

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 ПРОКАТНОГО ЦЕХУ
МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
(тема кваліфікаційної роботи)

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

_____/Олександр ОЛІЙНИК
(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)

Олійнику Олександру Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Проектування СЕП вузла навантаження прокатного цеху металургійної 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

О.Л. Олійник

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 КУ 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 КУ в мережі напругою до 1 кВ в цілях оптимального зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями РМ
 - 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 К.З. в мережі напругою до 1 кВ. Перевірка апаратів і СВЧ на стійкість дії струмів короткого замикання

					ЕТ та ЕЕ 4815.004.000 ПЗ									
					Проектування СЕП вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості				Літ.		Маса	Масштаб		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								1		1 : 1
Розроб.		Олійник О.Л.												
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 вузла навантаження

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ЕП	—	електроприймач
СЕП	—	система електропостачання
ТП	—	трансформаторна підстанція
КТП	—	комплектна трансформаторна підстанція
ПС	—	підстанція
ГПП	—	головна знижувальна 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	—	конденсаторний пристрій

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Електроенергія є невід’ємною складовою сучасного життя та застосовується у надзвичайно широкому спектрі діяльності людини. Особливо важливе її використання для електроприводу різноманітних механізмів, що забезпечують автоматизацію і ефективність виробничих процесів. У сучасних умовах все більшого поширення набувають електротехнологічні установки, які застосовуються у різних галузях промисловості, зокрема для хімічних, металургійних, харчових та інших виробництв.

До основної групи електроприймачів належать електроприводи загальнопромислових механізмів, які широко використовуються практично у всіх сферах промисловості. Це підйомно-транспортне обладнання, потоково-транспортні системи, компресори, насоси, вентилятори та інші механізми, що забезпечують безперебійну та ефективну роботу виробничих ліній.

Метою даної бакалаврської роботи є формування практичних умінь та навичок з основних методів проектування внутрішньоцехових систем електропостачання. Проектування базується на загальних принципах побудови сучасних систем електропостачання промислових підприємств, враховуючи актуальні технічні норми та вимоги. Основне завдання роботи полягає у засвоєнні методів розв’язання комплексних інженерних задач, пов’язаних з електропостачанням промислових підприємств, із застосуванням сучасних досягнень науки і техніки.

При комплексному підході до проектування систем електропостачання (СЕП) промислових підприємств виникають низка ключових проблем і завдань, серед яких можна виділити:

✓ Використання оптимальних рівнів напруг у живлячих і розподільних мережах, що дозволяє суттєво знизити втрати електроенергії і підвищити загальну ефективність системи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

✓ Зменшення ККУькості ступенів трансформації та дроблення підстанцій, що веде до зниження струмів короткого замикання (К.З.) і підвищення рівня напруги живлячих мереж.

✓ Коректне визначення очікуваних електричних навантажень, що допомагає уникнути помилок при виборі основного електрообладнання, а також струмоведучих частин, що гарантує надійність і безпеку роботи системи.

✓ Раціональний вибір, розміщення та використання додаткових джерел реактивної потужності, які сприяють зниженню потреб у потужності трансформаторів і зменшенню перетинів струмоведучих частин.

✓ Забезпечення централізованого та місцевого регулювання напруги для підтримання необхідної якості електроенергії, що є критично важливим для стабільної роботи виробничого обладнання.

✓ Оптимальна побудова схеми електропостачання, яка враховує всі особливості технологічного процесу та експлуатаційні умови.

Одним із найважливіших аспектів при проектуванні є економічна доцільність прийнятих рішень. Проектована система електропостачання має бути максимально ефективною з точки зору капіталовкладень, водночас забезпечуючи високу надійність, гнучкість і можливість адаптації до змін в експлуатаційних умовах та технологічних вимогах.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Характеристика технологічного процесу дає можливість оцінити потенційні втрати, що можуть виникнути у разі раптових перебоїв електропостачання. Це дозволяє класифікувати вузли навантаження за категоріями безперебійності електропостачання, а також визначити специфічні види навантажень. Результати аналізу технологічного процесу допомагають встановити необхідну ККУькість джерел живлення для схем живлення та розподільчих мереж, а також обґрунтувати доцільність впровадження мережевої автоматики для підвищення надійності системи.

В рамках дипломної роботи досліджується прокатний цех металургійного виробництва, який включає в себе приводи рольгангів, коливальні столи, вентилятори, насоси, компресори, крани, тельфери, зварювальні машини, елеватори та заблоковані конвеєри.

Щодо вентиляторів, насосів і компресорів: їх режими роботи є тривалими, що означає безперервну експлуатацію протягом значного часу. Ступінь безперебійності електропостачання для цих приводів визначається призначенням обладнання та технологічними особливостями виробництва. У прокатному цеху металургійної галузі вентилятори, насоси і компресори відносяться до першої категорії споживачів за рівнем безперебійності електропостачання, що підкреслює їх критичне значення для технологічного процесу.

Підйомно-транспортні машини, зокрема тельфери і крани, також розглядаються в проекті. Режим їх роботи характеризується повторно-короткочасним циклом із коефіцієнтом тривалості включення (ПВ) від 15% до 60%. Під час роботи крани і тельфери переміщуються по спеціальних шляхах і отримують живлення через відкриті контактні дроти — тролейні системи. Вони відносяться до другої категорії споживачів за безперебійністю електропостачання, що вказує на дещо нижчий пріоритет у порівнянні з

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

першою категорією, але все ж вимагає надійного живлення для забезпечення безперебійної роботи виробничого процесу.

Установки електрозварювання

До складу проектованого об'єкта входять установки електрозварювання, зокрема зварювальні машини для шовної зварки. У цих установках для процесу електрозварювання використовуються як постійний струм, що формується за допомогою перетворювачів, так і змінний струм різної частоти: нормальної промислової частоти 50 Гц, низької частоти в діапазоні 2–5 або 10 Гц, а також підвищеної частоти від 100 до 360 Гц.

Зварювальні установки змінного струму нормальної частоти створюють значне динамічне навантаження на систему електропостачання підприємства, зокрема через такі особливості:

✓ Однофазне навантаження: кожна окрема зварювальна машина працює в однофазному режимі, що призводить до нерівномірного розподілу навантажень в мережі.

✓ Велика потужність: потужність окремих машин може сягати до 1200 кВА, що створює високі пикові навантаження.

✓ Низький коефіцієнт потужності: Для дугової зварки цей показник становить 0,3–0,35, а для контактної зварки – 0,2–0,6, що свідчить про значний вплив реактивної складової і потребу в компенсації реактивної потужності.

✓ Режим роботи: установки працюють у повторно-короткочасному режимі з низьким коефіцієнтом тривалості включення (ПВ), але супроводжуються різкими і частими поштовхами навантаження, що впливає на стабільність електропостачання.

Враховуючи критичність роботи зварювальних установок для виробничого процесу, вони відносяться до споживачів першої категорії за безперебійністю електропостачання, що вимагає забезпечення високої надійності електроживлення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітлювальні установки

Для освітлення виробничих приміщень на підприємстві застосовуються різні типи електричних джерел світла, включаючи лампи розжарювання, галогенні лампи розжарювання, люмінесцентні лампи та ртутні кварцеві лампи. Потужність окремих освітлювальних приладів коливається від 15 до 50 кВт, що відображає масштаб освітлення в цехах.

На підприємстві використовуються два основні типи освітлення:

✓ Загальне освітлення, яке забезпечує рівномірне освітлення всього простору приміщення.

✓ Комбіноване освітлення, що включає як загальне, так і місцеве освітлення, спрямоване на робочі зони для підвищення ефективності і безпеки роботи.

Освітлення, залежно від функціонального призначення, поділяється на:

✓ Робоче освітлення, яке забезпечує необхідний рівень світла для виконання технологічних операцій.

✓ Аварійне освітлення, що є критично важливим для безпеки персоналу у разі відключення основного живлення.

Освітлювальні установки, особливо аварійне освітлення, відносяться до споживачів першої категорії за безперебійністю електропостачання, оскільки від їх роботи залежить безпека і нормальний хід виробничих процесів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

Електричні навантаження — це змінні в часі величини електричної потужності активної (P , кВт), реактивної (Q , квар) та струму (I , амperi), які мають певну закономірність коливань у процесі експлуатації електроустановок. Саме за величиною і характером цих навантажень визначаються основні параметри елементів системи електропостачання (СЕС), зокрема:

- ✓ ККУькість і потужність силових трансформаторів на всіх рівнях СЕС;
- ✓ Характеристики і номінали комутаційних та захисних апаратів різних класів;
- ✓ Перерізи та матеріали струмоведучих частин.

Точність визначення очікуваних електричних навантажень має суттєвий вплив на техніко-економічні показники проєктованої системи електропостачання. У випадку завищення розрахункових навантажень виникають такі негативні наслідки:

- ✓ Зайві капіталовкладення в необґрунтовано потужне обладнання;
- ✓ Омертвляння інвестицій через неефективне використання резервних потужностей;
- ✓ Погіршення режиму активної потужності, що може знизити загальну ефективність роботи системи.

Натомість недооцінка величини електричних навантажень призводить до:

- ✓ Перегріву окремих елементів електроустановки;
- ✓ Прискореного зносу ізоляційних матеріалів та зменшення їх експлуатаційного ресурсу;
- ✓ Зниження надійності роботи обладнання і, як наслідок, зменшення безперебійності електропостачання всієї системи.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим фактором у проектуванні є також електрична віддаленість навантажувального вузла, яка визначається ККУькістю рівнів трансформації від цехових трансформаторних підстанцій до основних розподільних пунктів — шини вторинної напруги 6 (10) кВ головної знижувальної підстанції (ГПП) або підстанції глибокого введення (ПГВ).

Визначення величини очікуваних електричних навантажень здійснюється згідно з методикою, викладеною у «Вказівках з розрахунку електричних навантажень». Для розрахунків широко використовується метод впорядкованих діаграм, який на сьогодні є основним інструментом при розробці технічних і робочих проектів систем електропостачання.

За цим методом розрахункове активне навантаження приймачів електроенергії на всіх рівнях живлячих і розподільчих мереж (включаючи трансформатори та перетворювачі) визначається на основі середнього навантаження з урахуванням коефіцієнта розрахункового навантаження за спеціальними формулами та графіками. Це дозволяє більш точно врахувати особливості експлуатаційного режиму, уникнути перевантажень та забезпечити ефективне функціонування системи електропостачання в цілому.

$$P_p = k_p \cdot \sum P_{cm}.$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 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

Відповідно до вихідних даних (таблиця 1.1) електроприймачі цеху поділяються на характерні групи, які мають однакові коефіцієнти використання K_u та коефіцієнти активної потужності $\cos \varphi$. Для кожної групи наведено паспортні характеристики електроприймачів, що працюють у режимі повторно-короткочасної роботи (ПКР), зокрема підйомно-транспортного обладнання. Визначення номінальної потужності в кВт здійснюється за формулою:

$$P_{Hi} = P_{нач.і} \sqrt{ПВ_i}, \text{ кВт}$$

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

Для кранів і тельферів з ПВ = 25%: $P_H = 1100 \cdot \sqrt{0,25} = 550$ (кВт).

Для кранів і тельферів з ПВ = 40%: $P_H = 1150 \cdot \sqrt{0,40} = 727,3$ (кВт).

Номінальну потужність зварювальних трансформаторів визначаємо наступним чином: $P_H = 650 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{0,25} = 227,5$ (кВт).

Дані графи 6 таблиці 2.2. складаються: $\sum_i^m P_{ni}$, кВт,

де m - число характерних груп ЕП.

Для кожної характерної групи ЕП визначається середнєзмінне навантаження за найбільш завантажену зміну за виразом:

$$P_{см.і} = P_{н.і} \cdot \kappa_{н.і}, \text{ кВт};$$

$$Q_{см.і} = P_{н.і} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар},$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$tg\varphi_i$ - коефіцієнт реактивної потужності i - тої характерної групи ЕП, який відповідає коефіцієнту активної потужності (довідкові дані).

Визначають сумарні значення серед незмінного навантаження за найбільш завантажену зміну по цеху:

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

$$P_{cm.1} = 650 \cdot 0,3 = 195 \text{ (кВт)}, \quad Q_{cm.1} = 195 \cdot 1,33 = 259,4 \text{ (квар)}.$$

Визначаємо середнє важений (груповий) коефіцієнт використання:

$$\kappa_{u.зр.} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{cm.i}}{\sum_{i=1}^m P_{n.i}} = \frac{1901,9}{4554,8} = 0,42.$$

Значення $\kappa_{u.зр.}$ заносяться в графу 5 у відповідні строки.

Визначення ефективного числа ЕП

На формування абсолютного максимуму групового графіка навантаження, який є вихідною величиною для вибору параметрів елементів системи електропостачання (СЕП) з урахуванням нагріву, впливає низка випадкових факторів. Серед них - ККУькість електроприймачів у розрахунковому вузлі, їхні номінальні потужності, режими роботи, а також інші змінні параметри.

Для спрощення процедури визначення розрахункового максимального навантаження вводиться поняття ефективного числа електроприймачів. Під ефективним числом $n_{эф.}$ розуміють таку ККУькість однорідних за встановленою потужністю та режимом роботи електроприймачів, які формують розрахунковий максимум навантаження, еквівалентний до реального, де електроприймачі різняться по потужності і режимах роботи.

Обчислення ефективного числа електроприймачів у всьому вузлі навантаження здійснюється за відповідною формулою:

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{эф.} = \frac{2 \sum_{i=1}^m P_{н.і}}{P_{н.мах}} = \frac{2 \cdot 4554,8}{80} = 113,9,$$

де $P_{н.мах}$ - одинична номінальна потужність наймогутнішого ЕП в розрахунковому вузлі.

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

Визначення коефіцієнта розрахункового навантаження κ_p

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

$$\kappa_{и.гр.} = 0,42; n_{эф.} = 113,9. \text{ Отже, } \kappa_p = 0,72.$$

Під активним розрахунковим максимальним навантаженням P_p розуміють таку незмінну по величині і в часі навантаження, яке еквівалентне дійсному навантаженню, що змінюється, по найбільш важкій тепловій дії на елемент СЕП.

Активне розрахункове навантаження групи ЕП напругою до 1 кВ визначається за виразом: $P_p = \kappa_p \cdot \sum_{i=1}^m P_{см.і}$, кВт; $P_p = 0,72 \cdot 1901,9 = 1369,4$ (кВт).

Враховуючи особливість вжитку електроприймачами реактивної потужності, мало залежної те навантаження електроприймачів активною потужністю, приймаємо: $Q_p = \sum_{i=1}^m Q_{см.і}$ квар; $Q_p = 2318,7$ (квар).

Повне розрахункове навантаження, яке формується силовими ЕП, визначається за виразом:

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення струмового розрахункового навантаження, за яким вибирають перетин струмоведучих частин, а також параметра апаратів, визначають за виразом: $I_p = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$, А; $I_p = \frac{2692,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4096,3$ (А).

де U_n - номінальна напруга у ділянці мережі, що розглядається, кВ.

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 споруд, що складаються з окремих крупних прольотів;

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

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

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; $P_{уд.} = 20$ Вт/м² для виробничих цехів.

F - площа цеха, м²; $F = 9500$ м².

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Сумарна розрахункова потужність компенсуючих ККУ пов'язаної (ККП) напругою до 1 кВ визначається з урахуванням мінімізації витрат у два послідовні етапи розрахунку:

1. Перший етап полягає у виборі економічно оптимального числа трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій (ТП). На цьому кроці визначається потужність компенсуючих ККУ на напругу 0,38 кВ, яка забезпечує оптимальне число цехових трансформаторів і відповідає мінімальним сумарним витратам електроенергії та експлуатації. Ця потужність позначається в квар.

2. Другий етап полягає у визначенні додаткової потужності компенсуючих ККУ 0,38 кВ. Мета цього етапу – оптимальне зниження втрат потужності у трансформаторах цехових ТП і в живлячих їх мережах з напругою вище 1 кВ, що викликані перетіканнями реактивної потужності через цехові трансформаторні підстанції. В результаті визначається додаткова реактивна потужність, також у квар.

Загальна сумарна реактивна потужність компенсуючих ККУ 0,38 кВ розраховується за формулою:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \text{ квар}$$

де $Q_{нк1}$ і $Q_{нк2}$ - це сумарні потужності компенсуючих ККУ, визначені відповідно на першому та другому етапах розрахунку.

Потім сумарна потужність компенсуючих ККУ- 0,38 кВ пропорційно розподіляється між окремими трансформаторами цехових трансформаторних підстанцій відповідно до їхніх реактивних потужностей, що забезпечує оптимальне регулювання і компенсацію реактивної складової в мережі.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант 26.

Таблиця 1.1. - Вихідні дані: Металургійна промисловість. Прокатний цех.

Електроприймачі напругою до 1 кВ																
Привід рольганів		Привід столів, що гойдаються		Вентилятори		Насоси, компресори		Крани, тельфери, ПВ=25%		Крани, тельфери, ПВ=40%		Зварювальні машини шовної зварки (потужність дана в кВА)		Елеватори, конвейєри 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
$\frac{130}{650}$	$\frac{1}{80}$	$\frac{150}{800}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{120}{1000}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{35}{300}$	$\frac{0,5}{40}$	$\frac{120}{1100}$	$\frac{5}{50}$	$\frac{45}{1150}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{50}{650}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{25}{300}$	$\frac{3}{20}$	9500

Таблиця 2.1. - Розрахунок електричних навантажень напругою до 1 кВ

Вихідні дані						Довідкові дані		Середнєзмін. навантаження за саму завантажену зміну		Ефективне число ЕП n_p	Коефіцієнт розрахункового навантаження K_p	Розрахунковий максимум навантаження			Розрахунковий струм I_p, A
№ п/п	Найменування характерних груп ЕП	Кол- во, n , шт	Паспортні дані характерних груп ЕП		Ном поту ж. харак терни х груп ЕП	Коефіцієнт використання , K_u	$\frac{\cos \varphi}{tg \varphi}$	$P_{см.} ,$ кВт	$Q_{см.} ,$ квар			$P_p ,$ кВт	$Q_p ,$ квар	$S_p ,$ кВА	
			Одного ЕП P_{nMIN} / P_{nMAX} , кВт	Загаль на $P_{насп.} ,$ кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Привід рольганів	130	$\frac{1}{80}$	650	650	0,3	$\frac{0,6}{1,33}$	195	259,4	-	-	-	-	-	-
2	Привід столів, що гойдаються	150	$\frac{1}{20}$	800	800	0,3	$\frac{0,6}{1,33}$	240	319,2	-	-	-	-	-	-
3	Вентилятори	120	$\frac{1}{30}$	1000	1000	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	650	487,5	-	-	-	-	-	-
4	Насоси, компресори	35	$\frac{0,5}{40}$	300	300	0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	195	146,3	-	-	-	-	-	-

Пізн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ												Лист
5	Крани, тельфери, ПВ=25%	120	$\frac{5}{50}$	1100	550	0,06	$\frac{0,45}{1,98}$	330	653,4	-	-	-	-	-	-	-	
6	Крани, тельфери, ПВ=40%	45	$\frac{10}{80}$	1150	727,3	0,06	$\frac{0,45}{1,98}$	43,6	86,4	-	-	-	-	-	-	-	
7	Зварювальні машини шовної зварки (потужність дана в кВА)	50	$\frac{10}{40}$	650	227,5	0,3	$\frac{0,35}{2,68}$	68,3	182,9	-	-	-	-	-	-	-	
8	Елеватори, конвейєри зблоковані	25	$\frac{3}{20}$	300	300	0,6	$\frac{0,7}{1,02}$	180	183,6	-	-	-	-	-	-	-	
9	ВСЬОГО силові ЕП	675	-	-	4554,8	$K_{и.зр.} = 0,42$	-	1901,9	2318,7	113,9	0,72	1369,4	2318,7	2692,9	-	-	
10	Освітлювальні ЕП (площа цеха F=9200 м²)	-	-	-	20	-	-	-	-	-	$K_{с.о.} = 0,95$	152,6	50,3	-	-	-	
11	ВСЬОГО по цеху	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2883,2	4528,7	5368,6	4096,3	-	

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-економічних розрахунків. При цьому враховуються такі фактори, як питома щільність навантаження, активне розрахункове навантаження, а також інші умови, визначені технічними вимогами.

Потужність цехових трансформаторів обирається з урахуванням питомої щільності навантаження цеху та загального розрахункового навантаження відповідного вузла, що виражається у кВА, S_p :

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

При питомій щільності навантаження, що перевищує 0,2-0,3 кВА/м², та загальному сумарному навантаженні понад 3000-4000 кВА, доцільно використовувати цехові трансформатори потужністю в діапазоні від 1600 до 2500 кВА. Якщо ж питомі показники та загальне навантаження знаходяться нижче цих значень, зазвичай застосовують трансформатори з потужністю від 400 до 1000 кВА.

Для трансформаторів цехових підстанцій рекомендується застосовувати такі типові коефіцієнти завантаження:

✓ для цехів з переважним навантаженням першої категорії при наявності двох трансформаторних підстанцій – коефіцієнт завантаження $\beta = 0,65 - 0,7$;

✓ для цехів з домінуючим навантаженням другої категорії, що мають трансформаторні підстанції з взаємним резервуванням трансформаторів – коефіцієнт завантаження $\beta = 0,7 - 0,8$;

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

✓ для цехів з навантаженням другої категорії за умови використання централізованого резервування трансформаторів, а також для цехів третьої категорії – коефіцієнт завантаження $\beta = 0,9 - 0,95$.

В рамках даної роботи проводиться розрахунок внутрішньоцехової системи електропостачання прокатного цеху металургійного підприємства. Цей цех включає електроприймачі як першої, так і другої категорії за ступенем безперебійності електропостачання.

Електроприймачі першої категорії забезпечуються живленням від двох незалежних електропостачальних пунктів (ІП), при цьому можливі короткочасні переривання живлення лише на час спрацьовування системи мережної автоматики (автоматичного введення резерву — АВР).

Електроприймачі другої категорії також живляться від двох незалежних ІП, але у випадку відключення живлення допускається його перерва на час ручного введення резервного живлення.

Таке організаційне рішення дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності та безперебійності електропостачання відповідно до технічних вимог та категорії обладнання.

Для живлення електроприймачів першої та другої категорій рекомендується використовувати однострансформаторні цехові підстанції типу 10-6/0,4-0,23 кВ. При цьому важливо забезпечити резервування потужності за допомогою перемичок низької напруги, пропускна здатність яких має бути достатньою для безперебійного живлення найвідповідальніших споживачів.

Використання однострансформаторних підстанцій дозволяє розміщувати їх максимально близько до основних центрів електричних навантажень. Це скорочує довжину ліній передачі електроенергії, що, в свою чергу, сприяє зменшенню втрат електроенергії та підвищенню загальної енергоефективності системи.

Двохтрансформаторні цехові підстанції доцільно застосовувати у випадках концентрованих високих навантажень, коли питомі показники

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження перевищують певний рівень ($\gamma > 0,2 \text{ кВА/м}^2$), а також при переважанні споживачів першої категорії за ступенем безперебійності електропостачання.

Процес вибору кількості цехових трансформаторів здійснюється таким чином: для кожної технологічно концентрованої групи трансформаторів однакової потужності визначається мінімальна кількість обладнання, необхідна для живлення максимального розрахункового активного навантаження.

Цей показник розраховується за спеціальною формулою, що враховує характеристики навантаження та технічні параметри трансформаторів:

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

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.

$$N_{mMIN} = \frac{1568}{0,83 \cdot 630} + 0,01 = 3 \text{ шт.}$$

Економічно оптимальне число трансформаторів визначається:

$$N_{opt.} = N_{mMIN} + m = 2,99 + 0,01 = 3, \text{ шт.},$$

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

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.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

$$Q_T = \sqrt{(0,83 \cdot 4 \cdot 630)^2 - (1568)^2} = 46,9 \text{ (квар)}.$$

Сумарна потужність низьковольтних батарей конденсаторів (НБК), квар, яка забезпечує економічно оптимальне число трансформаторів, визначається: $Q_{нк1} = Q_{p\Sigma} - Q_T$, квар; $Q_{нк1} = 2384,2 - 46,9 = 2337,3$ (квар).

Потужність НБК, що доводиться на один трансформатор:

$$Q_{нк1}' = \frac{Q_{нк1}}{N_{opt.}}, \text{ квар}; Q_{нк1}' = \frac{2337,3}{3} = 779,1 \text{ (квар)}.$$

По цьому значенню вибираємо стандартне значення комплектних конденсаторних установок $Q'_{нк.спр.}$ (табл. 9.2 [2]): 2ККУ-0,38-324-150.

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

$$Q''_{нк1.спр.} = N_{opt.} \cdot Q'_{нк1.спр.}, \text{ квар}; Q''_{нк1.спр.} = 2 \cdot 3 \cdot 324 = 1944 \text{ (квар)}.$$

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:

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Нескомпенсована реактивна потужність в мережі до 1 кВ складе:

$$Q_{\text{неск.}} = (Q_{\text{р.}} + Q_{\text{р.о.}}) - Q''_{\text{нк1.спр.}}, \text{ квар}; Q_{\text{неск.}} = 2384,2 - 1944 = 440,2 \text{ (квар)}.$$

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

$$Q_{\text{нк2}} = 440,2 - 0,44 \cdot 3 \cdot 630 = -391,4 \text{ (квар)}.$$

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розміщення цехових трансформаторів на площі цеху

Місце розташування цехових трансформаторних підстанцій (КТП) визначається насамперед щільністю електричних навантажень у цеху, плануванням і розміщенням технологічного обладнання з урахуванням можливості інтеграції внутрішньоцехових компенсуючих пристроїв, а також специфічними умовами мікроклімату, що залежать від особливостей технологічного процесу.

Найбільш доцільним є використання КТП, які монтуються незалежно від конструктивних елементів будівлі, що значно спрощує їх встановлення та обслуговування. Розміщення підстанцій у безпосередній близькості до основних центрів навантаження дозволяє значно знизити витрати на кольорові метали (провідники) та зменшити втрати електроенергії в цехових розподільних мережах.

Впровадження системи дроблення підстанцій із максимально можливим наближенням до точок споживання електроенергії дає змогу на етапі проектування ефективно вирішувати питання енергозбереження та підвищувати надійність електропостачання.

При виборі місця розташування КТП, а також потужності і кількості трансформаторів необхідно враховувати не лише розрахункові електричні навантаження, але й умови навколишнього середовища, а також вимоги до ступеня безперебійності живлення.

Залежно від цих факторів, а також від специфіки технологічного процесу, компоновка цехових трансформаторних підстанцій може бути різною: внутрішньоцеховою, вбудованою в будівлю, прибудованою або як окремо розташована будівля.

У випадку з конверторним цехом металургійного підприємства, що розглядається в даному проекті, обрана схема внутрішньоцехового розміщення трансформаторів. Внутрішньоцехові підстанції розміщуються в колонних рядах цеху, переважно у «мертвих» зонах роботи мостових кранів,

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

що забезпечує зручний доступ для обслуговування та мінімізує вплив на виробничий процес.

Для виробництв без пересувного обладнання цехові трансформаторні підстанції забезпечують глибоке введення напруги вище 1 кВ безпосередньо до місць споживання електроенергії. Це дозволяє скоротити довжину низьковольтних мереж (НН), що в свою чергу знижує матеріаломісткість внутрішньоцехових мереж, економить кошти на їх будівництво і експлуатацію, а також зменшує втрати електроенергії в розподільній системі.

Такий підхід підвищує ефективність електропостачання та сприяє стабільній роботі технологічного процесу.

Двотрансформаторні КТП звичайно застосовують при великій щільності навантаження ($\gamma > 0,2$ кВА/м²), а також за наявності ЕП 1-й категорії. Потужність трансформаторів двотрансформаторної КТП вибирається з урахуванням допустимого перевантаження трансформаторів, згідно ДСТ 14209-85, рисунок 2.1.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

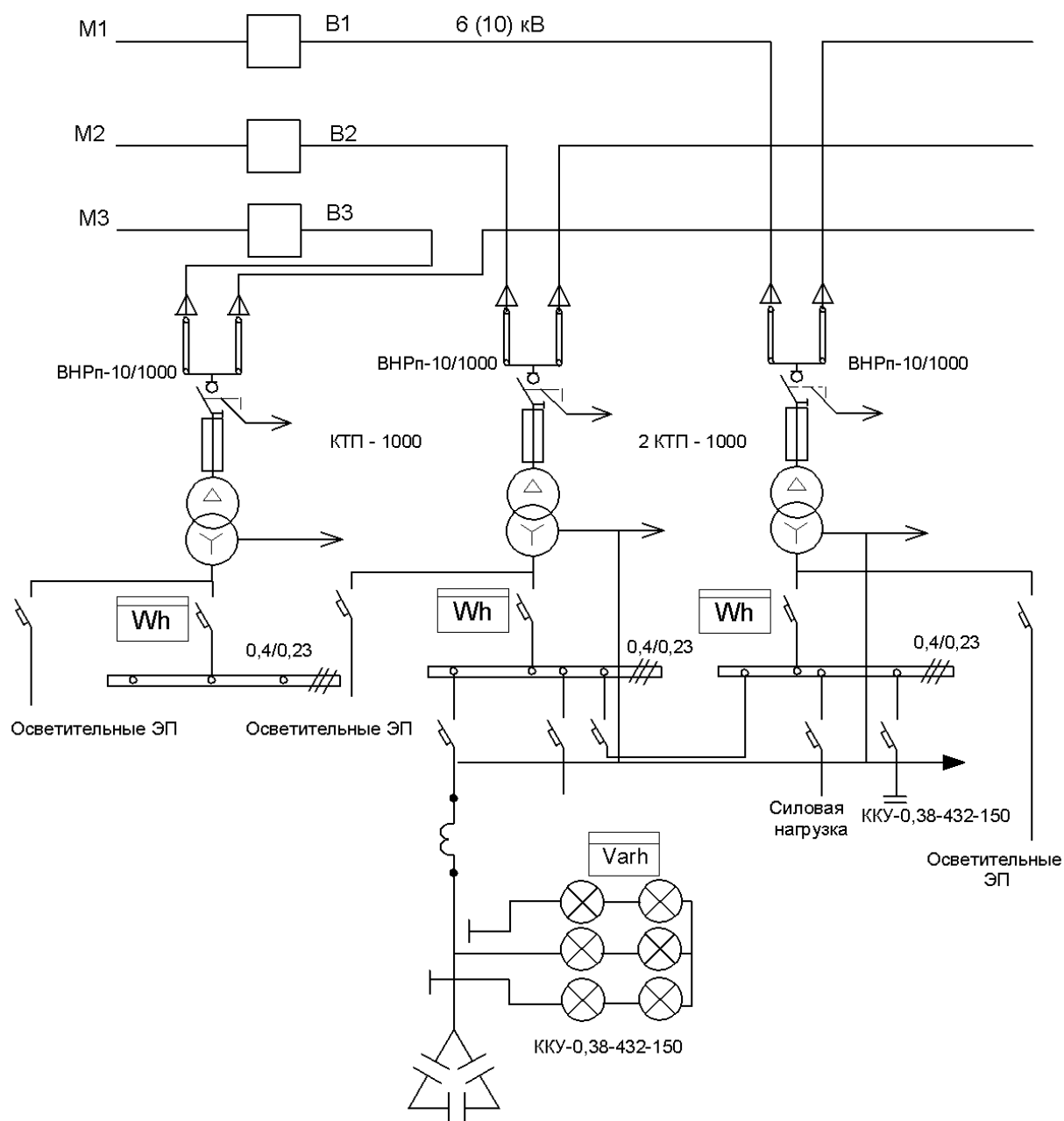


Рисунок 2.1. - Схема сумісного живлення силового та освітлювального навантаження від КТП з КРП в мережі до 1 кВ.

2.4. Вибір схеми внутрішньоцехової мережі напругою до 1 кВ

Схема живлення цехових трансформаторів визначається кількістю трансформаторів, їх розташуванням на площі цеху, а також категорією навантажень, які вони забезпечують електроенергією. Відповідно до «Інструкції з проектування електропостачання промислових підприємств», рекомендовано живити цехові трансформатори по подвійних крізних магістралях, причому оптимальна кількість трансформаторів у магістралі залежить від їх номінальної потужності: для трансформаторів потужністю 1600–2500 кВА зазвичай передбачають 2–3 одиниці, а для трансформаторів меншої потужності - 3–4 одиниці. Якщо ж у магістралі працює лише два трансформатори, живлення зазвичай здійснюють по радіальних лініях.

В останні роки, особливо при розташуванні трансформаторних підстанцій у безпосередній близькості до центрів електричних навантажень у мережах напругою до 1 кВ, набирає популярності схема БТМ (блок трансформатор-магістраль), яка представлена на рис. 2.2 а, б. Ця схема дозволяє підвищити гнучкість розподілу електроенергії та спростити монтаж і обслуговування.

Залежно від структури, внутрішньоцехові мережі можуть бути радіальними, магістральними або змішаними.

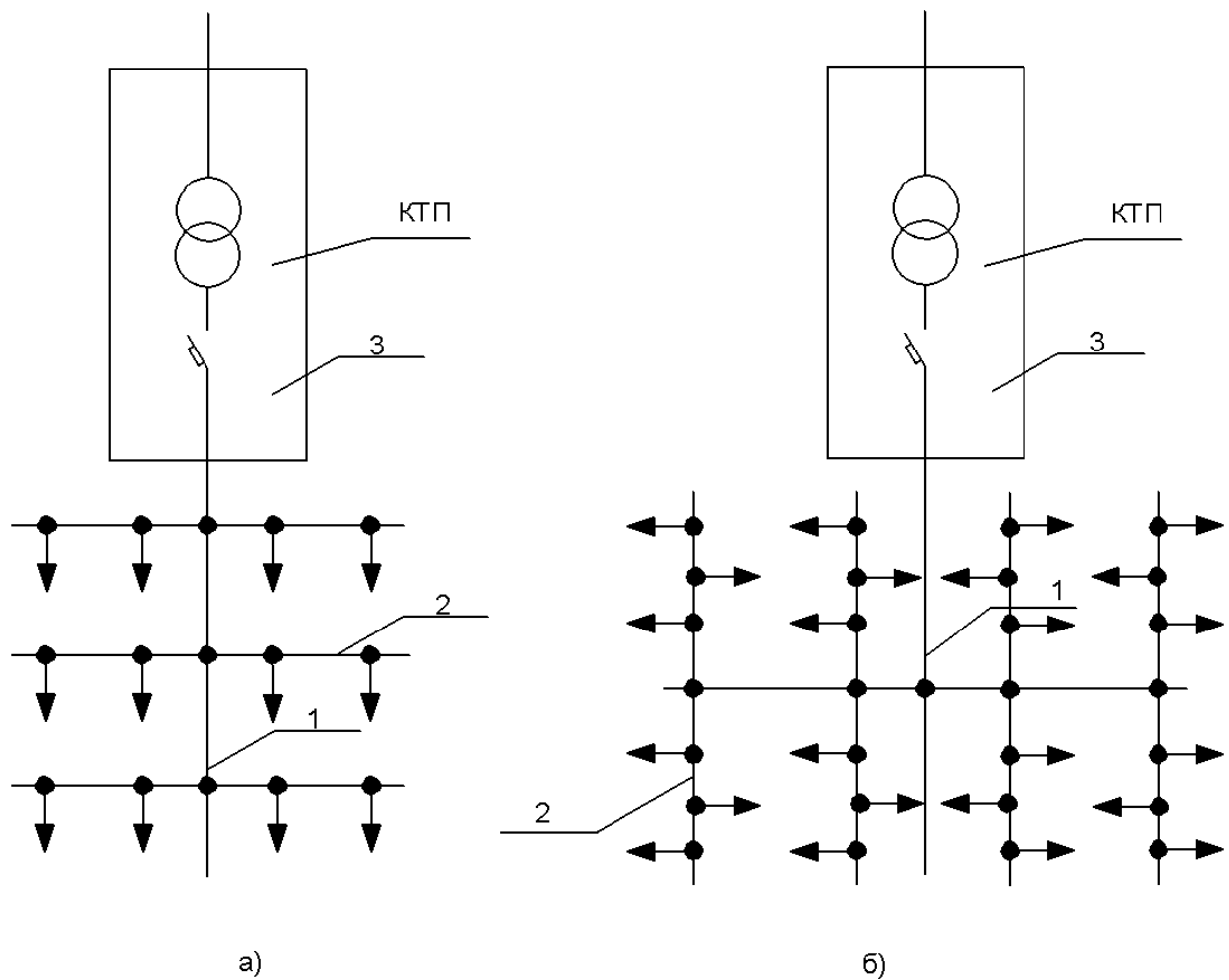
Радіальні схеми передбачають, що електроприймачі низьковольтної мережі живляться окремими лініями, що безпосередньо відходять від розподільчого пункту низької напруги трансформаторної підстанції. Такі схеми застосовуються переважно при зосереджених і нерівномірно розподілених по площі навантаженнях, а також у вибухо- і пожежонебезпечних цехах, насосних і компресорних станціях. Основною перевагою радіальних схем є їх висока надійність: у разі аварії на одній лінії інші споживачі не втрачають живлення. Однак недоліком є значні капіталовкладення через необхідність прокладання великої кількості кабелів і ліній.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Магістральні схеми рекомендуються для випадків, коли електричні навантаження розташовані відносно рівномірно по площі цеху або для живлення груп споживачів, які належать до однієї технологічної лінії. Ця схема базується на використанні шинопроводів, що дозволяє застосовувати індустріальні методи монтажу і зменшує загальну довжину кабельних ліній. До переваг магістральних схем належить економічність і зручність монтажу, однак їх надійність нижча, ніж у радіальних, оскільки аварія на магістралі призводить до відключення всіх підключених до неї споживачів. Водночас встановлення резервних перемичок між найближчими магістралями значно підвищує надійність системи живлення.

З огляду на переваги та недоліки як радіальних, так і магістральних мереж, на практиці в умовах експлуатації найчастіше використовують змішані схеми, які поєднують у собі найкращі характеристики обох типів, забезпечуючи баланс між надійністю, економічністю і гнучкістю електропостачання в межах цеху.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 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.

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

Під час експлуатації електричної мережі можуть виникати порушення нормального режиму роботи, такі як перевантаження або короткі замикання (КЗ). Тому цехові електричні мережі повинні бути надійно захищені від аварійних режимів для забезпечення безперебійної і безпечної роботи обладнання.

Для захисту внутрішньоцехових мереж застосовують різні захисні пристрої, зокрема плавкі запобіжники, автоматичні повітряні вимикачі (автомати) та теплові реле магнітних пускачів.

Вибір типу і параметрів автоматичних вимикачів здійснюється на основі розрахункової схеми (рис. 2.3), де чітко позначені місця їх розміщення та функціональне призначення.

Автомати QF1 – QF3 призначені для захисту асинхронних двигунів з параметрами, вказаними на схемі. Ці двигуни встановлені у приміщеннях з нормальним кліматичним середовищем, а їх режим роботи визначається режимом роботи приводного механізму.

Автомати QF4 – QF7 мають однакові параметри, оскільки вони забезпечують захист електроприймачів (ЕП), підключених до розподільчих шинопроводів ШРА1 – ШРА4, які навантажені рівномірно.

Автомат QF8 є ввідним вимикачем, параметри якого визначаються виходячи з встановленої потужності трансформатора з урахуванням можливих перевантажень, допустимих за стандартом ДСТ 14209-85.

Автомат QF9 виконує функції секційного вимикача, а його параметри обираються відповідно до параметрів ввідного автомата.

Вибір параметрів автоматичних вимикачів QF1 – QF3 починається з визначення номінальних струмів двигунів, які вони захищають. Для цього спочатку за довідковими даними визначають тип і потужність двигунів, а потім, виходячи з цих даних, визначають їх номінальні струми. Це дозволяє правильно підібрати параметри автоматів для ефективного захисту від

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

перевантажень та коротких замикань, забезпечуючи надійну роботу електрообладнання:

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

Результати розрахунків заносяться в таблицю 2.2.

По довіднику визначаємо кратність пускових струмів, а потім і пусковий струм двигунів:

$$I_{пуск.} = k_{П} \cdot I_{н.дв.}, \text{ А; } I_{пуск.} = 6 \cdot 28,5 = 171 \text{ (А)}.$$

По розрахункових величинах приймаємо до установки автомат типу А3710 з номінальними параметрами (табл. 10.4 [3]). При виборі номінального струму комбінованого електромагнітного розчеплювача автомата, вбудованого в шафу, слід враховувати тепловий поправочний коефіцієнт 0,85:

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

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

Встановлюємо неможливість спрацьовування (відбудовуємося від пускових струмів) автомата при пуску двигуна: $I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot I_{пуск.}, \text{ А; } I_{ср.эл.} = 1,25 \cdot 171 = 213,8 \text{ (А)}$.

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:

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

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

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Вибір ввідного автомата

Ввідні автомати вибирають по встановленій потужності цехових трансформаторів з урахуванням їх можливого перевантаження в післяаварійному режимі, згідно ГОСТ 14209-89:

$$I_{н.ав.} = \frac{1,4 \cdot S_{ном.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1341,6 \text{ (A)}.$$

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

$$\frac{I_{н.ав.}}{0,85} \leq I_{ном.расц.}; \frac{1341,6}{0,85} \leq I_{ном.расц.}; 1578,4 \leq 1600$$

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

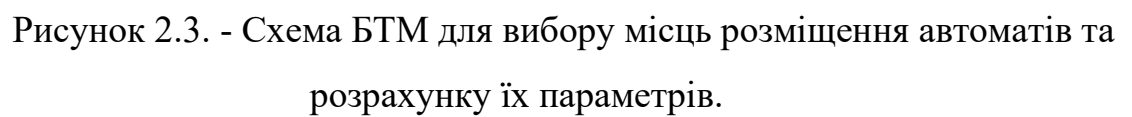
Вибір секційного автомата

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

$$I_{р.секц.} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot I_{н.ав.}}{0,85}, \text{ A}; I_{р.секц.} = \frac{(0,6 \div 0,7) \cdot 1341,6}{0,85} = 947 \text{ (A)}.$$

Приймаємо до установки автомат типу ВА 55-41, $I_{н.ав.} = 1000 \text{ A}$.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 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: $I_p \leq I_{\text{дл.доп.}}$; $I_{\text{р.ШРА}} = 303 \text{ (А)}$; $I_{\text{р.ШМА}} = 1341,6 \text{ (А)}$.

Вибір перетинів проводів та кабелів напругою до 1 кВ необхідно здійснювати після вибору захисних апаратів, оскільки обране за умови нагріву перетин с.в.ч. перевіряють на відповідність захистів за умови:

$$I_{\text{дл.доп.}} \geq K_z \cdot I_z;$$

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

K_z - коефіцієнт захисту, який визначається по таблиці (довідкові дані); для обраних умови, за яких експлуатується обладнання – вибухо- та пожежобезпечне, обладнання працює з можливим технологічним перевантаженням (тельфери, крани, зварювальні агрегати), провода і кабелі пропонується 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 розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Аналогічно вибираємо перетин проводів до двигунів АД2 і АД3.

Надалі вибираємо перетин розподільного шинопроводу типу ШРА-73, $I_{\text{ном.}} = 250 \text{ А}$ за тими ж умовами, що і кабелі.

Здійснюємо перевірку обраних перетинів за втратою 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;

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{1562,5}{2715} = 0,58; \sin \varphi = 0,82.$$

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Всі розрахунки зви доми до таблиці 2.2.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 - Вибір параметрів автоматів і СВЧ

№ авто мат а	Назва автомат а (місце в схемі)	Номинал ьна. потуж. Рн, кВт/ Розраху нкове наванта ження Рр, кВт; Sp, кВА	Номинальний струм Ін, А/ Розрахунковий струм Ір, А	Кратність пускового струму Кп	Пусковий струм, пиковий струм, Іп, А	Тепловий поправочний коефіцієнт	$\frac{I_{ном}}{0,85}, А$ $\frac{I_p}{0,85}, А$	Номинальний струм розчеплювача Ірасц, А	Струм уставки розчеплювача	Тип автомата, Ін, А	Коефіцієнт захисту Кз	Допустимий струм ТВЧ, Ід, А	Перевірка вибраного перетину по умові	Остаточно вибрана марка і перетин ТВЧ, мм ²	Перевірка СВЧ по втраті напруги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
QF ₁	ШРА-1- АД-1	15	28,5	6	171	0,85	33,5	100	400	А3710Б	1	115	115	АВВГ (3х25)	2,34
QF ₂	ШРА-1- АД-2	22	41,6	6	249,6	0,85	48,9	125	400	А3710Б	1	140	140	ААВГ (3х35)	3,41
QF ₃	ШРА-1- АД-3	70	127,2	6	763,2	0,85	149,6	160	1000	А3710Б	1	170	170	АВВГ (3х70)	10,43
QF ₄	ШМА- ШРА-1	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF ₅	ШМА- ШРА-2	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF ₆	ШМА- ШРА-3	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF ₇	ШМА- ШРА-4	-	197,3	-	960,5	0,85	232,1	250	1600	А3720Б	1	400	-	ШРА-73	-
QF ₈	Тр-р- ШМА	630	1341,6	-	-	-	-	1600	-	ВА55-43	-	1600	-	ШМА- 73	-
QF ₉	Секційн ий	-	947	-	-	-	-	1000	-	ВА55-41	-	1000	-	ШМА- 73	-

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

Перевірка апаратів і струмоведучих частин на стійкість дії струмів КЗ.

Метою розрахунку струмів коротких замикань (КЗ) в мережах з напругою до 1 кВ є перевірка вибраних захисних апаратів — автоматичних вимикачів та запобіжників — на їх здатність надійно спрацювати при аварійних режимах. Зокрема, розрахунок дозволяє оцінити стійкість захистів по граничному струму відключення, а також їх чутливість до різних видів КЗ.

Для оцінки стійкості захисних пристроїв визначається максимальне значення струму трифазного короткого замикання в різних точках мережі. Водночас для перевірки чутливості захистів розраховують мінімальне значення струму однофазного КЗ в електрично віддалених від джерела живлення точках, де виникають найбільш складні умови для спрацювання захисних апаратів.

Особливістю розрахунків струмів коротких замикань в мережах до 1 кВ є:

- ✓ Використання іменованих одиниць вимірювання, що дозволяє більш точно врахувати параметри обладнання та елементів мережі.
- ✓ Обов'язковий урахунок як активних, так і індуктивних опор усіх складових короткозамкнутого ланцюга, включаючи провідники, трансформатори струму, струмові котушки автоматів, а також опори, що виникають в дугових розрядах, контактах і контактних з'єднаннях.

Покроковий порядок розрахунку струмів коротких замикань включає:

1. Складання розрахункової схеми мережі, на якій позначаються всі точки потенційного виникнення КЗ і відповідні струми.
2. Побудова схеми заміщення, в якій усі елементи мережі замінюються їх еквівалентними активними і індуктивними опорами для урахування реальних параметрів електричного кола.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Обчислення опор елементів мережі, зокрема опор прямої та нульової послідовностей, а також опор ланцюга фаза-нуль, що необхідно для повного опису характеристик короткозамкненого ланцюга.

4. Визначення значень струмів трифазного та однофазного коротких замикань у ключових точках мережі, які є критичними для роботи захистів.

Дана методика розрахунку відповідає вимогам державного стандарту ДСТ 28249-89 «Методика розрахунків струмів коротких замикань в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ», що гарантує її відповідність технічним нормам і забезпечує безпечну і надійну роботу електрообладнання в промислових мережах.

.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

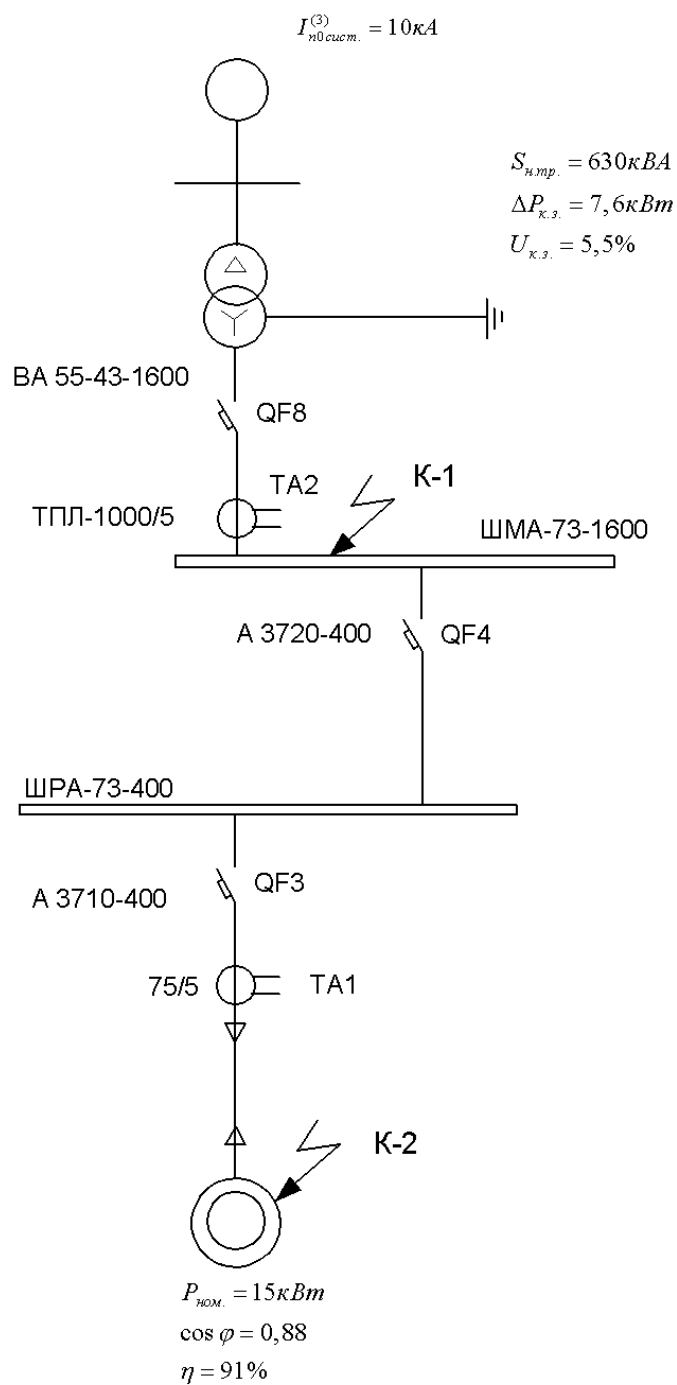


Рисунок 2.4. - Розрахункова схема

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

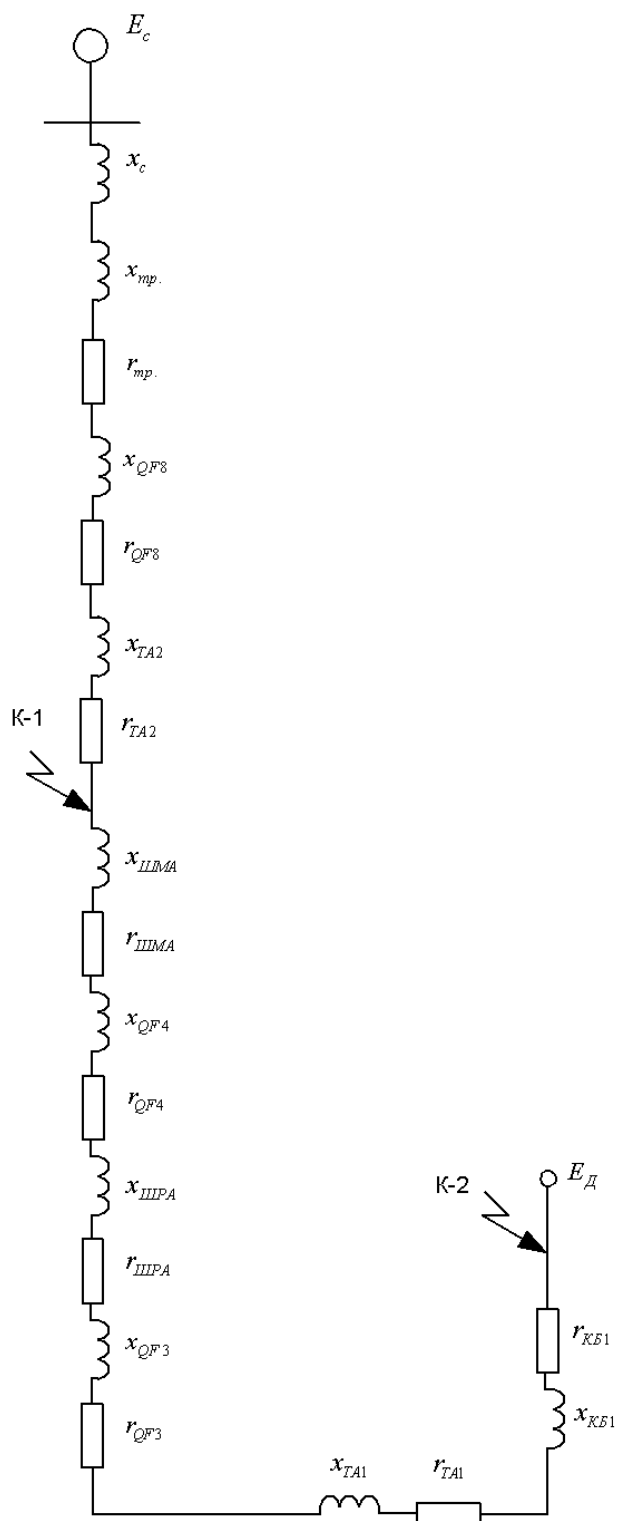


Рисунок 2.5. - Схема заміщення.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7.1. Розрахунок початкового значення періодичної складової струму трифазного короткого замикання

При електропостачанні електроустановок від енергосистеми через знижуючий трансформатор початкове діюче значення періодичної складової

$$\text{струму трифазного к.з.: } I_{\Pi 0}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

де $U_{\text{ср.нн}}$ - 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 – 630-10/0,4; $U_{\text{к.з.}} = 5,5\%$;
 $\Delta P_{\text{к.з.}} = 7,6 \text{ кВт}$.

Ці опори для точки к.з. К-1 визначають наступним чином:

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

де x_c - еквівалентний індуктивний опір системи до знижувального трансформатора, приведене до сторони низької напруги:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.нн}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.з.вн}} \cdot U_{\text{ср.вн}}}; \quad x_c = \frac{400^2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10,5} = 0,8 \text{ (мОм)}.$$

де $U_{\text{ср.вн}}$ - середня номінальна напруга мережі, до якої підключена обмотка вищої напруги трансформатора, В;

$I_{\text{к.з.вн}}$ - діюче значення періодичної складової струму при трифазному к.з. у виводів обмотки вищої напруги трансформатора, кА;

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

Опори (питомі) елементів мережі приведені в табл. 2.3.

Активні і індуктивні опори прямої послідовності знижувальних трансформаторів r_{1T} і x_{1T} визначаються по виразах:

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{1T} = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_{н.НН}^2 \cdot 10^6}{S_{н.тр.}^2}; \quad x_{1T} = \sqrt{U_{к.з.}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{к.з.}}{S_{н.тр.}} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot U_{н.НН}^2}{S_{н.тр.}},$$

де $\Delta P_{к.з.}$ - втрати к.з. в трансформаторі, кВт (довідкові дані трансформатора); $\Delta P_{к.з.} = 7,6 \text{ кВт}$

$U_{к.з.}$ - 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; $S_{н.тр.} = 630 \text{ кВА}$.

$$r_{1T} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{630^2} = 3,07 \text{ (мОм)}; \quad x_{1T} = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{10^4 \cdot 0,4^2}{630} = 13,7 \text{ (мОм)}.$$

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 = 3,26 \text{ (мОм)}; \quad x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 = 14,65 \text{ (мОм)}.$$

$$I_{IIO}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,25^2 + 14,65^2}} = 15,3 \text{ (кА)}.$$

Необхідність врахування впливу електродвигунів при розрахунку струму к.з. визначається із співвідношення: $I_{н.дв. \Sigma} \leq 0,1 \cdot I_{к.з.}^{(3)}$; $303 \leq 0,1 \cdot 15300$.

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

2.7.2. Розрахунок струмів однофазного короткого замикання в точці к.з.

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

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

$$\text{де } r''_{1\Sigma} = r'_{1\Sigma} + (r_{\phi-0Ш1} + r_{\phi-0Ш2} + r_{\phi-0КБ}); \quad r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + r_{1Ш1} + r_{A4} + r_{1Ш2} + r_{A3} + r_{TA2} + r_{1КБ};$$

$$x''_{1\Sigma} = x'_{1\Sigma} + (x_{\phi-0Ш1} + x_{\phi-0Ш2} + x_{\phi-0КБ}); \quad x'_{1\Sigma} = x_{1\Sigma} + x_{1Ш1} + x_{A4} + x_{1Ш2} + x_{TA2} + x_{1КБ}.$$

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.

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

$$r_{1\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,03 \cdot 35 + 0,65 + 0,15 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 1,28 \cdot 20 = 36,7 \text{ (мОм)};$$

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

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,014 \cdot 35 + 0,17 + 0,17 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,06 \cdot 20 = 24,79 \text{ (мОм)}$$

$$r'_{1\Sigma} = r_{1\Sigma} + (r_{\phi-0III1} + r_{\phi-0III2} + r_{1KB}); \quad r'_{1\Sigma} = 36,7 + (0,067 \cdot 35 + 0,262 \cdot 20 + 20 \cdot 4) = 124,28 \text{ (мОм)};$$

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

$$x'_{1\Sigma} = 24,79 + (0,056 \cdot 35 + 0,294 \cdot 20 + 0,15 \cdot 20) = 35,63 \text{ (мОм)}.$$

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

$$r_{0\Sigma} = 3,07 + 0,14 + 0,05 + 0,037 \cdot 35 + 0,65 + 0,162 \cdot 20 + 0,14 + 3 + 20 \cdot 2,5 = 61,58 \text{ (мОм)};$$

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

$$x_{0\Sigma} = 13,7 + 0,08 + 0,07 + 0,042 \cdot 35 + 0,17 + 0,164 \cdot 20 + 0,08 + 4,8 + 0,075 \cdot 20 = 24,15 \text{ (мОм)}.$$

$$I_{n0min}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2 \cdot r'_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x'_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 124,28 + 61,58)^2 + (2 \cdot 35,63 + 24,15)^2}} = 2,13 \text{ (кА)}$$

А)

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

де $I_{n0}^{(3)}$ - максимальний струм трифазного короткого замикання. $18 \geq 15,3$ - 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, $2,13 \geq 1,25 \cdot 1$ - автомат задовольняє умові перевірки на чутливість захистів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	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 для живлення електроприймачів (ЕП), повинна відповідати встановленим якісним параметрам згідно з ДСТ 13109-87. Ці параметри забезпечують стабільну, надійну і економічно ефективну роботу електрообладнання, запобігаючи збої, передчасний знос та підвищені втрати енергії.

П Правилах улаштування електроустановок (ПУЕ) чітко зазначено, що вся електрична мережа — від цехової трансформаторної підстанції до безпосередніх електроприймачів — повинна проходити перевірку на відповідність допустимим відхиленням напруги. При цьому оцінка здійснюється з урахуванням режиму напруги на шинах центру живлення, адже саме ці параметри визначають стабільність і якість електроживлення в кінцевих точках споживання.

Якщо виявлено, що відхилення напруги виходять за межі допустимих норм, то необхідно впроваджувати технічні заходи, спрямовані на регулювання напруги в мережі. До таких заходів можуть належати встановлення автоматичних регуляторів напруги, використання компенсуючих пристроїв, а також оптимізація режимів роботи трансформаторів і розподільних пристроїв. Це забезпечує підтримання напруги в межах, необхідних для безпечної і ефективної роботи всього електроустаткування.

Таким чином, дотримання встановлених стандартів і правил забезпечує не лише надійність енергопостачання, а й продовжує термін служби обладнання, знижує експлуатаційні витрати і підвищує загальну ефективність електроенергетичної системи на підприємстві.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

$$U = \frac{U_{\phi} - U_{ном.}}{U_{ном.}} \cdot 100\%.$$

Нормативно допустиме відхилення напруги в мережах низької напруги становить $\pm 5\%$, тоді як максимальне допустиме відхилення в мережах низької та високої напруги (до 20 кВ) не повинно перевищувати $\pm 10\%$.

Шкода, що спричиняється відхиленнями напруги, має дві основні складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова полягає у збільшенні втрат електроенергії в елементах мережі через підвищений струм або зниження ефективності, тоді як технологічна складова пов'язана зі зниженням продуктивності технологічного обладнання та, відповідно, зменшенням продуктивності праці.

Особливо чутливими до коливань напруги є освітлювальні установки та конденсаторні батареї, що може призводити до їх некоректної роботи або прискореного зносу.

Допустимі значення відхилення напруги на вторинній стороні трансформатора визначаються окремими нормативними документами та залежать від типу і категорії електроспоживачів:

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

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

U_1 - відхилення напруги на первинній стороні трансформатора;

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

U_{01} - відхилення напруги регулювального відгалуження;

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

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ΔU_T - втрати напруги в трансформаторі:

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

$$\text{або } \Delta U_T = \frac{Q_p}{\sin \varphi} \cdot U_{к.з.},$$

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: $S_{н.мп.} = 630 \text{ кВА}$, $U_{к.з.} = 5,5\%$, $\Delta P_{к.з.} = 7,6 \text{ кВт}$.

Навантаження трансформатора розраховується по формулі:

$$S_{p.} = \frac{\sqrt{P_{p.}^2 + Q_{неск.}^2}}{N_{\min}}; S_{p.} = \frac{\sqrt{1562,5^2 + 474,2^2}}{3} = 544,3 \text{ (кВА)}.$$

Коефіцієнт активної потужності визначаємо, виходячи із значення коефіцієнта реактивної потужності: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{неск.}}{P_{p.\Sigma}} = \frac{474,2}{1725,5} = 0,27$. Отже, $\sin \varphi = 0,27$, $\cos \varphi = 0,96$.

Трансформатор має номінальну напругу виводів $10 \pm 2 \times 2,5\% / 0,4 \text{ кВ}$. На стороні ВН трансформатора підтримується напруга $10,5 \text{ кВ}$ ($U_1 = 5\%, U_n = 0$).

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:

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

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

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

Отримане значення знаходиться в межах норми.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.9. Проектування однолінійної схеми електропостачання вузла навантаження

При проектуванні внутрішньоцехових систем електропостачання (СЕП) необхідно враховувати впровадження сучасних технічних рішень, а також використання нового вітчизняного обладнання, що відповідає сучасним стандартам якості та ефективності. Застосування інноваційних технологій дозволяє підвищити надійність, енергоефективність і безпеку роботи електроустановок, а також забезпечує економію ресурсів і скорочення експлуатаційних витрат.

Основні етапи проектування внутрішньоцехових СЕП були детально розглянуті і опрацьовані в ході виконання бакалаврської роботи. Вони включають аналіз електричних навантажень, вибір типів та потужностей трансформаторів, розробку схеми живлення, а також визначення засобів захисту та автоматизації.

В результаті проектування була створена однолінійна схема внутрішньоцехового електропостачання, яка наочно відображає структуру та взаємозв'язки між основними елементами системи (див. слайд 7 презентації). Ця схема є основою для подальшого технічного опрацювання та реалізації проекту на практиці.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі на тему «Проектування СЕП вузла навантаження прокатного цеху металургійної промисловості» було детально проаналізовано технологічний процес прокатного цеху металургійної промисловості, який є складним і енергомістким виробництвом. Визначено основні види електроспоживачів, їх режим роботи та категорії надійності, що впливають на вибір параметрів електропостачання. Особлива увага приділена специфіці конверторного цеху, що накладає вимоги щодо надійності та якості електропостачання, зокрема з урахуванням складного технологічного навантаження та вимог до безперебійної роботи.

Проведено комплексний розрахунок навантажень, що включає визначення сумарної потужності силових і освітлювальних споживачів, з урахуванням коефіцієнтів одночасності та режимів роботи обладнання. Це дозволило отримати обґрунтовану базу для подальшого вибору обладнання та параметрів мережі.

Визначено оптимальне число цехових трансформаторів з урахуванням потужності компенсуючих пристроїв, що забезпечує баланс між надійністю живлення і економічністю системи.

Проведено розрахунок додаткової потужності компенсуючих пристроїв для зниження втрат активної потужності, викликаних перетіканнями реактивної потужності, що позитивно впливає на ефективність роботи мережі.

Здійснено вибір оптимального розташування трансформаторів з урахуванням щільності навантажень, розміщення технологічного обладнання і умов мікроклімату. Запропоновано розміщення трансформаторів у зоні мінімальних експлуатаційних навантажень, що забезпечує зручність обслуговування і максимальну економію електроенергії.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз виконаних варіантів показав, що оптимальним рішенням є застосування змішаної схеми живлення, яка поєднує переваги радіальних та магістральних схем, забезпечуючи при цьому необхідний рівень надійності та економічності.

Обрано апаратуру з урахуванням характеристик електроприймачів і розрахункових параметрів мережі, що забезпечує ефективний захист від аварійних режимів і перевантажень. Вибір базувався на аналізі струмів короткого замикання та вимогах до швидкості і чутливості відключення.

Розрахунки підтвердили необхідність застосування струмоведучих частин з оптимальними перетинами, що дозволяє мінімізувати втрати електроенергії та забезпечити безпечну експлуатацію, при цьому враховані технічні норми і стандарти.

Проведено детальний розрахунок струмів короткого замикання, що дозволило перевірити надійність і відповідність комутаційної апаратури вимогам стійкості до максимальних струмів аварійних режимів, що гарантує безпеку системи в цілому.

Визначено, що відхилення напруги у проектованій системі знаходяться в межах допустимих норм, що забезпечує стабільну і надійну роботу електроприймачів, особливо чутливих до коливань напруги, таких як освітлювальні установки і компенсуючі пристрої.

Розроблена однолінійна схема відображає оптимальне розташування і послідовність підключення елементів внутрішньоцехової електромережі, враховуючи результати електричних розрахунків і вимоги до надійності та безпеки. Схема є основою для подальшої реалізації проекту на практиці.

Таким чином, виконана робота дозволяє розробити ефективну і надійну систему електропостачання прокатного цеху, що відповідає сучасним стандартам і технічним вимогам, забезпечуючи безперебійну роботу технологічного обладнання та оптимальне використання енергетичних ресурсів.

					ЕТ та ЕЕ 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

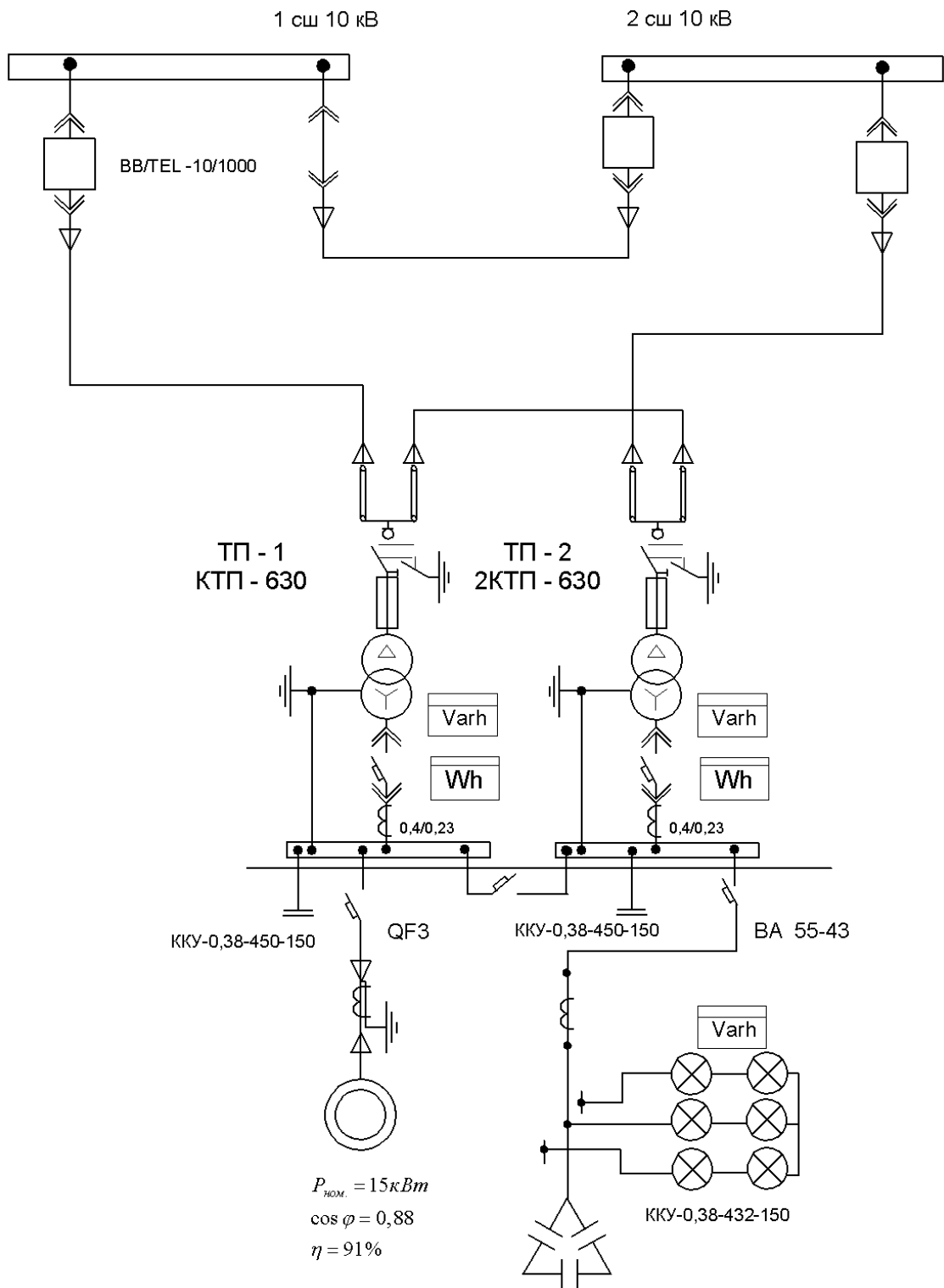


Рисунок 2.6. - Схема живлення цехових трансформаторів подвійними магістралями.

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 4815.026.000 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 4815.026.000 ПЗ	Лист
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		