

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

		Романюк С.І.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Сисак І.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Коваль В.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Коваль В.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра

Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__»_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Романюка Сергія Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів

Керівник роботи

Сисак Іван Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від

«10» жовтня 2024 року № 4/7-984

2. Термін подання студентом завершеної роботи

13 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

Відомості про електричні навантаження

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Презентація

2.

3.

4.

5.

6.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Проектно-конструкторський розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент

(підпис)

Романюк С.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сисак І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Романюк С.І. Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ імені Івана Пулюя. ФПТ. Кафедра ЕІ, група ЕТм-62. – Тернопіль.: ТНТУ, 2024.

Стор. – 62; рис. – 6; табл. – 7; креслень - ; джерел - 22; додатків - 4.

Показана відомість споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Здійснено розрахунок електричного навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Розрахункова повна потужність становить 476 кВА . Проведено розрахунки освітлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Здійснено вибір розподільчої електричної мережі механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу $УКРП0,4 - 200 - 20УЗ$ потужністю $Q_{кп.ст} = 200 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів становить 367 кВАр . Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів для живлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему. Проведено розрахунок струмів КЗ; Проведено розрахунок та вибір електромережі живлення.

Ключові слова: електрична енергія, втрати, система електропостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Планування технічного обслуговування і модернізація електрообладнання	9
1.1.1 Планування технічного обслуговування	11
1.1.2. Модернізація електрообладнання	12
1.2 Управління навантаженням і споживанням енергії	13
1.3 Визначення категорійності згідно надійності електропостачання	16
1.4 Постановка задач	16
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Відомість споживачів електричної енергії механічної ділянки підприємства з виробництва будівельних матеріалів	17
2.2 Розрахунок електричних навантажень механічної ділянки підприємства з виробництва будівельних матеріалів	18
2.3 Розрахунки освітлення механічного цеху	26
2.4 Розрахунок та вибір розподільчої електричної мережі механічної ділянки	28
2.5 Розрахунок потужності та вибір КП	33
2.6 Вибір числа та потужності трансформаторів відділення	35
2.7 Розробка конструкції КТП	40
2.8 Висновки до розділу	42
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Розрахунок струмів КЗ	43
3.2 Вибір електрообладнання КТП. Перевірка на стійкість до дії струмів КЗ	50
3.3 Розрахунок та вибір мережі живлення	50
3.4 Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора	50

	5
3.5 Розробка схеми керування захисту, сигналізації і автоматики	50
3.6 Вибір елементів схеми РЗА	51
3.7 Висновки до розділу	51
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
4.1 Загальні вимоги до електричних установок і їх обслуговування	52
4.2 Основні заходи щодо попередження і усунення причин травматизму на виробництві	53
4.3 Система протипожежного захисту	54
4.4 Забезпечення пожежної безпеки промислового об'єкту	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59
ДОДАТКИ	1
Додаток А. Вибір електрообладнання КТП. Перевірка на стійкість до дії струмів КЗ	2
Додаток Б. Розрахунок та вибір мережі живлення	9
Додаток В. Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора	11
Додаток Д. Вибір елементів схеми РЗА	15

ВСТУП

Актуальність теми. Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання є важливим аспектом для підвищення ефективності енергетичних систем та зниження витрат на електричну енергію. Втрати енергії можуть виникати на різних етапах, починаючи від генерації до кінцевих споживачів.

Основні види втрат включають:

1. Втрати в лініях електропередачі (передавальні втрати);
2. Втрати в трансформаторах;
3. Втрати в розподільчих мережах;
4. Втрати в споживачах (побутових та промислових);
5. Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ);
6. Розподілені генерації.

Зниження втрат електричної енергії є важливим напрямом у розвитку енергетичних систем. Завдяки застосуванню новітніх технологій, використанню ефективних матеріалів та оптимізації процесів можна значно зменшити втрати, підвищити ефективність роботи електричних мереж і знизити витрати на енергоспоживання.

Тому, задача зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів є актуальною [1].

Мета і завдання роботи Метою роботи є зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів.

Завдання:

1. Показати відомість споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
2. Здійснити розрахунок електричного навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів за допомогою методу коефіцієнта максимуму.
3. Провести розрахунки освітлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
4. Здійснити вибір розподільчої електричної мережі механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
5. Здійснити розрахунок потужності КП, провести його вибір.
6. Розглянути два варіанти при виборі силових трансформаторів для живлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
7. Розробити конструкцію КТП, представити відповідну схему.
8. Провести розрахунок струмів КЗ;
9. Провести розрахунок та вибір електромережі живлення.

Об'єкт дослідження - режими електроспоживання промислових підприємств.

Предмет дослідження – методи зниження втрат електричної енергії в системах електроспоживання промислового підприємства.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримано подальший розвиток дослідження методів зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів для підвищення надійності роботи електроустаткування.

Практичне значення отриманих результатів. Практичним значенням отриманих результатів є проведене технічне переоснащення електричного обладнання механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів та силового трансформатора даного підприємства, що дозволить знизити втрати електричної енергії.

Апробація результатів. Результати Романюка Сергія Івановича за темою кваліфікаційної роботи «Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства з виробництва будівельних матеріалів» були представлені на XIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (11-12 грудня 2024 року), м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (22 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 62 сторінок, 7 таблиць, 6 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Основними шляхами зниження втрат електроенергії у системах електропостачання є наступні [1, 2]:

- Вибір енергоефективних споживачів електроенергії;
- Оптимізація схеми електропостачання об'єкту;
- Покращення якості електричної енергії [12];
- Управління навантаженням та споживанням електроенергії;
- Планування технічного обслуговування і модернізація електрообладнання [14];
- Використання ВДЕ;
- Навчання обслуговуючого персоналу.

Основні шляхи зниження втрат електроенергії у системах електропостачання представлено в вигляді таблиці - рисунок 1.1.

Розглянемо детальніше один-два із вищезгаданих шляхів зниження втрат електроенергії у системах електропостачання.

1.1 Планування технічного обслуговування і модернізація електрообладнання

Процес планування включає декілька етапів, що мають на меті своєчасне усунення несправностей, покращення характеристик обладнання та продовження його експлуатаційного терміну.



Рисунок 1.1 - Шляхи зниження втрат електроенергії у системах електропостачання

1.1.1 Планування технічного обслуговування

Технічне обслуговування електрообладнання можна поділити на кілька типів:

1 Планово-попереджувальне обслуговування: включає систематичні перевірки та налаштування обладнання на основі рекомендацій виробника або встановлених стандартів.

2 Коригувальне обслуговування: проведення робіт, спрямованих на усунення несправностей або відхилень в роботі обладнання.

3 Поточне обслуговування: виконується для забезпечення нормальної роботи обладнання в процесі його експлуатації (регулярні перевірки, очищення, заміна витратних матеріалів).

4 Капітальний ремонт: це складніша форма обслуговування, що включає часткову або повну заміну старих і зношених частин обладнання.

Ключові етапи планування технічного обслуговування:

1. Оцінка стану обладнання: перевірка поточного технічного стану обладнання, проведення діагностики для виявлення несправностей або зносу.

2. Розробка плану технічного обслуговування: затвердження розкладу технічного обслуговування на рік, визначення термінів проведення робіт і відповідальних осіб.

3. Визначення обсягу робіт: оцінка необхідних робіт для кожного типу обладнання, визначення ресурсів (запасних частин, інструментів, спеціалістів).

4. Організація запасних частин: планування закупівлі запасних частин, витратних матеріалів, інструментів для виконання робіт.

5. Прогнозування проблем: оцінка ймовірних поломок, облік середнього часу між відмовами та часу на відновлення.

1.1.2. Модернізація електрообладнання

Модернізація електрообладнання передбачає оновлення або вдосконалення існуючих систем для покращення їх ефективності, зниження енерговитрат, покращення надійності, збільшення терміну служби або адаптації до нових технологічних вимог.

Ключові етапи модернізації:

1. Аналіз поточного стану обладнання: оцінка існуючих технологій і виявлення недоліків, таких як висока енергоспоживаність, застарілі компоненти або часті поломки.
2. Вибір напрямку модернізації: визначення цілей модернізації: покращення енергетичної ефективності, автоматизація процесів, зниження витрат на обслуговування, збільшення терміну служби.
3. Розробка проекту модернізації: створення технічного завдання, що включає опис робіт, нове обладнання, технології та ресурси.
4. Інсталяція та налаштування нового обладнання: встановлення нового або модернізованого обладнання, налаштування систем, проведення тестувань.
5. Навчання персоналу: підготовка спеціалістів для роботи з оновленим обладнанням, ознайомлення з новими технологіями.
6. Технічне супроводження та моніторинг: після модернізації необхідно постійно моніторити роботу нового обладнання, коригувати налаштування і усувати можливі проблеми.

1.2 Управління навантаженням і споживанням енергії

До такого варіанту зниження втрат електроенергії у системах електропостачання потрібно віднести:

- 1 Застосування компенсації реактивної потужності;
- 2 Впровадження SCADA систем.

Розглянемо більш детально перший пункт [8].

Реактивна потужність має два різновиди: індуктивну, яка генерується електромагнітними пристроями, і ємнісну, що створюється різнополярними проводами, розділеними діелектриком [18]. Обидва різновиди реактивної потужності виникають і зникають у протифазі один до одного і можуть взаємно знищуватись (компенсуватись), якщо виявляться рівними один одному за величиною. Однак, їх взаємна рівність – рідкісне явище, найчастіше переважає індуктивна потужність. Рівності можна досягти штучно, підключаючи батареї конденсаторів із регульованою ємністю.

Традиційний теоретичний підхід в електроенергетиці передбачає, що індуктивність сприймається як споживач реактивної потужності (Q_L), а ємність – як її генератор (Q_C).

Вимірюється реактивна потужність у вольт-ампер реактивних (ВАР) або кіловольт-ампер реактивних (кВАр). Співвідношення всіх складових повної потужності S відображають наступні формули [19]:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}; \quad I_\Sigma = \sqrt{I_{Active}^2 + (I_L - I_C)^2}.$$

Величини Q_L та Q_C можна визначити за формулами:

$$Q_L = I^2 \cdot X_L; \quad Q_C = I^2 \cdot X_C,$$

де X_L і X_C - відповідно індуктивний та ємнісний опір.

Показником ефективності служить величина $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_{Active}}{I_\Sigma}.$$

При індуктивній потужності $\cos \varphi$ позитивний, при ємнісній – негативний.

При повній компенсації (або чисто активному навантаженні) $\cos \varphi = 1$.

У процесі передачі електричної енергії електричними лініями виникають втрати напруги і потужності, величини яких залежать від величини переданого струму (потужності), що передається і опору проводів згідно наступного рівняння:

$$\Delta U = \frac{P_{Active} \cdot P + Q \cdot X}{U} = \frac{P_{Active} \cdot R}{U} + \frac{Q \cdot X}{U} = \Delta U_{Active} + \Delta U_X,$$

де ΔU_X – додаткові втрати напруги, що створюються споживаною з мережі реактивною потужністю.

$$\Delta P = \frac{P_{Active} \cdot Q^2}{U} \cdot R = \frac{P_{Active}^2}{U^2} \cdot R + \frac{Q^2}{U^2} \cdot R = \Delta P_{Active} + \Delta P_Q,$$

де ΔP_Q – додаткові втрати активної потужності, що створюються передачею реактивної потужності Q^2 .

Приведені вище теоретичні дослідження і викладені формули послужили основою для побудови моделі об'єкта при розробці програмного забезпечення.

Для проведення реального демонстраційного експерименту в лабораторних умовах найкраще підходить схема підключення, яка приведена на рис. 1.2. Вибір конденсаторних батарей в якості компенсуючих пристроїв визначається також простотою монтажу та експлуатації, можливістю зміни генерованої РП в широких межах при ступінчастому регулюванні, малими питомими втратами активної потужності на вироблення реактивної складової, що на порядок менше, ніж для інших джерел реактивної потужності [20].

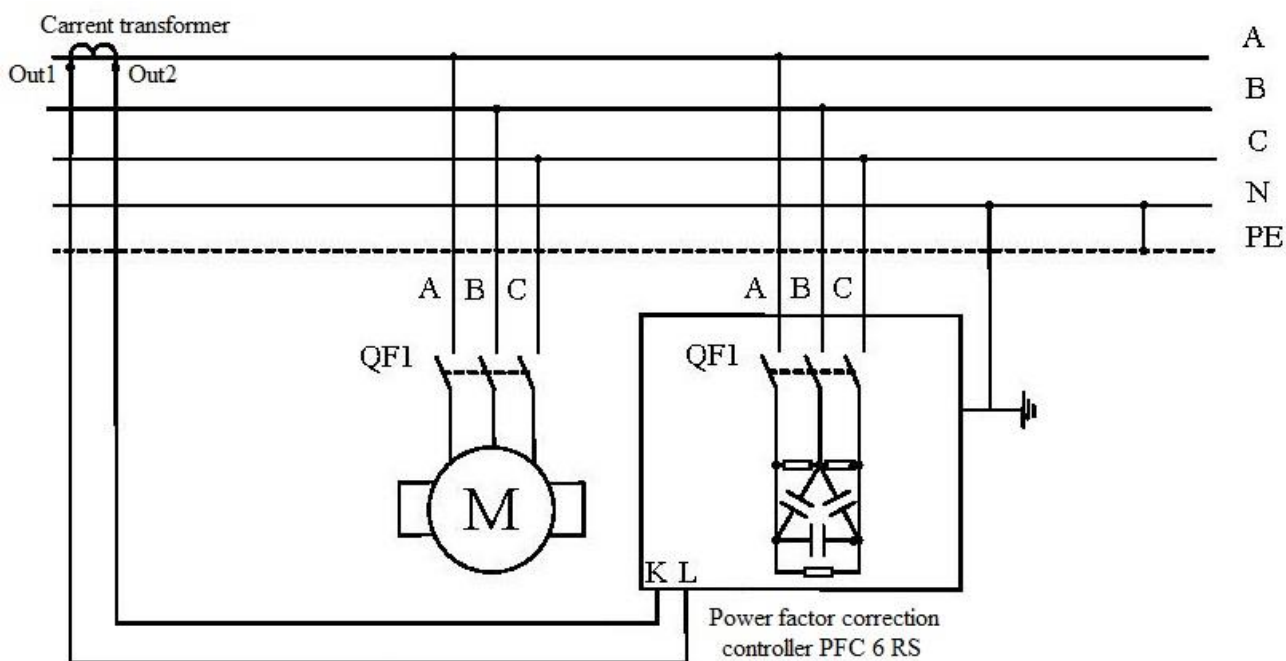


Рисунок 1.2 - Схема підключення регулятора КРП *PFC 6 RS*

Слід врахувати, що надмірна ємність конденсаторів не тільки компенсує індуктивну складову струму споживача, а й створює надмірну ємнісну складову струму, яка так само небажана, оскільки створює втрати напруги та потужності в лінії.

Досягнення поставленої мети базувалося на основних законах електротехніки та виконувалося із застосуванням сучасних цифрових пристроїв. Завданням проведення випробувань є встановлення впливу компенсації (підключення конденсаторної батареї) на величину втрат потужності та напруги в лінії. Для цього проводять вимірювання струму, напруги та потужності на початку лінії та вимірюють ті ж параметри в колі споживача (в якості індуктивного навантаження було використано обмотки асинхронного електродвигуна, підключеного в кінці лінії), визначають величину $\cos\varphi$. Дані вимірювання можна проводити при різних значеннях активного опору лінії (R) і числа конденсаторів, що підключаються ($C1, C2, \dots$).

1.3 Визначення категорійності згідно надійності електропостачання

Споживачі механічного цеху відносяться до III категорії по надійності електропостачання.

1.4 Постановка задач

1. Показати відомість споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
2. Здійснити розрахунок електричного навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів за допомогою методу коефіцієнта максимуму.
3. Провести розрахунки освітлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
4. Здійснити вибір розподільчої електричної мережі механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
5. Здійснити розрахунок потужності КП, провести його вибір.
6. Розглянути два варіанти при виборі силових трансформаторів для живлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
7. Розробити конструкцію КТП, представити відповідну схему.
8. Провести розрахунок струмів КЗ;
9. Провести розрахунок та вибір електромережі живлення.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Відомість споживачів електричної енергії механічної ділянки підприємства з виробництва будівельних матеріалів

Розподілимо споживачів електричної енергії на окремі групи по однаковому коефіцієнту використання та коефіцієнту потужності.

Представимо отримані дані у вигляді таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 - Відомості споживачів електричної енергії механічної ділянки підприємства з виробництва будівельних матеріалів

Джерело живлення (назва та номер) / назва електричного приймача	n , <i>шт.</i>	P_n , <i>кВт</i>	k_g	$\cos \varphi / \tan \varphi$
РП-1				
Повздовжньо-стругальний верстат	1	32,5	0,13	0,4/2,29
Токарно-гвинторізний верстат	1	17	0,14	0,5/1,73
Плоско-шліфувальний верстат	1	18	0,12	0,4/2,29
Кругло-шліфувальний верстат	1	13	0,125	0,45/1,98
РП-2				
Прес ножиці	1	3,5	0,14	0,5/1,73
Верстат відрізний	1	2,2	0,13	0,45/1,98
Піч опору	1	20	0,5	0,95/0,33
Перетворювач зварювальний	2	25	0,35	0,5/1,73
Кран-балка $Q = 5$ т.с.	1	5,5	0,05	0,5/1,73
ШП-1				
Токарно-гвинторізні верстати	7	8,5 ÷ 13,5	0,14	0,5/1,73

Продовження таблиці 2.1

ШП-2				
Різьбонарізний верстат	1	5,5	0,12	0,4/2,29
Довбальний верстат	1	9	0,125	0,45/1,98
Шліфувальні верстати	4	1,5 ÷ 13	0,13	0,45/1,98
Фрезерні верстати	6	1,5 ÷ 7,5	0,14	0,5/1,73
ШП-3				
Фрезерні верстати	6	2 ÷ 9,8	0,14	0,5/1,73
ШП-4				
Токарно-гвинторізні верстати	2,0	7,5	0,14	0,5/1,73
Свердлильні верстати	3	2,2/4	0,13	0,45/1,98
Заточувальний верстат	1	1	0,12	0,4/2,29
Прес гідравлічний	1	5,5	0,125	0,45/1,98

Згідно складеної відомості споживачів електричної енергії механічної дільниці підприємства з виробництва будівельних матеріалів буде проводитися подальший розрахунок електричних навантажень даного підприємства.

2.2 Розрахунок електричних навантажень механічної дільниці підприємства з виробництва будівельних матеріалів

Використовують різні методи для розрахунку електричних навантажень підприємства. Дані методи можна розділити на основні та допоміжні [2-5, 13].

Розрахунок електричних навантажень механічної дільниці підприємства з виробництва будівельних матеріалів проведемо за допомогою методу коефіцієнту максимуму. Для цього скористаємося даними із таблиці 2.1.

Розраховуємо ШП-1 “Токарно-гвинторізні верстати”:

- загальна кількість: $n = 7$ шт.;
- максимальна та мінімальна потужності становлять:

$$P_{H,\max} = 13,5 \text{ кВт};$$

$$P_{H,\min} = 8,5 \text{ кВт};$$

- сумарна номінальна потужність знаходиться за виразом:

$$\sum P_H = \sum P_{H,\min} + \sum P_{H,\max}$$

$$\sum P_{H,\min} = n \cdot P_{H,\min} = 1 \cdot 8,5 = 8,5 \text{ кВт}$$

$$\sum P_{H,\max} = n \cdot P_{H,\max} = 1 \cdot 13,5 = 13,5$$

звідси

$$\sum P_H = 8,5 + 13,5 = 22 \text{ кВт}$$

- знаходимо модуль силового пункту живлення за наступною формулою:

$$m = \frac{P_{H,\max}}{P_{H,\min}} = \frac{13,5}{8,5} = 1,6 < 3$$

- знаходимо середню за зміну активну та реактивну потужності:

- активна потужність знаходиться за виразом:

$$P_c = \sum P_H \cdot k_g$$

$k_g = 0,14$ - коефіцієнт використання (із таблиці 2.1) [3-5],

тоді

$$P_c = 22 \cdot 0,14 = 3,1 \text{ кВт}$$

- реактивна потужність знаходиться за виразом:

$$Q_c = \operatorname{tg} \varphi \cdot P_c,$$

де $\operatorname{tg} \varphi = 1,73$ - тангенс кута зсуву фаз (із таблиці 2.1) [3-5]

звідси

$$Q_c = 1,73 \cdot 3,1 = 5,3 \text{ кВАр}.$$

Проводимо аналогічні розрахунки для інших споживачів. Зводимо отримані результати у таблицю 2.2.

Знаходимо групові коефіцієнти використання та групові коефіцієнти потужності:

$$k_{\text{с.зр}} = \frac{\sum P_c}{\sum P_n}$$

$\sum P_c$ - сумарна середня за зміну активна потужність, κBm (дані із таблиці 2.2):

$$\sum P_c = 3,1 \kappa Bm$$

$\sum P_n = 22 \kappa Bm$ - сумарна номінальна потужність для *ШП*–1 (дані із таблиці 2.2),

звідси

$$k_{\text{с.зр}} = \frac{3,1}{22} = 0,14$$

- груповий коефіцієнт потужності знаходиться за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{зр}} = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}$$

$\sum Q_c = 5,3 \kappa BAr$ - сумарна середня за зміну реактивна потужність (дані з таблиці 2.2), відповідно

$$\operatorname{tg} \phi_{\text{зр}} = \frac{5,3}{3,1} = 1,73$$

$$\cos \varphi_{\text{зр}} = \arctg \varphi_{\text{зр}} = 0,5$$

Ефективне число приймачів електричної енергії знаходить за формулою:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{n, \max}}$$

$P_{n, \max} = 13,5 \kappa Bm$ - максимальна номінальна потужність електроспоживачів (дані із таблиці 2.2)

отже

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot 22}{13,5} = 3 \text{ шт.}$$

Оскільки $n_{\text{еф}} \neq n$ то запишемо, що $n_{\text{еф}} = 3 \text{ шт.} < n = 7 \text{ шт.}$

По [3-5] знаходимо коефіцієнт максимуму, на основі: $k_{\text{с.зр}} = 0,14$ і $n_{\text{еф}} = 3 \text{ шт.}$

Отже, для $n_{\text{еф}} = 3 \text{ шт.}$, коефіцієнта максимуму не існує.

Розрахункові потужності:

- активна розрахункова потужність: $P_p = k_m \cdot \sum P_c = 3,1 \text{ кВт}$;
- реактивна розрахункова потужність: $Q_p = 1,1 \sum Q_c$, при $n_{ef} < 10$, отже,
 $Q_p = 1,1 \cdot 5,3 = 5,9 \text{ кВАр}$;
- повна розрахункова потужність: $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{3,1^2 + 5,9^2} = 7 \text{ кВА}$.

Для інших груп розрахунки аналогічні, дані заносимо у таблицю 2.2.

Визначаємо номінальне активне навантаження освітлення цеху:

Методом коефіцієнта попиту [3-5] з достатньою точністю можна визначити розрахункове навантаження електричного освітлення механічного цеху. Встановлене активне навантаження приладів освітлення механічного цеху $P_{уст.о.}$

$$P_{уст.о.} = k \cdot p_{н.о.} \cdot S \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

для ДРЛ $k = 1,1$;

$p_{н.о.}$ - питоме навантаження загального освітлення механічного цеху,
 $\text{Вт} / \text{м}^2$ $p_{н.о.} = 12 \text{ Вт} / \text{м}^2$ [21];

S - площа приміщення, м^2

$$S = A \cdot B,$$

де $A = 75 \text{ м}$ - довжина приміщення;

$B = 24 \text{ м}$ - ширина приміщення.

$$S = 75 \cdot 24 = 1800 \text{ м}^2,$$

отже

$$P_{уст.о.} = 1,1 \cdot 12 \cdot 1800 \cdot 10^{-3} = 23,76 \text{ кВт}.$$

Визначаємо розрахункове навантаження загального освітлення механічного цеху:

- активне розрахункове навантаження:

$$P_{р.о.} = K_{н.о.} \cdot P_{уст.о.}, \text{ кВт},$$

$K_{н.о.}$ - коефіцієнт попиту загального освітлення, приймається $K_{н.о.} = 0,95$ [21], тоді:

$$P_{р.о.} = 0,95 \cdot 23,76 = 22,6 \text{ кВт};$$

- реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \text{ кВАр},$$

де $\operatorname{tg} \varphi_o$ - для $\cos \varphi_o = 0,5$ [3-5] $\operatorname{tg} \varphi_o = 1,73$,

тоді

$$Q_{p.o} = 22,6 \cdot 1,73 = 39 \text{ кВАр}.$$

Повне розрахункове навантаження загального освітлення буде становити:

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{22,6^2 + 39^2} = 45 \text{ кВА}.$$

Отримані дані проведеного розрахунку представимо у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахункове навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів

Силовий пункт живлення, назва електроприймачів	$n, \text{шт}$	Потужність		m	k_{ϵ}	$\cos\varphi / \text{tg}\varphi$	Середня потужність		n_{ef}	$k_{\text{м}}$	Розрахункова потужність		
		одного, кВт	$P_{\kappa}, \text{кВт}$				$P_{\text{с}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{с}}, \text{кВАр}$			$P_{\text{р}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{р}}, \text{кВАр}$	$S_{\text{р}}, \text{кВА}$
РП-1													
Повздовжньо-стругальний верстат	1	32,5	32,5	2,5	0,13	0,4/2,29	4,2	9,68					
Токарно-гвинторізний верстат	1	17	17		0,14	0,5/1,73	2,4	4,12					
Плоско-шліфувальний верстат	1	18	18		0,12	0,4/2,29	2,2	4,95					
Кругло-шліфувальний верстат	1	13	13		0,12 5	0,45/1,98	1,6	3,22					
Всього по РП-1	4	13÷32,5	80,5	<3	0,13	0,43/2,11	10,4	22	5	3	33	24	41
РП-2													
Прес ножиці	1	3,5	3,5	11,4	0,14	0,5/1,73	0,5	0,8					
Верстат відрізний	1	2,2	2,2		0,13	0,45/1,98	0,3	0,6					
Піч опору	1	20	20		0,5	0,95/0,33	10	3,3					
Перетворювач зварювальний	2	25	50		0,35	0,5/1,73	17,5	30,3					
Кран-балка Q=5 т.с.	1	5,5	5,5		0,05	0,5/1,73	0,3	0,5					
Всього по РП-2	6	2,2÷25	81,2	>3	0,35	0,63/1,24	28,6	35,5	6	1,8	51,4	39	64,5

Продовження таблиці 2.2

ШП-1														
Токарно-гвинторізні верстати	7	8,5÷13,5	22	1,6	0,14	0,5/ 1,73	3,1	5,3						
Всього по ШП-1	7	8,5÷13,5	22	<3	0,14	0,5/ 1,73	3,1	5,3	3	-	3,1	5,9	7	
ШП-2														
Різьбонарізний верстат	1	5,5	5,5	8,7	0,12	0,4/ 2,29	0,7	1,5						
Довбальний верстат	1	9	9		0,125	0,45/ 1,98	1,1	2,2						
Шліфувальний верстат	4	1,5÷13	14,5		0,13	0,45/ 1,98	1,9	3,7						
Фрезерні верстати	6	1,5÷7,5	9		0,14	0,5/ 1,73	1,3	2,2						
Всього по ШП-2	12	1,5÷13	38	>3	0,13	0,46/ 1,9	5	9,7	6	1,9	9	9,7	13,4	
ШП-3														
Фрезерні верстати	6	2÷9,8	11,8	5	0,14	0,5/1,73	2	2,9						
Всього по ШП-3	6	2÷9,8	11,8	>3	0,14	0,5/1,73	2	2,9	2	-	2	3,1	4	
ШП-4														
Токарно-гвинторізні верстати	2	7,5	15	7,5	0,14	0,5/1,73	2,1	3,6						
Свердильні верстати	3	2,2÷4	6,2		0,13	0,45/1,98	0,8	1,6						
Заточувальний верстат	1	1	1		0,12	0,4/2,29	0,12	0,3						
Прес гідравлічний	1	5,5	5,5		0,125	0,45/1,98	0,7	1,4						
Всього по ШП-4	7	1÷7,5	27,7	>3	0,13	0,46/1,9	4	6,9	7	2,3	8,5	6,9	11	

Продовження таблиці 2.2

Силове навантаження	42	1÷32,5	261,2	>3	0,20	0,5/1,7	52,3	82,1	16	1,42	74	82,1	111
Освітлення			23,76			0,5/1,73					22,6	39	45
Всього по цеху											97	121	156
Потужність сусідніх цехів											250	200	320
Разом						0,73/0,93					347	321	476

2.3 Розрахунки освітлення механічного цеху

Проведемо світлотехнічний розрахунок.

висота приміщення:

$$H = 7 \text{ м.}$$

Відстань від світильників до перекриття:

$$h_c = 1 \text{ м.}$$

Висота світильників над підлогою:

$$h_n = H - h_c$$

$$h_n = 6 \text{ м.}$$

Висота розрахункової поверхні над підлогою :

$$h_p = 1 \text{ м}$$

Розрахункова висота від світильника до розрахункової поверхні :

$$h = h_n - h_p = 5 \text{ м}$$

Довжина приміщення:

$$l = 75 \text{ м.}$$

Ширина приміщення:

$$B = 24 \text{ м.}$$

Згідно [21] приймаємо освітлення діляниць $E = 300 \text{ лк.}$

Згідно [21] коефіцієнт запасу $K_z = 1,5.$

Загальна кількість світильників буде становити: 30.

Для розрахунку використаємо метод коефіцієнту використання.

Світловий потік ламп у кожному світильнику F :

$$F = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot z}{\eta \cdot N}.$$

Відхилення потоку стандартної лампи F не має відхилятися більш чим на $-10... + 20\%$.

Коефіцієнти відбивання поверхонь приміщення:

стелі - $\rho_{стелі} = 50\%$,

стіни - $\rho_{\text{стіни}} = 30\%$,

підлоги - $\rho_{\text{підлоги}} = 10\%$.

$$i = \frac{B \cdot l}{h \cdot (B + l)}$$

Індекс приміщення становить:

$$i = \frac{B \cdot l}{h \cdot (B + l)} = \frac{24 \cdot 75}{5 \cdot (24 + 75)} = 3,6$$

Коефіцієнт використання світлового потоку світильників:

$$\eta = 0,61$$

Площа приміщення:

$$S_1 = B \cdot l = 1800 \text{ м}^2$$

Прийmemo:

$$z = 1,15.$$

Звідси:

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1800 \cdot 1,15}{0,61 \cdot 30} = 50902 \text{ Лм}.$$

Вибрано лампи типу ДРЛ – 1000

$$P = 1000 \text{ Вт}$$

$$F_1 = 50000 \text{ Лм};$$

$$U_n = 145 \text{ В}.$$

Вибираємо:

$$\cos \varphi = 0,95;$$

$$\tan \varphi = \tan(\arccos(0,95)) = 0,329;$$

$$K_u = 0,9.$$

Відхилення світлового потоку відвибраних ламп:

$$\delta = \frac{F - F_1}{F} \cdot 100\% = \frac{50902 - 50000}{50902} \cdot 100\% = 1,8\%$$

Відхилення лежить в допустимих межах.

Знайдемо номінальну потужність усіх ламп:

$$P_n = N \cdot P = 30 \cdot 1 = 30 \text{ кВт}$$

Розрахункові величини потужностей: активної, реактивної та повної

$$P_p = K_u \cdot P_n = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi = 27 \cdot 0,329 = 8,9 \text{ кВАр}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{27^2 + 8,9^2} = 28 \text{ кВА}$$

Встановлюємо 14 розеток по 1 кВт.

2.4 Розрахунок та вибір розподільчої електричної мережі механічної ділянки

Проведемо розрахунок перерізу кабелю, який прокладено від ПС до ШП-1:

Розрахунковий струм знаходиться за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$S_p = 7 \text{ кВА}$$

$$U_n = 0,4 \text{ кВ}$$

звідси:

$$I_p = \frac{7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 10 \text{ А.}$$

Вибрано АВ серії ВА51 згідно [9] із наступних умов:

$$U_{н.а} \geq U_{н.м} - U_{н.а} = 660 \text{ В} > U_{н.м} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 25 \text{ А} > I_p = 10 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25 I_p - 1,25 I_p = 1,25 I_p = 12,5 \text{ А}; I_{н.р} = 12,5 \text{ А} = 1,25 I_p = 12,5 \text{ А}$$

Отже, умови вибору виконуються.

Вибрано вимикач типу ВА51-25.

Знаходимо переріз кабелю згідно [9]:

$$I_p \leq I_{доп} K$$

$$K = 0,92$$

$I_{\text{доп}} = 29 \text{ A}$ для кабелю з перерізом $S_{\text{ст}} = 2,5 \text{ мм}^2$, звідси:

$$I_p = 10 \text{ A} < I_{\text{доп}} \cdot K = 29 \cdot 0,92 = 27 \text{ A}$$

Отже, умова виконується.

Приймаємо кабель марки: *АВВГ1 – 4 × 2,5*.

Вибраний АВ потрібно перевірити:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н.р}}$$

$$I_{\text{доп}} = 29 \text{ A} > I_{\text{н.р}} = 12,5 \text{ A} - \text{отже, умова виконується}$$

Розрахунки для інших розподільчих пристроїв та шинопроводів проводимо аналогічно. Отримані результати заводимо у таблицю 2.3.

На втрату напруги потрібно перевірити кабелі, які живлять *РП – 2*, *ШП – 1*, *ШП – 2* та *ШП – 3*, так як, їх довжина становить, відповідно, 85, 35, 53 і 70 м.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p}{U_{\text{н}}} (R \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi) \leq \Delta U_{\text{доп}},$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$$

Таблиця 2.3 - Вибрані типи і перерізи кабелів

Початок	Кінець	$I_p,$ A	$I_{н.а},$ A	$I_{н.р},$ A	Тип автоматичного вимикача	Тип та переріз кабеля	$I_{дон},$ A	$I,$ $м$	$\Delta U,$ %
ТП	РП-1	60,0	100,0	80,0	ВА51-31	АВВГ1-4х16	90,0	25,0	-
ТП	РП-2	89,0	160,0	125,0	ВА51-33	АВВГ1 - 4х35	140,0	85,0	2,20
ТП	ШП-1	9,70	25,0	12,50	ВА51-25	АВВГ1 - 4х2,5	29,0	35,0	1,0
ТП	ШП-2	27,0	100,0	40,0	ВА51-31	АВВГ1 - 4х6	46,0	53,0	1,60
ТП	ШП-3	6,0	25,0	8,00	ВА51-25	АВВГ1 - 4х2,5	29,0	70,0	1,20
ТП	ШП-4	20,0	25,0	25,0	ВА51-25	АВВГ1 - 4х2,5	29,0	26,0	-

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot S},$$

$$l = 85 \text{ м}$$

$$\gamma = 32 \text{ Смм} / \text{мм}^2$$

$$S = 35 \text{ мм}^2$$

отже:

$$R = \frac{85}{32 \cdot 35} = 0,0759 \text{ Ом}$$

$$x = x_0 \cdot l$$

$$x_0 = 0,08 \text{ Ом} / \text{км}$$

звідси

$$x = 0,08 \cdot 0,085 = 0,0068 \text{ Ом} / \text{км}$$

$$\cos \varphi = 0,63,$$

тоді

$$\sin \varphi = 0,78,$$

отже:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 89}{380} \cdot (0,07590,63 + 0,00680,78) = 2,2 \% < \Delta U_{\text{дон}} = 5 \%$$

умова виконується.

Для ШП-1 ÷ ШП-3 розрахунки проводимо аналогічні. Отримані результати заводимо у таблицю 2.4.

Вибрано РП серії ПР21.

Вибрано шинопроводи типу ШПА-4 із розміром шин $50 \times 5 \text{ мм}$,
 $I_n = 400 \text{ А}$, $U_n = 380 / 220 \text{ В}$, із електродинамічною стійкістю на 25 кА .

Проведемо розрахунок для ШП-1:

Розрахунковий струм для одного споживача знаходиться за формулою:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}$$

$$P_n = 8,5 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = 0,5,$$

отже:

$$I_p = \frac{8,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 24,5 \text{ A}$$

Вибрано АВ серії AE20 та здійснимо його перевірку за умовами:

$$U_{н.а} \geq U_{н.м} - U_{н.а} = 660 \text{ В} > U_{н.м} = 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 63 \text{ А} > I_p = 24,5 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25I_p - 1,25I_p = 1,25 \cdot 24,5 = 31 \text{ А}; I_{н.р} = 31,5 \text{ А} > 1,25I_p = 31 \text{ А}$$

умови виконується.

Вибираємо вимикач типу AE2043.

Згідно [9] вибрано стандартний переріз проводу $S_{ст} = 8 \text{ мм}^2$ із $I_{дон} = 37 \text{ А}$.

Марка проводу: АПВ – 4(1 × 8).

Вибраний АВ потрібно перевірити:

$$I_{дон} \geq I_{н.р.}$$

$$I_{дон} = 37 \text{ А} > I_{н.р.} = 31,5 \text{ А}$$

Отже, умова виконується

Інші розрахунки проводимо аналогічно, отримані дані зводимо у таблицю

2.4.

Таблиця 2.4 - Вибрані типи АВ

Номер ШП; РП	Тип ШП	АВ			
		AE2023; AE2043; AE2063			Кількість шаф
		$I_{н.а.},$ А	$I_{н.р.},$ А	Кількість	
РП-1	ПР21.7.2.14	63,0; 160,0	63,0 ÷ 160,0	4	1
РП-2	ПР21.7.2.16	16,0 ÷ 100,0	10,0 ÷ 100,0	6	1
ШП-1	ШРА-4	63,0	31,50 ÷ 50,0	7	
ШП-2	ШРА-4	16,0; 63,0	5,0 ÷ 63,0	12	
ШП-3	ШРА-4	16,0; 63,0	8,0 ÷ 40,0	6	
ШП-4	ШРА-4	16,0; 63,0	5,0 ÷ 31,50	7	

2.5 Розрахунок потужності та вибір КП

Знайдемо потужність КП:

$$Q_{\text{кп}} = \Sigma P_p \cdot (tg \varphi_p - tg \varphi_n) \cdot \alpha$$

$$\Sigma P_p = 347 \text{ кВт}$$

$$tg \varphi_p = 0,93$$

$$tg \varphi_n = 0,3$$

$$\alpha = 0,9$$

$$Q_{\text{кп}} = 347 (0,93 - 0,3) 0,9 = 197 \text{ кВт}$$

Вибрано КП типу *УКРП-0,4-200-20УЗ* потужністю $Q_{\text{кп.ст}} = 200 \text{ кВт}$ згідно [4, 5].

Повна розрахункова потужність механічного цеху:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{кп.ст}})^2} = \sqrt{347^2 + (321 - 200)^2} = 367 \text{ кВА}$$

Отримані результати розрахунку занесено у таблицю 2.2.

На рисунку 2.1 показано компенсацію реактивної потужності.

$$P_{розр} = 347 \text{ кВт};$$

$$Q_{розр} = 321 \text{ кВАр};$$

$$S_{розр} = 476 \text{ кВА}.$$

$$Q_{кп} = 200 \text{ кВАр}.$$

$$P_{тп} = 347 \text{ кВт};$$

$$Q_{тп} = 121 \text{ кВАр};$$

$$S_{тп} = 367 \text{ кВА}.$$

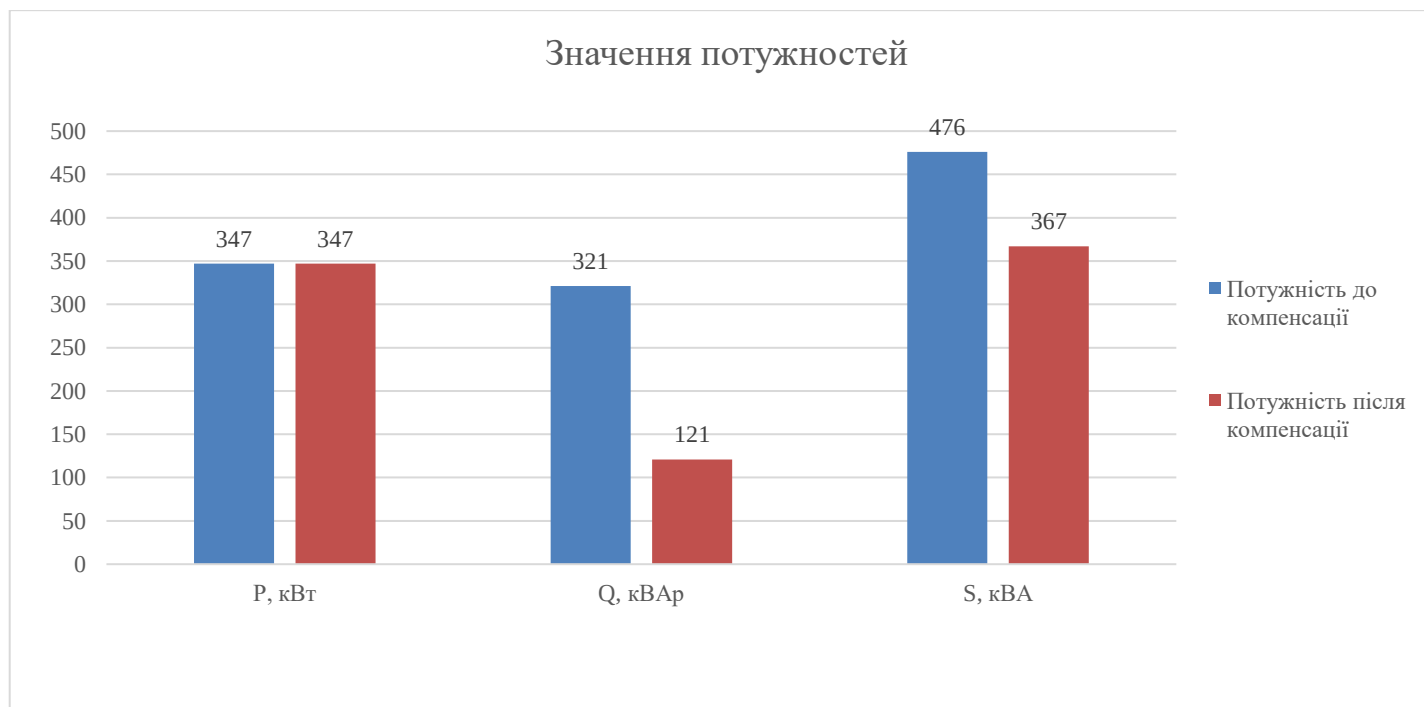


Рисунок 2.1 – КРП

2.6 Вибір числа та потужності трансформаторів відділення.

Розрахункове навантаження становить $S_p = 367 \text{ кВА}$.

Пропонуємо 2 варіанти встановлення:

- варіант 1: $S_{н.тр} = 1 \times 630 \text{ кВА}$;

- варіант 2: $S_{н.тр} = 2 \times 400 \text{ кВА}$.

Перевірка:

$$S_{н.т.} \geq S_p$$

- для першого варіанту: $S_{н.т.} = 1 \times 630 \text{ кВА} > S_p = 367 \text{ кВА}$;

- для другого варіанту: $S_{н.т.} = 2 \times 400 \text{ кВА} > S_p = 367 \text{ кВА}$.

Коефіцієнти завантаження силових трансформаторів:

$$k_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{н.тр}}$$

$$S_p = 367 \text{ кВА}$$

звідси:

- для першого варіанту: $k_{z1} = \frac{367}{1 \cdot 630} = 0,66$ або 66 %

- для другого варіанту: $k_{z2} = \frac{367}{2 \cdot 400} = 0,46$ або 46 %.

Для 1 варіанту знайдемо запас по потужності $S_{н.т.} = 1000 \text{ кВА}$ при резервуванні від трансформаторної підстанції сусіднього цеху:

$$S_{рез.} = 1,3 \cdot S_{н.т.} \cdot S_p = 1,3 \cdot 630 \cdot 367 = 452 \text{ кВА},$$

а розрахункове навантаження споживачів механічного цеху, що можуть залишитись в роботі, складає:

$$S_{р.л} = 0,7 \cdot S_p = 0,7 \cdot 367 = 256,9 \text{ кВА}$$

Отже, резервування від трансформаторної підстанції сусіднього цеху дає змогу подати живлення 70 % споживачів даного цеху.

Коефіцієнт перевантаження одного із силових трансформаторів, якщо вийшов із ладу другий:

$$k_{з.ав} = \frac{S_p}{(n-1)S_{н.тр}} \leq 1,3$$

$k_{з.ав} = \frac{367}{(2-1) \cdot 400} = 0,92 < 1,3$ – коефіцієнт знаходиться у нормованих межах.

Отже, до подальшого розрахунку підходять обидва силові трансформатора [16]. Так як, споживачі в механічному цеху відносяться до третьої категорії по надійності електропостачання, то приймаємо варіант 1 - 1 силовий трансформатор потужністю 1000кВА.

Для вибору потужності силового трансформатора потрібно провести техніко-економічне порівняння варіантів [6-7].

Згідно [4, 5, 10, 11] запишемо технічні дані силових трансформаторів у таблицю 2.5.

Таблица 2.5 - Технічні дані силових трансформаторів

Номер варіанту	$S_{н.тр},$ кВА	$\Delta P_{x.x},$ кВт	$\Delta P_{кз},$ кВт	$U_{кз},$ %	$I_{x.x},$ %
Перший	630,0	1,05	7,60	5,50	1,60
Другий	400,0	0,83	5,50	4,50	1,8

Проведемо техніко-економічне порівняння варіантів в математичному пакеті MathCAD.

Порівняльний розрахунок трансформаторів ТМ-400 і ТМ-630

Потужність трансформаторів вибирається з урахуванням повної потужності силових споживачів, освітлення та компенсаційної установки:

$$S_p := 367 \text{ кВА}$$

Вибираємо один або два трансформатори, оскільки споживачі належать до третьої категорії. Так як, трансформатори можуть працювати як в перевантаженому (на 40%), так і в недовантаженому режимі, будемо розраховувати два варіанти:

Перший варіант:

ТМ400 – 10

Другий варіант:

ТМ630 – 10

Потужність трансформаторів:

Перший варіант:

$$S_{tr1} := 400 \text{ кВА}$$

Другий варіант:

$$S_{tr2} := 630 \text{ кВА}$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження в нормальному і аварійному режимах:
Перший варіант:

$$K_{zav.tr1.nom} := \frac{S_p}{2 \cdot S_{tr1}} = 0.459$$

Перевантаження одного трансформатора можна проводити на 40%:

$$K_{zav.tr1.avar} := \frac{S_p}{1.4 \cdot S_{tr1}} = 0.655$$

Другий варіант:

$$K_{zav.tr2.nom} := \frac{S_p}{1 \cdot S_{tr2}} = 0.583$$

$$K_{zav.tr2.avar} := \frac{S_p}{1.4 \cdot S_{tr2}} = 0.416$$

Значення втрат холостого ходу, втрат короткого замикання, струму холостого ходу, напруги короткого замикання виберемо з [13]

Перший варіант:

$$\Delta P_{xx.tr1} := 0.83 \text{ кВт} \quad \Delta P_{kz.tr1} := 5.5 \text{ кВт} \quad I_{xx.tr1} := 1.8 \%$$

$$U_{kz.tr1} := 4.5 \% \quad C_{tr1} := 229000 \text{ грн}$$

Другий варіант:

$$\Delta P_{xx.tr2} := 1.05 \text{ кВт} \quad \Delta P_{kz.tr2} := 7.6 \text{ кВт} \quad I_{xx.tr2} := 1.6 \%$$

$$U_{kz.tr2} := 5.5 \% \quad C_{tr2} := 312000 \text{ грн}$$

Час включення:

$$t_{vkl} := 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год}$$

Коефіцієнт зміни втрат:

$$K_{zm.vtr} := 0.02 \frac{\text{кВт}}{\text{кВАр}}$$

Визначаємо приведені втрати електроенергії:

Перший варіант:

$$\Delta Q_{xx.tr1} := S_{tr1} \cdot \frac{I_{xx.tr1}}{100} = 7.2 \text{ кВАр}$$

$$\Delta Q_{kz.tr1} := S_{tr1} \cdot \frac{U_{kz.tr1}}{100} = 18 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{xx.sh.tr1} := \Delta P_{xx.tr1} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{xx.tr1} = 0.974 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{kz.sh.tr1} := \Delta P_{kz.tr1} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{kz.tr1} = 5.86 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{sh.tr1} := \Delta P_{xx.sh.tr1} + K_{zav.tr1.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr1} = 2.207 \text{ кВт}$$

Приведені втрати в двох трансформаторах:

$$\Delta P_{1.2.sh.tr1} := 2 \cdot \Delta P_{sh.tr1} = 4.4145 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії за рік:

$$\Delta E_{tr1} := \Delta P_{1.2.sh.tr1} \cdot t_{vkl} = 38670.953 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість одного кіловата електроенергії для підприємства (для промислових і прирівняних до них споживачі з приєднаною потужністю до 750 кВА 2-го класу до 35 кВ):

$$m := 10.5 \text{ грн}$$

Вартість втрат електроенергії за рік:

$$C_{e.tr1} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 406045.003 \text{ грн}$$

По другому варіанті:

$$\Delta Q_{xx.tr2} := S_{tr2} \cdot \frac{I_{xx.tr2}}{100} = 10.08 \text{ кВАр}$$

$$\Delta Q_{kz.tr2} := S_{tr2} \cdot \frac{U_{kz.tr2}}{100} = 34.65 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{xx.sh.tr2} := \Delta P_{xx.tr2} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{xx.tr2} = 1.252 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{kz.sh.tr2} := \Delta P_{kz.tr2} + K_{zm.vtr} \cdot \Delta Q_{kz.tr2} = 8.293 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{sh.tr2} := \Delta P_{xx.sh.tr2} + K_{zav.tr2.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr2} = 4.066 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{1.2.sh.tr2} := 1 \cdot \Delta P_{sh.tr2} = 4.066 \quad \text{кВт}$$

$$\Delta E_{tr1} := \Delta P_{1.2.sh.tr2} \cdot t_{vkl} = 35616.847 \quad \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{e.tr2} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 373976.895 \quad \text{грн}$$

Капітальні затрати становлять:

По першому варіанті:

$$K_{z.tr1} := 2 \cdot C_{tr1} = 458000 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$K_{z.tr2} := 1 \cdot C_{tr2} = 312000 \quad \text{грн}$$

Річні експлуатаційні затрати:

$$C_a = \phi \cdot K_{z.tr}$$

де ϕ - коефіцієнт амортизаційних відрахувань на трансформатор

$$\phi := 0.1$$

По першому варіанті:

$$C_{a1} := \phi \cdot K_{z.tr1} = 45800 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$C_{a2} := \phi \cdot K_{z.tr2} = 31200 \quad \text{грн}$$

Сумарні річні затрати:

По першому варіанті:

$$C_1 := C_{e.tr1} + C_{a1} = 451845.003 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$C_2 := C_{e.tr2} + C_{a2} = 405176.895 \quad \text{грн}$$

Визначаємо термін окупності:

$$T_{ok} := \frac{K_{z.tr2} - K_{z.tr1}}{C_2 - C_1} = 3.128 \quad \text{роки}$$

Розрахунки підтвердили, що найкращим варіантом для вибору є трансформатор ТМ630 – 10. Також встановлення потужнішого трансформатора дасть змогу розширити виробництво в майбутньому.

Економічна ефективність при встановленні масляного трансформатора ТМ-630, а не масляного трансформатора ТМ-400 буде становити:

$$E := C_1 - C_2 = 46668.108 \quad \text{грн}$$

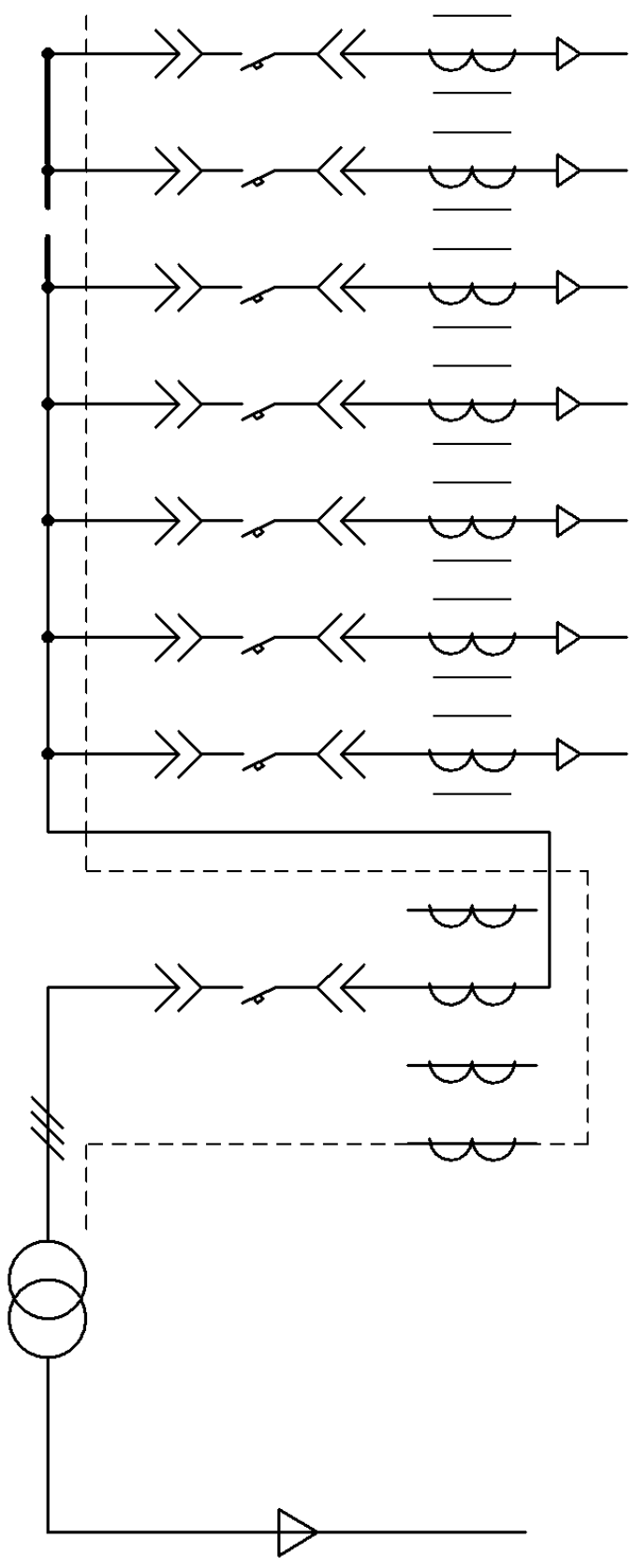
2.7 Розробка конструкції КТП

Параметри КТП представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Параметри КТП

Назва параметру	Дані розрахунку	Дані <i>КТП – 630</i>
Потужність силового трансформатора (кВА):	367,0	630,0
Номінальна напруга на стороні високої напруги (кВ):	10	10
Номінальна напруга на стороні низької напруги (кВ):	0,4	0,4
Частота змінного струму (Гц):	50,0	50,0
Номінальний струм збірних шин (кА):		
УВН	0,0360	0,40
РПНН	0,910	0,910
Струм електродинамічної стійкості (кА):		
ПВН	35,60	510
РПНН	17,6920	500
Струм термічної стійкості за 1с (кА ² с):		
ПВН	219,520	400,0
РПНН	103,70	6250

На рисунку 2.2 показано схему КТП.



УВН	Силовий тр-р	РУНН			
ВВ-1У1	ТМЗ-630	ШНВ-1ЛУ1		ШНЛ-7У1	
		тип вимикача			
		ввідний	лінійний	ввідний	лінійний
		ВА55-41	ВА53-39 ВА51-31 ВА51-31	-	ВА53-39 ВА51-31 ВА51-25

Рисунок.2.2 - Схема КТП

2.8 Висновки до розділу

1. Показана відомість споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
2. Здійснено розрахунок електричного навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Розрахункова повна потужність становить 476 кВА .
3. Проведено розрахунки освітлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
4. Здійснено вибір розподільчої електричної мережі механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
5. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу $УКРП0,4 - 200 - 20УЗ$ потужністю $Q_{кп.см} = 200 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів становить 367 кВАр .
6. Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів для живлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.
7. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів КЗ.

Розрахунок проводиться в відносних одиницях.

Складено розрахункову схему (рисунок 3.1).

Покажемо по [4, 5, 10, 11], технічні дані трьохобмоткового трансформатора типу *ТДТН* – 40000/110/35/10:

$$S_H = 40 \text{ МВА};$$

$$\Delta P_{x.x.} = 63 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{KЗ} = 230 \text{ кВт};$$

$$I_{x.x.} = 0,9 \text{ \%};$$

$$U_{KЗ} - BH - CH = 10,5\%$$

$$-BH - HH = 17 \text{ \%}$$

$$-CH - HH = 6 \text{ \%}$$

Складено схему заміщення (рисунок 3.2).

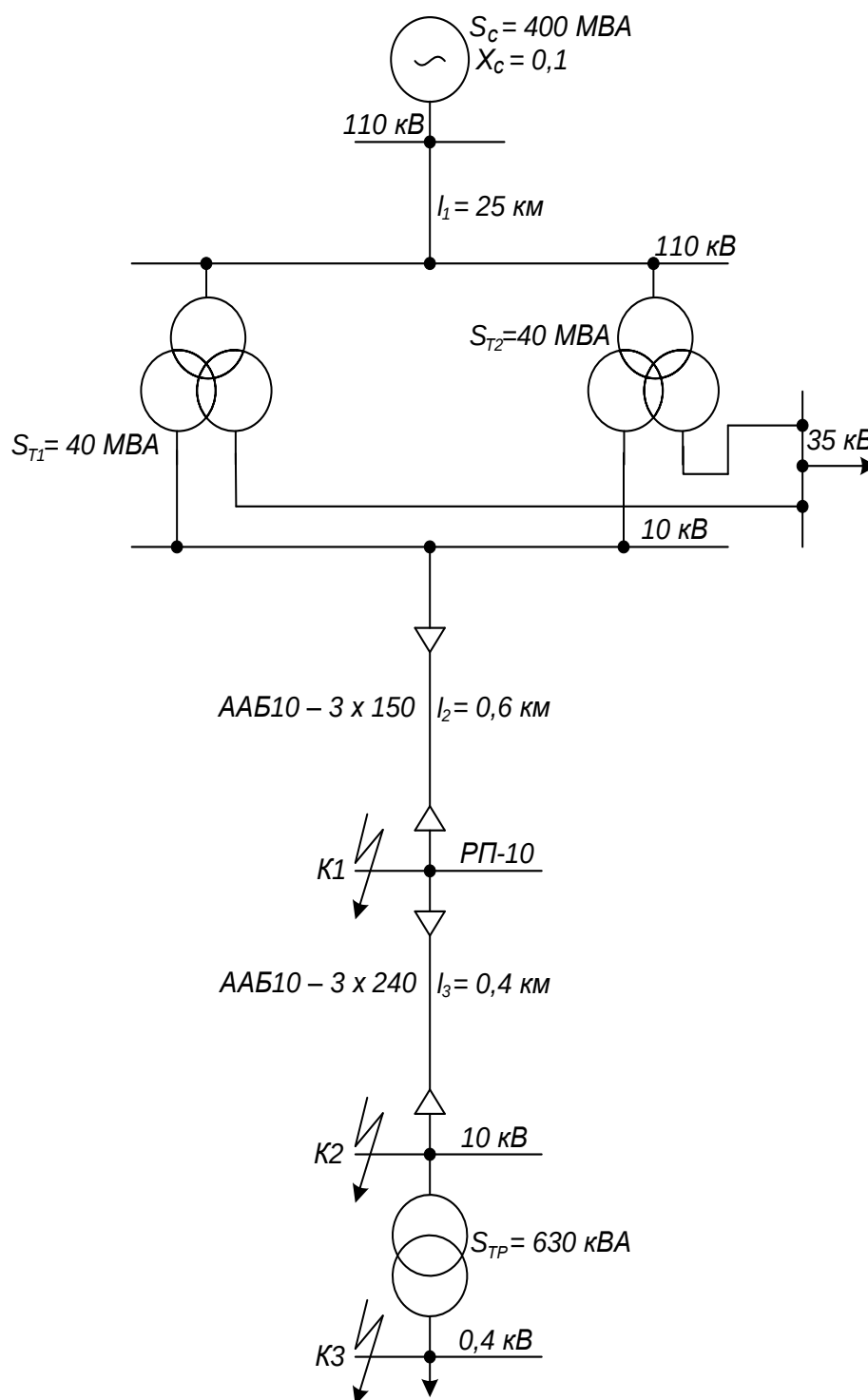


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема

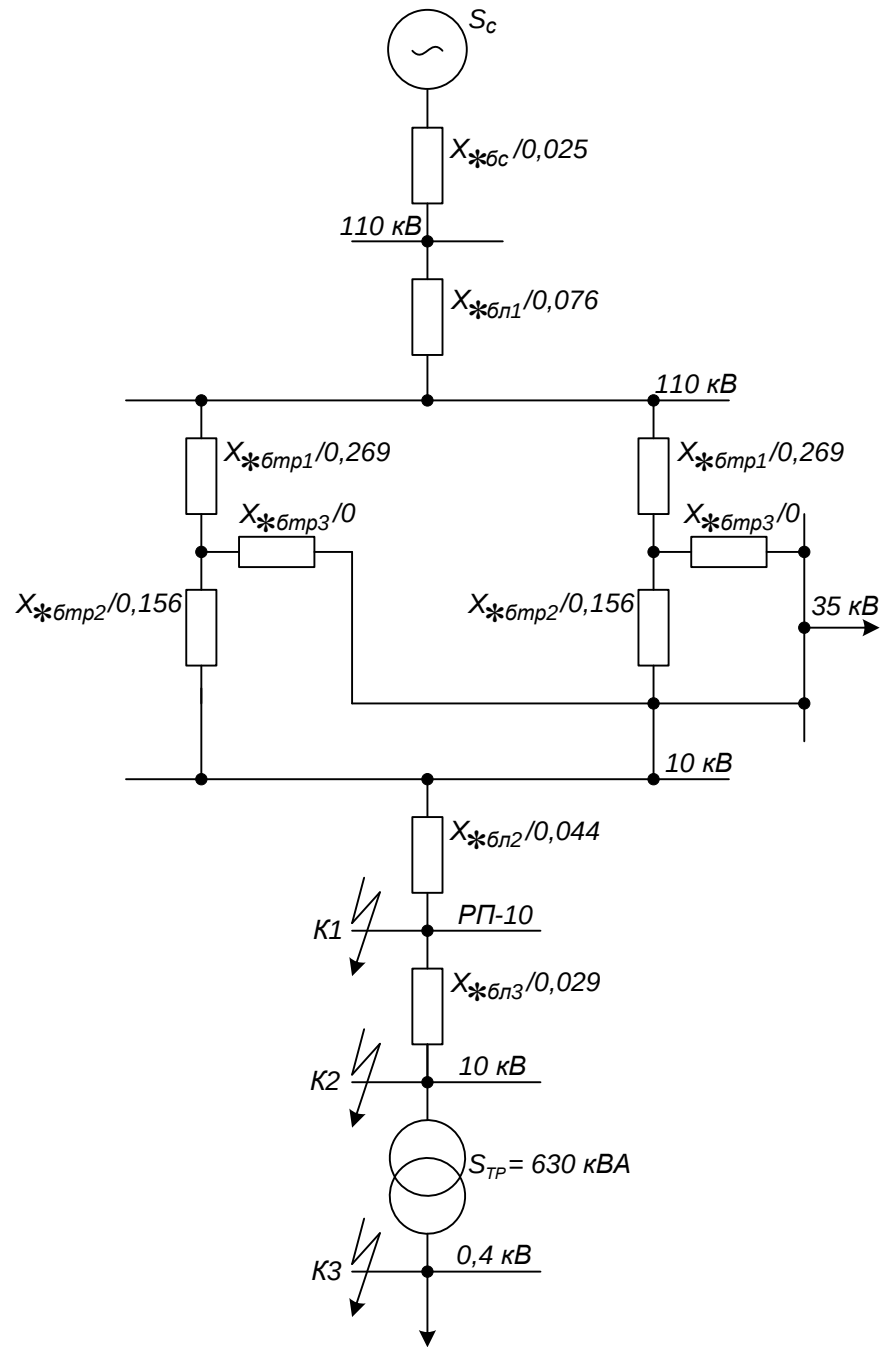


Рисунок 3.2 -Схема заміщення

Формула для розрахунку базисного струму:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}$$

$$S_{\delta} = 100 \text{ MVA}$$

$$U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ},$$

тоді:

$$I_{\delta} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5$$

Відносний опір системи:

$$x_{*\delta c} = x_c \cdot \frac{S_{\delta}}{S_c} = 0,1 \cdot \frac{100}{400} = 0,025$$

Відносний опір лінії 1:

$$x_{*\delta l1} = x_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2},$$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом / км}$$

$$l_1 = 25 \text{ км}$$

$$U_{cp} = 115 \text{ кВ}$$

звідси:

$$x_{*\delta l1} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076$$

Відносний опір кожної обмотки трьохобмоткового трансформатора:

$$U_{\kappa 31 B} = \frac{U_{KB-C} + U_{KB-H} + U_{KC-H}}{2} = \frac{10,5 + 17 - 6}{2} = 10,75 \%$$

$$U_{\kappa 32 H} = \frac{U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C}}{2} = \frac{17 + 6 - 10,5}{2} = 6,25 \%$$

$$U_{\kappa 33 C} = \frac{U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H}}{2} = \frac{10,5 + 6 - 17}{2} = 0$$

тоді

$$x_{*\delta mp1} = \frac{U_{\kappa 31, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,269$$

$$x_{*\delta mp2} = \frac{U_{\kappa 32, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,156$$

$$x_{*\delta mp3} = 0$$

Відносний опір лінії 2 :

$$x_{*бл2} = x_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2},$$

$$x_0 = 0,08 \text{ Ом} / \text{км}$$

$$l_2 = 0,6 \text{ км}$$

$$x_{*бл2} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,044$$

Результуючий опір до точки КЗ К-1:

$$\begin{aligned} x_{*брез1} &= x_{*бс} + x_{*бл1} + \frac{(x_{*бтр1} + x_{*бтр2}) \cdot (x_{*бтр1} + x_{*бтр2})}{(x_{*бтр1} + x_{*бтр2}) + (x_{*бтр1} + x_{*бтр2})} + x_{*бл2} = \\ &= 0,025 + 0,076 + \frac{(0,269 + 0,156) \cdot (0,269 + 0,156)}{0,269 + 0,156 + 0,269 + 0,156} + 0,044 = 0,36 \end{aligned}$$

Розрахунковий опір КЗ для точки К-1:

$$x_{роз1} = x_{*брез1} \cdot \frac{S_c}{S_6} = 0,36 \cdot \frac{400}{100} = 1,44$$

Оскільки, $x_{роз1} \geq 3$, тоді:

$$I_{к1} = I_{н.с.} \cdot k_t,$$

$$I_{н.с.} = \frac{S_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23 \text{ кА}$$

$k_t = 0,78$ при $t = \infty$ с і $x_{роз1} = 1,44$, отже:

$$I_{к1} = 23 \cdot 0,78 = 18 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к1}$$

$$k_y = 1,8$$

тоді

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 18 = 45,8 \text{ кА}$$

Потужність КЗ:

$$S_{кз1} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{к1} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 18 = 312 \text{ МВА}$$

Відносний опір лінії 3:

$$x_{*бл3} = x_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,08 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,029$$

Результуючий опір до точки КЗ К – 2 :

$$x_{*брез2} = x_{*брез1} + x_{*бл3} = 0,36 + 0,029 = 0,389$$

Розрахунковий опір КЗ для точки К – 2 :

$$x_{роз2} = x_{*брез2} \cdot \frac{S_c}{S_n} = 0,389 \cdot \frac{400}{100} = 1,6$$

Оскільки, $x_{роз2} < 3$, тоді:

$$I_{к2} = I_{н.с.} \cdot k_t$$

Кратність струму короткого замикання, при $t = 0с$ та $x_{роз2} = 1,6$, становить $k_t = 0,6$ тоді:

$$I_{к2} = 23 \cdot 0,6 = 14 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 14 = 35,6 \text{ кА}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{кз2} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{к2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 14 = 242,5 \text{ МВА}$$

Струм КЗ в точці К – 3:

$$x_c = \frac{U_{н.ном}^2}{S_{відкл}}$$

$$U_{н.ном} = 0,4 \text{ кВ} = 400 \text{ В}$$

$$S_{відкл} = S_{кз2} = 242,5 \text{ МВА} = 242,5 \cdot 10^6 \text{ ВА}$$

$$x_c = \frac{400^2}{242,5 \cdot 10^6} = 0,00066 \text{ Ом} = 0,66 \text{ мОм}$$

Опір трансформатора в відносних одиницях:

$$\text{Активний опір: } r_{*m} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{н.тр}}$$

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}$$

$$S_{н.тр} = 630 \text{ кВА}$$

$$r_{*m} = \frac{7,6}{630} = 0,012$$

$$\text{реактивний: } x_{*m} = \sqrt{U_{кз}^2 - r_{*т}^2},$$

$$U_{\kappa 3} = 5,5 \%$$

$$x_{*m} = \sqrt{0,055^2 - 0,012^2} = 0,054$$

Опори трансформатора приведені до напруги 0,4 кВ :

$$r_m = r_{*m} \cdot \frac{U_{\text{н.ном}}^2}{S_{\text{н.тр}}} = 0,012 \cdot \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 0,003 \text{ Ом} = 3 \text{ мОм}$$

$$x_m = x_{*m} \cdot \frac{U_{\text{н.ном}}^2}{S_{\text{н.тр}}} = 0,054 \cdot \frac{400^2}{630 \cdot 10^3} = 0,0137 \text{ Ом} = 13,7 \text{ мОм}$$

Опори шин при відстані між фазами $l = 250 \text{ мм}$ та питомих опорах $x_0 = 0,179 \text{ мОм} / \text{м}$; $r_0 = 0,06 \text{ мОм} / \text{м}$, довжина шин 5 м

$$r_{uu} = r_0 \cdot l_{uu} = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ мОм} = 0,0003 \text{ Ом}$$

$$x_{uu} = x_0 \cdot l_{uu} = 0,179 \cdot 5 = 0,895 \text{ мОм} = 0,000895 \text{ Ом}$$

Перехідний опір контактів автомата становить 0,8 мОм; опір автомата - 0,3 мОм; перехідний опір в місцях приєднання шин та в місці КЗ – 15 мОм.

Результуючий опір кола КЗ у точці К – 3:

$$r = r_m + r_{uu} + r' = 0,003 + 0,0003 + 0,015 = 0,0183 \text{ Ом}$$

$$x = x_m + x_{uu} + x' = 0,0137 + 0,000895 + 0,0008 = 0,0154 \text{ Ом}$$

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{0,0183^2 + 0,0154^2} = 0,024 \text{ Ом}$$

Струм КЗ у точці К – 3:

$$I_{\kappa 3} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,024} = 9623 \text{ А}$$

Ударний струм:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\kappa 3}$$

$$k_y = 1,3,$$

тоді

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 9623 = 17692 \text{ А}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{\kappa 3} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\kappa 3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 9623 = 6,7 \text{ МВА}$$

Дані розрахунків зводимо у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 Дані розрахунків

Точка КЗ	$U_{н,}$ кВ	$I_{кз},$ кА	$i_{y0},$ кА	$S_{кз},$ МВА
$K-1$	10	18,0	45,80	312,0
$K-2$	10	14,0	35,60	242,50
$K-3$	0,4	9,6230	17,6920	6,70

3.2 Вибір електрообладнання КТП. Перевірка на стійкість до дії струмів КЗ

Дані розрахунки представлено в Додатку А.

3.3 Розрахунок та вибір мережі живлення.

Дані розрахунки представлено в Додатку Б.

3.4 Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора

Дані розрахунки представлено в Додатку В.

3.5 Розробка схеми керування захисту, сигналізації і автоматики

Ввімкнення та захист допоміжних кіл керування; сигналізації здійснюється вимикачами ($SF1 \div SF4$).

На вводі КТП використовуються вимикачі з дистанційним приводом (місцеве та дистанційне керування). Місцеве керування здійснюється ключем керування ($SA1$), що розміщується на дверях релейної шафи.

Також, передбачено автоматичне повернення електромагнітного привода при відключенні вимикача розчеплювачами (дією захисту). Повернення виконано за допомогою нормально замкнутого блок-контакта вимикача в колі відключення привода. Сигналізація положення вимикачів з електромагнітним приводом здійснюється за допомогою сигнальних ламп.

Схеми допоміжних кіл КТП забезпечують:

- контроль виконується за допомогою трансформаторів струму
- захист від однофазних замикань з витримкою часу і дією на сигнал виконується на базі реле струму (*KA1*) типу РТ- 40, ввімкненого в коло трансформатора струму (*TAN*) типу ТЗЛМ-10, встановленого на нульовій шині і реле часу (*KT2*) типу ЭВ-215. Робота захисту фіксується вказівним реле (*KN1*).
- захист від перевантажень виконується з дією на сигнал на базі реле струму РТ-40, (*KA2*), ввімкненого в коло фазного трансформатора струму шафи вводу. Робота захисту фіксується вказівним реле (*KN4*). Захист від перевантажень працює з витримкою часу на базі реле ЭВ-215 (*KT3*).

3.6 Вибір елементів схеми РЗА

Вибір елементів схеми РЗА наведено в Додатку Д.

3.7 Висновки до розділу

1. Проведено розрахунок струмів КЗ;
2. Проведено розрахунок та вибір електромережі живлення.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні вимоги до електричних установок і їх обслуговування

Електричне устаткування, яке використовується, за конструкцією, виконанням, якістю ізоляції, способом установки має відповідати вимогам чинних стандартів і правил. Електроустановки підрозділяються на загальнопромислові і вибухозахищені.

Загальнопромислове виконання може бути відкрите, захищене, закрите, таке, що продувається, пилозахищене, бризкозахищене, водозахищене і маслозахищене. Виконання електроустаткування має відповідати умовам навколишнього середовища. Наприклад, в приміщеннях з нормальним середовищем електроустановки можуть мати відкрите або захищене виконання.

Там, де всередину устаткування може потрапити пил або інші речовини, що руйнують ізоляцію, воно повинне мати закрите виконання.

Пуск і зупинка електричних машин і апаратів здійснюється за допомогою встановлених на них кнопкових постів і перемикачів; захист електричних мереж, машин і апаратів від надмірно великого струму забезпечується за допомогою автоматичних вимикачів, магнітних пускачів, реле, запобіжників з плавкими вставками.

Надійна робота устаткування визначається постійністю електротехнічних, хімічних і механічних якостей ізоляції струмопровідних частин і відповідністю їх умовам експлуатації. Для контролю опору ізоляції використовують прилади – мегаомметр. Опір ізоляції в електроустановках напругою до 1000 В має бути не меншим, ніж 0,5 МОм.

В електромеханічному й електронагрівальному устаткуванні для підприємств громадського харчування опір основної ізоляції між струмопровідними частинами і корпусом приймається не менше 2 МОм. Опір посиленої ізоляції – не менше 7 МОм.

Контролюють опір ізоляції електричної мережі:

- у приміщеннях без підвищеної небезпеки – не рідше, ніж раз на рік;
- у приміщеннях підвищеної небезпеки і особливо небезпечних – не рідше, ніж двічі на рік.

Якщо опір ізоляції знижується на 50% від початкового значення, проводку або ізоляцію замінюють.

Інструментальну перевірку стану захисного заземлення (занулення) устаткування і його частин проводять після монтажу або ремонту, а також в процесі експлуатації не рідше одного разу на рік.

Для попередження ураження електричним струмом на підприємствах використовуються кольори сигнальні і знаки безпеки, а також інструкції і плакати. На всіх дверцятах шаф з електроапаратурою напругою більше 42 В, а також кожухах, що закривають електроапаратуру, має бути напис "Висока напруга".

Ремонт і технічне обслуговування електроустаткування і електромереж проводить електротехнічний персонал підприємства або (за договором) спеціалізовані організації. Невеликі підприємства торгівлі і громадського харчування можуть мати такий персонал на пайовій основі. На кожному підприємстві щорічно повинен складатися і суворо виконуватися графік профілактичного догляду і поточного ремонту електроустаткування.

4.2 Основні заходи щодо попередження і усунення причин травматизму на виробництві

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму поділяються на технічні та організаційні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки. Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату

шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря; теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; встановлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування.

Заходи з техніки безпеки передбачають систему організаційних та технічних заходів та засобів, що запобігають впливу на працюючих небезпечних виробничих чинників. До них належать: розроблення та впровадження безпечного устаткування; механізація та автоматизація технологічних процесів; використання запобіжних пристосувань, автоматичних блокувальних засобів; правильне та зручне розташування органів керування устаткуванням; впровадження систем автоматичного регулювання, контролю та керування технологічними процесами, принципово нових нешкідливих та безпечних технологічних процесів.

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації та пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском.

4.3 Система протипожежного захисту

Система протипожежного захисту — це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних чинників пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї.

Протипожежний захист об'єкта здійснюється за такими чотирма напрямками:

1. Обмеження розмірів та поширення пожежі:

- розміщення будівель та споруд на території об'єкта із дотриманням протипожежних розривів та інших вимог пожежної безпеки;
- дотримання обмежень стосовно кількості поверхів будівель та площі поверху;
- правильне планування та розміщення виробничих цехів, приміщень, діляниць у межах будівлі;
- розміщення пожежонебезпечних процесів та устаткування в ізольованих приміщеннях, відсіках, камерах;
- вибір будівельних конструкцій необхідних ступенів вогнестійкості;
- встановлювання протипожежних перешкод у будівлях, системах вентиляції, паливних та кабельних комунікаціях;
- обмеження витікання та розтікання легкозаймистих та горючих рідин при пожежі;
- влаштування систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння.

2. Обмеження розвитку пожежі:

- обмеження кількості горючих речовин, що одночасно знаходяться в приміщенні;
- використання оздоблювальних будівельних та конструкційних матеріалів з нормативними показниками вибухопожежонебезпечності;
- аварійне стравлювання горючих рідин та газів;
- своєчасне звільнення приміщень від залишків горючих матеріалів;
- застосування для пожежонебезпечних речовин спеціального устаткування із посиленням захистом від пошкоджень.

3. Забезпечення безпечної евакуації людей та майна:

- вибір такого об'ємно-планувального та конструктивного виконання будівлі, щоб евакуація людей була завершена до настання гранично допустимих рівнів чинників пожежі;

- застосування будівельних конструкцій будівель та споруд відповідних ступенів вогнестійкості, щоб вони зберігали несучі та огорожувальні функції протягом всього часу евакуації;

- вибір відповідних засобів колективного та індивідуального захисту;

- застосування аварійного вимкнення устаткування та комунікацій;

- влаштування систем протидимового захисту, які запобігають задимленню шляхів евакуації;

- влаштування необхідних шляхів евакуації (коридорів, сходових кліток, зовнішніх пожежних драбин), раціональне їх розміщення та належне утримання.

4. Створення умов для успішного гасіння пожежі:

- встановлення у будівлях та приміщеннях установок пожежної автоматики;

- забезпечення приміщень нормованою кількістю первинних засобів пожежогасіння;

- влаштування та утримання в належному стані території підприємства, під'їздів до будівельних споруд, пожежних водоймищ, гідрантів.

4.4 Забезпечення пожежної безпеки промислового об'єкту

Під пожежною безпекою об'єкта розуміють такий його стан, за якого з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних чинників пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Забезпечення пожежної безпеки об'єкта досить складне і багатоаспектне завдання, тому до його вирішення необхідно підходити комплексно. Комплекс заходів та засобів щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта складається із

відповідних систем, кожна з яких підрозділяється на підсистеми, а ті, в свою чергу, на підсистеми нижчого рівня.

Основними системами комплексу заходів та засобів щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта є: система запобігання пожежі, система протипожежного захисту та система організаційно-технічних заходів. Оскільки дві перші системи достатньо об'ємні та потребують більш детального вивчення, то розглянемо їх окремими пунктами розділу. Всі заходи організаційно-технічного характеру на об'єкті можна підрозділити на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об'єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), застосування наочних засобів протипожежної пропаганди та агітації, проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об'єкта в цілому.

До технічних заходів належать: суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об'єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливого переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення.

Заходи режимного характеру передбачають заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях, недопущення появи сторонніх осіб у вибухонебезпечних приміщеннях чи об'єктах, регламентацію пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт.

Експлуатаційні заходи охоплюють своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства (електромереж, електроустановок, опалення, вентиляції).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Показана відомість споживачів електричної енергії механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
2. Здійснено розрахунок електричного навантаження механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Розрахункова повна потужність становить 476 кВА .
3. Проведено розрахунки освітлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
4. Здійснено вибір розподільчої електричної мережі механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів.
5. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу $УКРП0,4 - 200 - 20УЗ$ потужністю $Q_{кп.см} = 200 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів становить 367 кВАр .
6. Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів для живлення механічного цеху підприємства з виробництва будівельних матеріалів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.
7. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему.
8. Проведено розрахунок струмів КЗ;
9. Проведено розрахунок та вибір електромережі живлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стасів А.З. Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання промислового підприємства. / А.З. Стасів, С.І. Романюк, І.М. Сисак // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 11-12 грудня 2024. — Т : ТНТУ, 2024.
2. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. - Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с. ISBN 978-966-553-833-2
3. Сисак І.М. Конспект лекцій з дисципліни “Електропостачання промислових і муніципальних об’єктів” для студентів 5-го курсу денної та заочної форм навчання за ОП 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ.- 2024. - Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>
4. Сисак І.М. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електропостачання промислових і муніципальних об’єктів» для студентів 5-го курсу денної та заочної форм навчання за ОП 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, - 2024. - Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>
5. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об’єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
6. Р.Б. Волосинецький. Підвищення надійності та пропускної здатності трансформаторних підстанцій. /В.О. Купчик, Т.Т. Сердюк, Г.І. Головачук, Р.Б. Волосинецький, Л.Т. Мовчан, І.М. Сисак.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.

Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 7-8 грудня 2022. — Т : ТНТУ, 2022.

7. Н.В. Бабанін. Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. / Н.В. Бабанін, А.В. Гапонюк, О.М. Максимчук, І.М. Сисак// Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – С.89.

8. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).

9. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України,. - К., 2017.

10. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.

11. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.

12. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта ХХІ століття).

13. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с. ISBN 978-966-641-450-5

14. Т.І. Долішній. Шляхи підвищення надійності розподільчих електричних мереж / Т.І. Долішній, А.З. Стасів, С.М. Бабюк // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.

Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 11-12 грудня 2024. — Т : ТНТУ, 2024.

15. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

16. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

17. Гурик О.Я. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 4656): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2017. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

18. Verbytskyi, I., Prybudko, R., Zinchenko, D., & Matsyuk, M. (2018). Компенсатор реактивної потужності у перехідних режимах. Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 2(26 (1302)), 121-125.

19. Aleksander Kot, Wiesław Nowak, Waldemar Szpyra, Rafał Tarko. Efficiency improvement of reactive power compensation in power distribution networks. Przegląd elektrotechniczny. 2013. No 6. Pp. 190-195.

20. Шестеренко, В. Є., Сірий, О. М., Мащенко, О. А., & Балюта, С. М. (2008). Спосіб підключення конденсаторів індивідуальної компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна (патент на корисну модель 34943).

21. Осадца Я.М. Світлотехнічні установки та системи [електронний ресурс]: // Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 900): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2020. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.

22. Забезпечення надійності функціонування розподільчої мережі Тернопільського РЕМ / І. В. Мартиновський, С. І. Романюк, І. Р. Козак, Іван Михайлович Сисак, А. Я. Лещук // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. — Т. : ТНТУ, 2024. — С. 43–44. — (Вторинні перетворювачі і нормалізація параметрів електроенергії. інформаційно-керуючі і силові пристрої та системи. системи зовнішнього і внутрішнього освітлення).

ДОДАТКИ

Додаток А

Вибір електрообладнання КТП. Перевірка на стійкість до дії струмів КЗ

Електричне обладнання в умовах експлуатації, працює в трьох основних режимах:

- в тривалому режимі;
- в режимі перевантаження;
- в режимі КЗ.

В тривалому режимі надійна робота електричного обладнання забезпечується правильним вибором його по номінальному струму і напрузі, виходячи з умов:

$$I_p \leq I_{н.а.}; U_{н.м.} \leq U_{н.а.}$$

В режимі перевантаження надійна робота електричного обладнання забезпечується обмеженням величини та тривалості підвищення напруги або струму в таких межах, при яких гарантується нормальна робота електричних установок за рахунок запасу міцності.

В режимі КЗ надійна робота електричного обладнання забезпечується відповідністю вибраних параметрів пристроїв по умовам термічної та електродинамічної стійкості, відповідно до умов:

$$B_k \leq I_{н.т.у.}^2 \cdot t_{н.т.у.}$$

$$i_{н.дин} \geq i_{уд.р.}$$

Визначаємо розрахунковий струм підстанції:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

де S_p – розрахункова потужність підстанції, кВА;

$$S_p = 630 \text{ кВА}$$

U_n – напруга високої сторони трансформатора:

$$U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ A}$$

Визначаємо тепловий імпульс КЗ в точці К-2:

$$B_k = I_{n.o.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a),$$

де $I_{n.o.}$ – зверхперехідний струм КЗ:

$$I_{n.o.} = I_{кз2} = 14 \text{ кА}$$

$t_{відкл}$ – час протікання струму КЗ:

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

де t_3 – час спрацювання максимального струмового захисту:

$$t_3 = (0,5 \div 1) \text{ с};$$

приймаємо $t_3 = 1 \text{ с}$

$t_{o.в.}$ – час відключення масляного вимикача, що встановлений на підстанції підприємства;

$$t_{o.в.} = 0,11 \text{ с}.$$

T_a – стала часу затухання аперіодичної складової струму КЗ;

для мережі 10 кВ $T_a = 0,01 \text{ с}$, тоді:

$$B_k = 14^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 219,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Далі вибір і перевірку апаратів проводимо в табличній формі, дані заносимо в таблицю А.1.

Таблиця А.1 - Вибір і перевірка апаратів

Умови вибору	Розрахункові дані	Табличні дані		
		вимикач вакуумний ВВТЕ-10-20/630ХЛ2	Тр-р струму ТПК-10	Тр-р напруги НОЛ-08-10УТ2
1	2	3	4	5
1.вибір по напрузі: $U_{уст} \leq U_{н.а.}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
2.вибір по номінальному струму: $I_p \leq I_{н.а.}$	36,4 А	630 А	75 А	-
3.перевірка на динамічну стійкість: $i_{уд.р} \leq i_{пр.екв}$	35,6 кА	52 кА	52 кА	-
4.перевірка на термічну стійкість: $B_k \leq I_{н.т.}^2 \cdot t_{н.т.}$	219,52 кА ² · с	$20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² · с	$20^2 \cdot 1 = 400$ кА ² · с	-
5.вибір по відключаючій здатності: $I_{п.о.} \leq I_{н.відкл}$	14 кА	20 кА	-	-
6.тип приводу	-	ПЕ-11	-	-

Вакуумний вимикач типу ВВТЕ-10-20/630ХЛ2 задовольняє умови вибору та перевірки і може бути прийнятий до установки.

Здійснюємо перевірку по класу точності трансформатора струму типу ТПК-10. Робота трансформатора повинна забезпечуватись в класі точності 0,5.

Приводимо схему підключення обмоток приладів до вторинних обмоток трансформатора струму (рис. А.1):

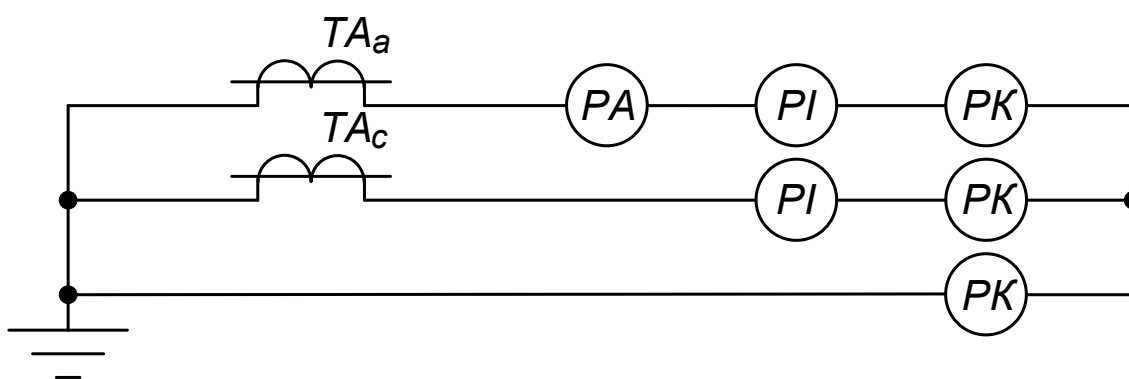


Рис. А.1 - Схема підключення обмоток приладів до вторинних обмоток трансформатора струму

Складаємо таблицю навантажень на вторинній обмотці трансформаторів струму (табл. А.2).

Подальший розрахунок проводиться по найбільш завантаженій фазі – фазі А.

Визначаємо загальний опір обмоток приладів:

$$R_{прил} = \frac{S_{прил}}{I_{2н}^2},$$

де $S_{прил}$ – сумарне навантаження фази А по таблиці 3.3, кВА;

$$S_{прил} = 5,5 \text{ кВА}$$

$I_{2н}$ – вторинний номінальний струм трансформатора струму, А;

$$I_{2н} = 5 \text{ А, тоді}$$

$$R_{прил} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}$$

Таблиця А.2 - Навантаження на вторинній обмотці трансформаторів струму

Назва приладу	Тип	Навантаження, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е-335	0,5	-	-
Лічильник активної енергії	I-680	2,5	-	2,5
Лічильник реактивної енергії	I-676	2,5	2,5	2,5
Всього		5,5	2,5	5,0

По технічним даним трансформатора його вторинне номінальне навантаження в класі точності 0,5 складає $S_{2н} = 10$ ВА, а розрахункове навантаження вторинної обмотки $S_p = 5,5$ ВА, для забезпечення роботи трансформатора струму в потрібному класі точності 0,5 повинна виконуватись умова:

$$S_{2н} \geq S_p$$

$$S_{2н} = 10 \text{ ВА} > S_p = 5,5 \text{ ВА} - \text{умова виконується.}$$

Визначаємо повний допустимий опір зовнішнього кола:

$$Z_{2н} = \frac{S_{2н}}{I_{2н}^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом}$$

Визначаємо допустимий опір з'єднувальних проводів:

$$R_{пров} = Z_{2н} - R_{прил} - R_k ,$$

де R_k – опір контактів, Ом; приймаємо $R_k = 0,1$ Ом, тоді

$$R_{пров} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом}$$

Визначаємо переріз з'єднувальних проводів:

$$S_{пров} = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пров}} ,$$

де ρ – питомий опір проводу; для алюмінію $\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

l_p – розрахункова довжина з'єднувальних проводів; при схемі “неповна зірка”

$$l_p = 1,5l ,$$

де l – довжина проводу, що з'єднує трансформатор струму і прилад; приймаємо $l = 4,5 \text{ м}$, тоді $l_p = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 \approx 7 \text{ м}$, отже:

$$S_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 7}{0,08} = 2,48 \text{ мм}^2$$

По умовам механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів у вторинному колі трансформатора струму повинен бути не менше $2,5 \text{ мм}^2$. На основі проведеного розрахунку приймаємо переріз алюмінієвих проводів $2,5 \text{ мм}^2$ і записуємо марку проводу АПВ – 4 ($1 \times 2,5$). Остаточню до встановлення приймаємо трансформатор струму типу ТПК-10.

В мережах напругою 10 кВ, необхідно здійснювати контроль за станом ізоляції. Для цієї мети встановлюються трансформатори напруги. Таким чином, на даній КТП-630 встановлюється два однофазних трансформатора напруги, що з'єднані в неповну зірку.

Відповідність класу точності перевіряється шляхом співставлення номінальної потужності вторинного кола з фактичним навантаженням від підключених приладів, виходячи з умови:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

Складаємо таблицю навантажень вторинних кіл трансформатора напруги (таблиця А.4).

Визначаємо номінальну потужність вторинного кола трансформатора напруги в класі точності 0,5, вона складає $S_{2н.а.} = 75 \text{ ВА}$

Відповідність класу точності перевіряємо виходячи з умови:

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

для двох трансформаторів: $2S_{2н.а.} \geq S_p$, тоді

$$2S_{2н.а.} = 2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА} > S_p = 16,39 \text{ ВА} \text{ – умова виконуються.}$$

Таблиця А.3 - Навантаження вторинних кіл трансформатора напруги

Назва приладу	Тип	Повна потужність приладу, ВА	Кількість приладів
Вольтметр	Е-377	4,7	1
Лічильник активної енергії	I-680	1,75	2
Лічильник реактивної енергії	I-676	1,73	3
Реле напруги	РЕВ-84	1,0	3
Всього		16,39 ВА	

Таким чином, до встановлення приймаємо два трансформатори напруги типу НОЛ-08-10УТ2.

Від струмів КЗ трансформатор захищається струмообмежуючим запобіжником типу ПКТ102-10-31,5УЗ виписуємо технічні дані запобіжника:

$$U_{н.а.} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{н.а.} = 40 \text{ А};$$

$$I_{н.відкл} = 31,5 \text{ кА}.$$

Перевіримо вибраний запобіжник по умовам:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.м.} - U_{н.а.} = 10 \text{ кВ} = U_{н.м} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{н.а.} \geq I_p - I_{н.а.} = 40 \text{ А} > I_p = 36,4 \text{ А}$$

$$I_{н.відкл} \geq I_{н.о.} - I_{н.відкл} = 31,5 \text{ кА} > I_{н.о.} = 14 \text{ кА}$$

Умови вибору виконуються.

Розрахунок та вибір мережі живлення

Згідно [9] переріз кабелів вибирається по:

- нагріву;
- економічній густині струму;
- перевіряється по втраті напруги.

Вибір перерізу кабелів напругою вище 1 кВ здійснюється по економічній густині струму:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}, \text{ де}$$

I_p – розрахунковий струм установки (підстанції);

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

де S_p – розрахункова потужність підстанції, кВА;

$$S_p = 630 \text{ кВА}$$

U_n – напруга високої сторони трансформатора:

$$U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А}$$

$j_{ек}$ – економічна густина струму; для кабелів з алюмінієвими жилами, $j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$, тоді:

$$S_{ек} = \frac{36,4}{1,4} = 26 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз кабелю 35 мм^2 , тривало-допустимий струм якого складає:

$$I_{дон} = 115 \text{ А}$$

Перевіряємо вибраний кабель по нагріву згідно умови:

$$I_{дон} \geq I_p ; I_{дон} = 115 \text{ А} > I_p = 36,4 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

Попередньо для вводу приймаємо кабель ААБ-10-3×35

Перевіряємо кабель на термічну стійкість:

- визначаємо тепловий імпульс КЗ

$$B_k = I_{n.o.}^2 \cdot (t_{відкл} + T_a),$$

де $I_{n.o.}$ – зверхперехідний струм КЗ в точці К-1;

$$I_{n.o.} = 18 \text{ кА (табл. 2.3)}$$

$t_{відкл}$ – час протікання струму КЗ

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

де t_3 – час спрацювання максимального струмового захисту; $t_3 = 0,5 \div 1 \text{ с}$;
приймаємо $t_3 = 1 \text{ с}$

$t_{o.в.}$ – час відключення масляного вимикача;

$$t_{o.в.} = 0,11 \text{ с}$$

T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, для мережі 10 кВ $T_a = 0,01 \text{ с}$, отже:

$$B_k = 18^2 \cdot [(1 + 0,11) + 0,01] = 363 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

- визначаємо мінімально допустимий переріз кабелю по умові нагріву струмом КЗ:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \geq S_{ек}, \text{ де}$$

C – термічний коефіцієнт; для кабелів з алюмінієвими жилами з паперовою ізоляцією на 10 кВ $C = 94 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$, тоді:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{363}}{94} \cdot 10^3 = 203 \text{ мм}^2$$

Вибираємо стандартний переріз кабелю, що складає 240 мм^2 :

$$S_{min.cm} = 240 \text{ мм}^2 > S_{ек.cm} = 35 \text{ мм}^2$$

Остаточного приймаємо кабель марки ААБ-10-3×240.

Додаток В

Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора

Відповідно до [9], для силових трансформаторів повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від таких видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

- багатofазних замикань в обмотках та на їх виводах;
- однофазних замикань на землю в обмотці та на виводах, що приєднанні до мережі з глухозаземленою нейтраллю;
- міжвиткових замикань в обмотках;
- струмів в обмотках, зумовлених зовнішніми КЗ;
- струмів в обмотках, зумовлених перевантаженнями;
- від зниження рівня масла.

Релейний захист від перерахованих пошкоджень передбачає дію на відключення і сигнал.

Вибираємо тип пристроїв релейного захисту силового трансформатора цехової ТП, що забезпечуватимуть:

- максимальну струмову відсічку без витримки часу;
- максимальний струмовий захист з витримкою часу;
- максимальний струмовий захист від перевантажень;
- захист від замикань на землю.

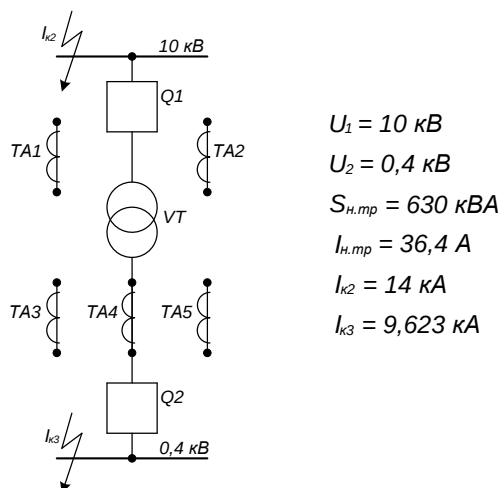


Рис. В.1 - Релейний захист силового трансформатора

Максимальна струмова відсічка без витримки часу

Визначасмо первинний струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з.} = k_n \cdot I_{к.мах} ,$$

де $I_{к.мах}$ – трьохфазний струм КЗ, що протікає через силовий трансформатор:

$$I_{к.мах} = I_{к2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = 14000 \cdot \frac{400}{10000} = 560 \text{ А}$$

k_n – коефіцієнт надійності; для реле РТ- 40 $k_n = 1,4$, отже:

$$I_{c.з.} = 1,4 \cdot 560 = 784 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх}}{k_{т.с.}} ,$$

де $k_{с.х.}$ – коефіцієнт схеми; трансформатори струму з'єднані в неповну зірку, тому,

$$k_{с.х.} = 1$$

$k_{m.c.}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ТПК-10:

$$k_{m.c.} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{75}{5} = 15, \text{ тоді}$$

$$I_{c.p.} = \frac{784 \cdot 1}{15} = 52,3 \text{ А} , \text{ отже,}$$

по розрахунковому струму спрацювання реле вибираємо реле струму РТ-40 з

$$I_{c.p.} = 100 \text{ А} - \text{РТ- 40/100}$$

- визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$k_u = \frac{I_{к.min}}{I_{c.з.}} \geq 2,$$

де $I_{к.min}$ – трьохфазний струм КЗ на низькій стороні трансформатора:

$$I_{к.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к3} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9623 = 8334 \text{ А, тоді}$$

$$k_u = \frac{8334}{784} = 10,6 > 2 - \text{умова виконується.}$$

Максимальний струмовий захист з витримкою часу

Визначаємо струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з.} = \frac{k_n \cdot k_{c.з.}}{k_{\pi}} \cdot I_p ,$$

де k_n – коефіцієнт надійності; $k_n = 1,1 \div 1,25$, приймаємо; $k_n = 1,2$

$k_{c.з.}$ – коефіцієнт самозапуску, що враховує струми навантаження при самозапуску електричних двигунів; $k_{c.з.} = 2 \div 3$, приймаємо $k_{c.з.} = 2,5$

k_{π} – коефіцієнт повернення; $k_{\pi} = 0,8 \div 0,85$, для реле типу РТ- 40 приймаємо, що $k_{\pi} = 0,82$

I_p – розрахунковий струм навантаження на високій стороні трансформатора;

$I_p = I_{н.тр} = 36,4$ А, тоді:

$$I_{c.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,82} \cdot 36,4 = 133,2 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх}}{k_{т.с.}} = \frac{133,2 \cdot 1}{15} = 9 \text{ А, отже,}$$

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/10 із $I_{c.p.} = 10$ А

- визначаємо коефіцієнт чутливості:

$$k_{\chi} = \frac{I_{к.min}}{I_{c.з.}} \geq 1,5$$

$$k_{\chi} = \frac{8334}{133,2} = 62,6 > 1,5 - \text{умова виконується.}$$

Вибираємо реле часу типу ЕВ-215 і вставку $t_{c.з.} = 0,5 \div 1$ с. Захист працює.

Максимальний струмовий захист від перевантажень

Визначаємо струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з.} = \frac{k_n}{k_{\pi}} \cdot I_{н.тр} ,$$

де k_n – коефіцієнт надійності;

$$k_n = 1,05$$

k_{π} – коефіцієнт повернення;

$k_n = 0,82$, тоді

$$I_{c.з.} = \frac{1,05}{0,82} \cdot 36,4 = 47 \text{ А}$$

- визначаємо струм спрацювання реле:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{сх}}{k_{т.с.}} = \frac{47 \cdot 1}{15} = 3 \text{ А}$$

вибираємо струмове реле типу РТ- 40/6 з $I_{c.p.} = 6 \text{ А}$.

Захист від перевантаження працює з витримкою часу 5 – 10 с, з дією на сигнал, через реле часу ЕВ-215.

Захист від замикань на землю

Захист від замикань на землю, ліній напругою 10 кВ, виконується з дією на сигнал.

Найбільш розповсюдженим захистом для селективного захисту лінії напругою 10 кВ, від однофазних замикань на землю є:

- захист нульової послідовності типу ЗЗП-1;
- захист виконаний на реле РТ-40/0,2;
- пристрій типу УСЗ-2/2; УСЗ-3М; УСЗ3-3.

Остаточно приймаємо захист виконаний на реле типу РТ- 40/0,2 при мінімальному коефіцієнті чутливості, для КЛ $k_q = 1,25$. Струм спрацювання захисту, виконаного на реле РТ40/0,2, з витримкою часу в декілька секунд, складає 8,6 А.

Вибираємо трансформатор струму ТЗЛМ-10, реле РТ-40/0,2 з вставкою на 0,1 А.

Додаток Д

Вибір елементів схеми РЗА

Таблиця Д.1 - Вибір елементів схеми релейного захисту і автоматики

Позначення	Найменування	Примітка
$KA1; KA2$	Реле струму РТ- 40/0,2У4; РТ- 40/6У4	
$KH1 \div KH6$	Реле вказівне РЕУ11-20-5-40У3	
$KT2; KT3$	Реле часу ЕВ-215	
$PA1 \div PA3$	Амперметр Е-335	
PV	Вольтметр Е-377	
$Q1$	Вимикач ВА55-41	
$X1; X2$	З'єднувач вимикача	
$R1; R2$	Резистор ПЕВ-50	1 кОм $\pm$ 5%
$SA1; SA4$	Перемикач ПЕ021УХЛ3	
$SF1$	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 16 $\times$ 3,5; 2П	
$SF2$	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 6,3 $\times$ 3,5; 2П	
$SF3$	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 6,3 $\times$ 3,5; 1П	
$SF4$	Вимикач АП506-2МТУ3.1, 2,5 $\times$ 3,5; 2П	
$T1$	Трансформатор ОСО-0,25-220/24У3	
$TA_a \div TA_c$	Трансформатори струму ТШЛ-0,66-0,5	
TAN	Трансформатор струму ТШН-0,66	
XS	Розетка РШ-2-0-00-6/220У3	
$XT; X1 \div X4$	Блок затискачів	