

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 СЕП ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ КОВАЛЬСЬКО-ШТАМПУВАЛЬНОГО ЦЕХУ МЕТАЛООБРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е21+Е22 приск.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Денис ПРИЩЕПА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

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

Секретар ЕК _____/Ігор 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)

Прищепі Денису Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості

керівник роботи Олійник Юлія Сергіївна, к.пед.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “11” квітня 2025 року № 4801-5/925

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. Перелік питань, які потрібно розробити)

Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкту, розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП), розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ, розміщення цехових трансформаторів на площі цеху, 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 перетини струмоведучих частин, розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ, перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання, перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ
2	ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ: розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)
3	Розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ
4	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху
5	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ
6	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)
7	Вибір марки і перетини струмоведучих частин
8	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання
9	Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП
10	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

Д.В. Прищепа

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

Ю.С. Олійник

ініціали, прізвище

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. СТИСЛА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ і вище 1 кВ

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

2.3. Розрахунок втрат потужності в елементах СЕП

2.4. Розрахунок потужності КУ в мережі вище 1 кВ

2.5. Вибір напруги розподільчої мережі, яка живить високовольтне обладнання

2.6. Вибір числа, потужності та конструктивних особливостей трансформаторів ПГВ

2.7. Розміщення цехових трансформаторів на площині цеху

2.8. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів та ВВ обладнання

2.9. Розрахунок струмів К.З. в мережі до і вище 1 кВ

2.10 Вибір марки і перерізу кабелів, які живлять високовольтні установки

2.11. Вибір типу і основних параметрів апаратів, які використовуються в схемі електропостачання

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ								
					Проектування СЕП вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості			Літ.		Маса	Масштаб		
											1	1 : 1	
								Арк.			Аркушів		
								Пояснювальна записка					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			ДЕА-Е21+Е22пр					
Розроб.		Прищепя Д.В.											
Перевір.		Олійник Ю.С.											
Т. Контр.													
Реценз.													
Н. Контр.													
Затверд.		Чернюк А.М.											

2.12. Сучасна система розрахунку за електроенергію, яка
споживається підприємством

2.13. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла
навантаження

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

<i>ЕП</i>	—	електроприймач
<i>СЕП</i>	—	система електропостачання
<i>ТП</i>	—	трансформаторна підстанція
<i>КТП</i>	—	комплектна трансформаторна підстанція
<i>ПС</i>	—	підстанція
<i>ГЗП</i>	—	головна знижувальна підстанція
<i>ПГВ</i>	—	підстанція глибокого вводу
<i>КРП</i>	—	компенсація реактивної потужності
<i>ЯЕЕ</i>	—	якість електричної енергії
<i>ДЖ</i>	—	джерело живлення
<i>ККУ</i>	—	комплектна конденсаторна установка
<i>ДРП</i>	—	джерело реактивної потужності
<i>РП</i>	—	реактивна потужність
<i>КУ</i>	—	конденсаторна установка
<i>АД</i>	—	асинхронний двигун
<i>СД</i>	—	синхронний двигун
<i>ДСП</i>	—	дугосталеплавильна печь
<i>ВВ</i>	—	високовольтні (<i>ЕП</i> , електрообладнання тощо.)
<i>НВ</i>	—	низьковольтні (<i>ЕП</i> , електрообладнання тощо.)
<i>ДДРП</i>	—	додаткові джерела реактивної потужності
<i>ФКП</i>	—	фільтрокомпенсуючі пристрої
<i>ФСП</i>	—	фільтросиметрируючі пристрої

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний етап розвитку промисловості вимагає від енергетичних систем не лише забезпечення стабільного та надійного електропостачання, але й підвищеної ефективності, економічності та здатності гнучко адаптуватися до змін виробничого процесу. В умовах загальносвітового курсу на енергозбереження та зниження викидів вуглецю особливої актуальності набуває правильне проєктування внутрішньоцехових систем електропостачання (СЕП), оскільки саме на цьому рівні відбувається передача електричної енергії безпосередньо до споживачів — технологічного обладнання, автоматичних систем управління та допоміжних пристроїв.

Ковальсько-штампувальні цехи, що належать до енергоємних підрозділів підприємств важкого машинобудування, характеризуються високою концентрацією потужного електротехнічного устаткування, змінною структурою навантаження, жорсткими вимогами до надійності живлення та стабільності параметрів електроенергії. Крім того, для такого типу цехів важливо враховувати не лише загальні енергетичні потреби, але й специфіку технологічного процесу, в якому значну частку споживання становить реактивна потужність.

Проєктування СЕП передбачає врахування багатьох взаємозалежних факторів: конфігурації обладнання, типу виробництва, режимів роботи електроприймачів, а також перспектив розвитку підприємства. Надійне енергозабезпечення — ключовий чинник безперебійної роботи обладнання та підтримання необхідної якості продукції. Водночас, надмірне резервування потужностей або нераціональний вибір схем живлення може призводити до перевитрат на електроенергію та додаткових витрат на обслуговування системи.

Значна увага в роботі приділяється також сучасним підходам до компенсації реактивної потужності, зменшенню втрат в мережі, оптимальному вибору трансформаторного обладнання, а також впровадженню автоматизованих систем обліку та керування електроспоживанням.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, дипломна робота спрямована на вирішення комплексу технічних, енергетичних та економічних задач з урахуванням актуальних проблем галузі. Проектні рішення, що пропонуються, мають бути не лише технічно обґрунтованими, але й відповідати принципам енергоефективності, економічної доцільності та екологічної безпеки.

Особливу увагу приділено розробці однолінійної схеми електропостачання, вибору електротехнічного обладнання, розрахунку навантажень, втрат потужності та струмів короткого замикання. Це дозволяє забезпечити комплексне бачення системи електропостачання, оцінити її експлуатаційні характеристики та сформулювати техніко-економічні засади для подальшої реалізації проекту.

Мета роботи. Розробити ефективну схему електропостачання промислового цеху з урахуванням енергозбереження, надійності живлення та сучасних стандартів проектування.

Об'єкт дослідження. Система електропостачання (СЕП) промислового підприємства, а саме - внутрішньоцехова мережа живлення ковальсько-штампувального цеху металообробної промисловості.

Предмет дослідження. Процеси проектування, розрахунку та оптимізації елементів внутрішньоцехової системи електропостачання, зокрема вибір параметрів електрообладнання, рівнів напруги, схем живлення, а також засобів компенсації реактивної потужності та обліку електроенергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. СТИСЛА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Ковальсько-штампувальний цех є важливим виробничим підрозділом, який забезпечує виготовлення заготівель для деталей машин та механізмів методом гарячого штампування і кування. У технологічному ланцюгу підприємства цей цех виконує роль першого етапу механічної обробки металу, тому його стабільна і безперебійна робота має вирішальне значення для ритмічності функціонування усього виробництва.

Основним технологічним обладнанням у цеху є ковальсько-пресові машини, молоти, гідравлічні преси, нагрівальні печі, штампувальні комплекси, а також підйомно-транспортні засоби. Всі ці установки є споживачами електроенергії, і їх функціонування залежить від якості та надійності живлення. Частина обладнання, зокрема електропечі, характеризується значним споживанням реактивної потужності, а тому вимагає застосування заходів компенсації.

Враховуючи функціональне призначення та енергетичні характеристики електроприймачів, можна зробити висновок, що більшість обладнання належить до II категорії надійності електропостачання, з елементами I категорії, наприклад, систем автоматизованого управління чи електропечі безперервного нагріву. Зупинка таких об'єктів навіть на короткий проміжок часу може призвести до псування заготовок, порушення технологічного режиму або значного енергетичного перевантаження при повторному пуску.

Цех має площу понад 11 000 м², що зумовлює значну протяжність внутрішньоцехових мереж та потребу у ретельно спроектованій схемі розташування трансформаторних підстанцій і прокладання кабельних ліній. Загальне електричне навантаження включає як силові установки (преси, компресори, насоси), так і освітлювальні та допоміжні електроприймачі. Особливістю навантаження є його пульсуючий характер, наявність нерівномірного розподілу по площі цеху та в часі, що обумовлює необхідність врахування перехідних процесів і пускових струмів при виборі обладнання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, технологічний процес у ковальсько-штампувальному цеху вимагає застосування енергетичних рішень, здатних забезпечити стабільну роботу устаткування, зниження втрат електроенергії, компенсацію реактивної потужності та гнучке управління електричними навантаженнями. Це накладає високі вимоги до системи електропостачання, що проектується, яка повинна відповідати сучасним вимогам якості та безпеки.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ і вище 1 кВ

Розрахунок електричних навантажень від силових ЕП напругою до 1 кВ.

Встановлена потужність НВ ЕП ковальсько – штампувального цеха складає: $P_H = 6528$ кВт, $K_c = 0,75$, $\cos \phi = 0,65$.

$$P_p = 6528 \cdot 0,75 = 4896 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 4896 \cdot 1,17 = 5728 \text{ квар.}$$

Повне розрахункове силове навантаження по цеху складає:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{4896^2 + 5728^2} = 7535 \text{ кВА.}$$

Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП :

$$P_{H.O} = P_{уд.0} \cdot F \cdot 10^{-3} = 15,6 \cdot 11500 \cdot 10^{-3} = 179,4 \text{ кВт.}$$

Розрахункове освітлювальне навантаження:

$$P_{P.O} = P_{H.O} \cdot K_{C.O} \cdot K_{ПРА} = 179,4 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 187,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.O} = P_{P.O} \cdot \operatorname{tg} \phi = 187,5 \cdot 0,33 = 61,9 \text{ квар.}$$

Сумарне розрахункове електричне навантаження від силових та освітлювальних ЕП визначається:

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_{P.C} + P_{P.O})^2 + (Q_{P.C} + Q_{P.O})^2} = \\ &= \sqrt{(4896 + 187,5)^2 + (5728 + 61,9)^2} = 7705 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок електричних навантажень від силових ЕП напругою вище

1 кВ

Номінальна потужність, кВт, трансформаторів ДСП визначається наступним чином:

$$P_{\text{Н.ДСП}} = S_{\text{Н.ДСП}} \cdot \cos\varphi = 1000 \cdot 0,87 = 870 \text{ кВт.}$$

Визначення розрахункових навантажень, які формуються ЕП напругою вище 1 кВ:

$$P_{\text{Р.АД-1}} = 200 \cdot 0,45 = 90 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.АД-1}} = 90 \cdot 0,776 = 70 \text{ квар};$$

$$P_{\text{Р.АД-2}} = 500 \cdot 0,45 = 225 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.АД-2}} = 225 \cdot 0,672 = 151 \text{ квар};$$

$$P_{\text{Р.АД-3}} = 1200 \cdot 0,45 = 540 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.АД-3}} = 540 \cdot 0,48 = 259 \text{ квар};$$

$$P_{\text{ДСП}} = 870 \cdot 0,45 = 392 \text{ кВт}, Q_{\text{ДСП}} = 392 \cdot 0,567 = 222,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо завантаження (K_C) *СД*, яка дорівнює 0,7 ($\beta = 0,7$), відносна напруга на шинах *СД* ($U = 1$), тоді $\alpha_M = 1,33$.

$$P_{\text{Р.СД-1}} = 300 \cdot 0,7 = 210 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.СД-1}} = \frac{1,33 \cdot 300 \cdot 0,48}{0,94} = -204 \text{ квар};$$

$$P_{\text{Р.СД-2}} = 600 \cdot 0,7 = 420 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.СД-2}} = \frac{1,33 \cdot 600 \cdot 0,48}{0,935} = -410 \text{ квар};$$

$$P_{\text{Р.СД-3}} = 1000 \cdot 0,7 = 700 \text{ кВт}, Q_{\text{Р.СД-3}} = \frac{1,33 \cdot 1000 \cdot 0,48}{0,946} = -675 \text{ квар.}$$

Таблиця 1.1. – Вихідні та розрахункові дані для електроприймачів високої напруги (ВВ ЕП)

Характерні групи ЕП	Паспортні дані ЕП, Р _Н , кВт	Номінальна потужність ЕП, кВт	Число ЕП в групі, шт	Сумарна встановлена потужність ЕП, кВт	K _C	$\frac{\cos\varphi}{\tan\varphi}$	Розрахункові навантаження		
							Р _Р , кВт	Q _Р , квар	S _Р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АД тип А12-42-10, $\eta = 0,915$	200	200	2	400	0,45	$\frac{0,79}{0,776}$	180	140	228
АД тип А13-62-10, $\eta = 0,935$	500	500	2	1000	0,45	$\frac{0,83}{0,672}$	450	302	542

АД тип А13-59-4, $\eta = 0,945$	1200	1200	2	2400	0,45	$\frac{0,9}{0,48}$	1080	518	1198
СД тип СДН-315-6, $\eta = 0,94$	300	300	1	300	0,7	$\frac{0,9}{0,48}$	210	-204	293
СД тип СДН-500-6, $\eta = 0,935$	600	600	1	600	0,7	$\frac{0,9}{0,48}$	420	-410	587
СД тип СДН-1000-6, $\eta = 0,946$	1000	1000	2	2000	0,7	$\frac{0,9}{0,48}$	1400	-1350	1945
							3740		
ДСП ЭТДцН-1000	1000	870	6	5220	0,45	$\frac{0,87}{0,567}$	392	222,3	450,7
							2352	1334	2704
Всього:				11920			6092	330	7497

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

Вибір потужності цехових трансформаторів здійснюється по питомій щільності навантаження цеху:

$$\gamma = \frac{S_p}{F} = \frac{7705}{11500} = 0,67 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Виходячи з результатів електричних навантажень напругою до 1 кВ, навантаження (силове та освітлювальне) складають:

$$P_{P\Sigma} = 5084 \text{ кВт};$$

$$Q_{P\Sigma} = 5790 \text{ квар.}$$

1. Обираємо із шкали встановлених потужностей цехових трансформаторів одиничну потужність $S_{н.тр} = 1600$ кВА.

2. Мінімальне число трансформаторів:

3.

$$N_{т.мін} = \frac{P_{p.c.} + P_{p.o.}}{\beta \cdot S_{н.тр}} + \Delta N = \frac{5084}{0,7 \cdot 1600} + 0,461 = 5 \text{ шт.}$$

4. Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{опт} = N_{т.мін} + m.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ				Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

За допомогою кривих визначаємо додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді

$$N_{\text{опт}} = N_{\text{т.мін}} = 5 \text{ шт.}$$

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{опт}} \cdot S_{\text{н.тр}})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2} \\ = \sqrt{(0,7 \cdot 5 \cdot 1600)^2 - 5084^2} = 2348 \text{ квар.}$$

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

$$Q_{\text{нк1}} = Q_p - Q_m = 5790 - 2348 = 3442 \text{ квар.}$$

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

$$Q'_{\text{нк1}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\text{опт}}} = \frac{3442}{5} = 688 \text{ квар.}$$

За цією величиною вибираємо із табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: *ККУ-0,38-600-150*.

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

$$Q''_{\text{нк1.спр}} = N_{\text{опт}} \cdot Q'_{\text{нк1.спр}} = 5 \cdot 600 = 3000 \text{ квар.}$$

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

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{нк1.спр}} = 5790 - 3000 = 2790 \text{ квар.}$$

9. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів $Q_{\text{нк2}}$ для оптимального зниження втрат:

$$Q_{\text{нк2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЕ}} \cdot S_{\text{HT}} = 2790 - 0,44 \cdot 5 \cdot 1600 = -730 \text{ квар,}$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, які ми визначаємо по кривих 4.9. [1], виходячи зі значень K_1 (табл.4.6. [1]) і K_2 (табл.4.7. [1]):

					$K_1 = 12; K_2 = 7; \gamma = 0,44.$	Лист
					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки $Q_{\text{нк2}} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{\text{нк2}}$ приймається рівною нулю.

2.3. Розрахунок втрат потужності в елементах СЕП

Параметри цехового трансформатора ТМ-1600/10-0,4: $\Delta P_{\text{х.х.}} = 3,3$ кВт, $\Delta P_{\text{к.з.}} = 18$ кВт, $I_{\text{х.х.}} = 1,3$ %, $U_{\text{к.з.}} = 5,5$ %.

Втрати потужності в цехових трансформаторах:

$$\Delta P_T = (3,3 + 0,7^2 \cdot 18) \cdot 5 = 60,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = \frac{1,3 + 0,7^2 \cdot 5,5}{100} \cdot 1600 \cdot 5 = 319,6 \text{ квар.}$$

Втрати потужності в пічних трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{п.тр}} = 0,02 \cdot 2704 = 54 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{п.тр}} = 0,1 \cdot 2704 = 270,4 \text{ квар.}$$

Втрати потужності у ВВ двигунах:

$$\Delta P_{\text{АД-1}} = 400 \cdot \frac{1-0,915}{0,915} = 37,2 \text{ кВт}; \Delta P_{\text{АД-2}} = 1000 \cdot \frac{1-0,935}{0,935} = 69,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{АД-3}} = 2400 \cdot \frac{1-0,945}{0,945} = 140 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{СД-1}} = 300 \cdot \frac{1-0,94}{0,94} = 19,2 \text{ кВт}; \Delta P_{\text{СД-2}} = 600 \cdot \frac{1-0,935}{0,935} = 42 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{СД-3}} = 2000 \cdot \frac{1-0,946}{0,946} = 114,2 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати в елементах СЕП будуть складати:

$$\Delta P_{\Sigma} = 60,6 + 54 + 37,2 + 69,6 + 140 + 19,2 + 42 + 114,2 = 537 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = 319,6 + 270,4 = 590 \text{ квар.}$$

2.4. Розрахунок потужності КУ в мережі вище 1 кВ

$$P_{\text{Р}\Sigma} = 5084 + 6092 + 537 = 11710 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{Р}\Sigma} = 2790 + 330 + 590 = 3710 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{Е1}} = 11710 \cdot 0,25 = 2928 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{К.В.}} = 3710 - 2928 = 782 \text{ квар.}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості компенсуючого пристрою вибираємо ККУ-6-II, потужністю 500 квар.

2.5. Вибір напруги розподільчої мережі, яка живить високовольтне обладнання

У процесі проектування внутрішньоцехової системи електропостачання важливим етапом є визначення рівня напруги розподільчої мережі, що забезпечує живлення високовольтного електрообладнання. Вибір цього параметру істотно впливає на надійність, ефективність і економічність роботи всієї системи електропостачання.

Вихідною базою для обґрунтування рівня напруги є результати електричних розрахунків, згідно з якими сумарна встановлена потужність електроприймачів високої напруги становить 11 920 кВт, а розрахункове повне навантаження — 7497 кВА. До складу цих споживачів входять як асинхронні, так і синхронні електродвигуни, а також трансформатори дугових сталеплавильних печей. Основна частина цього обладнання характеризується високими пусковими струмами, значною потужністю і специфічними вимогами до якості електроенергії, зокрема до стабільності напруги та частоти.

Аналіз конструктивних і режимних характеристик електроприймачів показує, що усі вони працюють при номінальній напрузі 6 кВ.

Такий рівень напруги є типовим для розподільчих мереж середньої напруги в промисловості, особливо в металургійних цехах з інтенсивним і безперервним виробничим навантаженням. Це обумовлено тим, що мережі на 6 кВ забезпечують достатню електричну міцність ізоляції, прийнятну вартість електрообладнання, відносно малі втрати потужності при передачі енергії на значні відстані в межах цеху, а також дозволяють реалізувати резервування живлення та гнучке керування навантаженнями.

З урахуванням розміщення електроприймачів у межах цеху, протяжності кабельних ліній і обраної магістральної схеми живлення, напруга 6 кВ дозволяє оптимізувати перерізи кабелів, зменшити кількість трансформаторів та забезпечити прийнятні рівні струмів короткого замикання. Окрім того

ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ

					Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

застосування напруги 6 кВ є доцільним з точки зору уніфікації та взаємозамінності обладнання, оскільки більшість електроприймачів високої потужності, що застосовуються в промисловості, виготовляються саме на цей рівень напруги.

Також слід зазначити, що синхронні двигуни, які входять до складу ВВ електроприймачів, працюють у режимі перезбудження, генеруючи реактивну потужність. Це дозволяє частково компенсувати навантаження мережі і покращити показники якості електроенергії, зменшивши необхідність в установці додаткових компенсуючих пристроїв. Такий режим роботи найбільш ефективно реалізується саме при рівні напруги 6 кВ, що також підтримує обґрунтованість вибору.

Таким чином, з урахуванням усіх технічних, економічних і експлуатаційних факторів, для живлення розподільчої мережі, яка обслуговує високовольтне обладнання цеху, доцільно прийняти номінальну напругу 6 кВ. Це рішення забезпечує баланс між ефективністю, економічністю та надійністю функціонування системи електропостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2. – Розрахунок електричних навантажень

Вихідні дані						Довідкові дані		Середнєм. навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП n_e	Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм I_p, A
№ п/п	Найменування характеристик груп ЕП	К-ть n , шт	Паспортні дані характеристик груп ЕП		Ном. потуж. характеристик груп ЕП $P_{ном.г}$, кВт	Коефіцієнт використання K_u	$\frac{\cos \varphi}{\lg \varphi}$	$P_{см.г}$, кВт	$Q_{см.г}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	
			Одного ЕП, кВт	Загальна, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Привід повороту конвертора	24	18.30	439.20	439.20	0.40	0.593/ 0.86	175.7	104.2	-	-	-	-	-	-
2	Привід нахилу міксера	10	7	70	70	0.40	0.593/ 0.86	28	16.6	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	85	4.35	369.75	369.75	0.60	0.567/ 0.87	221.8	125.7	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	1	15	15	15	0.70	0.567/ 0.87	10.5	6	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	110	5.18	569.80	569.80	0.40	0.620/ 0.85	227.9	141.3	-	-	-	-	-	-
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	1	10	10	10	0.40	0.620/ 0.85	4	2.5	-	-	-	-	-	-
7	Зварювальні машини шовної зварки	50	7.20	360	360	0.45	0.750/ 0.80	162	121.5	-	-	-	-	-	-
8	Елеватори, конвеєри	5	8	40	40	0.60	0.567/ 0.87	24	13.6	-	-	-	-	-	-
9	РАЗОМ силові ЕП	286Σ	-	-	1873.55 Σ	$K_{у-г}=0.4$ 6	-	854Σ	531.4Σ	143.3	1.376	1174.8Σ	728.1 Σ	1377.2Σ	-
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху F=11500 м²)	-	-	-	230	-	-	-	-	-	$K_{с.о.}$	230	75	-	-
11	ВСЬОГО по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Σ	818.1 Σ	1710.2Σ	2477 Σ

2.6. Вибір числа, потужності та конструктивних особливостей трансформаторів ПГВ

- Повне розрахункове навантаження на шинах ЗРП ПГВ:

$$S_{p\Sigma} = 0,95 \cdot \sqrt{11710^2 + 3710^2} = 11670 \text{ кВА.}$$

- Розрахункова потужність трансформатора ПС:

$$S_{TP} = \frac{11670}{1,4} = 8336 \text{ кВА.}$$

Приймаємо до установки на ПГВ два силових трансформатора типу ТДТН – 10000/35 – 10 – 6 кВ.

Визначимо завантаження обмоток низької напруги. Від обмотки низької напруги 6 кВ живляться ВВ двигуни, навантаження яких з врахуванням втрат складає:

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ		Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

$$P_{P\Sigma ДВ} = 3740 + 422 = 4162 \text{ кВт};$$

$$Q_{P\Sigma ДВ} = -1004 \text{ квар};$$

$$S_{P.6\text{кВ}} = 4281 \text{ кВА}.$$

З розрахунків видно, що обмотки трансформаторів напругою 6 кВ завантажені приблизно по 2150 кВА кожна.

Навантаження обмоток 10 кВ складає:

$$P_{P.10\text{кВ}} = 5084 + 2352 + 114,6 = 7551 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.10\text{кВ}} = 2790 + 1334 + 590 = 4714 \text{ квар};$$

$$S_{P.10\text{кВ}} = 8902 \text{ кВА}.$$

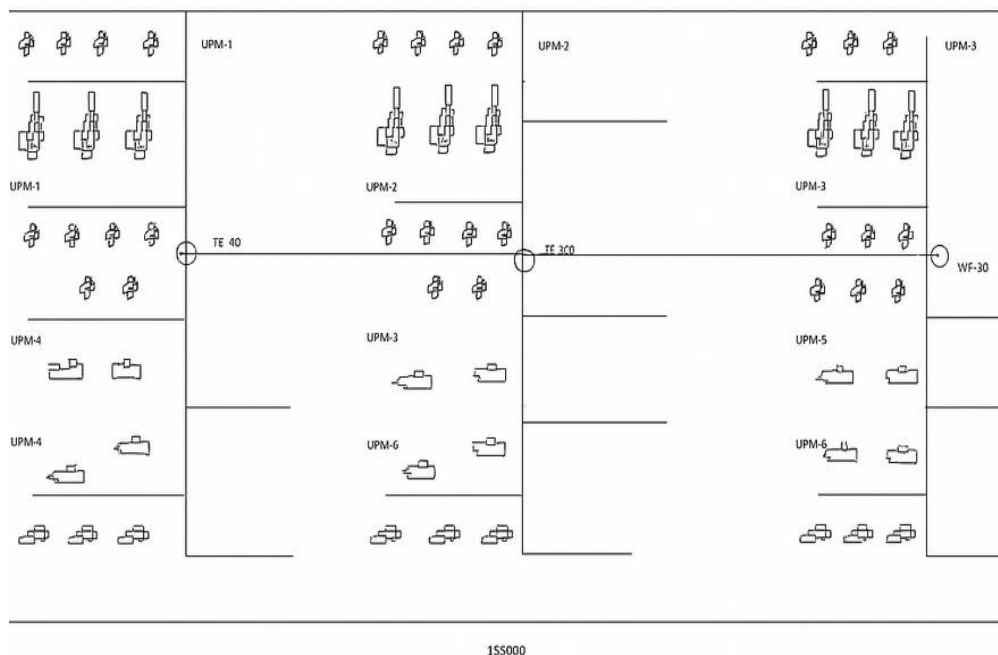
Навантаження обмоток 10 кВ складає приблизно 4500 кВА, що відповідає коефіцієнту завантаження трансформатора 0,5.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів ПГВ складе:

$$K_3 = \frac{S_{P\Sigma}}{2 \cdot S_{H.TP}} = \frac{11670}{2 \cdot 10000} = 0,6;$$

що відповідає нормам експлуатації.

2.7. Розміщення цехових трансформаторів на площині цеху



Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ

Лист

Рисунок 1.1. – Розміщення обладнання на площі цеху

Розміщення цехових трансформаторів на площині цеху є одним із ключових рішень при проектуванні системи електропостачання, оскільки воно безпосередньо впливає на ефективність енергопостачання, втрати електроенергії, довжину кабельних ліній, а також зручність експлуатації та технічного обслуговування обладнання.

Основною метою при виборі місця встановлення трансформаторів є мінімізація довжини силових кабелів, що з'єднують трансформатори з електроприймачами, забезпечення безпеки персоналу та дотримання санітарно-технічних норм. Це досягається шляхом максимального наближення трансформаторів до центрів електричних навантажень. У цеху, де присутні як високовольтні, так і низьковольтні споживачі, зокрема потужні електродвигуни, печі та інше технологічне обладнання, особливо важливою є правильна орієнтація та симетричне розміщення трансформаторних підстанцій відносно навантаження.

У відповідності до результатів розрахунків, а також виходячи з компоновки обладнання в ковальсько-штампувальному цеху, було прийнято рішення про встановлення двох цехових трансформаторів типу ТМ-1600/10-0,4 кВА. Їх потужність визначено з урахуванням питомої щільності електричного навантаження та економічної доцільності. Для забезпечення резервування передбачено паралельну роботу трансформаторів із можливістю перемикавання навантаження у разі виходу одного з агрегатів з ладу. Обидва трансформатори працюють у магістральній схемі живлення, що дозволяє гнучко керувати розподілом навантаження.

Розміщення трансформаторів виконано таким чином, щоб вони займали мінімальну площу, але водночас мали зручний доступ для обслуговування. Їх розташовано поблизу головних вузлів електроспоживання, що дозволяє значно зменшити втрати напруги у кабельних лініях та забезпечити стабільність роботи технологічного обладнання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, обране розміщення цехових трансформаторів забезпечує оптимальний баланс між технічними вимогами, економічністю проекту та безпекою експлуатації, що є основою надійного функціонування системи електропостачання цеху.

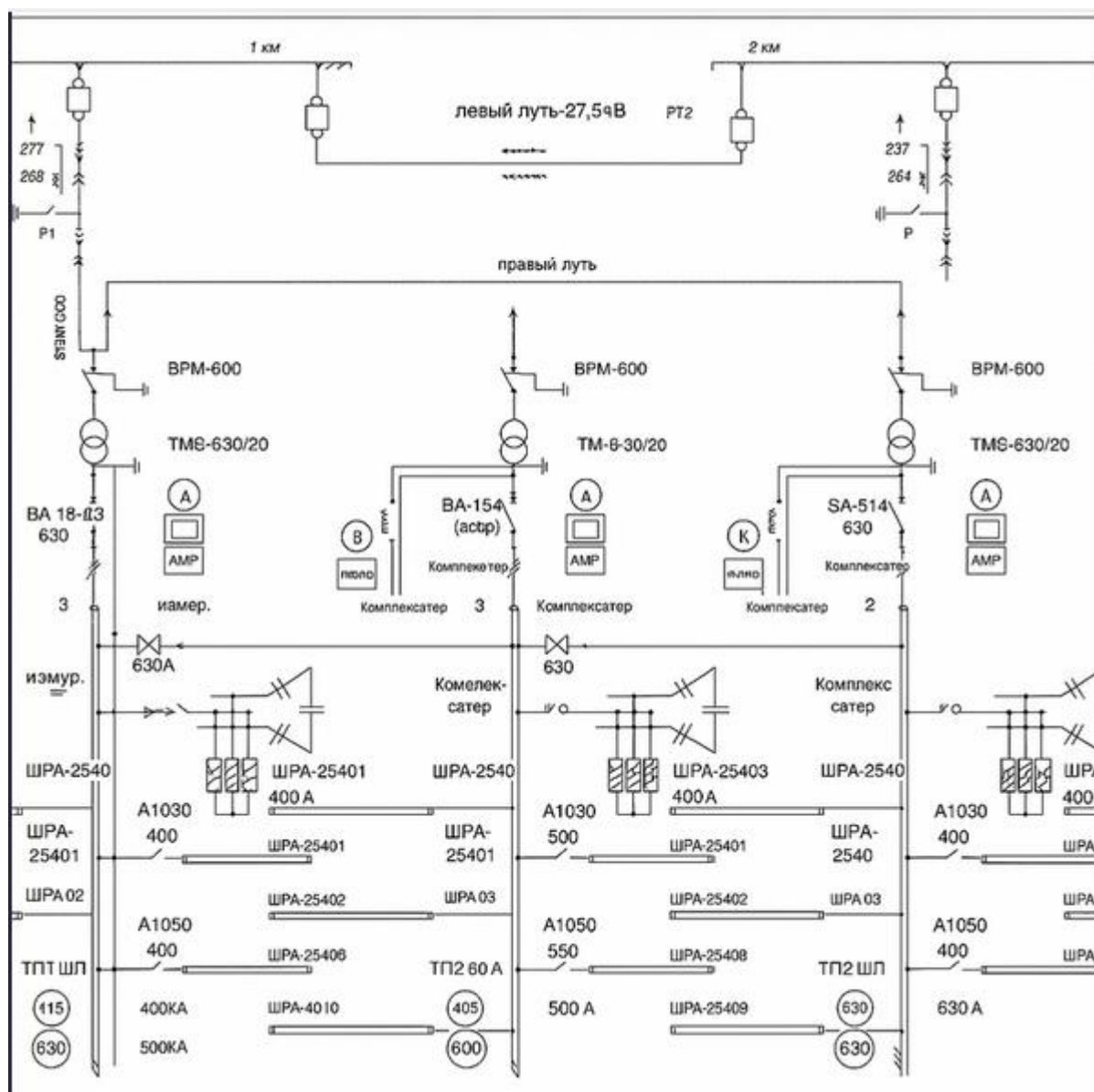


Рисунок 1.2. – Схема електропостачання цеху

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів та ВВ обладнання

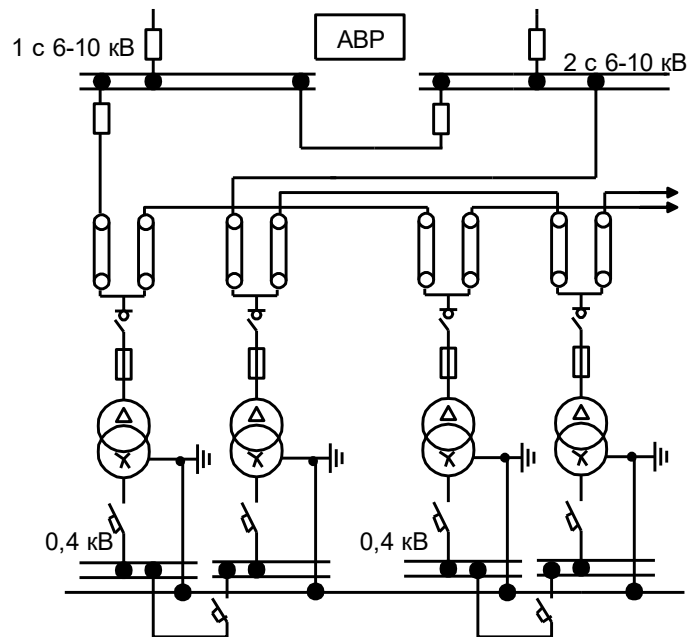


Рисунок 1.3. - Схема живлення цехових трансформаторів та високовольтного (ВВ) обладнання

Схема живлення цехових трансформаторів та високовольтного (ВВ) обладнання проектується з урахуванням вимог до надійності, гнучкості в експлуатації, резервування та економічної доцільності. Для забезпечення безперебійного електропостачання електроприймачів 1-ї та 2-ї категорії, а також враховуючи наявність потужних ВВ споживачів, у схемі реалізовано магістральне живлення з двобічним приєднанням та автоматичним введенням резерву (АВР).

Проектна схема передбачає живлення з двох незалежних вводів напругою 6–10 кВ. На кожному вводі встановлені роз'єднувачі, вимикачі та струмові трансформатори, які забезпечують захист, облік та комутацію. Живлення надходить на головну розподільчу систему, з якої через комплектну розподільчу апаратуру живляться три цехові трансформатори. Обмотки низької напруги (0,4 кВ) цих трансформаторів об'єднані через секціоновані шини, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження та забезпечити резервування.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення надійності у схемі передбачено автоматичний ввід резерву (АВР), який забезпечує автоматичне перемикання навантаження з одного вводу на інший у разі аварійного відключення. Це особливо важливо для живлення синхронних та асинхронних двигунів великої потужності, які чутливі до провалів напруги.

Секціонування шин 0,4 кВ дозволяє локалізувати аварію в окремій частині системи та зберегти роботу іншої частини при виході з ладу одного з трансформаторів. У результаті зменшується площа вимушеного відключення, що позитивно впливає на безперервність технологічного процесу.

Схема забезпечує можливість оперативного керування, контролю навантажень, а також зручність при проведенні ремонтних робіт і профілактичних оглядів, не порушуючи роботи основного устаткування. Використання типових рішень, таких як АВР і секціоновані шини, робить схему технічно обґрунтованою та економічно доцільною.

Таким чином, обрана схема живлення трансформаторів і ВВ обладнання забезпечує необхідний рівень надійності, гнучкість в експлуатації, а також відповідність сучасним стандартам проектування систем електропостачання промислових підприємств.

2.9. Розрахунок струмів К.З. в мережі до і вище 1 кВ

Розрахунок струмів к.з. на стороні вище 1 кВ

1. Вихідні дані до розрахунку струмів коротких замикань:

Потужність системи $S_c = 35$ МВА;

сумарна потужність високовольтних асинхронних двигунів $P_{АД} = 3,8$ МВт; коефіцієнт потужності асинхронних двигунів $\cos\varphi = 0.90$; кратність пускового струму АД $I_n = 5,5$;

сумарна потужність високовольтних синхронних двигунів $P_{СД} = 2,9$ МВт; коефіцієнт потужності синхронних двигунів $\cos\varphi = 0.90$; кратність пускового струму СД $I_n = 5$;

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

потужність трансформатора $S_{TP} = 10 \text{ МВА}$; $u_{KB-H} = 8 \%$; $u_{KB-C} = 16,5 \%$; $u_{KC-H} = 7,2 \%$;

потужність навантаження 0,4 кВ $S_H = 7,7 \text{ МВА}$.

Розрахункова схема:

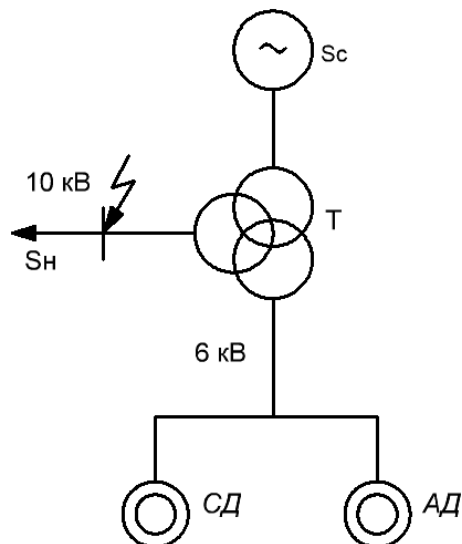


Рисунок 1.3. – Розрахунок струмів к.з.

2. Розрахунок трифазного КЗ

Виберемо базисну потужність $S_6 = 100 \text{ МВА}$, за базисну напругу вибираємо напругу ступеня, де відбувається КЗ: $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$.

Визначаємо базисний струм:

$$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Визначаємо параметри схеми заміщення, приведені до базисних умов.

Опір обмоток трансформатора:

$$x_{*B} = 0,005 \cdot (8 + 16,5 - 7,2) \cdot \frac{100}{10} = 0,87;$$

$$x_{*C} = 0,005 \cdot (16,5 + 7,2 - 8) \cdot \frac{100}{10} = 0,79;$$

$$x_{*H} = 0,005 \cdot (8 + 7,2 - 16,5) \cdot \frac{100}{10} = 0.$$

Опір та ЕРС системи:

$$x_{*c} = 0,57 \cdot \frac{100}{35} = 1,6; E_{*c} = 1.$$

Опір та ЕРС асинхронних двигунів:

$$x_{*AD} = \frac{1}{5,5} \cdot \frac{100}{4,2} = 4,3; E_{*AD} = 0,9.$$

Опір та ЕРС синхронних двигунів:

$$x_{*CD} = \frac{1}{5} \cdot \frac{100}{3,2} = 6,25; E_{*CD} = 1,1.$$

Опір та ЕРС навантаження 0,4 кВ:

$$x_{*H} = 0,35; E_{*H} = 0,85.$$

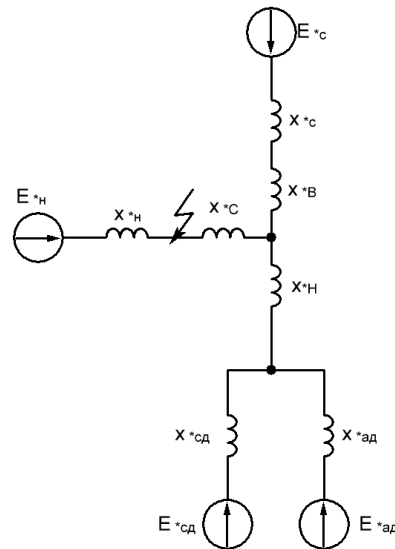


Рисунок 1.4. – Схема заміщення

Схема заміщення 1

Проведемо еквівалентні перетворення опорів та ЕРС:

$$x_1 = x_{*c} + x_{*B} = 1,6 + 0,87 = 2,47;$$

$$x_2 = x_{*H} + \frac{x_{*AD} \cdot x_{*CD}}{x_{*AD} + x_{*CD}} = 0 + \frac{4,3 \cdot 6,25}{4,3 + 6,25} = 2,55;$$

$$E_1 = \frac{E_{*AD} \cdot x_{*CD} + E_{*CD} \cdot x_{*AD}}{x_{*AD} + x_{*CD}} = \frac{0,9 \cdot 6,25 + 1,1 \cdot 4,3}{4,3 + 6,25} = 1.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

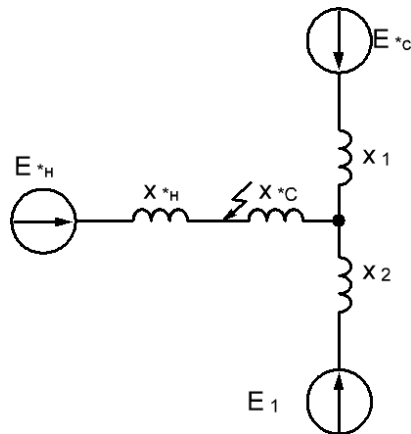


Рисунок 1.5. – Схема заміщення

Схема заміщення 2

Використаємо метод коефіцієнтів струморозподілу:

$$x_{\text{рез}} = x_{*c} + \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} = 0,79 + \frac{2,47 \cdot 2,55}{2,47 + 2,55} = 2,05;$$

$$x_e = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} = \frac{2,47 \cdot 2,48}{2,47 + 2,48} = 1,26;$$

$$C_1 = \frac{x_e}{x_1} = \frac{1,26}{2,47} = 0,51; C_2 = \frac{x_e}{x_2} = \frac{1,26}{2,55} = 0,49;$$

$$x_3 = \frac{x_{\text{рез}}}{C_1} = \frac{2,05}{0,51} = 4; x_4 = \frac{x_{\text{рез}}}{C_2} = \frac{2,05}{0,49} = 4,2; x_5 = x_{*H} = 0,35.$$

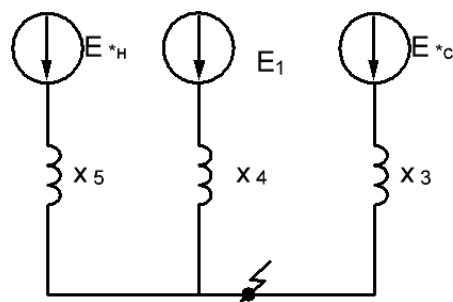


Рисунок 1.6. – Схема заміщення

Схема заміщення 3

Проведемо подальше спрощення схеми заміщення і визначаємо результуючі параметри:

$$E_{\Sigma} = \frac{E_{*H} \cdot \frac{1}{x_5} + E_1 \cdot \frac{1}{x_4} + E_{*c} \cdot \frac{1}{x_3}}{\frac{1}{x_5} + \frac{1}{x_4} + \frac{1}{x_3}} = \frac{0,85 \cdot \frac{1}{0,35} + 1 \cdot \frac{1}{4,2} + 1 \cdot \frac{1}{4}}{\frac{1}{0,35} + \frac{1}{4,2} + \frac{1}{4}} = 0,87;$$

$$x_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{x_5} + \frac{1}{x_4} + \frac{1}{x_3}} = \frac{1}{\frac{1}{0,35} + \frac{1}{4,2} + \frac{1}{4}} = 0,3.$$

Визначаємо початкове значення струму трифазного КЗ:

$$I_{no} = \frac{E_{\Sigma}}{x_{\Sigma}} \cdot I_6 = \frac{0,87}{0,3} \cdot 5,5 = 16 \text{ кА};$$

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 0,1} = \frac{0,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,1} = 0,01.$$

Визначаємо ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,01}} = 1,4.$$

Тоді значення ударного струму дорівнює:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{no} = 1,4 \cdot 1,4 \cdot 16 = 31,7 \text{ кА}.$$

Несиметричне КЗ

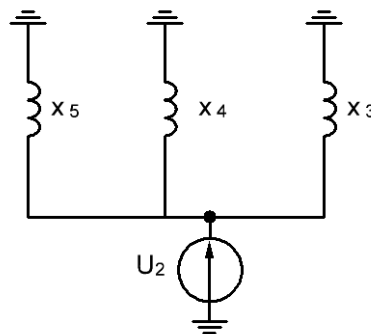


Рисунок 1.7. – Схема заміщення

Схема заміщення зворотної послідовності

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарне значення опору зворотної послідовності:

$$x_{\Sigma\Pi} = 0,3.$$

Складаємо схему заміщення нульової послідовності

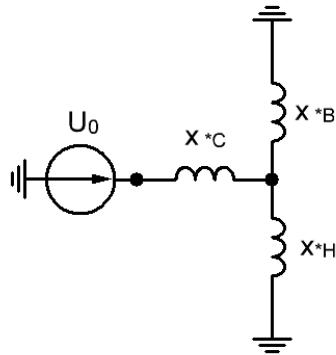


Рисунок 1.8. – Схема заміщення

Сумарний опір схеми заміщення нульової послідовності буде:

$$x_{\Sigma 0} = \frac{x_{*B} \cdot x_{*H}}{x_{*B} + x_{*H}} = \frac{0,87 \cdot 0,79}{0,87 + 0,79} = 0,4.$$

Визначимо струм прямої послідовності несиметричного КЗ. Величина фіктивного опору:

$$x^{(1)} = x_{\Sigma\Pi} + x_{\Sigma 0} = 0,3 + 0,4 = 0,7.$$

Результуючий опір:

$$x_{\Sigma} = x_{\Sigma\Pi} + x^{(1)} = 0,3 + 0,7 = 1.$$

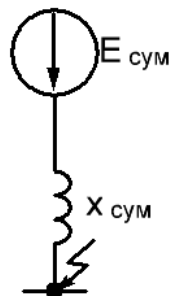


Рисунок 1.9. – Схема заміщення

Кінцева схема заміщення

Визначимо струм фази А прямої послідовності:

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_A^{(1)} = \frac{E_\Sigma}{x_\Sigma} \cdot I_6 = \frac{0,87}{1} \cdot 5,5 = 4,8 \text{ кА.}$$

Повний струм несиметричного КЗ:

$$I^{(1)} = m^{(1)} \cdot I_A^{(1)} = 3 \cdot 4,8 = 14,4 \text{ кА.}$$

Розрахунок струму КЗ в точці схеми до 1 кВ.

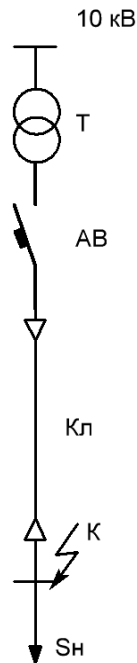


Рисунок 1.10. – Схема заміщення

Розрахункова схема КЗ мережі до 1 кВ

Вихідні дані:

Параметри трансформатора ТМ-1600/10-0,4: $S_{TR} = 1600 \text{ кВА}$, $\Delta P_{КЗ.} = 18 \text{ кВт}$, $U_{КЗ.} = 5,5 \text{ \%}$.

Опори кабельної лінії: $r_0 = 0,08 \text{ мОм/м}$; $x_0 = 0,35 \text{ мОм/м}$.

Довжина лінії $l = 75 \text{ м}$.

Потужність навантаження $S_H = 7700 \text{ кВА}$.

Розрахунок параметрів схеми заміщення. Номінальний струм трансформатора:

$$I_H = \frac{S_{TR}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1600}{1,73 \cdot 0,4} = 2309 \text{ А.}$$

					Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ

Струм КЗ на шинах 10 кВ:

$$I_{\text{кз}} = \frac{100}{U_{\text{к.з.}}} \cdot I_{\text{н}} = \frac{100}{5,5} \cdot 2309 = 42 \text{ кА.}$$

Опір системи:

$$x_c = \frac{U_H^2 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз}} \cdot U_B^2} = \frac{0,4^2 \cdot 1000}{1,73 \cdot 42 \cdot 10,5^2} = 0,02 \text{ мОм.}$$

Повний опір трансформатора:

$$Z_{TP} = \frac{U_{\text{к.з.}} \cdot U_H^2 \cdot 10^4}{S_{TR}} = \frac{5,5 \cdot 0,4^2 \cdot 10^4}{1600} = 5,5 \text{ мОм.}$$

Активний опір трансформатора:

$$R_{TP} = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}} \cdot U_H^2 \cdot 10^6}{S_{TR}^2} = \frac{18 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,13 \text{ мОм.}$$

Індуктивний опір трансформатора:

$$x_{TP} = \sqrt{Z_{TP}^2 - R_{TP}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,13^2} = 5,4 \text{ мОм.}$$

Індуктивний та активний опір навантаження:

$$x_{\text{н}} = x_{*\text{н}} \cdot \frac{U_H^2}{S_{\text{н}}} = 0,35 \cdot \frac{0,4^2}{7700} = 0,01 \text{ мОм; } R_{\text{н}} = 2,5 \cdot x_{\text{н}} = 2,5 \cdot 0,01 = 0,03 \text{ мОм.}$$

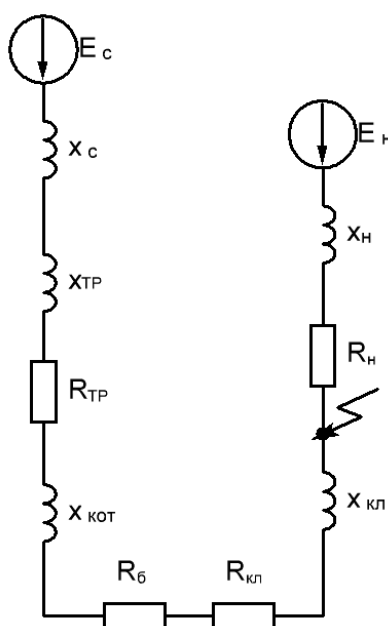


Рисунок 1.11. – Схема заміщення

Схема заміщення

Опір болтових з'єднань приймають:

$$R_{\text{б}} = 0.15 \text{ мОм.}$$

Опір котушки розчеплювача обирають по струму:

$$x_{\text{кот}} = 0.08 \text{ мОм.}$$

Активний та індуктивний опір кабельної лінії:

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l = 0,08 \cdot 75 = 6 \text{ мОм}; x_{\text{кл}} = x_0 \cdot l = 0,35 \cdot 75 = 26 \text{ мОм.}$$

Результуючий активний опір зі сторони системи:

$$R_{\text{рез}} = R_{\text{ТР}} + R_{\text{б}} + R_{\text{кл}} = 1,13 + 0,15 + 6 = 7,3 \text{ мОм.}$$

Результуючий індуктивний опір зі сторони системи:

$$x_{\text{рез}} = x_{\text{с}} + x_{\text{ТР}} + x_{\text{кот}} + x_{\text{кл}} = 0,02 + 5,4 + 0,08 + 26 = 31,5 \text{ мОм.}$$

Повний результуючий опір:

$$z_{\text{рез}} = \sqrt{R_{\text{рез}}^2 + x_{\text{рез}}^2} = \sqrt{7,3^2 + 31,5^2} = 32,3 \text{ мОм.}$$

Струм підживлення КЗ зі сторони системи:

$$I_{\text{с}} = \frac{U_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\text{рез}}} = \frac{400}{1,73 \cdot 32,3} = 7,15 \text{ кА.}$$

Струм зі сторони навантаження:

$$I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\text{н}}^2 + R_{\text{н}}^2}} = \frac{400}{1,73 \cdot \sqrt{0,01^2 + 0,03^2}} = 7,2 \text{ кА.}$$

Повний струм КЗ:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{с}} + I_{\text{н}} = 14,3 \text{ кА.}$$

2.10 Вибір марки і перерізу кабелів, які живлять високовольтні установки

Вибрати переріз кабелів марки ААШВ, прокладені в траншеї, які живлять по магістральній схемі трансформатори цехових ТП - по два трансформатора в магістралі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунку будемо користуватися умовами та результатом розрахунків КУ-0,38 кВ.

Навантаження кожної магістралі складає:

$$\begin{aligned} P_{P_{M-1}} &= P_{P_{M-2}} = 2542 \text{ кВт}; \\ Q_{\text{неск } M-1} &= Q_{\text{неск } M-2} = 1395 \text{ квар}; \\ S_{P_{M-1}} &= S_{P_{M-2}} = 2900 \text{ кВА}; \\ I_{P_{M-1}} &= I_{P_{M-2}} = \frac{S_{P_M}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2900}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 160 \text{ А}. \end{aligned}$$

Визначимо економічно доцільний переріз кабеля:

$$S_e = \frac{I_{P_M}}{1,4} = \frac{160}{1,4} = 114,3 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо до установки найближчий стандартний переріз 120 мм²,
 $I_{\text{д.доп}} = 240 \text{ А}.$

Перевірка обраного перерізу кабелю по технічним умовам:

- за нагрівом довготривало допустимим струмом в нормальному режимі роботи:

$$160 \leq 187 \text{ А};$$

- за нагрівом в післяаварійному режимі:

$$\begin{aligned} I_{H.TP} &= \frac{S_{H.TP}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 88 \text{ А}; \\ 246,4 &\leq 250 \text{ А}; \end{aligned}$$

- на термічну стійкість:

$$\begin{aligned} I_{no} &= \frac{100 \cdot S_{H.TP_{гпп}}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot U_{к.з.}} = \frac{100 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10,5} = 8728 \text{ А}; \\ S_T &= \frac{8728 \cdot \sqrt{0,6}}{90} = 75,2 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Розрахунки всіх кабелів, що відходять від ЗРП-6 (10) кВ, які живлять одиночні ЕП по лініям, які є нерезервовані радіальні:

ВВ двигуни напругою 6 кВ:

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

АД:

$$I_{\text{н.дв-1}} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,79 \cdot 0,915} = 27 \text{ A}; I_{\text{н.дв-2}} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,83 \cdot 0,935} = 62 \text{ A};$$

$$I_{\text{н.дв-3}} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,945} = 136 \text{ A};$$

СД:

$$I_{\text{н.дв-1}} = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 34 \text{ A}; I_{\text{н.дв-2}} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,935} = 69 \text{ A};$$

$$I_{\text{н.дв-3}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,946} = 113 \text{ A}.$$

Трансформатори ДСП:

$$I_{\text{р.п.тр}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 58 \text{ A}.$$

Розрахуємо економічно доцільні перерізи:

АД:

$$S_{e1} = \frac{27}{1,4} = 19 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x25, } I_{\text{д.доп}} = 105 \text{ A};$$

$$S_{e1} = \frac{62}{1,4} = 44 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x50, } I_{\text{д.доп}} = 155 \text{ A};$$

$$S_{e1} = \frac{136}{1,4} = 97 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x95, } I_{\text{д.доп}} = 225 \text{ A};$$

СД:

$$S_{e1} = \frac{34}{1,4} = 24 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x25, } I_{\text{д.доп}} = 105 \text{ A};$$

$$S_{e1} = \frac{69}{1,4} = 49 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x50, } I_{\text{д.доп}} = 155 \text{ A};$$

$$S_{e1} = \frac{113}{1,4} = 81 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3x95, } I_{\text{д.доп}} = 225 \text{ A}.$$

Проведемо перевірку за нагрівом довготривало допустимим струмом ($a = 0,78$ для 5-ти кабелів в траншеї):

$$27 \leq 81,9 \text{ A};$$

$$62 \leq 121 \text{ A};$$

$$136 \leq 175,5 \text{ A}.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДСП:

$$S_e = \frac{58}{1,4} = 41 \text{ мм}^2; \text{приймаємо кабель ААШВ 3х50, } I_{\text{д.доп}} = 155 \text{ А.}$$

Проведемо перевірку за нагрівом довготривало допустимим струмом ($a = 0,85$ для 3-х кабелів в траншеї):

$$58 \leq 132 \text{ А.}$$

Як бачимо, відповідно до розрахунків вибрані перерізи кабелів задовольняють умовам.

2.11. Вибір типу і основних параметрів апаратів, які використовуються в схемі електропостачання

Визначимо максимальний розрахунковий струм силового вимикача для рівня ВН:

$$I_{p \max} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 231 \text{ А.}$$

Виберемо масляний вимикач С-35М з номінальним струмом 630 А.

Проведемо перевірку обраного вимикача:

$$I_{no} = \frac{100 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10,5} = 1,57 \text{ кА;}$$

- за здатністю відключення:

$$1,57 \leq 10 \text{ кА;}$$

- за динамічною стійкістю:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,57 \cdot 1,9 = 4,2 \text{ кА;}$$

$$10 \geq 4,2 \text{ кА.}$$

Як бачимо, умови перевірки виконуються, то вимикач вибрано вірно.

Виберемо вимикач для рівня напруги 10 кВ. Максимальний розрахунковий струм:

$$I_{p \max} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129 \text{ А.}$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Виберемо елегазовий вимикач типу LF1 з номінальним струмом 630 А.

Проведемо перевірку обраного вимикача:

$$I_{no} = \frac{100 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 5,5} = 1,68 \text{ кА};$$

- за здатністю відключення:

$$1,68 \leq 25 \text{ кА};$$

- за динамічною стійкістю:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,68 \cdot 1,5 = 3,6 \text{ кА};$$

$$25 \geq 3,6 \text{ кА}.$$

Умови перевірки виконуються.

Визначимо максимальний розрахунковий струм для рівня 6 кВ:

$$I_{p \max} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1347 \text{ А}.$$

Виберемо силовий вимикач типу LF2 з номінальним струмом 2000 А.

Виконаємо перевірку даного вимикача: $I_{no} = \frac{100 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10,5} = 9,2 \text{ кА};$

- за здатністю відключення: $9,2 \leq 40 \text{ кА};$

- за динамічною стійкістю: $i_y = \sqrt{2} \cdot 9,2 \cdot 1,5 = 19,5 \text{ кА};$

$$40 \geq 19,5 \text{ кА}.$$

Отже, вибраний вимикач задовольняє умови перевірки.

2.12. Сучасна система розрахунку за електроенергію, яка споживається підприємством

На сучасному етапі розвитку енергетики значну увагу приділяють не лише технічній ефективності системи електропостачання, але й точності та прозорості розрахунків за спожиту електроенергію. Електроенергія є товаром, вартість якого безпосередньо впливає на собівартість продукції підприємства, тому правильна організація обліку та взаєморозрахунків із постачальником є важливим елементом управління виробничими витратами.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки за електроенергію в промисловості сьогодні ґрунтуються на даних, отриманих за допомогою сучасних електронних лічильників, які забезпечують багатофункціональний облік — диференційований за зонами доби, фазністю, типом навантаження та рівнем споживання реактивної потужності. Зазвичай використовуються багатотарифні лічильники, що дозволяють проводити розрахунки залежно від часу доби (денний, нічний, піковий тарифи), що стимулює підприємства до більш ефективного розподілу енергоспоживання.

На практиці підприємства укладають договори з енергопостачальними організаціями або незалежними постачальниками електроенергії, в яких зазначаються умови постачання, допустимі обсяги споживання, рівні напруги, погоджені графіки навантаження та штрафи за перевищення договірної потужності або за відхилення коефіцієнта потужності від нормативного. Особлива увага приділяється обліку реактивної енергії, оскільки її надмірне споживання призводить до додаткових фінансових витрат. У зв'язку з цим важливо не лише точно вимірювати, а й регулювати реактивну потужність за допомогою компенсуючих пристроїв (КУ), що передбачено в попередніх розділах проекту.

Контроль за споживанням електроенергії здійснюється в режимі реального часу завдяки інтеграції лічильників у автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Такі системи дозволяють здійснювати дистанційний збір даних, аналіз динаміки навантаження, формувати звіти для бухгалтерії та оперативно реагувати на перевищення лімітів. АСКОЕ забезпечує високу точність обліку, мінімізує людський фактор і дає змогу енергетичним службам підприємства прогнозувати споживання та планувати енергетичну політику.

Крім того, для великих промислових споживачів діють спеціальні умови енергопостачання з урахуванням графіків добового навантаження та участі в програмах попиту-відгуку (demand response), які стимулюють споживачів знижувати навантаження у години пікового споживання в енергосистемі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, сучасна система розрахунків за електроенергію на підприємстві базується на точному автоматизованому обліку активної та реактивної енергії, диференційованому тарифікуванні, а також використанні засобів компенсації та регулювання енергоспоживання. Це дозволяє не лише зменшити фінансові витрати на енергоресурси, але й підвищити енергоефективність виробничого процесу в цілому.

2.13. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Однолінійна схема електропостачання є ключовим елементом проекту системи електропостачання підприємства, оскільки вона відображає структурну організацію мережі, взаємозв'язок між джерелами живлення, трансформаторами, розподільчими пристроями, основними споживачами, апаратурою захисту та комутації. Правильно спроектована однолінійна схема дозволяє забезпечити безпечну, надійну, економічну та гнучку в експлуатації роботу системи.

При проектуванні однолінійної схеми вузла навантаження ковальсько-штампувального цеху було враховано характер та категорії електроприймачів, результати електричних розрахунків, режим роботи основного технологічного обладнання, вимоги до безперервності електропостачання, резервування, а також вимоги нормативної документації (ПУЕ, ДБН, ГОСТ тощо).

Вузол навантаження цеху живиться від підстанції глибокого вводу (ПГВ), яка приєднана до зовнішньої мережі підприємства на рівні 35 кВ. На ПГВ встановлено два силових трансформатори типу ТДТН-10000/35–10/6 кВ, які працюють паралельно. Вихідна напруга 6 кВ використовується для живлення високовольтного електрообладнання (ВВ ЕП): асинхронних і синхронних двигунів, а також трансформаторів дугових сталеплавильних печей. Одночасно через мережу 10 кВ живляться цехові трансформатори ТМ-1600/10–0,4, які забезпечують живлення низьковольтного технологічного обладнання, освітлення та допоміжних механізмів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема передбачає застосування магістральної системи живлення, при якій до шин розподільчого пункту ПГВ приєднані дві магістралі — одна на 10 кВ, інша на 6 кВ. На шині 10 кВ встановлено розподільчий пристрій, від якого через кабельні лінії живляться два трансформатори ТМ-1600. Обмотки низької напруги цих трансформаторів (0,4 кВ) з'єднані з головним низьковольтним щитом, що забезпечує живлення низьковольтних електроприймачів, включаючи групи освітлення, допоміжних приводів і вентиляційного обладнання.

На стороні 6 кВ до розподільчого пристрою приєднані кабельні лінії, що ведуть безпосередньо до високовольтних електродвигунів (АД та СД), а також до трансформаторів дугових печей. Синхронні двигуни працюють у режимі перезбудження, забезпечуючи часткову компенсацію реактивної потужності в мережі 6 кВ. Для залишкової компенсації передбачено встановлення комплектної конденсаторної установки ККУ-6-ІІ на 500 квар, приєднаної до шин 6 кВ.

У схемі передбачено встановлення автоматичних вимикачів, елегазових вимикачів (тип LF1 для 10 кВ, LF2 для 6 кВ), трансформаторів струму та напруги для захисту й обліку, а також застосування АСКОЕ (автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії) для контролю споживання на всіх ключових вузлах.

Схема також враховує резервування на випадок аварій: передбачено можливість перемикання між трансформаторами через перемички на шині 0,4 кВ, а також незалежне живлення критичних ВВ електроприймачів по радіальним лініям з розподільчого пункту 6 кВ. Кабельні лінії обрані з урахуванням економічно доцільного перерізу та перевірені за умовами тривалого допустимого струму, нагріву і термічної стійкості.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було спроектовано внутрішньоцехову систему електропостачання (СЕП) ковальсько-штампувального цеху, яка відповідає вимогам надійності, енергоефективності, безпеки та економічної доцільності. У роботі розглянуто комплексний підхід до розрахунків, вибору електрообладнання, аналізу режимів роботи та проектування структурних елементів мережі, що живить технологічне обладнання підвищеної потужності.

Проведено розрахунок активних, реактивних та повних навантажень у мережах напругою до та вище 1 кВ, визначено оптимальну кількість і потужність трансформаторів, обґрунтовано рівень напруги розподільчої мережі. У проєкті передбачено застосування трансформаторів типу ТМ-1600/10-0,4 кВА та ТДТН-10000/35-10/6 кВ, що забезпечують енергопостачання відповідно до умов технологічного процесу.

Проєктом передбачено встановлення компенсуючих пристроїв для покращення енергетичного балансу та зменшення перетоків реактивної потужності, що сприяє зниженню витрат на електроенергію. Вибір схем живлення трансформаторів та високовольтного обладнання здійснено з урахуванням резервування (в тому числі АВР), що дозволяє уникнути зупинок технологічного процесу при аваріях у мережі.

Розрахунки коротких замикань, вибір апаратури захисту, кабельних ліній та автоматизованих систем обліку (АСКОЕ) виконано згідно з вимогами нормативної документації. Застосування багатофункціонального електролічильного обладнання дозволяє забезпечити точний облік електроенергії, контроль якості живлення та енергоменеджмент.

Особливу увагу приділено проектуванню однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження, яка відображає логічну структуру мережі та її взаємозв'язок із технологічним обладнанням, трансформаторами, засобами захисту та комутації.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, проєктована система електропостачання дозволяє забезпечити безпечну, ефективну та безперебійну роботу цеху, створює передумови для гнучкого керування навантаженнями, підвищення енергоефективності та зменшення експлуатаційних витрат, що є важливим чинником у сучасних умовах виробництва. Результати роботи можуть бути використані при впровадженні нових або реконструкції існуючих енергетичних систем промислових підприємств.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борисенко О.М., Яковлев А.С. Електроенергетичні системи та мережі: підручник. - Київ: НАУ, 2018. — 376 с.
2. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного та промислового призначення. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
3. Кальченко О.О., Левченко А.М. Системи електропостачання та електроспоживання підприємств. - Харків: НТУ «ХПІ», 2019. - 312 с.
4. Кириченко О.Ю., Артамонов Ю.М. Проектування систем електропостачання. - Суми: СумДУ, 2020. - 160 с.
5. Костенко О.Ф., Герасимов В.С. Технічна експлуатація систем електропостачання. - Одеса: ОНАХТ, 2019. - 180 с.
6. Кравчук М.І. Електропостачання промислових підприємств: навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2020. - 168 с.
7. Литвиненко О.І. Проектування систем електропостачання: методичні вказівки. - Харків: ХНУРЕ, 2022. — 96 с.
8. Масло В.І., Дьяків В.Л. Електричні мережі та системи електропостачання: теорія та практика. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. - 268 с.
9. Методика розрахунку електричних навантажень для промислових підприємств. - Київ: Інститут електроенергетики та енергоефективності НАН України, 2020. - 82 с.
10. Методичні рекомендації з розрахунку оплати за перетоки реактивної енергії. - Офіційний вісник України, №1, 2020.
11. Назаренко С.П., Костенко В.О. Нормування та регулювання якості електроенергії в промислових мережах. - Вінниця: ВНТУ, 2021. - 142 с.
12. Олійник А.О., Васильченко І.П. Енергоменеджмент та енергоаудит у промисловості. - Дніпро: НМетАУ, 2021. - 220 с.
13. Охріменко І.С., Третяк С.П. Системи електропостачання: курсове проектування. - Вінниця: ВНТУ, 2018. - 144 с.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Пащенко В.І., Омельченко О.В. Електропостачання промислових підприємств: навчальний посібник. - Київ: Ліра-К, 2020. - 344 с.
15. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Київ: Міністерство енергетики України, 2017. - Офіційне видання.
16. Рудаков В.О. Електротехніка та електропостачання: довідник інженера-проектувальника. - Черкаси: ЧДТУ, 2019. - 276 с.
17. Сучасні автоматизовані системи обліку електроенергії (АСКОЕ): методичні рекомендації. - Харків: УкрНДІПБ, 2022. - 64 с.
18. Шестеренко С.В. Системи електроспоживання промислових підприємств. - Київ: НУЕЕ, 2020. - 284 с.
19. Юрченко П.О. Електропостачання та електрообладнання підприємств. - Київ: КНУБА, 2021. - 256 с.
20. Яценко І.М. Електропостачання підприємств: лабораторний практикум. - Полтава: ПНТУ, 2019. - 112 с.

					ЕТ та ЕЕ 4815.044.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		