

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Компенсація реактивної потужності в мережі волоочильної дільниці кабельного заводу**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Густі О.О.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Бабюк С.М.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Коваль В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Шовкун О.П.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

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 бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Густі Олексія Олексійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Компенсація реактивної потужності в мережі волоочильної
дільниці кабельного заводу

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2024 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом завершеної роботи червень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Потужність та назва електрообладнання

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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
Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент кафедри МТ		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., завідувач кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання _____ 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.03.2024	
2	Аналітичний розділ	28.03.2024	
3	Проектно-конструкторський розділ	31.04.2024	
4	Розрахунковий розділ	30.05.2024	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2024	
6	Загальні висновки	03.06.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2024	
8	Оформлення графічної частини	06.06.2024	

Студент _____
(підпис)

Густі О.О. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабюк С.М. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс-41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Стор. 61; рис. 6; табл. 13; креслень -; джерел 18; додатків 0.

Робота бакалавра виконана згідно завдання на тему: «Компенсація реактивної потужності в мережі волоочильної ділянки кабельного заводу».

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення компенсації реактивної потужності в мережі волоочильної ділянки кабельного заводу.

Здійснено розрахунок електричних навантажень устаткування цеху і визначено, що $S_p = 922 \text{ кВА}$. Здійснено розрахунок освітлення і обґрунтовано встановлення дугових ртутних ламп ДРЛ-700. Здійснено розрахунок і вибір розподільчої мережі цеху. Це дасть змогу підвищити надійність електроспоживання цеху. Здійснено розрахунок реактивної потужності і обґрунтовано вибір компенсуючого пристрою типу $УКРП-0,4-300-20УЗ$ із потужністю 300 кВАр і кроком регулювання 20 кВАр . Обґрунтовано встановлення ТП із одним трансформатором, потужністю 1000 кВА . Коефіцієнт завантаження ПС становить $0,75$. Здійснена реконструкція КТП-1000. Проведено розрахунок струмів КЗ, вибір електричного обладнання ТП та проведено розрахунок і вибір РЗ силового трансформатора. Це дасть змогу забезпечити надійність роботи системи захисту.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, ТП, електрична енергія, РЗ, трансформатор.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз електроспоживачів енергії та визначення категорії по надійності електропостачання.	8
1.2 Схема електропостачання і визначення роду струму та величини напруги живлення.	9
1.3 Відомість споживачів електричної енергії.	9
1.4 Компенсація реактивної потужності.	11
1.5 Стенд компенсації реактивної потужності.	12
1.6 Постановка задач	14
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Розрахунок електричних навантажень	15
2.2 Розрахунок освітлення	23
2.3 Розрахунки та вибір розподільчої мережі	26
2.4 Розрахунок потужності і вибір компенсуючого пристрою	36
2.5 Вибір числа та потужності трансформаторів	39
2.6 Розробка конструкції КТП	41
2.7 Висновки до Розділу 2	42
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.	43
3.1 Розрахунок струмів КЗ	43
3.2 Вибір обладнання КТП та перевірка на стійкість до дії струмів КЗ	47
3.3 Розрахунки та вибір мережі електроживлення	48
3.4 Вибір та розрахунки РЗ трансформатора	48
3.5 Розробка схеми керування, захисту, сигналізації і автоматики (РЗА)	50
3.6 Вибір елементів схеми РЗА	51
3.7 Висновки до Розділу 3	52

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1 Актуальність безпеки життєдіяльності людини	53
4.2 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок на дільниці цеху.	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ВСТУП

Актуальність теми. Компенсація реактивної потужності є важливим аспектом управління електроенергетичними системами, такими як мережі виробничих підприємств, включаючи кабельні заводи. Особливо в виробничих умовах, де присутнє значне електричне обладнання, яке споживає енергію, важливо ефективно керувати реактивною потужністю.

У багатьох виробничих процесах на кабельному заводі використовуються індуктивні електричні машини, трансформатори, електричні печі та інші устаткування, які викликають витрати реактивної потужності. Це може призводити до кількох негативних наслідків, таких як: збільшення втрат в мережі (додаткові втрати у проводках і трансформаторах); зниження ефективності трансформаторів і машин (підвищення струмів через індуктивність може знижувати коефіцієнт потужності і загальну ефективність обладнання); штрафи за низький коефіцієнт потужності (багато енергопостачальників встановлюють штрафи для споживачів, які мають низький коефіцієнт потужності, що призводить до додаткових фінансових витрат).

Для усунення таких проблем використовують системи компенсації реактивної потужності:

1. Конденсаторні батареї - найпоширеніший метод компенсації. Конденсатори підключаються паралельно до індуктивного споживача і компенсують реактивну потужність;
2. Статичні компенсатори - використовують напівпровідникові елементи для автоматичного регулювання компенсації в залежності від потреб мережі;
3. Активні фільтри - вимірюють реактивну потужність і виробляють компенсуючі струми, які нейтралізують реактивні складові.

4. Синхронні компенсатори - використовуються для великих індуктивних навантажень, де синхронний генератор підключається паралельно до основного споживача, компенсуючи реактивну потужність.

Вигоди компенсації реактивної потужності:

- Зниження витрат електроенергії через зменшення втрат у мережі.
- Підвищення ефективності роботи обладнання.
- Мінімізація штрафів за низький коефіцієнт потужності.
- Зменшення навантаження на трансформатори і провідники.

Отже, компенсація реактивної потужності є важливим технічним і економічним рішенням для кабельних заводів і дозволяє підвищити загальну ефективність електроенергетичних систем підприємства. Вибір конкретного методу компенсації залежить від величини і характеристик споживачів реактивної потужності.

Тому, компенсація реактивної потужності в мережі волоочильної ділянки кабельного заводу є актуальною задачею.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення компенсації реактивної потужності в мережі волоочильної ділянки кабельного заводу.

Завдання:

1. Здійснити розрахунок електричних навантажень устаткування цеху і визначити повну потужність.
2. Здійснити розрахунок освітлення і обґрунтувати встановлення ламп.
3. Здійснити розрахунок і вибір розподільчої мережі цеху.
4. Здійснити розрахунок реактивної потужності і обґрунтувати вибір компенсуючого пристрою.
5. Обґрунтувати встановлення ТП із необхідною кількістю трансформаторів.
6. Здійснити реконструкцію КТП.
7. Провести розрахунок струмів КЗ, вибір електричного обладнання ТП та провести розрахунок і вибір РЗ силового трансформатора.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз електроспоживачів енергії та визначення категорії по надійності електропостачання.

Основне устаткування – волочильні верстати, крутильні машини і машини грубого, середнього та тонкого волочіння. Ці агрегати і машини виготовляють мідний дріт різного діаметру (від 0,1 до 2 мм). Потім, цей дріт іде на виготовлення кабельно-провідникової продукції. Усі агрегати і машини працюють у режимі короткочасного навантаження, тому коефіцієнт використання їх становить 0,2-0,3.

Електротехнічні установки напругою до 1000 В виконуються як з глухозаземленою нейтраллю, так із ізольованою.

Електротехнічні установки напругою вище 1000 В поділяються на установки:

1. Із ізольованою нейтраллю (напруги 3, 6, 10, 20 і 35 кВ).
2. З нейтраллю, включеною на землю для компенсації ємнісних струмів через індуктивний опір (напруга 35 і 110 кВ).
3. З глухозаземленою нейтраллю (напруга 110 кВ і більше).

Електроспоживачі працюють в режимі короткочасного навантаження з встановленою потужністю : $P_{\text{мін}} = 13,2 \text{ кВт}$, $P_{\text{макс}} = 50 \text{ кВт}$.

По надійності електропостачання електроприймачі виробничих механізмів відносяться до 3-ої категорії [1, 2].

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

1.2 Схема електропостачання і визначення роду струму та величини напруги живлення.

При виборі схеми електропостачання необхідно враховувати розташування приймачів електроенергії, послідовність технологічного циклу, їх встановлену потужність, категорію по надійності електропостачання та інше. Важливим фактором для вибору схеми є її висока надійність і безпека обслуговуючого персоналу при експлуатації. Необхідно також враховувати втрати електроенергії і затрати на будівництво лінії та закупівлю провідникового матеріалу, які повинні бути зведені до мінімуму.

Приймаємо комбіновану схему електропостачання [16, 17].

Для забезпечення живлення споживачів електричної енергії цеху вибираємо мережу трифазного змінного струму із напругою 380 В. Для забезпечення живлення електроосвітлення цеху вибираємо мережу однофазного струму із напругою 220 В.

На цеховій ТП передбачено встановити силовий трансформатор 10/0,4 кВ з глухозаземленою нейтраллю, лінійною напругою 0,4 кВ і фазною 0,23 кВ.

1.3 Відомість споживачів електричної енергії.

На базі схеми електропостачання (графічна частина кваліфікаційної роботи) розподіляємо споживачів за окремими групами.

Таблиця 1.1 - Відомість споживачів електроенергії

№ з/п	Назва обладнання	п, шт.	Р, кВт	К _{вик.}	cosφ
I група					
1.	Машина грубого волочіння ВМ-13	2	13,2	0,24	0,6
2.	Волочильний стан ВСК-13	1	13,2	0,24	0,6
II група					
1.	Машина тонкого волочіння М-15	4	50	0,24	0,6
2.	Машина тонкого волочіння ДХЦ	5	50	0,24	0,6
3.	Машина тонкого волочіння ДХПЦ	3	50	0,24	0,6
4.	Машина тонкого волочіння УДЗВГЧ	2	15	0,24	0,6
5.	Машина тонкого волочіння УДЗВГ10	1	15	0,24	0,6
6.	Машина середнього волочіння	4	50	0,24	0,6
7.	Машина тонкого волочіння	4	30	0,24	0,6
8.	Машина тонкого волочіння ДХЦ	8	30	0,24	0,6
9.	Машина тонкого волочіння ЗЛВГ	1	40	0,24	0,6
10.	Машина тонкого волочіння ДХЛФ	6	40	0,24	0,6
III група					
1.	Крутильна машина ДШЕ-63	5	18	0,17	0,6
IV група					
1.	Крутильна машина ДШЕ-63	4	18	0,17	0,6
2.	Крутильна машина ДШЕ-63А	2	18	0,17	0,6
V група					
1.	Крутильна машина ДШЕ-63АМТ	7	18	0,17	0,6
VI група					
1.	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	6	18	0,17	0,6

1.4 Компенсація реактивної потужності.

Компенсація реактивної потужності є важливим технічним заходом у керуванні електричною енергією, спрямованим на оптимізацію електричної мережі та підвищення ефективності її використання.

Реактивна потужність виникає внаслідок реактивного компонента (індуктивного або ємнісного) в електричних колах. Вона вимірюється в VAR і не споживає реальної енергії, але є потрібною для підтримки магнітного поля в індуктивних навантаженнях, наприклад, електричних моторах, трансформаторах тощо. Надмірна реактивна потужність може призводити до погіршення коефіцієнта потужності мережі (Power Factor) [3, 4, 5].

Проблеми, пов'язані з низьким коефіцієнтом потужності:

1. Втрати в мережі - низький коефіцієнт потужності призводить до збільшених втрат електроенергії в провідниках і трансформаторах;
2. Штрафи за низький коефіцієнт потужності - деякі енергопостачальники застосовують штрафи до споживачів, які мають низький коефіцієнт потужності;
3. Перевантаження обладнання - недооптимізована реактивна потужність може збільшувати навантаження на трансформатори, що може призводити до їх перегріву і скорочення терміну служби.

Рішення - компенсація реактивної потужності.

Компенсація реактивної потужності полягає у встановленні компенсуючих пристроїв (зазвичай конденсаторів) для нейтралізації реактивної потужності, що генеруються індуктивними споживачами. Основні методи компенсації включають:

1. Конденсаторні батареї - групи конденсаторів, які підключаються до мережі паралельно з індуктивними навантаженнями, зменшуючи загальну реактивну потужність і покращуючи коефіцієнт потужності;

2. Статичні компенсатори - електронні пристрої, які автоматично регулюють потужність конденсаторів в залежності від потреб мережі;

3. Активні фільтри - використовуються для реактивної компенсації у складних системах з багатьма індуктивними споживачами.

На кабельних заводах, де можуть бути значні індуктивні навантаження, компенсація реактивної потужності особливо важлива.

Компенсація дає змогу:

- Зменшити витрати на електроенергію через зниження втрат у мережі;
- Підвищити ефективність роботи обладнання і зменшити його перегрів;
- Знизити ризик штрафів за низький коефіцієнт потужності від енергопостачальника.

Отже, компенсація реактивної потужності є важливою частиною енергетичного управління кабельними заводами, спрямована на зниження витрат і підвищення ефективності використання електроенергії. Вибір методу компенсації залежить від конкретних умов і потреб підприємства.

1.5 Стенд компенсації реактивної потужності.

Регулятор PFC 6 дає змогу керувати установками компенсації реактивної потужності з 6-тьма контакторними виходами [6]

Регулятор PFC 6 проводить аналіз вищих гармонічних складових по напрузі та струму до 19-ої гармоніки і здійснює розрахунок коефіцієнту THD по напрузі та струму (показників якості електричної енергії).

Регулятор PFC 6 виготовляється у металевому корпусі, який забезпечує високий електромагнітний захист.

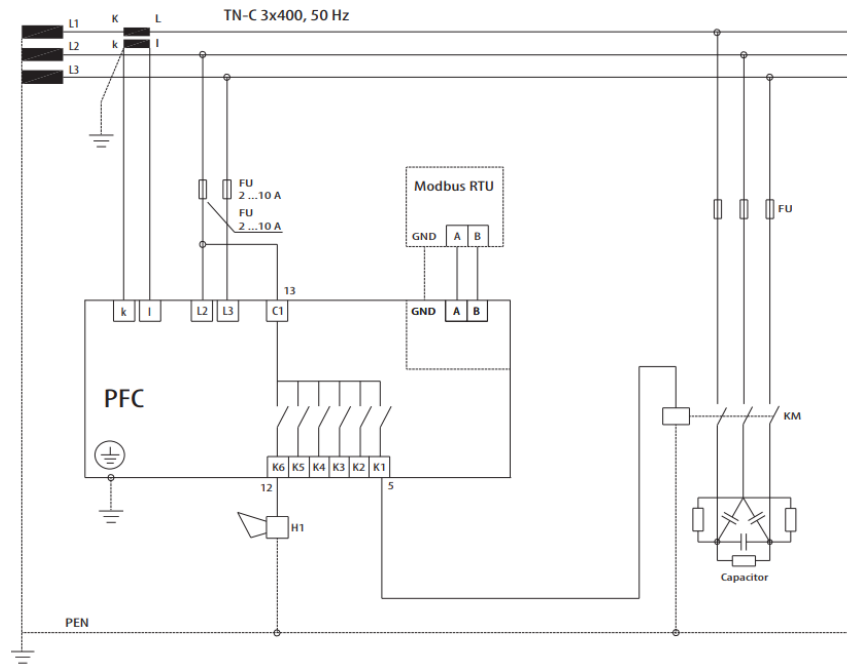


Рисунок 1.1 - Схема підключення регулятора для компенсації.

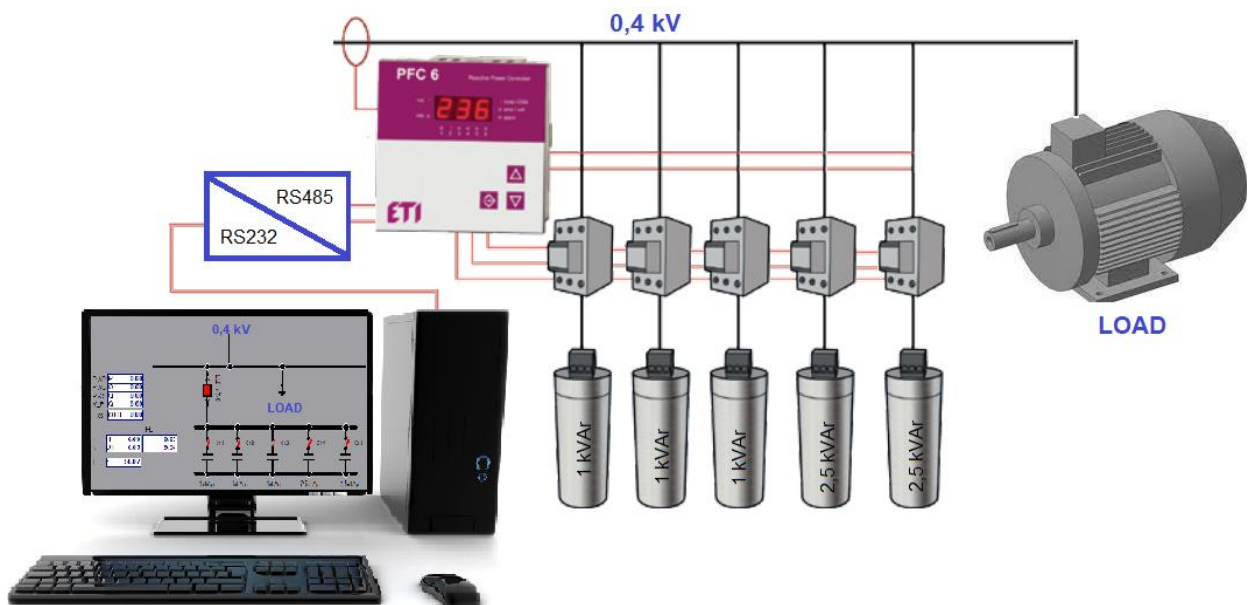


Рисунок 1.2 - Функціональна схема лабораторного стенду.

На рис. 1.3 показано загальний вигляд лабораторного стенду для компенсації.



Рисунок 1.3 - Лабораторний стенд для компенсації.

Робоча напруга стенду - 380 В. В основному стенд складається з компонентів фірми ETI. Навантаженням служить асинхронний двигун. При запуску стенду $\cos\phi$ становить приблизно 0,2.

1.6. Постановка задач.

1. Здійснити розрахунок електричних навантажень устаткування цеху і визначити повну потужність.
2. Здійснити розрахунок освітлення і обґрунтувати встановлення ламп.
3. Здійснити розрахунок і вибір розподільчої мережі цеху.
4. Здійснити розрахунок реактивної потужності і обґрунтувати вибір компенсуючого пристрою.
5. Обґрунтувати встановлення ТП із необхідною кількістю трансформаторів.
6. Здійснити реконструкцію КТП.
7. Провести розрахунок струмів КЗ, вибір електричного обладнання ТП та провести розрахунок і вибір РЗ силового трансформатора.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Згідно відомості споживачів електроенергії заносимо розрахункові дані в табл. 2.10.

Для розподільчого пункту для волочилільних машин визначаємо [7]:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_i = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 2 + 1 = 3.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{н.мін} = P_{н.макс} = 13,2 \text{ кВт.}$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\sum P_{нi} = n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = 2 \cdot 13,2 + 1 \cdot 13,2 = 39,6 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_{\epsilon} = 0,24;$$

$$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi = 0,6/1,32.$$

Значення потужностей за середньо-завантажену зміну:

$$P_{нсз1} = K_{\epsilon} \cdot \sum P_{нi};$$

$$P_{нсз1} = 0,24 \cdot 39,6 = 9,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{нсз1} = \operatorname{tg}\varphi \cdot P_{нсз1};$$

$$Q_{нсз1} = 1,32 \cdot 9,5 = 12,5 \text{ кВАр.}$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{\epsilon pl} = \sum n_i = 3;$$

$$P_{н.мін.\epsilon pl} = P_{н.макс.\epsilon pl} = 13,2 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.\epsilon pl} = \sum P_{нi} = 39,6 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.\epsilon pl} = P_{нсз} = 9,5 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.\epsilon pl} = Q_{нсз1} = 12,5 \text{ кВАр};$$

$$K_{в.зр1} = \frac{\sum P_{н.сз.зр1}}{\sum P_{н.зр1}} = \frac{9,5}{39,6} = 0,24;$$

$$tg\varphi_{зр1} = \frac{\sum Q_{н.сз1}}{\sum P_{н.сз.зр1}} = 1,32.$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{эф} = \frac{\sum P_{н.зр1}}{P_{н.макс}} = \frac{39,6}{13,2} = 3;$$

приймаємо $n_{эф} = n_1$

Коефіцієнт максимуму для $K_{в.зр1} = 0,24$ і $n_{эф} = 3$:

$$K_{в.макс} = 1 [3, 4, 5].$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{р1} = K_{макс} \cdot \sum P_{н.сз.зр1} = 1 \cdot 9,5 = 9,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{р1} = 1,1 \cdot \sum Q_{н.сз.зр1} = 1,1 \cdot 12,5 = 13,8 \text{ кВАр};$$

$$S_{р1} = \sqrt{P_{р1}^2 + Q_{р1}^2} = \sqrt{9,5^2 + 13,8^2} = 16,7 \text{ кВА}.$$

Проводимо аналогічні розрахунки для інших груп споживачів. Дані заводимо у табл. 2.10.

Для II групи:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_1 = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 4 + 5 + 3 + 2 + 1 + 4 + 4 + 8 + 1 + 6 = 38.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{н.мін} = 15 \text{ кВт};$$

$$P_{н.макс} = 50 \text{ кВт}.$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\begin{aligned} \sum P_{н1} &= n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = \\ &= 4 \cdot 50 + 5 \cdot 50 + 3 \cdot 50 + 2 \cdot 15 + 1 \cdot 15 + 4 \cdot 50 + 4 \cdot 30 + 8 \cdot 30 + 1 \cdot 40 + 6 \cdot 40 = 1485 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_в = 0,24;$$

$$\cos\varphi/tg\varphi = 0,6/1,32;$$

$$tg\varphi = tg(\arccos(\cos(\varphi))).$$

Значення потужностей за середньо-завантажену зміну:

$$P_{нсз1} = K_в \cdot \sum P_{н1} ;$$

$$P_{нсз1} = 0,24 \cdot 1485 = 356.4 \text{ кВт};$$

$$Q_{нсз1} = tg \varphi \cdot P_{нсз1} ;$$

$$Q_{нсз1} = 1,32 \cdot 356.4 = 470.4 \text{ кВАр}.$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{зр1} = \sum n_1 = 38 ;$$

$$P_{н.мін.зр} = 15 \text{ кВт};$$

$$P_{н.макс.зр} = 50 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.зр1} = \sum P_{н1} = 1485 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.зр1} = P_{нсз} = 356.4 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.зр1} = Q_{нсз1} = 470.4 \text{ кВАр};$$

$$K_{в.зр1} = \frac{\sum P_{н.сз.зр1}}{\sum P_{н.зр1}} = \frac{356.4}{1485} = 0,24 ;$$

$$tg \phi_{зр1} = \frac{\sum Q_{нсз1}}{\sum P_{н.сз.зр1}} = \frac{470.4}{356.4} = 1,32 .$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{еф} = \frac{\sum P_{н.зр1}}{P_{н.макс}} = \frac{1485}{50} = 30 ;$$

приймаємо $n_{еф} = n_1$

Коефіцієнт максимуму для $K_{в.зр1} = 0,24$ і $n_{еф} = 38$:

$$K_{в.макс} = 1.3.$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{р1} = K_{макс} \cdot \sum P_{н.сз.зр1} = 1.3 \cdot 356.4 = 463 \text{ кВт};$$

$$Q_{р1} = 1,1 \cdot \sum Q_{нсз.зр1} = 1,1 \cdot 470.4 = 517.4 \text{ кВАр};$$

$$S_{р1} = \sqrt{P_{р1}^2 + Q_{р1}^2} = \sqrt{463^2 + 517.4^2} = 694 \text{ кВА}.$$

Для III групи:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_i = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 5.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{н.мін} = P_{н.макс} = 18 \text{ кВт.}$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\sum P_{нi} = n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = 5 \cdot 18 = 90 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_6 = 0,17;$$

$$\cos\varphi/\text{tg}\varphi = 0,6/1,32.$$

Значення потужностей за середньо-завантажену зміну:

$$P_{нсз1} = K_6 \cdot \sum P_{нi};$$

$$P_{нсз1} = 0,17 \cdot 90 = 15,3 \text{ кВт};$$

$$Q_{нсз1} = \text{tg}\varphi \cdot P_{нсз1};$$

$$Q_{нсз1} = 1,32 \cdot 15,3 = 20,2 \text{ кВАр.}$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{ep1} = \sum n_i = 5;$$

$$P_{н.мін.зр} = P_{н.макс.зр} = 18 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.ep1} = \sum P_{нi} = 90 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.ep1} = P_{нсз} = 15,3 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.ep1} = Q_{нсз1} = 20,2 \text{ кВАр};$$

$$K_{в.ep1} = \frac{\sum P_{н.сз.ep1}}{\sum P_{н.ep1}} = \frac{15,3}{90} = 0,17;$$

$$\text{tg}\phi_{ep1} = \frac{\sum Q_{нсз1}}{\sum P_{н.сз.ep1}} = \frac{20,2}{15,3} = 1,32.$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{ef} = \frac{\sum P_{н.ep1}}{P_{н.макс}} = \frac{90}{18} = 5;$$

приймаємо $n_{ef} = n_1$.

Коефіцієнт максимуму для $K_{в.ep1} = 0,17$ і $n_{ef} = 5$:

$$K_{в.макс} = 1.$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{p1} = K_{\max} \cdot \sum P_{n.сз.зр1} = 1 \cdot 15.3 = 15.3 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 1,1 \cdot \sum Q_{n.сз.зр1} = 1,1 \cdot 20.2 = 22.2 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{15.3^2 + 22.2^2} = 26,7 \text{ кВА}.$$

Для IV групи:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_1 = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 4 + 2 = 6.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{н.мін} = P_{н.макс} = 18 \text{ кВт}.$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\sum P_{n1} = n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = 4 \cdot 18 + 2 \cdot 18 = 108 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_{\epsilon} = 0,17;$$

$$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi = 0,6/1,32.$$

Значення потужностей за середньо-завантажену зміну:

$$P_{нсз1} = K_{\epsilon} \cdot \sum P_{n1};$$

$$P_{нсз1} = 0,17 \cdot 108 = 18.36 \text{ кВт};$$

$$Q_{нсз1} = \operatorname{tg}\varphi \cdot P_{нсз1};$$

$$Q_{нсз1} = 1,32 \cdot 18.36 = 24.2 \text{ кВАр}.$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{зр1} = \sum n_1 = 6;$$

$$P_{н.мін.зр} = P_{н.макс.зр} = 18 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.зр1} = \sum P_{n1} = 108 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.зр1} = P_{нсз} = 18.36 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.зр1} = Q_{нсз1} = 24.2 \text{ кВАр};$$

$$K_{\epsilon.зр1} = \frac{\sum P_{н.сз.зр1}}{\sum P_{н.зр1}} = \frac{18.36}{108} = 0,17;$$

$$\operatorname{tg} \phi_{\text{ep1}} = \frac{\sum Q_{\text{нсз1}}}{\sum P_{\text{н.сз.зр1}}} = \frac{24.2}{18.36} = 1,32.$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{\text{еф}} = \frac{\sum P_{\text{н.зр1}}}{P_{\text{н.макс}}} = \frac{108}{18} = 6;$$

приймаємо $n_{\text{еф}} = n_1$.

Коефіцієнт максимуму для $K_{\text{в.зр1}} = 0,17$ і $n_{\text{еф}} = 6$:

$$K_{\text{в.макс}} = 3.$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{\text{р1}} = K_{\text{макс}} \cdot \sum P_{\text{н.сз.зр1}} = 3 \cdot 18.36 = 55.1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р1}} = 1,1 \cdot \sum Q_{\text{н.сз.зр1}} = 1,1 \cdot 24.2 = 26.6 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{р1}} = \sqrt{P_{\text{р1}}^2 + Q_{\text{р1}}^2} = \sqrt{55.1^2 + 26.6^2} = 61.2 \text{ кВА}.$$

Для V групи:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_i = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 7.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{\text{н.мін}} = P_{\text{н.макс}} = 18 \text{ кВт}.$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\sum P_{\text{н1}} = n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = 7 \cdot 18 = 126 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_{\text{в}} = 0,17;$$

$$\cos \phi / \operatorname{tg} \phi = 0,6 / 1,32.$$

Активна і реактивна потужності за середньо-завантажену зміну:

$$P_{\text{нсз1}} = K_{\text{в}} \cdot \sum P_{\text{н1}};$$

$$P_{\text{нсз1}} = 0,17 \cdot 126 = 21.4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{нсз1}} = \operatorname{tg} \phi \cdot P_{\text{нсз1}};$$

$$Q_{\text{нсз1}} = 1,32 \cdot 21.4 = 28.2 \text{ кВАр}.$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{zp1} = \sum n_1 = 7;$$

$$P_{н.мін.зр} = P_{н.макс.зр} = 18 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.зр1} = \sum P_{н1} = 126 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.зр1} = P_{нсз} = 21.4 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.зр1} = Q_{нсз1} = 28.2 \text{ кВАр};$$

$$K_{в.зр1} = \frac{\sum P_{н.сз.зр1}}{\sum P_{н.зр1}} = \frac{21.4}{126} = 0,17;$$

$$\operatorname{tg} \phi_{зр1} = \frac{\sum Q_{нсз1}}{\sum P_{н.сз.зр1}} = \frac{28.2}{21.4} = 1,32.$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{еф} = \frac{\sum P_{н.зр1}}{P_{н.макс}} = \frac{126}{18} = 7;$$

приймаємо $n_{еф} = n_1$.

Коефіцієнт максимуму для $K_{в.зр1} = 0,17$ і $n_{еф} = 7$:

$$K_{в.макс} = 2.6.$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{p1} = K_{макс} \cdot \sum P_{н.сз.зр1} = 2.6 \cdot 21.4 = 55.64 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 1,1 \cdot \sum Q_{н.сз.зр1} = 1,1 \cdot 28.2 = 31.02 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{55.64^2 + 31.02^2} = 63.5 \text{ кВА}.$$

Для VI групи:

Загальна кількість електроспоживачів:

$$\sum n_1 = n_1 + n_2 + \dots + n_n = 6.$$

Мінімальна і максимальна потужність:

$$P_{н.мін} = P_{н.макс} = 18 \text{ кВт}.$$

Сумарна номінальна потужність вузла живлення:

$$\sum P_{н1} = n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_n P_n = 6 \cdot 18 = 108 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнти використання і потужності заносимо в таблицю 2.10.

$$K_{в} = 0,17;$$

$$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi = 0,6/1,32.$$

Значення потужностей за середньо-завантажену зміну:

$$P_{нсз1} = K_{\phi} \cdot \sum P_{н1};$$

$$P_{нсз1} = 0,17 \cdot 108 = 18,36 \text{ кВт};$$

$$Q_{нсз1} = \operatorname{tg}\varphi \cdot P_{нсз1};$$

$$Q_{нсз1} = 1,32 \cdot 18,36 = 24,2 \text{ кВАр}.$$

Загальні дані по РП:

$$\sum n_{zp1} = \sum n_1 = 6;$$

$$P_{н.мін.zp} = P_{н.макс.zp} = 18 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.zp1} = \sum P_{н1} = 108 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{н.сз.zp1} = P_{нсз} = 18,36 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{нсз.zp1} = Q_{нсз1} = 24,2 \text{ кВАр};$$

$$K_{\phi.zp1} = \frac{\sum P_{н.сз.zp1}}{\sum P_{н.zp1}} = \frac{18,36}{108} = 0,17;$$

$$\operatorname{tg}\phi_{zp1} = \frac{\sum Q_{нсз1}}{\sum P_{н.сз.zp1}} = \frac{24,2}{18,36} = 1,32.$$

Ефективне число електроспоживачів:

$$n_{еф} = \frac{\sum P_{н.zp1}}{P_{н.макс}} = \frac{108}{18} = 6;$$

приймаємо $n_{еф} = n_1$.

Коефіцієнт максимуму для $K_{\phi.zp1} = 0,17$ і $n_{еф} = 6$:

$$K_{\phi.макс} = 3.$$

Розрахункові активна, реактивна і повна потужності:

$$P_{p1} = K_{макс} \cdot \sum P_{н.сз.zp1} = 3 \cdot 18,36 = 55,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{p1} = 1,1 \cdot \sum Q_{нсз.zp1} = 1,1 \cdot 24,2 = 26,6 \text{ кВАр};$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{55,1^2 + 26,6^2} = 61,2 \text{ кВА}.$$

Загальна кількість споживачів:

$$\sum n = 3 + 38 + 5 + 6 + 7 + 6 = 65 \text{ шт.}$$

Загальна номінальна потужність:

$$\sum P_n = 39.6 + 1485 + 90 + 108 + 126 + 108 = 1956.6 \text{ кВт.}$$

Середнє активне навантаження:

$$P_{нсз} = 9.5 + 356 + 15 + 18.3 + 21.4 + 18.36 = 438.6 \text{ кВт;}$$

Середнє реактивне навантаження:

$$Q_{нсз} = 12.54 + 470 + 20 + 24.1 + 28.2 + 24.2 = 579.1 \text{ кВАр.}$$

Активне розрахункове навантаження становить:

$$P_p = 9.5 + 462 + 15 + 55 + 55.6 + 55.1 = 652.2 \text{ кВт.}$$

Реактивне розрахункове навантаження становить:

$$Q_p = 13.8 + 517 + 22 + 26.5 + 31 + 26.7 = 637 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове повне навантаження становить:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{652.2^2 + 637^2} = 922.4 \text{ кВА.}$$

2.2 Розрахунок освітлення

Рекомендується використовувати тип світильників ДРЛ (ртутні світильники).

Наступними розмірами приміщення визначається розташування світильників:

$$H = 7 \text{ м;}$$

$$h_c = 1 \text{ м;}$$

$$h_n = 6 \text{ м;}$$

$$h_p = 1 \text{ м;}$$

$$h = h_n - h_p = 5 \text{ м;}$$

Ширина приміщення:

$$B = 12 \text{ м.}$$

Довжина приміщення

$$l = 36 \text{ м.}$$

Світильники монтуємо у два ряди на три метри від стін і шість метрів між собою.

Згідно [5] приймаємо освітлення дільниць $E = 300_{лк}$, $K_3 = 1,5$.

Загальна кількість світильників: 12 шт.

Розрахунок освітлення будемо проводити за методом коефіцієнту використання.

Визначимо світловий потік ламп F у світильнику визначається по формулі:

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

По розрахованому значенню F буде вибиратися найближча лампа, F якої не може відрізнятись від шуканого F більше ніж $-10...+20\%$.

Коефіцієнти відбивання поверхонь приміщення згідно [5]:

стелі - $\rho_{стелі} = 50\%$,

стін - $\rho_{стін} = 30\%$,

підлоги - $\rho_{підлоги} = 10\%$.

Індекс приміщення i :

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

де h - розрахункова висота;

B - довжина приміщення;

l - його ширина.

Визначимо індекс приміщення:

$$i_1 = \frac{B \cdot l}{h(B+l)} = \frac{12 \cdot 36}{5 \cdot (12+36)} = 1,8.$$

З [5] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку світильників:

$$\eta = 0,53.$$

Площа приміщення:

$$S_1 = B \cdot l = 432 \text{ м}^2.$$

В загальному випадку:

$$z = 1,15.$$

Звідси:

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 432 \cdot 1,15}{0,53 \cdot 12} = 35151 \text{ Лм}.$$

По [5] вибираємо лампи типу ДРЛ-700 із параметрами:

$$P = 700 \text{ Вт};$$

$$F_1 = 35000 \text{ Лм};$$

$$U_n = 220 \text{ В}.$$

По [5] вибираємо:

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

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = 0,329;$$

$$K_\varepsilon = 0,9.$$

Для вибраних ламп знаходимо відхилення світлового потоку:

$$\delta = \frac{F - F_1}{F} \cdot 100\% = \frac{35151 - 35000}{35151} \cdot 100\% = 0,43\% .$$

Отже, шукане відхилення лежить у допустимих межах.

Номінальна потужність всіх ламп:

$$P_n = N \cdot P = 12 \cdot 0,7 = 8,4 \text{ кВт}.$$

Знайдемо розрахункові величини активної, реактивної і повної потужностей:

$$P_p = K_u \cdot P_n = 0,9 \cdot 8,4 = 7,56 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 7,56 \cdot 0,329 = 2,49 \text{ кВАр}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{7,56^2 + 2,49^2} = 8 \text{ кВА}$$

Встановлюємо 5 розеток по 1 кВт.

Загальна номінальна потужність:

$$\Sigma P_n = 13 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт використання:

$$K_\varepsilon = 0,9.$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi = 0,7/1,02.$$

Активне розрахункове навантаження становить:

$$P_p = \sum P_n \cdot K_e = 13 \cdot 0,9 = 11,7 \text{ кВт.}$$

Реактивне розрахункове навантаження становить:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 11,7 \cdot 1,02 = 11,9 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове повне навантаження:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{11,7^2 + 11,9^2} = 16,7 \text{ кВА.}$$

Разом розрахункове активне навантаження для силових споживачів і освітлення буде становити:

$$P_p = 652,2 + 11,7 = 663,9 \text{ кВт.}$$

Разом розрахункове реактивне навантаження для силових споживачів і освітлення буде становити:

$$Q_p = 637 + 11,9 = 648,9 \text{ кВАр.}$$

Разом розрахункове повне навантаження для силових споживачів і освітлення буде становити:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{663,9^2 + 648,9^2} = 939,1 \text{ кВА.}$$

В графічній частині роботи показано план освітлення.

2.3 Розрахунки та вибір розподільчої мережі

Шинопровід вибирається по номінальному струму і перевіряється на відповідність вставки захисного апарата.

Вибір шинопроводу ШП-1.

Розрахунковий струм:

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

$$I_p = \frac{693,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1054 \text{ А.}$$

Вибираємо шинопровід ШМА4 з $U_n = 0,38$ В і струмом вставки захисного апарата $I = 1250$ А.

$$I_p < I;$$

$$I_p = 1054 \text{ А} < I = 1250 \text{ А}.$$

Умова вибору дотримана.

Аналогічно здійснюємо вибір ШП-1, ШП-2, ШП-3, ШП-4, ШП-5. Данні вибору заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Вибір шинопроводів

№ з/п	Джерело живлення	U_n кВ	S_p кВА	I_p А	Тип	U_n кВ	I А
1	ШП-1	0,38	693,3	1054	ШМА4	0,38	1250
2	ШП-2	0,38	26,6	41	ШРА4	0,38	100
3	ШП-3	0,38	61	94	ШРА4	0,38	100
4	ШП-4	0,38	63,6	98	ШРА4	0,38	100
5	ШП-5	0,38	61,2	93	ШРА4	0,38	100

В таблиці 2.2 подано вибір РП.

Таблиця 2.2 – Вибір РП.

№ з/п	Джерело живлення	Кількість приймачів	I_n А	U_n кВ	Розподільчі пристрої		Вимикачі			
					Тип	К-сть	Зм. струм		Зм. струм	
							I_n А	n шт	I_n А	n шт
							20-160		20-80	
1	РП-1	3	26	0,38	РП21	1	-	-	20	6

Вибираємо кабелі живлення джерел живлення РП і ШП.

Із таблиці 1.3.7 [8] приймаємо силовий кабель АВВГ1-3х10+1х6 з $I_{дон} = 45 \text{ А} > I_p = 26 \text{ А}$.

Для захисту даної лінії від струмів перевантаження і коротких замикань приймаємо автоматичний вимикач типу ВА51-31.

Струм уставки розщеплювача автомата:

$$I_{y.p} = 1,2 \cdot I_p$$

$$I_{y.p} = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ А}.$$

Приймаємо $I_{y.p} = 40 \text{ А}$.

Кабель від шинопроводу до верстата прокладається в захисній трубі під підлогою. Аналогічно вибираємо кабелі до інших приймачів. Дані вибору заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Вибір розподільчої мережі

№ з/п	Звідки	Куди	U_n кВ	I_n А	Марка кабелю	U_n кВ	$I_{дон}$ А
1	КТП	РП-1	0,38	26	АВВГ1-3·10+1·6	0,38	45
2	КТП	ШП-1	0,38	1054	ШМА4	0,38	1250
3	КТП	ШП-2	0,38	41	АВВГ1-3·10+1·6	0,38	45
4	КТП	ШП-3	0,38	94	АВВГ1-3·35+1·25	0,38	95
5	КТП	ШП-4	0,38	98	АВВГ1-3·50+1·35	0,38	110
6	КТП	ШП-5	0,38	93	АВВГ1-3·50+1·35	0,38	110
7	КТП	ЩО	0,38	26	АВВГ1-3·10+1·6	0,38	45
8	КТП	КП	0,38	1139	ШМА4	0,38	1250

Проведемо розрахунки та вибір для всіх споживачів ШП-1. Отримані результати представимо у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподільча мережа ШП-1

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина l, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Машина тонкого волочиння М15	5	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
2	Машина тонкого волочиння М15	5	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
3	Машина тонкого волочиння М15	5	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
4	Машина тонкого волочиння М15	5	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
5	Машина тонкого волочиння ДХЦ	6	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
6	Машина тонкого волочиння ДХЦ	6	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
7	Машина тонкого волочиння ДХЦ	6	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
8	Машина тонкого волочиння ДХЦ	6	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
9	Машина тонкого волочиння ДХЦ	6	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125

Продовження таблиці 2.4

10	Машина тонкого волочиння ДХПЦ	7	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
11	Машина тонкого волочиння ДХПЦ	7	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
12	Машина тонкого волочиння ДХПЦ	7	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
13	Машина тонкого волочиння УДЗВГ4	8	15	33	АПВ 4x10	5	АЕ2044 63/40
14	Машина тонкого волочиння УДЗВГ4	8	15	33	АПВ 4x10	5	АЕ2044 63/40
15	Машина тонкого волочиння УДЗВГ10	9	15	33	АПВ 4x10	5	АЕ2044 63/40
16	Машина середнього волочиння	10	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
17	Машина середнього волочиння	10	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
18	Машина середнього волочиння	10	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
19	Машина середнього волочиння	10	50	110	АПВ 4x50	5	АЕ2066 160/125
20	Машина тонкого волочиння	11	30	66	АПВ 4x25	5	АЕ2053 100/80
21	Машина тонкого волочиння	11	30	66	АПВ 4x25	5	АЕ2053 100/80

Продовження таблиці 2.4

22	Машина тонкого волочиння	11	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
23	Машина тонкого волочиння	11	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
24	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
25	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
26	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
27	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
28	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
29	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
30	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
31	Машина тонкого волочиння ДХЦ	12	30	66	АПВ 4x25	5	AE2053 100/80
32	Машина тонкого волочиння ЗЛВГ	13	40	88	АПВ 4x50	5	AE2053 100/100

Проводимо аналогічні розрахунки та вибір для всіх споживачів РП-1. Отримані результати представимо у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Розподільча мережа РП-1.

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина l, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Машина грубого волочіння ВМ-13	3	13,2	27	АПВ 4x5	8	АЕ2044 63/31,5
2	Машина грубого волочіння ВМ-13	3	13,2	27	АПВ 4x5	7	АЕ2044 63/31,5
3	Волочильний стан ВСК-13	4	13,2	27	АПВ 4x50	8	АЕ2044 63/31,5

Проводимо аналогічні розрахунки та вибір для всіх споживачів ШП-2. Отримані результати представимо у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподільча мережа ШП-2.

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина l, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
2	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
3	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40

Продовження таблиці 2.6

4	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
5	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40

Проводимо аналогічні розрахунки та вибір для всіх споживачів ШП-3. Отримані результати представимо у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Розподільча мережа ШП-3.

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина l, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
2	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
3	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
4	Крутильна машина ДШЕ-63	15	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
5	Крутильна машина ДШЕ-63А	16	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
6	Крутильна машина ДШЕ-63А	16	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40

Проводимо аналогічні розрахунки та вибір для всіх споживачів ШП-4.
Отримані результати представимо у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Розподільча мережа ШП-4.

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина І, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
2	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
3	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
4	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
5	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
6	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
7	Крутильна машина ДШЕ-63 АМТ	17	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40

Проводимо аналогічні розрахунки та вибір для всіх споживачів ШП-5.
Отримані результати представимо у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Розподільча мережа ШП-5.

№	Назва	Номер по плану	Встановлена потужність, кВт	Розрахунковий струм, Ір А	Марка, число жил та переріз, мм	Довжина l, м	Тип автомату та його струм, І А
1	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
2	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
3	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
4	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
5	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40
6	Крутильна машина ДШЕ-40АЛТ	18	18	40	АПВ 4x16	5	АЕ2044 63/40

2.4 Розрахунок потужності і вибір компенсуючого пристрою

Велика частина промислових підприємств споживає із електричної мережі, крім активної P ще й реактивну Q потужності.

Визначаємо потужність компенсуючого пристрою:

$$Q_{кпр} = P_p \cdot (tg\phi_p - tg\phi_n),$$

де:

$P_p = 664$ кВт – розрахункова активна потужність;

$tg\phi_p = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{649}{664} = 0.98$ - розрахунковий коефіцієнт потужності;

$tg\phi_n = 0,7$ - нормуючий коефіцієнт потужності, заданий енергетичною системою.

$$Q_{кпр} = 664 \cdot (0.98 - 0,7) = 186 \text{ кВАр}$$

По [5] вибираємо потужність комплектного компенсуючого пристрою типу УКРП-0,4-300-20УЗ, ступінь регулювання 20 кВАр.

$$Q_{кп} = 300 \text{ кВАр} > 186 \text{ кВАр}$$

Дані заносимо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10

№	Назва приймачів	Номінальна потужність		K_{ϵ}	cosφ/tgφ	Середнє навантаження		К.м	Розрахункове навантаження			
		п	загальна			P_{cm}	Q_{cm}		P_p	Q_p	S_p	
		шт.	кВт	кВт		кВт	кВАр	кВт	кВАр	кВА		
Група 1												
1	Волоочильні машини	3	13.2	39.6	0.24	0,6/1,32	9.5	12.54				
	Разом по групі	3	13.2	39.6	0.24	0,6/1,32	9.5	12.54	3	1	9.5	13.8
Група 2												
1	Волоочильні машини	38	15-50	1485	0.24	0,6/1,32	356	470				
	Разом по групі	38	15-50	1485	0.24	0,6/1,32	356	470	38	1.3	462	517
Група 3												
1	Крутильні машини	5	18	90	0.17	0,6/1,32	15	20				
	Разом по групі	5	18	90	0.17	0,6/1,32	15	20	5	1	15	22
Група 4												
1	Крутильні машини	6	18	108	0.17	0,6/1,32	18.3	24.1				
	Разом по групі	6	18	108	0.17	0,6/1,32	18.3	24.1	6	3	55	26.5
Група 5												
1	Крутильні машини	7	18	126	0.17	0,6/1,32	21.4	28.2				
	Разом по групі	7	18	126	0.17	0,6/1,32	21.4	28.2	7	2.6	55.6	31
Група 6												
1	Крутильні машини	6	18	108	0.17	0,6/1,32	18.36	24.2				
	Разом по групі	6	18	108	0.17	0,6/1,32	18.36	24.2	6	3	55.1	26.7
	Разом	65	13,2-50	1956.6		0,6/1,32	438.6	579.1	65		652.2	637.0
	Освітлення			13	0.9	0,7 / 1,02					11.7	11.9
	Разом										663.9	648.9
	Потужність КУ										300	
	Потужність ТП										663.9	348.9
												750.0

Разом розрахункове реактивне навантаження для силових споживачів і освітлення з врахуванням компенсуючого пристрою буде становити:

$$Q_p = 648.9 - 300 = 348.9 \text{ кВАр.}$$

Разом розрахункове повне навантаження для силових споживачів і освітлення з врахуванням компенсуючого пристрою буде становити:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{663.9^2 + 348.9^2} = 750 \text{ кВА.}$$

На рис. 2.1 показано значення активної, реактивної та повної потужностей без і з врахуванням компенсуючого пристрою.

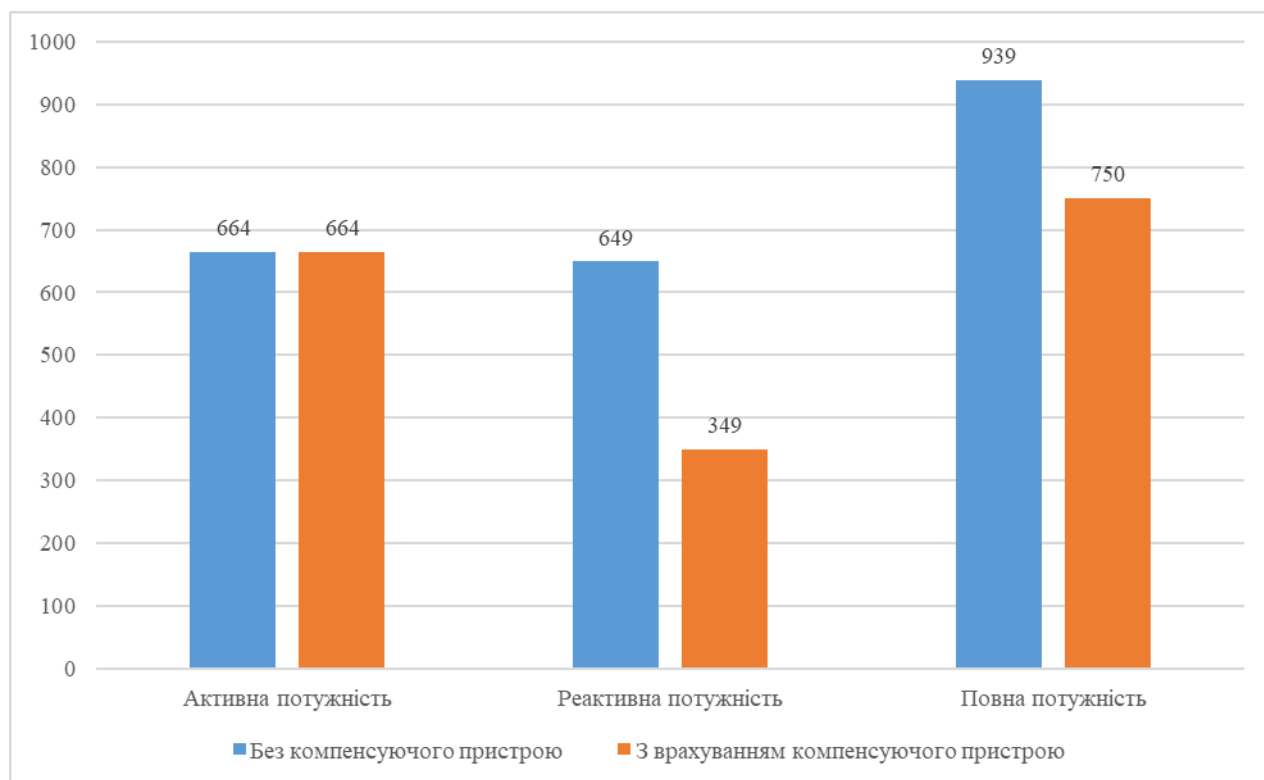


Рис. 2.1 - Значення активної, реактивної та повної потужностей без і з врахуванням компенсуючого пристрою

2.5 Вибір числа та потужності трансформаторів

Головні понижуючі підстанції і цехові ПС виконують із числом силових трансформаторів не більше двох. Але потрібно розглядати варіанти і з одним, і з двома трансформаторами [10, 11, 12].

Споживачі 2-ої категорії електропостачання повинні бути забезпечені резервом, який вводиться автоматично або за рахунок дій чергових.

Для технічного обґрунтування вибору числа та потужності трансформаторів намічаємо два варіанта:

- 1) Один трансформатор $S_{нтр1} = 1000$ кВА;
- 2) Два трансформатори $S_{нтр2} = 2 \cdot 400 = 800$ кВА.

Коефіцієнт завантаження у нормальному режимі роботи [13, 14]:

$$K_{з1} = \frac{S_p}{S_{н.м}} = \frac{750}{1000} = 0,75;$$

$$K_{з2} = \frac{750}{2 \cdot 400} = 0,94.$$

Визначаємо коефіцієнт навантаження у аварійному режимі роботи для кожного варіанту:

1 варіант

$$K_{зав1} = \frac{S_p}{1.4 \cdot ((n-1) \cdot S_{нтр})} = \frac{750}{1.4 \cdot 1000} = 0,536.$$

Під час виходу із ладу трансформатора живлення споживачів цеху електричною енергією проводимо від ТП сусіднього цеху по кабельній лінії 0,4 кВ.

2 варіант

$$K_{зав2} = \frac{S_p}{1.4 \cdot ((n-1) \cdot S_{нтр})} = \frac{750}{1.4 \cdot (2-1) \cdot 400} = 1,339.$$

Так, як $K_{зав2} = 1,339 > K_{зав.н} = 1,2$, то необхідно споживачі маловідповідальні виробництву відключити.

З точки зору технічного обґрунтування по вибору числа та потужності трансформаторів, надійність електропостачання відповідає вимогам.

На основі економічного порівняння приймаємо один трансформатор на 1000 кВА.

Також проведено порівняння двох варіантів:

- 1) Один трансформатор $S_{нтр1} = 1000$ кВА;
- 2) Два трансформатори $S_{нтр2} = 2 \cdot 630 = 1260$ кВА.

Коефіцієнт завантаження у нормальному режимі роботи:

$$K_{31} = \frac{S_p}{S_{н.м}} = \frac{750}{1000} = 0,75;$$

$$K_{32} = \frac{750}{2 \cdot 630} = 0,6.$$

Визначаємо коефіцієнт навантаження у аварійному режимі роботи для кожного варіанту:

1 варіант

$$K_{зав1} = \frac{S_p}{1.4 \cdot ((n-1) \cdot S_{нтр})} = \frac{750}{1.4 \cdot 1000} = 0,536.$$

Під час виходу із ладу трансформатора живлення споживачів цеху електричною енергією проводимо від ТП сусіднього цеху по кабельній лінії 0,4 кВ.

2 варіант

$$K_{зав2} = \frac{S_p}{1.4 \cdot ((n-1) \cdot S_{нтр})} = \frac{750}{1.4 \cdot (2-1) \cdot 630} = 0,85.$$

Так, як $K_{зав2} = 0,85 < K_{зав.н} = 1,2$, то немає необхідно відключати маловідповідальні виробництву споживачі.

З точки зору технічного обґрунтування по вибору числа і потужності силових трансформаторів, надійність електропостачання відповідає вимогам.

На основі економічного порівняння двох варіантів також приймаємо один трансформатор на 1000 кВА.

2.6 Розробка конструкції КТП

КТП-1000 призначені для електропостачання в установках 10/0,4 кВ [15].

До складу підстанції входять:

- пристрій зі сторони високої напруги;
- шафа ВВ-1-У1 для кабельного вводу;
- силовий трансформатор ТМЗ-1000/10

Лінійна схема КТП-1000 представлена в графічній частині.

Підстанція постачається в однострансформаторному виконанні з заземленою і ізольованою нейтраллю на стороні низької напруги.

КТП постачається в заводській упаковці.

РПНН виконані в захисному виконанні (зовнішні двері, бокові листи, дах і підлога виконані з резиноним ущільненням). Для запобігання впливу сонячної радіації в РПНН передбачений подвійний дах з забезпеченням звичайної вентиляції.

Параметри КТП-1000 представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Параметри КТП-1000.

Назва	Параметри
Потужність КТП	1000
$U_{ВН}$, кВ	10
$U_{НН}$, кВ	0,4
Ін.зб.шин, кА	
- ПВН	0,4
- РПНН	0,91
$I_{ес}$ ПВН, кА	
- ввід кабельний	51
$I_{тс}$ ПВН, кА	
- Кабельний ввід	20

2.7 Висновки до Розділу 2

1. Здійснено розрахунок електричних навантажень устаткування цеху і визначено, що $S_p = 922 \text{ кВА}$.
2. Здійснено розрахунок освітлення і обґрунтовано встановлення дугових ртутних ламп ДРЛ-700.
3. Здійснено розрахунок і вибір розподільчої мережі цеху. Це дасть змогу підвищити надійність електроспоживання цеху.
4. Здійснено розрахунок реактивної потужності і обґрунтовано вибір компенсуючого пристрою типу $УКРП - 0,4 - 300 - 20УЗ$ із потужністю 300 кВАр і кроком регулювання 20 кВАр .
5. Обґрунтовано встановлення ТП із одним трансформатором, потужністю 1000 кВА . Коефіцієнт завантаження ПС становить $0,75$.
6. Здійснена реконструкція КТП-1000.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів КЗ

У електроустановках можуть виникати КЗ [9].

Схема зв'язку з електричною системою приведена на рис. 3.1.

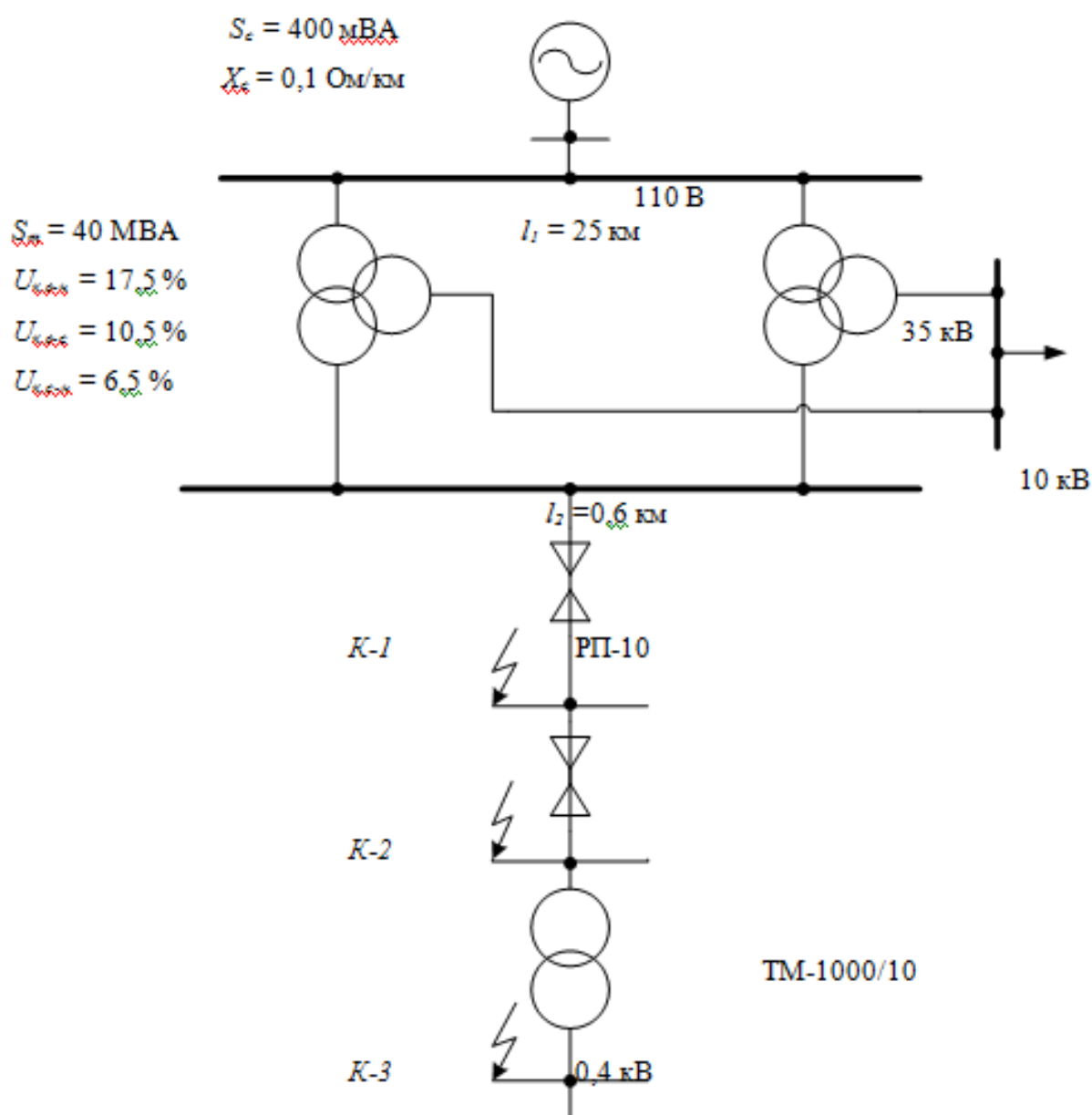


Рис. 3.1 - Схема зв'язку з електричною системою.

Розрахунки опорів елементів схеми (рис. 3.1):

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА};$$

$$U_{\sigma} = U_{c.p.n.} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Напруга (110 кВ) $U_{c.p.n.} = 115 \text{ кВ.}$

$$X_{ол} = 0,4 \text{ Ом/км.}$$

Будуємо схему заміщення короткого замикання, де всі елементи позначені опорами загального виду (рис. 3.2).

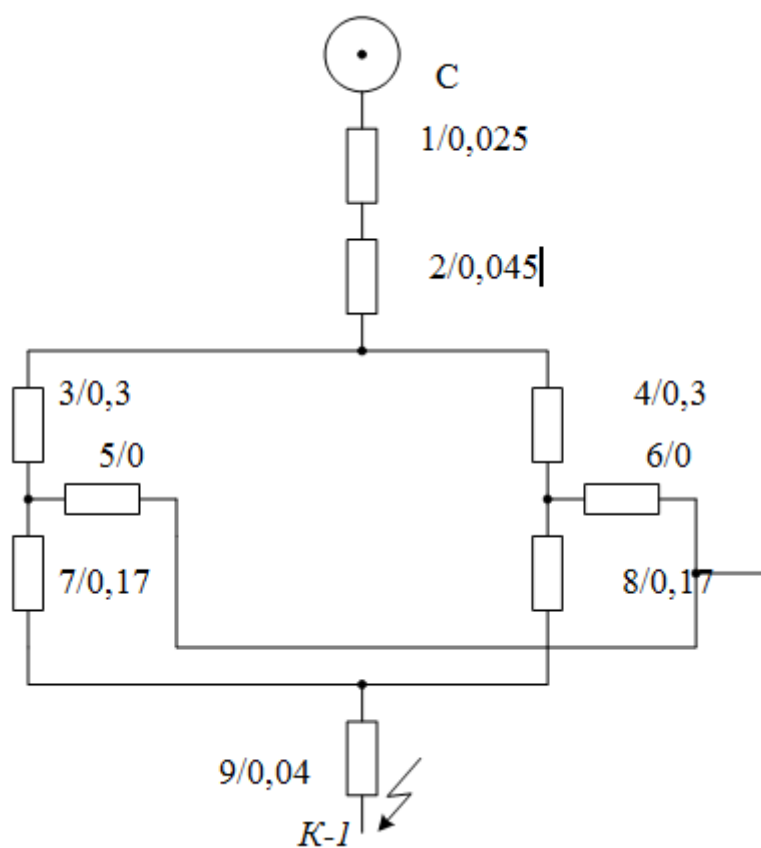


Рис. 3.2 - Схема заміщення короткого замикання.

Опір системи:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_c}{S_{н1c}} = 0,1 \cdot \frac{100}{400} = 0,025.$$

Опір повітряної лінії:

$$U_H = 110 \text{ кВ};$$

$$l = 25 \text{ км};$$

$$X_2 = \frac{X_o \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{cp} \cdot n^2} = \frac{0,4 \cdot 25 \cdot 100}{115^2} = 0,07.$$

Опір обмоток трифазних трансформаторів:

$$U_{кв} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.в-н} - U_{к.с-н}) = 0,5(10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75 \text{ \%};$$

$$U_{кс} = 0,5(U_{к.в-с} + U_{к.с-н} - U_{к.в-н}) = 0,5(10,5 + 6,5 - 17,5) = 0 \text{ \%};$$

$$U_{кн} = 0,5(U_{к.в-н} + U_{к.с-н} - U_{к.в-с}) = 0,5(17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75 \text{ \%};$$

$$X_3 = X_4 = \frac{U_{кв}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{н.т}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,3;$$

$$X_5 = X_6 = 0;$$

$$X_7 = X_8 = \frac{U_{кн}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{н.т}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,17.$$

Опір кабельної лінії:

$$X_{каб} = \frac{l_3 \cdot X_o \cdot S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = \frac{0,4 \cdot 0,08 \cdot 100}{10,5^2} = 0,03;$$

$$X_o = 0,08;$$

$$r_{каб} = \frac{l_2}{\gamma_{ал} \cdot S} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = \frac{400}{32 \cdot 150} \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,07.$$

Результуючий опір:

$$X_{рез} = X_{рез} K - 1 + XK = 0,33 + 0,03 = 0,36;$$

$$r_{рез} = r_{к1} + r_{рез} K - 1 = 0,11 + 0,07 = 0,18;$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + X_{рез}^2} = \sqrt{0,36^2 + 0,18^2} = 0,4.$$

Розрахунковий опір:

$$Z_{роз} = Z_{рез} \cdot \frac{S_c}{S_{\sigma}} = 0,4 \cdot \frac{400}{100} = 1,6 < 3.$$

Так як $Z_{роз} < 3$, то струм КЗ $I_{кз}$ визначаємо по кривим:

$$I'' \neq I_{\infty}; I'' < I_{\infty}; K_{t=0} = 0,74; K_{t=\infty} = 0,6;$$

$$I_1'' = K_{t=0} \cdot I_{н.с} = 0,6 \cdot 22 = 13,2 \text{ кА};$$

$$I_{\infty 1} = K_{t=\infty} \cdot I_{н.с} = 16,3 \text{ кА};$$

$$I_{н.с} = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_{cp}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I'' = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,2 = 2,24 \text{ кА}.$$

Визначаємо струм КЗ:

$$I_{кз} = \sqrt{3} \cdot U_{cp} \cdot I\omega = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 16,3 = 296,44.$$

Визначаємо опір двообмоткового трансформатора, де:

$$S_{н.м} = 10 \text{ кВА};$$

$$\Delta P_{\kappa} = 1,97 \text{ кВт};$$

$$U_{\kappa} = 45 \%;$$

$$r_{*m} = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.м}} = \frac{1,97}{100} = 0,0197 \cdot \frac{400^2}{1000} = 0,4 \text{ МОм};$$

$$X_c = \frac{U_{cp}^2}{S_{\kappa 2}} = \frac{400^2}{296,44 \cdot 10^3} = 0,6 \text{ МОм};$$

$$X_m = \frac{X_{*m} \cdot U_{cp}^2}{S_{н.т}} = \frac{0,04 \cdot 400^2}{1000} = 6,4 \text{ МОм};$$

$$r = r_m = \frac{r_{*m} \cdot U_{cp}^2}{S_{н.т}} = \frac{0,0197 \cdot 400^2}{1000} = 3,15 \text{ МОм};$$

$$X = X_c + X_m = 0,6 + 6,4 = 7 \text{ МОм};$$

$$r = r_m = 3,15 \text{ МОм}.$$

Визначаємо розрахунковий опір:

$$Z = \sqrt{r^2 + X^2} = \sqrt{5,48^2 + 19,77^2} = 20,5 \text{ МОм}.$$

Струм КЗ у точці К-3:

$$I_{к.3} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z} = 3,2 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{y3} = K_{y3} \cdot \sqrt{2} \cdot I_3'' = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,2 = 5,4 \text{ кА.}$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{к3} = \sqrt{3} \cdot I_{\infty} \cdot U_{cp} = \sqrt{3} \cdot 3,2 \cdot 0,4 = 2,21 \text{ МВА.}$$

Дані зводимо у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахункова точка	U_{cp} кВ	I'' кА	I_{∞} кА	i_y кА	S_k МВА
К-1	10,5	15,4	18,5	29,4	336,4
К-2	10,5	13,2	16,3	22,4	296,4
К-3	0,4	13,2	3,2	5,4	2,21

3.2 Вибір обладнання КТП та перевірка на стійкість до дії струмів КЗ

Зі сторони високої напруги (10 кВ) приймаємо ввідну металеву шафу ШВВ-1, укомплектовану вимикачем типу ВНРуп-10/1000-20зп-3УЗ з приводом ПРА-17 і високовольтними запобіжниками типу ПКТ-10. Для безпечного обслуговування в шафі ШВВ-1 змонтований трифазний заземлюючий ніж.

Зі сторони низької напруги (380 В) приймаємо ввідну шафу типу ШНВ-7УЗ, яка комплектується ввідним автоматом типу ВА55-41, двома лінійними типу ВА51-39.

Крім цього КТП комплектується двома лінійними шафами ШНЛ-17УЗ, які укомплектовані автоматами типу ВА51-31 на п'ять відходящих ліній. Всі комірочки відходящих ліній укомплектовані трансформаторами струму.

3.3 Розрахунки та вибір мережі електроживлення

Розрахунок виконуємо на основі таблиці 2.10.

Для живлення ТП від РП-10 застосуємо кабель марки ААБ.

Визначаємо переріз по економічній густині струму:

$$S_{ек} = \frac{I_{розр}}{J_{ек}} = \frac{57,7}{1,4} = 41,2 \text{ мм}^2;$$

$$I_{розр} = \frac{S_{нтр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А};$$

$J_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ (т.1.3.36. Л-1) - економічна густина струму.

З [8] вибираємо кабель ААБГ-10 3х16 з $I_{дон} = 75 \text{ А}$.

Кабель відповідає умові вибору:

$$I_{дон} = 75 \text{ А} > I_p = 57,7 \text{ А}.$$

3.4 Вибір та розрахунки РЗ трансформатора

Згідно вимог ПУЕ [8] для силового трансформатора 1000 кВА приймаємо такі види релейного захисту:

- Струмова відсічка – для захисту кабельної лінії і обмоток ВН трансформатора.
- Максимально-струмовий захист – для захисту при КЗ на стороні 0.4 кВ.
- Захист від однофазних замикань на землю.
- Газовий захист – для захисту трансформатора від пошкодження, що зв'язано з витіканням масла чи інтенсивним виділенням газів в корпусі.

Номінальний струм силового трансформатора:

$$I_{розр} = 57,7 \text{ А}.$$

Вибираємо трансформатори струму ТПЛ 10-0,5/Р-75/5, $n_{мс} = 15$.

Величина струму КЗ:

$$I'_{кз} = I_{кз} \cdot \frac{U_1}{U_2} = 13,2 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,52 \text{ кА} = 520 \text{ А.}$$

Захист виконується на двох реле типу РТ-40 по схемі неповної зірки:

$$K_{cx} = 1;$$

$$K_H = 1,3.$$

Струм спрацювання захисту буде становити:

$$I_{c.з.} = K_H \cdot I'_{кз} = 1,3 \cdot 520 = 676 \text{ А.}$$

Струм спрацювання реле буде становити:

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.з.}}{n_{mc}} = \frac{1 \cdot 676}{15} = 45 \text{ А.}$$

$n_{mc} = 75/5 = 15$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму ТПЛ 10-75/5.

Приймаємо до установки два реле типу РТ-40/50.

Чутливість захисту при короткому замиканні на 10 кВ:

$$K_{\chi} = \frac{I_{к.min}}{I_{c.з.}} = \frac{13244}{676} = 22,7 > 2,$$

де $I_{к1.min} = 0,86I_{к1} = 0,86 \cdot 15400 = 13244 \text{ А.}$

Розрахунок максимально-струмового захисту:

$$I_{c.з.} = \frac{K_H \cdot I_m}{K_{нов}} = \frac{1,2 \cdot 87,7}{0,9} = 11,6 \text{ А,}$$

де $I_m = 1,4I_H = 1,4 \cdot 57,7 = 87,7 \text{ А;}$

$K_{нов} = 0,9$ - коефіцієнт повернення реле струму;

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.з.}}{n_{mc}} = \frac{1 \cdot 11,6}{15} = 7,7 \text{ А.}$$

Приймаємо реле типу РТ-40/10 в кількості 3 шт. і РЧ РЧ-28 з

$$t_{y.p} = 0,5 \text{ с.}$$

Чутливість захисту:

$$K_{\chi} = \frac{I_{к.2.min}}{I_{c.з.}} = \frac{11352}{116} = 97,$$

де $I_{к2.min} = 0,86I'_{к2} = 0,86 \cdot 13200 \text{ кА.}$

Витримка часу:

$$t_{c.3} = 0,5 \text{ с.}$$

Захист від замикання на землю виконуємо застосуванням реле струму типу ТЗА-70 і реле типу РТЗ-51.

Захист від перенавантаження буде становити:

$$I_{c.3.} = \frac{1,05 \cdot I_{nm}}{K_{нов}} = \frac{1,05 \cdot 57,7}{0,9} = 67,3 \text{ А;}$$

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.3.}}{n_{m.c}} = \frac{1 \cdot 67,3}{15} = 4,5 \text{ А.}$$

3.5 Розробка схеми керування, захисту, сигналізації і автоматики (РЗА)

Принципова схема керування базується на ввідному автоматі з електромагнітним приводом дистанційного керування за допомогою ключа управління SA1 (графічна частина).

Схемою передбачено контроль напруги вольтметром PV і трьома амперметрами PA1, PA2, PA3. В окремій шафі розміщені лічильники електричної енергії.

Сигналізація про стан роботи автомата вводу контролюється сигнальними реле КН2 із захистом від однофазних замикань реле струму КА1 і від перенавантаження реле КН4 із реле струму КА2. Стан роботи автомата і сигнальних реле контролюється сигнальними лампами HL1, HL2, HL3.

Захист від однофазних замикань базується від фазного струму навантаження:

$$I_{н.а} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{625}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 950 \text{ А;}$$

$$I_{c.3.} = \frac{K_n \cdot I_{o.n}}{n_{тс} \cdot K_{нов}} = \frac{1,1 \cdot 950}{80 \cdot 0,9} = 14,5 \text{ А;}$$

$$n_{тс} = \frac{I_{н.мс}}{5} = \frac{500}{5} = 100.$$

Приймаємо реле типу РТ-40 із вставкою струму спрацювання:

$$I_{y.p.} = 14,5 \text{ A.}$$

Приймаємо реле часу типу РВ-238 із витримкою часу: $t_{c.з} = 8 \text{ с.}$

Захист від перенавантаження виконуємо на одній фазі з урахуванням довготривалого перенавантаження:

$$I_{перев} = 1,3 \cdot I_H = 1,3 \cdot 950 = 1235 \text{ A;}$$

$$I_{c.p.} = \frac{\kappa_H \cdot I_{перев}}{n_{тт} \cdot \kappa_{нов}} = \frac{1,2 \cdot 1235}{140 \cdot 0,85} = 12,5 \text{ A;}$$

$$n_{тт} = \frac{I_{н.мс}}{5} = \frac{700}{5} = 140.$$

Приймаємо реле типу РТ-40 із вставкою струму спрацювання:

$$I_{y.p.} = 12,5 \text{ A.}$$

Приймаємо реле часу типу РВ-238 із витримкою часу:

$$t_{в.р} = 4 \text{ с.}$$

В графічній частині роботи показано принципову схему керування, захисту, сигналізації і автоматики.

3.6 Вибір елементів схеми РЗА

Для керування (ввімкнення і вимкнення) ввідним автоматом передбачено використання універсального ключа типу ПКУЗ-12А.

Від перенавантаження і однофазних замикань прийняті реле струму захисту типу РТ-40/10.

Реле часу – прийняті реле типу РВ-238.

Сигнальні реле – прийняті реле типу РЕУ11-20.

Сигнальна арматура з лампами на 24 В прийнята типу АМЕ321-221А. Для живлення сигнальних ламп прийнято понижувальний трансформатор типу ОСО-0,25/220/24.

Для живлення кіл керування і сигналізації прийнято автомат типу АП5062МТ.

3.7 Висновки до Розділу 3.

1. Проведено розрахунок струмів КЗ, вибір електричного обладнання ТП та проведено розрахунок і вибір РЗ силового трансформатора. Це дасть змогу забезпечити надійність роботи системи захисту.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Актуальність безпеки життєдіяльності людини

Безпека життєдіяльності (БЖД) – наука, що вивчає проблеми безпечного перебування людини в довкіллі в процесі різних видів її діяльності. Якраз діяльність і вирізняє людину від інших істот. Вона є специфічно людською формою активності, необхідною умовою існування людського суспільства. Форми діяльності різноманітні. Вони охоплюють практичні, інтелектуальні і духовні процеси, які протікають в побуті, громадській, культурній, виробничій, науковій та інших сферах життя [18].

Діяльністю займаються всі – діти, дорослі, люди похилого віку, тому безпека діяльності має відношення до всього людства.

Актуальність дисципліни ще більше зростає у зв'язку зі сталим розвитком людства на базі, що забезпечує його існування, тобто аксіоми про потенційну небезпеку діяльності - кожний вид діяльності є потенційно небезпечний. Ця аксіома справедлива і для бездіяльності, тому що бездіяльна людина ще більше залежить від діяльності іншої людини.

Безпека людини є базовою складовою “сталого людського розвитку” (Sustainable Human Development). Він широко використовується ООН як основна характеристика гуманітарного поступу суспільства. Сталий розвиток людства – це такий розвиток, який веде не тільки до економічного, а й соціального, духовного зростання, що сприяє гуманізації національного менталітету і збагаченню позитивного загальнолюдського досвіду. Основною ознакою, що відрізняє сталий розвиток від усіх інших форм соціального руху і видозміни, є відновлення природного і культурного довкілля, коли не тільки не знищується життєвий потенціал, а й підвищується соціальна відповідальність людей, гуманізуються взаємини, ставлення, реакції. Тому актуальність питань з безпеки життєдіяльності полягає саме у забезпеченні сталого людського гармонійного розвитку людства і природи. Виходячи з концепції сталого розвитку людства

безпеку життєдіяльності найбільш повно можна охарактеризувати як багатопрофільну галузь знань про закони природозберігаючого формування техносфери планети та її збалансованого економічного й суспільного розвитку.

4.2 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок на дільниці цеху.

2.1.1. Порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці, узгодженого з Держнаглядом охорони праці, а також до вимог до електротехнічної обслуги, які містяться в ПТЕ.

2.1.2. Первинний (під час прийняття на роботу) та періодичний (протягом трудової діяльності) медичний огляд працівників проводиться згідно з Положенням про медичний огляд працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 №45, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України за №136/345.

2.1.3. Працівники, що обслуговують електроустановки, зобов'язані знати ці Правила відповідно до займаної посади чи роботи, яку вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з такими вимогами:

1) для одержання групи I, незалежно від посади і фаху, необхідно пройти інструктаж з електробезпеки під час роботи в даній електроустановці з оформленням в журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

Інструктаж з електробезпеки на I групу має проводити особа, відповідальна за електрогосподарство, або, за її письмовим розпорядженням, – особа зі складу електротехнічних працівників з групою III.

Мінімальний стаж роботи в електроустановках і видання посвідчень працівникам з групою I не вимагаються;

2) особам молодшим за 18 років не дозволяється присвоювати групу вище II;

3) для присвоєння чергової групи з електробезпеки необхідно мати мінімальний стаж роботи в електроустановках з попередньою групою, зазначеній у додатку 1 цих Правил;

4) для одержання груп II–III працівники мають:

а) чітко усвідомлювати небезпеку, пов'язану з роботою в електроустановках;

б) знати і уміти застосувати на практиці ці та інші правила безпеки в обсязі, потрібному для роботи, яка виконується;

в) знати будову і улаштування електроустановок;

г) уміти практично надавати першу допомогу потерпілим в разі нещасних випадків, в тому числі застосовувати способи штучного дихання і зовнішнього масажу серця;

5) для одержання груп IV–V додатково необхідно знати компонування електроустановок і уміти організувати безпечне проведення робіт, уміти навчити працівників інших груп Правилам безпеки і наданню першої допомоги потерпілим від електричного струму;

б) для одержання групи V необхідно також розуміти, чим викликані вимоги пунктів Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил, видається посвідчення встановленої додатком 2 до цих Правил форми, яке він зобов'язаний мати при собі під час роботи.

Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.

Посвідчення про перевірку знань видається працівникові комісією з перевірки знань підприємства, організації після перевірки знань і є дійсним тільки після внесення відповідних записів.

Під час виконання службових обов'язків працівник повинен мати з собою посвідчення про перевірку знань. За відсутності посвідчення або за наявності посвідчення з простроченими термінами перевірки знань працівник до роботи не допускається.

Посвідчення про перевірку знань підлягає заміні у випадку зміни посади або за відсутності місця для записів.

Посвідчення про перевірку знань вилучається у працівника комісією з перевірки знань в разі незадовільних знань, керівником структурного підрозділу – в разі закінчення терміну дії медичного огляду.

Посвідчення про перевірку знань складається з твердої обкладинки і блоку сторінок.

2.1.4. Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань цих Правил.

Ті працівники, зайняті виконанням спеціальних видів робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, мають бути навчені безпечному виконанню таких робіт і мати відповідний запис про це у посвідченні з перевірки знань з питань охорони праці.

Перелік робіт з підвищеною небезпекою затверджується керівництвом підприємства.

Сторінки журналу мають бути пронумеровані, прошнуровані і скріплені печаткою підприємства на аркушах формату А4.

Під час перевірки знань групи працівників в один день і за незмінного складу комісії допускається підписувати протокол один раз після перевірки усієї групи екзаменованих у цей день, перевірку знань яких проведено.

В графі 4 зазначається: допускається працівник до роботи в електроустановках до 1000 В, або до і вище 1000 В.

Для інспектувальних працівників і фахівців з охорони праці зазначається: “допускається як інспектувальна особа”.

Відповідальність за оформлення, стан і цілісність журналу перевірки знань покладається на особу, відповідальну за електрогосподарство.

Термін зберігання журналу – 3 роки після останнього запису.

Перевірка знань з технології робіт (правила експлуатації, виробничі інструкції) може провадитися Держенергоспоживнаглядом окремо від перевірки

знань з безпечної експлуатації електроустановок, в цьому разі робиться окремий запис в журналі.

2.1.5. Забороняється допускати до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також з явними ознаками захворювання.

2.1.6. Забороняється виконання розпоряджень та завдань, що суперечать вимогам цих Правил.

2.1.7. Кожний працівник особисто відповідає за свої дії в частині дотримання вимог цих Правил.

У випадку, якщо працівник самостійно не спроможний вжити дійових заходів з усунення виявлених ним порушень Правил, він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника, а у випадку його відсутності – керівника вищого рівня.

2.1.8. В разі нещасних випадків з людьми зняття напруги для звільнення потерпілого від дії електричного струму має бути виконано негайно, без попереднього дозволу.

2.1.9. Працівники, що порушили вимоги цих Правил, усуваються від роботи і несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством.

2.1.10. Працівники, що припустилися порушення вимог цих Правил, без позачергової перевірки знань до робіт в електроустановках не допускаються.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Здійснено розрахунок електричних навантажень устаткування цеху і визначено, що $S_p = 922 \text{ кВА}$.
2. Здійснено розрахунок освітлення і обґрунтовано встановлення дугових ртутних ламп ДРЛ-700.
3. Здійснено розрахунок і вибір розподільчої мережі цеху. Це дасть змогу підвищити надійність електроспоживання цеху.
4. Здійснено розрахунок реактивної потужності і обґрунтовано вибір компенсуючого пристрою типу $УКРП - 0,4 - 300 - 20УЗ$ із потужністю 300 кВАр і кроком регулювання 20 кВАр .
5. Обґрунтовано встановлення ТП із одним трансформатором, потужністю 1000 кВА . Коефіцієнт завантаження ПС становить $0,75$.
6. Здійснена реконструкція КТП-1000.
7. Проведено розрахунок струмів КЗ, вибір електричного обладнання ТП та проведено розрахунок і вибір РЗ силового трансформатора. Це дасть змогу забезпечити надійність роботи системи захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. В.Є. Шестеренко. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 656 с.
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. Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. Orobchuk, B., Sysak, I., Buniak, O., Babiuk, S., Koval, V. In The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023: P. 672-683
7. Сисак, І. М., Іваніга, О. Й., Любка, С. В., & Джуган, Ю. І. (2023). Розрахунок електричного навантажень. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 242-242.

8. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України, - К., 2017.
9. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Релейний захист і автоматика» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання за напрямом 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Ю. В. Володимиров, Д. В. Рум'янцев. – Х.: ХНАМГ, 2012. - 23 с.
10. Бабюк, С. М., Клебан, К. М., & Танасійчук, В. В. (2021). Шляхи підвищення надійності електропостачання. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 5-6.
11. Буняк, О. А., & Курочкін, Д. О. (2017). Забезпечення системи гарантованого електропостачання підприємства. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 3, 93-93.
12. Бацюра, Є. В., Шинькар, Р. І., Ухін, А. Р., Костецький, П. Б., Осадчук, С. В., & Сисак, І. М. (2021). Забезпечення надійності системи електропостачання промислових об'єктів. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 9-10.
13. Купчик, В. О., Сердюк, Т. Т., Головачук, Г. І., Волосинецький, Р. Б., Мовчан, Л. Т., & Сисак, І. М. (2022). Підвищення надійності та пропускну здатності трансформаторних підстанцій. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 80-81.
14. Бабанін, Н. В., Сисак, І. М., Гапонюк, А. В., & Максимчук, О. М. (2017). Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних

технологій “, 3, 89-89.

- 15.Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с.
- 16.Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
- 17.Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
- 18.Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.