

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

До захисту допущено

кафедрою електротехніки та електроенергетики протокол № _____ від _____

завідувач кафедри _____ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Проектування СЕП вузла навантаження конверторного цеху металургійної
промисловості
(тема роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

Здобувач _____ Олексій ДОНЕЦЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра Електротехніки та електроенергетики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Артем ЧЕРНЮК

(ім'я, прізвище)

(підпис)

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

ДОНЕЦЬ Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Спеціальність (спеціалізація) 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності)
електромеханіка»

Освітня програма Електричні станції, мережі та системи
(назва освітньої програми)

1. Тема роботи: Проектування СЕП вузла навантаження конверторного цеху
металургійної промисловості

керівник роботи Бровко Костянтин Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом по Університету від «15» грудня 2025 року,

№ 4801-5/4400

2. Строк подання здобувачем роботи: «20» червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес, характеристика
електроприймачів, кількість та потужність електроприймачів напругою до 1 кВ

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Загальна характеристика
технологічного процесу проєктованого об'єкта; Розрахунок електричних
навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розміщення цехових трансформаторів
на площі цеху; Вибір схеми живлення цехових трансформаторів; Вибір схеми

внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ; Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань); Вибір марки і перетину струмоведучих частин; Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ; Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП; Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

5. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика технологічного процесу проєктованого об'єкта		
2	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ		
3	Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
4	Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів		
5	Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ		
6	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху		
7	Вибір схеми живлення цехових трансформаторів		
8	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою		
9	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)		
10	Вибір марки і перетину струмоведучих частин		
11	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ		
12	Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП		
13	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження		

6. Дата видачі завдання: «__» _____ 2026 року

Здобувач вищої освіти _____ Олексій ДОНЕЦЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

У бакалаврській роботі розглянуто питання проектування системи електропостачання вузла технологічного обладнання конверторного цеху підприємства металургійної промисловості.

Об'єкт дослідження – система електропостачання конверторного цеху підприємства металургійної промисловості.

Предмет дослідження – процеси проектування, розрахунку та оптимізації системи електропостачання вузла технологічного обладнання конверторного цеху, зокрема визначення електричних навантажень, вибір схеми електропостачання, силового обладнання, засобів компенсації реактивної потужності та забезпечення надійності й енергоефективності роботи системи.

В процесі виконання роботи було проведено аналіз технологічного процесу цеху та визначено категорійність електроспоживачів за ступенем надійності електропостачання.

На основі вихідних даних виконано розрахунок електричних навантажень методом впорядкованих діаграм, визначено максимальні та середні навантаження окремих груп електроприймачів. Проведено вибір кількості та потужності силових трансформаторів, виконано розрахунок і вибір перерізів кабельних ліній та струмоведучих елементів системи електропостачання.

В роботі здійснено вибір схеми електропостачання цеху, розраховано струми короткого замикання та підібрано комутаційно-захисне обладнання відповідно до умов надійності та безпеки експлуатації. Також виконано розрахунок компенсації реактивної потужності з метою підвищення коефіцієнта потужності та зниження втрат електроенергії.

Ключові слова: електропостачання, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, компенсація реактивної потужності, електроенергія, електроприймачі, енергоефективність, коротке замикання, електробезпека.

ABSTRACT

The bachelor's thesis considers the issue of designing the power supply system of the technological equipment unit of the converter shop of a metallurgical industry enterprise.

The object of the study is the power supply system of the converter shop of a metallurgical industry enterprise.

The subject of the study is the processes of designing, calculating and optimizing the power supply system of the technological equipment unit of the converter shop, in particular, determining electrical loads, choosing a power supply scheme, power equipment, reactive power compensation means and ensuring the reliability and energy efficiency of the system.

In the process of performing the work, an analysis of the technological process of the shop was carried out and the categorization of electricity consumers was determined by the degree of reliability of electricity supply.

Based on the initial data, the calculation of electrical loads was performed using the method of ordered diagrams, the maximum and average loads of individual groups of electrical receivers were determined. The number and power of power transformers were selected, the calculation and selection of cross-sections of cable lines and current-carrying elements of the power supply system were performed.

The work includes the selection of the power supply scheme for the workshop, the calculation of short-circuit currents and the selection of switching and protective equipment in accordance with the conditions of reliability and safety of operation. The calculation of reactive power compensation is also performed in order to increase the power factor and reduce electricity losses.

Keywords: power supply, electrical loads, transformer substation, reactive power compensation, electricity, electrical receivers, energy efficiency, short circuit, electrical safety.

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	
ВСТУП.....	
1 Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкта.....	
2 Електричні розрахунки.....	
2.1 Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	
2.2 Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	
2.2.1 Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів.....	
2.2.2 Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ.....	
2.3 Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху.....	
2.4 Вибір схеми живлення цехових трансформаторів.....	
2.5 Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ.....	
2.6 Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань).....	
2.7 Вибір марки і перетину струмоведучих частин.....	
2.8 Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ.....	
2.9 Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП.	
2.10 Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження.....	
3 Охорона праці.....	
ВИСНОВОК	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ							
					Проектування СЕП вузла навантаження конверторного цеху металургійної про-мисловості	Лім.			Маса		Масштаб	
									1		1 : 1	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Арк.			3		Аркушів	
Розроб.	Донець											
Перевір.	Бровко											
Т. Контр.												
Реценз.												
Н. Контр.					ар ДЕА-Е22							
Затверд.		Чернюк										

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕП	—	електроприймач
СЕП	—	система електропостачання
ТП	—	трансформаторна підстанція
КТП	—	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	—	підстанція
ГЗП	—	головна знижувальна підстанція
ПГВ	—	підстанція глибокого вводу
КРП	—	компенсація реактивної потужності
ЯЕЕ	—	якість електричної енергії
ДЖ	—	джерело живлення
ККУ	—	комплектна конденсаторна установка
ДРП	—	джерело реактивної потужності
РП	—	реактивна потужність
КУ	—	конденсаторна установка

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Головним призначенням дипломного проєкту є здобуття практичних навичок самостійного розв'язання складних інженерних задач у сфері внутрішньоцехового електропостачання із застосуванням сучасних енергозберігаючих підходів в електроенергетиці.

Метою виконання роботи є формування у студента комплексу знань і вмінь, необхідних для проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання з урахуванням принципів створення сучасних електричних мереж промислових підприємств. У процесі роботи студент набуває досвіду використання технічної та довідкової літератури, чинних нормативних документів і типових проєктних рішень.

За сучасних умов розвитку енергетики та економіки особливої ваги набуває питання раціонального використання енергоресурсів. Значна кількість підприємств працює з неповним завантаженням виробничих потужностей, що зумовлює економічні втрати, зокрема через простой обладнання та зменшення обсягів випуску продукції.

Подальший розвиток промисловості та зростання потреб споживачів обумовлюють необхідність технічного переоснащення виробництва із впровадженням енергоефективного обладнання, здатного забезпечити високу продуктивність. Тому проєктування раціональної та економічно обґрунтованої системи електропостачання підприємства є надзвичайно актуальним і потребує комплексного підходу, спрямованого на досягнення оптимальних показників за мінімальних витрат із забезпеченням надійності, енергоефективності та належної якості електроенергії. Таким чином, ключовим завданням проєкту є розробка внутрішньоцехової електричної мережі, що відповідатиме вимогам раціональної експлуатації електрообладнання, зниження втрат під час перетворення та розподілу електроенергії, скорочення збитків від недопостачання, підвищення надійності електропостачання та покращення показників якості електричної енергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Метою дослідження особливостей технологічного процесу є визначення можливих втрат у разі припинення електропостачання проєктованого об'єкта. З урахуванням величини очікуваних збитків встановлюється категорія електроприймачів за рівнем необхідної надійності та безперервності електроживлення. Це дає змогу обґрунтовано визначити кількість і тип джерел живлення, обрати раціональну схему живильних та розподільчих мереж, а також прийняти рішення щодо доцільності застосування засобів мережевої автоматики.

Схему розташування обладнання в межах цеху наведено на рис. 1.1.

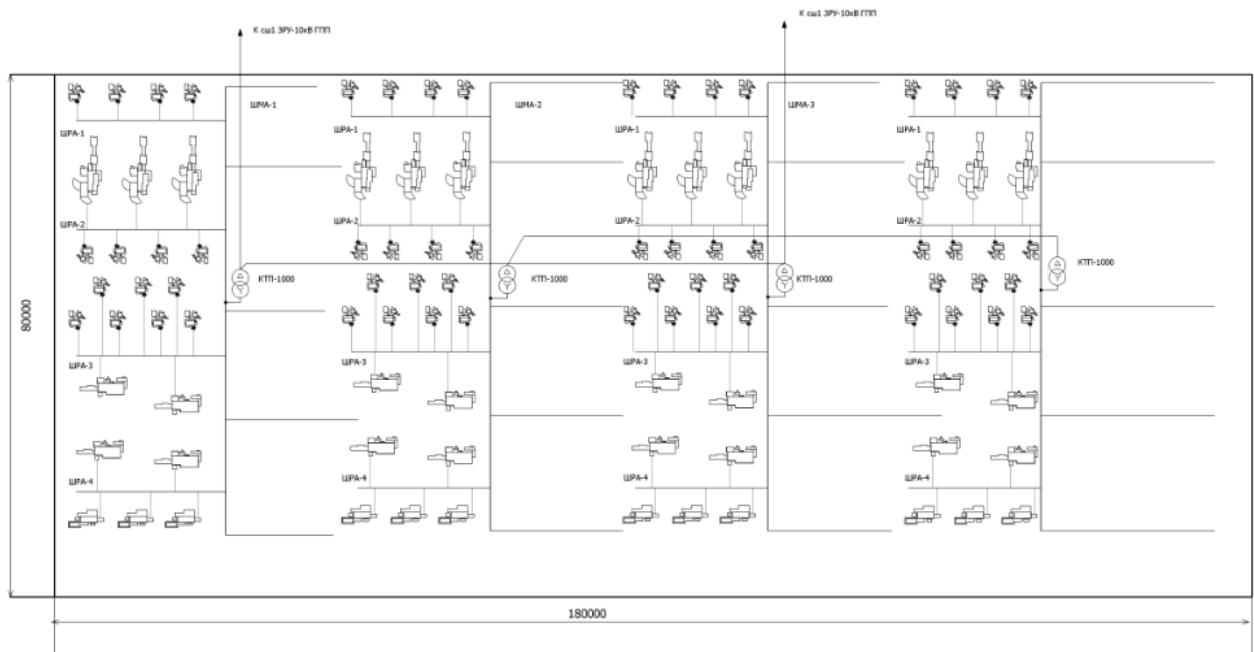


Рис. 1.1. Ситуаційний план конв'єрторного цеху металургійної промисловості

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Електричні навантаження характеризуються значеннями потужності (P , кВт; Q , квар) або струму (I , А), які змінюються в часі відповідно до певних закономірностей.

На підставі результатів розрахунку навантажень визначають основні параметри елементів системи електропостачання (СЕП): кількість і номінальну потужність силових трансформаторів на різних рівнях, характеристики комутаційних апаратів відповідних класів напруги, а також перерізи струмопровідних частин.

Точність визначення очікуваних навантажень суттєво впливає на техніко-економічні показники проекрованої СЕП. Завищені значення спричиняють зайві капітальні витрати, тоді як занижені можуть призвести до перевантаження обладнання та порушення стійкості роботи електроустановок.

З урахуванням електричної віддаленості розрахункової ділянки, тобто кількості ступенів трансформації між цеховими підстанціями та основними джерелами живлення (шинами 6(10) кВ головної понижувальної підстанції або підстанції глибокого вводу), розрахунок очікуваних навантажень виконується відповідно до методики, наведеної у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень».

У даному проекті використовується метод упорядкованих діаграм, який є основним під час технічного та робочого проектування систем електропостачання.

Відповідно до цього методу розрахункове активне навантаження на всіх рівнях мережі (з урахуванням трансформаторів і перетворювачів) визначається за формулою:

$$P_p = K_p \cdot \sum P_{cm} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p , визначається довідково як функція ефективної кількості електроприймачів n_e *Кі гр.взв* та зваженого групового коефіцієнта використання $K_{в гр.взв}$:

$$K_p = f(n_e, K_{в гр.взв}). \quad (2.2)$$

1. Відповідно до вихідних даних електроприймачі цеху об'єднують у характерні групи (з однаковими значеннями коефіцієнта використання та коефіцієнта активної потужності $\cos \phi$).

2. Паспортні дані окремих груп електроприймачів, які працюють у повторно-короткочасному режимі (зварювальні машини шовного зварювання й підйомно-транспортне обладнання), перераховують до номінальної потужності в кВт за формулою:

$$P_n = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \text{ кВт}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$P_H = 630 \cdot \sqrt{0,4} = 398,4, \text{ кВт}$$

3. Складаємо встановлені потужності вузла:

$$P_{H_{\Sigma}} = 1000 + 1650 + 1100 + 2200 + 150 + 398,45 + 490 + 650 = 7638,45, \text{ кВт}$$

4. По кожній характерній групі ЕП визначаємо середнє змінне навантаження за найбільш завантажену зміну:

5. Складаємо середнєзміннє навантаження по вузлу:

$$P_{см_1} = P_{H_1} \cdot K_{H_1} = 1000 \cdot 0,22 = 220, \text{ кВт}$$

$$P_{см_2} = P_{H_2} \cdot K_{H_2} = 1650 \cdot 0,22 = 363, \text{ кВт}$$

$$P_{см_3} = P_{H_3} \cdot K_{H_3} = 1100 \cdot 0,65 = 715, \text{ кВт}$$

$$P_{см_4} = P_{H_4} \cdot K_{H_4} = 2200 \cdot 0,65 = 1430, \text{ кВт}$$

$$P_{см_5} = P_{H_5} \cdot K_{H_5} = 150 \cdot 0,18 = 27, \text{ кВт}$$

$$P_{см_6} = P_{H_6} \cdot K_{H_6} = 398,45 \cdot 0,18 = 71,72, \text{ кВт}$$

$$P_{см_7} = P_{H_7} \cdot K_{H_7} = 490 \cdot 0,3 = 147, \text{ кВт}$$

$$P_{см_8} = P_{H_8} \cdot K_{H_8} = 650 \cdot 0,6 = 390, \text{ кВт}$$

$$P_{см_Σ} = 220 + 363 + 715 + 1430 + 27 + 71,72 + 147 + 390 = 3363,7, \text{ кВт}$$

$$Q_{см_1} = P_{см_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 220 \cdot 1,33 = 292,6, \text{ квар}$$

$$Q_{см_2} = P_{см_2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 = 363 \cdot 1,33 = 482,8, \text{ квар}$$

$$Q_{см_3} = P_{см_3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 = 715 \cdot 0,75 = 536,25, \text{ квар}$$

$$Q_{см_4} = P_{см_4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 = 1430 \cdot 0,75 = 1072,5, \text{ квар}$$

$$Q_{см_5} = P_{см_5} \cdot \operatorname{tg} \varphi_5 = 27 \cdot 1,978 = 53,5, \text{ квар}$$

$$Q_{см_6} = P_{см_6} \cdot \operatorname{tg} \varphi_6 = 71,72 \cdot 1,978 = 141,9, \text{ квар}$$

$$Q_{см_7} = P_{см_7} \cdot \operatorname{tg} \varphi_7 = 147 \cdot 2,679 = 393,9, \text{ квар}$$

$$Q_{см_8} = P_{см_8} \cdot \operatorname{tg} \varphi_8 = 390 \cdot 1,02 = 397,8, \text{ квар}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{cm_ \Sigma} = 292,6 + 482,8 + 536,25 + 1072,5 + 53,5 + 141,9 + 393,9 + 397,8 = 3371,3, \text{квар}$$

6. Визначаємо середнєважений (груповий) коефіцієнт використання по вузлу навантаження:

$$K_{grp} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_i} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{ef} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{ni} \right]^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном}^2} = \frac{2 \cdot 7638,4}{300} = 50,9$$

8. По значенням групового коефіцієнту використання і ефективного числа ЕП визначаємо значення коефіцієнту розрахункового навантаження K_P .

$$K_P = 0,72$$

9. Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

$$P_p = K_P \cdot \sum_{i=1}^m P_{cm_i} = 0,72 \cdot 3363,7 = 2421,9, \text{кВт}$$

10. Враховуючи особливість споживання реактивної потужності ЕП, яка мало залежить від завантаження ЕП активною потужністю приймаємо:

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cm_i} = 3371,3, \text{квар}$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2421,92^2 + 3371,32^2} = 4151,1, \text{кВА}$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 8000 \cdot 10^{-3} = 160, \text{кВт}$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{p.o} = P_{н.о} \cdot K_{c.o} \cdot K_{ппа} = 160 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 167, \text{квар}$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \tg \phi = 167 \cdot 0,33 = 55, \text{квар}$$

14. Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності складаються і вносять до відповідних граф табл. 1.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП

№п/п	Найменування характеристик груп ЕП	Кількість груп ЕП	Паспортні дані ЕП в кВт		Номинальна потужність характеристик груп ЕП	Коефіцієнт т. вик. Ки	cos φ	tg φ	Середньозважене навантаження за найбільш навантаженою зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, Ір, А
			Одине ЕП Рн, міні/Рн, макс, кВт	Загальна Рзап, кВт					Рном, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Привід рольганів	320	5 80	1000	1000,00	0.1-0.3	0.6		220	292.6	-	-	-	-	-	-
2	Привід нахилу міксера	90	10 120	1650	1650,00	0.22	0.6		363	462.8	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	65	1 50	1100	1100,00	0.7	0.8	0.7 5	715	536.2 5	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	40	10 300	2200	2200,00	0.7	0.8	0.7 5	1430	1072. 5	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	25	5 30	300	150,00	0.18	0.4 5	1.9 8	27	53.5	-	-	-	-	-	-
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5 80	630	398.45	0.18	0.4 5	1.9 8	71.72	141.9	-	-	-	-	-	-
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	40	10 50	1400	490,00	0.3	0.3 5	2.6 8	147	393.9	-	-	-	-	-	-
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	20	3 50	650	650,00	0.6	0.7	1.0 2	390	397.8	-	-	-	-	-	-
9	Разом силові ЕП	775	-	7638.45	-	-	-	-	33363. 7	3371. 3	0.44	0.72	2421.9	3371.3	4151.1	-
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	8000	-	-	20,00	-	-	-	-	-	-	-	167	55	-	-
11	Всього по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2588. 9	3428. 3	4294. 4	6806.7

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ

Сумарна розрахункова потужність ККУ напругою до 1 кВ визначається по мінімуму приведених витрат двома послідовними розрахунковими етапами:

- вибором економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП), тобто визначення потужності ККП – 0,38 кВ, що забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів, $Q_{нк1}$, квар;
- визначення додаткової потужності ККУ – 0,38 кВ в цілях оптимального зниження втрат в трансформаторах цехових ТП і мереж, що живлять їх, напругою вище 1 кВ, $Q_{нк2}$, квар, викликаних перетіканнями РП через цехові ТП.

Сумарна реактивна потужність ККУ – 0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар} \quad (2.3)$$

де $Q_{нк1}$ і $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ – 0,38 кВ, визначаємо на двох вказаних етапах розрахунку.

Сумарна потужність ККУ – 0,38 кВ розподіляється між окремими трансформаторами цехових ТП пропорційно їх реактивної потужності.

2.2.1. Визначення потужності компенсуючи пристроїв за умови вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір числа і потужності цехових трансформаторів здійснюється одночасно з вибором засобів компенсації реактивній потужності на основі техніко-економічних розрахунків, виходячи з питомої щільності навантаження, активного розрахункового навантаження і інших чинників, що обумовлюються технічними умовами.

Вибір потужності цехових трансформаторів здійснюється по питомій щільності навантаження цеху:

$$\gamma = \frac{Sp}{F}, \text{ кВА/м}^2 \quad (2.4)$$

і повному розрахунковому навантаженню вузла, кВА. При питомій щільності більше 0,2 – 0,3 кВА/м² і сумарному навантаженню більше 3000 – 4000 кВА доцільно приймати цехові трансформатори потужністю 1600 – 2500 кВА. При питомій щільності і сумарному навантаженні нижче вказаних значень приймаються трансформатори потужністю 400 – 1000 кВА.

Для цехових трансформаторних підстанцій зазвичай рекомендують такі коефіцієнти завантаження:

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- для цехів із переважанням споживачів 1-ї категорії за умови застосування двотрансформаторних підстанцій – 0,62-0,7;
- для цехів із переважанням споживачів 2-ї категорії, коли використовуються двотрансформаторні підстанції з взаємним резервуванням трансформаторів, – 0,7-0,8;
- для цехів із переважанням споживачів 3-ї категорії за можливості залучення централізованого трансформаторного резерву, а також для цехів суто з навантаженням 3-ї категорії – 0,9-0,95.

Оскільки дипломний проєкт передбачає розрахунок внутрішньоцехової системи електропостачання виробничого корпусу певної галузі, вузол навантаження може бути віднесений як до 1-ї, так і до 2-ї категорії за ступенем безперебійності живлення.

Електроприймачі 1-ї категорії живляться від двох незалежних джерел; перерва в електропостачанні допускається лише на час спрацювання автоматичного введення резерву (АВР). Електроприймачі 2-ї категорії також отримують живлення від двох незалежних джерел, однак перерва можлива на час, необхідний для ручного перемикавання на резерв.

Для живлення споживачів 1-ї та 2-ї категорій доцільно встановлювати одностансформаторні цехові підстанції напругою 10(6)/0,4(0,23) кВ за умови резервування потужності через перемички на нижчій напрузі, пропускна здатність яких дозволяє забезпечити найвідповідальніші приймачі.

Використання одностансформаторних підстанцій дає змогу максимально наблизити їх до центрів електричних навантажень, що скорочує шлях транспортування електроенергії та сприяє певній її економії. Двотрансформаторні цехові підстанції слід застосовувати за зосереджених навантажень, при високій питомій щільності навантаження (кВА/м²) або за значного переважання споживачів 1-ї категорії.

Електроприймачі напругою до 1 кВ є значними споживачами реактивної потужності. До того ж вони електрично віддалені від основних джерел живлення (енергосистеми або місцевих ТЕЦ) кількома рівнями трансформації. Тому передавання реактивної потужності мережею до 1 кВ призводить до додаткових витрат: збільшення перерізів струмоведучих частин, зростання кількості (або потужності) цехових трансформаторів, підвищення втрат потужності в елементах системи електропостачання. Цих витрат можна уникнути або істотно зменшити, якщо передбачити встановлення компенсувальних установок безпосередньо в мережі до 1 кВ.

Як джерела реактивної потужності використовуються комплектні конденсаторні установки поперечного ввімкнення. Некомпенсована реактивна потужність покривається за рахунок перетікання реактивної потужності QT із шин напругою понад 1 кВ. На основі техніко-економічних розрахунків визначають оптимальне співвідношення між реактивною потужністю, що генерується джерелами реактивної потужності на напрузі до 1 кВ, і реактивною потужністю, яка надходить із мережі вищої напруги.

Порядок вибору кількості цехових трансформаторів полягає ось у чому. Для кожної технологічно зосередженої групи трансформаторів однакової потужності

					ET та EE 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

мінімальну їх кількість, необхідну для покриття активного максимального розрахункового навантаження, обчислюють за формулою:

$$N_{т.мин} = \frac{Pr.c. + Pr.o.}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (2.5)$$

де $Pr.c. + Pr.o.$ – розрахунковий максимум активного навантаження (від силових і освітлювальних ЕП) даної групи трансформаторів;

β – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$S_{н.тр.}$ – номінальна потужність трансформаторів;

ΔN – добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

Примітка: змінюючи коефіцієнт завантаження трансформаторів в межах, що рекомендуються (0,7 – 0,8), слід при обраній номінальній потужності трансформаторів отримати мінімально можливу величину ΔN . Це забезпечить максимальне використання встановленої потужності трансформаторів по активній складовій та зниження перетоків реактивної потужності через цехові трансформатори.

Економічно оптимальне число трансформаторів буде визначатися, як:

$$N_{опт} = N_{т.мин} + m, \text{ шт} \quad (2.6)$$

де m - додаткове число трансформаторів, яке визначається по довідковим даним $N_{т.мин}$ і ΔN .

При визначенні m по кривих довідкової літератури приймаємо допущення:

$$z_{пс}^* = 0,5; \quad z_{пс}^* = \frac{(z_{нк} - z_{вк})}{z_{тп}} \quad (2.7)$$

де $z_{нк}$, $z_{вк}$, $z_{тп}$ - відповідно усереднені витрати на КУ – 0,38 кВ, КУ- 6(10) кВ, цехові ТП.

При відсутності достовірних вартісних показників ККУ – 0,38 кВ, ККУ - 6,3(10,5) кВ, а також ТП для практичних розрахунків допускається приймати $z_{пс} = 0,5$.

По обраному економічно оптимальному числу трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність, квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_{т} = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр.})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2}, \text{ квар} \quad (2.8)$$

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), квар, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів, визначається:

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m, \text{ квар} \quad (2.9)$$

Примітка підкорінний вираз не повинен мати знак «-». Підкорінний вираз зі знаком «+» забезпечується зміною коефіцієнту завантаження цехових трансформаторів таким чином, щоб число, яке зменшується було більше того числа, з якого віднімається.

Потужність НБК, яка приходить на один трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт}}, \text{ квар} \quad (2.10)$$

По цьому значенні вибирають стандартні (довідкові) значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{НК1.СПР}$ за довідковими даними.

Тоді сумарна потужність комплектних конденсаторних установок для даної групи оптимального числа цехових трансформаторів складе:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{опт} \cdot Q'_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (2.11)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ складе:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (2.12)$$

2.2.2. Визначення додаткової потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, які спричинені перетоками РП

Виходячи з результатів розрахунку електричних навантажень напругою до 1 кВ, маємо наступні значення навантажень (силове і освітлювальне):

$$P_{P\Sigma} = 2588,9$$

$$Q_{P\Sigma} = 3426,3$$

1. Вибираємо із шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1000 \text{ кВА}$

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т,мін} = \frac{2588,9}{0,65 \cdot 1000} + 0,2 = 4 \text{ шт}$$

3. Економічно оптимальне число трансформаторів:

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_{opt} = N_{m, \min} + m, \text{ шт} \quad (2.13)$$

За довідковими даними визначити додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді

$$N_{opt} = N_{m, \min} + m = 4 \text{ шт}$$

4. Найбільша реактивна потужність, квар, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2}$$

$$= \sqrt{(0,65 \cdot 4 \cdot 1000)^2 - 2588,9^2} = 239,9, \text{квар}$$

5. Сумарна потужність НБК, квар, для даної групи трансформаторів, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів:

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m$$

$$= 3426,3 - 239,9 = 3186,4, \text{квар}$$

6. Потужність НБК, яка приходить на один цеховий трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{opt}}$$

$$= \frac{3186,4}{4} = 796,6, \text{квар}$$

По цій величині вибираємо із довідкових даних типорозмір ККУ-0,38 кВ: 2-ККУ-0,38-400-150

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок буде складати:

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{opt} \cdot Q'_{НК1.СПР}$$

$$= 4(2 \cdot 400) = 3200, \text{квар}$$

7. Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ буде складати:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР}$$

$$= 3426,3 - 3200 = 226,3, \text{квар}$$

8. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{нк2}$, з метою оптимального зниження втрат:

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$226,3 - 0,5 \cdot 4 \cdot 1000 = -1773,7, \text{квар}$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за довідковими даними, виходячи зі значень K_1 и K_2

$$K_1=12$$

$$K_2=7$$

$$\gamma=0,5$$

Так як $Q_{HK2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність Q_{HK2} приймається рівною нулю.

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Розташування цехових трансформаторів обумовлюється рівнем щільності електричних навантажень, схемою розміщення технологічного обладнання в межах цеху (з урахуванням можливості встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності), а також мікрокліматичними умовами, що формуються особливостями технологічного процесу.

Узагальнений практичний досвід проектування, монтажу та експлуатації цехових трансформаторних підстанцій разом із результатами наукових досліджень дає змогу сформувати обґрунтовані рекомендації щодо вибору місця їх встановлення. Насамперед доцільним є застосування комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які можуть монтуватися індустріальним способом незалежно від конструктивних рішень будівлі.

Розміщення КТП максимально близько до центрів електричних навантажень сприяє зменшенню витрат кольорових металів та зниженню втрат електроенергії у внутрішньоцехових мережах. Використання децентралізованої системи підстанцій, розташованих поблизу споживачів, дозволяє оптимізувати параметри електропостачання ще на стадії проектування.

Під час вибору місця встановлення КТП необхідно враховувати величину розрахункового навантаження, умови навколишнього середовища та вимоги щодо надійності й безперервності електропостачання. Залежно від умов експлуатації та характеру виробничого процесу підстанції можуть бути розміщені безпосередньо в цеху, вбудовані, прибудовані або окремо розташовані.

Для цеху металообробки, відповідно до методичних рекомендацій, доцільним є внутрішньоцехове розміщення трансформаторів із розташуванням підстанцій у зонах, що не перешкоджають роботі мостових кранів та іншого підйомно-транспортного обладнання.

У виробництвах, де відсутні пересувні механізми, можливе підведення напруги понад 1 кВ безпосередньо до точок споживання, що дає змогу скоротити довжину мереж нижчої напруги, зменшити витрати на їх монтаж і знизити втрати електроенергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

З метою резервування навантаження у разі відмови одного з трансформаторів передбачається встановлення перемичок у мережах низької напруги. Їх пропускна здатність зазвичай становить 20–30 % номінальної потужності трансформатора при виконанні на кабелях і до 60 % – при використанні шинопроводів.

Комплектні підстанції з двома трансформаторами доцільно застосовувати за умов високої щільності навантажень (кВА/м²) або за наявності електроприймачів І категорії. Потужність трансформаторів у таких підстанціях вибирають з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до ДСТУ EN 60076-7:2016 (ІЕС 60076-7:2018) «Силові трансформатори. Частина 7. Керівництво з навантаження масляних та сухих трансформаторів».

У цехових підстанціях застосовують трифазні трансформатори з первинною напругою 6–10 кВ з природним масляним або повітряним охолодженням, а також трансформатори, заповнені негорючими рідинами. Широко використовуються й сухі трансформатори з природним повітряним охолодженням.

У складі КТП зазвичай встановлюють закриті трансформатори типів ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ, що мають герметичний кожух з азотною подушкою, яка створює невеликий надлишковий тиск і забезпечує можливість їх безпечного розміщення всередині виробничих приміщень.

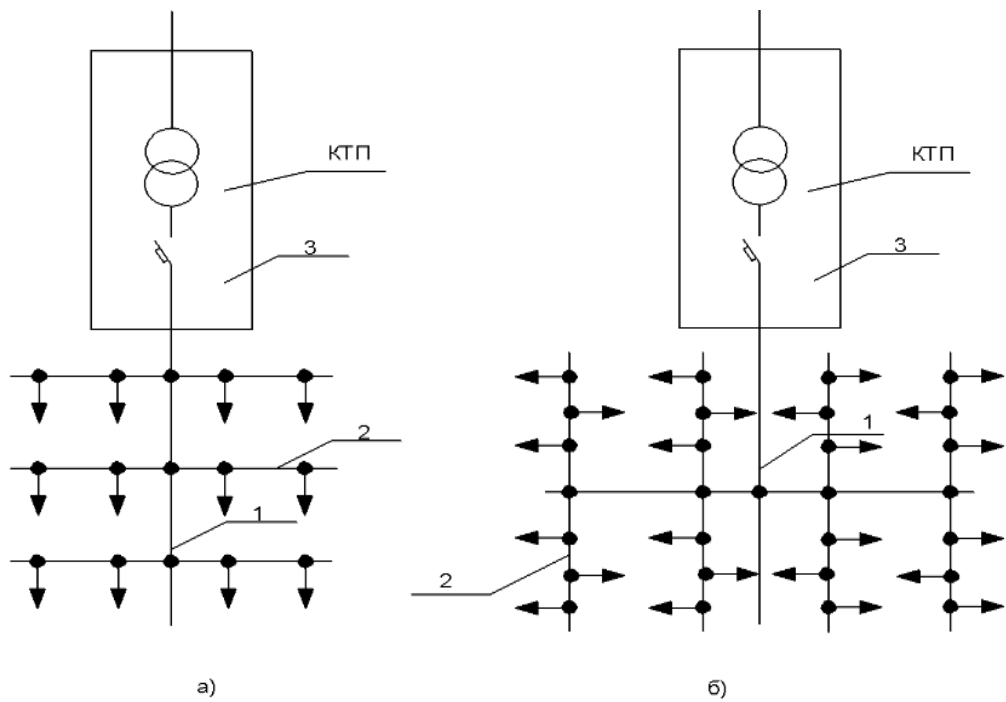
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема електроживлення цехових трансформаторів визначається кількістю встановлених трансформаторів, їх просторовим розміщенням у межах цеху та категорією електроприймачів, які вони живлять. Відповідно до «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств» доцільно передбачати живлення цехових трансформаторів від подвійних наскрізних магістралей.

У разі застосування трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА в одній магістралі рекомендується підключати 2–3 підстанції, а при використанні трансформаторів меншої потужності – 3–4. Якщо ж у системі передбачено лише два трансформатори, їх живлення, як правило, виконується за радіальною схемою.

Останніми роками, особливо за умови розміщення трансформаторних підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень на напрузі до 1 кВ, набуває поширення схема типу БТМ (блок «трансформатор – магістраль»), яка наведена на рис. 2.1, б, в.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



- б – вихід магістралі в одному напрямку;
 в – вихід магістралі в двох напрямках;
 1 – магістраль, що живить;
 2 – розподільчі шинопроводи;
 3 – апаратура управління та захисту.

Рис. 2.1 б, в. Схеми типу БТМ

У схемі БТМ розподільчі мережі значно спрощуються, оскільки КТП може не включати розподільчий пристрій низької напруги (РП НН). В цьому випадку від трансформатора одразу відходить магістральний шинопровід (ШМА), який розподіляє електроенергію кільком розподільчим шинопроводам (ШРА) або безпосередньо до електроприймачів (ЕП).

Ці схеми є ефективними для живлення механічних цехів машинобудівних підприємств із поточковим типом виробництва.

За своєю структурою силові мережі поділяються на:

- радіальні (рис. 2.2),
- магістральні (рис. 2.3),
- змішані (рис. 2.4).

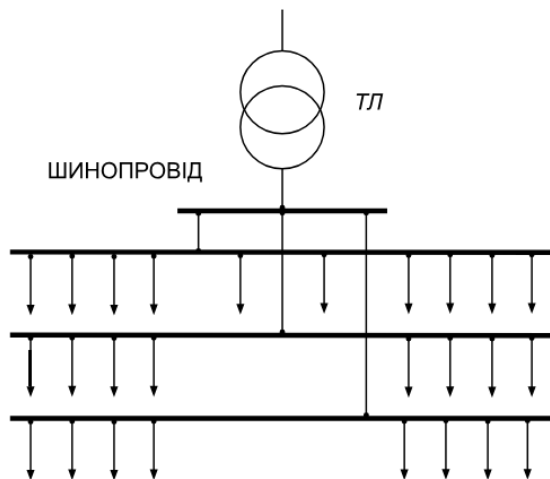


Рис. 2.4. Змішана схема живлення ЕП

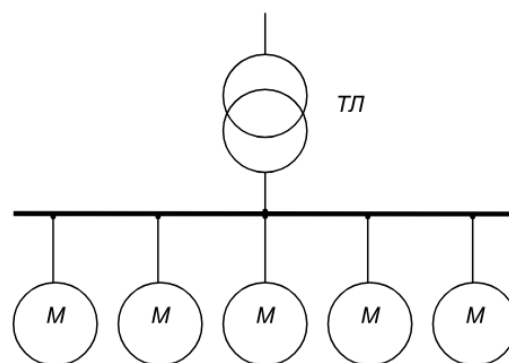


Рис. 2.2. Радіальна схема живлення ЕП

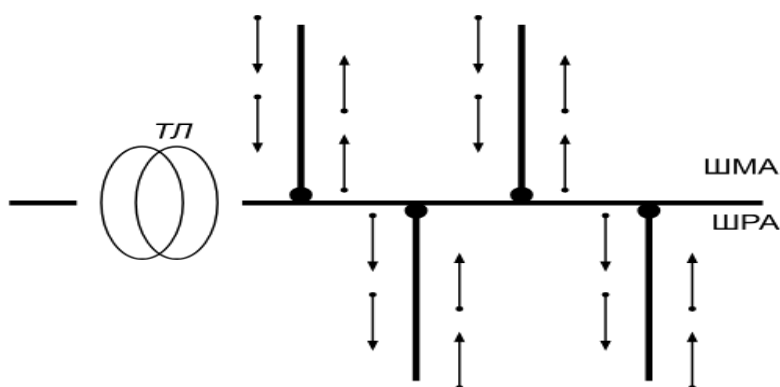


Рис. 2.3. Магістральна схема живлення ЕП

Радіальна схема живлення ЕП (рис. 2.2)

У радіальних схемах кожен електроприймач низької напруги живиться окремою лінією від РП НН трансформаторної підстанції. Такі схеми доцільні при зосереджених та нерівномірно розподілених навантаженнях, у вибухо- чи пожежонебезпечних цехах, а також у насосних і компресорних станціях. Радіальні мережі зазвичай прокладаються кабелями або ізольованими проводами.

Переваги: висока надійність – аварія на одній лінії не впливає на роботу інших ЕП.

Недоліки: великі капітальні витрати на кабелі, апаратуру, обмеження для індустріального монтажу.

Магістральна схема живлення ЕП (рис. 2.3)

Магістральні схеми доцільно використовувати у разі рівномірного розподілу навантажень по площі або при живленні груп ЕП однієї технологічної лінії. У цьому випадку одна магістраль живить кілька розподільчих шаф або великих електроприймачів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Переваги: використання шинопроводів дозволяє реалізовувати індустріальні методи монтажу, можливість підключення ЕП у будь-якій точці магістралі.

Недолік: менша надійність – аварія на магістралі знеструмлює всіх підключених споживачів. Але впровадження резервних перемичок між сусідніми магістралями значно підвищує надійність.

Змішана схема живлення ЕП (рис. 2.4)

У реальних умовах експлуатації найчастіше застосовують змішані схеми – поєднання радіальних і магістральних мереж. Такий підхід враховує особливості виробництва, умов експлуатації, типи споживачів тощо.

Наприклад, у механічних цехах машинобудівної галузі при використанні схеми типу «трансформатор – магістраль» живлення здійснюється магістральним шинопроводом, від якого підключають розподільчі штепсельні шинопроводи. Від них, у свою чергу, радіальними лініями живляться всі ЕП цеху.

У деяких ділянках цеху додатково встановлюються розподільчі пункти, які приєднуються до найближчих магістральних або розподільчих шинопроводів. У прокатних, кувальних, ливарних та інших важких цехах розподільча мережа також підключається до таких пунктів.

2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньо цехових мережах (для одного з приєднань)

У процесі експлуатації електричних мереж можливе виникнення аварійних режимів, зокрема перевантажень і коротких замикань, які супроводжуються значним зростанням струмів у провідниках. Тому внутрішньоцехові електромережі мають бути оснащені надійними засобами захисту від порушень нормальної роботи. З цією метою застосовують захисні пристрої, що забезпечують швидке відключення пошкодженої ділянки та зменшують тривалість дії аварійного струму.

До основних засобів захисту цехових електромереж належать плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі та теплові реле, що входять до складу магнітних пускачів.

Порівняно із запобіжниками, автоматичні вимикачі мають низку переваг, зокрема більш точні та стабільні характеристики захисту від перевантажень, а також здатність одночасно відключати всі три фази, що унеможливорює роботу електрообладнання в неповнофазному режимі. Крім того, автомати допускають багаторазове спрацювання, що робить їх придатними для використання в схемах автоматизації, зокрема для реалізації автоматичного повторного ввімкнення (АПВ) і автоматичного введення резерву (АВР).

Завдяки цим властивостям автоматичні вимикачі широко застосовуються в мережах змінного струму з напругою до 660 В.

Автоматичні вимикачі можуть оснащуватися елементами релейного захисту, що виконуються у вигляді струмового відсічення або максимального струмового захисту залежно від конструктивного виконання. Для цього

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

використовують електромагнітні реле прямої дії з витримкою часу або без неї, які називають розчеплювачами.

З метою забезпечення надійної та селективної дії захисту при коротких замиканнях і перевантаженнях максимальні розчеплювачі автоматичних вимикачів оснащуються механізмами витримки часу. Уповільнення спрацювання досягається за рахунок спеціального сповільнювача, що створює незалежну регульовану витримку в межах 0,2–0,4 с або 0,4–0,6 с.

Автомати вибирають з дотриманням наступних вимог:

$$U_{a.ном} > U_{ном.с}$$

де $U_{a.ном}$ – номінальна напруга автомата;

$U_{ном.с}$ – номінальна напруга ділянки мережі, що захищається.

$$I_{розч.ном} \geq I_{розр.тах}$$

де $I_{розч.ном}$ – номінальний струм розчеплювача, А;

$I_{розр.тах}$ – розрахунковий струм ділянки мережі, що захищається.

Для одиночних двигунів, що захищаються автоматом:

$$I_{розр.тах} = I_{ном.дв}$$

Якщо елемент мережі, що підлягає захисту, експлуатується в умовах технологічних перевантажень, слід застосовувати автоматичні вимикачі з регульованим розчеплювачем сповільненого спрацювання для захисту від перевантаження.

Уставка сповільненого спрацювання $I_{уст.п}$ регульованих розчеплювачів для захисту від перевантаження визначається за формулою:

$$I_{уст.п} \geq (1,3 \div 1,5) \cdot I_{розр.тах}$$

де $I_{розр.тах}$ — розрахункове максимальне навантаження елемента мережі.

При виборі струму уставки миттєвого спрацювання електромагнітного розчеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст.к.з.}$, необхідно відбудуватися від короточасних перевантажень, двигунів, що викликаються пуском (самозапуском), по вираженню:

$$I_{уст.к.з.} \geq (1,5 \div 1,8) I_{пер},$$

де $I_{пер}$ ($I_{пик}$) – струм короточасного перевантаження або піковий, який визначається в залежності від характеру навантаження ділянки мережі, що захищається, за виразом:

- для одиночних двигунів:

-

$$I_{перегр} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.дв}, \quad (2.14)$$

де $k_{пуск}$ – кратність пускового струму двигуна;

- для режиму запуску двигунів, що не відключаються та само запускаються:

$$I_{перегр} = \sum_{i=1}^n I_{пускі}, \quad (2.15)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $\sum_{i=1}^n I_{\text{пускі}}$ – сума пускових струмів двигунів, що само запускаються;

- для випадку найбільш потужного двигуна та режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, які підключені до лінії, що захищається:

$$I_{\text{пер}} \geq k_c \cdot \sum_1^{n-1} I_{\text{н.дв}} + I_{\text{пуск.мах}} \quad (2.16)$$

де $\sum_1^{n-1} I_{\text{н.дв}}$ – сума номінальних струмів двигунів, які приєднані до лінії, що захищається, без врахування найбільш потужного двигуна;

$I_{\text{пуск.мах}}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці мережі, що захищається, A ;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі обрані автоматичні вимикачі перевіряють за такими параметрами:

– За відключаючою здатністю: автомат повинен мати відключаючу здатність, не меншу за максимальний струм короткого замикання на захищуваній ділянці мережі.

– За чутливістю захисту: перевіряють здатність автомата своєчасно реагувати на перевантаження та короткі замикання, забезпечуючи селективність відключення.

– При захисті автоматами з розчеплювачами сповільненого дії: виконується перевірка за умовою:

$$I_{\text{мін к.з.}} \geq I_{\text{уст п}}$$

де:

$I_{\text{мін к.з.}}$ – мінімальний струм однофазного короткого замикання в електрично віддаленій точці захищуваної ділянки мережі;

$I_{\text{уст п}}$ – номінальний струм розчеплювача сповільненого спрацьовування, A .

– при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

$$I_{\text{к.з. мин}}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) I_{\text{уст.к.з.}}$$

де $I_{\text{уст.к.з.}}$ – струм уставки миттєвого спрацьовування;

1,4 – коефіцієнт для автоматів $I_{\text{авт.ном.}} < 100, A$;

1,25 – коефіцієнт для автоматів $I_{\text{авт.ном.}} \geq 100, A$;

Перевірка чутливості захисту може не виконуватися у випадках, коли ділянку мережі захищає автомат з розчеплювачем миттєвого спрацьовування, за умови, що кратність струму короткого замикання відповідає допустимим значенням.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У цьому випадку перевірка не потрібна, якщо:

$$I_{к.з.} \geq k \cdot I_{дон}$$

де: $I_{к.з.}$ – струм короткого замикання на захищуваній ділянці; $I_{дон}$ – тривало допустимий струм провідника; k – коефіцієнт кратності, що забезпечує надійне миттєве спрацювання автомата.

Це правило дозволяє спростити перевірку захисту при високих струмах короткого замикання, коли спрацювання відбувається миттєво.- при захисті ділянки мережі автоматом з регульовим розчеплювачем сповільненого спрацювання:

$$I_{уст.к.з.} \leq 1,5 \cdot I_{ол.дон.}$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну та термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y$$

$$B_{к.дон.} \geq I_{п.о.}^2 \cdot t_{сраб}$$

де i_y – ударний струм к.з.; $i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п.о.}$

$I_{п.о.}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.; K_y – ударний коефіцієнт;

$$K_y = 1 + e^{-0,01/T_a} ; T_a = \frac{X_K}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot r_K} \quad (2.17)$$

K_y , T_a – визначають, як правило, за довідником для конкретних ділянок мережі.

Наведемо приклад вибору параметрів і типа автоматів, виходячи з розрахункової схеми, де вказані місця розміщення автоматів і їх призначення.

Автомати QF1-QF3 захищають асинхронні двигуни з параметрами вказаними в таблиці 6. (виходячи з умови завдання студент самостійно вибирає одиничну потужність АД). Двигуни встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Режим роботи двигунів визначається режимом роботи приводного механізму.

Автомати QF4-QF7 мають однакові параметри, оскільки забезпечують захист ЕП, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1, - ШРА4, завантажених рівномірно.

Автомат QF8 – ввідний, параметри якого визначаються встановленою потужністю трансформатора з врахуванням можливих перевантажень, допустимих ГОСТ 14209-85.

Автомат QF9 – секційний, параметри якого по ввідному автомату.

Вибір параметрів автоматів QF1- QF3 – починаємо з визначення номінальних струмів двигунів, що захищаються автоматами. Визначуваний (по

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

довіднику) тип і потужність двигунів, а по ним – номінальні струми двигунів:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, A; \quad (2.18)$$

$$I_{н.дв.} = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92 \cdot 0,91} = 99 A;$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю .

За довідником [3] визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, A; \quad (2.19)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 99 = 594 A;$$

За результатами розрахунків для установки приймаємо автомат типу **A3710** з номінальними параметрами згідно довідкових даних.

При визначенні номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, що вбудований у шафу, необхідно враховувати тепловий поправочний коефіцієнт **0,85**, тоді номінальний струм розчеплювача обчислюється за формулою:

$$I_{уст} = I_{розрах} / 0,85 A \quad (2.20)$$

В результаті обрання приймаємо розчеплювач з номінальним струмом:

$$I_{н.розч} = 125 A.$$

Це забезпечує правильне узгодження струмів автомата з розрахунковими навантаженнями та тепловим режимом проводки.

Встановлюємо неможливість спрацювання (відстроюємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{сер.ел} = 1,25 \cdot I_{пуск}, A$$

$$I_{сер.ел} = 1,25 \cdot 594 = 744 A.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача **1000A**.

Розраховуємо навантаження шинопроводу **ШПА-73-1**.

При підключенні до шинопроводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів:

$$I_{P.ШПА-1} = \sum_1^3 I_{НОМ.ДВ.} = 225 A;$$

Піковий струм шинопроводу визначається виходячи з умови пуску найбільш потужного двигуна, який приєднано до шинопроводу:

					ET та EE 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.мах}} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{ном.дв.}} = 594 + 70 + 56 = 720 \text{ А}$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{\text{н.розч.}} \geq I_{\text{Р.ШРА-1}}$$

Перевіряємо неможливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (відстройки від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} \geq I_{\text{ср.ел.розч.}}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю.

Для захисту ввідної ділянки системи електропостачання після трансформаторної підстанції та забезпечення надійного відключення при післяаварійних перевантаженнях вибір автоматичного вимикача має виконуватися з урахуванням встановленої потужності трансформаторів, можливих режимів перевантажень та вимог до відключаючої здатності.

Номінальний струм ввідного автомата підбирають так, щоб він був не меншим за струм післяаварійного режиму з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта.

Підбір автомата проводиться відповідно до діючого в Україні стандарту ДСТУ EN 60947-2:2019 “Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 2. Автоматичні вимикачі”, який гармонізований з міжнародним стандартом ІЕС 60947-2 і є чинним на території України.

Цей стандарт визначає параметри автоматичних вимикачів (номінальні струми, характеристики розчеплення, відключаючу здатність тощо), а також умови їхньої застосовності у низьковольтних мережах до 1000 В змінного струму.

На підставі розрахункового струму післяаварійного режиму та вимог до теплового навантаження приймаємо до встановлення автомат ЕО 25 з номінальним струмом $I = 2500 \text{ А}$. Це забезпечує достатній запас по струму для стабільної роботи та координації захисту на вводі системи електропостачання.

Такий підхід враховує і вимоги до селективності, і необхідність достатньої відключаючої здатності автомата в умовах великої потужності трансформаторної підстанції. Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на рівень нижче за ввідний автомат:

$$I_{\text{р.секції}} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{\text{п.ав.}}}{0,85} \quad (2.21)$$

$$I_{\text{р.секції}} = \frac{0,7 \cdot 2533,9}{0,85} = 2086,74 \text{ А}$$

Приймаємо до установки автомат типу ЕО 25, $I_{\text{п.ав.}} = 2500 \text{ А}$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

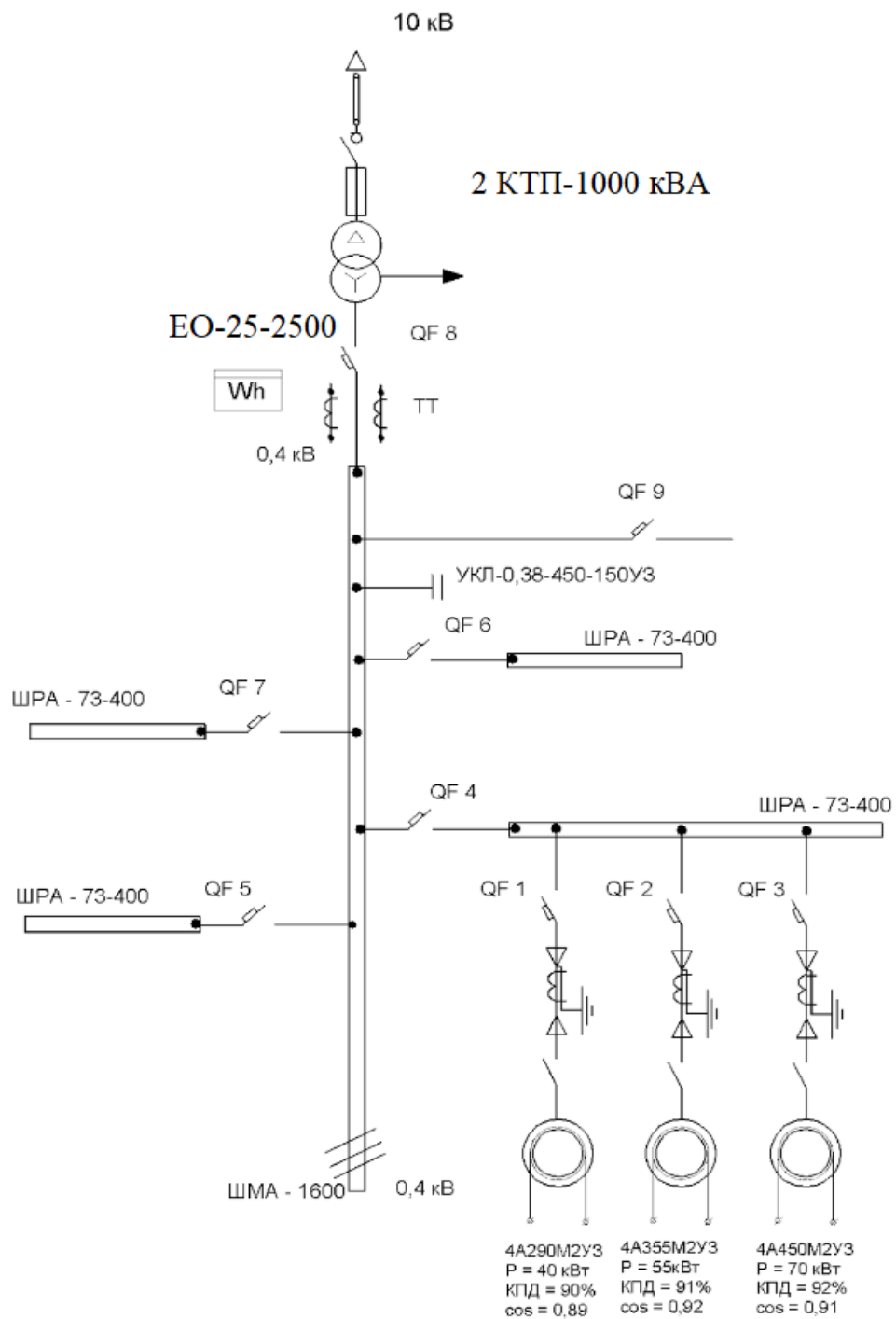


Рис.2.5. Схема БТМ для вибору місць розташування автоматів і розрахунку їх параметрів

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.6. Вибір марки і перерізу струмоведучих частин

У внутрішньоцехових мережах напругою до 1 кВ в невибухонебезпечних приміщеннях переріз дротів вибирають по умові нагріву тривало-допустимим струмом:

$$I_{p\max} \leq I_{\text{трив доп}}$$

де $I_{p\max}$ – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{\text{трив доп}}$ – тривало допустимий струм стандартних перерізів, А.

При розрахунку ланцюга по нагріву спочатку вибирають марку провідника, залежно від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху і способу прокладки мережі.

До вибору перерізів дротів і кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, оскільки вибраний по умові нагріву переріз струмоведучих частин необхідно перевірити на відповідність захисту:

$$I_{\text{трив доп}} \geq k_3 \cdot I_3$$

де I_3 – номінальний струм розчеплювача або струм спрацювання розчеплювача, А;

k_3 – коефіцієнт захисту, який визначається за довідковими даними.

Для вибраних умов, при яких експлуатується обладнання, – вибухобезпечне і не пожежобезпечне, обладнання працює з можливим технологічним перевантаженням (металорізуючі верстати, підйомно-транспортне устаткування, зварювальні агрегати), дроти і кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією - коефіцієнт захисту K_3 приймається рівним 1.

Вибраний і перевірений на відповідність захисту переріз кабелю перевіряється по втраті напруги по умові:

$$\Delta U_{\text{діюч}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 0,05 U_{\text{ном}}$$

$$0,05 U_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\text{діюч}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi), \quad (2.22)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії, А;

l – довжина лінії, км, яка визначається за генпланом цеху;

r_0 , x_0 – відповідно питомі активні і індуктивні опори провідника, Ом/км – довідкові дані для стандартних перерізи. Індуктивний опір $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Оскільки характер навантаження в цехах різний, умови довкілля так само неоднакові, то для забезпечення надійного внутрішньоцехового

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

електропостачання необхідно перевірити вибрані перетини струмоведучих частин з врахуванням цих особливостей.

Якщо здійснюється захист від перевантаження автоматами з регульованою, зворотньою залежною характеристикою для всіх приміщень для дротів з гумовою або аналогічною ізоляцією струм уставки автомата:

$$I_{сер.розч} \leq I_{тр.доп}$$

При захисті проводів з паперовою ізоляцією у всіх приміщеннях:

$$I_{н.розч} \leq I_{тр.доп}$$

Захист від струмів к.з. повинна діяти з мінімальним часом відключення і по можливості селективно

При захисті ділянок мережі автоматами, що мають лише електромагнітний розчеплювач типа 1 (відсічення) струм уставки спрацьовування визначається умовою:

$$I_{у.сер.ел.м.} \leq 4,51 I_{тр.доп}$$

При захисті автоматами з нерегульованою зворотньою залежною характеристикою повинна виконуватися умова:

$$I_{сер.розч.} \leq 1,5 I_{тр.доп}$$

Для автоматів з нерегульованим розчеплювачем зі зворотньою залежною характеристикою:

$$I_{сер.розч.} \leq I_{тр.доп}$$

Враховуючи викладені принципи перевірки вибраних струмоведучих частин переконуємося в правильності вибраних перетинів (таблиця 2.1.).

При схемі БТМ встановлюється трансформатор струму в нейтралі трансформатора, за допомогою максимального реле подається відключаючий імпульс або на загальний (ввідний) автомат (рис. 2.6.а), встановлений за цеховим трансформатором QF8, або на відключаючу котушку апарату на стороні високої напруги – вимикач навантаження (рис. 2.6.б).

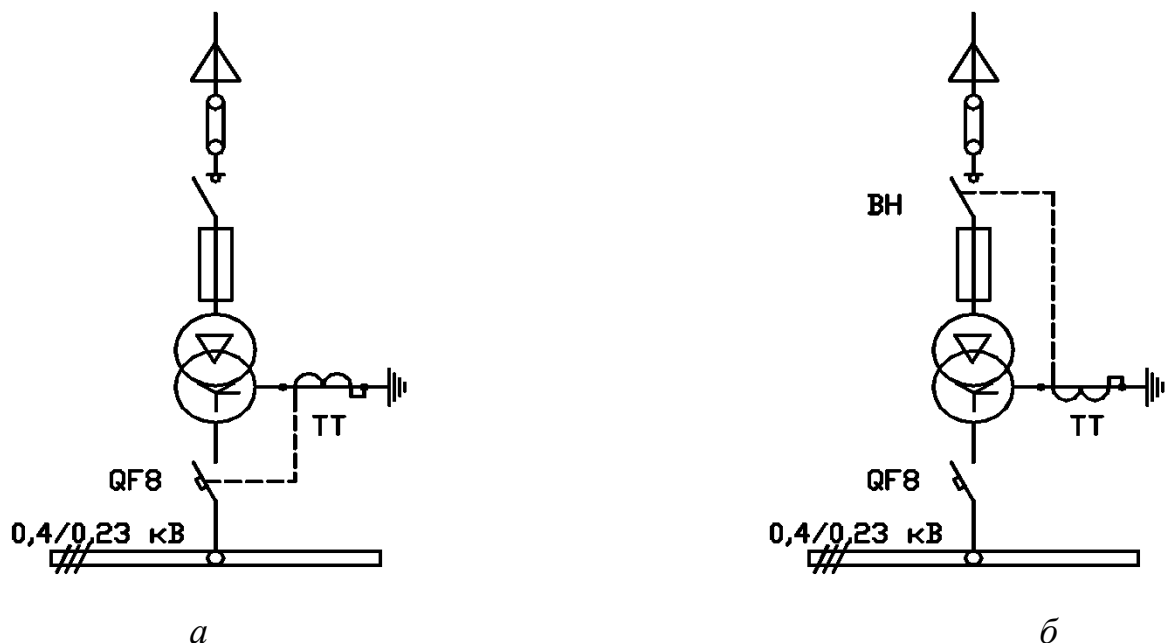


Рис. 2.6 Схема струмового захисту нульової послідовності при схемі БТМ
а – дія на ввідний автомат; б – дія на вимикач навантаження.

					ET та EE 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Слід підкреслити, що робота струмового захисту нульової послідовності не залежить безпосередньо від розрахункових струмів у мережі. Проте використання такого захисту ускладнює загальну систему релейного захисту.

Для підвищення чутливості захисних пристроїв рекомендується збільшити струм однофазного короткого замикання. Цього можна досягти шляхом вибору відповідної схеми з'єднання обмоток цехового трансформатора, а також завдяки використанню принципу «дроблення» підстанцій при їх розміщенні безпосередньо в цехах.

Особливу увагу слід приділяти індуктивному опору між фазним і нульовим провідниками. У випадку застосування кабелів з алюмінієвою оболонкою опір нульової послідовності значно зменшується, що дозволяє відмовитися від четвертої (нульової) жили. При цьому необхідно забезпечити надійне електричне з'єднання алюмінієвої оболонки в заземлювальному контурі на обох кінцях кабелю.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність, P_d , кВт / Розрахункове навантаження P_R , кВт; S_R , кВА	Номін. струм, I_n , А / Розр. струм I_r , А	Кратність пускового струму, $K_{п}$	Пуск. струм, пик. струм $I_{п, A}$	Тепл. поправ. коеф.	$I_{ном. 0,85}$, А / $I_{0,85}$, А	Ном. струм розч., $I_{розч.}$, А	Струм уставки розчеплювача, $I_{сервиз.} \geq 1,25 \cdot I_{ном}$	Тип автомата, I_n , А	Коеф. захисту, K_3	Допуст. струм СВЧ, $I_{1, A}$	Перевірка вибраного перерізу за умови $I_{доп.} \geq K_3 \cdot I_1$	Остаточний вибраний марка і переріз СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF_1	ШРА-1-АД-1	55	99	6	594	0,85	117	125	1000	A3710/160	1	115	140	ABVT(3*50)	5
QF_2	ШРА-1-АД-2	37	70	6	420	0,85	82	100	630	A3710/160	1	70	115	ABVT(3*25)	4,9
QF_3	ШРА-1-АД-3	30	56	6	336	0,85	66	80	630	A3710/160	1	70	90	ABVT(3*16)	6
QF_4	ШМА-ШРА-1	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF_5	ШМА-ШРА-2	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF_6	ШМА-ШРА-3	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF_7	ШМА-ШРА-4	-	225	-	720	0,85	265	320	2500	A3730/400	1	400		ШРА-73	
QF_8	Тр-р-ШМА	630	1340	-	-	-	-	1600	4000	BA-55-43/1600	-	1600		ШМА-73	
QF_9	Секційний	-	940	-	-	-	-	1600	3000	BA-55-41/1000	-	1600		ШМА-73	

2.7. Вибір марки і перетину струмоведучих частин

Під внутрішньоцеховими мережами напругою до 1 кВ в вибухонебезпечних приміщеннях перетин проводів вибирають за умовою нагріву тривало-допустимим струмом:

$$I_{Pmax.} \leq I_{тр.дон}$$

де I_{Pmax} – розрахунковий максимальний струм лінії, А;

$I_{тр.дон}$ – тривало допустимий струм стандартних перерізів, А.

При розрахунку ланцюга по нагріванню спочатку вибирають марку провідника, залежно від характеру середовища в цеху, конфігурації цеху і способу прокладки мережі.

До вибору перетинів проводів та кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, так як, обраний за умовою нагріву перетин струмопровідних частин необхідно перевірити на відповідність захистів:

$$I_{тр.дон} \geq k_3 \cdot I_3$$

де I_3 – номінальний струм розчеплювача або струм спрацьовування розчеплювача, А;

k_3 – коефіцієнт захисту, що визначається за довідковими даними .

Для вибраних умов, при яких експлуатується устаткування – невибухонебезпечної і не пожежонебезпечної, устаткування працює з можливим технологічним перевантаженням (металорізальні верстати, підйомно-транспортне устаткування, зварювальні агрегати), дроти і кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією - коефіцієнтом захисту k_3 приймається рівним 1.

Обране і перевірене на відповідність захисту переріз кабелю перевіряє по втраті напруги по умові:

$$\Delta U_{діюч} \leq \Delta U_{дон}$$

$$\Delta U_{дон} = 0,05 U_{ном}$$

$$0,05 U_{ном} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В}$$

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi),$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де I_p – розрахунковий струм лінії, А;

l – довжина лінії, км, визначається по генплану цеху;

r_0, x_0 – відповідно питомі активні і індуктивні опори провідника, Ом/км - довідкові дані для стандартних перерізів, див. таблицю П. 2.2. Індуктивний опір $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Вибираємо переріз кабелю по умові нагріву

$$I_{pmax} \leq I_{тр.доп}$$

Для двигуна потужністю: 40 кВт $176,5 < 290$

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

Перевіряємо на відповідність захисту $I_{дл доп} \geq k_3 \cdot I_3$,

Обираємо шинопровід розподільний за тими ж умовами, $I_{pmax} \leq I_{дл доп}$.

Перевіряємо аналогічно: $I_{тр.доп} \geq k_3 \cdot I_3$,

Вибираємо шинопровід розподільний типу ШРА73/2070 з перерізом робочої шини 120х10.

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{діюч} < 0,05 U_n$$

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi), \quad (2.23)$$

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

$\cos\varphi=0,61$; $\sin\varphi=0,79$

$$\Delta U_{діюч} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi)=6,55 \text{ В} \quad (2.24)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою виконання розрахунків струмів короткого замикання (КЗ) у електричних мережах напругою до 1 кВ є підтвердження правильності вибору автоматичних вимикачів і шинопроводів щодо їхньої термічної та електродинамічної стійкості до дії струмів КЗ. Крім того, для автоматичних вимикачів здійснюється перевірка відповідності їхньої граничної вимикальної здатності та достатньої чутливості захисних функцій.

Для оцінювання можливості апаратів надійно відключати струми короткого замикання визначають максимальне значення трифазного струму КЗ. З метою аналізу чутливості захисту розраховують мінімальний струм однофазного КЗ у тій точці мережі, яка розташована на найбільшій відстані від джерела живлення.

Характерними особливостями розрахунків для мереж напругою до 1 кВ є використання фізичних (іменованих) одиниць та обов'язкове врахування активних і індуктивних опорів усіх елементів кола короткого замикання. До таких елементів належать провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматичних вимикачів, електрична дуга, а також контакти й контактні з'єднання.

Вплив асинхронних електродвигунів допускається не враховувати за умови, що їхній сумарний номінальний струм не перевищує 10 % від початкової амплітуди періодичної складової струму короткого замикання, визначеної без

урахування двигунів. $0,1 \cdot I_{по} > \sum_{i=1}^n I_{н.двю}$.

- формується розрахункова схема, на якій позначаються точки виникнення та значення струмів короткого замикання;
- на основі розрахункової схеми створюється схема заміщення, у якій усі елементи мережі подаються у вигляді активних та індуктивних опорів;
- виконується визначення опорів складових елементів мережі (опорів прямої та нульової послідовностей, а також опорів кола «фаза–нуль»), після чого обчислюються значення трифазних і однофазних струмів короткого замикання в заданих точках електричної мережі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

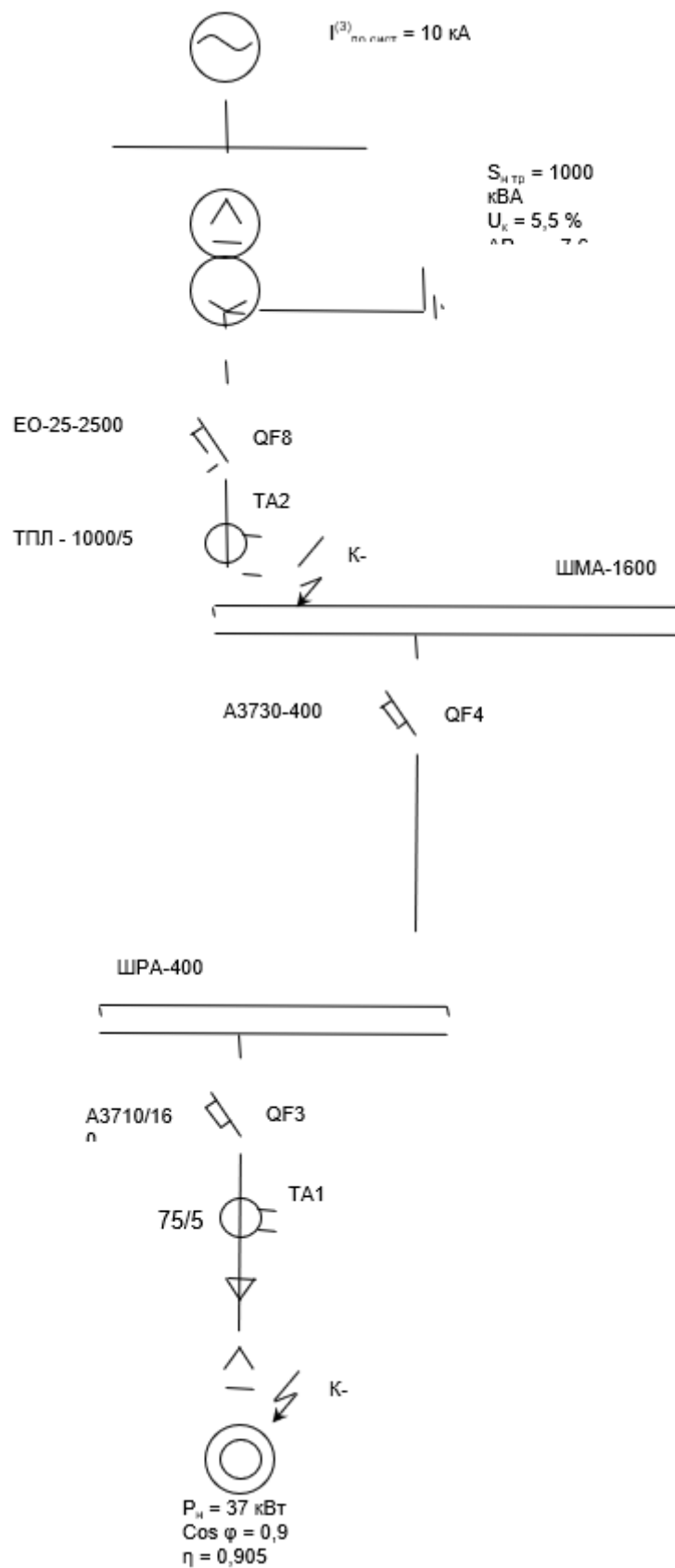


Рис. 2.7. Розрахункова схема

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.1 Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через знижувальний трансформатор початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного к. з. ($I_{\text{ПО}}^{(3)}$) в кА без урахування підживлення від електродвигунів розраховується по формулі :

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{срнн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\text{лс}}^2 + x_{\text{лс}}^2}}, \quad (2.25)$$

де $U_{\text{срнн}}$ – середня номінальна напруга в точці к.з. (К-1).

Таблиця 2.2 - Опори (питомі) елементів мережі

Опори послідовно	Питомі опори мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМ А 1600 (Ш1) (35м)	ШРА 400 (Ш2) (20м)	Кабель АБВГ (3*25) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	Q F 3	Q F 4	QF 8
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,6 5	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,1 7	0,08
Нульов а	r ₀	0,037	0,162	2,5					
	x ₀	0,042	0,164	0,075					
Фаза- нуль	r _{ф-0}	0,067	0,262	4					
	x _{ф-0}	0,056	0,294	0,15					

$$r_{\text{лс}} = r_{\text{лТ}} + r_{\text{QF3}} + r_{\text{ТАЗ}}, \text{ Ом}$$

$$x_{\text{лс}} = x_{\text{с}} + x_{\text{лТ}} + x_{\text{с}} + x_{\text{QF3}} + x_{\text{ТАЗ}}, \text{ Ом}$$

де $x_{\text{с}}$ – еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, приведений до сторони нижчої напруги :

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{срнн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кзвн}} \cdot U_{\text{срвн}}}, \text{ Ом} \quad (2.26)$$

де $U_{\text{ср вн}}$ – середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$I_{\text{кз вн}}$ – діюче значення періодичної складової струму при трифазному к.з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА.

$$x_{\text{с}} = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 57,7 \cdot 6,3} = 0,25 \text{ мОм}$$

Для трансформатора ТСЗ-1000 $U_{\text{к}} = 5,5 \%$, $\Delta P_{\text{к.з.}} = 4,5 \text{ кВт}$.

$r_{\text{лТ}}$, r_{QF3} , $r_{\text{ТАЗ}}$, $x_{\text{лТ}}$, $x_{\text{с}}$, x_{QF3} , $x_{\text{ТАЗ}}$ – активні і індуктивні опори трансформатора,

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ				Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

автоматів, трансформаторів струму. Вони приведені в таблиці 2.3.

Активні і індуктивні опори прямої послідовності знижувальних трансформаторів r_{1T} та x_{1T} визначаються по виразах:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{нн}^2 \cdot 10^6}{S_{нТ}^2}; \quad (2.27)$$

$$x_{1T} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{нТ}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{нн}^2}{S_{нТ}}, \quad (2.28)$$

де $\Delta P_{кз.}$ – втрати к.з. в трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора);

$U_{кз.}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (довідкові дані трансформатора);

$U_{нн}$ – номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

$S_{нтр}$ – номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$r_{1T} = \frac{4,5 \cdot 0,23^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 0,24 = 0,24 \text{ мОм}$$

$$x_{1m} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 4,5}{1000} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1000} = 19,9 = \text{мОм}$$

$$r_{1\Sigma} = 0,24 + 0,14 + 0,01 = 0,39 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = 0,25 + 19,9 + 0,08 + 0,002 = 20,23 \text{ мОм.}$$

$$I_{по}^{(3)} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,39^2 + 20,23^2}} = 28,6 \text{ кА.}$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення:

$$I_{ндв\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)}$$

Висновок: вплив двигуна в місці к.з. можна не враховувати.

2.8.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

Струм однофазного к.з. в точці К – 2 розраховується за формулою:

$$I_{no\ min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.нн}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (2.29)$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.ш1} + r_{\phi-o.ш2} + r_{\phi-o.КБ}) \quad (2.30)$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1ш1} + r_{A4} + r_{1ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ} \quad (2.31)$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.ш1} + x_{\phi-o.ш2} + x_{\phi-o.КБ}); \quad (2.32)$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1ш1} + x_{A4} + x_{1ш2} + x_{TA} + x_{1КБ}; \quad (2.33)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Опори нульової послідовності: активні та індуктивні опори нульової послідовності понижувальних трансформаторів, обмотки яких з'єднані за відповідною схемою, у разі короткого замикання в мережі низької напруги слід приймати рівними реальним опорам прямої послідовності.

$$r'_{1\Sigma} = 5,65 + 0,03 \cdot 0,35 + 0,41 + 0,2 \cdot 0,15 + 3,5 + 0,1 \cdot 0,89 + 3 + 0,1 \cdot 1,2 = 12,81 \text{ мОм};$$

$$r''_{1\Sigma} = 12,81 + (0,35 \cdot 0,068 + 0,2 \cdot 0,262 + 0,1 \cdot 0,27 + 0,1 \cdot 0,38) = 12,95 \text{ мОм};$$

$$x'_{1\Sigma} = 21,65 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,2 \cdot 0,17 + 2 + 4,8 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,66 \text{ мОм};$$

$$x''_{1\Sigma} = 28,66 + (0,35 \cdot 0,059 + 0,2 \cdot 0,294 + 0,1 \cdot 0,173 + 0,1 \cdot 0,22) = 28,79 \text{ мОм}.$$

$$r_{0\Sigma} = 5,5 + 0,14 + 0,01 + 0,03 \cdot 0,35 + 0,41 + 0,02 + 0,1 \cdot 0,89 + 0,2 \cdot 0,15 + 3 + 3,5 + 0,1 \cdot 1,2;$$

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0T} + x_{0QF3} + x_{0TA3} + x_{0ШМА} + x_{0QF2} + x_{0TA2} + x_{0КБ2} + x_{0ШРА} + x_{0ТА1} + \\ &+ x_{0QF1} + x_{0КБ1} = 21,65 + 0,08 + 4,8 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + \\ &+ 0,2 \cdot 0,17 + 0,02 + 2 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,76 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$I_{\text{ном}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1000}{\sqrt{(12,95 + 12,81)^2 + (28,79 + 28,76)^2}} = 11 \text{ кА}.$$

Всі обрані автомати перевіряють:

- по відключаючій здатності: $I_{\text{пред.відкл}} \geq I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$,

де $I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$ – максимальний струм трифазного короткого замикання.

- на чутливість захисту:

при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

$$I_{\text{к.з.мін}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{розч.ном}},$$

де $I_{\text{к.з.мін}}^{(1)}$ – мінімальний струм однофазного к.з. у електрично видаленій точці ділянки мережі, що захищається,

$I_{\text{розч.ном}}$ – номінальний струм розчеплювача уповільненого спрацьовування, А.

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

$$I_{\text{к.з.мін}}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) \cdot I_{\text{кстк.з.}},$$

де $I_{\text{кстк.з.}}$ – струм уставки миттєвого спрацьовування, А;

1,4 – коефіцієнт для автоматів з $I_{\text{ном а}} < 100 \text{ А}$;

1,25 – коефіцієнт для автоматів з $I_{\text{ном а}} \geq 100 \text{ А}$.

Перевіримо автомати по граничному струму відключення: $I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{к.з.мах}}^{(3)}$

Усі інші автомати мають граничний струм відключення більше 12,5 кА, тому усі вони задовольняють умові перевірки по граничному струму відключення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Всі автомати задовольняють умовам перевірки на чутливість захисту.

2.9 Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової трансформаторної підстанції

Електрична енергія, яка подається для живлення електроприймачів, має відповідати встановленим нормативним показникам якості, оскільки від них безпосередньо залежать надійність функціонування, строк служби та економічна ефективність роботи електрообладнання. Нормативні значення параметрів якості електричної енергії регламентуються стандартом ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010) «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення», що діє на території України та гармонізований з європейськими нормами.

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), вся електрична мережа – від шин цехової трансформаторної підстанції до клем електроприймачів – підлягає перевірці на відповідність допустимим відхиленням напруги з урахуванням режимів роботи центру живлення. Якщо розрахункові або фактичні значення напруги виходять за встановлені межі, слід передбачати технічні заходи щодо її регулювання, зокрема раціональний вибір схеми мережі, оптимізацію перерізів провідників, використання установок компенсації реактивної потужності або застосування регулювальних трансформаторів.

Відхилення напруги визначається як різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} та номінальним значенням $U_{\text{ном}}$ за умов повільних змін напруги, коли швидкість її зміни не перевищує 1 % за секунду, і обчислюється за співвідношенням:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (2.34)$$

Нормально допустиме відхилення напруги в електричних мережах низької напруги становить $\pm 5\%$, тоді як гранично допустиме відхилення в мережах низької та високої напруги (до 20 кВ) не повинно перевищувати $\pm 10\%$.

Економічні втрати, спричинені відхиленнями напруги, мають дві основні складові – електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова зумовлена зростанням втрат електроенергії в елементах електричної мережі, тоді як технологічна пов'язана зі зниженням продуктивності технологічного обладнання та, відповідно, ефективності праці.

Найбільш чутливими до коливань напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї. Зокрема, при зменшенні напруги на 5 % світловий потік ламп розжарювання зменшується приблизно на 20 %, а підвищення напруги на 10 % призводить до скорочення їхнього строку служби у чотири рази.

Значення допустимих відхилень напруги на вторинній стороні трансформатора визначаються таким чином:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{\text{Н1}} - U_{01} - \Delta U_{\text{Т}},$$

де $U_{011} - U_{\text{Н1}} - U_{01} = E$ – добавка напруги при регулюванні;

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;
 U_{H1} – відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювального відгалуження обмотки ВН;
 U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;
 U_{011} – відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;
 ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_T \cdot \cos \varphi + X_T \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{H\text{тр}}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{K3}}{S_{H\text{тр}}} \cdot \cos \varphi + U_{K3} \cdot \sin \varphi \right) \quad (2.35)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{K3}, \quad (2.36)$$

де ΔP_{K3} та U_{K3} – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

У застосування до цих умов маємо:

$S_{H\text{тр}} = 1000$ кВА; $U_{K3} = 5,5\%$; $\Delta P_{K3} = 16,5$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{\text{неск}}^2}}{N_{\min}} \quad (2.37)$$

$$S_p = \frac{\sqrt{2121,9^2 + 226,3^2}}{4} = 608,11 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{Q_{\text{неск}}}{P_{p\Sigma}} \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{226,3}{2588,9} = 0,08 \end{aligned} \quad (2.38)$$

Отже $\cos \varphi = 0,99$, $\sin \varphi = 0,02$.

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \cdot 2,5\%/0,4$ кВ.

На стороні ВН трансформатора підтримується напруга 10,5 кВ ($U_1 = 5\%$, $U_H = 0$).

Відхилення напруги на стороні НН трансформатора при включенні його відгалуженням $+2,5\%$ ($U_{01} = 2,5\%$, $U_{011} = 5\%$).

Втрати напруги в трансформаторі при розрахунковому навантаженні:

$$\Delta U_m = \frac{608,11}{1000} \cdot \left(\frac{16,5}{1000} \cdot 0,99 + 0,055 \cdot 0,2 \right) = 0,02 = 2\%$$

Визначаємо відхилення напруги на стороні НН трансформатора з урахуванням заданих відхилень при включенні його відгалуженням $+2,5\%$.

$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 2 = 3\%$.

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

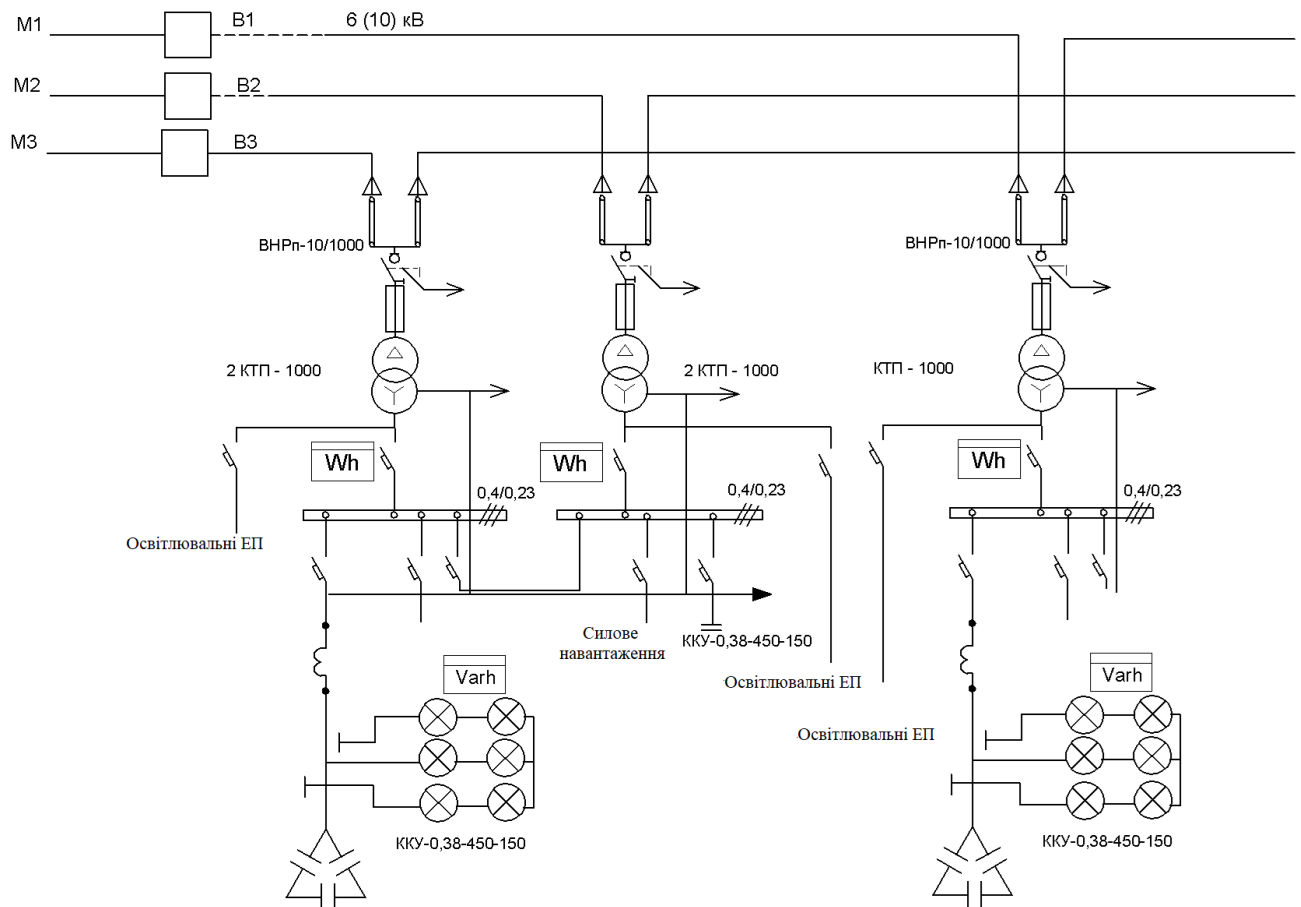


Рис.2.8. Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

Запроектований вузол навантаження за результатами аналізу технологічного процесу віднесено до споживачів першої категорії за надійністю електропостачання, що істотно визначило прийняті схемні рішення системи електропостачання. Зокрема, для електроприймачів напругою 0,4 кВ передбачено живлення від двох незалежних джерел. Реалізація глибокого резервування на всіх ступенях трансформації забезпечує необхідний рівень надійності роботи системи.

Застосування пристроїв системної автоматики, зокрема автоматичного введення резерву (АВР) на секційних вимикачах, не є обов'язковим, оскільки перерва в електропостачанні допускається лише на час виконання оперативних перемикачів під час підключення резервного джерела.

З метою скорочення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводській розподільній мережі в межах дипломного проєкту виконано розрахунок необхідної потужності місцевих джерел реактивної потужності – конденсаторних батарей, які розміщуються безпосередньо поблизу електроспоживачів.

					ET та EE 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Електроприймачі напругою 0,4 кВ, рівномірно розміщені в межах цеху, отримують живлення від розподільних шинопроводів, що забезпечує гнучкість побудови схеми та створює умови для впровадження індустріальних методів монтажу.

Застосування апаратури вітчизняного виробництва для комутації, захисту й вимірювання дає можливість зменшити капітальні витрати на будівництво та монтаж без зниження рівня надійності системи електропостачання.

Живлення споживачів цеху передбачається здійснювати від двох магістральних шинопроводів та шести радіальних ліній.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека праці під час експлуатації системи електропостачання конверторного цеху металургійного підприємства має вирішальне значення, оскільки роботи в діючих електроустановках входять до переліку робіт з підвищеною небезпекою. Обслуговування, експлуатація та монтаж електроустановок повинні виконуватися з неухильним дотриманням вимог охорони праці, адже нехтування правилами може спричинити нещасні випадки та аварії.

Для забезпечення безпечних умов праці в конверторному цеху необхідно враховувати вплив низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають під час роботи електрообладнання. Перелік основних факторів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Найменування фактору	Джерело виникнення	Характер впливу	Нормативний документ
Підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини	Струмоведучі частини електрообладнання, пошкодження ізоляції, помилкові дії персоналу	Ураження електричним струмом різного ступеня тяжкості, фібриляція серця, опіки	НПАОП 40.1-1.21-98, ПУЕ гл.1.7
Підвищена температура поверхонь обладнання	Трансформатори, автоматичні вимикачі, опори навантаження	Термічні опіки, тепловий удар	ДСТУ EN 60529:2018
Пожежонебезпека	Короткі замикання, перевантаження, іскріння	Опіки, отруєння продуктами горіння, ураження електричним струмом	НАПБ А.01.001-2014
Підвищений рівень шуму	Робота трансформаторів, комутаційних апаратів	Зниження слуху, підвищена стомлюваність	ДСН 3.3.6.037-99
Недостатня освітленість робочої зони	Відсутність або несправність освітлювальних приладів	Зорове напруження, підвищення ризику помилкових дій	ДБН В.2.5-28:2018

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вимоги електробезпеки при експлуатації електроустановок до 1 кВ

Вимоги цих Правил поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220 кВ включно і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії, незалежно від їх відомчої належності і форм власності на засоби виробництва. Вимоги цих Правил повинні виконуватись під час експлуатації діючих електроустановок, електричних станцій, електричної частини ТАВ, ЗДТУ, районних котелень, що обслуговуються споживачами, під час виконання в них монтажних, налагоджувальних, випробувальних, ремонтних і будівельних робіт.

Електробезпека в проектованій системі електропостачання забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів:

Організаційні заходи передбачають:

- оформлення роботи нарядом-допуском або розпорядженням;
- допуск до роботи після перевірки підготовки робочого місця;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерв, закінчення роботи, переведення на інше робоче місце.

Технічні заходи включають:

- відключення установки (відділення від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою);
- вивішування заборонних плакатів на приводах комутаційних апаратів;
- перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- встановлення переносних заземлень;
- огороження робочих місць.

Умови допустимості напруги дотику і струмів, що протікають через тіло людини визначаються згідно з ДСТУ 12.1.038-82 (зі змінами) для аварійного режиму електроустановок напругою до 1000 В змінного струму частотою 50 Гц. Допустимі значення напруг дотику та струмів наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Допустимі рівні напруг дотику та струмів

Нормований параметр	Тривалість впливу, t, с					
		0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
Удоп, В	500	250	165	130	85	65
Ідоп, мА	500	250	165	130	85	65

Захисне заземлення та вирівнювання потенціалів

Для забезпечення електробезпеки в проектованій системі електропостачання передбачається виконання заземлювального пристрою, що відповідає вимогам ПУЕ, глава 1.7. В електроустановках напругою до 1 кВ з глухозаземленою нейтраллю захисне заземлення виконується шляхом приєднання відкритих струмопровідних частин до глухозаземленої нейтралі джерела живлення за допомогою захисних провідників (система TN).

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Згідно з вимогами ПУЕ, в електроустановках напругою до 1 кВ в електричних мережах з ізольованою нейтраллю опір заземлювального пристрою повинен бути не більшим за 10 Ом. Якщо електроустановка живиться від винесених трансформаторів і генераторів потужністю до 100 кВА, опір заземлювального пристрою повинен бути не більшим 10 Ом.

Для вирівнювання потенціалів у проєктованій системі передбачається об'єднання всіх металевих частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою, в єдину систему заземлення. До заземлювального пристрою повинні бути приєднані всі металеві частини електрообладнання та електроустановок об'єкта, які можуть опинитися під напругою.

Захист від статичної електрики

У конверторному цеху металургійного підприємства існує небезпека накопичення зарядів статичної електрики, що може спричинити іскріння, пожежі та ураження персоналу. Захист працівників від впливу статичної електрики необхідно здійснювати відповідно до вимог ДСТУ 12.4.124-83 та НПАОП 0.00-1.29-97 «Правила захисту від статичної електрики».

Для відведення зарядів статичної електрики в проєктованій системі передбачаються такі заходи:

- всі металеві та електропровідні неметалеві частини обладнання заземлюються незалежно від того, чи приймаються інші заходи захисту від статичної електрики;
- для зменшення питомого електричного опору застосовується загальне і місцеве зволоження повітря в небезпечних місцях приміщення до 70 % відносної вологості;
- використовуються антистатичні покриття підлоги;
- застосовується нейтралізація заряду на поверхні твердих діелектричних матеріалів.

Пожежна безпека електроустановок

Під час експлуатації електрообладнання конверторного цеху особлива увага приділяється пожежній безпеці. Через незадовільний стан електричного устаткування, порушення правил його монтажу та експлуатації на виробництві можуть статися пожежі. Вимоги до експлуатації електроустановок встановлюють Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014). Відповідно до ПУЕ, перед введенням електроустановок в експлуатацію на підприємстві необхідно: розробити відповідні експлуатаційні інструкції, оперативні схеми та технічну документацію; укомплектувати штат. Для ліквідації загорянь в електроустановках до 1000 В слід використовувати вуглекислотні (ВВ) або порошкові (ВП) вогнегасники.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Електрозахисні засоби

Для безпечного обслуговування електроустановок напругою до 1000 В персонал повинен бути забезпечений електрозахисними засобами відповідно до НПАОП 40.1-1.07-01. Засоби захисту, що використовують в електроустановках, повинні повністю відповідати вимогам державних стандартів.

Основні електрозахисні засоби для електроустановок до 1000 В включають:

- ізолювальні штанги;
- ізолювальні кліщі;
- покажчики напруги;
- діелектричні рукавиці;
- слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додаткові електрозахисні засоби:

- діелектричні калоші;
- діелектричні килими;
- переносні заземлення;
- захисні огороження;
- плакати та знаки безпеки.

В електроустановках до і понад 1000 В для визначення наявності або відсутності напруги повинні застосовуватись покажчики напруги контактного та безконтактного типів, які пройшли перевірку в установленому порядку.

Організація безпечної експлуатації електроустановок

Безпечна експлуатація електроустановок конверторного цеху забезпечується:

Допуском до роботи: обслуговування електроустановок дозволяється особам, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання та перевірку знань з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки. В електроустановках понад 1000 В персонал повинен мати групу IV, а в електроустановках до 1000 В — групу III.

Перевіркою знань: електротехнічний персонал проходить періодичну перевірку знань з охорони праці та електробезпеки відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Технічним обслуговуванням: передбачається проведення планово-попереджувальних ремонтів (ППР) та періодичних оглядів електрообладнання. Огляди призначені для своєчасного виявлення недоліків і ненормальної роботи обладнання, перевірки наявності допоміжних пристроїв, засобів захисту тощо. У приміщеннях електроустановок забороняється зберігання матеріалів та інструментів, що не належать до даної електроустановки.

Вимогами до персоналу: до робіт в електроустановках допускаються лише працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки (II-V), допуск до робіт в електроустановках та пройшли медичний огляд.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вимоги безпеки до приміщення та обладнання

Приміщення конверторного цеху, в якому розташовані електроустановки, повинно відповідати вимогам пожежної та електричної безпеки. Обладнання РУ необхідно періодично очищувати від пилу та бруду. Елементи керування апаратами аварійного вимкнення слід установлювати на висоті від 0,8 м до 1,6 м від підлоги. Розподільчі пристрої (РП) на напругу 1 кВ і вище повинні бути обладнані блокувальними пристроями, які унеможливають помилкові операції.

У розділі «Охорона праці» виконано аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на персонал під час експлуатації системи електропостачання конверторного цеху. Наведено основні організаційні та технічні заходи електробезпеки, вимоги до заземлення та захисту від статичної електрики. Визначено перелік необхідних електрозахисних засобів, засобів пожежогасіння та організаційні засади безпечної експлуатації електроустановок. Розроблені заходи забезпечують створення безпечних умов праці для персоналу, що обслуговує електрообладнання конверторного цеху, та відповідають вимогам чинних нормативно-правових актів з охорони праці.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту розв'язано комплексне інженерно-технічне завдання, спрямоване на розроблення системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху металургійного підприємства.

На підставі аналізу технологічного процесу та особливостей роботи електроспоживачів обґрунтовано вибір джерел електроживлення, типів і параметрів електрообладнання, структури системи електропостачання та засобів релейного захисту. Виконано розрахунок електричних навантажень, визначено раціональну встановлену потужність трансформаторних підстанцій, а також обрано перерізи та характеристики струмопровідних елементів.

Значну увагу зосереджено на питаннях надійності та безпечної експлуатації системи з урахуванням специфіки конверторного виробництва, що відзначається нерівномірними графіками навантаження, значними струмами короткого замикання та підвищеними вимогами до якості електроенергії. Запропоновано комплекс заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності та зменшення втрат електроенергії.

У проєкті враховано чинні нормативно-технічні документи та сучасні вимоги, що дає підстави рекомендувати розроблену систему електропостачання для практичного застосування під час реконструкції існуючих або проєктування нових об'єктів металургійної галузі.

Отже, поставлені в дипломному проєкті завдання виконано в повному обсязі, а отримані результати можуть бути використані як база для подальших технічних і економічних обґрунтувань під час реалізації проєктних рішень.

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електропостачання: Конспект лекцій для денної форми навчання спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Ю.С. Олійник, Укр. інж.-пед. академія - Х.: [б.в.], 2020. - 81 с.
2. Електропостачання: методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу для студентів денної форми навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Ю.С. Олійник, Укр. інж.-пед. академія - Х.: [б.в.], 2020. - 51 с.
3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: Підручник для вищих навч. закладів/ В. Є. Шестеренко; Нац. ун-т харчових технологій. - Вінниця: Нова книга, 2004. - 656 с.
4. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посібник для вищих навч. закладів/ О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей. - К.: Кондор, 2005. - 407 с.
5. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Вилучено з <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf>
6. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч. посібник для вищих навч. закладів/ Ю. І. Бакалін. - 3-є вид., доп. та перероб. - Х.: БУРУН і К, 2006. - 320 с.
7. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
8. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [<http://energetika.in.ua/ua/>]
9. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компрінт, 2021. – 497с.
10. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
11. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.
12. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013 [<http://energetika.in.ua/ua/>]

					ЕТ та ЕЕ 4815.039.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		