

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 ЦЕХУ ПРОКАТНОГО

ВИРОБНИЦТВА

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е23пр.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Данило ШУМСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/Костянтин БРОВКО
(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 _____/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)

Шумському Данилу Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження цеху прокатного виробництва

керівник роботи Бровко Костянтин Юрійович, к.т.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'єкта; Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ; Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху; Вибір схеми живлення цехових трансформаторів; Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ; Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань); Вибір марки і перетину струмоведучих частин; Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ; Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП; Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

4. План роботи

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

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

Д. О. Шумський

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

К.Ю. Бровко

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.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування СЕП вузла навантаження цеху прокатного виробництва			Лім.		Маса		Масштаб		
Розроб.		Шумський									1		1 : 1	
Перевір.		Бровко												
Т. Контр.								Арк.		3		Аркушів		
Реценз.														
Н. Контр.					Пояснювальна записка			гр. ДЕА-Е23пр						
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 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Основним завданням дипломного проєкту є здобуття практичного досвіду самостійного розв'язання комплексних інженерних завдань у сфері внутрішньоцехового електропостачання з урахуванням сучасних енергозберігаючих технологій, актуальних для електроенергетики.

Метою є формування вмінь і навичок, пов'язаних із проєктуванням внутрішньоцехових систем електропостачання промислових підприємств, спираючись на загальні принципи побудови сучасних енергетичних систем.

У ході виконання проєкту студент навчається ефективно працювати з нормативною та довідковою документацією, типовими проєктами, директивними та методичними матеріалами.

Сучасні тенденції в економіці й енергетиці вказують на необхідність вирішення стратегічно важливої проблеми — енергозбереження. Багато промислових об'єктів не використовують проєктну потужність у повному обсязі, що призводить до простою обладнання, зниження обсягів виробництва та, як наслідок, збиткової діяльності підприємства.

Зростаючі потреби суспільства та динамічний розвиток промисловості формують попит на технологічно досконале, вискоєфективне й енергозберігаюче обладнання. У цьому контексті раціональне проєктування систем електропостачання виступає одним із ключових чинників стабільного виробничого процесу.

Таким чином, головним завданням дипломного проєкту є розробка внутрішньоцехової електричної мережі, що відповідає сучасним вимогам до ефективного використання електроенергії, мінімізації втрат при трансформації та розподілі, зниження економічних ризиків, підвищення надійності енергопостачання та якості електричної енергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Метою аналізу технологічного процесу проєктованого об'єкта є оцінка ймовірних збитків у разі порушення електропостачання, що дозволяє обґрунтовано встановити категорію надійності живлення електроприймачів. Така класифікація є основою для вибору кількості джерел живлення, конфігурації живильних та розподільних мереж, а також доцільності використання автоматизованих систем резервування.

Відповідно до вихідних даних, у проєкті розглянуто цех прокатного виробництва, що належить до основного технологічного ланцюга. Цей цех відзначається складним та безперервним технологічним процесом, порушення якого може призвести до суттєвих наслідків:

- утворення великої кількості бракованої продукції,
- пошкодження дорогого електроустаткування,
- виникнення загроз для життя персоналу.

Згідно з вимогами ПУЕ, електроприймачі цеху відносяться до споживачів першої категорії за ступенем безперебійності електропостачання.

Особливу увагу слід приділити агресивному середовищу виробництва, що потребує врахування при виборі типу та місця розташування трансформаторної підстанції, схем електропостачання, типів силового обладнання та струмопровідних елементів.

До основних електроприймачів 0,4 кВ у цеху належать:

- приводи рольгангів та гойдалкових столів,
- вентилятори, насоси, компресори,
- крани, тельфери (з ПВ 25 % і 40 %),
- зварювальні машини шовного зварювання,
- елеватори, блоковані конвеєри.

Загальна встановлена потужність обладнання наведена в таблиці 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Схематичне розміщення обладнання на площі цеху відображено на рисунку 1.1 та на аркуші 1 графічної частини проєкту.

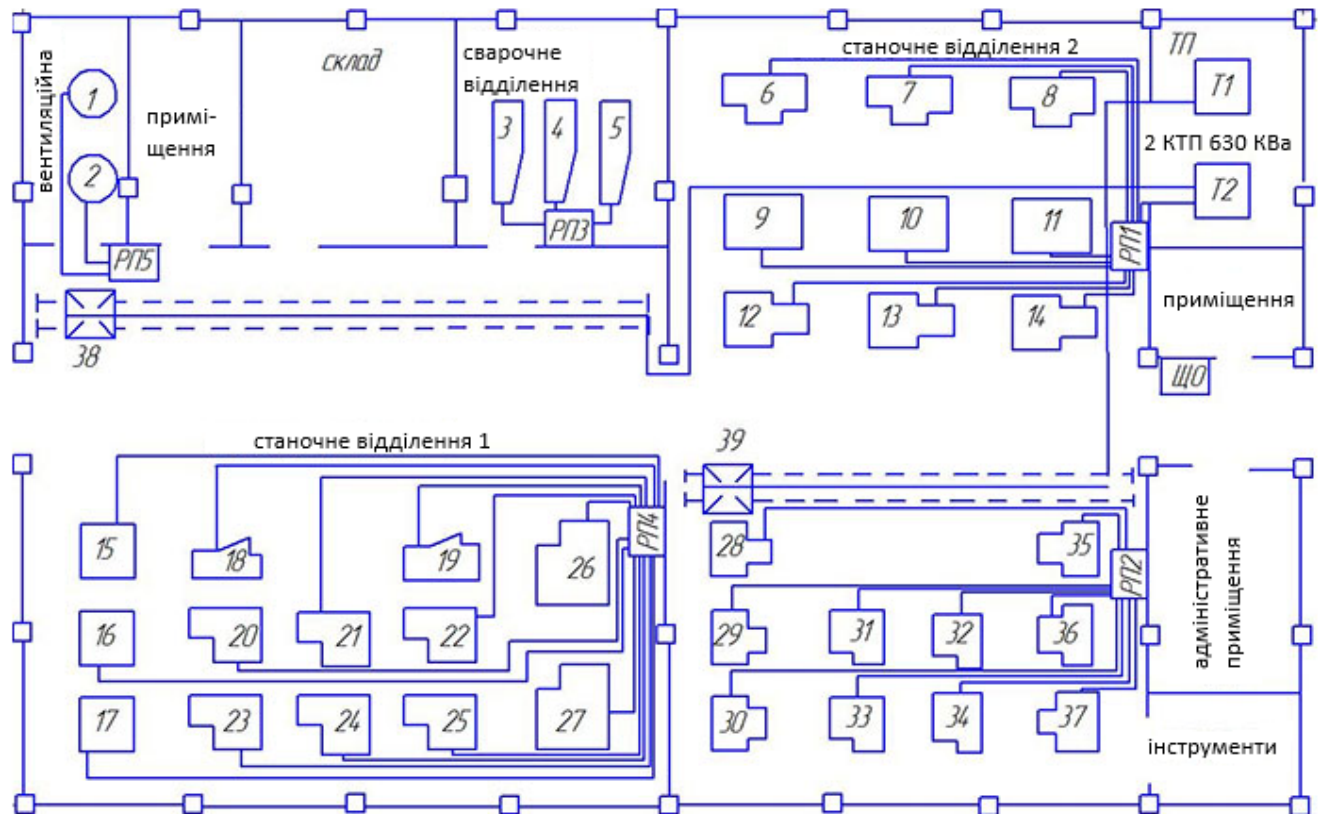


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху прокатного виробництва.

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ</i>	Лист
<i>Вим.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1. Розрахунок електричних навантажень від силових і освітлювальних електроприймачів

Визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюється за методикою, наведеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), введених в дію з 01.1993 року.

У розрахунку використовуємо метод упорядкованих діаграм, який в даний час є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

За цим методом розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх щаблях живильних і розподільних мереж (включаючи трансформатори і перетворювачі) визначають за середнім навантаженням і коефіцієнтом розрахункового навантаження за виразом (1):

$$P_p = k_p \cdot \sum P_{cm} \quad (1)$$

Розрахунковий коефіцієнт навантаження k_p , визначаємо за таблицею П.5. методичних вказівок до виконання дипломного проекту бакалавра, як функцію n_e та $k_{u \text{ гр.взв}}$ (ефективного числа ЕП та групового коефіцієнта використання)

$$k_p = f(n_e, k_{u \text{ гр.взв}}) \quad (2)$$

Розрахунок виконаний за однією характерною групою. А розрахунки інших характерних груп зведені в таблицю 2.1.

Визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюється за методикою, наведеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень» (РТМ 36.18.32.4-92), введених в дію з 01.1993 року.

У розрахунку використовуємо метод упорядкованих діаграм, який в даний час є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

Для двигунів, що працюють в повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їх паспортної потужності до тривалого режиму (ПВ = 100%) здійснюється за виразами (3)-(4):

$$P_{H_i} = P_{насп_i} \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (3)$$

$$P_{H_i} = S_{H_i} \cdot \cos \varphi_i \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт} \quad (4)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Дані сумуються:

$$\sum_i^m P_{H_i}, \text{ кВт} \quad (5)$$

де m – число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середньозмінне навантаження за найбільш завантажену зміну за виразами (6)-(7):

$$P_{см_i} = P_{H_i} \cdot K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (6)$$

$$Q_{см_i} = P_{см_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (7)$$

де K_{H_i} – коефіцієнт використання i – тої характерною групи ЕП;

$\operatorname{tg} \varphi_i$ - коефіцієнт реактивної потужності i – тої характерної групи ЕП, відповідний коефіцієнту реактивної потужності (табл. П.3.[2]).

Розрахунки за характерними групам заносимо у відповідні графи табл. 2.1.

Визначаємо сумарні значення середньозмінного навантаження за найбільш завантажену зміну по цеху (8)-(9):

$$\sum_i^m P_{см_i} = \sum_i^m P_{H_i} K_{H_i}, \text{ кВт} \quad (8)$$

$$\sum_i^m Q_{см_i} = \sum_i^m P_{см_i} \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (9)$$

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

$$K_{и.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{см_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} \quad (10)$$

Визначення ефективного числа ЕП

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, що є вихідною величиною, за якої вибирають параметри елементів СЕП по нагріванню, впливає ряд випадкових величин: число ЕП в розрахунковому вузлі, їх номінальні потужності, режим роботи ЕП і ряд інших випадкових величин.

Для спрощення методики визначення розрахункового максимуму навантаження вводять поняття ефективного числа ЕП, $n_{ЕФ}$. Ефективним числом ЕП називається таке число однакових за встановленою потужністю і однакових

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

по режиму роботи ЕП, які формують той же розрахунковий максимум навантаження, що і дійсне число ЕП, n_d , різних за встановленою потужністю і режимом роботи.

Ефективне число ЕП по всьому вузлу навантаження (а не по кожній характерній групі ЕП) визначають за виразом (11):

$$n_{ef} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{ni}}{P_{n \max}}, \quad (11)$$

де $P_{n \max}$ – одинична номінальна потужність найбільш потужного ЕП в розрахунковому вузлі.

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження K_P

Залежно від середньозваженого (групового) значення коефіцієнта використання, $K_{u.gr.}$ та ефективного числа ЕП, n_{ef} по таблиці. П.4.2], визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження K_P .

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p , розуміємо таку незмінну за величиною і під час навантаження, яка еквівалентна дійсному навантаженню, що змінюється по найбільш важкому тепловому впливу на елемент СЕП.

Активне розрахункове навантаження групи ЕП напругою до 1 кВ визначається за виразом (12):

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi}, \text{ кВт} \quad (12)$$

Враховуючи особливість споживання електроприймачами реактивної потужності, що мало залежить від навантаження електроприймачів активною потужністю, приймаємо: $Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi}$, квар.

Повне розрахункове навантаження, формоване силовими ЕП визначається за виразом (13):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА} \quad (13)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Значення струмового розрахункового навантаження, за яким вибирають перетин СВЧ за умовою нагріву, а також параметри апаратів, визначається за виразом (14):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, A \quad (14)$$

де U_n – номінальна напруга в даній ділянці мережі, kB

Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів.

Розрахункові навантаження освітлювальних електроприймачів визначаємо за встановленою потужністю освітлювальних електроустановок та коефіцієнтом попиту для них:

$$P_{p.o.} = P_{n.o.} \cdot K_{c.o.} \cdot K_{пра}, кВт \quad (15)$$

$$Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, квар \quad (16)$$

де $K_{c.o.}$ – коефіцієнт попиту освітлювальних установок;

$K_{c.o.} = 0,95$ для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів;

$K_{пра}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп;

$K_{пра} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцові лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металогалогенні).

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{n.o.} = P_{пит.o.} \cdot F \cdot 10^{-3} кВт \quad (17)$$

де $P_{пит.o.}$ – питома щільність освітлювального навантаження; $P_{пит.o.} = 20$ Вт/м² – для виробничих цехів. F – площа цеху, м² – див.умову завдання.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.1.

Правильність розрахунку очікуваних електричних навантажень перевірена за допомогою комп'ютерної програми на базі обчислювального центру кафедри «Фізики, електротехніки і електроенергетики» УПА.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. Згідно з вихідними даними (табл.П.2. [2]) електроприймачі цеху класифікують за характерними групами (з однаковим коефіцієнтом використання K_{ϵ} та коефіцієнтом активної потужності $\cos \varphi$).

2. Наводимо паспортні дані окремих груп ЕП, що працюють в ПКР (зварювальні машини шовного зварювання і підйомно-транспортне обладнання), до номінальної потужності в κBt за виразами (18)-(19):

$$P_H = 1100 \cdot \sqrt{0,25} = 550, \kappa Bt \quad (18)$$

$$P_H = 1150 \cdot \sqrt{0,4} = 727,3, \kappa Bt \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

$$P_{H_{\Sigma}} = 650 + 800 + 1000 + 300 + 550 + 727,32 + 227,5 + 300 = 4554,82, \kappa Bt$$

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

$$P_{CM_1} = P_{H_1} \cdot K_{H_1} = 650 \cdot 0,3 = 195, \kappa Bt \quad (20)$$

$$Q_{CM_1} = P_{CM_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 195 \cdot 1,33 = 259,4, \text{ квар} \quad (21)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_1$ - відповідає середньому значенню для характерної групи ЕП. По інших групах розрахунки аналогічні, робимо їх і результати записуємо в таблицю 2.1.

5. Підсумовуємо середньозмінні навантаження по вузлу:

$$P_{CM_{\Sigma}} = 195 + 240 + 650 + 195 + 330 + 43,64 + 68,25 + 180 = 1901,89, \kappa Bt$$

$$Q_{CM_{\Sigma}} = 260 + 320 + 487,5 + 146,25 + 654,89 + 86,6 + 182,67 + 183,64 = 2321,54, \text{ квар}$$

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

$$K_{и.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{CM_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} = \frac{1901,9}{4554,8} = 0,42 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{эф} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{H_i} \right]^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном}^2} = \frac{2 \cdot 4554,8}{80} = 113,9, \quad (23)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

8. За значенням групового коефіцієнта використання та ефективного числа ЕП по табл. П.5 [2] визначаємо значення коефіцієнта розрахункового навантаження $K_P = 0,72$

9. Визначаємо розрахунковий максимум активного навантаження по вузлу:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi} = 0,72 \cdot 1901,09 = 1369,4, \text{ кВт} \quad (24)$$

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

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi} = 2318,7, \text{ квар} \quad (25)$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1369,4^2 + 2318,7^2} = 2692,9, \text{ кВА} \quad (26)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{H.O.} = P_{уд.О.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 9500 \cdot 10^{-3} = 190 \text{ кВт} \quad (27)$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{пра} = 190 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 198,6, \text{ кВт} \quad (28)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 198,6 \cdot 0,33 = 65,5, \text{ квар} \quad (29)$$

14. Розрахункові активні навантаження силових і освітлювальних ЕП, розрахункові реактивні потужності підсумовуємо і вносимо у відповідні графи табл. 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень цеху

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількість, шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номінальна потужність характерних груп ЕП	Коефіцієнт вик. Ки	cos w	tg w	Середньозміне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, пс	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн min/Рн max, кВт	Загальна Рпасп, кВт					Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Привід рольганів	130	1	650	650,00	0,3	0,6	1,33	195,00	260,00						
			80													
2	Привід столів, що гойдаються	150	1	800	800,00	0,3	0,6	1,33	240,00	320,00						
			20													
3	Вентилятори	120	1	1000	1000,00	0,65	0,8	0,75	650,00	487,50						
			30													
4	Насоси, компресори	35	0,5	300	300,00	0,65	0,8	0,75	195,00	146,25						
			40													
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	120	5	1100	550,00	0,06	0,45	1,98	330,00	654,89						
			50													
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	45	10	1150	727,32	0,06	0,45	1,98	43,64	86,60						
			80													
7	Зварювальні машини шовного зварювання, кВА	50	10	650	227,50	0,3	0,35	2,68	68,25	182,67						
			40													
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	25	3	300	300,00	0,6	0,7	1,02	180,00	183,64						
			20													
9	Разом силові ЕП	675			4554,82	0,42			1901,89	2321,54	455,48	0,72	1369,40	2318,70	2692,88	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	9500			190,00	0,95	0,95	0,33					152,60	50,30		
11	Всього по цеху												2883,20	4528,70	5368,61	4096,30

ЕТ ма ЕЕ 4815.019.000 ПЗ

2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв у 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 ККУ - 0,38 кВ, що забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів, $Q_{нк1}$, квар;
- визначення додаткової потужності ККУ - 0,38 кВ з метою оптимального зниження втрат в трансформаторах цехових ТП і живлючих їх мереж напругою вище 1 кВ, $Q_{нк2}$, квар, викликаних перетіканнями РП через цехові ТП.

Сумарна реактивна потужність ККУ - 0,38 кВ дорівнює:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар} \quad (30)$$

де $Q_{нк1}$ та $Q_{нк2}$ – сумарні потужності ККУ - 0,38 кВ, що визначаються на двох зазначених етапах розрахунку.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Вибір числа і потужності цехових трансформаторів проводиться одночасно з вибором засобів компенсації реактивної потужності на основі техніко-економічних розрахунків, виходячи з питомої щільності навантаження, активного розрахункового навантаження та інших факторів, які оговорюються технічними умовами.

Вибір потужності цехових трансформаторів проводиться за питомою щільністю навантаження цеху:

$$\gamma = \frac{Sp}{F}, \text{ кВА/м}^2 \quad (31)$$

та повного розрахункового навантаження вузла, *кВА*. При питомій щільності більше 0,2 - 0,3 *кВА/м*² і сумарним навантаженням більше 3000 - 4000 *кВА* доцільно приймати цехові трансформатори потужністю 1600 - 2500 *кВА*. При питомій щільності і сумарним навантаженням нижче зазначених значень приймаються трансформатори потужністю 400 - 1000 *кВА*. Для трансформаторів цехових підстанцій слід, як правило, приймати такі коефіцієнти завантаження:

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

ЕП 1-ї категорії забезпечуються живленням по двом незалежним ДЖ, перерва живлення допускається на час спрацьовування мережевої автоматики (АВР).

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЕП 2-ї категорії забезпечуються живленням по двом незалежним ДЖ, перерва живлення допускається на час ручного введення резервного живлення.

Для живлення ЕП 1-ї та 2-ї категорії рекомендується приймати до установки однострансформаторні цехові підстанції 10-6/0,4-0,23 кВ за умови резервування потужності на перемичках нижчої напруги, пропускна здатність яких достатня для живлення найбільш відповідальних споживачів.

Застосування однострансформаторних підстанцій дає можливість здійснення максимального наближення їх до центрів електричних навантажень, що забезпечить найкоротший шлях транспортування (передачі) електроенергії і забезпечить певною мірою економію електроенергії. Двотрансформаторні цехові підстанції слід застосовувати при зосереджених навантаженнях, при $\gamma > 0,2$ кВА/м² або переважанні 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 кілька щаблів трансформації. Тому передача реактивної потужності в мережу до 1 кВ призводить до додаткових витрат - збільшення перерізів СВЧ, підвищенню числа (або потужності) трансформаторів цехових ТП, підвищення втрат потужності в елементах СЕП. Ці витрати можна зменшити і навіть усунути, передбачивши установку КП безпосередньо в мережі напругою до 1 кВ.

Як джерело реактивної потужності (ДРП) використовуються комплектні конденсаторні установки (ККУ) поперечного включення. Нескомпенсована реактивна потужність 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, що генерується ДРП напругою до 1 кВ, і реактивної потужності, що передається з мережі напругою вище 1 кВ.

Порядок вибору числа цехових трансформаторів полягає в наступному. Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

потужності їх мінімальне число, необхідне для живлення активного максимального розрахункового навантаження, визначається за формулою (32):

$$N_{т.мін} = \frac{Pr.c. + Pr.o.}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт} \quad (32)$$

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

β - коефіцієнт завантаження трансформаторів;

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

ΔN - добавка до найближчого більшого цілого числа трансформаторів.

Примітка: варіюючи коефіцієнтом завантаження трансформаторів в рекомендованих межах (0,7 - 0,8), слід при обраній номінальній потужності трансформаторів прагнути до мінімально можливої величині ΔN . Це забезпечить максимальне використання встановленої потужності трансформаторів за активній складовій і зниження перетоків реактивної потужності через цехові трансформатори.

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{опт} = N_{т.мін} + m, \text{ шт} \quad (33)$$

де m - додаткове число трансформаторів, яке визначається по кривих, рис. 4.7. [1] в залежності від $N_{т.мін}$ та ΔN .

При визначенні m по кривих [1] приймається допущення:

$$z_{пс}^* = 0,5; \quad z_{пс}^* = \frac{(z_{нк} - z_{вк})}{z_{тп}} \quad (34)$$

де $z_{нк}$, $z_{вк}$, $z_{тп}$ - відповідні усереднені наведені витрати на: КП – 0,38 кВ, КП-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 $z_{пс} = 0,5$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

За обраним економічно оптимальним числом трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність, *квар*, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{opt} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_p + P_{p.o.})^2}, \text{ квар} \quad (35)$$

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

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_m, \text{ квар} \quad (36)$$

При цьому вираз не повинний бути негативним. Позитивний вираз забезпечується варіюванням коефіцієнта завантаження цехових трансформаторів так, щоб зменшуване було вище від'ємника.

Потужність НБК, яка припадає на один трансформатор:

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк1}}{N_{opt}}, \text{ квар} \quad (37)$$

За цим значенням вибирають стандартні (довідкові) значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{НКй.СПР}$ *табл.9.2. [1]*.

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

$$Q''_{НК1.СПР} = N_{opt} \cdot Q'_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (38)$$

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{НК1.СПР}, \text{ квар} \quad (39)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ з метою оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РП

Визначення потужності НБК з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TE} \cdot S_{HT}, \text{ квар} \quad (40)$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що визначається в залежності від коефіцієнтів K_1 та K_2 та схеми живлення цехових ТП по кривим *рис.4.8., 4.9. [1]*.

- для радіальної схеми живлення цехових трансформаторів *рис.4.8. [1]*;
- для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі *рис. 4.9. [1]*;
- для магістральної схеми живлення з трьома і більше трансформаторами в магістралі $\gamma = \frac{K_1}{30}$;
- для двоступеневої схеми живлення трансформаторів від розподільних пунктів (РП) 10(6) кВ, на яких відсутні ДРП, $\gamma = \frac{K_1}{60}$.

Значення K_1 залежить від питомих приведених витрат на БК напругою до 1 кВ та вартості втрат активної потужності:

$$K_1 = \frac{(3_{HK} - 3_{BK})}{C_o} \quad (41)$$

де C_o - розрахункова вартість втрат, *грн/кВт*.

При відсутності достовірних вартісних показників для практичних розрахунків K_1 рекомендується приймати по *табл. 4.6. [1]*.

Значення K_2 визначають за формулою:

$$K_2 = \frac{L \cdot S_{H.TP}}{F} \quad (42)$$

де L - довжина лінії, що живить трансформатор, км, (при магістральній схемі живлення цехових трансформаторів L - довжина ділянки до першого трансформатора); F - загальний перетин лінії, *мм²*;

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

За відсутності відповідних даних допускається приймати значення K_2 по табл. 4.7. [1].

Якщо виявиться, що $Q_{HK2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність Q_{HK2} приймається рівною нулю.

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

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{1568}{0,83 \cdot 630} + 0,01 = 3 \text{ шт.} \quad (43)$$

3. Економічно оптимальне число трансформаторів:

$$N_{опт} = N_{т.мін} + m, \text{ шт} \quad (44)$$

За кривими рис.4.7. визначити додаткове число трансформаторів $m = 0$, тоді $N_{опт} = N_{т.мін} = 3 \text{ шт}$

4. Найбільша реактивна потужність, $Q_{вар}$, яку доцільно передавати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_{т} = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр})^2 - (P_{р.} + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,835 \cdot 4 \cdot 630)^2 - 1568^2} = 46,9 \text{ квар} \quad (45)$$

5. Сумарна потужність НБК, $Q_{вар}$, для даної групи трансформаторів, що забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів:

$$Q_{нк} = Q_{р\Sigma} - Q_{т} = 2384,2 - 46,9 = 2337,3 \text{ квар} \quad (46)$$

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк}}{N_{опт}} = \frac{2337,3}{3} = 779,1 \text{ квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з табл. 9.2. [1] типорозмір ККУ-0,38 кВ: 2ККУ-0,38-432-150

Тоді сумарна потужність встановлених в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{HK1.CPP} = N_{опт} \cdot Q'_{HK1.CPP} = 2 \cdot 3 \cdot 324 = 1944 \text{ квар} \quad (48)$$

7. Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{неск}} = (Q_p + Q_{p.o.}) - Q''_{\text{НК1.СПР}} = 2384,2 - 1944 = 440,2 \text{ квар} \quad (49)$$

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

$$Q_{\text{НК2}} = Q_{\text{неск}} - \gamma \cdot N_{\text{ТЭ}} \cdot S_{\text{HT}} = 440,2 - 0,44 \cdot 3 \cdot 630 = -391,4, \text{ квар} \quad (50)$$

де γ - для магістральної схеми живлення з двома трансформаторами в магістралі, визначаємо за кривими 4.9. [1], виходячи зі значень K_1 (табл.4.6. [1]) и K_2 (табл.4.7. [1])

$$K_1 = 12; \quad K_2 = 7; \quad \gamma = 0.44;$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Місцезнаходження трансформаторної підстанції в межах виробничого цеху визначається низкою чинників, зокрема: щільністю електричних навантажень, розташуванням технологічного обладнання (з урахуванням можливості встановлення компенсуючих пристроїв), мікрокліматичними умовами, які обумовлені особливостями технологічного процесу.

Наявний практичний досвід проєктування, монтажу та експлуатації цехових ТП, а також результати теоретичних досліджень, дозволяють сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо оптимального розміщення підстанцій. Зокрема, доцільним є використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), монтаж яких не залежить від конструктивних особливостей будівлі.

Розміщення КТП у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень забезпечує: зменшення довжини силових ліній, економію кольорового металу, зниження втрат електроенергії в мережі цеху.

Такий підхід сприяє впровадженню системи розподілу підстанцій, наближених до навантажень, що, починаючи зі стадії проєктування, дозволяє врахувати вимоги до енергозбереження.

Параметри трансформаторної підстанції (потужність, кількість трансформаторів, тип розміщення) повинні відповідати: розрахунковим електричним навантаженням, вимогам до безперебійності живлення, умовам довкілля та експлуатації. Залежно від характеру середовища та специфіки виробничого процесу, цехові ТП можуть виконуватись у формі: цехової, вбудованої, прибудованої або окремо розташованої конструкції.

У даному проєкті, зважаючи на те, що вузол навантаження представлений цехом прокатного виробництва з агресивним середовищем і високим рівнем запиленості, було прийнято рішення про встановлення прибудованої КТП.

Схема компонування цехових трансформаторів представлена на кресленні № 1 графічної частини дипломного проєкту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

Для забезпечення надійності живлення при можливому відключенні одного з трансформаторів у системі електропостачання передбачається застосування резервних перемичок у мережах низької напруги. Пропускна здатність таких перемичок має становити:

- 20–30 % потужності трансформатора — при використанні кабельних ліній,
- до 60 % потужності — при застосуванні шинопроводів.

У зв'язку з високою питомою щільністю навантаження цеху (4,02 кВА/м²) та наявністю споживачів I категорії, у проєкті обрано двохтрансформаторну комплектну трансформаторну підстанцію (КТП). Вибір потужності кожного трансформатора здійснюється з урахуванням допустимого перевантаження відповідно до ГОСТ 14209–85.

Схема живлення силових і освітлювальних споживачів на базі двохтрансформаторної КТП подана на рис. 2.1.

У складі підстанції використовуються трифазні трансформатори з первинною напругою 6–10 кВ, які можуть бути:

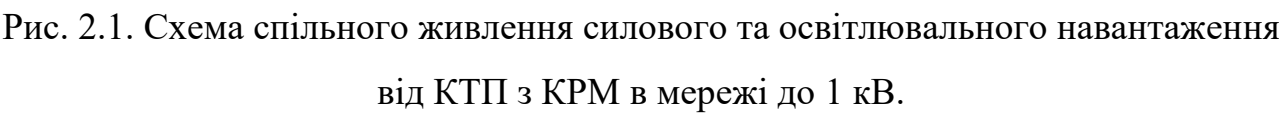
- з природним масляним охолодженням (на мінеральному маслі або негорючій рідині типу совтол),
- з сухою ізоляцією та природним повітряним охолодженням.

Для комплектних підстанцій (КТП) рекомендовано трансформатори закритого типу (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ), у яких ізолятори поміщені в кожух із азотною подушкою під легким надлишковим тиском. Це рішення дозволяє безпечно встановлювати КТП всередині виробничих приміщень, навіть у складних умовах.

Рекомендована схема з'єднання обмоток трансформатора — Δ/Y_0-11 , яка забезпечує:

- зниження опору нульової послідовності порівняно зі схемою Y/Y_0-0 ;
- покращення умов релейного захисту при виникненні однофазних коротких замикань.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

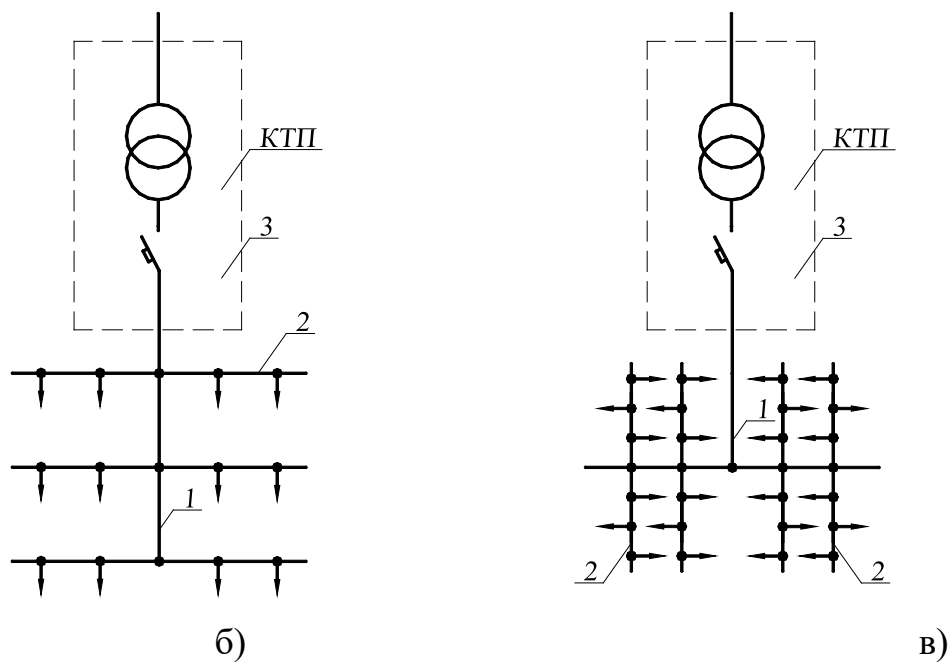


					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів визначається їх числом, розташуванням на площі цеху, категорійністю питомих ними навантажень. Згідно «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств» [7] рекомендується цехові трансформатори живити за подвійними наскрізними магістралями з числом трансформаторів в магістралі: 2 - 3 трансформатора при їх встановленій потужності 1600 - 2500 кВА і 3 - 4 трансформатора меншої потужності. При двох трансформаторах їх живлення здійснюється по радіальних лініях.

Останнім часом при розташуванні ТП в центрах електричних навантажень в мережі до 1 кВ набула поширення схема БТМ - блок трансформатор - магістраль, рис. 2.2.



б – вихід магістралі в одному напрямку;

в – вихід магістралі у двох напрямках;

1 – живляча магістраль;

2 – розподільні шинопроводи;

3 – апаратура управління та захисту.

Рис. 2.2. схеми БТМ

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Виконана за схемою БТМ внутріцехова мережа спрощується, тому КТП може бути виконана без розподільного пристрою низької напруги (РПНН). У цьому випадку від трансформатора КТП відходить магістральний шинопровід (ШМА), призначений для передачі електроенергії декількох розподільних шинопроводам (ШРА) або декільком ЕП. Схеми БТМ широко застосовують для живлення цехових мереж прокатних цехів металургійної промисловості.

За своєю структурою схеми внутрішньоцехових мереж можуть бути радіальними (рис. 2.3.), магістральними (рис.2.4.) та змішаними (рис.2.5.).

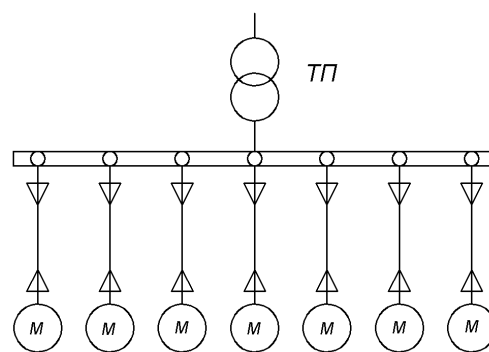


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

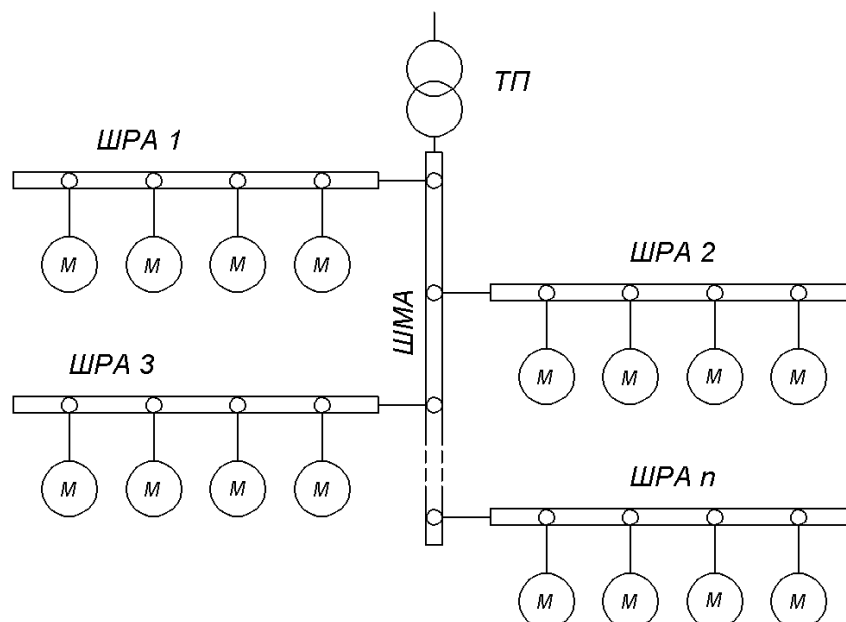


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

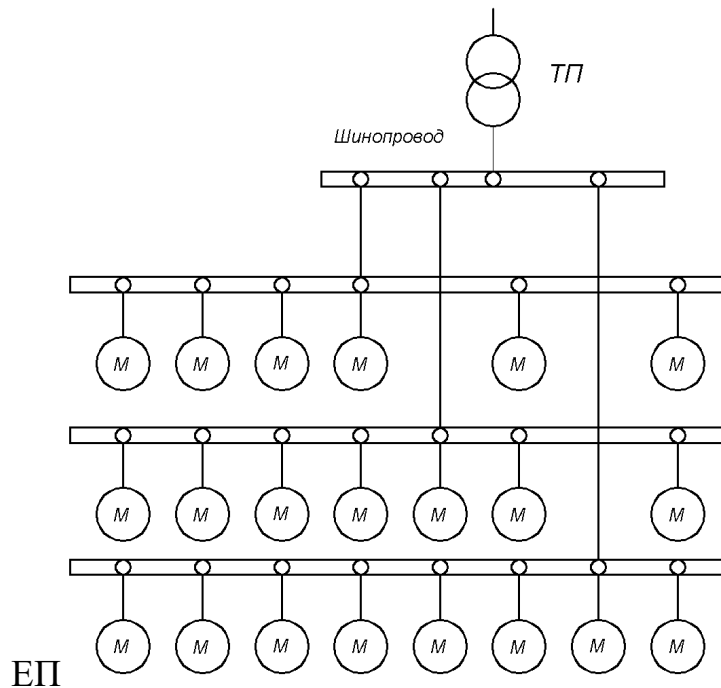


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

Ось перефразована версія з технічно коректним і лаконічним викладом:

Обґрунтування вибору схеми живлення електроприймачів

При реалізації радіальної схеми електропостачання електроприймачі низької напруги (ЕП НН) підключаються до окремих ліній, що відходять від розподільного пристрою низької напруги (РПНН) трансформаторної підстанції. Такі схеми використовуються:

- у випадках зосередженого та нерівномірного розподілу навантажень,
- у вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях,
- в насосних і компресорних установках.

Радіальні лінії зазвичай виконуються ізольованими проводами або кабельними трасами.

Переваги радіальної схеми:

- висока надійність — вихід з ладу однієї лінії не впливає на інші споживачі.

Недоліки:

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- значні капітальні витрати на прокладку струмопровідних ліній;
- потреба в великій кількості захисної апаратури;
- обмежені можливості для індустріального монтажу.

Магістральні схеми живлення доцільно використовувати в умовах:

- рівномірного просторового розміщення споживачів по площі цеху,
- групового живлення електроприймачів однієї технологічної лінії.

У таких схемах одна магістраль живить кілька розподільних шаф та потужних споживачів. Основна особливість — застосування шинопроводів, які забезпечують промисловий монтаж із можливістю підключення навантажень у будь-якій точці. Недоліком магістральної схеми є менша надійність у разі аварії — при пошкодженні магістралі знеструмлюються всі споживачі, підключені до неї. Проте використання резервних перемичок між сусідніми магістралями значно підвищує загальну надійність.

З урахуванням переваг і обмежень, у практиці зазвичай застосовують змішані схеми, пристосовані до умов конкретного виробництва. Наприклад, у механічних цехах машинобудування при реалізації системи типу "трансформатор — магістраль" застосовується магістральний шинопровід із підключеними до нього розподільними штепсельними шинопроводами. Від них у свою чергу живлення до електроприймачів подається через радіальні лінії. На окремих ділянках встановлюються розподільні пункти, які під'єднуються до найближчих магістральних або розподільних шин.

У прокатних, ковальських, ливарних та суміжних виробництвах електропостачання також реалізується через розподільні пункти.

У даному проєкті до реалізації прийнята магістральна схема з резервними перемичками між розподільними шинопроводами, що відповідає вимогам надійності, адаптивності та технологічної ефективності для умов важкого промислового виробництва.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.6. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)

У процесі експлуатації електричних мереж можливе порушення нормального режиму роботи, зокрема у вигляді перевантажень або коротких замикань, при яких різко зростає струм у провідниках. Для запобігання пошкодженню обладнання та підтримання надійності електропостачання необхідно забезпечити швидкодіючий автоматичний захист, здатний від'єднати аварійну ділянку з мінімальним часом дії.

Захист внутрішньоцехових мереж здійснюється за допомогою таких апаратів:

- плавкі запобіжники;
- автоматичні повітряні вимикачі (автомати);
- теплові реле магнітних пускачів.

Автоматичні вимикачі мають суттєві переваги над запобіжниками:

- вони надійніше реагують на перевантаження;
- здійснюють одночасне відключення трьох фаз, що унеможливорює роботу споживачів у неповнофазному режимі;
- є багатократними в дії, що дозволяє їх використання в системах автоматичного резервування (АВР) і повторного включення (АПВ).

Завдяки цим якостям автомати широко використовуються у мережах змінного струму напругою до 660 В.

Для реалізації функцій захисту автоматичні вимикачі оснащуються релейними пристроями, які реалізують:

- струмове відсічення — миттєве відключення при виникненні КЗ;
- максимальний струмовий захист — з витримкою часу для забезпечення селективності.

Ці функції виконуються електромагнітними расцеплювачами прямої дії, які можуть працювати як з витримкою часу, так і без неї — залежно від типу

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

автомата.

Для виконання захисту, надійно і суб'єктивно діючого при коротких замиканнях і перевантаженнях, максимальні розцеплювачі автоматів постачають витримками часу у вигляді годинникових механізмів. Уповільнення досягається за рахунок сповільнювача розцеплювача - 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 таких вимог: $U_{a.ном} > U_{ном.с}$

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

$U_{ном.с}$ - номінальна напруга захищеної ділянки мережі.

$$I_{расц.ном} \geq I_{расч.тах}$$

де $I_{рози.ном}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{рози.тах}$ – расчетный ток защищаемого участка сети.

Для одиночних, захищених автоматом, двигунів:

$$I_{рози.тах} = I_{ном дв}$$

Якщо захищений елемент мережі працює в режимі технологічних перевантажень, то необхідно вибирати автомати з регульованим розцеплювачем уповільненого спрацювання, що здійснює захист від перевантаження.

Уставка уповільненого спрацювання регульованих розцеплювачів, що здійснюють захист від перевантаження $I_{уст п}$ обирається за виразом (51):

$$I_{уст п} \geq (1,3 \div 1,5) I_{рози.тах}. \quad (51)$$

При виборі струму уставки миттєвого спрацювання електромагнітного розцеплювача, що здійснює захист від к.з., $I_{уст к.з.}$, необхідно відстроїти від короткочасних перевантажень, що викликаються пуском (самозапуском) двигунів, за виразом (52):

$$I_{уст к.з.} \geq (1,5 \div 1,8) I_{пер}, \quad (52)$$

де $I_{пер}$ ($I_{пик}$) – ток короткочасні перевантаження або піковий струм, що визначається залежно від характеру навантаження захищеної ділянки мережі за виразами:

- для одиночних двигунів:

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{перезр} = I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном дв}, \quad (53)$$

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

- для режиму запуску невідключаємих самозапускаючихся двигунів:

$$I_{перезр} = \sum_{i=1}^n I_{пускі}, \quad (54)$$

де $\sum_{i=1}^n I_{пускі}$ - сума пускових струмів самозапускаючихся двигунів;

- для випадку пуску найбільш потужного двигуна і режиму нормальної роботи всіх інших електроприймачів, підключених до захищаємої лінії:

$$I_{пер} \geq k_c \cdot \sum_{1}^{n-1} I_{н.дв} + I_{пуск.мах}, \quad (55)$$

де $\sum_{1}^{n-1} I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів двигунів, приєднаних до захищаємої лінії без урахування найбільш потужного двигуна;

$I_{пуск мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на захищаємій ділянці мережі, A ;

k_c – коефіцієнт попиту, $k_c < 1$.

Всі вибрані автомати перевіряють:

- по вимикаючій здібності:

$$I_{пред.откл.} \geq I_{к.з.мах}^{(3)} \quad (56)$$

- на чутливість захистів:

- при захисті автоматами з розчеплювачами уповільненої дії:

$$I_{к.з.мін}^{(1)} \geq I_{расц.ном} \quad (57)$$

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 уповільненого спрацьовування, A .

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

$$I_{к.з.мін}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) I_{уст.к.з.} \quad (58)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

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

Допускається не проводити на чутливість захисту при кратності струму к.з. у таких випадках:

- при захисті ділянки мережі автоматом з розчеплювачем миттєвого спрацювання:

$$I_{уст.к.з.} \leq 4,5 \cdot I_{дл.доп.} \quad (59)$$

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

- при захисті ділянки мережі автоматом з регульованим розчеплювачем уповільненого спрацьовування:

$$I_{уст.к.з.} \leq 1,5 \cdot I_{дл.доп.} \quad (60)$$

Селективні автомати перевіряють на динамічну і термічну стійкість за виразами:

$$i_{дин} \geq i_y \quad (61)$$

$$B_{к.доп.} \geq I_{п.о.}^2 \cdot t_{сраб} \quad (62)$$

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

$I_{п.о.}$ - початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.;

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

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

Здійснимо вибір параметрів і типів автоматів, виходячи з однолінійної схеми живлення споживачів цеху, представленої на аркуші графічної частини 2, де вказані місця розміщення автоматів та їх призначення.

Автомати QF_1-QF_3 захищають асинхронні двигуни з параметрами зазначеними в табл. П.3. (виходячи з умови завдання студент самостійно вибирає одиничну потужність АД). Двигуни встановлені в приміщенні з нормальним

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

середовищем. Режим роботи двигунів визначається режимом роботи приводного механізму.

Автомати QF_4 - QF_7 мають однакові параметри, так як забезпечують захист ЕП, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1 - ШРА6, завантажених рівномірно.

Автомат QF_8 – ввідний, параметри якого визначаються встановленою потужністю трансформатора з урахуванням можливих перевантажень, допустимих ГОСТ 14209-85.

Автомат QF_9 – секційний, параметри якого визначаються за вступним автоматом.

Вибір параметрів автоматів безпосередньо у споживачів - починаємо з визначення номінальних струмів захищаємих автоматами двигунів. Визначаємо (за довідником [3]) тип і потужність двигунів, а по ним - номінальні струми двигунів:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}; \quad (63)$$

$$I_{н.дв.} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 28,5 \text{ А}; \quad (64)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.дв.}, \text{ А}; \quad (65)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 28,5 = 171 \text{ А}; \quad (66)$$

За розрахунковими величинам приймаємо до установки автомат типу ВА 88-35 з номінальними параметрами (табл.1 стр.7. [3]). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

$$I_{н.розч.} = \frac{I_{н.дв.}}{0,85}, \text{ А}; \quad (67)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{н.розч.} = \frac{28,5}{0,85} = 33,5 \text{ А}; \quad (68)$$

Обираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.розч.} = 100 \text{ А}$.

Встановлюємо неможливість спрацьовування (відбудовується від пускових струмів) автомата при пуску двигуна:

$$I_{ср.ел.} = 1,25 \cdot I_{пуск}, \text{ А}; \quad (69)$$

$$I_{ср.ел.} = 1,25 \cdot 171 = 213,8 \text{ А}.$$

Приймаємо уставку струму електромагнітного розчеплювача у відповідності з паспортними, час струмовими характеристиками 250 А.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА-73-1.

При підключенні до шино проводу трьох двигунів розрахунковим завантаженням буде сума номінальних струмів цих двигунів

$$I_{P.ШРА-1} = \sum_1^3 I_{ном.дв.} = 197,3 \text{ А}; \quad (70)$$

Піковий струм шинопровода визначається з умови пуску найбільш потужного двигуна, приєднаного до шинопровода. Враховуємо, що двигуни потужністю понад 100 кВт мають пристрої плавного пуску

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_1^{n-1} I_{ном.дв.} = 763,2 + 197,3 = 960,5 \text{ А} \quad (71)$$

Обираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

$$I_{н.расц.} \geq I_{P.ШРА-1} \quad (72)$$

Перевіряємо можливість спрацьовування автоматів при пуску найбільш потужного двигуна (відстроювання від пускових струмів):

$$1,25 \cdot I_{пик} \geq I_{ср.эл.расц.} \quad (73)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{п.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{номт}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,6 \text{ А.} \quad (74)$$

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

$$\frac{I_{п.ав.}}{0,85} \leq I_{ном расц} \quad (75)$$

$$1578,4 < 1600$$

Приймаємо до встановлення автомат ВА 55-43, $I_{п.ав.} = 1600 \text{ А.}$

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на щабель нижче вступного автомата:

$$I_{р.секции} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{п.ав.}}{0,85}, \text{ А} \quad (76)$$

Приймаємо до встановлення автомат типу ВА 55-41, $I_{п.ав.} = 1000 \text{ А.}$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

$$I_{p\max} \leq I_{\text{дл доп}} \quad (77)$$

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:

$$I_{\text{дл доп}} \geq k_z \cdot I_z \quad (78)$$

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

k_z – коефіцієнт захисту, що визначається за таблицею 5-9 [2].

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:

$$\Delta U_{\text{дійств}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (79)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 0,05 U_{\text{ном}} \quad (80)$$

$$0,05 U_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 380 \text{ В} = 19 \text{ В} \quad (81)$$

$$\Delta U_{\text{дійств}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (82)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де I_p – розрахунковий струм лінії, А;

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

r_0, x_0 – відповідно питомі активні і індуктивні опори провідника, Ом/км - довідкові дані для стандартних перерізів, див. таблицю П. 5. Індуктивний опір $x_0 = 0,06$ Ом/км.

Вибираємо переріз кабелю по умові нагріву

$$I_{p \max} \leq I_{\text{дл доп}} \quad (83)$$

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

Обираємо 4-х жильний кабель типу АВВГ 3х150

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

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

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

Вибираємо шинопровід розподільний типу ШРА-73/2070 з перерізом робочої шини 120х10.

Перевіряємо вибрані кабелі по втраті напруги:

$$\Delta U_{\text{действ}} < 0,05 U_n \quad (84)$$

$$\Delta U_{\text{действ}} = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (85)$$

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

$\cos \varphi = 0,6$; $\sin \varphi = 0,8$

$0,05 \cdot U_n = 19$ В

$0,3 < 19$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2.

Вибір автоматів та струмоведучих частин

№ автомата	Назва автомата (місце в схемі)	Номінальна потужність, кВА	Номінальний струм, А	Кратність пускового струму	Пусковий струм, А	Тепловий поправочний коефіцієнт	$\frac{I_{ном}}{0,85}$ $\frac{I_p}{0,85}$	Номінальний струм розчеплювача, А	Струм уставки розчеплювача	Тип автомата	Коефіцієнт захисту	Допустимий струм СВЧ	Перевірка вибраногоперетину по умові	Остаточна обрана марка та перетин СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги,
QF1	ШРА-1- АД-1	15	28,5	6	171	0,85	33,5	100	400	A3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	2,34
QF2	ШРА-1- АД-2	22	41,6	6	249,6	0,85	48,9	125	400	A3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	3,41
QF3	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	A3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,43
QF4	ШМА- ШРА-1	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF5	ШМА- ШРА-2	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF6	ШМА- ШРА-3	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF7	ШМА- ШРА-4	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	A3710Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF8	ТР-р- ШМА	630	1341,6	-	-	-	-	1600	-	ВА55-43	-	1600	-	ШМА-73	-
QF9	Секційний	-	947	-	-	-	-	1000	-	ВА55-41	-	1000	-	ШМА-73	-

ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Метою розрахунку струмів к. з. у мережах до 1 кВ є перевірка вибраних автоматів і шинопроводів на стійкість дії струмів к. з., автоматів - по граничному струму відключення і на чутливість захисту.

Для перевірки захисних апаратів по граничному струму к. з. визначають максимальне значення струму трифазного к. з., а для перевірки чутливості захисту визначаємо мінімальне значення струму однофазного к. з. в електрично віддаленій від джерела живлення точці мережі.

Особливістю розрахунків струмів к. з. у мережах до 1 кВ є те, що

- розрахунок проводиться в іменованих одиницях;
- при розрахунку струмів к. з. необхідно враховувати активні і індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого ланцюга, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, дуги, контактів і контактних з'єднань.

При розрахунках струмів к. з. допускається не враховувати вплив асинхронних двигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10% початкового значення періодичної складової струму в місці к. з., розрахованого без урахування двигунів:

$$0,1 \cdot I_{\text{по}} > \sum_{i=1}^n I_{\text{н.двю}}. \quad (86)$$

- складається розрахункова схема (рис. 2.6) на яку наносяться струми к. з.;
- за розрахунковою схемою складається схема заміщення (рис. 2.7), 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 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Методика розрахунків струмів к. з. в електроустановках змінного струму
напругою до 1 кВ відповідає ГОСТ 28249–89

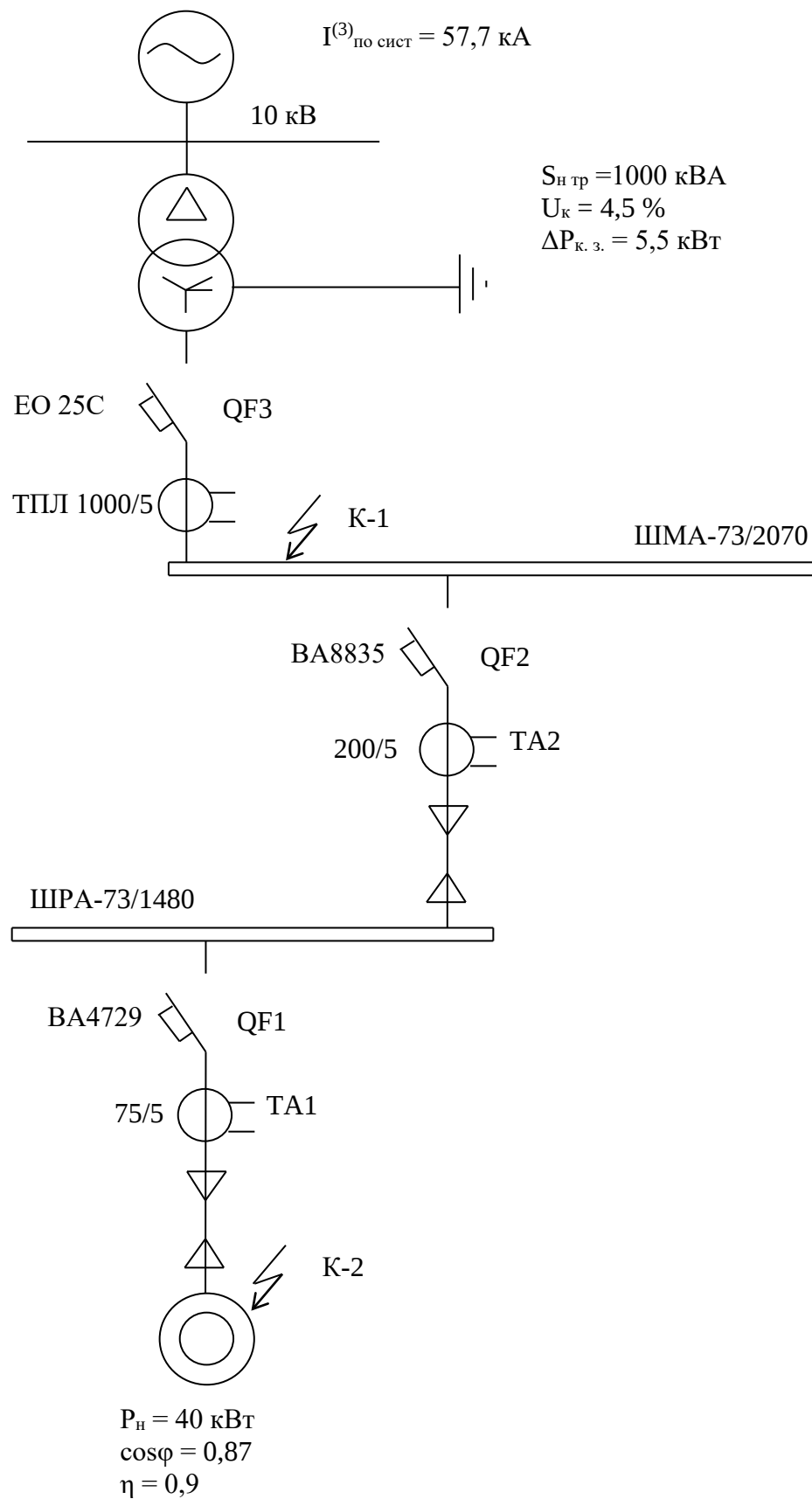


Рис. 2.6. Розрахункова схема

					<i>ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

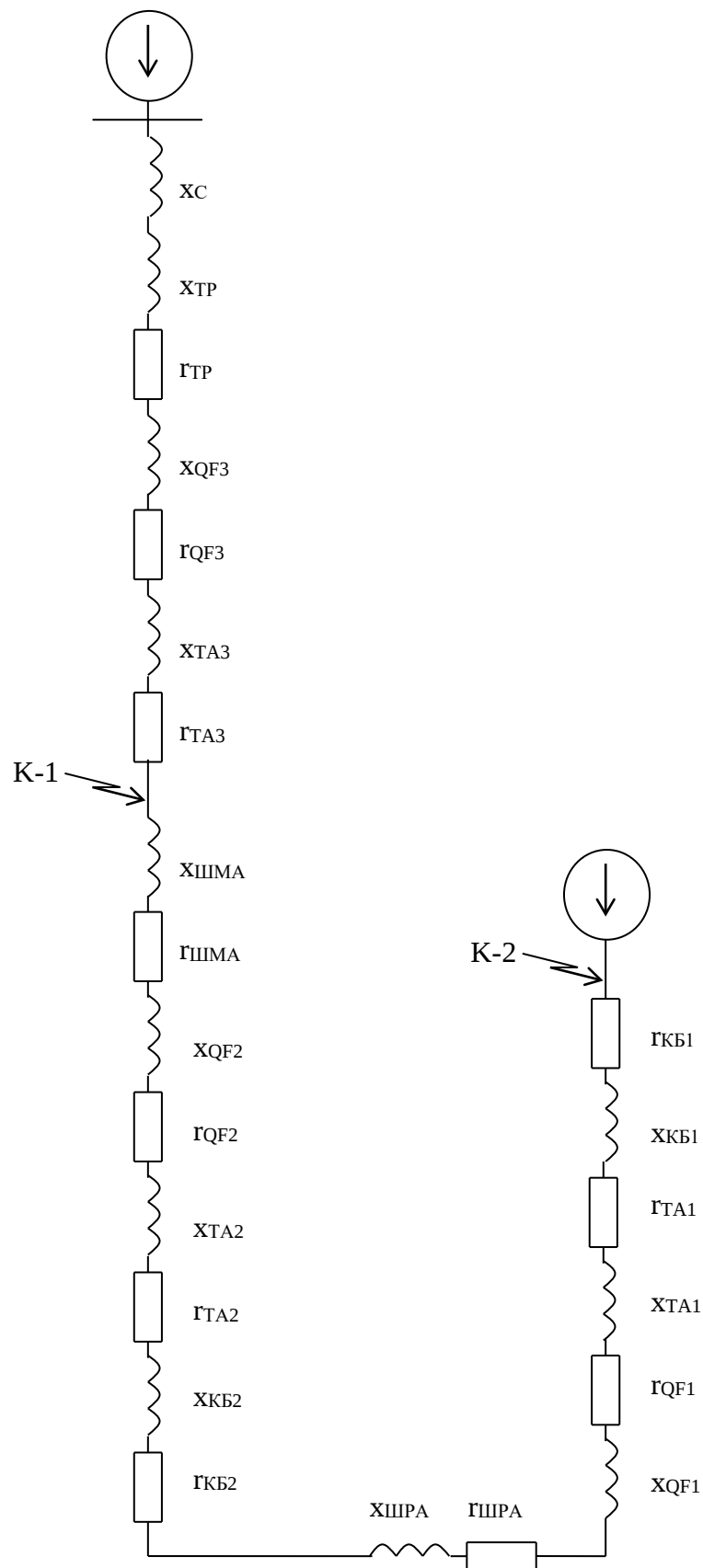


Рис. 2.7. Схема заміщення

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 (87):

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} = \frac{U_{\text{срнн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (87)$$

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

Таблиця 2.3

Питомі опори елементів мережі

Опір послід- овност- ей	Питомі опори мОм/м	ТВЧ				Трансформатори тока			Автомати		
		ШМ А 630	ШРА 165	Кабел ь S=70 мм ² (15м)	Кабел ь S=25 мм ² (5м)	ТА 1 75/5	ТА 2 200/ 5	ТА 3 1000/ 5	QF 1	QF 2	QF 3
Пряма	r ₁	0,03	0,15	0,89	1,2	3	0,02	0,01	3,5	0,41	0,14
	x ₁	0,017	0,17	0,025	0,09	4,8	0,03	0,02	2	0,13	0,08
Нульов- а	r ₀	0,038	0,162	2,5	2,7						
	x ₀	0,045	0,164	0,075	0,01						
Фаза- нуль	r _{Ф-0}	0,068	0,262	0,27	0,38						
	x _{Ф-0}	0,059	0,294	0,173	0,22						

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{QF3} + r_{TA3}, \text{ Ом}$$

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_{1T} + x_C + x_{QF3} + x_{TA3}, \text{ Ом}$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ					Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата						

$$X_C = \frac{U_{\text{ср нн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз вн}} \cdot U_{\text{ср вн}}}, \text{ Ом} \quad (88)$$

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.

$$x_C = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 57,7 \cdot 6,3} = 0,25 \text{ мОм} \quad (89)$$

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:

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2 \cdot 10^6}{S_{\text{нТ}}^2}; \quad (90)$$

$$x_{1T} = \sqrt{U_{\text{кз}}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{нТ}}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{нТ}}}, \quad (91)$$

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);

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

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

$$r_{1T} = \frac{4,5 \cdot 0,23^2 \cdot 10^6}{1600^2} = 1,5 \text{ мОм}; \quad (92)$$

$$x_{1\phi} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 4,5}{1600} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1600} = 24,3 \text{ мОм}. \quad (93)$$

$$r_{1\Sigma} = 1,5 + 0,14 + 0,01 = 1,65 \text{ мОм},$$

$$x_{1\Sigma} = 0,25 + 24,3 + 0,08 + 0,002 = 24,65 \text{ мОм}.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{II}^{(3)} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,65^2 + 24,65^2}} = 10,3 \text{ кА.}$$

Необхідність обліку впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{н\text{дв}\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{кз}^{(3)}$, $900,4 \leq 1030$. Присутність двигунів в місці к.з. можна не враховувати.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.8.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К - 2

Ток однофазного к. з. в точці К – 2 розраховується по формулі:

$$I_{\text{по min}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{(r_{1\Sigma}'' + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma}'' + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (94)$$

де $r_{1\Sigma}'' = r_{1\Sigma}' + (r_{\text{ф-о.шма}} + r_{\text{ф-о.шпа}} + r_{\text{ф-о.кб1}} + r_{\text{ф-о.кб2}})$

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

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

$$x_{1\Sigma}'' = x_{1\Sigma}' + (x_{\text{ф-о.шма}} + x_{\text{ф-о.шпа}} + x_{\text{ф-о.кб1}} + x_{\text{ф-о.кб2}});$$

$$x_{1\Sigma}' = x_{1\Sigma} + x_{1\text{шма}} + x_{1\text{QF2}} + x_{1\text{шпа}} + x_{1\text{QF1}} + x_{1\text{ТА1}} + x_{1\text{КБ1}} + x_{1\text{ТА2}} + x_{1\text{КБ2}};$$

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

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

Опори нульової послідовності: активні і індуктивні опори нульової послідовності знижувальних трансформаторів, обмотки яких сполучені за схемою $\Delta/\star$ при к.з. в мережі низької напруги слід приймати реальні опори прямої послідовності.

$$r_{0\Sigma} = r_{0\text{т}} + r_{0\text{QF3}} + r_{0\text{ТА3}} + r_{0\text{шма}} + r_{0\text{QF2}} + r_{0\text{ТА2}} + r_{0\text{КБ2}} + r_{0\text{шпа}} + r_{0\text{ТА1}} + r_{0\text{QF1}} + r_{0\text{КБ1}};$$

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

$$r_{0\Sigma} = 12,83 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} x_{0\Sigma} &= x_{0\text{т}} + x_{0\text{QF3}} + x_{0\text{ТА3}} + x_{0\text{шма}} + x_{0\text{QF2}} + x_{0\text{ТА2}} + x_{0\text{КБ2}} + x_{0\text{шпа}} + x_{0\text{ТА1}} + \\ &+ x_{0\text{QF1}} + x_{0\text{КБ1}} = 21,65 + 0,08 + 4,8 + 0,35 \cdot 0,017 + 0,13 + 0,03 + 0,1 \cdot 0,025 + \\ &+ 0,2 \cdot 0,17 + 0,02 + 2 + 0,1 \cdot 0,09 = 28,76 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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: $I_{\text{к.з. min}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{расщ ном}}$,

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

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

при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацьовування:

$$I_{\text{к.з. min}}^{(1)} \geq (1,25 \div 1,4) \cdot I_{\text{кст к.з.}}, \quad (96)$$

де $I_{\text{кст к.з.}}$ - струм уставки миттєвого спрацьовування, А;

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

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

Всі автомати задовольняють умовам перевірки на чутливість захисту.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

Електроенергія, призначена для роботи електроприймачів, повинна мати визначені ГОСТ 13109-87 /21/ якісні показники, які забезпечують надійність і економічність роботи електроприймачів. В ПУЕ вказується, що "вся мережа, від цехової підстанції до електроприймачів, має бути перевірена на допустимі відхилення напруги з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення. У разі, якщо відхилення напруги більше відповідної межі, необхідно передбачити в мережах відповідні технічні заходи по регулюванню напруги".

Відхилення напруги - різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} та номінальним значенням напруги $U_{\text{н}}$ при нарузі, що повільно змінюється, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1% в секунду:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (97)$$

Нормальне допустиме відхилення напруги в мережі низької напруги складає $\pm 5\%$, а максимально допустиме в мережах НН та ВН (напруга до 20 кВ) $\pm 10\%$.

Збиток від відхилення напруги має дві складові - електромагнітна і технологічна. Електромагнітна складова визначається додатковими втратами електроенергії в елементах мережі, а технологічна - пониженням продуктивності технологічного устаткування і продуктивністю праці.

Найбільш чутливі до відхилень напруги освітлювальні установки і конденсаторні батареї. Так, при зниженні напруги на 5% світловий потік ламп розжарювання знижується на 20%, підвищення напруги на 10% знижує їх термін служби в 4 рази.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

U_1 – відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

U_{01} – відхилення напруги регулювального відгалуження;

U_{011} – відхилення номінальної напруги вторинної обмотки трансформатора від номінальної напруги мережі низької напруги;

ΔU_T – втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_T \cdot \cos \varphi + X_T \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{нтр}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{нтр}} \cdot \cos \varphi + U_{кз} \cdot \sin \varphi \right) \quad (98)$$

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{кз}, \quad (99)$$

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:

$S_{нтр} = 630$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 7,6$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_{неск}^2}}{N_{min}} \quad (100)$$

$$S_p = \frac{\sqrt{1562,5^2 + 474,2^2}}{3} = 544,3 \text{ кВА}. \quad (101)$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск}}{P_{p\Sigma}} \quad (102)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{474,2}{1725,5} = 0,27. \quad (103)$$

Отже $\cos \varphi = 0,96$, $\sin \varphi = 0,27$.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

$$\Delta U_m = \frac{544,3}{630} \cdot \left(\frac{7,6}{630} \cdot 0,96 + 0,055 \cdot 0,27 \right) = 0,023 = 2,3\% \quad (104)$$

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

$$U_{11} = 5 + 5 - 0 - 2,5 - 2,3 = 2,7 \%$$

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

За результатами аналізу технологічного процесу проєктований вузол навантаження віднесено до споживачів II категорії за ступенем безперебійності електропостачання. Це визначило ключові технічні рішення в побудові системи електропостачання (СЕР), зокрема:

- забезпечення двох незалежних джерел живлення для електроприймачів напругою 0,4 кВ;
- впровадження глибокого резервування на всіх рівнях трансформації;
- відмова від обов'язкового застосування системної автоматики (АВР) на секційних вимикачах — допустима короточасна перерва живлення лише на час оперативного перемикання.

З метою зменшення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводських розподільчих мережах розраховано необхідну потужність конденсаторних батарей, розміщених максимально близько до споживачів. Це дозволяє знизити навантаження на трансформатори та покращити енергетичну ефективність системи.

Споживачі напругою 0,4 кВ рівномірно розташовані по площі цеху, що дало змогу організувати їх живлення через розподільні шинопроводи, реалізуючи гнучку конфігурацію системи та можливість застосування індустріальних методів монтажу.

Застосування вітчизняної апаратури (комутаційної, захисної та вимірювальної) дозволяє зберегти необхідну надійність при оптимізації капітальних витрат на будівництво та монтаж системи електропостачання.

Загальна структура живлення цеху передбачає дві магістральні лінії та шість радіальних відгалужень, що забезпечує ефективну та надійну подачу електроенергії відповідно до характеристик споживання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту були впроваджені раціональні технічні рішення, що забезпечують надійність, енергоефективність та технологічну гнучкість системи електропостачання цеху:

- застосовано магістральну схему живлення цехових трансформаторних підстанцій, що відповідає характеру просторового розміщення електроприймачів та сприяє реалізації індустріальних методів монтажу;

- передбачено резервні перемички у мережах напругою до 1 кВ, що підвищує надійність живлення за умов відключення одного з трансформаторів;

- використано пристрої компенсації реактивної потужності (конденсаторні батареї) в зоні споживачів 0,4–1 кВ, що дозволило зменшити перетоки реактивної енергії та, відповідно, знизити встановлену потужність трансформаторів.

- при проектуванні схеми електропостачання застосовують з метою підвищення надійності мереж напругою до 1 кВ трансформатори з групою з'єднання обмоток $\Delta/Y_0 - 11$, що в свою чергу забезпечило необхідну чутливість захистів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Діючі галузеві нормативні документи у галузі будівництва для використання на об'єктах електроенергетичної галузі. Показчик. Режим доступу: https://ua.energy/uchasnikam_rinku/dokumenty
2. СОУ-Н ЕЕ 20.178-2008 «Схеми принципові електричні розподільних установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова». Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66629
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
4. Бардик, Є.І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання / Є.І. Бардик, М.П. Лукаш / К.: «Політехніка» НТУУ «КПІ» 2012 – 250 с.
5. Костишин, В.С. Електрична частина станцій та підстанцій : навч. посіб. /В.С. Костишин, М.Й. Федорів, Я.В. Бацала. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 243 с.
6. ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2015. 31 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 20 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ 3582:2013 Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила. [Чинний від 2013-08-22]. Вид. офіц. Київ, 2014. 17 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-08]. Вид. офіц. Київ, 2005. 55с.

					ЕТ та ЕЕ 4815.019.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		