

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 ХІМІЧНОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е23пр.

Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Максим ФЕДОРОВ
(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)

Федорову Максиму Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження цеху хімічної промисловості

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 проєктованого об'єкта
2	Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ
3	Розрахунок потужності КП в мережі напругою до 1 кВ
4	Визначення потужності компенсуючих пристроїв за умовою вибору оптимального числа цехових трансформаторів
5	Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ
6	Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху
7	Вибір схеми живлення цехових трансформаторів
8	Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою
9	Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)
10	Вибір марки і перетину струмоведучих частин
11	Розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів та СВЧ на стійкість дії СКЗ
12	Перевірка показників якості електроенергії на шинах цехової ТП
13	Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

М. Г. Федоров

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 4815.018.000 ПЗ							
					Проектування СЕП вузла навантаження цеху хімічної промисловості	Лім.			Маса		Масштаб	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					1		1 : 1	
Розроб.		Федоров										
Перевір.		Бровко										
Т. Контр.						Арк.	3		Аркушів			
Реценз.					Пояснювальна записка	гр. ДЕА-Е23пр						
Н. Контр.												
Затверд.		Чернюк										

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Головною метою дипломного проєкту є набуття практичного досвіду у самостійному розв'язанні комплексних інженерних задач у сфері внутрішньоцехового електропостачання з урахуванням сучасних методів енергозбереження. Особлива увага приділяється формуванню професійних навичок у проєктуванні систем електропостачання промислових підприємств на основі загальноприйнятих принципів побудови сучасних енергосистем.

У процесі виконання роботи студент набуває умінь використовувати довідкову літературу, нормативну базу, директивні документи та типові рішення проєктів.

Сучасні тенденції в енергетиці та економіці висувають нагальні вимоги до підвищення енергоефективності. На багатьох підприємствах фактичні навантаження значно менші за проєктні, що призводить до нераціонального використання обладнання, простоїв, зниження обсягів продукції та, як наслідок, збитків. Тому впровадження раціонального, продуктивного та ефективного електротехнічного обладнання стає стратегічно важливим.

Актуальність теми обумовлена необхідністю оптимізації систем електропостачання за критеріями: мінімізація втрат електроенергії, забезпечення її високої якості, надійності та економічної доцільності. Комплексний підхід до проєктування покликаний задовольнити ці вимоги.

Таким чином, основним завданням проєкту є розробка внутрішньоцехової мережі електропостачання з урахуванням раціонального використання електрообладнання, зниження втрат при трансформації й розподілі електроенергії, мінімізації недопостачань споживачам, підвищення надійності та загальної ефективності енергопостачання.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТА

Метою аналізу технологічного процесу є визначення потенційних матеріальних збитків, що можуть виникнути внаслідок перерви в електропостачанні об'єкта. Це, у свою чергу, дозволяє обґрунтовано визначити категорію електроприймачів цеху за критерієм безперебійності живлення, що є основою для вибору кількості джерел живлення, схеми живильних та розподільних мереж, а також доцільності впровадження елементів мережевої автоматики.

У рамках даного проєкту розглядається цех хімічної промисловості, який належить до основного виробництва. Технологічний процес у цьому цеху має високий ступінь складності, і порушення його ходу може призвести до суттєвих матеріальних втрат, браку готової продукції, виходу з ладу дорогого електрообладнання, а в окремих випадках — до загрози життю персоналу. Відповідно до вимог ПУЕ електроприймачі цього об'єкта відносяться до споживачів I категорії за надійністю електроживлення.

Крім того, при виборі розміщення трансформаторної підстанції, схеми та способу живлення, конфігурації обладнання системи електропостачання (СЕП) та струмопровідних елементів необхідно враховувати агресивний характер технологічного середовища.

До електроприймачів, які працюють на напрузі 0,4 кВ, належать: приводи рольгангів і гойдалкових столів, вентилятори, насоси, компресори, мостові крани, тельфери (з ПВ 25% і 40%), машини шовного зварювання, елеватори та заблоковані конвеєри. Загальна встановлена потужність цих споживачів наведена в таблиці 2.1.

Площа цеху становить 8700 м², а питома щільність освітлювального навантаження прийнята на рівні 20 Вт/м². Режим роботи основних споживачів охарактеризовано через коефіцієнт використання та коефіцієнт потужності, які

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

відображають рівень реального навантаження щодо номінальної потужності. Відповідні значення цих коефіцієнтів наведено в таблиці 2.1.

Розміщення електрообладнання в межах площі цеху показано на рисунку 1.1, а також деталізовано на аркуші 1 графічної частини проєкту.

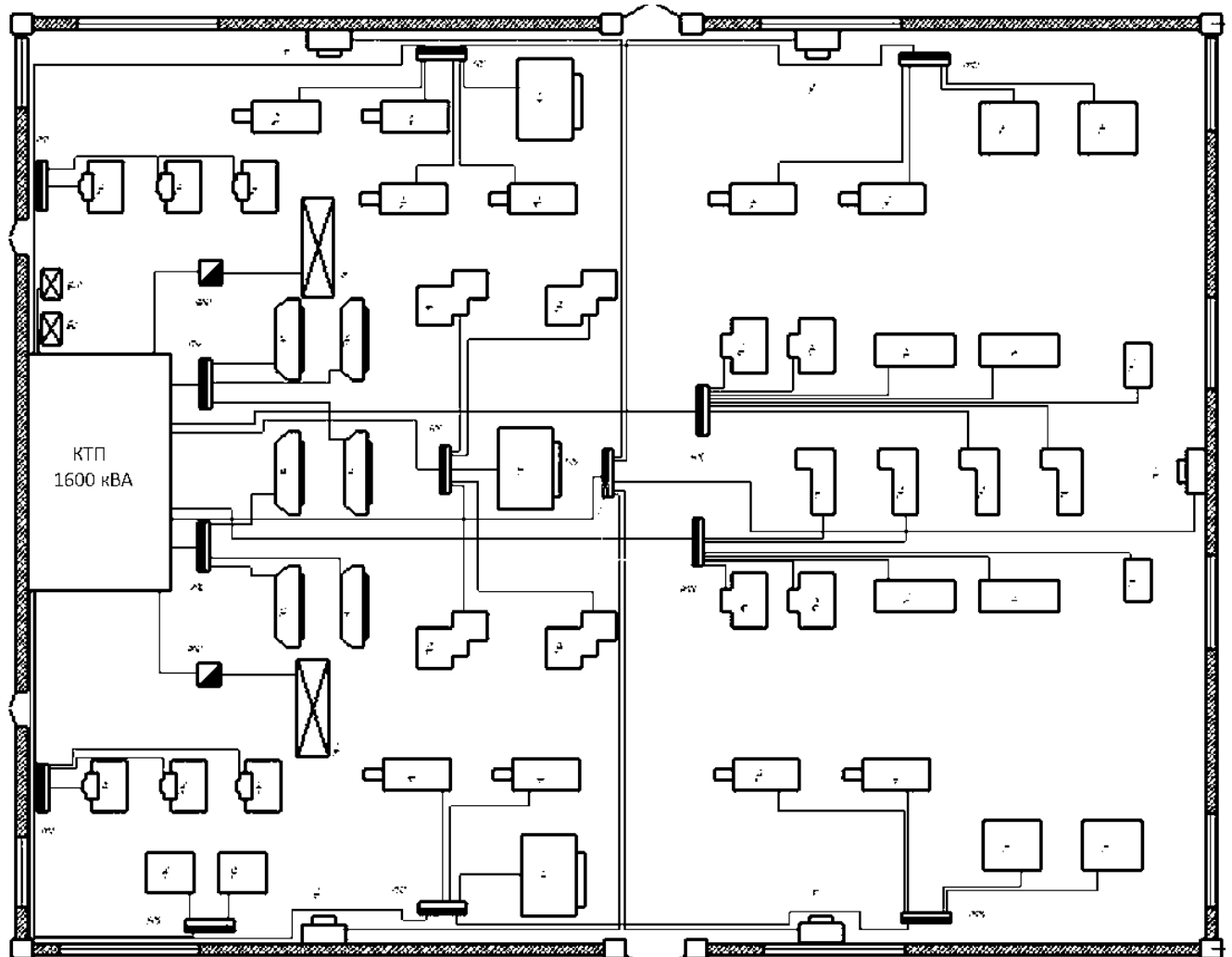


Рис. 1.1. Ситуаційний план цеху хімічної промисловості

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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 ($P_B = 100\%$) здійснюється за виразами (3)-(4):

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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 середньозміне навантаження за найбільш завантажену зміну за виразами (6)-(7):

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

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

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 граfi табл. 2.1.

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

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

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

Визначаємо середньозважений (груповий) коефіцієнт використання:

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

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 4815.018.000 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, $K_{и.гр.}$ 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 4815.018.000 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, kV

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 «Електротехніки і електроенергетики».

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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_{Σ} 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 κBm за виразами (18)-(19):

$$P_H = 300 \cdot \sqrt{0,25} = 150, \kappa Bm \quad (18)$$

$$P_H = 630 \cdot \sqrt{0,4} = 398,4, \kappa Bm \quad (19)$$

та заносимо ці значення у відповідну колонку табл.2.1.

3. Підсумовуємо встановлені потужності вузла:

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

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

$$P_{cm_1} = P_{H_1} \cdot K_{H_1} = 1000 \cdot 0,22 = 220, \kappa Bm \quad (20)$$

$$Q_{cm_1} = P_{cm_1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 220 \cdot 1,33 = 292,6, \text{ квар} \quad (21)$$

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:

$$P_{cm_{\Sigma}} = 220 + 363 + 715 + 1430 + 27 + 71,72 + 147 + 390 = 3363,72, \kappa Bm$$

$$Q_{cm_{\Sigma}} = 292,6 + 482,8 + 536,25 + 1072,5 + 53,5 + 141,9 + 393,9 + 397,88 = 3371,3, \text{ квар}$$

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

$$K_{и.гр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm_i}}{\sum_{i=1}^m P_{H_i}} = \frac{3363,7}{7638,4} = 0,44 \quad (22)$$

7. Визначаємо ефективне число ЕП:

$$n_{эф} = \frac{\left[\sum_{i=1}^m P_{H_i} \right]^2}{\sum_{i=1}^n P_{ном}^2} = \frac{2 \cdot 7638,4}{300} = 50,9, \quad (23)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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:

$$P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{cmi} = 0,7 \cdot 3363,7 = 2354,6, \text{ кВт} \quad (24)$$

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

$$Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{cmi} = 3371,3, \text{ квар} \quad (25)$$

11. Повне розрахункове силове навантаження по вузлу дорівнює:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2356,4^2 + 3371,3^2} = 4113,2, \text{ кВА} \quad (26)$$

12. Визначення встановленої потужності освітлювальних ЕП:

$$P_{H.O.} = P_{уд.О.} \cdot F \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ кВт} \quad (27)$$

13. Визначення розрахункового навантаження від освітлювальних ЕП

$$P_{P.O.} = P_{H.O.} \cdot K_{C.O.} \cdot K_{пра} = 20 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 20,9, \text{ кВт} \quad (28)$$

$$Q_{P.O.} = P_{P.O.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 20,9 \cdot 0,33 = 6,9, \text{ квар} \quad (29)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок навантажень цеху

№п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кількі сть, п шт	Паспортні дані ЕП в кВт		Номін альна потуж ність характ ерних груп ЕП	Коефіц ієнт вик. Ки	cos □	tg □	Середньозмінне навантаження за найбільш завантажену зміну		Ефективне число ЕП, пє	Коефіцієнт розрахункового навантаження Кр	Розрахунковий максимум навантаження			Розраху нковий струм, Ір, А
			Одного ЕП Рн мін/Рн мах, кВт	Загаль на Рпасп, кВт					Рсм, кВт	Qсм, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	
1	Центрифуги	320	5 80	1000	1000,0 0	0,22	0,6	1,33	220,00	293,33						
2	Мішалки, змішувачі	90	10 120	1650	1650,0 0	0,22	0,6	1,33	363,00	484,00						
3	Вентилятори	65	1 50	1100	1100,0 0	0,65	0,8	0,75	715,00	536,25						
4	Насоси, компресори	40	10 300	2200	2200,0 0	0,65	0,8	0,75	1430,00	1072,50						
5	Крани, тельфери ПВ = 25%	25	5 30	300	150,00	0,18	0,45	1,98	27,00	53,58						
6	Крани, тельфери ПВ = 40%	175	5 80	630	398,45	0,18	0,45	1,98	71,72	142,33						
7	Зварювальні машини шовного зварювання , кВА	40	10 50	1400	490,00	0,3	0,35	2,68	147,00	393,43						
8	Елеватори, конвеєри зблоковані	20	3 50	650	650,00	0,6	0,7	1,02	390,00	397,88						
9	Разом силові ЕП	775			7638, 45	0,44			3363,7 2	3373,31	50,90	0,72	2354,60	3371,30	4113,20	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху), м2	8700			20,00	0,95	0,95	0,33					176,20	55,20		
11	Всього по цеху												2530,8 0	3426,5 0	4259,8 0	6479,80

ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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 4815.018.000 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 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Особливості живлення електроприймачів та вибору трансформаторів і засобів компенсації реактивної потужності

Споживачі другої категорії електропостачання повинні забезпечуватись двома незалежними джерелами живлення. При цьому допускається короткочасна перерва в електропостачанні лише на період ручного перемикавання на резерв.

Для живлення електроприймачів першої та другої категорій доцільно застосовувати однотрансформаторні цехові підстанції з номінальними параметрами 10–6/0,4–0,23 кВ, за умови наявності резервних перемичок на низьковольтній стороні з достатньою пропускною здатністю для забезпечення живлення найбільш критичних споживачів.

Використання однотрансформаторних підстанцій дозволяє наблизити їх до центрів навантаження, що зменшує довжину кабельних ліній, знижує втрати електроенергії та загальні експлуатаційні витрати. Натомість двотрансформаторні підстанції доцільно застосовувати при високій щільності навантажень (у кВА/м²) або домінуванні споживачів I категорії.

Споживачі напругою до 1 кВ є вагомими споживачами реактивної потужності та електрично віддалені від основних джерел живлення (державна енергосистема або місцеві ТЕЦ), що збільшує витрати на транспортування реактивної потужності: зростає необхідний переріз струмопроводників, потужність трансформаторів, а також збільшуються втрати потужності у системі електропостачання.

Ці витрати можуть бути мінімізовані шляхом встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності (КП) безпосередньо в мережах до 1 кВ.

У ролі джерел реактивної потужності використовуються комплектні конденсаторні установки (ККУ) поперечного включення. Незкомпенсований залишок реактивної потужності (Q_t) покривається шляхом перетікання з шин вищої напруги. Оптимальне співвідношення між обсягом локально згенерованої та транзитної реактивної потужності визначається за результатами техніко-економічних розрахунків (ТЕР).

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Порядок визначення кількості цехових трансформаторів передбачає розрахунок мінімально необхідної кількості трансформаторів однакової потужності, які здатні покрити активне максимальне розрахункове навантаження. Для цього застосовується відповідна формула (32), наведена в наступному підпункті.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

При відсутності достовірних вартісних показників $KKY - 0,38 \text{ кВ}$, $KKY - 6,3(10,5) \text{ кВ}$, а також ТП для практичних розрахунків допускається приймати $3_{\text{ПС}} = 0,5$.

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{\text{онт}} \cdot S_{\text{н.мп}})^2 - (P_p + P_{\text{р.о.}})^2}, \text{ квар} \quad (35)$$

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

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

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:

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

За цим значенням вибирають стандартні (довідкові) значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{\text{НК1.СПР}}$ *табл.9.2. [1]*.

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

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

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ становитиме:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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 4815.018.000 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 $S_{н.тр} = 1000$ кВА.

2. Мінімальне число трансформаторів:

$$N_{т.мін} = \frac{P_{р.с.} + P_{р.о.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N = \frac{2530,8}{0,8 \cdot 1600} + 0,03 = 2 \text{ шт.} \quad (43)$$

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 $N_{опт} = N_{т.мін} = 2$ шт

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

$$Q_m = \sqrt{(\beta \cdot N_{опт} \cdot S_{н.тр.})^2 - (P_p + P_{р.о.})^2} = \sqrt{(0,8 \cdot 2 \cdot 1600)^2 - 2530,8^2} = 385,6 \text{ квар} \quad (45)$$

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

$$Q_{нк} = Q_{р\Sigma} - Q_m = 3426,5 - 385,6 = 3040,9 \text{ квар} \quad (46)$$

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

$$Q'_{нк1} = \frac{Q_{нк}}{N_{опт}} = \frac{3040,9}{2} = 1520,5 \text{ квар} \quad (47)$$

по цій величині вибираємо з табл. 9.2. [1] типорозмір 2ККП-0,38-600-150+2ККП-0,38-150-50 в цеху комплектних конденсаторних установок складе:

$$Q''_{HK1.CPP} = N_{опт} \cdot Q'_{нк1.CPP} = 2 \cdot (2 \cdot 600 + 2 \cdot 150) = 3000 \text{ квар} \quad (48)$$

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

$$Q_{неск} = (Q_p + Q_{р.о.}) - Q''_{HK1.CPP} = 3426,5 - 3000 = 426,5 \text{ квар} \quad (49)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

8. Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів, Q_{HK2} , з метою оптимального зниження втрат:

$$Q_{HK2} = Q_{HECK} - \gamma \cdot N_{TЭ} \cdot S_{HT} = 426,5 - 0,44 \cdot 2 \cdot 1600 = -981,5, \text{ квар} \quad (50)$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Визначення місця встановлення цехових трансформаторів здійснюється з урахуванням декількох ключових факторів: щільності електричних навантажень, просторового розміщення технологічного обладнання (включно з компенсуючими пристроями), а також мікрокліматичних умов, зумовлених характером технологічного процесу. Практичний досвід проєктування, монтажу та експлуатації трансформаторних підстанцій, а також результати теоретичних досліджень надають чіткі рекомендації щодо вибору їхнього оптимального розташування. Зокрема, доцільним вважається використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які допускають модульний індустріальний монтаж незалежно від будівельних конструкцій. Найбільш ефективним рішенням є наближення КТП безпосередньо до центрів електричного навантаження. Такий підхід дозволяє:

- мінімізувати довжину струмопровідних ліній;
- знизити втрати електроенергії;
- забезпечити економію кольорових металів.

Розподілення потужності між декількома підстанціями з їх територіальним наближенням до навантажень дозволяє вже на етапі проєктування реалізовувати принципи енергозбереження. При цьому місце розташування КТП, їх кількість і номінальна потужність мають відповідати:

- розрахунковому навантаженню цеху;
- вимогам до безперебійності електропостачання;
- умовам експлуатації відповідно до середовища.

Залежно від цих умов, трансформаторні підстанції можуть мати різне виконання: цехове, вбудоване, прибудоване або окремо розташоване.

Оскільки проєктований вузол навантаження належить до хімічного виробництва, що передбачає агресивне середовище та високу запиленість, у проєкті прийнято рішення встановити прибудовану КТП, яка відповідає

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

зазначеним умовам. Схема компонування цехових трансформаторів наведена на кресленні №1 графічної частини дипломного проєкту.

2.4. Вибір схеми живлення цехових трансформаторів

Для забезпечення безперервного електропостачання в разі відключення одного з трансформаторів передбачено використання резервних перемичок у мережах низької напруги. Пропускна здатність таких перемичок має становити 20–30 % номінальної потужності трансформатора при кабельному виконанні і до 60 % — при використанні шинопроводів.

У зв'язку з високою питомою щільністю електричних навантажень у цеху ($4,02 \text{ кВА/м}^2$) і наявністю споживачів I категорії, у проєкті передбачено застосування двохтрансформаторної комплектної трансформаторної підстанції (КТП). Вибір номінальної потужності трансформаторів здійснено з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до вимог ГОСТ 14209–85. Схема живлення силових та освітлювальних навантажень цеху на основі двохтрансформаторної КТП представлена на рисунку 2.1. У складі цехових трансформаторних підстанцій передбачено використання трифазних трансформаторів напругою 6–10 кВ з природним охолодженням. Як робоче середовище застосовується мінеральне масло або негорюча рідина типу совтол, а також можливе використання сухих трансформаторів із повітряним охолодженням. Для комплектних підстанцій рекомендовано трансформатори закритого типу (ТМЗ, ТНЗ, ТСЗ), у яких ізоляція захищена кожухом з азотною подушкою під незначним надлишковим тиском. Таке виконання забезпечує можливість встановлення підстанцій всередині будівель, навіть за складних виробничих умов.

Схема з'єднань обмоток трансформатора $\Delta/Y_0 - 11$ — рекомендується як основної натомість широко використовуваної схеми $Y/Y_0 - 0$, оскільки вона дає менший опір нульової послідовності і покращує умови захисту від однофазних КЗ.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

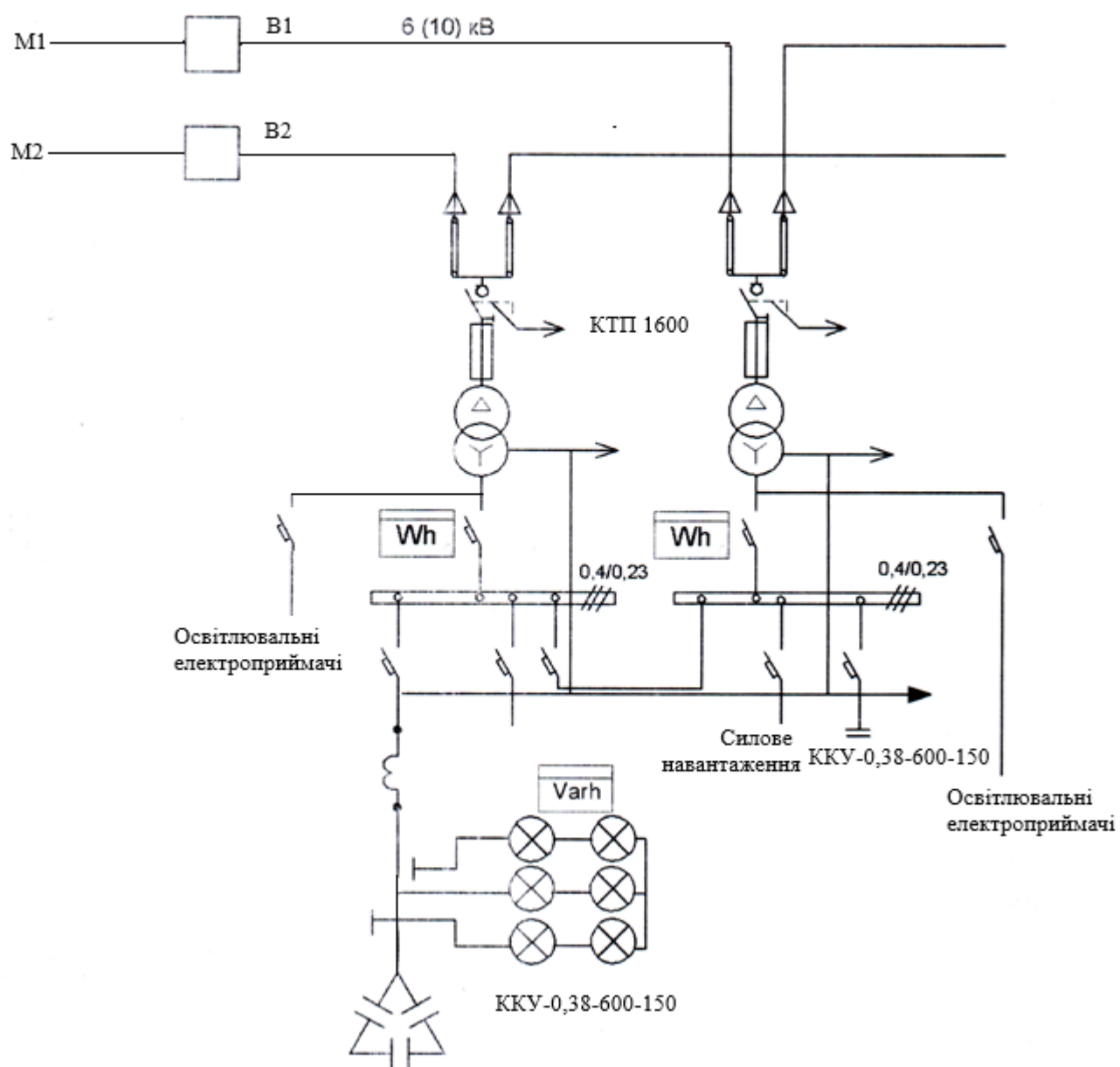


Рис. 2.1. Схема спільного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРМ в мережі до 1 кВ.

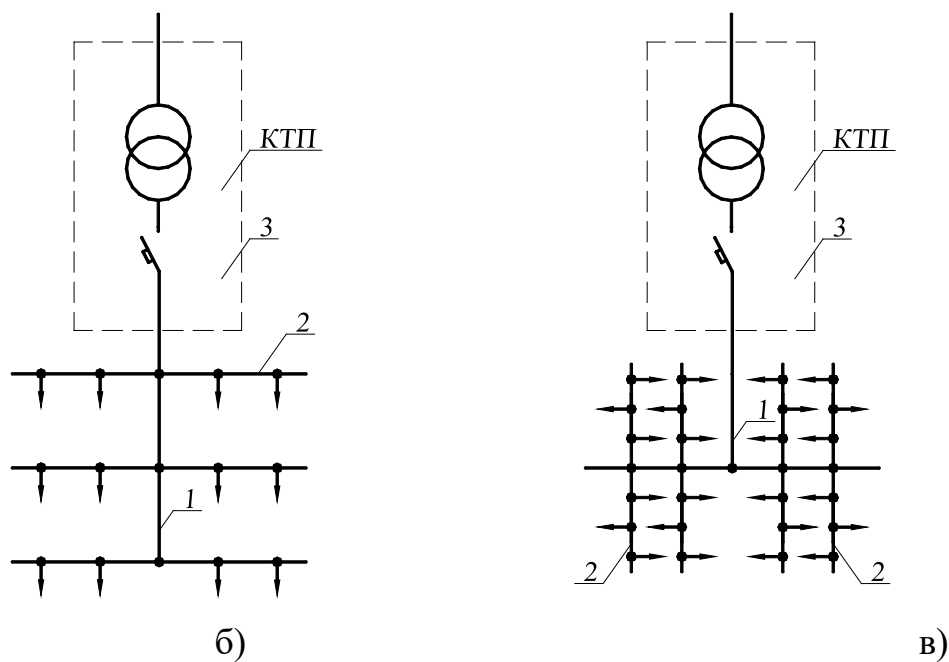
					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Вибір схеми внутрішньоцеховий мережі напругою до 1 кВ

Конфігурація схеми живлення трансформаторів цеху визначається кількістю трансформаторів, їх розміщенням у планувальній структурі цеху, а також категорійністю споживачів, які вони обслуговують.

Відповідно до Інструкції з проєктування електропостачання промислових підприємств [7], рекомендується застосування подвійних наскрізних магістральних ліній живлення. Зокрема:

- при встановленій потужності трансформаторів 1600–2500 кВА доцільно використовувати 2–3 трансформатори в одній магістралі;
- для трансформаторів меншої потужності — 3–4 одиниці.



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 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У випадку наявності двох трансформаторів, рекомендовано живлення по радіальній схемі, що дозволяє забезпечити простоту схеми та ефективне локальне резервування. В останні роки, особливо при розташуванні трансформаторних підстанцій безпосередньо в центрах електричних навантажень у мережах до 1 кВ, широкого поширення набула схема типу БТМ (блок трансформатор – магістраль), яка забезпечує компактність, гнучкість розподілу навантажень і зручність в експлуатації (див. рис. 2.2).

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 цехів хімічної промисловості.

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

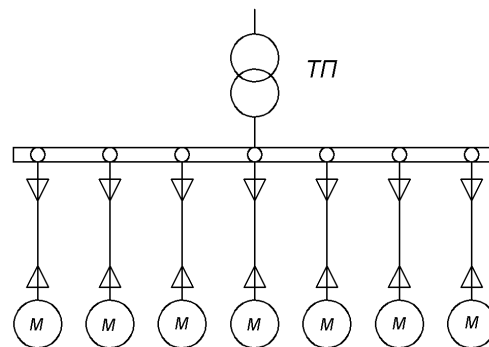


Рис. 2.3. Радіальна схема живлення ЕП

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

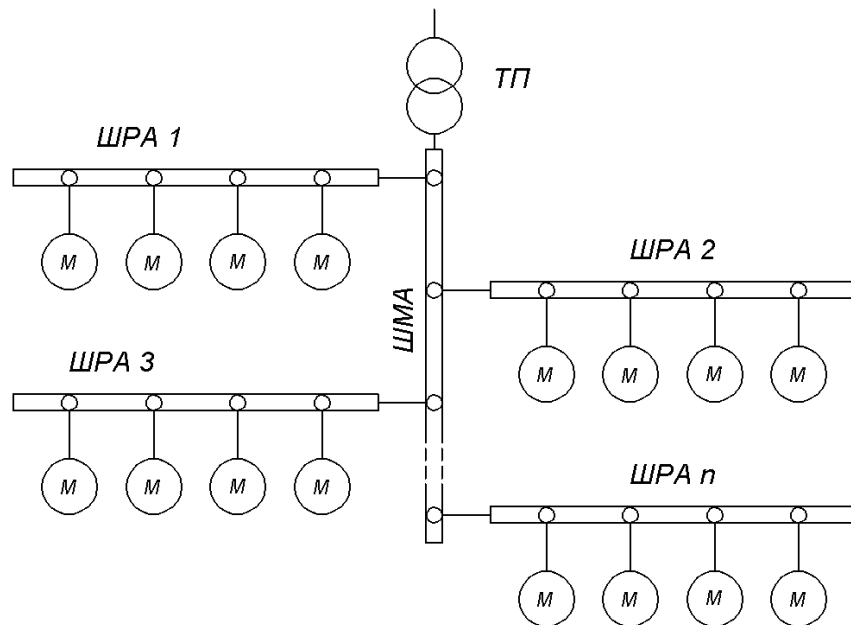


Рис. 2.4. Магістральна схема живлення

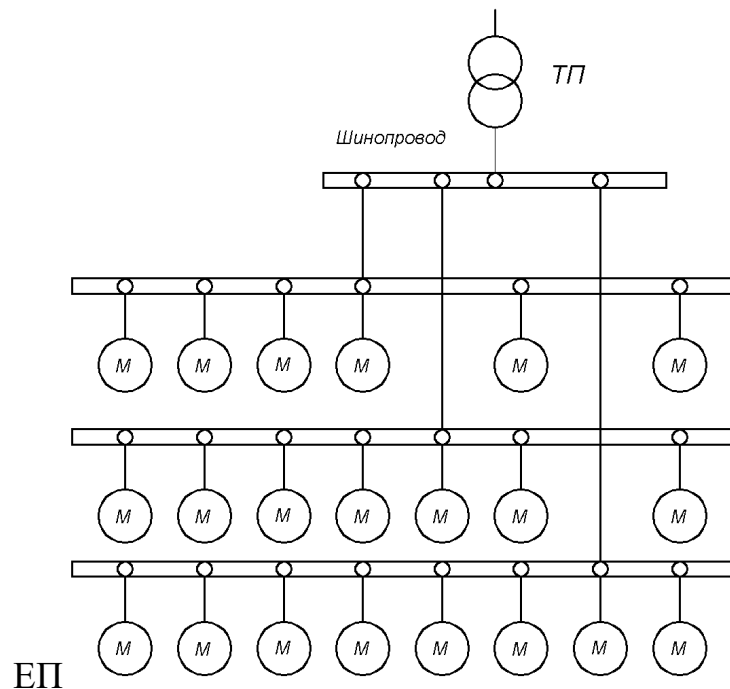


Рис. 2.5. Змішана схема живлення ЕП

При радіальній схемі живлення ЕП НН отримують живлення окремими лініями, що відходять від РПНН ТП. Радіальні схеми застосовують при зосереджених навантаженнях з їх нерівномірним розподілом по площі цеху, у вибухо- і пожежонебезпечних цехах, а також в насосних і компресорних станціях. Радіальні схеми виконують кабелями або ізольованими проводами.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Основною перевагою радіальних схем живлення є їх висока надійність: аварія або пошкодження однієї лінії не впливають на роботу інших електроприймачів. Проте радіальні схеми мають і певні недоліки, зокрема:

- значні капітальні витрати на струмопровідні лінії;
- велика кількість комутаційно-захисної апаратури;
- ускладнення впровадження індустріальних методів монтажу.

Магістральні схеми живлення рекомендується застосовувати в умовах, коли електроприймачі рівномірно розташовані по площі цеху або згруповані в межах однієї технологічної лінії. Така схема передбачає підключення кількох розподільних шаф та потужних споживачів до однієї живильної магістралі.

Переваги магістральної схеми:

- використання шинопроводів дає змогу реалізовувати індустріальний (модульний) метод монтажу;
- підключення споживачів можливе у будь-якій точці магістралі, що забезпечує гнучкість системи.

Недоліком є порівняно нижча надійність: у разі аварії на магістралі всі споживачі, підключені до неї, одночасно втрачають живлення. Однак використання резервних перемичок між суміжними магістралями дозволяє значно підвищити надійність схеми. З урахуванням особливостей обох конфігурацій, у практиці експлуатації часто застосовуються змішані схеми, адаптовані під конкретні умови виробництва, просторову організацію та навколишнє середовище. Наприклад, у механічних цехах машинобудівної галузі за схемою блоку "трансформатор — магістраль" основне живлення виконується магістральними шинопроводами з підключенням розподільних штепсельних шинопроводів, від яких радіальними відгалуженнями здійснюється живлення обладнання. У визначених зонах встановлюються розподільні пункти з приєднанням до найближчих магістральних або розподільних шинопроводів. У прокатних, ковальських, ливарних та подібних цехах розподільні мережі живляться безпосередньо від розподільних пунктів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У межах даного проєкту до реалізації прийнята магістральна схема електропостачання з резервними перемичками між розподільними шинопроводами — як найбільш доцільна для забезпечення гнучкості, надійності та ефективності живлення промислового цеху.

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

У процесі експлуатації електричних мереж можуть виникати порушення нормального режиму роботи — зокрема перевантаження та короткі замикання, що супроводжуються різким зростанням струму в провідниках. Щоб уникнути пошкодження обладнання та зниження надійності живлення, цехові мережі повинні бути забезпечені надійним захистом від аварійних режимів.

Для цих цілей застосовують захисні апарати, здатні забезпечити мінімальний час відключення пошкодженої ділянки. Серед основних засобів захисту внутрішньоцехових мереж використовують:

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

Порівняно із запобіжниками, автомати мають низку переваг:

- більш стійкі захисні характеристики при перевантаженнях;
- можливість одночасного відключення всіх трьох фаз, що запобігає роботі електроприймачів у неповнофазному режимі;
- багатократність спрацьовування, що дозволяє реалізовувати функції автоматичних схем (АВР, АПВ).

Завдяки цим властивостям автоматичні вимикачі знайшли широке застосування в мережах змінного струму до 660 В.

Для реалізації захисту в автоматах передбачено релейні пристрої — так звані расцеплювачі, які можуть бути виконані у вигляді:

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- струмового відсічення (миттєве відключення при КЗ);
- максимального струмового захисту (з витримкою часу).

Ці функції реалізуються за допомогою електромагнітних реле прямої дії, з налаштуванням на спрацювання з витримкою або без неї — залежно від типу автомата та характеру навантажень.

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

Автомати вибирають з дотриманням 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 $I_{роzc.ном}$ — номинальный ток расцепителя, А;

$I_{роzc.тах}$ — расчетный ток защищаемого участка сети.

Для одиночних, захищаних автоматом, двигунів:

$$I_{роzc.тах} = I_{ном дв}$$

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

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

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

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

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

- для режиму запуску невідключаємих самозапускаючихся двигунів:

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

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

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

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

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

$I_{пуск мах}$ – пусковий струм найбільш потужного двигуна на захищеній 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:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

- при захисті автоматами з розчеплювачами миттєвого спрацювання:

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

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

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

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

Допускається не 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 спрацювання:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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 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:

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

$$I_{н.дв.} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 75,9 \text{ А}; \quad (64)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

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

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

$$I_{пуск} = 6 \cdot 75,9 = 455,4 \text{ А}; \quad (66)$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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:

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

$$I_{н.розч.} = \frac{75,9}{0,85} = 89,3 \text{ А}; \quad (68)$$

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

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

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

$$I_{ср.ел.} = 1,25 \cdot 455,4 = 569,3 \text{ А}.$$

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

$$I_{P.ШРА-1} = \sum_1^3 I_{ном.дв.} = 303 \text{ А}; \quad (70)$$

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

$$I_{пик} = I_{пуск.мах} + \sum_1^{n-1} I_{ном.дв.} = 455,4 + 599,4 + 763,2 = 1818 \text{ А} \quad (71)$$

Обираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

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

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.

$$I_{\text{п.ав.}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{номт}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 3407,4 \text{ А.} \quad (74)$$

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

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

$$4008,7 < 4000$$

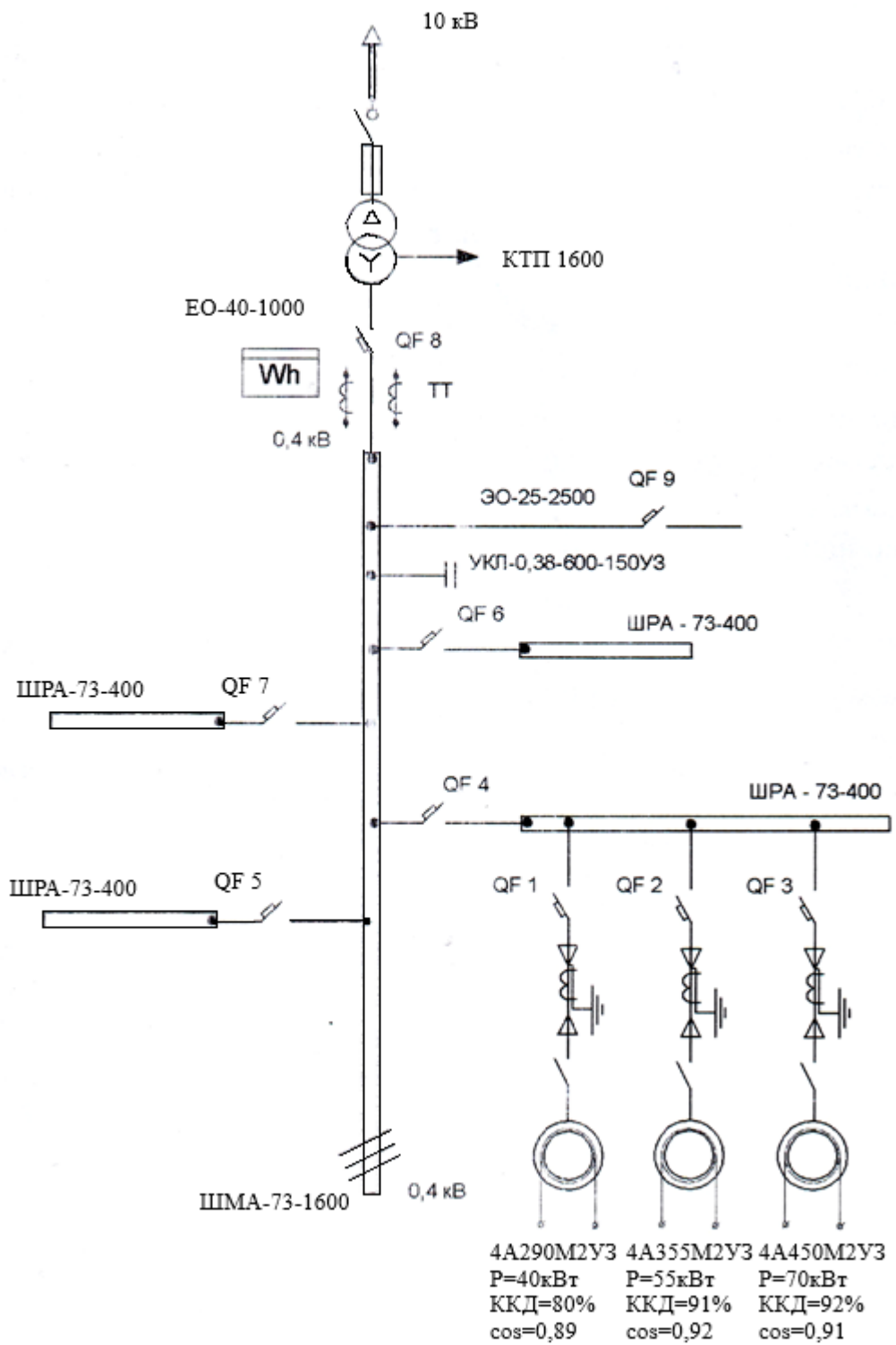
Приймаємо до встановлення автомат ЕО -40, $I_{\text{п.ав.}} = 4000 \text{ А.}$

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



					ET ma EE 4815.018.000 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 4815.018.000 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:

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

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

де I_p – розрахунковий струм;

l – довжина кабелю;

r_0, x_0 – питомі активний та індуктивний опори кабелю.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 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 вибраного перетину по умові	Остаточна обрана марка та перетин СВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги,
QF1	ШРА-1- АД-1	40	75,9	6	455,4	0,85	89,3	100	630	A3710Б	1	115	115	АВВГ (3x25)	6,55
QF2	ШРА-1- АД-2	55	99,9	6	599,4	0,85	117,5	125	1000	A3710Б	1	140	140	ААВГ (3x35)	8,62
QF3	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	A3710Б	1	170	170	АВВГ (3x70)	10,9
QF4	ШМА- ШРА-1	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF5	ШМА- ШРА-2	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF6	ШМА- ШРА-3	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF7	ШМА- ШРА-4	-	303	-	1818	0,85	356,4	400	2500	A3730Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF8	ТР-р- ШМА	1600	3407,4	-	-	-	-	4000	-	ЕО-40	-	4000	-	ШМА-73	-
QF9	Секційний	-	2405,2	-	-	-	-	2500	-	ЕО-25	-	2500	-	ШМА-73	-

ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ

Лист

2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Основною метою розрахунку струмів короткого замикання (КЗ) у мережах напругою до 1 кВ є перевірка вибраних автоматичних вимикачів та шинопроводів на відповідність умовам роботи в аварійних режимах. Зокрема, здійснюється: перевірка автоматів за граничним струмом відключення (визначення максимального струму трифазного КЗ); перевірка чутливості захисту (визначення мінімального струму однофазного КЗ у віддаленій точці мережі, найбільш несприятливій за умовами захисту). Особливості розрахунку струмів КЗ у мережах до 1 кВ полягають у такому: обчислення виконується в іменованих одиницях (амперах, омах тощо, а не в умовних або відносних); до розрахунку включаються активні та індуктивні опори всіх елементів замкненого кола струму КЗ, зокрема: провідників трансформаторів струму струмових котушок автоматів, контактів, контактних з'єднань, електричної дуги, яка виникає під час КЗ.

Допускається не враховувати вплив асинхронних двигунів, якщо їх сумарний номінальний струм не перевищує 10 % початкового значення періодичної складової струму КЗ, визначеного без урахування дії двигунів.

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

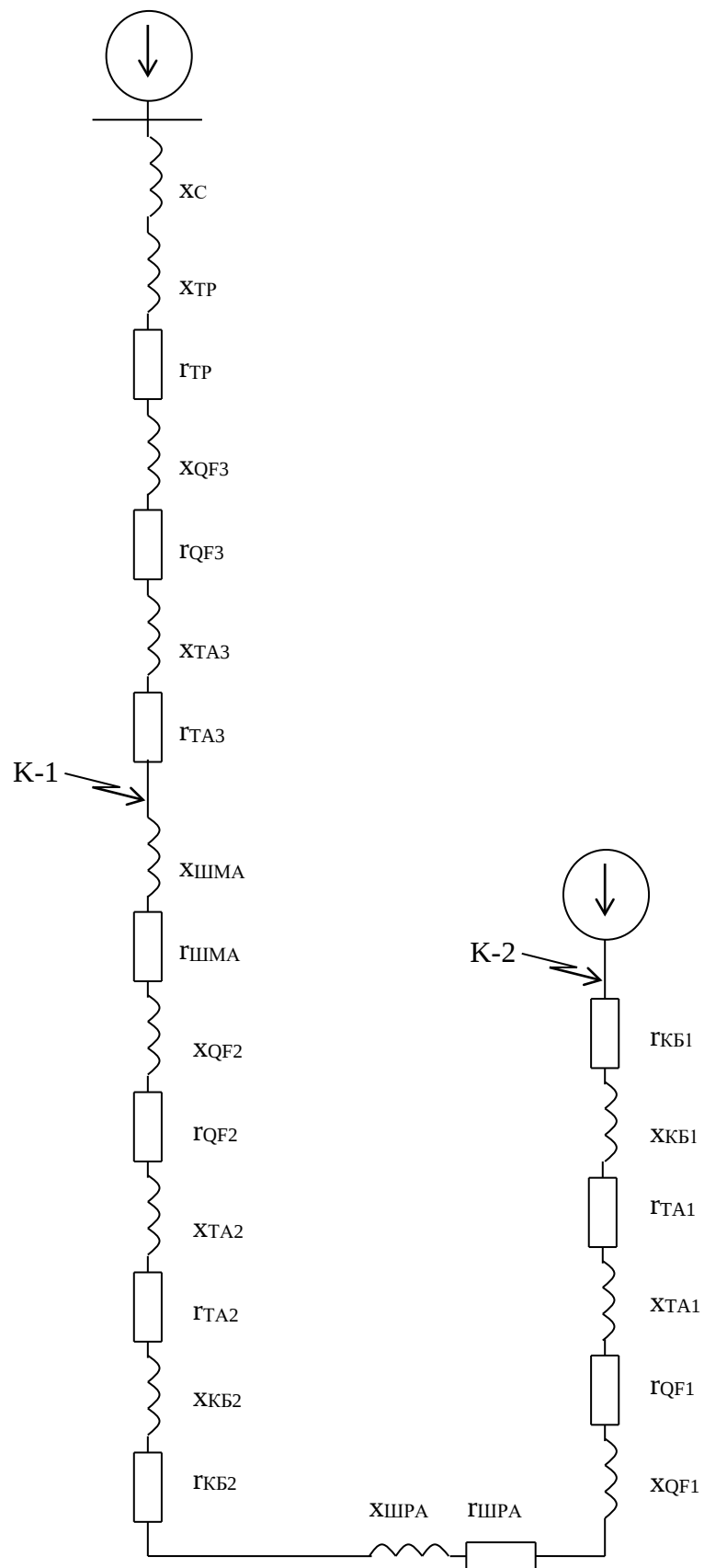


Рис. 2.7. Схема заміщення

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 послідовності	Питомі опори мОм/м	ТВЧ				Трансформатори тока			Автомати		
		ШМ А 630	ШРА 165	Кабель S=70 мм ² (15м)	Кабель 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
Нульова	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 4815.018.000 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 4815.018.000 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 4815.018.000 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 Δ/γ 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 4815.018.000 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 4815.018.000 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 4815.018.000 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:

$S_{нтр} = 1600$ кВА; $U_{кз} = 5,5\%$; $\Delta P_{кз} = 16,5$ кВт.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

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

$$S_p = \frac{\sqrt{2354,6^2 + 426,5^2}}{2} = 1196,5 \text{ кВА}. \quad (101)$$

Коефіцієнт активної потужності визначаю, виходячи зі значення коефіцієнта реактивної потужності

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{426,5}{2530,8} = 0,17. \quad (103)$$

Отже $\cos \varphi = 0,98$, $\sin \varphi = 0,17$.

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 4815.018.000 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:

$$\Delta U_m = \frac{1196,5}{1600} \cdot \left(\frac{16,5}{1600} \cdot 0,98 + 0,055 \cdot 0,17 \right) = 0,015 = 1,5\% \quad (104)$$

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

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 1,5 = 3,5 \%$$

Отримане значення не перевищує допустимі межі відхилення напруги.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2.10. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

Аналіз технологічного процесу проектованого вузла навантаження дозволив класифікувати об'єкт як такого, що належить до споживачів II категорії за ступенем безперебійності електропостачання. Цей фактор значною мірою вплинув на прийняті технічні рішення щодо побудови системи електропостачання.

Зокрема, електроприймачі напругою 0,4 кВ забезпечено живленням від двох незалежних джерел, що відповідає вимогам надійності для даної категорії. Уся система побудована з урахуванням глибокого резервування на кожному рівні трансформації, що підвищує стійкість до аварійних ситуацій. Застосування автоматики резервного введення (АВР) на секційних вимикачах не є обов'язковим, а допустима перерва в живленні споживачів обмежується лише тривалістю оперативного перемикання на резерв.

Для зменшення перетоків реактивної потужності у внутрішньозаводській мережі в проєкті передбачено розміщення конденсаторних батарей, максимально наближених до споживачів. Це рішення дозволяє оптимізувати режим роботи трансформаторів і зменшити втрати електроенергії.

Рівномірне розміщення споживачів напругою 0,4 кВ по площині цеху дало змогу застосувати розподільні шинопроводи, що забезпечують гнучкість електромережі та дозволяють реалізувати індустріальні методи монтажу.

Використання вітчизняного комутаційного, вимірювального й захисного обладнання дозволило знизити загальні капітальні витрати, не погіршуючи при цьому надійності системи.

Живлення навантажень організовано через два магістральні шинопроводи та шість радіальних ліній, що забезпечує раціональну структуру системи відповідно до просторової організації виробництва.

					ЕТ та ЕЕ 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У ході реалізації проєкту були впроваджені низка технічно обґрунтованих рішень, які спрямовані на підвищення надійності, гнучкості та ефективності системи електропостачання:

- застосовано магістральну схему живлення цехових трансформаторних підстанцій, що забезпечує структурну гнучкість та можливість реалізації індустріального монтажу;

- передбачено резервні перемички у мережах до 1 кВ, що дозволяє зберігати безперервність живлення у разі відключення одного з трансформаторів або аварійної ситуації;

- встановлено компенсуючі пристрої у мережі 0,4–1 кВ безпосередньо поблизу споживачів, що сприяло зменшенню перетоків реактивної потужності, оптимізації режимів трансформаторів і скороченню необхідної встановленої потужності.

- 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 4815.018.000 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 4815.018.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		