

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 ПРОКАТНОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕА-Е21+Е22 приск.
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

_____/Дмитро ТИЩЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

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

«До захисту допущено»

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

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

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Електротехніки та електроенергетики

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електричні станції, системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.М. Чернюк
підпис ініціали, прізвище

“ _____ ” _____ 2025 року

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

Тищенко Дмитру Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження цеху прокатної промисловості

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

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

2. Строк подання студентом роботи 19.06.2025

3. Перелік питань, які потрібно розробити)

Загальна характеристика технологічного процесу проектного об'єкту, розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП), розрахунок потужності КУ в мережі напругою до 1 кВ, розміщення цехових трансформаторів на площі цеху, вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань), вибір марки і перетини струмоведучих частин, розрахунок струмів К.З. в мережі напругою до 1 кВ, перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання, перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

4. План роботи

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

5. Дата видачі завдання 11.04.2025

Студент

підпис

Д.Р. Тищенко

ініціали, прізвище

Керівник роботи

підпис

Ю.С. Олійник

ініціали, прізвище

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВСТУП

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОЕКТОВАНОГО ОБ'ЄКТУ
2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ
 - 2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)
 - 2.2. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв в мережі напругою до 1 кВ
 - 2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові вибору оптимального числа цехових трансформаторів
 - 2.2.2. Визначення додаткової потужності КП в мережі напругою до 1 кВ в цілях оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями реактивної потужності
 - 2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху
 - 2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ
 - 2.5. Вибір типу і параметрів комутаційно-захисних апаратів у внутрішньоцехових мережах (для одного з приєднань)
 - 2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин
 - 2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів короткого замикання

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування СЕП вузла навантаження цеху прокатної промисловості			Літ.		Маса	Масштаб
Розроб.	Тищенко Д.Р.									1	1 : 1
Перевір.	Олійник Ю.С.										
Т. Контр.								Арк.		Аркушів	
Реценз.					Пояснювальна записка			ДЕА-Е21+Е22пр			
Н. Контр.											
Затверд.	Чернюк А.М.										

2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання цеху

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕП – електроприймач

СЕП – система електропостачання

ПП – промислове підприємство

ТП – трансформаторна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ПС – підстанція

ГПП – головна понижувальна підстанція

ПГВ – підстанція глибокого введення

КРП – компенсація реактивної потужності

ЯЕЕ – якість електричної енергії

ДЖ – джерело живлення

ККП- комплектна конденсаторна установка

ДРП – джерело реактивної потужності

РП – реактивна потужність

КП – конденсаторна установка

К.з. – коротке замикання

СВЧ – струмоведучі частини

АПВ – автоматичний повітряний вимикач

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. - Вихідні дані

Електроприймачі напругою до 1 кВ																
Газоочисні споруди		Електрознес олюючі установки		Вентилятори		Насоси, компресори		Крани, тельфери, ПВ = 25%		Крани, тельфери, ПВ = 40%		Зварювальні машини шовного зварювання (потужність дана в кВА)		Елеватори, конвейери зблоковані		Площа цехів
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	$\frac{n}{P_n}$	$\frac{P_{nMIN}}{P_{nMAX}}$	F, м²
$\frac{70}{850}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{30}{510}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{20}{430}$	$\frac{5}{30}$	$\frac{70}{500}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{60}{680}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{25}{120}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{30}{560}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{50}{950}$	$\frac{3}{100}$	9500

ВСТУП

Одним із ключових завдань у сфері електроенергетики є зменшення енергоемності валового національного продукту, що передбачає активізацію заходів із енергозбереження. Досягнення цієї мети можливе насамперед завдяки раціональному використанню наявних енергетичних ресурсів. Протидія енергетичним втратам — це основа стабільної, екологічно безпечної та соціально прийнятної енергетичної політики будь-якої держави.

Один із головних принципів енергозбереження полягає у впровадженні енергоефективних режимів роботи електростанцій. Загальна економічність функціонування енергосистеми досягається за рахунок оптимальної роботи її окремих складових, раціонального розподілу навантаження між джерелами енергії, ефективної передачі електроенергії та вдало підібраної структури й конфігурації обладнання системи електропостачання підприємства (СЕП).

Метою бакалаврської роботи є формування практичних навичок проектування внутрішньоцехових систем електропостачання на основі загальних принципів побудови сучасних СЕП промислових підприємств.

Основне завдання цієї роботи — набути практичного досвіду самостійного вирішення комплексних інженерних задач у сфері електропостачання промислових об'єктів з використанням сучасних науково-технічних досягнень.

Промисловість відіграє ключову роль у реалізації енергозберігаючих стратегій. При впровадженні таких заходів першочергову увагу необхідно приділяти саме галузям із високим рівнем споживання енергії.

Найбільшими споживачами електроенергії є промисловість, транспорт, сільське господарство, а також житлово-комунальний сектор. Водночас понад 70% споживання електроенергії припадає саме на промислові підприємства, що робить їх головним об'єктом оптимізації та енергоефективності.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Велику групу ЕП складають електроприводи загальнопромислових механізмів, вживаних у всіх галузях народного господарства: підйомно-транспортні машини, потоково-транспортні системи, компресори, насоси, вентилятори.

Для забезпечення подачі електроенергії у необхідній кількості і відповідної якості від енергосистем промисловим об'єктам, установкам, пристроєм і механізмам служать СЕП ПП, що складаються з мереж напругою до 1 кВ і вище і трансформаторних, перетворювальних і розподільних підстанцій.

Значну частину електроприводів (ЕП) становлять приводи загальнопромислових механізмів, які застосовуються в усіх галузях народного господарства. До них належать підйомно-транспортні машини, потоково-транспортні системи, компресори, насоси та вентилятори.

Для забезпечення промислових об'єктів, установок, пристроїв і механізмів електроенергією у необхідному обсязі та відповідної якості, використовуються системи електропостачання промислових підприємств (СЕП ПП). Вони включають електричні мережі напругою до 1 кВ і вище, а також трансформаторні, перетворювальні й розподільні підстанції.

Споживачі електроенергії мають специфічні характеристики, які зумовлюють певні вимоги до систем електропостачання: висока надійність, стабільна якість електроенергії, резервування живлення та ефективний захист окремих елементів.

В процесі проектування необхідно техніко-економічно обґрунтовано обрати рівні напруг, розрахувати електричні навантаження, визначити типи, кількість і потужність трансформаторних підстанцій, а також засоби їх захисту, системи компенсації реактивної потужності та методи регулювання напруги.

Усі ці аспекти розглядаються в даній бакалаврській кваліфікаційній роботі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Аналіз технологічного процесу дає змогу оцінити потенційні втрати у разі раптових перебоїв в електропостачанні. Це, в свою чергу, дозволяє визначити категорії навантаження за ступенем необхідної безперебійності живлення, а також виявити специфічні види навантажень. На основі результатів такого аналізу встановлюється необхідна кількість джерел живлення, структура живильних і розподільчих мереж, а також доцільність застосування мережевої автоматики.

В даній роботі розглядається цех прокатної промисловості, до складу якого входять газоочисні споруди, установки електрознесення, вентилятори, насоси, компресори, крани, тельфери, зварювальні апарати, елеватори та заблоковані конвеєри.

Режим роботи електроприводів насосів, вентиляторів і компресорів характеризується як тривалий. Категорія безперебійності їх електропостачання визначається залежно від функціонального призначення установок і технологічного процесу. Устаткування таких об'єктів, як вентилятори, насоси та компресори конверторного цеху нафтопереробного виробництва, відноситься до споживачів першої категорії за вимогами до безперервності електроживлення.

Підіймально-транспортні машини

До цієї групи належать тельфери та крани, які розглядаються в рамках даного проєкту. Їхній режим роботи — повторно-короткочасний із тривалістю включення (ПВ) у межах 15–60%. Під час експлуатації крани та тельфери переміщуються спеціальними шляхами та живляться через відкриті контактні лінії — тролєї. Ці механізми належать до споживачів II категорії за надійністю електропостачання.

Установки електрозварювання

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В даному проєкті розглядаються зварювальні машини для шовного зварювання. Для електрозварювання використовуються джерела постійного струму (від перетворювачів), а також змінного струму стандартної (50 Гц), зниженої (2–10 Гц) та підвищеної (100–360 Гц) частоти.

Установки зварювання змінним струмом стандартної частоти створюють значне навантаження на систему електропостачання промислового підприємства через такі особливості:

- ✓ однофазна природа навантаження; потужність окремих машин може досягати 1200 кВА;
- ✓ низький коефіцієнт потужності: 0,3–0,35 для дугового зварювання та 0,2–0,6 для контактного;
- ✓ повторно-короткочасний режим роботи з малими ПВ і високими імпульсними навантаженнями.

Установки електрозварювання класифікуються як споживачі I категорії за ступенем необхідної безперебійності електроживлення.

Освітлювальні установки

На промислових підприємствах застосовуються такі типи електричних джерел світла: лампи розжарювання, галогенні лампи, люмінесцентні, ртутні та кварцові лампи. Їх потужність зазвичай варіюється від 15 до 50 кВт.

Освітлення може бути загальним або комбінованим (поєднання загального та місцевого). Залежно від призначення, освітлювальні системи поділяються на робочі та аварійні, при цьому останні належать до споживачів I категорії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Електричні навантаження — це потужність (активна P , кВт; реактивна Q , квар) або струм I , А, що змінюються в часі за певними закономірностями. Величини електричних навантажень є основою для вибору параметрів ключових елементів системи електропостачання (СЕП), зокрема: кількості та потужності силових трансформаторів на всіх рівнях, характеристик електричних апаратів різних класів напруги, а також перерізів струмопровідних елементів.

Точність розрахунку очікуваних електричних навантажень безпосередньо впливає на техніко-економічні показники проєктованої СЕП.

✓ Завищені навантаження призводять до надлишкових капіталовкладень, нераціонального використання ресурсів і погіршення режиму споживання активної потужності.

✓ Занижені навантаження можуть спричинити перегрів окремих елементів електроустановок, прискорений знос ізоляції, скорочення строку експлуатації обладнання та зниження загальної надійності електропостачання.

З урахуванням електричної віддаленості розрахункового вузла навантаження, яка визначається кількістю ступенів трансформації між цеховими трансформаторними підстанціями та основними джерелами живлення (наприклад, шинами вторинної напруги 6 (10) кВ головної понижувальної підстанції (ГПП) або підстанції глибокого введення (ПГВ)), розрахунок очікуваних електричних навантажень здійснюється згідно з методикою, викладеною у "Вказівках по розрахунку електричних навантажень".

В даній роботі застосовується метод впорядкованих діаграм, який є основним при розробці технічної та робочої документації з електропостачання. Згідно з цим методом, розрахункове активне навантаження споживачів на всіх рівнях живильних і розподільних мереж,

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

включаючи трансформатори й перетворювачі, визначається за середнім навантаженням і коефіцієнтом розрахункового навантаження за формулою::

$$P_p = k_p \cdot \sum P_{см.}$$

Розрахунковий коефіцієнт навантаження k_p визначаємо за довідковими даними, як функцію n і $k_{u.зр.взв.}$ (ефективного числа ЕП і групового коефіцієнта використання).

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ (від силових і освітлювальних ЕП)

2.1.1. Розрахунок електричних навантажень від силових електроприймачів

Розрахунок виконується по характерній групі. Розрахунки решти характерних груп зведені в таблицю 2.1.

Для двигунів, що працюють в повторно-короткочасному режимі (ПКР), приведення їх паспортної потужності до тривалого режиму (ПВ=100%) здійснюється по виразу: $P_{Hi} = P_{насп.i} \sqrt{ПВ_i}$, кВт

$$P_{Hi} = S_{н.i} \cdot \cos \varphi_i \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт}$$

Для кранів і тельферів з ПВ =25%: $P_H = 680 \cdot \sqrt{0,25} = 340$ (кВт).

Для кранів і тельферів з ПВ =40%: $P_H = 120 \cdot \sqrt{0,40} = 75,9$ (кВт).

Номинальну потужність зварювальних трансформаторів визначаємо таким чином: $P_H = 560 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{0,25} = 196$ (кВт).

Дані графі 6 таблиці 2.1. підсумовуються: $\sum_i^m P_{Hi}$, кВт

де m - число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середнєзмінне навантаження за саму завантажену зміну по виразу:

$$P_{см.i} = P_{н.i} \cdot \kappa_{н.i}, \text{ кВт}; \quad Q_{см.i} = P_{н.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар},$$

де $\kappa_{н.i}$ - коефіцієнт використання i - тієї характерної групи ЕП (довідкові дані);

$\operatorname{tg} \varphi_i$ - коефіцієнт реактивної потужності i - тієї характерної групи ЕП, відповідний коефіцієнту активної потужності (довідкові дані).

Визначаються сумарні значення середнєзмінного навантаження за саму завантажену зміну по цеху:

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum_i^m P_{cm.i} = \sum_i^m P_{n.i} \cdot \kappa_{n.i}, \text{ кВт}; \quad \sum_i^m Q_{cm.i} = \sum_i^m P_{n.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{.i}, \text{ квар.}$$

$$P_{cm.1} = 850 \cdot 0,5 = 425 \text{ (кВт)}, \quad Q_{cm.1} = 425 \cdot 1,02 = 433,5 \text{ (квар)}.$$

Визначаємо середнєважений (груповий) коефіцієнт використання:

$$\kappa_{u.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm.i}}{\sum_{i=1}^m P_{n.i}} = \frac{2513,5}{3851,9} = 0,65.$$

Значення $\kappa_{u.зр.}$ заносяться в графу 5 підсумкового рядка.

Визначення ефективного числа ЕП

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження — ключового параметра, за яким визначають елементи системи електропостачання (СЕП) за умовами нагріву — впливає низка випадкових факторів. До них належать кількість електроприймачів (ЕП) у розрахунковому вузлі, їхні номінальні потужності, режими роботи, а також інші змінні параметри.

Для спрощення процедури визначення розрахункового максимуму навантаження вводиться поняття ефективного числа електроприймачів. Під ефективним числом ЕП розуміють умовну кількість однакових за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, які створюють такий самий розрахунковий максимум навантаження, як і фактична сукупність різнотипних ЕП із різними характеристиками.

Ефективне число роботи ЕП по всьому вузлу навантаження

$$\text{визначається по виразу: } n_{эф.} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{n.i}}{P_{n.\max}} = \frac{2 \cdot 3851,9}{100} = 77,0,$$

де $P_{n.\max}$ - одинична номінальна потужність найпотужнішого ЕП в розрахунковому вузлі.

Значення $n_{эф.}$ заносимо в графу 9 таблиці 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження κ_p .

Залежно від середнєваженого (групового) значення коефіцієнта використання $\kappa_{u.ер.}$ і ефективного числа ЕП $n_{эф.}$ П. 5 [1] визначаємо коефіцієнт розрахункового навантаження κ_p .

$$\kappa_{u.ер.}=0,65; n_{эф.}=77,0. \text{ Отже, } \kappa_p=0,8.$$

Активне розрахункове максимальне навантаження P_p — це умовно постійне в часі та за величиною навантаження, яке є еквівалентом фактичного змінного навантаження за найінтенсивнішою тепловою дією на елемент системи електропостачання (СЕП).

Активне розрахункове навантаження групи ЕП напругою до 1 кВ визначається по виразу: $P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{см.i}$, кВт; $P_p = 0,8 \cdot 2513,5 = 2010,8$ (кВт).

Враховуючи особливість споживання електроприймачами реактивної потужності, мало залежної то навантаження електроприймачів активною потужністю, приймаємо: $Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{см.i}$ квар; $Q_p = 2042,6$ (квар).

Повне розрахункове навантаження, формоване силовими ЕП, визначається по виразу: $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$, кВА;

$$S_p = \sqrt{2010,8^2 + 2042,6^2} = 2866,3 \text{ (кВА)}.$$

Струмове розрахункове навантаження, яке використовується для вибору перерізу струмопровідних елементів та параметрів електротехнічного обладнання, визначається за такою формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А; } I_p = \frac{3053,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4645,3 \text{ (А)}.$$

де U_n - номінальна напруга в даній ділянці мережі, кВ.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2. Розрахунок електричних навантажень від освітлювальних електроприймачів

Розрахункові навантаження освітлювальних ЕП визначають по встановленій потужності освітлювальних електроустановок і коефіцієнту попиту для них:

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot \kappa_{с.о.} \cdot \kappa_{ПРА}, \text{ кВт}; \quad Q_{p.o.} = P_{p.o.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар},$$

де $\kappa_{с.о.}$ - коефіцієнт попиту освітлювальних установок; $\kappa_{с.о.} = 0,95$ для виробничих будівель, що складаються з окремих крупних прольотів;

$\kappa_{ПРА}$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегульованої апаратурі (ПРА) газорозрядних ламп; $\kappa_{ПРА} = 1,1$ для ламп типу ДРЛ (ртутно-кварцові лампи з виправленою кольоровістю) і ДРН (металлогалогенні).

$$\operatorname{tg} \varphi \text{ відповідає } \cos \varphi; \quad \cos \varphi = 0,95 \div 0,97; \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,33.$$

Встановлена потужність електричного освітлення:

$$P_{н.о.} = P_{уд.} \cdot F \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}; \quad P_{н.о.} = 20 \cdot 9500 \cdot 10^{-3} = 190 \text{ (кВт)}.$$

де $P_{уд.}$ - питома щільність освітлювального навантаження; $P_{уд.} = 20 \text{ Вт/м}^2$ для виробничих цехів.

$$F - \text{площа цеху, м}^2; \quad F = 9500 \text{ м}^2.$$

$$P_{p.o.} = 190 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 198,6 \text{ (кВт)}; \quad Q_{p.o.} = 198,6 \cdot 0,33 = 65,5 \text{ (квар)}.$$

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

Сумарна розрахункова потужність компенсуювальних конденсаторних установок (ККУ) на напрузі до 1 кВ визначається за принципом мінімізації витрат у два послідовні етапи:

1. Визначення економічно доцільної кількості трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП): на цьому етапі розраховується

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

така потужність ККУ-0,38 кВ, яка забезпечує оптимальну кількість цехових трансформаторів, квар;

2. Розрахунок додаткової потужності ККУ-0,38 кВ: виконується для досягнення мінімальних втрат потужності в трансформаторах цехових ТП і в живильних мережах напругою понад 1 кВ, що зумовлені перетіканням реактивної потужності через цехові трансформатори, квар.

Сумарна реактивна потужність ККУ-0,38 кВ визначається як сума потужностей, отриманих на обох етапах: $Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}$, (квар)

де $Q_{нк1}$ — потужність, визначена на першому етапі,

а $Q_{нк2}$ — додаткова потужність для зменшення втрат.

Розподіл сумарної потужності ККУ-0,38 кВ між окремими трансформаторами цехових ТП здійснюється пропорційно їхньому споживанню реактивної потужності.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4	Насоси, компресори	70	$\frac{5}{20}$	500	500	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	325	243,8	-	-	-	-	-	-
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	60	$\frac{5}{40}$	680	340	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	612	121,2	-	-	-	-	-	-
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	25	$\frac{3}{12}$	120	75,9	0,18	$\frac{0,45}{1,98}$	13,7	27,1	-	-	-	-	-	-
7	Зварювальні машини шовної зварки (потуж. в кВА)	30	$\frac{10}{40}$	560	196	0,3	$\frac{0,35}{2,68}$	58,8	157,6	-	-	-	-	-	-
8	Елеватори, конвейери зблоковані	50	$\frac{3}{100}$	950	950	0,6	$\frac{0,7}{1,02}$	570	581,4	-	-	-	-	-	-
9	РАЗОМ силові ЕП	355	-	-	3851,9	$K_{u.зр.} = 0,65$	-	2513,5	2042,6	77,0	0,8	2010,8	2042,6	2866,3	-
10	Освітлювальні ЕП (площа цеху F=9500 м²)	-	-	-	20	-	-	-	-	-	$K_{c.o.} = 0,95$	198,6	65,5	-	-
11	ВСЬОГО по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2209,4	2108,1	3053,8	4645,3

2.2.1. Визначення потужності компенсуючих пристроїв по умові вибору оптимального числа цехових трансформаторів

Визначення кількості та потужності цехових трансформаторів здійснюється одночасно з підбором засобів компенсації реактивної потужності на основі техніко-економічного аналізу. При цьому враховуються питома щільність навантаження, активне розрахункове навантаження та інші фактори, що впливають із технічних умов.

Потужність цехових трансформаторів визначається виходячи з питомої щільності навантаження цеху та загального розрахункового навантаження відповідного вузла S_p , кВА:

$$\gamma = \frac{S_p}{F}, \text{ кВА/м}^2$$

При питомій щільності навантаження понад 0,2–0,3 кВА/м² і сумарній потужності більше 3000–4000 кВА доцільно використовувати цехові трансформатори потужністю від 1600 до 2500 кВА. Якщо ж питома щільність і сумарне навантаження нижчі за ці показники, рекомендується застосовувати трансформатори потужністю від 400 до 1000 кВА.

Для цехових трансформаторних підстанцій зазвичай приймаються такі коефіцієнти завантаження:

- ✓ для цехів з переважаючим навантаженням 1-ї категорії при наявності двох трансформаторних підстанцій - $\beta = 0,65 - 0,7$;
- ✓ для цехів з переважаючим навантаженням 2-ї категорії при взаємному резервуванні трансформаторів - $\beta = 0,7 - 0,8$;
- ✓ для цехів з переважаючим навантаженням 2-ї категорії за умови використання централізованого резерву трансформаторів, а також для цехів з навантаженням 3-ї категорії - $\beta = 0,9 - 0,95$.

Електроприймачі 1-ї категорії забезпечуються живленням від двох незалежних джерел живлення, при цьому перерва в подачі електроенергії допускається лише на час спрацювання мережної автоматики (АВР). Електроприймачі 2-ї категорії також живляться від двох незалежних джерел,

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

але перерва в живленні може тривати під час ручного переключення на резервне живлення.

Для живлення електроприймачів 1-ї та 2-ї категорії рекомендується застосовувати однострансформаторні цехові підстанції типу 10-6/0,4-0,23 кВ із резервуванням потужності за допомогою перемичок низької напруги, пропускна спроможність яких забезпечує живлення найвідповідальніших споживачів.

Використання однострансформаторних підстанцій дозволяє розміщувати їх максимально близько до центрів електричних навантажень, що скорочує довжину ліній передачі та сприяє економії електроенергії. Двотрансформаторні цехові підстанції доцільно застосовувати при зосереджених навантаженнях з питомою щільністю понад $\gamma > 0,2$ кВА/м² або при переважанні споживачів 1-ї категорії.

Порядок визначення кількості цехових трансформаторів виглядає так: для кожної технологічно об'єднаної групи трансформаторів однакової потужності мінімальна кількість, необхідна для живлення активного максимального розрахункового навантаження, розраховується за формулою:

$$N_{mMIN} = \frac{P_{p.c.} + P_{p.o.}}{\beta \cdot S_{н.тр.}} + \Delta N, \text{ шт.}$$

де $P_{p.c.} + P_{p.o.}$ - 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.

$$N_{mMIN} = \frac{2209,4}{0,74 \cdot 1000} + 0,02 = 3 \text{ шт.}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{omm.} = N_{mMIN} + m = 2,98 + 0,02 = 3, \text{ шт.,}$$

де m - додаткове число трансформаторів, визначуване по кривих, (довідкові дані) залежність від N_{mMIN} і ΔN .

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

При визначенні m по кривих (довідкові дані) приймаємо допущення:

$$z_{ПС}^* = 0,5; \quad z_{ПС}^* = \frac{(z_{НК} - z_{БК})}{z_{ТП}},$$

де $z_{НК}; z_{БК}; z_{ТП}$ - відповідно усереднені приведені витрати на КП-0,38 кВ, КП-6 (10) кВ, цехові ТП.

За відсутності достовірних вартісних показників ККП-0,38 кВ, ККП-6,3 (10,5) кВ, а також ТП для практичних розрахунків допускається приймати $z_{ПС}^* = 0,5$.

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

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

$$Q_T = \sqrt{(0,74 \cdot 3 \cdot 1000)^2 - (2209,4)^2} = 216,7 \text{ (квар)}.$$

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

$$Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \text{ квар};$$

$$Q_{нк1} = 2108,1 - 216,7 = 1891,4 \text{ (квар)}.$$

Потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q_{нк1}' = \frac{Q_{нк1}}{N_{опт.}}, \text{ квар};$$

$$Q_{нк1}' = \frac{1891,4}{3} = 630,5 \text{ (квар)}.$$

По цьому значенню вибираємо стандартне значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{нк.спр.}$ (довідкові дані): 2 ККП-0,38-600-150.

Сумарна потужність ККУ для даної групи оптимального числа цехових трансформаторів складе:

$$Q''_{нк1.спр.} = N_{опт.} \cdot Q'_{нк1.спр.}, \text{ квар};$$

$$Q''_{нк1.спр.} = 2 \cdot 600 = 1200 \text{ (квар)}.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначення потужності НБК в цілях оптимального зниження втрат:

$$Q_{нк2} = Q_{неск.} - \gamma \cdot N_{ТЭ} \cdot S_{HT}, \text{ квар};$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, визначуваний залежно від коефіцієнтів K_1 і K_2 і схеми живлення цехових ТП по довідковим даним, виходячи із значень K_1 (довідкові дані) і K_2 (довідкові дані).

$K_1=12$; $K_2=7$; $\gamma = 0,44$.

Реактивна потужність, що не компенсується, в мережі до 1 кВ складе:

$$Q_{неск.} = (Q_{р.} + Q_{р.о.}) - Q''_{нк1.спр.}, \text{ квар};$$

$$Q_{неск.} = 2108,1 - 1200 = 908,1 \text{ (квар)}.$$

Додаткова потужність НБК для даної групи трансформаторів $Q_{неск.}$, квар, в цілях оптимального зниження втрат:

$$Q_{нк2} = 908,1 - 0,44 \cdot 3 \cdot 1000 = -411,9 \text{ (квар)}.$$

Оскільки $Q_{нк2} < 0$, то для даної групи трансформаторів реактивна потужність $Q_{нк2}$ приймаємо $=0$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Розміщення трансформаторів у цехах визначається щільністю електричних навантажень, конфігурацією технологічного обладнання (з урахуванням можливості встановлення компенсуючих пристроїв усередині цеху), а також мікрокліматичними умовами, обумовленими специфікою виробничого процесу.

Перевагу слід надавати використанню комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), монтаж яких не залежить від будівельних конструкцій. Їх розміщення якомога ближче до центрів електричного навантаження дозволяє зменшити витрати кольорових металів та скоротити втрати електроенергії у внутрішньоцехових мережах.

Застосування системи дроблення підстанцій із максимально можливим наближенням до споживачів дає змогу вже на стадії проектування реалізовувати принципи енергозбереження.

Розташування КТП, кількість і потужність трансформаторів повинні відповідати розрахунковим навантаженням, враховувати умови експлуатації та забезпечувати надійність електропостачання.

Залежно від зовнішніх чинників і характеру виробництва, трансформаторні підстанції можуть мати різні типи компоновки: внутрішньоцехову, вбудовану, прибудовану або окремо розташовану.

Оскільки розглянутий вузол навантаження є конверторним цехом металургійного підприємства, для нього було обрано варіант внутрішньоцехового розміщення трансформаторів. Такі трансформаторні підстанції зазвичай розташовуються в зоні колон або в неактивних (мертвих) зонах роботи мостових кранів.

У виробництвах, де відсутнє пересувне обладнання, внутрішньоцехові КТП забезпечують подачу напруги понад 1 кВ безпосередньо до точок споживання. Це дозволяє значно скоротити довжину низьковольтних ліній, що, у свою чергу, знижує втрати електроенергії та зменшує витрати на прокладання внутрішньоцехових мереж.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема компоновки трансформаторних підстанцій наведена на аркуші №1 роздаткового матеріалу.

Двохтрансформаторні КТП зазвичай використовуються у випадках високої щільності електричного навантаження (кВА/м²), а також при наявності електроприймачів I категорії за надійністю. Потужність трансформаторів у таких підстанціях визначається з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до вимог стандарту ДСТ 14209-85 (рисунок 2.1).

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

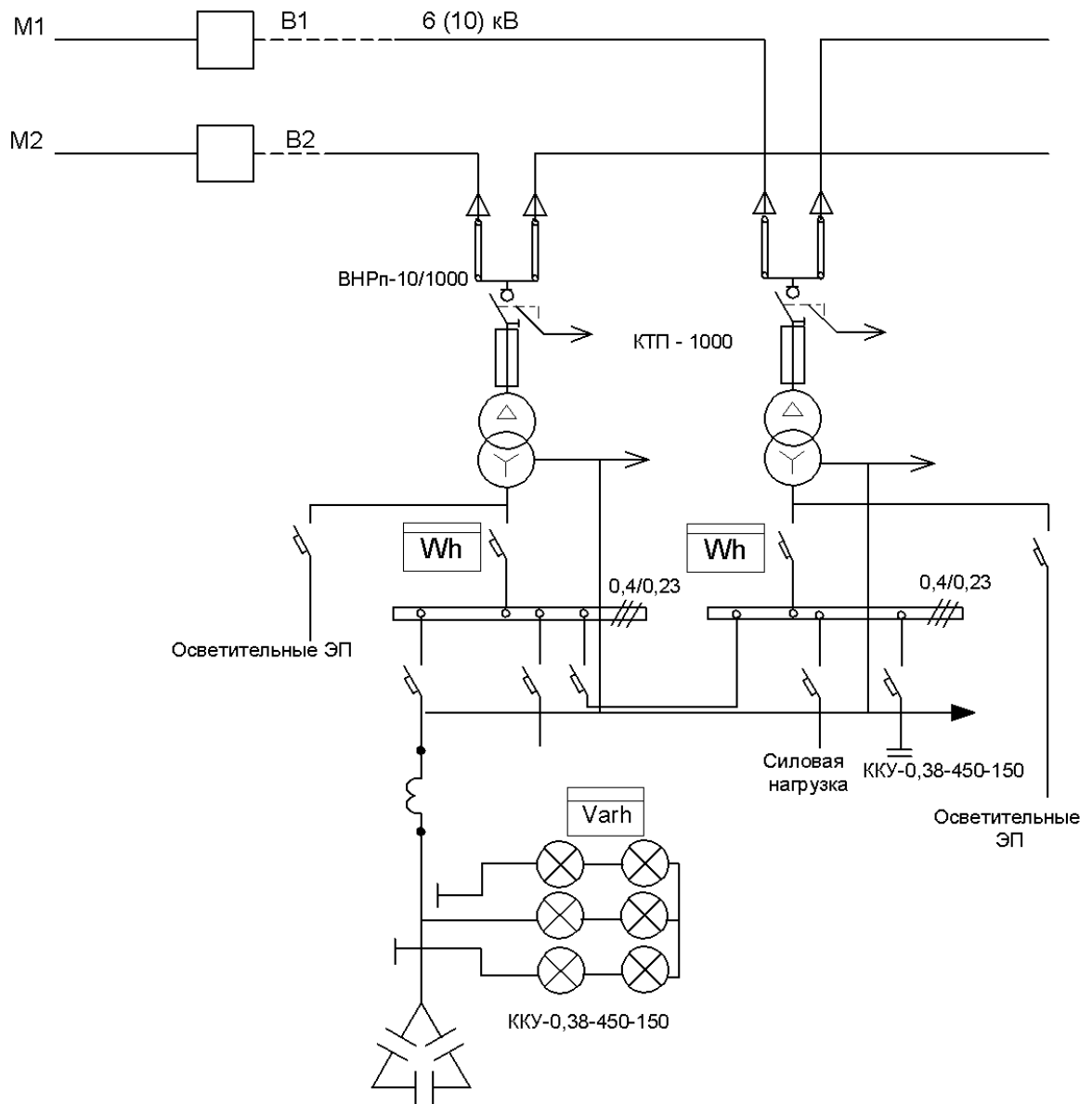


Рисунок 2.1. - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ.

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів обирається з урахуванням їх кількості, просторового розміщення в межах цеху та категорії електроприймачів, що підключаються. Відповідно до «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств», рекомендується використовувати живлення трансформаторів за допомогою подвійних наскрізних магістралей.

Оптимальна кількість трансформаторів у магістралі становить 2–3 одиниці потужністю 1600–2500 кВА або 3–4 трансформатори меншої потужності. У разі встановлення двох трансформаторів їх приєднання до системи живлення здійснюється за радіальною схемою.

Останнім часом широкого застосування набула схема типу БТМ (блок трансформатор-магістраль), особливо ефективна при розміщенні підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень у мережах до 1 кВ (рис. 2.2 а, б).

За топологією внутрішньоцехові електромережі можуть мати радіальну, магістральну або комбіновану структуру. Радіальні схеми передбачають підключення електроприймачів низької напруги окремими лініями, що відходять від розподільного пункту трансформаторної підстанції. Їх доцільно застосовувати у випадках зосередженого або нерівномірного розподілу навантажень, а також у вибухо- і пожежонебезпечних цехах, на насосних і компресорних станціях.

Основною перевагою радіальних схем є висока надійність: аварія на одній лінії не впливає на функціонування інших споживачів. Водночас їхнім недоліком є значні капітальні витрати на будівництво та прокладання мереж.

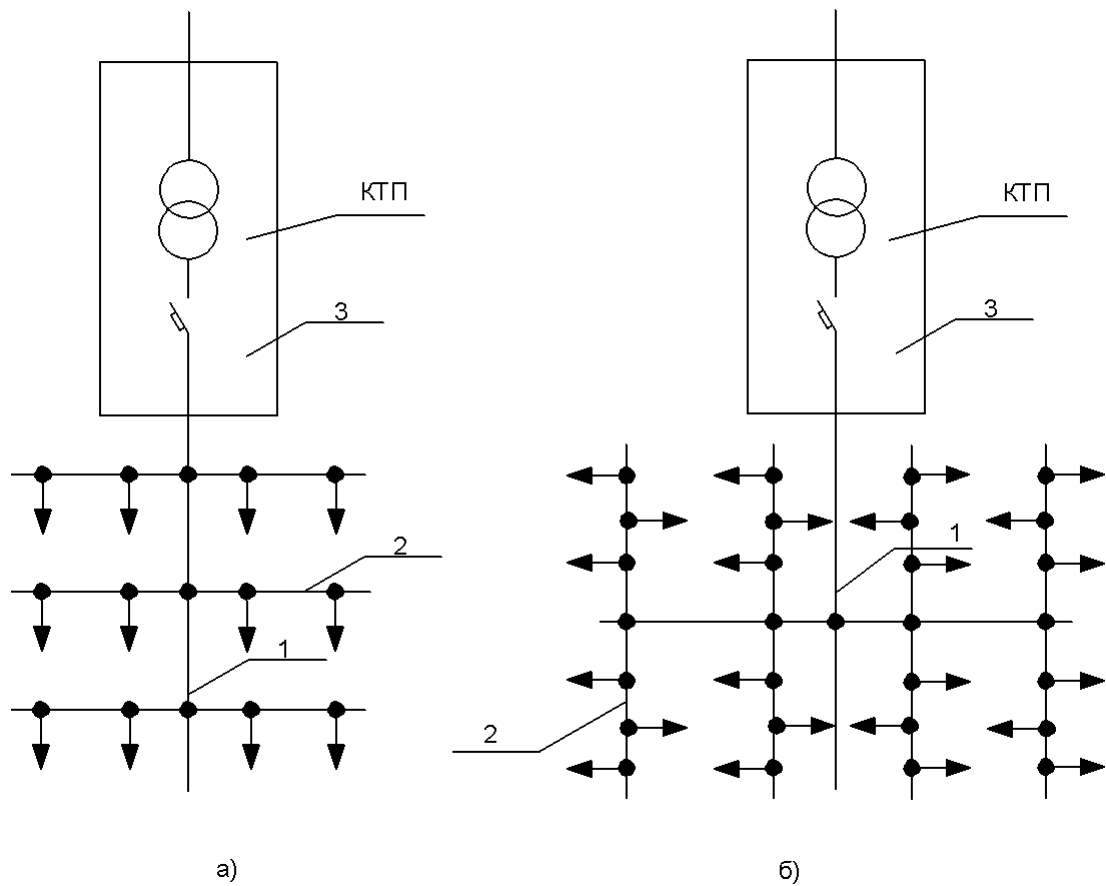
Магістральні схеми доцільно використовувати у випадках більш рівномірного розподілу навантажень по площі цеху або для живлення груп електроприймачів, об'єднаних однією технологічною лінією. Основною перевагою таких схем є можливість застосування шинопроводів, що забезпечує індустріалізований, швидкий і зручний монтаж.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Слабкою стороною магістральних схем є їх нижча надійність порівняно з радіальними: у разі аварії на магістралі припиняється живлення всіх підключених до неї споживачів. Водночас цей недолік частково компенсується шляхом використання резервних перемичок між сусідніми магістралями, що суттєво підвищує загальну надійність системи.

З огляду на специфіку обох типів схем — радіальних і магістральних — на практиці найчастіше застосовуються комбіновані (змішані) варіанти, які поєднують їх переваги й пристосовані до конкретних умов експлуатації.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



- а – вихід магістралі в одному напрямку;
 б – вихід магістралі у двох напрямках;
 1 – живляча магістралі;
 2 – розподільчий шино провід;
 3 – апаратура управління та захисту.

Рисунок 2.2. а, б. - Схеми БТМ.

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Магістральні схеми живлення доцільно застосовувати у випадках, коли електроприймачі розміщені відносно рівномірно по площі цеху або об'єднані в групи в межах однієї технологічної лінії. Їх основною перевагою є можливість використання шинопроводів, що забезпечують індустріалізований і швидкий монтаж.

Недоліком магістральних схем є досить низький рівень надійності порівняно з радіальними: у разі пошкодження магістралі припиняється живлення всіх приєднаних до неї споживачів. Однак впровадження резервних перемичок між сусідніми магістралями дозволяє суттєво підвищити надійність роботи системи.

З урахуванням специфіки обох підходів — радіального та магістрального - у реальних умовах експлуатації найчастіше використовуються комбіновані (змішані) схеми, які дозволяють оптимально поєднати їхні переваги.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Під час експлуатації електричних мереж можуть виникати відхилення від нормального режиму роботи, зокрема перевантаження та короткі замикання. Тому внутрішньоцехові мережі повинні бути оснащені надійними засобами захисту від аварійних режимів.

Для цього в таких мережах використовують плавкі запобіжники, автоматичні повітряні вимикачі (автомати), а також теплові реле магнітних пускачів.

Вибір типів і параметрів автоматичних вимикачів здійснюється на основі розрахункової електричної схеми (рис. 2.3), яка відображає їх розташування та функціональне призначення.

Автомати QF1–QF3 забезпечують захист асинхронних електродвигунів з параметрами, зазначеними на схемі. Двигуни розташовані у приміщенні з нормальними кліматичними умовами, а їх робочий режим відповідає навантаженню приводного механізму.

Автомати QF4–QF7 мають однакові характеристики і призначені для захисту електроприймачів, підключених до розподільних шинопроводів ШРА1–ШРА4, навантаження яких розподілено рівномірно.

Автомат QF8 виконує функцію ввідного захисту; його параметри визначаються на основі потужності трансформатора з урахуванням допустимих перевантажень відповідно до вимог ДСТ 14209-85.

Автомат QF9 є секційним і підбирається за параметрами, погодженими з характеристиками ввідного автоматичного вимикача.

Підбір параметрів автоматів QF1–QF3 починається з розрахунку номінальних струмів відповідних електродвигунів, що підлягають захисту.

Визначаємо (по довіднику) тип і потужність двигунів, а по них – номінальні струми двигунів:

$$I_{н.дв.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}; I_{н.дв.} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,91} = 28,5 \text{ (А)}.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунків заносяться в таблицю 2.2.

По довіднику [4] визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів: $I_{\text{пуск.}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{н.дв.}}$, А; $I_{\text{пуск.}} = 6 \cdot 28,5 = 171$ (А).

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу А3710 з номінальними параметрами (довідкові дані). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

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

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{\text{н.расц.}} = 100$ (А).

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

$$I_{\text{ср.эл.}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск.}} \text{ А; } I_{\text{ср.эл.}} = 1,25 \cdot 171 = 213,8 \text{ (А)}.$$

Приймаємо уставку струму розчеплювача 250 А.

Розраховуємо навантаження шинопровода ШРА-73-1.

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

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

Піковий струм шинопровода визначається з умов пуску найпотужнішого двигуна, приєднаного до шинопроводу:

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

Вибираємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача з урахуванням теплового поправочного коефіцієнта: $I_{\text{н.расц.}} \geq I_{\text{р.ШРА-1}}$

Перевіряємо неможливість спрацьовування автоматів при пуску найпотужнішого двигуна (відбудова від пускових струмів): $1,25 \cdot I_{\text{пик.}} \geq I_{\text{ср.эл.расц.}}$

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір ввідного автомата

Ввідні автоматичні вимикачі добирають на основі встановленої потужності цехових трансформаторів, враховуючи можливість короточасних перевантажень у післяаварійних режимах, відповідно до вимог ДСТ 14209-89:

$$I_{n.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2129,6 \text{ (А)}.$$

Номінальний струм селективного автоматичного вимикача визначають на основі струму в післяаварійному режимі з урахуванням коригувального теплового коефіцієнта та відповідно до значення струму короткого замикання з витримкою часу:

$$\frac{I_{n.ав.}}{0,85} \leq I_{ном.расч.}; \frac{2129,6}{0,85} \leq I_{ном.расч.}; 2505,4 \leq 2500$$

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

Вибір секційного автомата

Секційний автомат вибираємо по навантаженню секції або на ступінь нижче за ввідний автомат: $I_{p.секц.} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{n.ав.}}{0,85}, \text{ А};$

$$I_{p.секц.} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot 2129,6}{0,85} = 1503,2 \text{ (А)}.$$

Приймаємо до установки автомат типу ВА 55-43, $I_{n.ав.} = 1600 \text{ А}$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

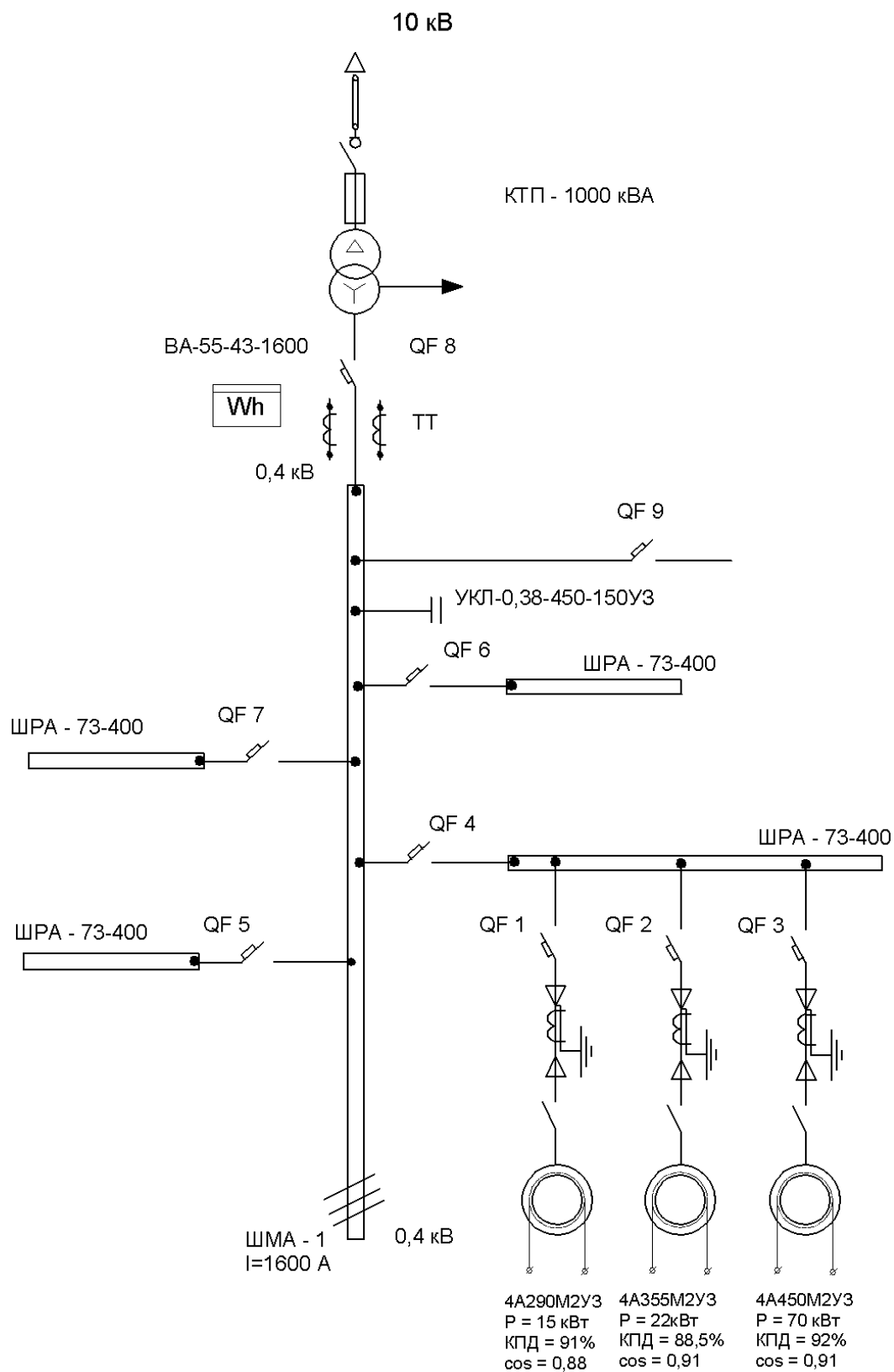


Рисунок 2.3. - Схема БТМ для вибору місць розміщення автоматів та розрахунку їх параметрів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6. Вибір марки і перетини струмоведучих частин

Шинопроводи вибирають по умові нагріву з подальшою перевіркою їх на динамічну стійкість: $I_p \leq I_{\text{дл.доп.}}$; $I_{\text{р.ШРА}} = 197,3 \text{ (А)}$; $I_{\text{р.ШМА}} = 2129,6 \text{ (А)}$.

До вибору перетинів дротів і кабелів напругою до 1 кВ приступають після вибору захисних апаратів, оскільки вибране по умові нагріву перетин с.в.ч. необхідно перевірити на відповідність захистів по умові: $I_{\text{дл.доп.}} \geq K_z \cdot I_z$;

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

K_z - коефіцієнт захисту, визначуваний по таблиці 5-9 [3];

для вибраних умов, при яких експлуатується обладнання – вибухонебезпечне і пожежонебезпечне, обладнання працює з можливим технологічним перевантаженням (тельфери, крани, зварювальні агрегати), дроти і кабелі передбачається вибирати з гумовою ізоляцією – коефіцієнт захисту K_z приймається рівним 1.

$115 \geq 1 \cdot 100$ - умова виконується. Приймаємо до установки кабель перетином 25 мм^2 . $I_{\text{дл.доп.}} = 115 \text{ А}$.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.2. Аналогічно вибираємо перетин дротів до двигунів АД2 і АД3. Далі вибираємо перетин шинопровода розподільний типу ШРА-73, $I_{\text{ном.}} = 250 \text{ А}$ за тих же умов, що і кабелі.

Здійснюємо перевірку вибраних перетинів по втраті напруги:

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

де I_p - струм двигуна, А;

$r_0; x_0$ - питомий опір кабелю, Ом/км;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт активної потужності; $\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{2245,8}{3887,7} = 0,58$;

$\sin \varphi = 0,82$.

$$\Delta U_{\text{действ.}} = \sqrt{3} \cdot 28,5 \cdot 0,06 \cdot (1,28 \cdot 0,58 + 0,06 \cdot 0,82) = 2,34 \text{ (В)}.$$

Всі розрахунки заносяться в таблицю 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

			Таблиця 2.2. - Вибір параметрів автоматів і СВЧ													
Зм.	Лист															

2.7. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ.

Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів к.з.

Метою розрахунку струмів короткого замикання (к.з.) в мережах до 1 кВ є перевірка обраних автоматичних вимикачів та шинопроводів на здатність витримувати струми к.з., а також оцінка чутливості захисних пристроїв (автоматів і запобіжників).

Для цього визначають максимальне значення струму трифазного к.з. для перевірки граничного струму відключення захистів, а мінімальне значення струму однофазного к.з. в найбільш віддаленій від джерела живлення точці мережі - для оцінки чутливості захисних пристроїв.

Особливості розрахунку струмів к.з. у мережах до 1 кВ:

- ✓ Розрахунок виконується в іменованих одиницях;
- ✓ Необхідно враховувати активні та індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого кола, зокрема провідників, трансформаторів струму, струмових котушок автоматів, дуги, контактів та контактних з'єднань.

Порядок розрахунку струмів короткого замикання (к.з.) включає такі етапи:

- ✓ Розробка розрахункової схеми з нанесенням місць к.з.;
- ✓ Побудова схеми заміщення, в якій усі елементи розрахункової схеми замінюються активними та індуктивними опорами;
- ✓ Обчислення опор елементів мережі (опор прямої та нульової послідовності, а також опор ланцюга «фаза-нуль»);
- ✓ Визначення значень струмів трифазного та однофазного к.з. у заданих точках мережі.

Методика розрахунку струмів к.з. в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ відповідає вимогам ДСТ 28249-89.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

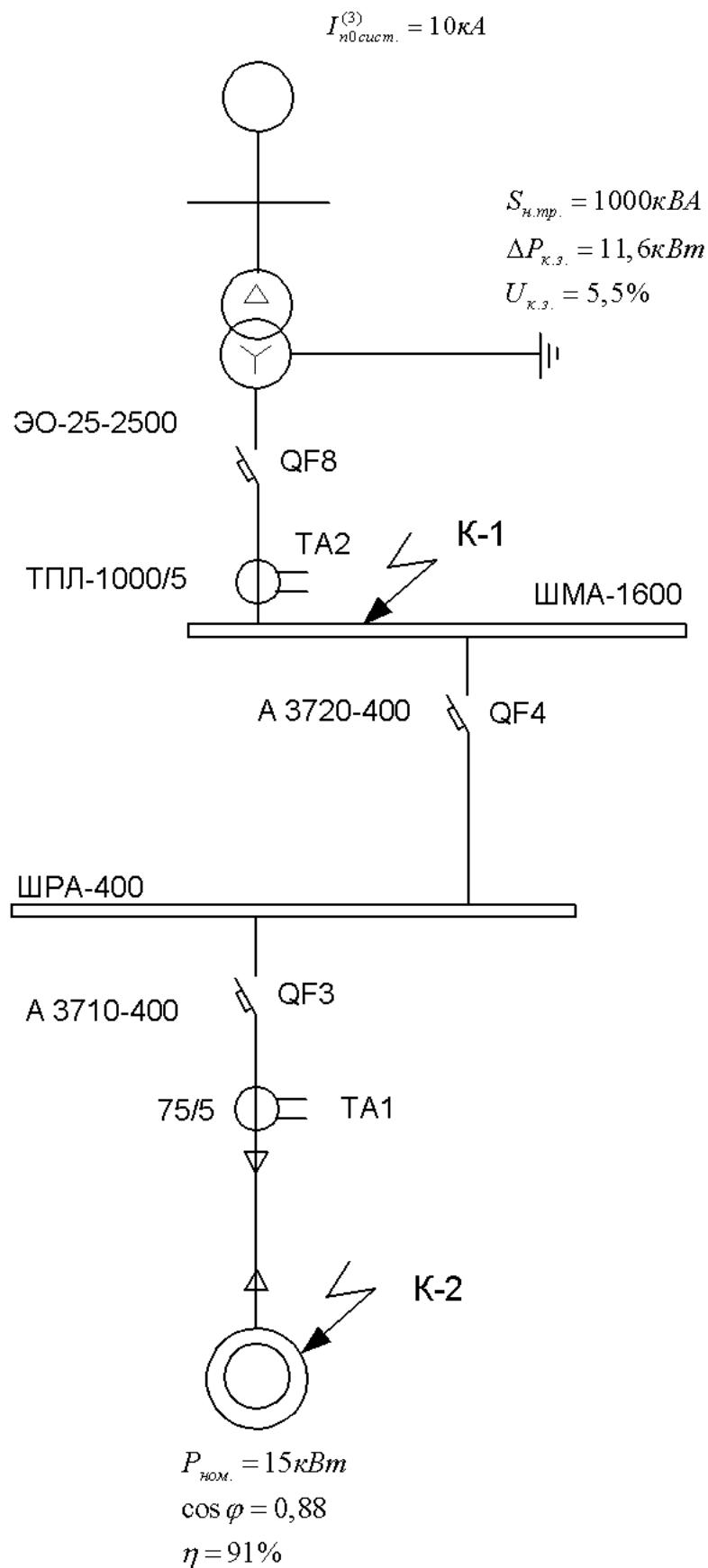


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема

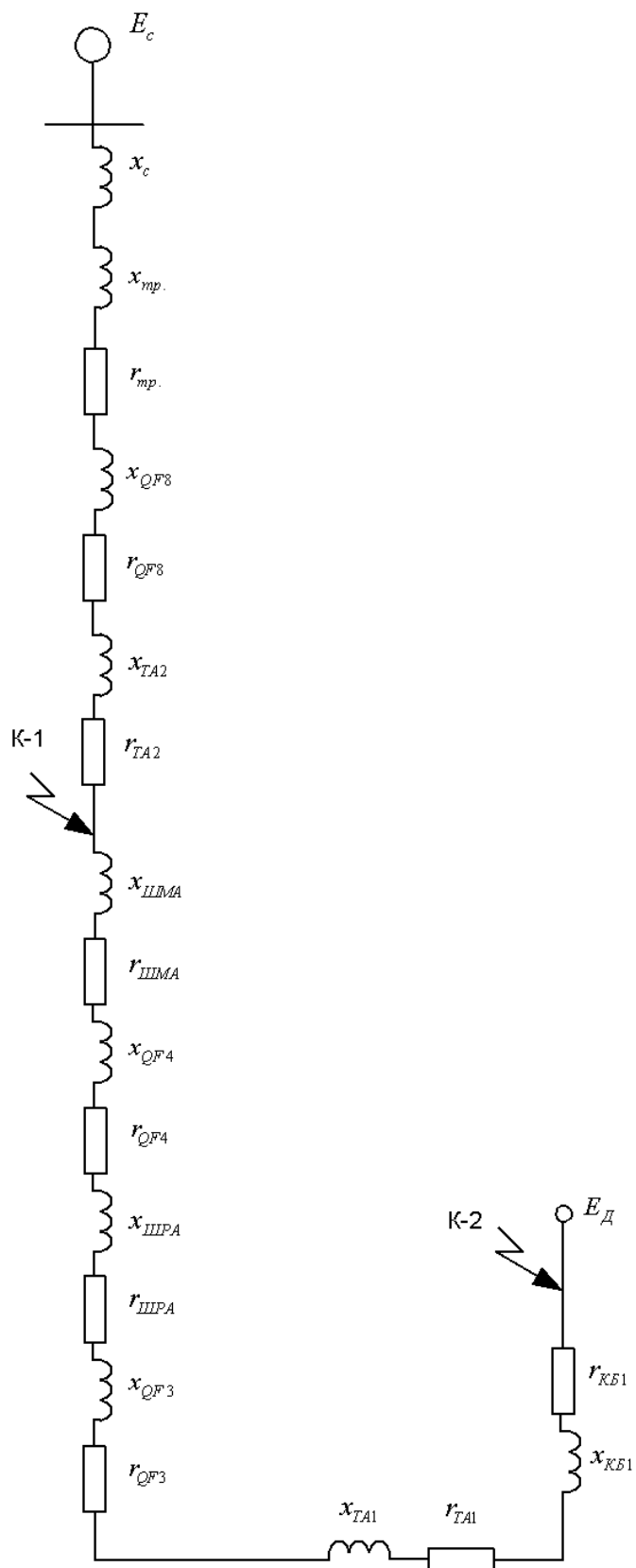


Рисунок 2.5. - Схема заміщення

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через понижуючий трансформатор початкове діюче значення періодичної

$$\text{складової струму трифазного к.з.: } I_{п0}^{(3)} = \frac{U_{cp_HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

де U_{cp_HH} - середня номінальна напруга мережі, в якій відбулося к.з., В.

$r_{1\Sigma}; x_{1\Sigma}$ - сумарні активні і індуктивні опори прямої послідовності ланцюга к.з., мОм.

Параметри трансформатора ТМЗ – 1000-10/0,4; $U_{к.з.} = 5,5\%$;

$$\Delta P_{к.з.} = 11,6 \text{ кВт}.$$

Ці опори для точки к.з. К-1 визначаються: $r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2}$;

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2}.$$

де x_c - еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального

$$\text{трансформатора, приведене до сторони низької напруги: } x_c = \frac{U_{cp_HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з._BH} \cdot U_{cp_BH}};$$

де U_{cp_BH} - середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

діюче значення періодичної складової струму при трифазному к.з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА;

$r_{1T}; r_{A8}; r_{TA2}; x_{1T}; x_{A8}; x_{TA2}$ - активні і індуктивні опори трансформатора, автоматів, трансформаторів струму.

Опори (питомі) елементів мережі приведені в таблицю 2.3.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Активні і індуктивні опори прямої послідовності знижувальних трансформаторів r_{1T} і x_{1T} визначаються по виразах: $r_{1T} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{н.НН}^2 \cdot 10^6}{S_{н.тр.}^2}$;

$$x_{1T} = \sqrt{U_{к.з.}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{к.з.}}{S_{н.тр.}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{н.НН}^2}{S_{н.тр.}},$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати к.з. в трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора); $\Delta P_{к.з.} = 11,6 \text{ кВт}$

$U_{к.з.}$ - напруга к.з. трансформатора % (довідкові дані трансформатора);

$$U_{к.з.} = 5,5\%$$

$U_{н.НН}$ - номінальна напруга обмоток низької напруги трансформатора, кВ;

$S_{н.тр.}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА; $S_{н.тр.} = 1000 \text{ кВА}$.

$$r_{1T} = \frac{11,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 1,86 \text{ (мОм)};$$

$$x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 11,6}{1000} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{1000} = 21,5 \text{ (мОм)}.$$

$$x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ (мОм)}.$$

$$r_{1\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 = 2,85 \text{ (мОм)}; \quad x_{1\Sigma} = 0,8 + 21,5 + 0,08 + 0,07 = 22,5 \text{ (мОм)}.$$

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,85^2 + 22,5^2}} = 10,2 \text{ (кА)}.$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{н.дв.\Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{к.з.}^{(3)}$; $197,3 \leq 0,1 \cdot 10200$.

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.7.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці К.З.

Струм однофазного к.з. в точці К-2 розраховується по формулі:

$$I_{n0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(r''_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x''_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}};$$

де $r''_{1\Sigma} = r'_{1\Sigma} + (r_{\phi-0III1} + r_{\phi-0III2} + r_{\phi-0КБ})$; $r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ}$;

$x''_{1\Sigma} = x'_{1\Sigma} + (x_{\phi-0III1} + x_{\phi-0III2} + x_{\phi-0КБ})$; $x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{TA2} + x_{1КБ}$.

Опори нульової послідовності: активні і індуктивні опори нульової послідовності знижувальних трансформаторів, обмотки яких сполучені по схемі Δ/Y при к.з. в мережі низької напруги слід приймати реальні опори прямої послідовності.

$$r_{1\Sigma} = r_{1T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{1III1} + r_{A4} + r_{1III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{1КБ};$$

$$r_{1\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 0,15 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 1,28 \cdot 20 = 35,5 \text{ (МОм)};$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{1T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{1III1} + x_{A4} + x_{1III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{1КБ};$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 21,5 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 0,17 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,06 \cdot 20 = 32,6 \text{ (МОм)}.$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-0III1} + r_{\phi-0III2} + r_{1КБ}); \quad r'_{1\Sigma} = 35,5 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 123,1 \text{ (МОм)};$$

$$x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + (x_{\phi-0III1} + x_{\phi-0III2} + x_{1КБ});$$

$$x'_{1\Sigma} = 32,6 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20) = 43,44 \text{ (МОм)}.$$

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_{A8} + r_{TA2} + r_{0III1} + r_{A4} + r_{0III2} + r_{A3} + r_{TA1} + r_{0КБ};$$

$$r_{0\Sigma} = 1,86 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 60,4 \text{ (МОм)};$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_{A8} + x_{TA2} + x_{0III1} + x_{A4} + x_{0III2} + x_{A3} + x_{TA1} + x_{0КБ};$$

$$x_{0\Sigma} = 21,5 + 0,08 + 0,07 + 0,042 \cdot 35 + 0,17 + 0,164 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,075 \cdot 20 = 32 \text{ (МОм)}.$$

$$I_{n0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2 \cdot r'_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x'_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 123,1 + 60,4)^2 + (2 \cdot 43,44 + 32)^2}} = 2,10 \text{ (кА)}.$$

Перевірка автоматів по граничному струму відключення: $I_{пред.откл.} \geq I_{n0}^{(3)}$,

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

де $I_{n0}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання. $18 \geq 10,2$ - умова виконується, оскільки граничний струм відключення автомата АЗ710Б - $I_{пред.откл.} = 18 \text{ кА}$.

Перевірка автоматів на чутливість захистів: $I_{n0}^{(1)} \geq K \cdot I_y$,

де $I_{n0}^{(1)}$ - мінімальний струм однофазного к.з. в електрично віддаленій точці ділянки мережі, що захищається, $2,10 \geq 1,25 \cdot 1$ - автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 2.3. - Опори (питомих) елементів мережі

Опори послідовностей	Питомі опори, мОм/м	СВЧ			Трансформатори струму		Автомати		
		ШМА 1600 (Ш 1) (35 м)	ШРА 400 (Ш 2) (20 м)	Кабель АВВГ (3х 25) мм ² (Кб) (20 м)	ТА 1 75/5	ТА 2 1000/5	QF3	QF4	QF8
Пряма	r ₁	0,03	0,15	1,28	3	0,05	1,1	0,65	0,14
	x ₁	0,014	0,17	0,06	4,8	0,07	0,5	0,17	0,08
Нульова	r ₀	0,037	0,162	2,5	-	-	-	-	-
	x ₀	0,042	0,164	0,075	-	-	-	-	-
Фаза-нуль	r _{φ-0}	0,067	0,262	4	-	-	-	-	-
	x _{φ-0}	0,056	0,294	0,15	-	-	-	-	-

2.8. Перевірка показників якості електроенергії (відхилення напруги) на шинах цехової ТП

Електроенергія, що подається до електроприймачів, повинна відповідати встановленим якісним показникам згідно з вимогами ДСТ 13109-87, що гарантує їхню надійну та економічну роботу. Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), вся мережа - від цехової трансформаторної підстанції до електроприймачів - має бути перевірена на відповідність допустимим відхиленням напруги з урахуванням режиму напруги на шинах живильного центру. У разі перевищення допустимих меж напруги необхідно передбачити в мережі відповідні технічні заходи для її регулювання.

Відхилення напруги – різниця між фактичним значенням напруги U_{ϕ} і номінальним значенням напруги $U_{ном.}$ при напрузі, що поволі змінюється, коли швидкість зміни напруги не перевищує 1% в секунду:
$$U = \frac{U_{\phi} - U_{ном.}}{U_{ном.}} \cdot 100\%.$$

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

Збиток від відхилення напруги має дві складові – електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова визначається додатковими втратами електроенергії в елементах мережі, а технологічна – пониженням продуктивності технологічного обладнання і продуктивністю праці.

Найбільш чутливі до відхилень напруги освітлювальні установки і конденсаторні батареї.

Значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора:

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

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

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

U_{H1} - відхилення від номінальної напруги в мережі високої напруги для основного регулювання 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:

$$\Delta U_T = \beta \cdot (R_m \cdot \cos \varphi + X_m \cdot \sin \varphi) = \frac{S_p}{S_{н.тр.}} \cdot \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{н.тр.}} \cdot \cos \varphi + U_{к.з.} \cdot \sin \varphi \right) \text{ або}$$

$$\Delta U_T = \frac{Q_{п.}}{\sin \varphi} \cdot U_{к.з.},$$

де $\Delta P_{к.з.}; U_{к.з.}$ - паспортні дані трансформаторів, відповідно втрати к.з., кВт, і напруга к.з. %.

В застосуванні до даних умов маємо: $S_{н.тр.} = 1000 \text{ кВА}$, $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 11,6 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_{п.} = \frac{\sqrt{P_{п.}^2 + Q_{неск.}^2}}{N_{\min}}; S_{п.} = \frac{\sqrt{2010,8^2 + 908,1^2}}{3} = 735,4 \text{ (кВА)}.$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск.}}{P_{п.}} = \frac{908,1}{2209,4} = 0,41$. Отже, $\sin \varphi = 0,41$,

$\cos \varphi = 0,91$. Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ кВ}$.

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

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

$$\Delta U_m = \frac{735,4}{1000} \cdot \left(\frac{11,6}{1000} \cdot 0,91 + 0,055 \cdot 0,41 \right) = 0,024 = 2,4\%.$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{11} = 5 + 2,5 - 0 - 2,5 - 2,4 = 2,6\%$$

Значення, що було отримане, знаходиться в межах норми.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

При проектуванні електричних мереж особливу увагу слід приділяти впровадженню сучасних технічних рішень та використанню нового вітчизняного обладнання, яке відповідає актуальним стандартам якості та безпеки. Застосування інноваційних технологій дозволяє підвищити надійність роботи системи, знизити енергетичні втрати, а також забезпечити економічну ефективність експлуатації. Крім того, використання сучасного обладнання сприяє полегшенню процесу технічного обслуговування та зменшенню витрат на ремонтні роботи в подальшому.

У ході виконання бакалаврської роботи були детально розглянуті та послідовно висвітлені основні етапи проектування внутрішньоцехових систем електропостачання (СЕП). Ці етапи включали збір і аналіз вихідних даних, розрахунок електричних навантажень, вибір оптимальної схеми розміщення трансформаторів, визначення параметрів струмоведучих частин та комутаційно-захисних апаратів, а також забезпечення якості електроенергії відповідно до нормативних вимог.

Підсумком виконаних досліджень та розрахунків стала розробка однолінійної схеми внутрішньоцехового електропостачання, яка відображена на слайді 7. Ця схема демонструє структурну організацію мережі, розташування ключових елементів, а також шляхи живлення електрообладнання в цеху. Вона враховує всі особливості виробничого процесу та забезпечує надійне, безпечне та ефективне електропостачання. Запропонована схема є практичним інструментом для подальшої реалізації проекту і може бути адаптована до конкретних умов експлуатації.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було детально проаналізовано технологічний процес проектного об'єкта, що дозволило визначити особливості виробничої діяльності та вимоги до електропостачання. Технологічний процес є основою для формування електричних навантажень і визначення специфіки розміщення електрообладнання на площі цеху. Розуміння структури технологічних ліній та особливостей роботи устаткування дозволило забезпечити оптимальні рішення при проектуванні електричної мережі.

В другому розділі проведено комплексні розрахунки електричних параметрів мережі напругою до 1 кВ, що забезпечують надійну, ефективну та безпечну роботу електросистеми цеху.

Було визначено сумарне навантаження в мережі до 1 кВ, враховуючи як силові, так і освітлювальні електроприймачі. Проведені розрахунки дозволили адекватно оцінити потреби в потужності та сформувати основу для подальших проектних рішень.

Було здійснено визначення потужності компенсуючих пристроїв для оптимального числа цехових трансформаторів, що забезпечує покращення коефіцієнта потужності і зниження реактивних втрат. Крім того, визначено додаткову потужність КП, спрямовану на мінімізацію втрат активної потужності, викликаних перетіканнями реактивної потужності.

Було реалізовано оптимальне розміщення цехові трансформатори на площі цеху з урахуванням щільності навантажень, технологічного обладнання та мікрокліматичних умов, що сприяє підвищенню ефективності електропостачання та зниженню втрат.

Вибрано відповідну схему внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ, яка враховує розподіл навантажень та забезпечує надійність і безперервність живлення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для одного з приєднань проведено підбір автоматичних вимикачів та інших захисних пристроїв з урахуванням навантажень, режимів роботи та вимог до захисту від аварійних режимів.

Визначено оптимальні марки і перетини кабелів та шин, що забезпечують безпечну експлуатацію та відповідають вимогам допустимих теплових навантажень.

Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ та виконано перевірку комутаційної апаратури і системи вибіркового захисту на здатність витримувати аварійні струми, що гарантує безпеку системи.

Здійснено аналіз показників якості електроенергії на шинах цехової трансформаторної підстанції, зокрема оцінено відхилення напруги, що підтвердило відповідність параметрів встановленим нормативам.

Розроблено однолінійну схему електропостачання цеху, яка відображає структурну побудову мережі, розташування основних компонентів та забезпечує зручність експлуатації й технічного обслуговування.

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

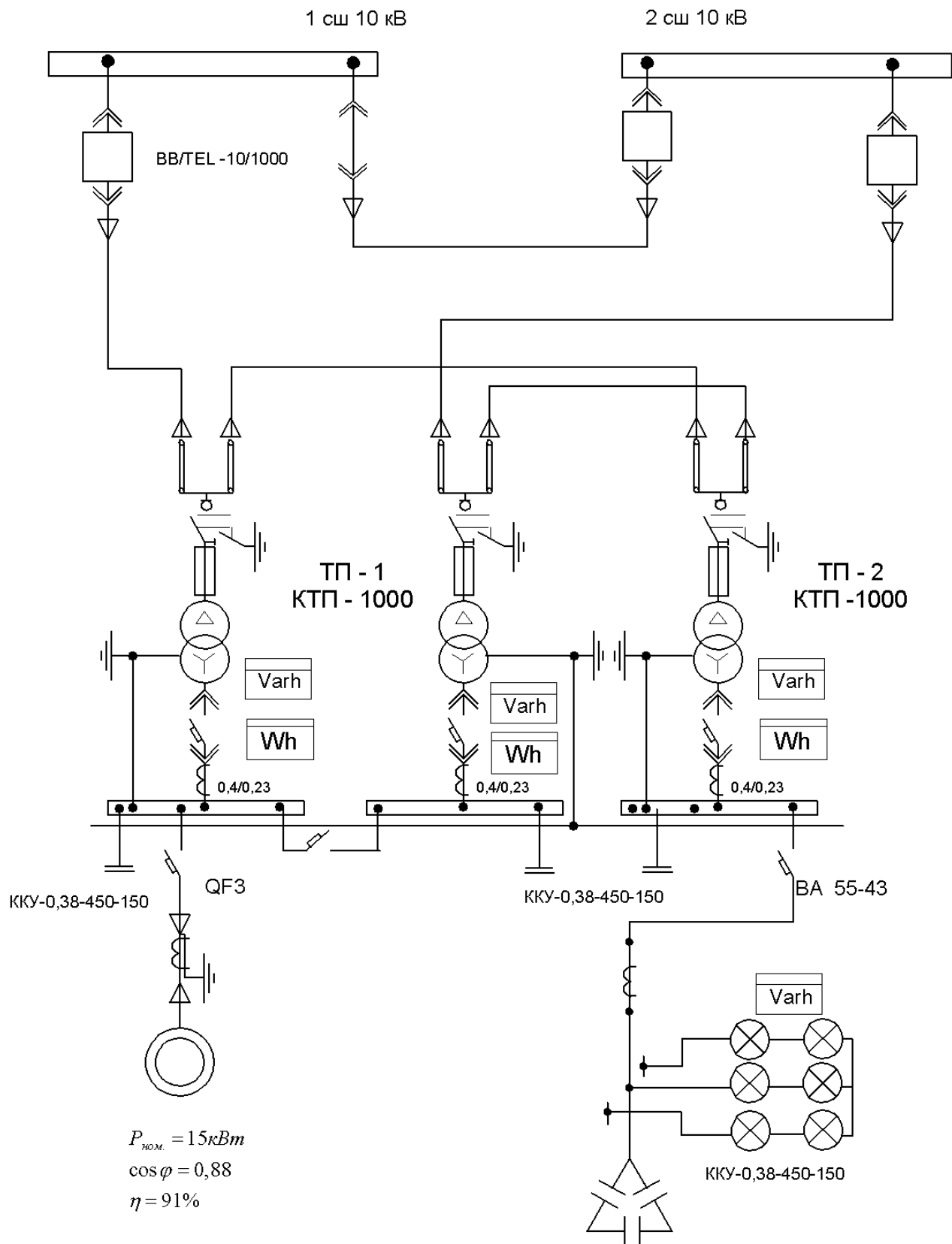


Рисунок 2.6. - Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями.

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ

Лист

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

11. Давиденко Л. В. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум: навчальний посібник / Людмила Валеріївна Давиденко, Наталія Володимирівна Коменда, Володимир Анатолійович Давиденко, Микола Миколайович Євсюк – Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2022.– 244с.

12. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики у сучасному світі/ [упоряд. С.Г. Плачкова, І.В. Плачков та ін.] – К. 2013
[<http://energetika.in.ua/ua/>]

					ЕТ та ЕЕ 4815.070.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		