac{1\,518\,303,22 \text{ грн} \times 1 \text{ кВАр}}{0,239524 \text{ грн}} = 6\,338\,835,44 \text{ кВАр};$$

$$\frac{1\,558\,215,14 \text{ грн} \times 1 \text{ кВАр}}{0,239524 \text{ грн}} = 6\,505\,465,59 \text{ кВАр};$$

Тобто, перша конфігурація по собівартості співставна із 6 338 835,44 кВАр, а друга із 6 505 465,59 кВАр.

Тепер потрібно порахувати, через скільки часу дані установки себе окуплять. За годину вони компенсують по 2950 кВАр, тобто по 70 800 кВАр кожен день. Тепер вираховую, через скільки діб окупиться перша і друга конфігурація:

$$\frac{6\,338\,835,44 \text{ кВАр} \times 1 \text{ доба}}{70\,800 \text{ кВАр}} = 89,53 \text{ доби};$$

$$\frac{6\,505\,465,59 \text{ кВАр} \times 1 \text{ доба}}{70\,800 \text{ кВАр}} = 91,88 \text{ доби};$$

Отже, обидві версії конденсаторної установки окуплять себе приблизно за 3 місяці. Тому використання тої чи іншої версії залежить від компонування самого підприємства.

## ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу параметрів навантаження та якості електроенергії можна зробити такі висновки:

1. Передбачувана стабілізація параметрів якості електроенергії після встановлення конденсаторних установок дозволить знизити кількість аварійних зупинок та покращити ефективність роботи обладнання.

2. На олійно-екстракційному заводі існує значне пікове навантаження, що спричиняє додаткові перепади напруги та флуктуації. Низький коефіцієнт потужності на рівні 0,85 свідчить про необхідність компенсації реактивної потужності для підвищення енергоефективності.

3. При компенсації 2950 кВАр можна досягнути задовільного коефіцієнта потужності на рівні 0,95, який при часткових навантаженнях зможе бути близьким 1 і запобігти перекомпенсації.

4. Окрім звичних для електрообладнання небезпек, конденсатори створюють ще і додаткову хімічну небезпеку, що потребує додаткових заходів безпеки.

5. Із 2 запропонованих схем конденсаторних установок, кращим варіантом буде друга схема, де мінімальними значеннями розбита потужність компенсації, хоч ця схема і виходить дорожчою в реалізації.

Таким чином, впровадження конденсаторних установок є обґрунтованим рішенням для економії коштів, підвищення якості електропостачання та зниження аварійності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. SENTRON ATC5300 - Automatic Transfer Control Device. URL: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/228/42138228/att\\_61936/v1/2010-04-20\\_084106.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/228/42138228/att_61936/v1/2010-04-20_084106.pdf) (дата звернення 22.07.24).
2. Дизель-генератор JCB G545QX. URL: <https://jcbgenerators.com.ua/dyzel-generator-jcb-g545qh> (дата звернення 22.07.24).
3. Конденсаторна установка URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Конденсаторна\\_установка#:~:text=Конденсаторна%20установка%20—%20электроустановка%2C%20що%20складається,належать%20до%20них%2C%20та%20ошиновки.](https://uk.wikipedia.org/wiki/Конденсаторна_установка#:~:text=Конденсаторна%20установка%20—%20электроустановка%2C%20що%20складається,належать%20до%20них%2C%20та%20ошиновки.) (дата звернення 22.07.24).
4. Конденсатор серии МКРg 50 кВАр, 400В, 3ф URL: <https://vector-vs.com/product/kondensator-serii-mkpg-50-kvar-400v-3f> (дата звернення 28.08.24).
5. Справочное руководство регулятор реактивной мощности BLR-CX (дата звернення 29.08.24).
6. Регулятор реактивной мощности Beluk BLR-CX 14R L URL: [https://luxelectro.com.ua/ru/regulyator-reaktivnoj-moshchnosti-beluk-blr-cx-14r-l-detail.html?srsId=AfmBOoqPnTsQCeMQNJD-UCw9ocpqy4RYiK8WmFJWjxpyXKoDshpwHE\\_n](https://luxelectro.com.ua/ru/regulyator-reaktivnoj-moshchnosti-beluk-blr-cx-14r-l-detail.html?srsId=AfmBOoqPnTsQCeMQNJD-UCw9ocpqy4RYiK8WmFJWjxpyXKoDshpwHE_n) (дата звернення 30.08.24).
7. Siemens 3VT3 763-3AA36-0AA0 630A URL: <https://prom.ua/ua/p2040577453-avtomaticheskij-vyklyuchatel-siemens.html> (дата звернення 01.09.24).
8. Автоматические выключатели 3VT в литом корпусе до 1600 А URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b0b11d01-f72a-4eac-b046-996a1c296889/avtomatychnyy-vumykach-v-lytomu-korpusi-ekonom-seriya-3vt-16a-16.pdf> (дата звернення 01.09.24).
9. 3VT2725-3AA36-0AA0 SIEMENS URL: <https://simat.com.ua/ru/product-3vt2725-3aa36-0aa0> (дата звернення 01.09.24).

10. 3VT9225-6AC00 URL:  
<https://admin.sawbwargyigone.com/shop/3vt9-225-6ab00-in-250a-ir-250a-siemens-3vt2-etu-66909?page=385#attr=> (дата звернення 01.09.24).
11. Коммутационные аппараты URL:  
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f614b441-9b33-4033-8d6c-796a1c930d1b/ic10-03-2017-2018-ru.pdf> (дата звернення 01.09.24).
12. 3RT1076-6AP36 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt1076-6ap36/>  
(дата звернення 02.09.24).
13. 3RT1075-6AP36 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt1075-6ap36/>  
(дата звернення 02.09.24).
14. 3RT1066-6AP36 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt1066-6ap36/>  
(дата звернення 02.09.24).
15. 3RT1064-6AP36 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt1064-6ap36/>  
(дата звернення 02.09.24).
16. 3RT1054-6AP36, контактор 55кВт Siemens URL: <https://europromtrading.com.ua/ru/3rt1054-6ap36-siemens> (дата звернення 02.09.24).
17. Трансформатор тока ТПОЛУ-10 2000/5 0,5s/10р URL: <https://ukrelektro.com.ua/ua/p1005678321-transformator-toka-tpolu.html> (дата звернення 03.09.24).
18. Siemens 3RV2041-4YA10 Datenblatt (дата звернення 04.09.24).
19. 3RV2041-4YA10 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rv2041-4ya10/> (дата звернення 04.09.24).
20. 3RT2038-1AP00 URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt2038-1ap00/>  
(дата звернення 04.09.24).
21. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-12.  
(дата звернення 05.09.24).
22. Що таке надзвичайна ситуація і як діяти в її умовах URL: <https://andrushkivska-gromada.gov.ua/scho-take-nadzvichajna-situaciya-09-09-43-13-07-2017/> (дата звернення 05.09.24).

23. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори URL: <https://pro-op.com.ua/article/206-qqq-16-m6-13-06-2016-nebezpechn-ta-shkdliiv-virobnich-faktori> (дата звернення 05.09.24).

24. Наказ 25 жовтня 2006 року №1143/13017 про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (дата звернення 05.09.24).