

(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

на здобуття освітнього ступеня

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

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

Стасіва Андрія Зіновійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання електромеханічного заводу

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)

Стасів А.З.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сисак І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Стасів А.З. Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання електромеханічного заводу. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ імені Івана Пулюя. ФПТ. Кафедра ЕІ, група ЕТм-62. – Тернопіль.: ТНТУ, 2024.

Стор. – 71; рис. – 14; табл. – 12; креслень - ; джерел - 23; додатків - 2.

Споживачі електричної енергії даного цеху, що проектується, віднесено до III категорії по надійності електропостачання. Враховуючи розміщення електричного обладнання в інструментальному цеху, вибрано магістральну схему із використанням розподільчих шинопроводів, які живляться від цехової ТП і з'єднані з нею кабелем, що прокладений в кабельному каналі. Наведена відомість споживачів електроенергії інструментального цеху. Проведемо розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Повна потужність становить 456 кВА. Проведено відповідні розрахунки та здійснено вибір розподільчої електричної мережі інструментального цеху. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу *УКРП0,4 – 160 – 20УЗ* потужністю $Q_{кп.ст} = 160 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності інструментального цеху становить 378 кВАр. Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему. Проведено розрахунок та вибір електромережі живлення.

Ключові слова: втрати, електрична енергія, система електропостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Оптимізація схеми електропостачання.....	9
1.2 Управління навантаженням і споживанням енергії.....	12
1.3 Постановка задач.....	14
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	15
2.1 Визначення категорійності згідно надійності електропостачання та характеристика споживачів інструментального цеху електромеханічного заводу.....	15
2.2. Визначення роду струм, вибір схеми електропостачання та вибір напруги живлення.....	18
2.3 Відомість споживачів електричної енергії інструментального цеху..	20
2.4 Розрахунок електричних навантажень.....	22
2.5 Розрахунок та вибір розподільчої електричної мережі.....	29
2.6 Розрахунок потужності та вибір КП.....	33
2.7 Вибір числа та потужності силових трансформаторів електромеханічного заводу.....	36
2.8 Розробка конструкції КТП.....	40
2.9 Висновки до розділу.....	41
3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	42
3.1 Розрахунок струмів КЗ.....	42
3.2 Вибір електрообладнання КТП. Перевірка на стійкість до дії струмів КЗ.....	48
3.3 Проведення розрахунку та вибору мережі живлення.....	52
3.4 Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора.....	53
3.4.1 Максимальна струмова відсічка без витримки часу.....	54
3.4.2 Максимальний струмовий захист з витримкою часу.....	55

3.4.3 Максимальний струмовий захист від перевантажень.....	55
3.4.4 Захист від замикань на землю.....	56
3.5 Розробка схеми керування захисту, сигналізації і автоматики.....	56
3.6 Вибір елементів схеми РЗА.....	57
3.7 Висновки до розділу.....	57
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	58
4.1 Заходи щодо техніки безпеки при монтажі електроустаткування цеху.....	58
4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві і на робочому місці.....	62
4.3 Причини електротравматизму.....	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	68
ДОДАТКИ.....	1
Додаток А. Порівняльний розрахунок трансформаторів ТМ-400 і ТМ- 630.....	2
Додаток Б. Склад КТП.....	5

ВСТУП

Актуальність теми. Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання є важливим завданням для забезпечення ефективності та економічності енергетичних систем. Втрати електричної енергії можуть бути значними в електричних мережах і їх зменшення сприяє зниженню витрат на енергію, покращенню екологічної ситуації та забезпеченню більш стабільної роботи енергетичних систем.

До методів зниження втрат електричної енергії можна віднести: зменшення втрат у лініях електропередач; оптимізацію режимів роботи трансформаторів; модернізацію системи управління; використання відновлювальних джерел енергії; зниження втрат в установках споживачів; ремонт і технічне обслуговування; моделювання та аналіз даних. Розглянемо більш детально деякі із методів.

Отже, зменшення втрат у лініях електропередач можна досягти за рахунок збільшення напруги в електричних мережах, що знижує втрати на опір проводів. Це особливо ефективно на великих відстанях. Також сюди можна віднести використання проводів більшого діаметру, що дозволяє зменшити втрати на опір у лініях. Такий підхід є дорогавартісним і тому не завжди є доступним. Застосування сучасних кабелів з покращеними характеристиками дозволяє знижувати втрати енергії. Такий підхід є більш доцільним.

Зниження втрат в установках споживачів досягається використанням енергоефективних електричних приладів (наприклад, LED-освітлення, високоефективних електродвигунів), які споживають менше електроенергії і, відповідно, зменшують навантаження на мережу. Також сюди потрібно віднести використання систем для моніторингу та оптимізації споживання енергії в промислових і комерційних об'єктах, що дають змогу знизити пікові навантаження.

Регулярний огляд і обслуговування електричних мереж та обладнання дозволяє своєчасно виявляти дефекти, які можуть призвести до додаткових

втрат. Використання сучасних матеріалів та технологій дозволяє знижувати втрати, які виникають через старіння мереж та устаткування.

Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання вимагає комплексного підходу, що включає модернізацію мереж, трансформаторів, застосування новітніх технологій та матеріалів, а також постійний моніторинг і управління енергетичними потоками. Впровадження цих заходів дозволить значно знизити витрати енергії, поліпшити ефективність роботи енергетичних систем і зменшити їх вплив на навколишнє середовище.

Тому, задача зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання електромеханічного заводу є актуальною [1].

Мета і завдання роботи Метою кваліфікаційної роботи магістра є зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання електромеханічного заводу.

Завдання:

1. Визначити категорійність згідно надійності електропостачання та провести характеристика споживачів інструментального цеху електромеханічного заводу
2. Визначити рід струму, провести вибір схеми електропостачання та вибір напруги живлення
3. Навести відомість споживачів електроенергії інструментального цеху.
4. Провести розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму.
5. Провести відповідні розрахунки та здійснити вибір розподільчої електричної мережі інструментального цеху.
6. Здійснити розрахунок потужності КП, провести його вибір.
7. Розглянути два варіанти при виборі силових трансформаторів.
8. Розробити конструкцію КТП, представити відповідну схему.
9. Провести розрахунок струмів КЗ;
10. 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 для підвищення надійності роботи електроустаткування.

Практичне значення отриманих результатів. Практичним значенням отриманих результатів є проведене технічне переоснащення електричного обладнання інструментального цеху електромеханічного заводу та силового трансформатора підприємства, що дозволить знизити втрати електричної енергії.

Апробація результатів. Результати Стасіва Андрія Зіновійовича за темою кваліфікаційної роботи «Зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання електромеханічного заводу» 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 (23 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 71 сторінок, 12 таблиць, 14 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Основні шляхи зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання [1, 2]:

- Оптимізація схеми електропостачання;
- Вибір енергоефективних споживачів;
- Управління навантаженням і споживанням енергії;
- Покращення якості електричної енергії (ЯЕЕ);
- Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ);
- Планування технічного обслуговування та модернізація обладнання [20];
- Навчання персоналу.

Схематично дані шляхи зниження втрат електричної енергії і їх подальші взаємозв'язки можна представити у вигляді рисунку 1.1.

Розглянемо детальніше деякі з вищезгаданих шляхи зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання.

1.1 Оптимізація схеми електропостачання.

Для початку потрібно відмітити оптимізацію схеми електропостачання.

До даного шляху зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання потрібно віднести:

- Модернізацію трансформаторних підстанцій;
- Удосконалення розподільних мереж;
- Установку автоматичних комутаційних пристроїв.

Використання трансформаторів з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) та знижена їхня навантаженість дозволяє зменшити втрати на трансформацію. При цьому, потрібно відмітити, що коефіцієнт завантаження трансформатора не може бути надто малим (рівним орієнтовно 0,4 або навіть меншим) і також не може бути надто великим (рівним 1 та вище) протягом

тривалого часу [3-5]. При малому завантаженні силового трансформатора протягом тривалого часу зростають втрати холостого ходу, що є небажаним. Також протягом тривалого часу працювати у перевантаженому режимі не є корисним для силового трансформатора. Тому, коефіцієнт завантаження трансформатора у нормальному режимі роботи має коливатися від 0,6 до 0,8 [3]. Таке значення є оптимальним для нормальної роботи силового трансформатора.

Визначення коефіцієнта завантаження силового трансформатора у нормальному режимі проводять за формулою [3-7]:

$$K_{зав.ном} = \frac{S_p}{n \cdot S_{тр}},$$

де S_p - повна потужність навантаження;

n - кількість трансформаторів;

$S_{тр}$ - повна потужність силового трансформатора.

Визначення коефіцієнта завантаження силового трансформатора у аварійному режимі проводять за формулою [3-7]:

$$K_{зав.ном} = \frac{S_p}{1,4 \cdot S_{тр}},$$

де 1,4 - коефіцієнт, який враховує перевантаження одного силового трансформатора на 40%.

Оптимізація конфігурації кабельних та повітряних ліній для зменшення протяжності кабелів і, відповідно, зниження втрат енергії в лініях електропередачі також є важливою. Зменшення протяжності кабелів на території промислового підприємства можна досягти за рахунок правильного розташування центру електричних навантажень. Тобто простішими словами на території промислових підприємств не повинно бути довгих ліній. Для правильно розрахунку центру електричних навантажень в електропостачанні запропоновано декілька методів його визначення, наведених у [2-5].



Рисунок 1.1 - Основні шляхи зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання

Для визначення центру електричних навантажень доцільно скористатися наступними формулами [2-5]:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Для покращення управління електричною мережею та швидкого реагування на нештатні ситуації, що допомагає знизити втрати енергії пропонується установка автоматичних комутаційних пристроїв, а простішими словами – автоматичних вимикачів.

1.2 Управління навантаженням і споживанням енергії

До даного шляху зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання потрібно віднести:

- Впровадження систем автоматизованого управління (SCADA);
- Застосування технології активної КРП.

Перший пункт доцільно використовувати для моніторингу й оптимізації споживання енергії в реальному часі.

Другий пункт дозволяє зменшити втрати енергії, пов'язані з індуктивними навантаженнями в системі.

Для прикладу розглянемо графічну модель лабораторного стенду дослідження компенсації реактивної потужності (КРП) при підключеному навантаженні [8], зображену на рис. 1.2.

З рис. 1.2 видно, що після підключення навантаження (вимикач В-0,4 - зелений), система підбирає необхідну комбінацію із конденсаторів для забезпечення КРП. В даному випадку підключені перший, другий та четвертий конденсатори: 1 кВАр, 1 кВАр та 2,5 кВАр відповідно. Для зручності, ключі,

через які підключаються дані конденсатори, вони є замкненими, представлені зеленим кольором [8].

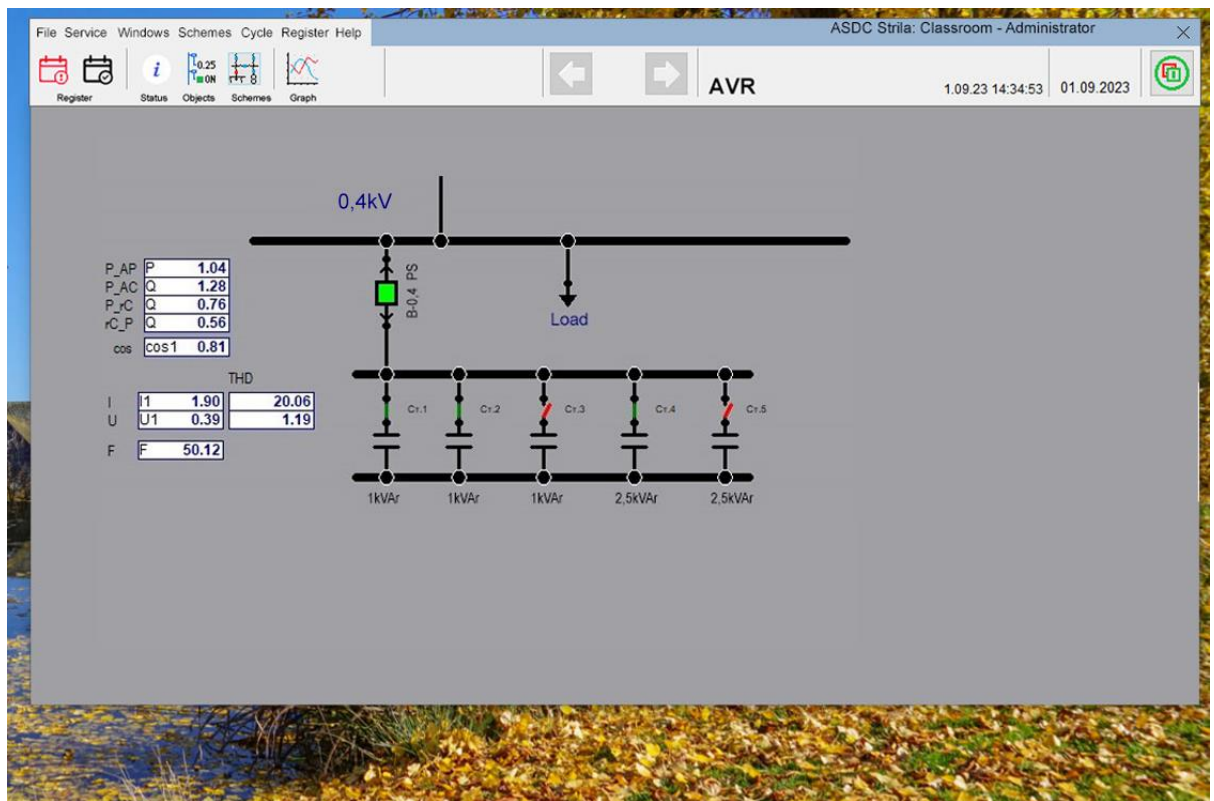


Рисунок 1.2 - Графічна модель лабораторного стану дослідження КРП при підключеному навантаженні.

На панелі приладів можна побачити, що активна потужність становить $P=1,04$ кВт, реактивна потужність $Q=0,76$ кВАр. Звідси, за відомою формулою [9]:

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{1,04}{\sqrt{1,04^2 + 0,76^2}} = 0,81.$$

На панелі приладів коефіцієнт потужності також рівний 0,81.

Більш детальніше із лабораторним станом дослідження КРП можна ознайомитися в [8].

1.3 Постановка задач

1. Визначити категорійність згідно надійності електропостачання та провести характеристика споживачів інструментального цеху електромеханічного заводу
2. Визначити рід струму, провести вибір схеми електропостачання та вибір напруги живлення
3. Навести відомість споживачів електроенергії інструментального цеху.
4. Провести розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму.
5. Провести відповідні розрахунки та здійснити вибір розподільчої електричної мережі інструментального цеху.
6. Здійснити розрахунок потужності КП, провести його вибір.
7. Розглянути два варіанти при виборі силових трансформаторів.
8. Розробити конструкцію КТП, представити відповідну схему.
9. Провести розрахунок струмів КЗ;
10. Провести розрахунок та вибір електромережі живлення.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення категорійності згідно надійності електропостачання та характеристика споживачів інструментального цеху електромеханічного заводу

Згідно з [10-15, 17-18] всі електроспоживачі промислового підприємства по надійності електропостачання можна поділити на III категорії. Розглянемо усі III категорії, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика споживачів електроенергії заводу

Категорія по надійності електропостачання	Перерва в постачанні допускається	Дана категорія характеризується наявністю	Прикладом такої категорії є	Перерва в постачанні може привести до
<i>I</i> категорія особлива	не допускається	додатково передбачають автономні джерела живлення	лікарні	небезпеки для життя людей, пошкодження обладнання, збитків,
<i>I</i> категорія	на час спрацювання <i>ABP</i>	двох взаємно резервованих джерел живлення	установки хімічної промисловості, обладнання металургійного виробництва, сталеплавильні печі	вибухів, пожеж

I особлива категорія електропостачання

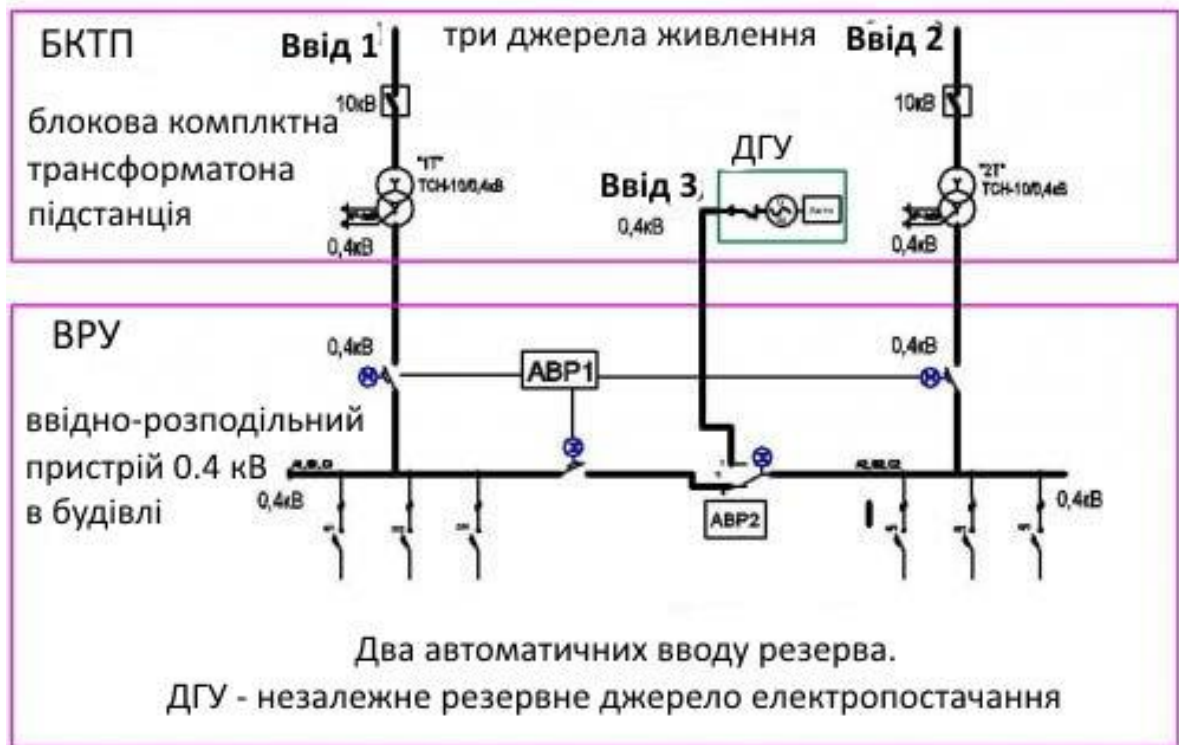


Рисунок 2.2 –I особлива категорія.

II категорія електропостачання

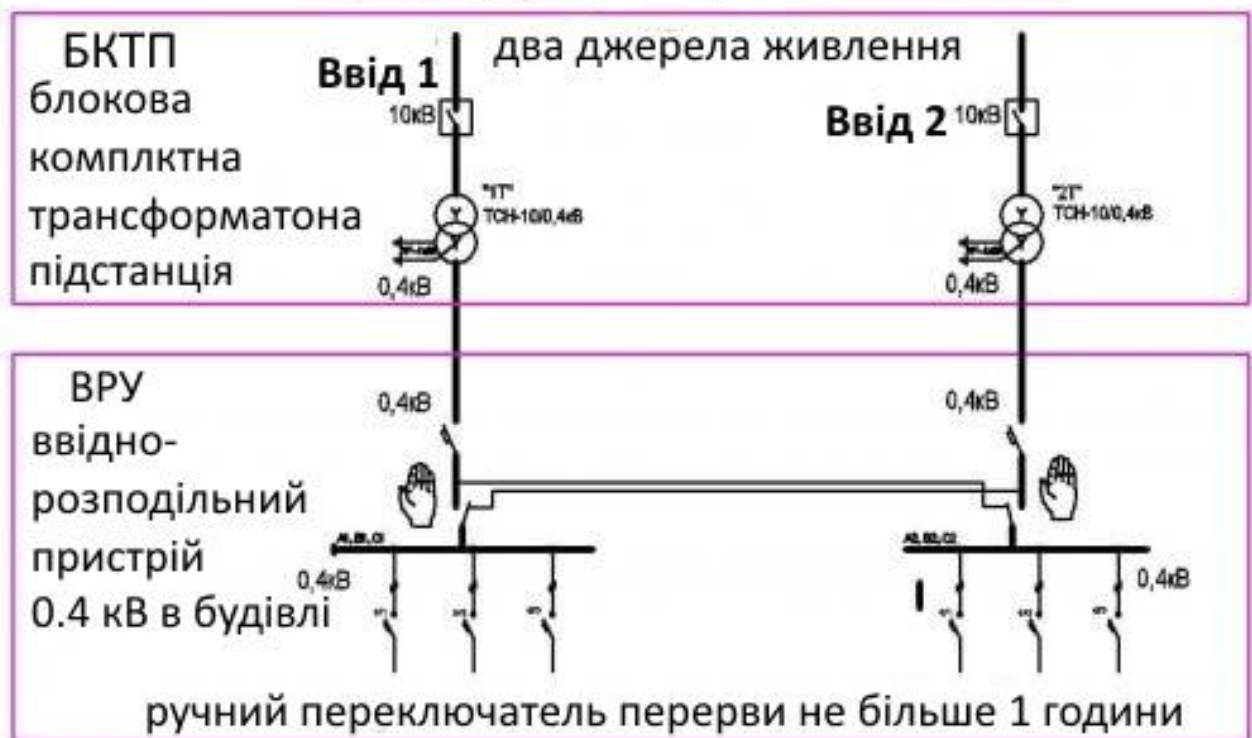


Рисунок 2.3 –II категорія.

III категорія електропостачання

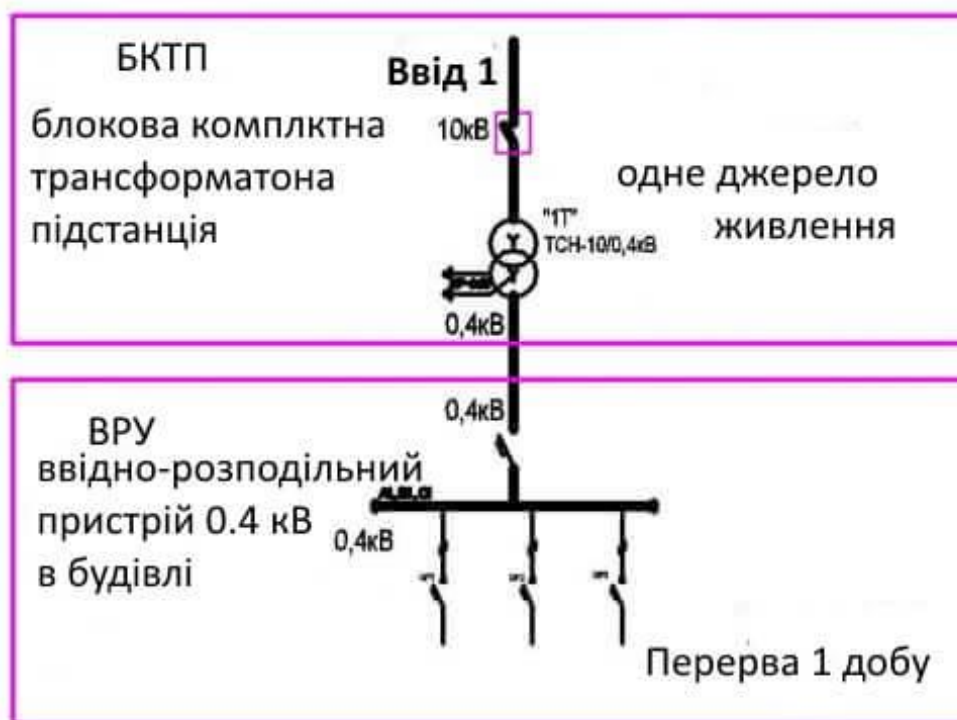


Рисунок 2.4 – III категорія.

Основними споживачами інструментального цеху електромеханічного заводу є металообробні верстати. Потрібно відмітити, що основні технологічні процеси в даному цеху не виконуються.

Тому, споживачі електричної енергії даного цеху, що проектується, відносимо до III категорії.

2.2. Визначення роду струм, вибір схеми електропостачання та вибір напруги живлення.

Всі споживачі електроенергії даного інструментального цеху працюють на напрузі 380/220 В трьохфазного змінного струму, частотою 50 Гц.

Розглянемо різні варіанти схем електропостачання даного інструментального цеху.

На рисунку 2.5-2.7 представлено приклад радіальної, магістральної та кільцевої схеми електропостачання [11-12].

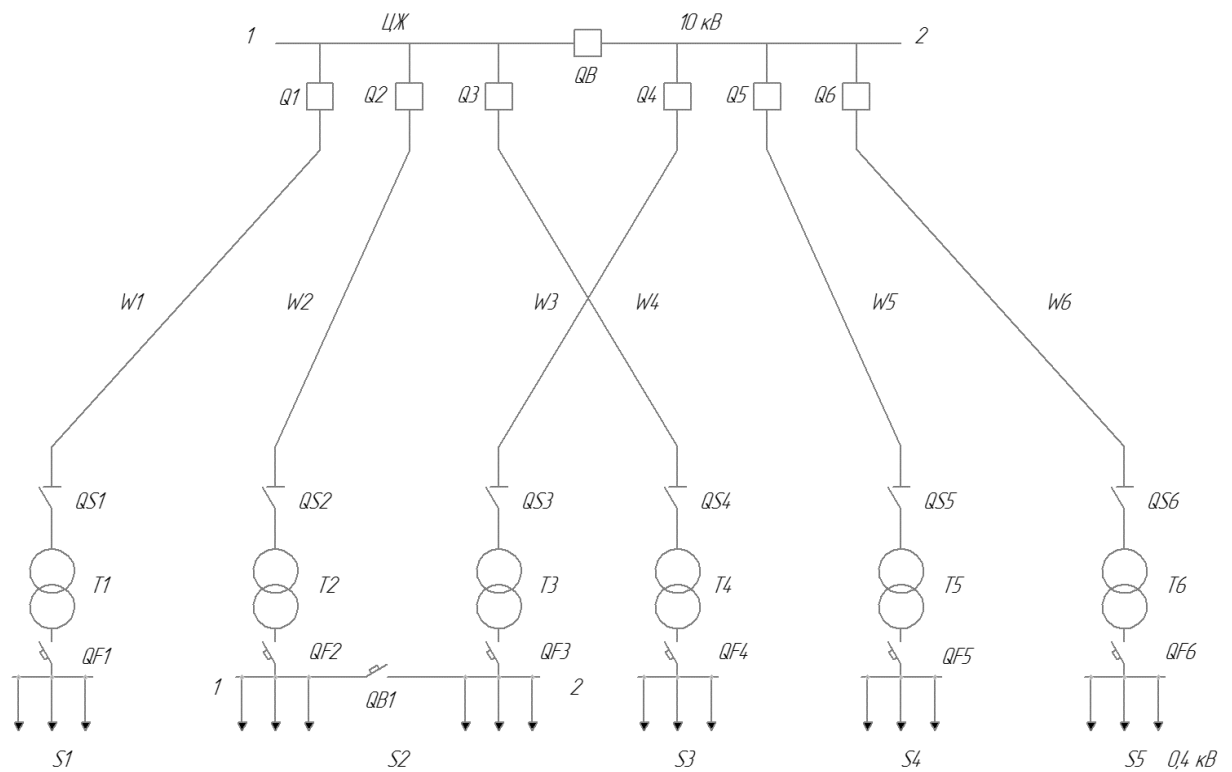


Рисунок 2.5 – Однолінійна схема радіальної розподільчої мережі

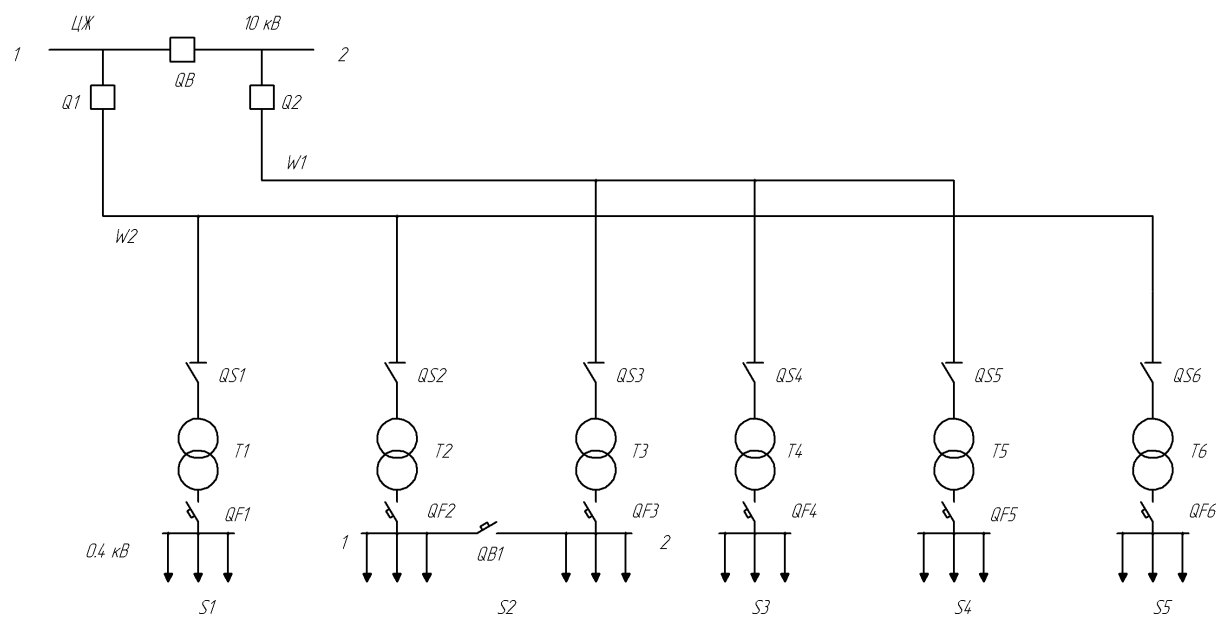


Рисунок 2.6 – Однолінійна схема магістральної розподільчої мережі

Широкого застосування набула схема комбінованого типу, тобто поєднання радіальної і магістральної схеми.

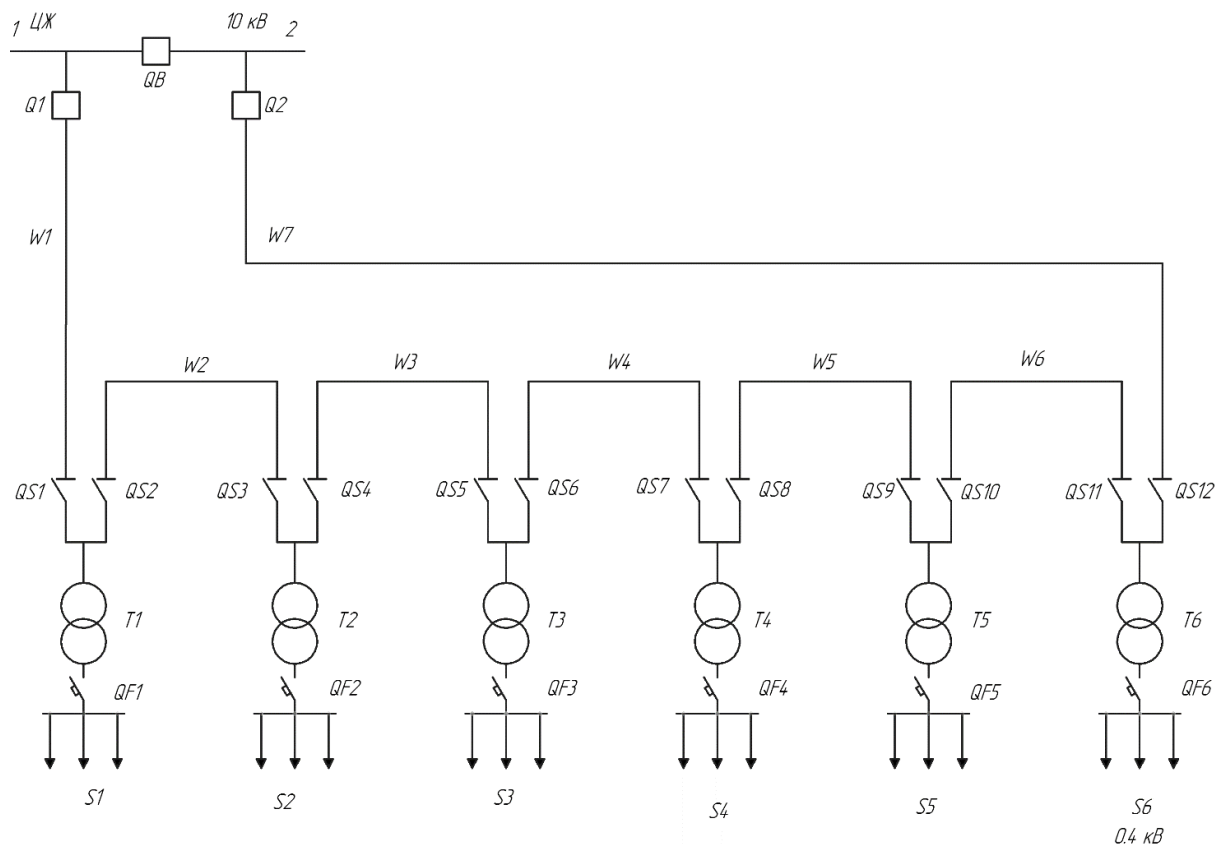


Рисунок 2.7 – Однолінійна схема петлевої (кільцевої) розподільчої мережі

Враховуючи розміщення електричного обладнання в інструментальному цеху, вибрано магістральну схему із використанням розподільчих шинопроводів, які живляться від цехової ТП і з'єднані з нею кабелем, що прокладений в кабельному каналі.

2.3 Відомість споживачів електричної енергії інструментального цеху

Розділимо споживачів електричної енергії на окремі групи. Це потрібно для складання відомості споживачів електричної енергії інструментального цеху. Групування відбувається по коефіцієнту використання та коефіцієнту потужності.

В графічній частині кваліфікаційної роботи магістра представлено план об'єкту з розміщенням споживачів електроенергії і схеми електропостачання.

Усі дані представимо у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Відомість споживачів електричної енергії інструментального цеху.

Назва приймача електричної енергії, номер джерела живлення	n , шт.	P_n , кВт	k_ϵ	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$
ШП-1				
Фрезерні верстати	4	1,5 ÷ 7,5	0,13	0,45/1,98
Вертикально-свердлильний верстат	1	4	0,12	0,4/2,29
Токарний автомат	1	13	0,14	0,5/1,73
Преси	7	3 ÷ 28,5	0,135	0,5/1,73
Кран-балка	1	2,5	0,2	0,7/1,02
ШП-2				
Фрезерні верстати	3	5 ÷ 13	0,13	0,45/1,98
Різьбонарізні і токарно-револьверні верстати	4	5,5 ÷ 10	0,125	0,4/2,29
Шліфувальний верстат і преси	7	4 ÷ 28,5	0,14	0,5/1,73
Зварювальні трансформатори	2	7,5	0,3	0,6/1,33
Вентилятор	1	40	0,8	0,8/0,75
ШП-3				
Фрезерні і повздовжньо-строгальний верстати	3	2,5 ÷ 10	0,12	0,4/2,29
Радіально-свердлильні і плоскошліфувальний верстати	3	7,5 ÷ 10	0,13	0,45/1,98
Кран-балка	1	2,5	0,2	0,7/1,02
Токарно-гвинторізний верстат	1	8	0,14	0,5/1,73

Продовження таблиці 2.2

ШП-4				
Фрезерні та заточувальний	7	0,75 ÷ 13	0,13	0,45/1,98
верстати	5	7,5 ÷ 10	0,14	0,5/1,73
Токарно-гвинторізні верстати				
Різьбонарізний, настольно-				
свердлильний і	4	0,65 ÷ 7,5	0,125	0,4/2,29
круглошліфувальні верстати				
Універсально-фрезерний,				
координатно-розточувальний і	4	4 ÷ 6,5	0,12	0,4/2,29
токарно-револьверні верстати				

2.4 Розрахунок електричних навантажень

Проведемо розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Для цього використаємо дані із таблиці 2.2.

Проводимо розрахунок **ШП-1** “фрезерні верстати”:

- загальна кількість становить: $n = 4$ шт;
- мінімальна та максимальна потужності:

$$P_{н.мин} = 1,5 \text{ кВт};$$

$$P_{н.мах} = 7,5 \text{ кВт}.$$

- знаходимо сумарну номінальну потужність за формулою:

$$\Sigma P_{н} = \Sigma P_{н.мин} + \Sigma P_{н.мах},$$

де

$$\Sigma P_{н.мин} = n \cdot P_{н.мин} = 4 \cdot 1,5 = 6 \text{ кВт};$$

$$\Sigma P_{н.мах} = n \cdot P_{н.мах} = 4 \cdot 7,5 = 30 \text{ кВт},$$

тоді

$$\Sigma P_{н} = 6 + 30 = 36 \text{ кВт}.$$

- знаходимо модуль силового пункту живлення за формулою:

$$m = \frac{P_{H.max}}{P_{H.min}} = \frac{7,5}{1,5} = 5 > 3$$

- знаходимо середню за зміну потужність - активну і реактивну:

- активна знаходиться за формулою:

$$P_c = \Sigma P_n \cdot k_g,$$

k_g – коефіцієнт використання [4];

$$k_g = 0,13,$$

тоді

$$P_c = 9 \cdot 0,13 = 1,17 \text{ кВт};$$

- реактивна знаходиться за формулою:

$$Q_c = tg \cdot P_c,$$

$tg \varphi$ – тангенс кута зсуву фаз з [4];

$$tg \varphi = 1,98;$$

$$Q_c = 1,98 \cdot 1,17 = 2,32 \text{ кВАр}.$$

Проводимо розрахунки для інших споживачів аналогічно. Отримані результати представляємо у таблиці 2.3.

- знаходимо групові коефіцієнти використання та потужності:

$$k_{g,гp} = \frac{\Sigma P_c}{\Sigma P_n},$$

ΣP_c – сумарна активна потужність, середня за зміну, кВт (дані з табл. 2.3);

$$\Sigma P_c = 19,8 \text{ кВт}.$$

ΣP_n – сумарна номінальна потужність для ШП1, кВт (табл. 2.3);

$$\Sigma P_n = 145,5 \text{ кВт},$$

тоді

$$k_{g,гp} = \frac{19,8}{145,5} = 0,136$$

визначаємо груповий коефіцієнт потужності згідно формули:

$$tg \varphi_{гp} = \frac{\Sigma Q_c}{\Sigma P_c},$$

ΣQ_c – сумарна реактивна потужність, середня за зміну, кВАр, (дані з таблиці 2.3)

$$\Sigma Q_c = 34,4 \text{ кВАр},$$

тоді

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{34,4}{19,8} = 1,74$$

отже,

$$\cos \varphi_{cp} = \operatorname{arctg} \varphi_{cp} = 0,499$$

- знаходимо ефективне число приймачів електричної енергії за формулою:

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot \Sigma P_n}{P_{n.max}},$$

$P_{n.max}$ – максимальна номінальна потужність електроспоживачів, кВт, (згідно даних табл. 2.3);

$$P_{n.max} = 28,5 \text{ кВт},$$

тоді

$$n_{ef} = \frac{2 \cdot 145,5}{28,5} = 10 \text{ шт.}$$

оскільки $n_{ef} < n$, то приймаємо, що $n_{ef} = 10 \text{ шт} \neq n = 14 \text{ шт.}$

- згідно [4] знаходимо коефіцієнт максимуму, враховуючи:

$$k_{в.ср} = 0,136, \text{ та } n_{ef} = 10 \text{ шт},$$

отже,

$$k_m = 2,25$$

- знаходимо розрахункові потужності – активну та реактивну:

- активна потужність:

$$P_p = k_m \cdot \Sigma P_c = 2,25 \cdot 19,8 = 44,55 \text{ кВт};$$

- реактивна потужність:

$$Q_p = \Sigma Q_c, \text{ при } n_{ef} \geq 10,$$

отже,

$$Q_p = \Sigma Q_c = 34,4 \text{ кВАр};$$

- відповідно повна потужність становить:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{44,55^2 + 34,4^2} = 56 \text{ кВА}.$$

Проводимо аналогічні розрахунки для інших груп. Отримані дані представимо у таблицю 2.3.

- знаходимо номінальне активне навантаження освітлення цеху за наступною формулою:

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

$$k = 1,1;$$

$$p_{н.о.} = 12 \text{ Вт} / \text{м}^2;$$

S – площа освітлювального приміщення, м^2 ;

$$S = A \cdot B,$$

де

A – довжина цеху, м;

$$A = 55 \text{ м}$$

B – ширина цеху, м;

$$B = 30 \text{ м}$$

$$S = 55 \cdot 30 = 1650 \text{ м}^2,$$

тоді

$$P_{уст.о} = 1,1 \cdot 12 \cdot 1650 \cdot 10^{-3} = 21,78 \text{ кВт}.$$

- знаходимо розрахункове навантаження загального освітлення – активне та реактивне:

- активне розрахункове навантаження:

$$P_{р.о.} = k_n \cdot P_{уст.о},$$

k_n – коефіцієнт попиту загального освітлення (приймається $k_n = 0,95$),

тоді:

$$P_{р.о.} = 0,95 \cdot 21,78 = 20,7 \text{ кВт};$$

- реактивне розрахункове навантаження:

$$Q_{р.о.} = \operatorname{tg} \varphi_o \cdot P_{р.о.},$$

де

$\operatorname{tg} \varphi_o$ – знаходиться з $\cos \varphi_o = 0,95$ згідно [4];

$$\operatorname{tg} \varphi_o = 0,33,$$

тоді

$$Q_{p.o.} = 0,33 \cdot 20,7 = 6,83 \text{ кВАр};$$

- повне навантаження знаходиться за формулою:

$$S_{p.o.} = \sqrt{P_{p.o.}^2 + Q_{p.o.}^2} = \sqrt{20,7^2 + 6,83^2} = 21,8 \text{ кВА}.$$

Результати здійсненого розрахунку представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані розрахунку

Силовий пункт живлення; найменування електроприймачів	n_{Σ} шт.	потужність		m	k_e	$\cos \varphi / \lg \varphi$	ср. потужність		k_{Σ}	розрах. потужність			
		одного, кВт	ΣP_{Σ} , кВт				P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , кВАр		P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , кВАр	S_{Σ} , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III-1													
Фрезерні в-ти	4	1,5÷7,5	9		0,13	0,45/1,98	1,17	2,32					
Вертикально-свердильний в-т	1	4	4		0,12	0,4/2,29	0,48	1,1					
Токарний автомат	1	13	13		0,14	0,5/1,73	1,82	3,15					
Преси	7	3÷28,5	117		0,135	0,5/1,73	15,8	27,3					
Кран-балка	1	2,5	2,5		0,2	0,7/1,02	0,5	0,51					
Всього по III-1	14	1,5÷28,5	145,5	>3	0,136	0,499/1,74	19,8	34,4	10	2,25	44,55	34,4	56
III-2													
Фрезерні верстати	3	5÷13	31		0,13	0,45/1,98	4,03	8					
Різьбонарізні і токарно-револьверні в-ти	4	5,5÷10	15,5		0,125	0,4/2,29	1,94	4,44					
Шліфувальний в-т і преси	7	4÷28,5	36,5		0,14	0,5/1,73	5,11	8,84					
Зварювальні трансформатори	2	7,5	15		0,3	0,6/1,33	4,5	6					
Вентилятор	1	40	40		0,8	0,8/0,75	32	24					
Всього по III-2	17	4÷40	138	>3	0,3	0,68/1,08	47,58	51,28	7	1,8	85,6	56,41	102,5
III-3													
Фрезерні і повздовжньо-слюговальні в-ти	3	2,5÷10	12,5		0,12	0,4/2,29	1,5	3,44					
Радіально-свердильні і плоскошліфувальні в-ти	3	7,5÷10	17,5		0,13	0,45/1,98	2,275	4,5					
Кран-балка	1	2,5	2,5		0,2	0,7/1,02	0,5	0,51					
Токарно-гвинторізний в-т	1	8	8		0,14	0,5/1,73	1,12	1,94					
Всього по III-3	8	2,5÷10	40,5	>3	0,13	0,46/1,92	5,4	10,39	8	2,5	13,5	11,43	17,7
III-4													
Фрезерні та заточувальні в-ти	7	0,75÷13	13,75		0,13	0,45/1,98	1,8	3,6					
Токарно-гвинторізні в-ти	5	7,5÷10	47,5		0,14	0,5/1,73	6,65	11,5					
Різьбонарізний, настольно-свердильний і круглошліфувальні в-ти	4	0,65÷7,5	8,15		0,125	0,4/2,29	1	2,29					
Універсально-фрезерний, координатно-розточувальний і токарно-револьверні в-ти	4	4÷6,5	10,5		0,12	0,4/2,29	1,26	2,89					

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Всього по ШП-4	20	0,65÷13	80	>3	0,13	0,47/1,89	10,71	20,28	12	2,1	22,5	20,28	30,3
Силове навантаження	59	0,65÷40	404	>3	0,2	0,58/1,4	83,5	116,4	20	1,5	125,3	116,4	171
Освітлення					0,95	0,95/0,33					20,7	6,83	21,8
Всього по цеху											146	123,2	191
Потужність сусідніх цехів											212	159	265
Разом						0,78/0,79					358	282	456
Потужність КП											-	-160	-
Потужність ТП						0,95/0,34					358	122	378

2.5 Розрахунок та вибір розподільчої електричної мережі.

Споживачі електроенергії з'єднуються з мережею через внутрішньо-цехові підстанції та розподільчі шинопроводи та РП за допомогою захисних та пускових апаратів.

Прокладення внутрішньо-цехової мережі здійснюється ізольованими кабелями та проводами. Кабелі, що живлять шинопроводи та РП, прокладаються в кабельних каналах.

Проведемо розрахунок перерізу кабелю, який прокладений від трансформаторної підстанції до *ШП-1*:

Знаходимо розрахунковий струм за формулою:

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

S_p – повна розрахункова потужність електроспоживачів, які живляться від *ШП-1* (таблиця 2.2), *кВА*;

$$S_p = 56 \text{ кВА}$$

U_n – номінальна напруга електроспоживачів, *кВ*;

$$U_n = 0,4 \text{ кВ},$$

відповідно:

$$I_p = \frac{56}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 81 \text{ А}.$$

Проводимо вибір автоматичного вимикача серії *УкрЕМ ВА* [4] при умовах:

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

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 150 \text{ А} > I_p = 81 \text{ А};$$

$$I_{н.р} \geq 1,25I_p; 1,25I_p = 1,25 \cdot 81 = 101,25 \text{ А}; I_{н.р} = 125 \text{ А} > 1,25I_p = 101,25 \text{ А}.$$

Відповідно умови вибору виконуються.

Кінцево вибираємо автоматичний вимикач типу *ВА-2004/250*.

Згідно розрахункового струму знаходимо переріз кабелю, [10]:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K,$$

K – поправочний коефіцієнт.

Відповідно для чотирьохжильних кабелів даний коефіцієнт становить:

$$K = 0,92.$$

$I_{\text{доп}}$ – допустимий струм навантаження, A ;

$$I_{\text{доп}} = 140 A,$$

для кабелю із перерізом $S_{\text{см}} = 35 \text{ мм}^2$,

відповідно:

$$81 A < I_{\text{доп}} \cdot K = 140 \cdot 0,92 = 128,8 A,$$

отже умова виконується.

Відповідно приймаємо кабель марки: $ABBG1 - 4 \times 35$. Вибраний вимикач потрібно перевірити. Перевірку здійснюють на відповідність струмопровідним частинам:

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

$$I_{\text{доп}} = 140 A > I_{\text{н.р}} = 125 A,$$

Отже, умова виконується.

Проводимо аналогічні розрахунки для інших $ШП$. Результати представимо у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків $ШП$.

звідки	куди	I_p , А	$I_{\text{н.а}}$, А	$I_{\text{н.р}}$, А	Тип автоматичного вимикача	Тип та переріз кабеля	$I_{\text{доп}}$, А	l , м	ΔU , %
ТП	ШП – 1	81	150	125	ВА – 2004 / 250	ABBG1 – 4 × 35	140	8	-
ТП	ШП – 2	148	250	200	ВА – 2004 / 250	ABBG1 – 4 × 95	255	15	-
ТП	ШП – 3	25	40	31,5	ВА – 2004 / 50	ABBG1 – 4 × 4	38	30	-
ТП	ШП – 4	44	75	63	ВА – 2004 / 100	ABBG1 – 4 × 10	70	43	1,3

На втрату напруги потрібно перевірити кабель, що живить ШП-4, оскільки, його довжина складає 43 м.

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

де

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустима втрата напруги; для даного випадку приймається рівною $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$;

R – активний опір ділянки електричної мережі, Ом ;

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

l – довжина ділянки, м ;

$$l = 43 \text{ м};$$

γ – питома провідність алюмінію:

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

S – стандартний переріз кабелю, мм^2 ;

$$S = 10 \text{ мм}^2,$$

отже:

$$R = \frac{43}{32 \cdot 10} = 0,1344 \text{ Ом};$$

x – реактивний опір ділянки електричної мережі, Ом :

$$x = x_0 \cdot l,$$

x_0 – індуктивний опір 1 км кабелю

$$x_0 = 0,08 \text{ Ом} / \text{км},$$

відповідно

$$x = 0,08 \cdot 0,043 = 0,00344 \text{ Ом} / \text{км};$$

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності ділянки електричної мережі (таблиця 2.2);

$$\cos \varphi = 0,47,$$

тоді

$$\sin \varphi = 0,88,$$

отже:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 44}{380} \cdot (0,1344 \cdot 0,47 + 0,00344 \cdot 0,88) = 1,3\% < \Delta U_{\text{дон}} = 5\%$$

умова виконується.

Проводимо вибір шинопроводів типу *ШПА-4* із розміром шин $50 \times 5 \text{ мм}$, з номінальним струмом $I_n = 400 \text{ А}$, номінальною напругою $380/220 \text{ В}$, електродинамічна стійкість 25 кА .

Від ШП до електроспоживачів прокладаються проводи марки *АПВ* у захисних сталевих трубах.

Проведемо розрахунок для *ШП-1*.

Знаходимо розрахунковий струм для електроспоживача:

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

P_n – номінальна потужність електроспоживача, кВт ; (таблиця 2.2)

$$P_n = 1,5 \text{ кВт};$$

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності; (згідно таблиці 2.2)

$$\cos \varphi = 0,45,$$

отже:

$$I_p = \frac{1,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,45} = 4,8 \text{ А}.$$

Згідно [4] вибираємо АВ серії *УкрЕМ ВА* та здійснюємо його перевірку по умовах:

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

$$I_{н.а} \geq I_p - I_{н.а} = 15 \text{ А} > I_p = 4,8 \text{ А}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25I_p; 1,25I_p = 1,25 \cdot 4,8 = 6 \text{ А}; I_{н.р} = 6,3 \text{ А} > 1,25I_p = 6 \text{ А},$$

отже, умови виконуються.

Кінцево вибираємо АВ типу *ВА-2004/30*.

По [10] вибрано стандартний переріз проводу, який складає $S_{ст} = 2 \text{ мм}^2$ із тривало-допустимим струмом $I_{дон} = 15 \text{ А}$.

Марка проводу: *АПВ - 4(1 × 2)*.

Вибраний АВ потрібно перевірити на відповідність струмопровідним частинам за формулою:

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

$$I_{\text{доп}} = 15 \text{ A} > I_{\text{н.р.}} = 6,3 \text{ A},$$

отже, умова виконується.

Наступні розрахунки проводимо аналогічно. Отримані дані представимо у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунки вибору автоматичних вимикачів

Номер <i>ШП</i>	Тип <i>ШПА</i>	АВ			
		лінійні змінного струму			
		ВА-2004/30 ; ВА-2004/100; ВА-2004/250			кількість шаф
		$I_{\text{н.а.}}, \text{ A}$	$I_{\text{н.р.}}, \text{ A}$	К-сть	
<i>ШП-1</i>	<i>ШПА-4</i>	15;100;175	6,3 ÷ 125	14	–
<i>ШП-2</i>	<i>ШПА-4</i>	100; 175	20 ÷ 125	17	-
<i>ШП-3</i>	<i>ШПА-4</i>	15; 100	10 ÷ 50	8	-
<i>ШП-4</i>	<i>ШПА-4</i>	15; 100	4 ÷ 63	20	-

Принципова схема електропостачання зображена в графічній частині кваліфікаційної роботи магістра.

2.6 Розрахунок потужності та вибір КП.

Знайдемо потужність компенсуючого пристрою (КП) за формулою:

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

ΣP_p – сумарна розрахункова активна потужність інструментального цеху (таблиця 2.3);

$$\Sigma P_p = 358 \text{ кВт},$$

$\operatorname{tg} \varphi_p$ – розрахунковий тангенс кута зсуву фаз (таблиця 2.3);

$$\operatorname{tg} \varphi_p = 0,79,$$

$\operatorname{tg} \varphi_n$ – тангенс кута зсуву фаз, який відповідає, що має бути отриманий після здійснення компенсації;

$$\operatorname{tg} \varphi_n = 0,3,$$

α – коефіцієнт, який враховує можливість підвищення $\cos \varphi$ шляхами, які не вимагають встановлення компенсаційних пристроїв;

$$\alpha = 0,9;$$

$$Q_{кп} = 358 (0,79 - 0,3) 0,9 = 158 \text{ кВАр}.$$

Відповідно здійснюємо вибір КП типу *УКРП0,4 – 160 – 20УЗ* потужністю $Q_{кп.см} = 160 \text{ кВАр}$, згідно [4].

Здійснюємо перерахунок повної розрахункової потужності інструментального цеху:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{кп.см})^2} = \sqrt{358^2 + (282 - 160)^2} = 378 \text{ кВА}.$$

Отримані результати розрахунку заводимо у таблицю 2.3.

На рисунку 2.8 представлено результати розрахунку.

Розраховані електричні навантаження:

$$P_{розр} = 358 \text{ кВт};$$

$$Q_{розр} = 282 \text{ кВАр};$$

$$S_{розр} = 456 \text{ кВА}.$$

Розрахована потужність компенсуючого пристрою:

$$Q_{кп} = 160 \text{ кВАр}.$$

Потужність трансформаторної підстанції:

$$P_{тп} = 358 \text{ кВт};$$

$$Q_{тп} = 122 \text{ кВАр};$$

$$S_{тп} = 378 \text{ кВА}.$$

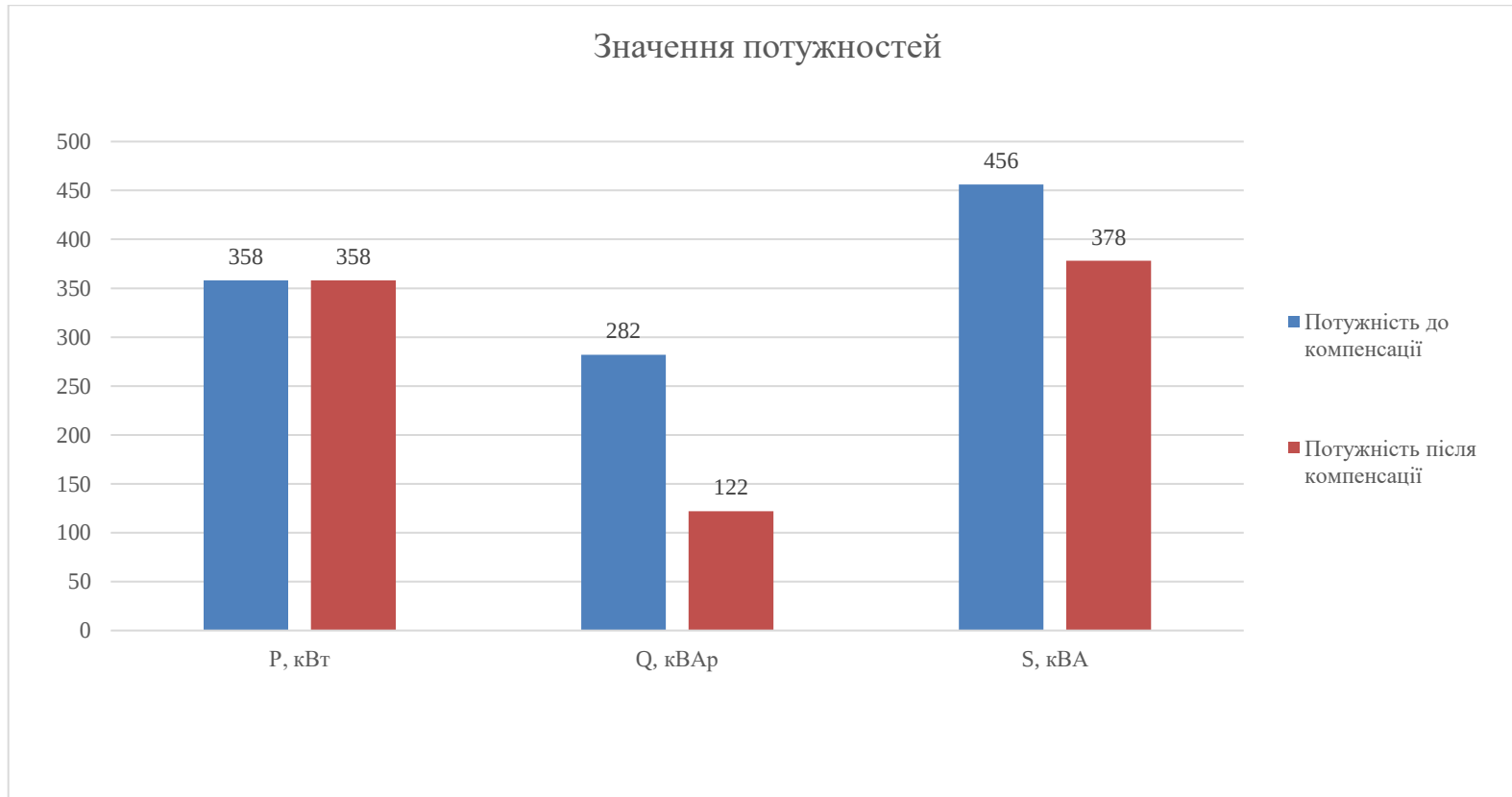


Рисунок 2.8 – Компенсація реактивної потужності

2.7 Вибір числа та потужності силових трансформаторів електромеханічного заводу

Для проведення розрахунку намічаємо два варіанта:

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

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

Знаходимо коефіцієнти завантаження для двох варіантів силових трансформаторів:

$$k_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{н.тр}}$$

S_p — розрахункова повна потужність інструментального цеху із урахуванням проведеної компенсації реактивної потужності, кВА ; (таблиця 2.3)

$$S_p = 378 \text{ кВА}.$$

$S_{н.тр}$ — номінальна потужність силового трансформатора, кВА ;

n — кількість силових трансформаторів.

Відповідно:

$$\text{- варіант: } k_{31} = \frac{378}{1 \cdot 630} = 0,6;$$

$$\text{- варіант: } k_{32} = \frac{378}{2 \cdot 400} = 0,47.$$

Обидва трансформатори повністю забезпечують живлення електроспоживачів у нормальному режимі роботи підприємства.

При виборі варіанту у один силовий трансформатор, у випадку аварії (при виході трансформатора з ладу), резервне живлення буде здійснюватись від трансформаторної підстанції сусіднього цеху, а при варіанті в два трансформатора необхідно визначити коефіцієнт завантаження трансформатора в аварійному режимі [19]:

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

$$k_{3.ав} = \frac{378}{(2-1) \cdot 400} = 0,95 < 1,3,$$

отже, умова виконується.

Отже, згідно розрахунку підходять обидва запропоновані варіанти силового трансформатора.

Прийнято I варіант – силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр} = 630 \text{ кВА}$.

Для кінцевого вибору потужності силового трансформатора потрібно провести техніко-економічне порівняння варіантів.

У Додатку А проведено техніко-економічний розрахунок двох варіантів вибору силових трансформаторів.

Вихідні дані представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Дані силових трансформаторів

Номер варіанта	$S_{н.тр}$, кВА	$\Delta P_{x.x}$, кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	$U_{кз}$, %	$I_{x.x}$, %
I	630	1,05	7,6	5,5	1,8
II	400	0,83	5,5	4,5	1,6

Оскільки, сумарні експлуатаційні витрати, у варіанті у один силовий трансформатор повною потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$, являються меншими ніж у варіанті у два силових трансформатори потужністю $S_{н.тр.} = 2 \times 400 \text{ кВА}$, кінцево приймаємо I варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.

Також для розрахунку числа та потужності силових трансформаторів можна скористатися програмою, розробленою кафедрою електричної енергії.

На рисунку 2.9 та 2.10 представлено українську та англійську версії демо версії програми.

Порівняльний розрахунок трансформаторів

Ця програма проводить порівняльний розрахунок трансформаторів

Укр / Eng

ЕІ
ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ЗАПОЧАТКОВАНА У 2018

ТНТ

Вхідні дані

Повна потужність силових споживачів, кВА

Час включення, год

Коефіцієнт зміни витрат, кВт/кВАр

Вартість одного кіловата енергії, грн

Коефіцієнт амортизаційних відрахувань

	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Потужність трансформаторів, кВА	630	400
Кількість трансформаторів, шт	1	2
Перевантаження одного трансформатора на 40%	1.4	1.4
Значення втрат холостого ходу, кВт	1.05	0.83
Значення втрат короткого замикання, кВт	7.6	5.5
Значення струму холостого ходу, %	1.6	1.8
Значення напруги короткого замикання, %	5.5	4.5
Вартість одного трансформатора, грн	312000	229000

Вихідні дані

	Трансформатор 1	Трансформатор 2
Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі	0.6	0.4725
Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі	0.42857142857142	0.675
Реактивна потужність холостого ходу, кВАр	10.08	7.2
Реактивна потужність короткого замикання, кВАр	34.65	18
Приведені втрати холостого ходу, кВт	1.2516	0.974
Приведені втрати короткого замикання, кВт	8.293	5.86
Приведені втрати електроенергії, кВт	4.23708	2.282281625
Приведені втрати в двох трансформаторах, кВт	4.23708	4.56456325
Втрати електроенергії за рік, кВт*год	37116.8208	39985.57407
Вартість втрат електроенергії за рік, грн	389726.6184	419848.527735
Капітальні затрати, грн	312000	458000
Річні експлуатаційні затрати, грн	31200	45800
Сумарні річні затрати, грн	420926.6184	465648.527735
Термін окупності, років	3.26461911333777	
Економічна ефективність, грн	44721.9093350001	

Обчислити

Рисунок 2.9 – Програма для розрахунку силових трансформаторів, розроблена кафедрою ЕІ (українська версія)

Comparative calculation of transformers

This program conducts a comparative calculation of transformers

Eng / Ukr

EI
ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ЗАПОЧАТКОВАНА У 2018

THT

Input data

Full capacity of power consumers, kVA: 378

Power-on time, hours: 8760

Cost change factor, kW/kVAr: 0.02

The cost of one kilowatt of energy, UAH: 10.5

Coefficient of amortization deductions: 0.1

	Transformer 1	Transformer 2
Rated power of transformers, kVA	630	400
Number of transformers, pcs	1	2
Overload of one transformer by 40%	1.4	1.4
Value of idle losses, kW	1.05	0.83
Value of short-circuit losses, kW	7.6	5.5
Value of no-load current, %	1.6	1.8
Value of the short circuit voltage, %	5.5	4.5
The cost of single transformer, UAH	312000	229000

Output data

	Transformer 1	Transformer 2
Load factor in normal mode	0.6	0.4725
Load factor in emergency mode	0.42857142857142	0.675
Reactive idle power, kVAr	10.08	7.2
Short circuit reactive power, kVAr	34.65	18
Idle losses, kVAr	1.2516	0.974
Short-circuit losses, kW	8.293	5.86
Losses of electric power, kW	4.23708	2.282281625
Losses in two transformers, kW	4.23708	4.56456325
Annual electricity losses, kWh	37116.8208	39985.57407
Annual cost of electricity losses, UAH	389726.6184	419848.527735
Capital costs, UAH	312000	458000
Annual operating costs, UAH	31200	45800
Total annual costs, UAH	420926.6184	465648.527735
Payback period, years	3.26461911333777	
Economic efficiency, UAH	44721.9093350001	

Calculate

Рисунок 2.10 – Програма для розрахунку силових трансформаторів, розроблена кафедрою ЕІ (англійська версія)

2.8 Розробка конструкції КТП.

У таблиці 2.7 наведено основні параметри КТП.

Таблиця 2.7 – Основні параметри КТП.

Найменування параметра	Розрахункові дані	Дані КТП-630
1.Потужність силового трансформатора (кВА):	378	630
2.Номінальна напруга на стороні високої напруги (кВ):	10	10
3.Номінальна напруга на стороні низької напруги (кВ):	0,4	0,4
4.Частота змінного струму (Гц):	50	50
5.Номінальний струм збірних шин(кА):		
УВН	0,036	0,4
РУНН	0,91	0,91
6.Струм електродинамічної стійкості (кА):		
УВН	35,5	51
РУНН	17,659	50
7.Струм термічної стійкості за 1с (кА ² с):		
УВН	219,52	400
РУНН	107,7	625

Склад КТП представлено в Додатку Б.

В графічній частині кваліфікаційної роботи наведено схему КТП.

2.9 Висновки до розділу

1. Так як основними споживачами інструментального цеху електромеханічного заводу є металообробні верстати, то споживачі електричної енергії даного цеху, що проектується, віднесено до III категорії по надійності електропостачання.

2. Споживачі електроенергії даного інструментального цеху працюють на напрузі 380/220 В трьохфазного змінного струму, частотою 50 Гц.

3. Враховуючи розміщення електричного обладнання в інструментальному цеху, вибрано магістральну схему із використанням розподільчих шинопроводів, які живляться від цехової ТП і з'єднані з нею кабелем, що прокладений в кабельному каналі.

4. Наведена відомість споживачів електроенергії інструментального цеху.

5. Проведемо розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Повна потужність становить 456 кВА.

6. Проведено відповідні розрахунки та здійснено вибір розподільчої електричної мережі інструментального цеху.

7. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу *УКРП0,4 – 160 – 20УЗ* потужністю $Q_{кп.см} = 160 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності інструментального цеху становить 378 кВАр.

8. Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.

9. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів КЗ проводиться у відносних одиницях.

Представимо розрахункову схему (графічна частина кваліфікаційної роботи).

В дану схему входять усі джерела потужності, які беруть участь у живленні місця короткого замикання, а також усі елементи системи ЕП.

Згідно [4, 5, 13] представимо технічні дані трьохобмоткового силового трансформатора типу *ТДТН* – 40000/110 /35/10:

$$S_n = 40 \text{ MVA};$$

$$U_{кз} - BH - CH = 10,5 \%;$$

$$-BH - HH = 17 \%;$$

$$-CH - HH = 6 \%;$$

$$\Delta P_{x.x.} = 63 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 230 \text{ кВт};$$

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

Складемо схему заміщення (графічна частина кваліфікаційної роботи магістра). Для цього замінимо усі елементи розрахункової схеми на опори, які приводяться до базисних умов.

Визначаємо базисний струм за формулою:

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

S_{ϕ} – базисна потужність, *MVA*;

приймаємо $S_{\phi} = 100 \text{ MVA}$.

U_{ϕ} – базисна напруга, *kV*;

приймаємо $U_{\phi} = 10,5 \text{ kV}$,

тоді:

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

Знаходимо відносний опір системи за формулою:

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

Знаходимо відносний опір лінії 1:

$$x_{*\delta n1} = x_0 \cdot l_1 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp}^2},$$

де

x_0 – реактивний опір 1 км лінії, для повітряної лінії $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$;

l_1 – довжина лінії, км ;

$$l_1 = 25 \text{ км}.$$

U_{cp} – базисна міжфазна напруга;

приймаємо 115 кВ ,

тоді:

$$x_{*\delta n1} = 0,425 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,076.$$

Знаходимо відносний опір кожної обвитки трьохобмоткового силового трансформатора за формулами:

$$U_{кз1 B} = \frac{U_{KB-C} + U_{KB-H} + U_{KC-H}}{2} = \frac{10,5 + 17 - 6}{2} = 10,75 \% ;$$

$$U_{кз2 H} = \frac{U_{KB-H} + U_{KC-H} - U_{KB-C}}{2} = \frac{17 + 6 - 10,5}{2} = 6,25 \% ;$$

$$U_{кз3 C} = \frac{U_{KB-C} + U_{KC-H} - U_{KB-H}}{2} = \frac{10,5 + 6 - 17}{2} = 0 ,$$

тоді

$$x_{*\delta mp1} = \frac{U_{кз1, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,269 ;$$

$$x_{*\delta mp2} = \frac{U_{кз2, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.тр}} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,156 ;$$

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

Знаходимо відносний опір лінії 2 за формулою:

$$x_{*6л2} = x_0 \cdot l_2 \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2},$$

x_0 – реактивний опір 1 км лінії, для кабельної лінії $x_0 = 0,08 \text{ Ом} / \text{км}$;

l_2 – довжина лінії, км;

$$l_2 = 0,6 \text{ км} ;$$

$$x_{*6л2} = 0,080,6 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,044.$$

Знаходимо результуючий опір до точки короткого замикання $K-1$:

$$\begin{aligned} x_{*6рез1} &= x_{*6с} + x_{*6л1} + \frac{(x_{*6тр1} + x_{*6тр2}) \cdot (x_{*6тр1} + x_{*6тр2})}{(x_{*6тр1} + x_{*6тр2}) + (x_{*6тр1} + x_{*6тр2})} + x_{*6л2} = \\ &= 0,025 + 0,076 + \frac{(0,269 + 0,156) \cdot (0,269 + 0,156)}{0,269 + 0,156 + 0,269 + 0,156} + 0,044 = 0,36. \end{aligned}$$

Знаходимо розрахунковий опір короткого замикання для точки $K-1$:

$$x_{роз1} = x_{*6рез1} \cdot \frac{S_c}{S_6} = 0,36 \cdot \frac{400}{100} = 1,44$$

Так як, $x_{роз1} < 3$, то струм короткого замикання знаходиться за розрахунковими кривими, тоді:

$$I_{к1} = I_{н.с.} \cdot k_t,$$

де

$I_{н.с.}$ – номінальний струм системи, знаходиться за формулою:

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

k_t – кратність струму короткого замикання; $k_t = 0,78$ при $t = \infty$ с та

$$x_{роз1} = 1,44,$$

тобто:

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

Знаходимо ударний струм за формулою:

$$i_{y01} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{к1},$$

k_y – ударний коефіцієнт; $k_y = 1,8$

$$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 1,818 = 45,8 \text{ кА}.$$

Знаходимо потужність короткого замикання за формулою:

$$S_{\kappa 31} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{\kappa 1} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 18 = 312 \text{ МВА}.$$

Знаходимо відносний опір лінії 3 за формулою:

$$x_{*6л3} = x_0 \cdot l_3 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,08 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,029.$$

Знаходимо результуючий опір до точки короткого замикання $K-2$:

$$x_{*брез2} = x_{*брез1} + x_{*6л3} = 0,36 + 0,029 = 0,389.$$

Знаходимо розрахунковий опір короткого замикання для точки $K-2$:

$$x_{\text{роз2}} = x_{*брез2} \cdot \frac{S_c}{S_6} = 0,389 \cdot \frac{400}{100} = 1,6.$$

Оскільки, $x_{\text{роз2}} < 3$, то струм короткого замикання знаходиться по розрахунковим кривим, отже:

$$I_{\kappa 2} = I_{н.с} \cdot k_t$$

кратність струму короткого замикання, при $t=0$ $i x_{\text{роз2}} = 1,6$, становить $k_t = 0,6$:

$$I_{\kappa 2} = 23 \cdot 0,6 = 14 \text{ кА}.$$

Знаходимо ударний струм за формулою:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 14 = 35,6 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{\kappa 32} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{\kappa 2} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 14 = 242,5 \text{ МВА}.$$

Знаходимо струм короткого замикання у точці $K-3$, попередньо визначивши опір системи по формулі:

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

$U_{н.ном}$ – номінальна напруга НН;

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

$S_{\text{відкл}}$ – номінальна потужність, знаходиться за формулою:

$$S_{\text{відкл}} = S_{\text{кз2}} = 242,5 \text{ MBA} = 242,510^6 \text{ BA} .$$

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

Знаходимо активний та реактивний опори силового трансформатора в відносних одиницях:

активний за формулою:

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

$\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати короткого замикання в силовому трансформаторі, кВт ; Δ

$$P_{\text{кз}} = 7,6 \text{ кВт} [4, 5, 13];$$

$S_{\text{н.тр}}$ – номінальна потужність силового трансформатора, кВА ;

$$S_{\text{н.тр}} = 630 \text{ кВА} ;$$

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

Знаходимо реактивний опір:

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

де

$U_{\text{кз}}$ – напруга короткого замикання силового трансформатора, $U_{\text{кз}} = 5,5 \%$ [4, 5, 13].

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

Знаходимо опори силового трансформатора, приведені до напруги $0,4 \text{ кВ}$:

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

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

Знаходимо опори шин при $l = 250 \text{ мм}$ та питомих опорах $x_0 = 0,179 \text{ мОм/м}$;

$r_0 = 0,06 \text{ мОм/м}$, якщо довжина шин становить 5 м :

$$r_{\text{ш}} = r_0 l_{\text{ш}} = 0,065 = 0,3 \text{ мОм} = 0,0003 \text{ Ом} ;$$

$$x_{\text{ш}} = x_0 l_{\text{ш}} = 0,1795 = 0,895 \text{ мОм} = 0,000895 \text{ Ом} .$$

Перехідний опір контактів автомата прийнято $0,8 \text{ мОм}$; опір самого автомату - $0,3 \text{ мОм}$; перехідний опір у місцях приєднання шин і у місці короткого замикання – 15 мОм .

Знаходимо результуючий опір кола короткого замикання у точці К-3:

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

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

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

Знаходимо струм короткого замикання у точці К-3:

$$I_{кз3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,024} = 9634 \text{ А}.$$

Розрахуємо ударний струм згідно формули:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{кз3},$$

k_y – ударний коефіцієнт, складає $k_y = 1,3$,

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 9634 = 17659 \text{ А}.$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{кз3} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{кз3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 9634 = 6,7 \text{ МВА}.$$

Дані розрахунків струмів короткого замикання зводимо у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані розрахунку

т. КЗ	U_H , кВ	$I_{кз}$, кА	$i_{уд}$, кА	$S_{кз}$, МВА	Примітка
К-1	10	18	45,8	312	
К-2	10	14	35,6	242,5	
К-3	0,4	9,634	17,659	6,7	

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

Знаходимо розрахунковий струм трансформаторної підстанції за формулою:

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

S_p – розрахункова потужність трансформаторної підстанції, κBA ;

$$S_p = 630 \kappa BA;$$

U_H – напруга ВН силового т-тора:

$$U_H = 10 \kappa B$$

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

Знаходимо тепловий імпульс КЗ у т. К-2:

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

$I_{n.o.}$ – зверхперехідний струм КЗ знаходимо по формулі:

$$I_{n.o.} = I_{KЗ2} = 14 \kappa A$$

$$t_{відкл} = t_3 + t_{o.в.},$$

t_3 – знаходиться за формулою:

$$t_3 = (0,5 \div 1) c;$$

приймаємо $t_3 = 1 c$.

$t_{o.в.}$ – час відключення масляного вимикача, який встановлюється на трансформаторній підстанції промислового підприємства; $t_{o.в.} = 0,11 c$.

T_a – для мережі 10 κB $T_a = 0,01 c$:

$$B_K = 14^2 [(1 + 0,11) + 0,01] = 219,52 \kappa A^2 c.$$

Подальший представлення результатів проводимо у вигляді таблиці, одержані дані зводимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Отримані дані по вибору та перевірці апаратів.

Умови для вибору	Дані розрахунку	Дані таблиць		
		Масляний вимикач ВПМ-10-20/630У3	ТС ТПК –10	ТН НОЛ –08–10УТ2
$U_{уст} \leq U_{н.а.}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
$I_p \leq I_{н.а.}$	36,4 А	630 А	75 А	
$i_{уд.р} \leq i_{пр.екв}$	35,6 кА	52 кА	52 кА	
$B_k \leq I_{н.т.}^2 \cdot t_{н.т.}$	219,52 кА ² с	$20^2 \cdot 4 = 1600$ кА ² с	$20^2 1 = 400$ кА ² с	
$I_{н.о.} \leq I_{н.відкл}$	14 кА	20 кА		
Тип привода		ПЕ –11		

Масляний вимикач ВПМ –10–20/630У3 задовольняє умови вибору та умови перевірки.

Проводимо перевірку згідно класу точності ТПК –10. Робота трансформатора струму повинна забезпечуватись у класі точності 0,5.

Наводимо схему підключення на рис. 3.1.

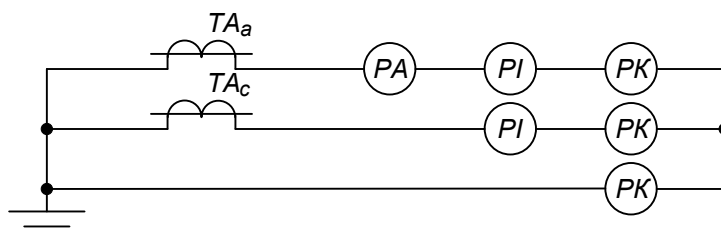


Рисунок 3.1 - Схема підключення

Представимо таблицю 3.3 навантажень на ВО ТС.

Таблиця 3.3 - Навантаження на ВО ТС.

Назва	Тип	Навантаження, ВА		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	$E - 335$	0,5		
Лічильник активної енергії	$I - 680$	2,5		2,5
Лічильник реактивної енергії	$I - 676$	2,5	2,5	2,5
Разом		5,5	2,5	5,0

Знайдемо загальний опір обмоток приладів згідно наступної формули:

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

$S_{\text{прил}}$ – навантаження фази А, табл. 4.3, кВА;

$$S_{\text{прил}} = 5,5 \text{ кВА};$$

$$I_{2н} = 5 \text{ А}$$

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

Вторинне номінальне навантаження становить $S_{2н} = 10 \text{ ВА}$. Розрахункове навантаження становить $S_p = 5,5 \text{ ВА}$. Потрібно щоб виконувалась наступна умова:

$$S_{2н} \geq S_p$$

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

Знаходимо повний допустимий опір згідно наступної формули:

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

Опір з'єднувальних проводів

$$R_{\text{пров}} = Z_{2н} - R_{\text{прил}} - R_{\kappa}$$

R_k – опір контактів, Ω , прийнято $R_k = 0,1 \Omega$,
відповідно

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

Знаходимо переріз з'єднувальних проводів

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

$$\rho = 0,0283 \Omega \text{мм}^2 / \text{м}$$

$$l_p = 1,5l$$

l – довжина проводу, з'єднує ТС та прилад; прийнято $l = 4,5 \text{ м}$, відповідно
 $l_p = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 \approx 7 \text{ м}$, відповідно:

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

На базі проведеного розрахунку прийнято переріз алюмінієвих проводів $2,5 \text{ мм}^2$; марка проводу АПВ – 4 (1×2,5). Кінцево до встановлення прийнято ТС типу ТПК – 10.

На КТП – 630 встановлюємо два однофазних ТН

Відповідність класу точності

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

Представимо таблицю 3.4 навантажень вторинних кіл ТН.

Таблиця 3.4 - Навантаження вторинних кіл ТН

Назва	Тип	S, ВА	К-сть
Вольтметр	E – 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
Разом		16,89 ВА	

Номінальна потужність вторинного кола у класі точності 0,5, яка складає
 $S_{2н.а.} = 75 \text{ ВА}$.

Перевіряємо

$$S_{2н.а.} \geq S_p$$

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

отже

$$2S_{2н.а.} = 2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА} > S_p = 16,89 \text{ ВА} - \text{отже, умова виконуються.}$$

Приймаємо до встановлення два ТН типу *НОЛ-08-10УТ2*.

Трансформатор від струмів КЗ захищає запобіжник *ПКТ102-10-31,5У3*, з технічними даними $U_{н.а.} = 10 \text{ кВ}$; $I_{н.а.} = 40 \text{ А}$; $I_{н.відкл} = 31,5 \text{ кА}$. Здійснимо перевірку вибраного запобіжник за умовами:

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

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

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

3.3 Проведення розрахунку та вибору мережі живлення.

Вибір перерізу кабелів при напрузі вище 1 кВ

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}}$$

$$I_p = 36,4 \text{ А}$$

$$j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2,$$

звідси:

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

Згідно [10] прийнято переріз кабелю 35 мм^2 ; тривало-допустимий струм складає $I_{дон} = 115 \text{ А}$.

Здійснюємо перевірку вибраного кабелю по нагріву:

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

Для вводу прийнято кабель *ААБ-10-3×35*.

Здійснимо перевірку кабелю на термічну стійкість:

- тепловий імпульс КЗ:

$$B_{\kappa} = I_{n.o.}^2 (t_{відкл} + T_a)$$

$I_{n.o.}$ – зверхперехідний струм КЗ у т. К-1

$$I_{n.o.} = 18 \text{ кА}$$

$t_{відкл}$ – час протікання струму КЗ

$$t_{відкл} = t_3 + t_{6.6}$$

$$t_3 = 0,5 \div 1 \text{ с} ;$$

$$t_3 = 1 \text{ с} .$$

$$t_{6.6} = 0,11 \text{ с}$$

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

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

- знаходимо мінімально допустимий переріз кабелю

$$S_{min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} \geq S_{ек}$$

С термічний коефіцієнт, $C = 94 \text{ Ас}^{1/2} / \text{мм}^2$.

Переріз кабелю становить 240 мм^2

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

Прийнято кабель марки ААБ-10-3×240

3.4 Вибір та розрахунок РЗ силового трансформатора.

На рисунку 3.2 показана схема для розрахунку.

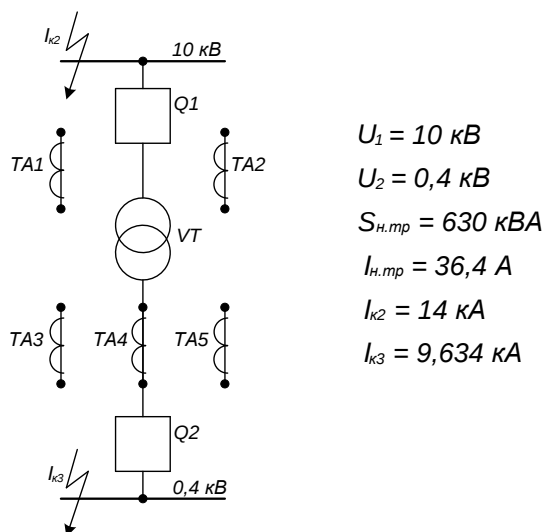


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку.

3.4.1 Максимальна струмова відсічка без витримки часу

- знаходимо первинний струм спрацювання захисту:

$$I_{c.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}$$

$I_{к.мах}$ – струм короткого замикання, який протікає крізь силовий трансформатор, знаходиться за формулою:

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

для реле $PT-40$ становить $k_n = 1,4$,

отже:

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

- знаходимо струм спрацювання реле

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

$k_{с.х.}$ – ТС з'єднані у неповну зірку, відповідно, $k_{с.х.} = 1$.

$k_{т.с.}$ – КТ ТС $ТПК-10$:

$$k_{т.с.} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{75}{5} = 15,$$

тоді

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

відповідно,

згідно розрахункового струму спрацювання реле вибрано реле струму $PT-40$ з $I_{c.p.} = 100 \text{ А}$ – $PT-40/100$;

- знаходимо коефіцієнт чутливості за формулою:

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

$I_{к.min}$ – трьохфазний струм КЗ на НН трансформатора:

$$I_{к.min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к3} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9634 = 8343,3 \text{ А},$$

відповідно

$$k_u = \frac{8343,3}{784} = 10,6 > 2$$

3.4.2 Максимальний струмовий захист з витримкою часу

По перше знаходимо струм спрацювання захисту

$$I_{c.з.} = \frac{k_H \cdot k_{c.з.}}{k_{\Pi}} \cdot I_p$$

$$k_H = 1,2$$

$$k_{c.з.} = 2,5$$

$$k_n = 0,8 \div 0,85$$

$$k_n = 0,82$$

$$I_p = I_{н.мр} = 36,4 \text{ A}$$

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

Струм спрацювання реле

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

$$PT - 40/10$$

$$I_{c.p.} = 10 \text{ A}.$$

- знаходимо коефіцієнт чутливості за формулою:

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

$$k_q = \frac{8343,3}{133,2} = 62,6 > 1,5 - \text{ умова виконується}$$

РЧ EB-215 та уставку $t_{c.з.} = 0,5 \div 1 \text{ c}$.

3.4.3 Максимальний струмовий захист від перевантажень

По перше знаходимо струм спрацювання захисту

$$I_{c.з.} = \frac{k_H}{k_{\Pi}} \cdot I_{н.мр}$$

$$k_H = 1,05$$

$$k_n = 0,82$$

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

Струм спрацювання реле

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з.} \cdot k_{cx}}{k_{T.с.}} = \frac{47 \cdot 1}{15} = 3 \text{ A}$$

$PT-40/6$

$$I_{c.p.} = 6 \text{ A}$$

3.4.4 Захист від замикань на землю

Реле $PT-40/0,2$; для КЛ $k_q = 1,25$. Струм спрацювання захисту $8,6 \text{ A}$

Вибрано ТС $ТЗЛМ-10$, реле $PT-40/0,2$ із вставкою на $0,1 \text{ A}$.

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-контакту вимикача в колі відключення привода. Сигналізація положення вимикачів з електромагнітним приводом здійснюється за допомогою сигнальних ламп.

Схеми допоміжних кіл КТП забезпечують:

- контроль струму виконується за допомогою трансформаторів струму ($TAa \div TAc$) та амперметрів ($PA1 \div PA3$);
- захист на базі реле струму ($KA1$) типу $PT-40$, ввімкненого в коло трансформатора струму (TAN) типу $ТЗЛМ-10$, встановленого на нульовій шині та РЧ ($КТ2$) $ЕВ-215$. Робота захисту фіксується вказівним реле ($КН1$).
- захист від перевантажень виконується на базі реле струму $PT-40$, ($KA2$), ввімкненого в коло фазного трансформатора струму шафи вводу. Робота

захисту фіксується вказівним реле (*КН4*). Захист від перевантажень працює з витримкою часу на базі реле ЕВ-215 (*КТ3*).

Принципова схема наведена в графічній частині кваліфікаційної роботи магістра.

3.6 Вибір елементів схеми РЗА

В таблиці 3.5 представлено вибір елементів схеми РЗА

Таблиця 3.5 - Вибір елементів схеми РЗА

Маркування	Найменування	Примітка
<i>КА1; КА2</i>	Реле струму РТ- 40/0,2У4; РТ- 40/6У4	
<i>КН1 ÷ КН6</i>	Реле вказівне РЕУ11-20-5-40У3	
<i>КТ2; КТ3</i>	Реле часу ЕВ-215	
<i>РА1 ÷ РА3</i>	Амперметр Е-335	
<i>PV</i>	Вольтметр Е-377	
<i>Q1</i>	Вимикач ВА55-41	
<i>X1; X2</i>	З'єднувач вимикача	
<i>R1; R2</i>	Резистор ПЕВ-50	1 кОм $\pm$ 5 %
<i>SA1; SA4</i>	Перемикач ПЕ021УХЛ3	
<i>SF1</i>	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 16×3,5; 2П	
<i>SF2</i>	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 6,3×3,5; 2П	
<i>SF3</i>	Вимикач АП506-2МТУ3.2, 6,3×3,5; 1П	
<i>SF4</i>	Вимикач АП506-2МТУ3.1, 2,5×3,5; 2П	

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 Заходи щодо техніки безпеки при монтажі електроустаткування цеху

Методи і способи безпечного виробництва електромонтажних і пусконаладжувальних робіт визначаються в ППР, які розробляють для кожного об'єкту.

На всі види електромонтажних і пусконаладжувальних робіт розробляють і затверджують в установленому порядку інструкції по безпечних методах праці. Це відноситься і до робіт в умовах виробництва не передбаченим правилами або діючими інструкціями.

Всі особи, що беруть участь в електромонтажному і налагоджувальному виробництві вимоги, що порушили правила техніки безпеки, несуть персональну відповідальність в залежності від ступеня і характеру порушення в дисциплінарному, адміністративному або кримінальному порядку. Знаходження посторонніх осіб, а також працівників в нетверезому стані на території монтажного майданчика, виробничих, санітарно-побутових приміщеннях і на робочих місцях забороняється. Електромонтажному і налагоджувальному персоналу незалежно від розряду, кваліфікації і групи по електробезпеці забороняється проводити будь-які роботи, що відносяться до експлуатації електроустановок на будівельному майданчику. Підключення (і відключення) кабелів і проводів до цих електроустановок вирішується тільки після спеціального допуску з боку персоналу, який обслуговує ці установки, відповідно до вказівок.

Дроти і кабелі, прокладені на висоті менш 2,5 м мають бути захищені від механічних пошкоджень. При монтажі електричних мереж і апаратів приймаються заходи, що виключають випадкову подачу на них напруги, зокрема шляхом зворотної трансформації напруги.

У електромонтажній і пусконаладжувальній організаціях призначається особа, відповідальна за електрогосподарство, зобов'язана забезпечити його безпечну експлуатацію відповідно до ПТЕ і ПТБ. Цей фахівець повинен мати групу по електробезпеці не нижче IV в електроустановках напругою вище 1000 В.

Розпаковування і розконсервовування устаткування, яке підлягає монтажу, необхідно проводитися в зоні, вказаній в ППР, на стелажах або підкладках заввишки не менше 100 мм. Великогабаритні деталі апаратів, машин і механізмів на міжповерхових перекриттях необхідно розміщувати в строгій відповідності з вказівками ППР. Звільняти вантажно-піднімачі, які утримують монтажне устаткування, можна лише після установки прокладок і остаточного закріплення устаткування на опорах і фундаментах. Закріплення підйомних пристосувань до будівельних конструкцій вирішується в місцях, вказаних в ППР і узгоджених з будівельною організацією. Закріплення устаткування і його окремих елементів тимчасовими дротяними підвісками, болтами меншого, ніж потрібний, діаметру, а також іншими випадковими кріпильними матеріалами забороняється.

При установці і фіксації контрольними шпильками кришок підшипникових і лобових щитів електричних машин перевіряти збіг отворів пальцями забороняється. Слід остерігатися потрапляння пальців в місця роз'єму щита. Визначати збіг отворів частин машин, що сполучаються, можна тільки з допомогою монтажних пристосувань. Розвантаження і транспортування до місця монтажу трансформаторів слід проводити по спеціально розробленому ППР.

До роботи на електромережах і електроустановках допускаються особи, що мають посвідчення про присвоєння ним відповідної кваліфікаційної групи по електробезпеці. Посвідчення видається після складання іспиту на знання "Правил експлуатації електроустановок споживачів", "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів", "Єдиних правил безпеки при розробці корисних копалини відкритим способом" і інструкцій стосовно

професії або посади. Особи, що працюють на контактних мережах кар'єрів, додатково повинні скласти іспит по "Правилах техніки безпеки і виробничої санітарії при експлуатації контактної мережі електрифікованих залізниць, пристроїв електропостачання, автоблокування".

Особи, обслуговуючі електроустановки, при виконанні робіт повинні мати при собі посвідчення про присвоєння кваліфікаційної групи. Особам, яким дозволено виконання спеціальних робіт (роботи верхолазів, роботи під напругою, випробування устаткування підвищеною напругою і т.п.), повинні мати про це запис в посвідченні. Перелік спеціальних робіт з урахуванням місцевих умов має бути затверджений керівництвом підприємства.

Оперативні перемикання, технічне обслуговування і ремонт електроустановок кар'єрів проводить електротехнічний персонал: оперативний, оперативно-ремонтний і ремонтний. До оперативного персоналу відносяться чергові підстанцій і розподільчих пристроїв. Оперативний персонал безпосередньо підкоряється енергетикові зміни (енергодиспетчерові) кар'єру (копальні) або іншій особі з керівних працівників і фахівців енергослужби. Енергетиками зміни (енергодиспетчерами) мають бути особи, що мають спеціальну вищу або середню технічну освіту і кваліфікаційну групу V.

До оперативно-ремонтного персоналу відносяться:

- електротехнічний персонал гірських ділянок, який виконує обслуговування і ремонт електроустановок і мереж ділянки і допущений до проведення оперативних перемикань в межах обслуговування;
- чергові електрики і енергетики зміни (енергодиспетчери);
- електротехнічний персонал, підлеглий безпосередньо відповідальному за електрогосподарство кар'єру (копальні);
- персонал, що входить до складу екіпажів електрифікованих гірничо-транспортних машин і комплексів (машиністи, помічники машиністів і електрики, що мають відповідні кваліфікаційні групи). Машиністи, помічники машиністів гірських машин (комплексів) мають право проводити електротехнічні роботи в об'ємі, встановленому відповідно до ДНАОП 1.2.90-

1.01-94 "Правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом".

До ремонтного персоналу відноситься електротехнічний персонал кар'єру (копальні), ділянки, який виконує ремонт (монтаж, наладку і випробування) електроустаткування гірських машин, механізмів і електричних мереж.

Організаційні і технічні заходи при експлуатації електроустановок кар'єру виконуються в строгій відповідності з "Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів".

Роботи в електроустановках проводяться по наряду-допуску, розпорядженню, порядку поточної експлуатації. Наряд-допуск – це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми і включає: зміст, місце роботи, час її початку і закінчення, умови безпечного проведення, склад бригади і осіб, відповідальних за безпеку при виконанні роботи.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, включає її зміст, місце, час, заходи безпеки (якщо вони потрібні) і осіб, яким доручено її виконання. Розпорядження може бути передане безпосередньо або за допомогою засобів зв'язку з подальшим записом в оперативному журналі. Розпорядження має разовий характер. Термін його дії залежить від тривалості робочого дня виконавців.

Поточна експлуатація - це проведення оперативним (оперативно-ремонтним) персоналом самостійно, на закріпленій за ним ділянці протягом однієї зміни, робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації.

Право видачі нарядів-допусків і розпоряджень надається особам електротехнічного персоналу підприємства, уповноваженим на це розпорядження особи, відповідальної за електрогосподарство підприємства, підрозділи. Вказані особи повинні мати кваліфікаційну групу V (в установках напругою до 1000 В - не нижче IV).

Право давати розпорядження на виконання ряду робіт, перелік яких визначається особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства,

надається також особам оперативного і оперативно-ремонтного персоналу з кваліфікаційною групою не нижче IV.

Список осіб, які можуть призначатися відповідальними керівниками і відповідальними за виконання робіт по нарядах-допусках і розпорядженнях, а також що спостерігають за виконанням робіт, затверджується відповідальним за електрогосподарство підприємства, підрозділи.

При виконанні робіт по наряді-допуску або розпорядженню із записом в оперативному журналі обов'язку того, хто допускає виконують:

- на екскаваторі - машиніст екскаватора або спеціально призначена особа;
- у розподільних пристроях і пересувних трансформаторних підстанціях - особа оперативного і оперативно-ремонтного персоналу або особа, спеціально на це уповноважена, з кваліфікаційною групою не нижче IV;
- на перемикаючих пунктах і комплектних трансформаторних підстанціях, до яких підключені екскаватори, бурові верстати - машиністи цих гірських машин з кваліфікаційною групою не нижче IV або особи оперативного або оперативно-ремонтного персоналу з їх повідомленням.

4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві і на робочому місці

У відповідності до Закону України «Про охорону праці» державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;

- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;
- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на дані цілі, отримання яких не суперечить законодавству;
- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представника профспілки, членом якої він є, або уповноваженої працівниками особи з питань охорони праці (якщо професійна спілка на підприємстві не створювалася), а також страхового експерта з охорони праці.

Працівник має право розірвати трудовий договір за власним бажанням, якщо роботодавець не виконує законодавства про охорону праці, не додержується умов колективного договору з цих питань. У цьому разі працівникові виплачується вихідна допомога в розмірі, передбаченому колективним договором, але не менше тримісячного заробітку.

Працівника, який за станом здоров'я відповідно до медичного висновку потребує надання легшої роботи, роботодавець повинен перевести за згодою працівника на таку роботу на термін, зазначений у медичному висновку, і у разі потреби встановити скорочений робочий день та організувати проведення навчання працівника з набуття іншої професії відповідно до законодавства.

На час зупинення експлуатації підприємства, цеху, дільниці, окремого виробництва або устаткування органом державного нагляду за охороною праці чи службою охорони праці за працівником зберігаються місце роботи, а також середній заробіток.

4.3 Причини електротравматизму

Основними причинами електротравматизму є:

- недостатня навченість, несвоєчасна перевірка знань та присвоєння груп кваліфікації за технікою безпеки персоналу, який обслуговує електроустановки;

- порушення правил влаштування, технічної експлуатації та техніки безпеки електроустановок;
 - неправильна організація праці;
 - неправильне розташування пускової апаратури та розподільчих пристроїв, захаращеність підходів до них;
 - порушення правил виконання робіт в охоронних зонах ЛЕП, електричних кабелів та ліній зв'язку;
 - несправність ізоляції, через що металеві не струмопровідні частини обладнання виявляються під напругою;
 - обрив заземлювального провідника;
 - використання електрозахисних пристроїв, які не відповідають умовам виконання робіт;
 - виконання електромонтажних та ремонтних робіт під напругою;
 - застосування проводів та кабелів, які не відповідають умовам виробництва та використовуваних напруг;
 - низька якість з'єднань та ремонту;
- недооцінка небезпеки струму, який проходить через тіло людини та напруги, впливу якої підлягає людина, коли її ноги знаходяться на ділянці з точками різного потенціалу („крокова напруга”);
- ремонт обірваного нульового провідника повітряної лінії при невимкненій мережі і приєднаному однофазному навантаженні;
 - живлення декількох споживачів від загального пускового пристрою з захистом запобіжниками, розрахованими на вимкнення найбільш потужного з них або від однієї групи розподільчої шафи;
 - недооцінка необхідності вимкнення електроустановки (зняття напруги) в неробочі періоди;
 - виконання робіт без індивідуальних засобів електрозахисту або використання захисних засобів, які не пройшли своєчасного випробування;

- невиконання періодичних випробувань, зокрема перевірок опору ізоляції (електромереж, обмоток електродвигунів, котушок комутаційної апаратури, реле) та опорів заземлювальних пристроїв;
- користування електроустановками, опір ізоляції яких не перевищує нормативних значень;
- використання електроустановок кустарного виготовлення, виготовлених з порушенням вимог правил електробезпеки (зокрема, розподільчими та пусковими пристроями, електропечами);
- некваліфікований інструктаж робітників, які використовують ручні електричні машини;
- відсутність контролю за діями працівників з боку виконавців робіт;
- відсутність маркування, запобіжних плакатів, блокувань, тимчасових огорожень місць електротехнічних робіт.

Ці причини можна згрупувати за наступними чинниками:

- дотик до струмоведучих частин під напругою внаслідок недотримання правил техніки безпеки, дефектів конструкції та монтажу електрообладнання;
- дотик до неструмоведучих частин, які опинились під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, перехресчування проводів;
- помилкове подання напруги в установку, де працюють люди;
- відсутність надійних захисних пристроїв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Так як основними споживачами інструментального цеху електромеханічного заводу є металообробні верстати, то споживачі електричної енергії даного цеху, що проектується, віднесено до III категорії по надійності електропостачання.

2. Споживачі електроенергії даного інструментального цеху працюють на напрузі 380/220 В трьохфазного змінного струму, частотою 50 Гц.

3. Враховуючи розміщення електричного обладнання в інструментальному цеху, вибрано магістральну схему із використанням розподільчих шинопроводів, які живляться від цехової ТП і з'єднані з нею кабелем, що прокладений в кабельному каналі.

4. Наведена відомість споживачів електроенергії інструментального цеху.

5. Проведемо розрахунок електричного навантаження інструментального цеху за допомогою методу коефіцієнта максимуму. Повна потужність становить 456 кВА.

6. Проведено відповідні розрахунки та здійснено вибір розподільчої електричної мережі інструментального цеху.

7. Здійснено розрахунок потужності КП, проведено його вибір. Вибрано КП типу *УКРП0,4 – 160 – 20УЗ* потужністю $Q_{кп.см} = 160 \text{ кВАр}$. Перерахунок повної розрахункової потужності інструментального цеху становить 378 кВАр.

8. Розглянуто два варіанти при виборі силових трансформаторів. Прийнято перший варіант – один силовий трансформатор потужністю $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.

9. Розроблено конструкцію КТП, представлено відповідну схему.

10. Проведено розрахунок струмів КЗ;

11. 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. 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.

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

11. В.Я. Решетник, І.М. Сисак. Конспект лекцій з дисципліни “Електричні системи та мережі” спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Тернопіль: ТНТУ. - 2016.- 152 с.

12. 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.

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

14. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
15. 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
16. <https://samelectryk.in.ua/електропостачання/електричні-сітки/891-які-бувають-категорії-надійності-електропостачання-по-пue.html>
17. Бабюк, Сергій Миколайович, К. М. Клебан, and В. В. Танасійчук. "Шляхи підвищення надійності електропостачання." Збірник тез доповідей Х Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “ (2021): 5-6.
18. Буняк О. А.; Курочкін, Д. О. Забезпечення системи гарантованого електропостачання підприємства. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 2017, 3: 93-93.
19. А.Л. Стефанюк. Підвищення технічної надійності підстанції / А.Л. Стефанюк, А.А. Гуменюк, А.З. Стасів, 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.
20. Т.І. Долішній. Шляхи підвищення надійності розподільчих електричних мереж / Т.І. Долішній, А.З. Стасів, С.М. Бабюк // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 11-12 грудня 2024. — Т : ТНТУ, 2024.
21. 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.

22. 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.

23. 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>.

ДОДАТКИ

Порівняльний розрахунок трансформаторів ТМ-400 і ТМ-630

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

$$S_p := 378 \text{ кВА}$$

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

Потужність трансформаторів:

Перший варіант:

$$S_{tr1} := 400 \text{ кВА}$$

Другий варіант:

ТМ630 – 10

Другий варіант:

$$S_{tr2} := 630 \text{ кВА}$$

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

$$K_{zav.tr1.nom} := \frac{S_p}{2 \cdot S_{tr1}} = 0.472$$

Перевантаження одного трансформатора можна проводити на 40%:

$$K_{zav.tr1.avar} := \frac{S_p}{1.4 \cdot S_{tr1}} = 0.675$$

Другий варіант:

$$K_{zav.tr2.nom} := \frac{S_p}{1 \cdot S_{tr2}} = 0.6$$

$$K_{zav.tr2.avar} := \frac{S_p}{1.4 \cdot S_{tr2}} = 0.429$$

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:

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

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

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

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

$$\Delta P_{sh.tr1} := \Delta P_{xx.sh.tr1} + K_{zav.tr1.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr1} = 2.282 \text{ кВт}$$

Приведені втрати в двох трансформаторах:

$$\Delta P_{1.2.sh.tr1} := 2 \cdot \Delta P_{sh.tr1} = 4.5646 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії за рік:

$$\Delta E_{tr1} := \Delta P_{1.2.sh.tr1} \cdot t_{vkl} = 39985.574 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

$$m := 10.5 \text{ грн}$$

Вартість втрат електроенергії за рік:

$$C_{e.tr1} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 419848.528 \text{ грн}$$

По другому варіанті:

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

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

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

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

$$\Delta P_{sh.tr2} := \Delta P_{xx.sh.tr2} + K_{zav.tr2.nom}^2 \cdot \Delta P_{kz.sh.tr2} = 4.237 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{1.2.sh.tr2} := 1 \cdot \Delta P_{sh.tr2} = 4.237 \quad \text{кВт}$$

$$\Delta E_{tr1} := \Delta P_{1.2.sh.tr2} \cdot t_{vkl} = 37116.821 \quad \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{e.tr2} := \Delta E_{tr1} \cdot m = 389726.618 \quad \text{грн}$$

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:

$$C_1 := C_{e.tr1} + C_{a1} = 465648.528 \quad \text{грн}$$

По другому варіанті:

$$C_2 := C_{e.tr2} + C_{a2} = 420926.618 \quad \text{грн}$$

Визначаємо термін окупності:

$$T_{ok} := \frac{K_{z.tr2} - K_{z.tr1}}{C_2 - C_1} = 3.265 \quad \text{роки}$$

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:

$$E := C_1 - C_2 = 44721.909 \quad \text{грн}$$

Склад КТП

КТП складається із:

- УВН, що містить шафу глухого вводу типу ВВ-1У1;
- силового трансформатора типу ТМЗ-630/10/0,4;
- РУНН, що складається із:
- шафи вводу низької напруги (ШНВ-1ЛУ1);
- окремо стоячої релейної шафи;
- шаф відхідних ліній (ШНЛ-4У1).

Схема КТП приведена на рис. 5.1.

УВН типу ВВ – 1У1 представляє собою металеву шафу без вимикача навантаження, в якому високовольтні кабелі під'єднуються безпосередньо до виводів ВН силового трансформатора типу ТМЗ-630-10/0,4. Шафа закріплюється на баку силового трансформатора. На дні шафи ВВ – 1У1 є два отвори для вводу високовольтних кабелів, які кріпляться в середині шафи спеціальними скобами, що застосовуються для всіх перерізів кабелів. Для обслуговування шафи передбачено двері, що зачиняються на два замки.

РУНН представляє собою набір шаф з установленими в них апаратами, вимірювальними і захисними приладами, допоміжними пристроями, ошиновкою і проводами.

Відхідні лінії споживачів підключаються до шаф РУНН з низу.

Шафи розділені на комірки в яких розміщені автоматичні вимикачі і апаратура:

- комірka релейного відсіку
- комірka ввідного (секційного) вимикача;
- комірka відхідних ліній.

Релейна шафа призначена для встановлення лічильників активної і реактивної електричної енергії, а також, для розміщення апаратури шафи ШНВ. Релейна шафа розміщується в одному ряду (на загальній рамі) із шафами РУНН і з'єднана з шафою ШНВ із сторони силового трансформатора.

На вводі РУНН, після ввідного вимикача, встановлено три трансформатори струму для вимірювання і обліку витрат електричної енергії.

Заземлення апаратів, які встановлені у шафах РУНН, виконано заземлюючим провідником. В якості силової захисно-комунікаційної апаратури РУНН застосовуються автоматичні вимикачі:

На вводі – вимикачі типу ВА;

На відхідних лініях – вимикачі типу ВА.