

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

**Проектування системи електропостачання (СЕП) вузла навантаження
конверторного цеху металургійної промисловості**

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е21.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Олександр Горяшко
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Павло Буданов
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/Гор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Електротехніки та електроенергетики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електричні станції, системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач
кафедри**

_____ А.М.
Чернюк _____
підпис ініціали,
прізвище
“ _____ ”
_____ 2025
року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)**

_____ Горяшко Олександр Віталійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи "Проектування системи електропостачання (СЕП) вузла навантаження конверторного цеху металургійної промисловості"

керівник роботи Буданов Павло Феофанович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “ _____ ” _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1.	Загальна характеристика технологічного процесу проектуваного 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
2.3	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

Студент

підпис

О.В. Горяшко

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

П.Ф. Буданов

ініціали, прізвище

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.....	
ВИСНОВОК	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ							
					Проектування СЕП вузла навантаження конверторного цеху металургійної про-мисловості	Лім.			Маса		Масштаб	
									1		1 : 1	
						Арк.			3		Аркушів	
						Пояснювальна записка						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	гр. ДЕА-Е21+Е22пр							
Розроб.		Горяшко										
Перевір.		Буданов										
Т. Контр.												
Реценз.												
Н. Контр.												
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 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Головна мета дипломного проєкту – набуття практичного досвіду у самостійному вирішенні складних інженерних завдань, пов'язаних із внутрішньоцеховим електропостачанням, з використанням сучасних енергозберігаючих методик в електроенергетиці.

Завдання проєкту полягає у формуванні навичок та вмінь, необхідних для проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання, з урахуванням принципів побудови сучасних електромереж промислових підприємств. Під час виконання роботи студент оволодіває вмінням користуватися технічною літературою, нормативно-правовими документами та типовими проєктними рішеннями.

В умовах сучасної енергетичної та економічної ситуації особливої актуальності набуває проблема енергозбереження. Багато підприємств функціонують не на повну проєктну потужність, що призводить до економічних втрат: простої обладнання та механізмів зменшують обсяг продукції, через що підприємство може працювати зі збитками.

Розвиток промисловості та зростання потреб суспільства вимагають модернізації виробництва з використанням енергоефективного обладнання, яке забезпечуватиме максимальну продуктивність. У зв'язку з цим проєктування раціональної схеми електропостачання підприємства є надзвичайно актуальним завданням. Воно вимагає комплексного підходу, який дозволить за мінімальних витрат досягти оптимального, економічно доцільного результату, забезпечуючи надійність, енергоефективність та високу якість електроенергії.

Отже, основне завдання проєкту – розробка внутрішньоцехової електромережі, яка б відповідала вимогам раціонального використання електрообладнання, зменшення втрат при перетворенні та розподілі електроенергії, мінімізації збитків від недопостачання енергії, підвищення надійності електропостачання і покращення якості електричної енергії.

					ET та EE 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Метою аналізу особливостей технологічного процесу є оцінка можливих втрат у разі переривання електропостачання об'єкта, що проектується. На основі розміру потенційного збитку визначається категорія електроприймачів за ступенем необхідної безперебійності живлення. Це, у свою чергу, дозволяє обґрунтовано обрати кількість джерел живлення, схему живильних і розподільчих мереж, а також вирішити питання щодо доцільності використання елементів мережевої автоматики.

Розміщення обладнання по площі цеху представлено на рис. 1.1.

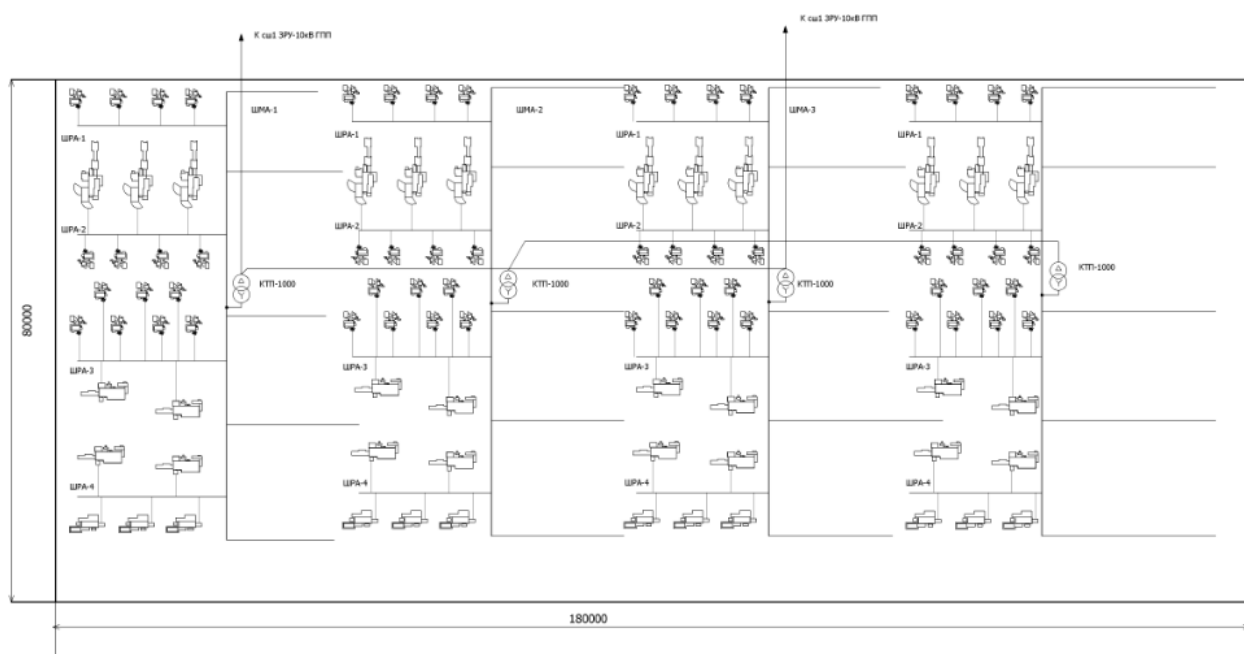


Рис. 1.1. Ситуаційний план конв'єрторного цеху металургійної промисловості

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Електричні навантаження — це величини потужності (P , кВт; Q , квар) або струму (I , А), які змінюються з часом за певними закономірностями.

На основі розрахованих електричних навантажень обирають ключові параметри елементів системи електропостачання (СЕП): кількість і потужність силових трансформаторів на всіх рівнях, характеристики апаратів різних класів напруги, переріз струмопровідних частин.

Точність розрахунку очікуваних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники проекрованої СЕП. Завищення призводить до необґрунтованих витрат, заниження — до перевантажень і нестабільної роботи електроустановок.

З урахуванням електричної віддаленості розрахункової ділянки (тобто кількості рівнів трансформації між цеховими підстанціями та головними джерелами живлення — шинами 6(10) кВ головної понижувальної підстанції або підстанції глибокого вводу), розрахунок очікуваних навантажень виконується згідно з методикою, викладеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень».

У цьому проекті застосовується метод впорядкованих діаграм, який є базовим для технічного й робочого проєктування систем електропостачання.

Згідно з цим методом, розрахункове активне навантаження на всіх рівнях мережі (включаючи трансформатори й перетворювачі) 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 , K_i *гр.взв* та зваженого групового коефіцієнта використання K_{ui} *гр.взв*:

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

1. Згідно вихідним даним електроприймачі цеху класифікуються по характерним групам (з однаковим коефіцієнтом використання K_{ui} і коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

2. Наводять паспортні данні окремих груп ЕП, які працюють в ПКТ (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в кВт за виразом:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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 середнєзміннне навантаження по вузлу:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$K_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{\text{см}_i}}{\sum_{i=1}^m P_i} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

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

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:

$$P_p = K_P \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{см}_i} =$$

$$0,72 \cdot 3363,7 = 2421,9, \text{ кВт}$$

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

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

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$P_{р.о} = P_{н.о} \cdot K_{с.о} \cdot K_{ПРА} = 160 \cdot 0.95 \cdot 1.1 = 167, \text{ квар}$$

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 167 \cdot 0.33 = 55, \text{ квар}$$

14. Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності складаються і вносять до відповідних граф табл. 3.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

№п/п	Найменування характеристик груп ЕП	Кількість, шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номинальна потужність характеристик груп ЕП	Коефіцієнт т. вик. К _т	cos φ	tg φ	Середньозміне навантаження за найбільш завантажувальну зміну		Ефективне число ЕП, не	Коефіцієнт розрахункового навантаження К _р	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, І _р , А
			Загальна Р _{ном} , кВт	Одног. Р _н , кВт					Р _{ном} , кВт	О _{ном} , квар			Р _р , кВт	О _р , квар	S _р , кВА	
1	Привід розливу міксера	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	482,8	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	65	1 50	1100	1100,00	0.7	0.8	0.75	715	536,25	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	40	10 300	2200	2200,00	0.7	0.8	0.75	1430	1072,5	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	25	5 30	300	150,00	0.18	0.45	1.98	27	53,5	-	-	-	-	-	-
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5 80	630	386,45	0.18	0.45	1.98	71,72	141,9	-	-	-	-	-	-
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВт	40	10 50	1400	490,00	0.3	0.35	2.68	147	393,9	-	-	-	-	-	-
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	20	3 50	650	650,00	0.6	0.7	1.02	390	397,8	-	-	-	-	-	-
9	Разом силові ЕП	775	-	7638,45	-	-	-	-	33563,7	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	8808.7

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 трансформаторів цехових підстанцій слід, як правило, приймати наступні коефіцієнти завантаження:

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- для цехів з переважним навантаженням 1 – ї категорії при двох трансформаторних підстанціях – $\beta = 0,65 - 0,7$;
- для цехів з переважним навантаженням 2 – ї категорії при двох трансформаторних підстанціях зі взаємним резервуванням трансформаторів – $\beta = 0,7 - 0,8$;
- для цехів з переважним навантаженням 3 – ї категорії при можливості використання централізованого резерву трансформаторів і для цехів з навантаженням 3 – ї категорії – $\beta = 0,9 - 0,95$.

Оскільки в дипломному проекті розраховується внутрішньоцехова система електропостачання корпусу промислового підприємства певної галузі, то розрахунковий вузол може бути віднесений як до 1 – ї, так і до 2 – ї категорії по мірі безперебійності електропостачання.

ЕП 1 – ї категорії забезпечуються живленням по двох незалежним ДЖ, перерва живлення допускається на час спрацювання мережевої автоматики (АВР).

ЕП 2 – ї категорії забезпечуються живленням по двох незалежним ДЖ, перерва живлення допускається на час ручного вводу резервного живлення.

Для живлення ЕП 1 – й і 2 – й категорії рекомендується приймати до установки одностансформаторні цехові підстанції 10 – 6 / 0,4 – 0,23 кВ за умови резервування потужності по перемичках нижчої напруги, пропускну спроможність яких достатня для живлення найбільш відповідальних споживачів.

Вживання одностансформаторних підстанцій дає можливість здійснення максимального наближення їх до центрів електричних навантажень, що забезпечить найкоротшу дорогу транспортування (передачі) електроенергії і забезпечить до певної міри економію електроенергії. Двухтрансформаторні цехові підстанції слід застосовувати при зосереджених навантаженнях, при $\gamma > 0,2 \text{ кВА/м}^2$ або пере важності споживачів 1 – ї категорії.

ЕП до 1 кВ є значними споживачами реактивної потужності, при цьому ЕП до 1 кВ електрично віддалені від основних ДЖ (енергосистеми або місцевих ТЕЦ) на декілька рівнів трансформації. Тому передача реактивної потужності в мережу до 1 кВ приводить до додаткових витрат – збільшення перерізів СВЧ, підвищення числа (або потужності) трансформаторів цехових ТП, підвищення втрат потужності в елементах СЕП. Ці витрати можна зменшити і навіть усунути, передбачивши установку КУ безпосередньо в мережі напругою до 1 кВ.

Як джерело реактивної потужності (ДРП) використовуються комплекtnі конденсаторні установки (ККУ) поперечного включення. Реактивна потужність, що не компенсується, покривається перетіканням реактивної потужності (РП) Q_T з шин напругою вище 1 кВ. На підставі техніко-економічних розрахунків (ТЕР) визначають оптимальне співвідношення величини реактивної потужності, ДРП, що генерується, напругою до 1 кВ, і реактивній потужності, яка передається з мережі напругою вище 1 кВ.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів полягає в наступному. Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності їх мінімальне число, необхідне для живлення активного максимального розрахункового навантаження, визначається по формулі:

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_{т.мин} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (2.5)$$

де $P_{р.с.} + P_{р.о.}$ - 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:

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

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:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 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 $Q'_{НК\ddot{y}.СПР}$ 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:

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_{m, \min} = \frac{2588.9}{0.65 \cdot 1000} + 0.2 = 4 \text{ шт}$$

3. Економічно оптимальне число трансформаторів:

4.

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

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

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

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

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

$$= \sqrt{(0.65 \cdot 4 \cdot 1000)^2 - 2588.9^2} = 239.9, \text{квар}$$

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

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m$$

$$= 3426.3 - 239.9 = 3186.4, \text{квар}$$

7. 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:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

9. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, $Q_{\text{НК2}}$, з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЭ}} \cdot S_{\text{НТ}}$$

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

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

$$K_1 = 12$$

$$K_2 = 7$$

$$\gamma = 0,5$$

Так як $Q_{\text{НК2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{НК2}}$ приймається рівною нулю.

2.3. Розташування цехових трансформаторів на площі цеху

Розміщення цехових трансформаторів визначається щільністю електричних навантажень, розташуванням технологічного обладнання в цеху (з урахуванням можливості встановлення компенсуючих пристроїв), а також мікрокліматичними умовами, що залежать від специфіки технологічного процесу.

Практичний досвід проектування, монтажу та експлуатації цехових трансформаторних підстанцій, а також результати теоретичних досліджень дозволяють сформулювати чіткі рекомендації щодо вибору їхнього розміщення. У першу чергу доцільним є використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які можна індустріально монтувати незалежно від конструктивних особливостей будівлі.

Розміщення КТП якомога ближче до центрів навантаження дозволяє скоротити використання кольорових металів та знизити втрати електроенергії у внутрішньоцехових мережах.

Застосування децентралізованої системи підстанцій, розташованих поблизу центрів споживання, забезпечує оптимізацію електроспоживання ще на етапі проектування.

При визначенні місця встановлення КТП необхідно враховувати розрахункове навантаження, умови навколишнього середовища, а також необхідний рівень безперебійності електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Залежно від умов експлуатації та технологічного процесу цехові трансформаторні підстанції можуть бути розміщені всередині цеху, бути вбудованими, прибудованими або окремо стояти.

У випадку цеху металообробки, відповідно до методичних рекомендацій, доцільно використати внутрішньоцехове розміщення трансформаторів. При цьому підстанції слід розташовувати в зонах, які не заважають роботі мостових кранів.

У виробництвах без мобільного обладнання можливе подавання напруги понад 1 кВ безпосередньо до точок споживання, що дозволяє зменшити довжину мереж нижчої напруги, скоротити витрати на їх монтаж і зменшити втрати електроенергії.

Схема компоновання трансформаторів у цеху подана на рисунку 1 роздаткового матеріалу до бакалаврської роботи.

Для резервування навантаження у разі виходу з ладу одного з трансформаторів передбачено встановлення перемичок у мережах низької напруги. Їхня пропускна здатність зазвичай становить 20–30% потужності трансформатора при виконанні на кабелях і до 60% — при використанні шинопроводів.

Комплектні підстанції з двома трансформаторами застосовують за умов високої щільності навантажень (у кВА/м²) або за наявності електроприймачів І категорії. Потужність таких трансформаторів підбирають з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до ГОСТ 14209-85 (рис. 2.1, а).

У цехових підстанціях використовуються трифазні трансформатори з первинною напругою 6–10 кВ, які мають природне масляне або повітряне охолодження, або заповнені негорючою рідиною (наприклад, совтолом). Також використовуються сухі трансформатори з природним повітряним охолодженням.

У КТП, як правило, встановлюють закриті трансформатори типу ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ. Вони мають герметичний кожух з азотною подушкою, яка створює невеликий надлишковий тиск, що дозволяє розміщувати такі трансформатори всередині приміщень.

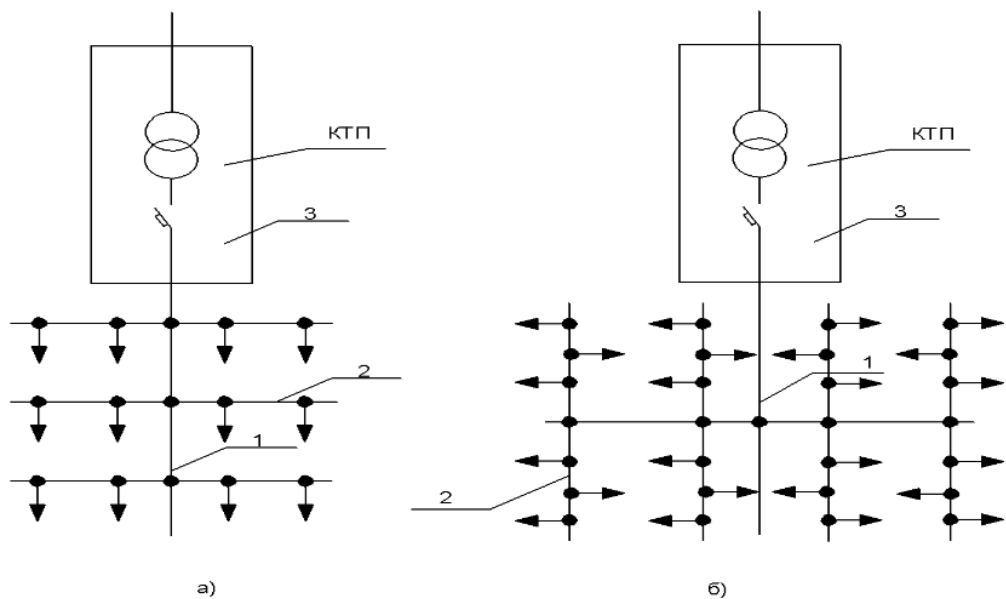
2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів залежить від кількості трансформаторів, їхнього розміщення в межах цеху, а також від категорійності навантажень, які вони забезпечують. Згідно з «Інструкцією з проектування електропостачання промислових підприємств», рекомендовано жити цехові трансформатори через подвійні наскрізні магістралі.

При цьому, якщо потужність трансформаторів становить 1600–2500 кВА, в одній магістралі слід передбачати 2–3 трансформатори, а за меншої потужності — 3–4 трансформатори. Якщо використовується лише два трансформатори, живлення здійснюється за радіальною схемою.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Останнім часом, особливо у випадках розміщення трансформаторних підстанцій у центрах навантаження на напрузі до 1 кВ, все частіше застосовується схема типу БТМ (блок трансформатор – магістраль), зображена на рис. 2.1 б, в.



- 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).

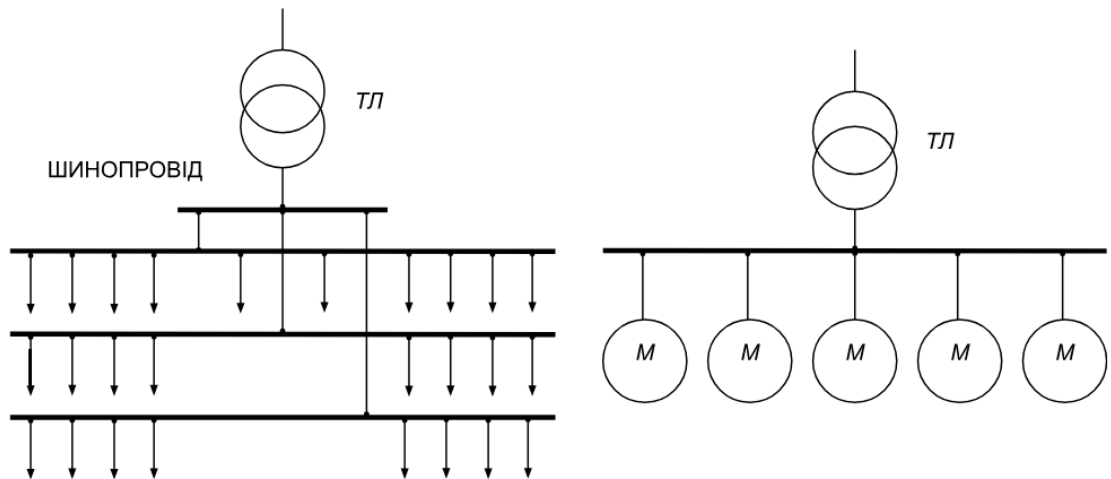


Рис. 2.4. Змішана схема живлення ЕП Рис. 2.2. Радіальна схема живлення ЕП

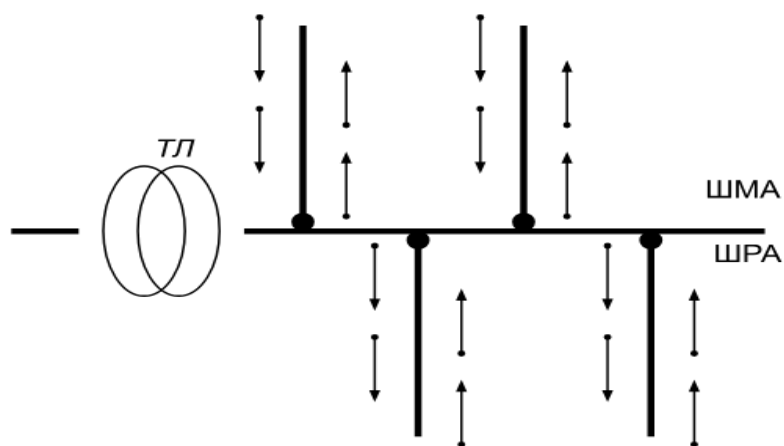


Рис. 2.3. Магістральна схема живлення ЕП

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)

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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.

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)

Під час експлуатації електричних мереж можуть виникати аварійні стани, такі як перевантаження або короткі замикання, що супроводжуються різким збільшенням струму в провідниках. У зв'язку з цим внутрішньоцехові електромережі повинні бути надійно захищені від подібних порушень нормального режиму роботи. Для цього застосовують захисні пристрої, які оперативно відключають пошкоджену ділянку мережі, мінімізуючи час реакції.

До основних засобів захисту цехових мереж належать плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі (автомати) та теплові реле магнітних пускатрів.

Перевага автоматичних вимикачів перед запобіжниками полягає в більш точних і стабільних характеристиках захисту від перевантажень, а також у можливості одночасного відключення всіх трьох фаз. Це запобігає роботі обладнання в небезпечному неповнофазному режимі. До того ж, автомати можуть багаторазово спрацьовувати, що дозволяє використовувати їх у схемах автоматизації мереж — зокрема, для реалізації функцій автоматичного резервного ввімкнення (АВР) або автоматичного повторного ввімкнення (АПВ).

Завдяки цим характеристикам автоматичні вимикачі широко використовуються в мережах змінного струму з напругою до 660 В.

Автомати можуть бути обладнані системами релейного захисту, які

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

реалізуються у вигляді струмового відсічення або максимального струмового захисту — залежно від конструкції пристрою. Для цього використовуються електромагнітні реле прямої дії з часовою витримкою або без неї. Такі реле називаються розчеплювачами.

Для виконання захисту, надійно і що селективно діє при коротких замиканнях і перевантаженнях, максимальні розчеплювачі автоматів забезпечують витримками часу у вигляді годинникових механізмів. Уповільнення досягається за рахунок сповільнювача розчеплювача – механізму, що створює незалежну витримку часу, регульовану в межах $0,2 \div 0,4$ с або $0,4 \div 0,6$ 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.

$$I_{расч.ном} \geq I_{расч.тах}$$

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

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

Для одиночних двигунів, що захищаються автоматом:

$$I_{расч.тах} = I_{ном.дв}$$

Якщо елемент мережі, що захищається, працює в режимі технологічних перевантажень, то необхідно вибирати автомати з регульованим розчеплювачем сповільненого спрацьовування, що здійснює захист від перевантаження. Уставка сповільненого спрацьовування регульованих розчеплювачів, що здійснюють захист від перевантаження $I_{уст.п}$ вибирається за виразом:

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

При виборі струму уставки миттєвого спрацьовування 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:
-

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

де $\sum_{i=1}^n I_{пуски}$ - 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;
 -

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_{i=1}^{n-1} I_{н.дв} + I_{пуск.мах}, \quad (2.16)$$

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

$I_{пуск.мах}$ - пусковий струм найбільш потужного двигуна на ділянці мережі, що захищається, А;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по відключаючій здатності:

$$I_{пред.откл.} \geq I_{к.з.мах}^{(3)}$$

- на чутливість захисту:

- при захист автоматами з розчеплювачами сповільненої дії:

$$I_{к.з.мін}^{(1)} \geq I_{расц.ном}$$

де $I_{к.з.мін}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. (в електрично віддаленій точці ділянки мережі, що захищається);

$I_{расц.ном}$ - номінальний струм розчеплювача сповільненого спрацювання, А.

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

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

де $I_{уст.к.з.}$ - струм уставки миттєвого спрацювання;

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

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

Допускається не перевіряти на чутливість захисту при кратності струму к.з. у наступних випадках:

- при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{уст.к.з.} \leq 4,5 \cdot I_{дл.доп.}$$

де $I_{дл.доп.}$ - тривало допустимий струм провідника;

- при захисті ділянки мережі автоматом з регулюємим розчеплювачем сповільненого спрацювання:

$$I_{уст.к.з.} \leq 1,5 \cdot I_{дл.доп.}$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну та термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y$$

$$B_{К.доп.} \geq I_{П.О.}^2 \cdot t_{сраб}$$

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.;

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

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

Наведемо приклад вибору параметрів і типа автоматів, виходячи з розрахункової схеми, рис. 7, 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 довіднику) тип і потужність двигунів, а по ним – номінальні струми двигунів:

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

Результати розрахунку заносимо в таблицю .

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

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

$$I_{пуск} = 6 \cdot 99 = 594 A;$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типа АЗ710 з номінальними параметрами довідкові дані. При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.расц.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, A; \quad (2.20)$$

$$I_{н.расц.} = \frac{99}{0,85} = 117 A;$$

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.расц.} = 125 A$.

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

$$I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot I_{пуск}, A;$$

$$I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot 594 = 744 A.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 1000А.

Розраховуємо навантаження шинопроводу ШРА-73-1.

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

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

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

$$I_{пик} = I_{пуск, max} + \sum_1^{n-1} I_{ном.дв.} = 594 + 70 + 56 = 720 A$$

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з врахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{н.расц.} \geq I_{P.ШРА-1}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} \leq I_{\text{ср.эл.расц.}}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю .

Вибір ввідного автомата. Ввідні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з врахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі, згідно ГОСТ 14209 89.

$$I_{\text{п.ав.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{номт}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3407,4 \text{ А.}$$

2153,8

По струму післяаварійного режиму з врахуванням поправочного теплового коефіцієнта вибираємо номінальний струм селективного автомата з незалежною від величини струму витримкою часу при к.з.:

$$\frac{I_{\text{п.ав.}}}{0,85} \leq I_{\text{ном расц}}$$

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

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на рівень нижче за ввідний автомат:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 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:

$$I_{p \max} \leq I_{\text{дл доп}}$$

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

$I_{\text{дл доп}}$ – 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:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z$$

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

k_z – коефіцієнт захисту, який визначається за довідковими даними.

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

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

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

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

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

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

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.

					ET та EE 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$I_{\text{ср.расц}} \leq I_{\text{дл.доп.}}$$

При захисті проводів з паперовою ізоляцією у всіх приміщеннях:

$$I_{\text{н.расц}} \leq I_{\text{дл.доп.}}$$

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:

$$I_{\text{у.ср.эл.м.}} \leq 4,5 I_{\text{дл.доп.}}$$

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

$$I_{\text{ср.расц}} \leq 1,5 I_{\text{дл.доп.}}$$

Для автоматів з нерегульованим розчеплювачем зі зворотньою залежною характеристикою:

$$I_{\text{ср.расц}} \leq I_{\text{дл.доп.}}$$

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).

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

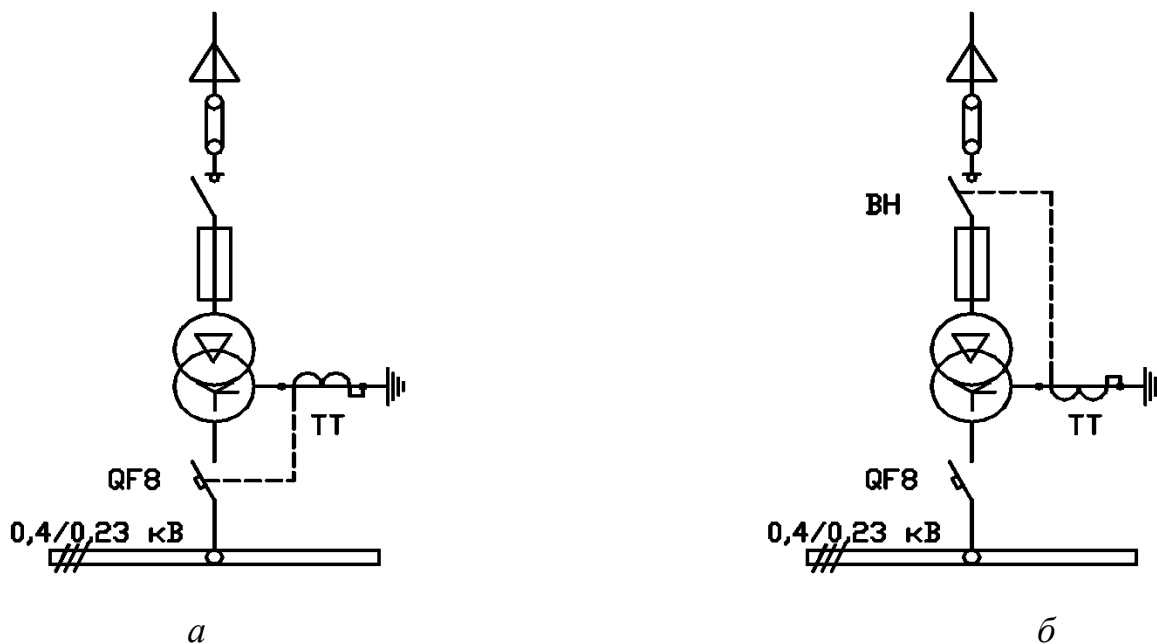


Рис. 2.6 Схема струмового захисту нульової послідовності при схемі БТМ
а – дія на вводній автомат; б – дія на вимикач навантаження.

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 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номинальна потужність, P_n , 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 $I_{п}$, А	Тепл. поправ. коеф. $\frac{I_{ном}}{I_{0,85}}$	$I_{ном}$, А / $\frac{I_n}{0,85}$, А	Ном. струм розч., $I_{роз}$, А	Струм уставки розчеплювача, $I_{отказ} \geq 1,25 \cdot I_{ном}$	Тип автомата, $I_{нз}$, А	Коеф. захисту, K_3	Допуст. струм СВЧ, I_A , А	Перевірка вибраного струму перерізу за умови $I_{нз.ном} \geq K_3 \cdot I_A$	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	ABBG(3*50)	5
QF_2	ШРА-1-АД-2	37	70	6	420	0,85	82	100	630	A3710/160	1	70	115	ABBG(3*25)	4,9
QF_3	ШРА-1-АД-3	30	56	6	336	0,85	66	80	630	A3710/160	1	70	90	ABBG(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:

$$I_{p\max} \leq I_{\text{дл доп}}$$

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

$I_{\text{дл доп}}$ – 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:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z$$

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

k_z – 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_z приймається рівним 1.

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

$$I_{p \max} \leq I_{дл доп}$$

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

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

Перевіряємо на відповідність захисту $I_{дл доп} \geq k_z \cdot I_z$,

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

Перевіряємо аналогічно: $I_{дл доп} \geq k_z \cdot I_z$,

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

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{действ} < 0,05 U_n$$

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

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів короткого замикання (к. з.) у мережах напругою до 1 кВ є перевірка вибраних автоматичних вимикачів і шинопроводів на їх здатність витримувати струми короткого замикання. Для автоматів також перевіряється відповідність граничному струму вимкнення та чутливість захисту.

Щоб перевірити здатність апаратів відключати струм короткого замикання, обчислюють максимальне значення трифазного струму к. з. Для оцінки чутливості захисту визначається мінімальний струм однофазного к. з. у точці мережі, що є найбільш віддаленою від джерела живлення.

Особливості розрахунків для мереж до 1 кВ:

Розрахунки проводяться у фізичних (іменованих) одиницях.

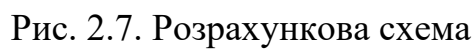
Усі активні й індуктивні опори елементів кола короткого замикання мають бути враховані. До них належать: провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, електрична дуга, контакти та контактні з'єднання.

Допускається не враховувати вплив асинхронних двигунів, якщо їх загальний номінальний струм не перевищує 10% від початкової амплітуди періодичної складової струму короткого замикання, розрахованої без урахування

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

- складається розрахункова схема на яку наносяться струми к. з.;
- за розрахунковою схемою складається схема заміщення. в якій всі елементи розрахункової схеми замінюються активними і індуктивними опорами;
- розраховуються опори елементів мережі (опори прямої послідовності, опори нульової послідовності, опори ланцюга фаза-нуль); визначають величини трифазного та однофазного к. з. у намічених точках мережі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



ET ma EE 4815.004.000 ПЗ

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 :

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{срнн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (2.25)$$

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

Таблиця 2.2 - Опори (питомі) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш1) (35м)	ШРА 400 (Ш2) (20м)	Кабель АБВГ (3*25) мм ² (К6) (20м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF 3	QF 4	QF 8
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	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					

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{QF3} + r_{ТАЗ}, \text{ Ом}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_C + x_{QF3} + x_{ТАЗ}, \text{ Ом}$$

де x_C – еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, приведений до сторони нижчої напруги :

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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.

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

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

r_{1T} , r_{QF3} , r_{TA3} , x_{1T} , x_c , x_{QF3} , x_{TA3} – активні і індуктивні опори трансформатора, 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:

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

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

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

$U_{\text{к.з.}}$ – напруга короткого замикання трансформатора, % (довідкові дані трансформатора);

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

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

$$I_{\text{на вх}} \leq 0,1 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}$$

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:

$$I_{\text{ном}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ли}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{o\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (2.29)$$

$$\text{де } r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\phi-o.Ш1} + r_{\phi-o.Ш2} + r_{\phi-o.КБ}) \quad (2.30)$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ} \quad (2.31)$$

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\phi-o.Ш1} + x_{\phi-o.Ш2} + x_{\phi-o.КБ}); \quad (2.32)$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA} + x_{1КБ}; \quad (2.33)$$

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.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} X_{0\Sigma} &= X_{0T} + X_{0QF3} + X_{0TA3} + X_{0ШМА} + X_{0QF2} + X_{0TA2} + X_{0КБ2} + X_{0ШРА} + X_{0TA1} + \\ &+ X_{0QF1} + X_{0КБ1} = 21,65 + 0,08 + 4,8 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + \\ &+ 0,2 \cdot 0,17 + 0,02 + 2 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,76 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

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

Всі обрані автомати перевіряють:

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

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

- на чутливість захисту:

при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії: $I_{\text{к.з. min}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{расц ном}}$,

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

$I_{\text{расц ном}}$ - номінальний струм розчіплювача уповільненого спрацьовування, А.

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

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

де $I_{\text{кст к.з.}}$ - 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: $I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{к.з. max}}^{(3)}$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

відключення.

Всі автомати задовольняють умовам перевірки на чутливість захисту.

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

Електроенергія, що подається до електроприймачів, повинна відповідати якісним показникам, встановленим стандартом ГОСТ 13109-87 /21/, аби гарантувати надійну та економічну роботу обладнання. Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), уся електромережа — від цехової підстанції до електроприймачів — має проходити перевірку на відповідність допустимим відхиленням напруги, з урахуванням режиму напруги на шинах живильного центру. Якщо ж відхилення перевищують встановлені межі, у мережі мають бути реалізовані відповідні технічні заходи з регулювання напруги.

Відхилення напруги — це різниця між фактичною напругою і номінальною напругою у разі повільних змін напруги, коли швидкість її зміни не перевищує 1% за секунду:

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

Допустиме нормальне відхилення напруги в мережах низької напруги становить $\pm 5\%$, а максимально допустиме — $\pm 10\%$ для мереж як низької, так і високої напруги (до 20 кВ).

Втрати, спричинені відхиленням напруги, мають дві основні складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова виникає через додаткові втрати електроенергії в елементах електромережі, тоді як технологічна зумовлена зниженням продуктивності обладнання та ефективності праці.

Найбільш чутливими до змін напруги є освітлювальні системи та конденсаторні установки. Наприклад, при зменшенні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання може знизитися на 20%, тоді як збільшення напруги на 10% скорочує строк їх служби у чотири рази.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

$$U_{11} = U_1 + U_{011} - U_{H1} - U_{01} - \Delta U_T,$$

де $U_{011} - U_{H1} - U_{01} = E$ — добавка напруги при регулюванні;

U_1 — відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

U_{H1} — відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регульовального відгалуження обмотки ВН;

U_{01} — відхилення напруги регульовального відгалуження;

U_{011} — відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора

					ET та EE 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

від номінальної напруги мережі низької напруги;

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

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

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

де $\Delta P_{кз}$ та $U_{кз}$ – паспортні дані трансформатора, відповідно втрати короткого замикання, кВт, і напруга короткого замикання, %.

У застосування до цих умов маємо:

$S_{нтр} = 1000$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 16,5$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

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

$$S_p = \frac{\sqrt{2599,9^2 + 226,3^2}}{4} = 608,11 \text{ кВА.}$$

Коефіцієнт активної потужності визначаючи, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{нск}}{P_{p\Sigma}} \quad (2.38)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{226,3}{2599,9} = 0,08$$

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 ($U_1 = 5\%$, $U_n = 0$).

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

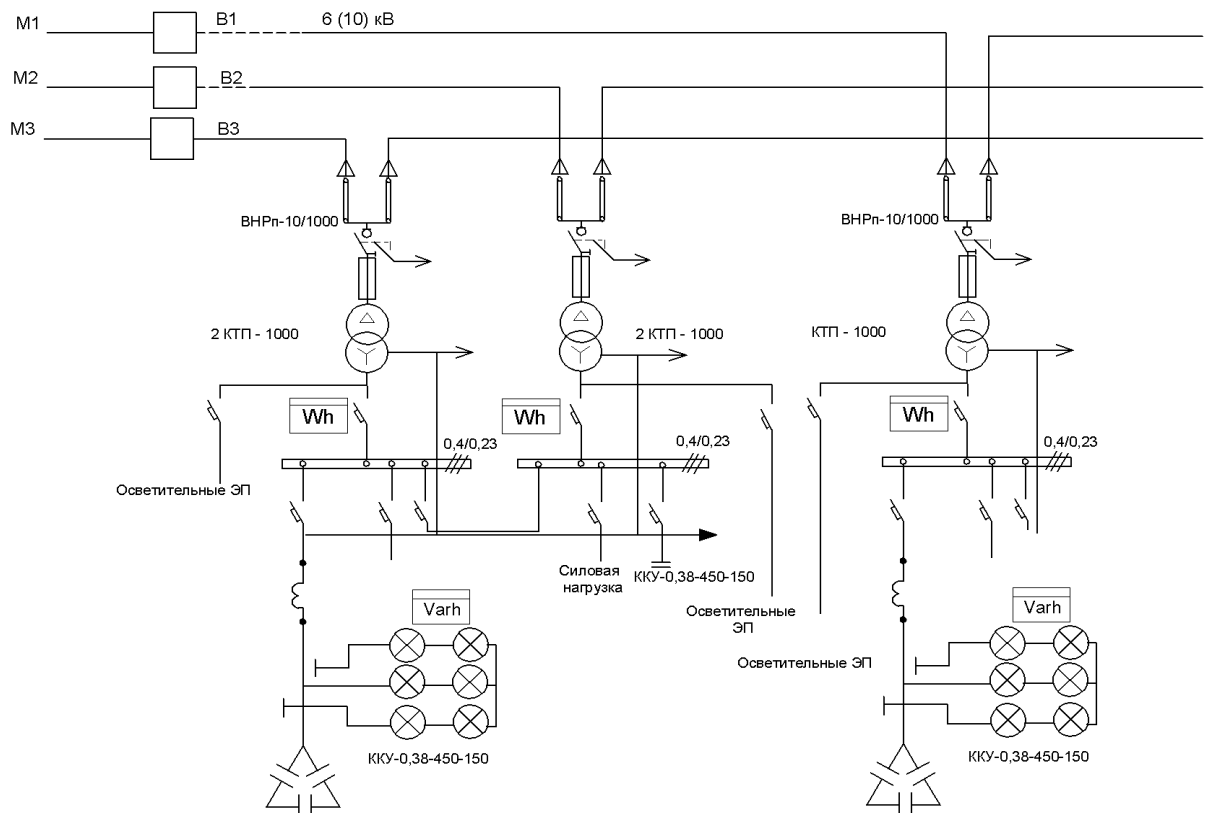


Рис.1. Схема совместного питания силовой и осветительной нагрузки от КТП с КРМ в сети до 1 кВ

Рис.2.8. Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями

Проектований вузол навантаження, на підставі аналізу технологічного процесу, класифікується як споживач 1 категорії за ступенем безперебійності електропостачання. Це значною мірою вплинуло на вибір схемних рішень для системи електропостачання, що розробляється. Зокрема, для споживачів із напругою 0,4 кВ передбачено два незалежних джерела живлення. Глибоке резервування на всіх рівнях трансформації забезпечує належну надійність системи електропостачання.

Застосування системної автоматики (АВР) на секційних вимикачах не є обов'язковим. Перерва в електропостачанні може мати місце лише на час

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

виконання оперативних перемикачів під час вводу резервного живлення.

З метою зменшення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводській мережі розподілу, у межах дипломного проєкту здійснено розрахунок необхідної потужності додаткових джерел реактивної потужності (конденсаторних батарей), розміщених максимально наближено до споживачів електроенергії.

Споживачі напругою 0,4 кВ, рівномірно розташовані на площі цеху, отримують живлення через розподільні шинопроводи. Це рішення забезпечує гнучкість електричної схеми та сприяє застосуванню сучасних методів індустріального монтажу.

Використання вітчизняної апаратури для комутації, захисту та вимірювання дає змогу знизити капітальні витрати на будівництво та монтаж без погіршення надійності системи.

Живлення споживачів цеху реалізується через два магістральні шинопроводи та шість радіальних ліній.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висновок

У результаті виконання дипломного проєкту було вирішене комплексне інженерне завдання з проєктування системи електропостачання вузла навантаження конверторного цеху металургійного підприємства.

На основі аналізу технологічного процесу та характеру електроспоживачів обґрунтовано вибір джерел живлення, типів електрообладнання, схеми електропостачання та засобів захисту. Проведено розрахунок електричних навантажень, визначено необхідну потужність трансформаторних підстанцій та параметри струмопровідних елементів системи.

Особливу увагу приділено забезпеченню надійності та безпеки експлуатації системи, враховуючи специфіку роботи конверторного цеху, що характеризується різкими змінними навантаженнями, високими струмами короткого замикання та підвищеними вимогами до якості електроенергії. Розроблені заходи щодо підвищення енергоефективності та оптимізації втрат електроенергії.

У проєкті враховано сучасні нормативні вимоги та технічні умови, що дозволяє рекомендувати запропоновану систему електропостачання до впровадження в практику при модернізації або будівництві нових об'єктів металургійної промисловості.

Таким чином, поставлені у дипломному проєкті задачі були повністю вирішені, а отримані результати можуть слугувати основою для подальших технічних та економічних обґрунтувань в рамках реалізації проєкту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 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 4815.004.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		