

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Проект системи електропостачання цементно-шиферного заводу**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41

спеціальності 141

енергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Козачук Н. О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабюк С. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 23 » січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Козачуку Назару Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект системи електропостачання цементно-шиферного заводу

Керівник роботи Бабюк Сергій Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2024 року № 4/7-50

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Електрична схема цементного заводу, значення активних та реактивних опорів мережі, план розташування обладнання в цехах, плани цехів цементного заводу, графік навантаження трансформаторної підстанції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Генеральний план заводу. Картограма електричних навантажень заводу. Радіальна та змішана схема внутрішнього електропостачання заводу. План розміщення електрообладнання та електричної мережі. План освітлювальної мережі механічного цеху.

Схема заміщення електричної мережі заводу для розрахунку струмів к.з.

Схема заміщення для розрахунку струмів к.з. в цеху.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці			

7. Дата видачі завдання 23 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024	
2	Аналітичний розділ	28.02.2024	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2024	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2024	
6	Висновки	10.06.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2024	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2024	

Студент

_____ (підпис)

Козачук Н. О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабюк С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Козачук Назар Олександрович – Проект системи електропостачання цементно-шиферного заводу.

Стор. – 73; рис. - 2; табл. - 22; джерел - 18; додатків - - .

Метою роботи є розробка проекту системи електропостачання цементно-шиферного заводу.

Здійснено аналіз та проектування системи електропостачання заводу:

- виконано розрахунок споживання електроенергії на всьому заводі та окремо в механічному цеху;
- обґрунтовано та обрано оптимальну схему електропостачання для заводу;
- визначено необхідну кількість та потужність трансформаторних підстанцій;
- розроблено та розраховано схему внутрішнього електропостачання.
- виконано розрахунок струмів короткого замикання та підібрано апарати захисту (автоматичні вимикачі) та кабелі.
- розроблено та розраховано систему релейного захисту та автоматики.
- виконано розрахунок та проектування внутрішньоцехової електричної мережі.
- виконано розрахунки реактивної потужності, що потребує компенсації.
- підібрано вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму та трансформатори власних потреб підстанції;
- розроблено заходи з охорони праці та забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Перелік ключових слів: РОЗПОДІЛЬЧИЙ ПУНКТ, ЦЕНТР ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Впровадження енергозберігаючих технологій у електроприводі виробничих механізмів	8
1.2 Впровадження енергозберігаючих технологій в системі освітлення	12
1.3 Енергозберігаючі технології в системах компенсації реактивної потужності та регулювання напруги	13
1.4 Енергозбереження за рахунок економії та обліку	14
1.5 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи	16
1.6 Висновки до розділу 1	17
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Розрахунок електричного навантаження механічного цеху	18
2.2 Розрахунок електричного навантаження заводу	21
2.3 Висновки до розділу 2	26
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	27
3.1 Вибір кількості і потужності цехових трансформаторів.	27
3.2 Проект ГПП	32
3.2.1 Розрахунок струмів КЗ	32
3.2.2 Вибір обладнання. Вибір вимикачів і роз'єднувачів	40
3.2.3 Компонування ГПП	46
3.3 Релейний захист	46
3.3.1 Захист кабельних ліній напругою 10 кВ	46
3.3.2 Захист блоків «Трансформатор - магістраль»	49

3.3.3 Захист кабельних ліній напругою 0,38 кВ	51
3.3.4 Захист трансформаторів ГПП	52
3.3.5 Захист конденсаторних установок	57
3.3.6 Захист синхронних двигунів 10 кВ	58
3.4 Внутрішньоцехове електропостачання	60
3.4.1 Розрахунок силової мережі цеху	60
3.4.2 Розрахунок струмів к.з. в цеху	60
3.5 Висновки до розділу 3	62
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	63
4.1 Розробка заходів з охорона праці та техніки безпеки	63
4.2 Вимоги до проектування й побудови промислових підприємств	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71

ВСТУП

Сучасні цементно-шиферні заводи є енергоємними підприємствами, де електроенергія використовується для роботи численних технологічних агрегатів та установок. Від надійного та безперебійного електропостачання залежить не лише безперебійна робота заводу, але й безпека персоналу та довкілля.

Цементно-шиферний завод є важливим об'єктом промисловості, який виробляє будівельні матеріали для різних галузей. Однак безперебійне електропостачання є критичним для забезпечення нормальної роботи заводу. Ваша кваліфікаційна робота досліджує проект системи електропостачання цього заводу з метою покращення ефективності та надійності.

Розробка проекту системи електропостачання цементно-шиферного заводу, який буде відповідати сучасним вимогам надійності, безпеки та енергоефективності.

Об'єкт дослідження: Система електропостачання цементно-шиферного заводу.

Предмет дослідження: Методи та способи проектування систем електропостачання цементно-шиферних заводів.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз енергоспоживання цементно-шиферного заводу.
- Вибрати схему електропостачання заводу.
- Розрахувати необхідну потужність та кількість трансформаторних підстанцій.
- Розробити схему внутрішнього електропостачання заводу.
- Підібрати апарати захисту та кабелі.
- Розробити систему релейного захисту та автоматики.
- Провести розрахунок економії енергії від впровадження проекту.

Розробка проекту системи електропостачання цементно-шиферного заводу з урахуванням сучасних вимог енергоефективності та екологічної безпеки.

Розроблений проект системи електропостачання може бути використаний для проектування нових або модернізації існуючих систем електропостачання цементно-шиферних заводів.

Очікується, що в результаті дослідження буде розроблено проект системи електропостачання цементно-шиферного заводу, який буде відповідати сучасним вимогам надійності, безпеки та енергоефективності.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Впровадження енергозберігаючих технологій у електроприводі виробничих механізмів

У будь-якій галузі основними споживачами електричної енергії є електродвигуни. В Україні понад 50% усієї енергії споживається електродвигунами [1]. Тому основний економічний ефект від впровадження енергозберігаючих технологій слід очікувати від їхнього впровадження в електропривід механічного обладнання. Це означає, що система енергоспоживання має проектуватись як складова частина єдиного виробничо-технологічного комплексу [2].

Аналіз вихідних даних перед проектуванням дозволяє дійти невтішного висновку, що основним споживачем проектованої системи є електроенергетична установка. Крім того, деякі електроприводи (приводи машин) є регульованими, а більшість нерегульованими.

Традиційний нерегульований привід є асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором. Більше того, використання цих двигунів у мільйонних екземплярах довело їхню конструкцію до досконалості. Їх рентабельність визначається двома показниками: к.к.д та $\cos\varphi$, і залежить від потужності, маси активних матеріалів – сталі та міді. Потужність варіюється від 1 до 200 кВт. η коливається від 0.85 до 0.89, а $\cos\varphi$ - Від 0.76 до 0.88 для звичайних двигунів. У США компанія «Gould» розробила спеціальні енергозберігаючі електродвигуни із підвищеними показниками η та $\cos\varphi$. Для того ж діапазону потужностей $0,84 < \eta < 0,95$; $0,78 < \cos\varphi < 0,95$.

Основним способом підвищення ККД асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором у нерегульованому масовому електроприводі є «правильний» вибір потужності двигуна. Недовантажений або перевантажений двигун працюватиме з низьким ККД та низькими виробничими витратами.

Другий метод підвищення ефективності АД – використання сучасних

енергоєфективних двигунів.

Третій шлях – створення спеціальних технічних пристроїв, що гарантують мінімізацію витрат у нерегульованому електроприводі при відхиленні навантаження від номінального.

Ці спеціальні пристрої являють собою спеціальні регулятори, які підключаються між мережею та статором двигуна та керують режимом пуску та гальмування, регулюють крутний момент, забезпечують захист та діагностику.

Четвертий шлях – перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого. Привід вентилятора та насоса вважається традиційним нерегульованим електроприводом. У таких електроприводах асинхронний двигун з короткозамкненим ротором працював з номінальною частотою обертання та моментом, розрахованими на номінальне навантаження. Регулювання подачі рідини або входу та виходу повітря здійснюється за допомогою запірних пристроїв – кранів, поворотних кранів. Такі електроприводи працюють у потужних системах вентиляції, водопроводах та димососах теплових електростанцій.

Теоретично доведено, що регульоване джерело живлення відцентрових насосів та вентиляторів у діапазоні від номіналу до 0.67 споживає максимум $0,35P_{ном}$, а при регулюванні джерела живлення в тих же межах за рахунок регулювання частоти обертання - $0,17P_{ном}$.

Таким чином, при нерегульованому електроприводі вентиляторів та насосів теоретично можна знизити витрати до 20%.

Як відомо, основним недоліком асинхронних двигунів є неможливість регулювання частоти обертання в широких межах та залежність моменту валу від напруги. Тому на початку розвитку електроенергетики його використовували в регульованому електроприводі. Його альтернативою став двигун постійного струму живленням від генератора постійного струму з регулюванням напруги обмоткою збудження, тобто. за системою "генератор-двигун". Така система, володіючи хорошими, навіть відмінними

характеристиками управління, була дуже енергоємною, її ККД не міг бути вище 0,6 навіть за найвищого ККД кожної з трьох машин. Крім того, на 1 виробничу машину працювали 3 електричні машини, дві з яких давали енергію.

Окрім значних витрат на електроенергію, були значні витрати на матеріали – сталь та мідь. З розвитком тиристорної техніки та потужних тиристорних випрямлячів після 1960 р. системи регульованого електроприводу типу «генератор-двигун» стали замінювати системами тиристорний перетворювач напруги-двигун постійного струму. Така заміна суттєво підвищила ефективність регульованих електроприводів прокатних станів, прецизійних металорізальних верстатів, потужних кранів та екскаваторів. Заміна двох електричних машин системи ЗУ із загальним ККД 0,7-0,8 на один тиристорний випрямляч з ККД 0,92-0,95 суттєво знизилася матеріальні та енергетичні витрати. Але альтернативи двигуну постійного струму в системі електроприводу з регулюванням потужності, як і раніше, не було. Маючи прекрасні регульовані характеристики, його основним недоліком є наявність колекторно-щіткового вузла і велика питома маса, тобто витрата сталі і міді на одиницю потужності. Заміна двигунів постійного струму регульованого електроприводу на асинхронні двигуни із короткозамкненим ротором дозволила досягти значної економії сталі та міді, значно знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність. Альтернативою двигуну постійного струму в регульованому приводі може бути двигун постійного струму фазним ротором, тобто. двигун постійного струму з обмоткою на роторі, до якої можна підключити реостат.

Регулювання опору обмотки ротора дозволяє регулювати частоту обертання ротора. Але таке регулювання споживає багато енергії. Витрати пропорційні діапазону регулювання. Незважаючи на це, асинхронні двигуни із фазним ротором знайшли застосування в електроприводах кранів та ліфтів.

У 1980-1990-ті роки було розроблено методи регулювання частоти асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та створено технологічно придатні тиристорні перетворювачі частоти для асинхронних двигунів.

Так, серед усіх типів електродвигунів для електроприводу виробничих механізмів найбільш економічним є асинхронний двигун із короткозамкненим ротором. Єдиний недолік – неможливість регулювання частоти шляхом зміни напруги.

З розвитком тиристорної та обчислювальної техніки цей недолік було подолано. Якщо асинхронному двигуні одночасно змінюється напруга на обмотках статора U_ϕ та частота струму живлення f за законом $U/f = const$ асинхронний двигун із короткозамкненим ротором добре регулюється в широкому діапазоні без втрати вантажопідйомності. Характеристики регулювання цього методу аналогічні характеристик двигуна постійного струму при регулюванні напруги обмотки якоря.

Для реалізації зазначеного способу компанії Siemens, Schneider Electric та інші виробляють тиристорні перетворювачі частоти потужністю від 0.18 до 800 кВт із прямим цифровим керуванням.

Асинхронний електропривод з інверторними перетворювачами частоти знаходить дедалі більше застосування у верстатобудуванні. Істотного спрощення існуючих кінематики та редукторів фрезерних верстатів з ручним управлінням можна досягти за рахунок оснащення їх приводами з діапазоном регулювання головного механізму переміщення до 10 і механізму подачі - до 100. Перетворювачі частоти від провідних електротехнічних виробників компанії пропонують можливість роботи з підключенням датчиків чи без них. У першому випадку діапазон регулювання швидкості досягає 1000, а без датчика швидкості - від 50 до 100. Зазначимо, що введення зворотного зв'язку швидкості для більшості ПЧ здійснюється за допомогою датчика швидкості, який підключається через додатковий інтерфейс плати. Це значно збільшує вартість приводу; наприклад, вартість інвертора 2.2 кВт від Mitsubishi з додатковою інтерфейсною платою та датчиком імпульсів зростає вдвічі.

При використанні в верстаті найважливішу роль відіграють такі функції інвертора:

- формувати тахограму при розгоні та гальмуванні;

- пропуск частот, у яких робота механізму небажана;
- робота з навантаженням, що характеризується сталістю моменту, і навіть реалізація векторного режиму управління;
- покращення якості регулювання завдяки введенню початкової напруги, компенсації ковзання або падіння напруги на активному опорі статора обмотки;
- завдання обмеження зарядного моменту та формування аварійних сигналів;
- можливість дистанційного керування, керування зі свого пульта та трубки;
- розвинена інформаційно-діагностична система.

1.2 Впровадження енергозберігаючих технологій в системі освітлення

Одним із способів економії енергетичних та матеріальних ресурсів, що витрачаються на освітлення, є використання ефективних джерел світла. Найбільш ефективним способом зниження встановленої світлової потужності є використання джерел світла з високою світловіддачею. У більшості освітлювальних установок, як правило, доцільно використовувати газорозрядні джерела світла: люмінесцентні лампи та газорозрядні лампи високого тиску – ртутно-дугові типу ДРЛ, металогалогенні типу ДРІ, натрієві типу ДНаТ.

Важливим резервом економії електричної енергії в установках освітлення є правильний вибір ефективного освітлювального приладу і його раціональне використання. Використання світильників, оснащених пристроями контролю запуску (ПРА) – ще один спосіб економії електроенергії при освітленні люмінесцентними лампами. Втрати потужності в колах запалювання зі стартером у 1.5-2 рази нижчі, ніж без стартера.

Значної економії електроенергії та засобів можна досягти за рахунок оптимізації параметрів освітлювальних установок. Економії від 6 до 20% може бути досягнуто за рахунок зниження коефіцієнта подачі освітлювальної

установки залежно від її конструкції.

Регулювання рівня освітленості освітлювальних приладів можна проводити двома способами: вимкненням частини ламп або зниженням напруги в періоди, коли рівень освітленості можна знизити без шкоди. Регулювання яскравості можна використовувати у таких випадках: для комбінованих приладів освітлення цеху; у магазинах де ми працюємо проходить позмінно з годинною перервою на обід, під час якого основне технологічне обладнання вимикається; для громадського освітлення, де рівень освітленості можна знизити в ранкові та вечірні сутінки, а також у нічний час.

Кожен із зазначених методів управління має свої техніко-економічні переваги та недоліки.

Регулювання освітлення шляхом гасіння групи джерел світла потребує ускладнення мереж, встановлення додаткових ліній освітлення, застосування програмних пристроїв керування з вибором порядку гасіння та включення окремих груп джерел світла. Часте включення та вимикання освітлення, що гарантує економію електроенергії, має негативний бік. Багаторазове включення джерел світла (при роботі в 3 зміни частина джерел світла вимикається між змінами 3 рази на день або близько 1000 разів на рік) викликає так званий «знос», який виникає. суттєво скорочує термін служби деяких типів ламп. Термін служби ламп розжарювання за рахунок включень близько 2500 практично не зменшується. Скорочення терміну служби люмінесцентних ламп при кожному включенні становить приблизно 2 години, під час роботи в 3 зміни протягом року термін служби скорочується на 2000 годин, чи 17% від номінального ресурсу.

1.3 Енергозберігаючі технології в системах компенсації реактивної потужності та регулювання напруги

При компенсації реактивної потужності знижуються втрати електричної потужності в мережах, знижуються встановлені потужності генераторів та

синхронних компенсаторів енергосистеми, звільняються лінії електропередачі та трансформатори від потоків реактивної потужності та одночасно знижується якість електропостачання. напруга покращується. покращено. Ці чотири ефекти компенсації реактивної енергії повною мірою виявляються за максимальних навантажень енергосистеми. В решту часу при компенсації реактивної потужності також зменшуються електричні втрати в мережах та покращується якість напруги. У ряді випадків у періоди мінімальних навантажень зниження реактивних навантажень у вузлах електропостачання може призвести до збільшення втрат потужності в мережах та погіршення якості електроенергії. За рахунок компенсації реактивної потужності в навантаженому вузлі та перетікання реактивної потужності по силових та розподільчих мережах. Зміна потоків реактивної енергії призводить до зміни втрат електроенергії та напруги і, отже, зміни режиму напруги. Зміна втрат електричної потужності, пов'язана з блоком вимірювання реактивного навантаження, називається економічний еквівалент реактивної потужності. Значення еквівалента реактивної потужності ($k_e, \text{Вт} / \text{ВАр}$) різна у різних точках електричної мережі. В електричній системі є джерела балансування реактивної потужності, які компенсують зміни реактивного навантаження. Економічним еквівалентом реактивної потужності є зміна втрат по дорозі реактивних потоків від балансуєчих джерел до місця зміни реактивного навантаження.

1.4 Енергозбереження за рахунок економії та обліку

Системи контролю та управління енергоресурсами (СКУЕР) вирішують завдання комерційного та технічного обліку енергоресурсів та оптимального розподілу ресурсів між внутрішніми споживачами підприємства. Кожне підприємство, складається з кількох підрозділів, пов'язаних різними зв'язками, зокрема енергетичними. Енергетична складова собівартості продукції є сумою складових всіх підрозділів, й у мінімізації витрат за електроенергію необхідно запровадити облік електроенергії у всіх підрозділах. Якщо комерційний облік

електроенергії кожному підприємстві здійснюється у тому чи іншою мірою виходячи з показань лічильників активної та реактивної енергії на вводах, то необхідність технічного обліку та оптимізації розподілу споживачам усвідомлюється ще всіма керівниками та головні енергетики підприємств. Технічний облік енергоресурсів – це облік розподілу за внутрішніми споживачами. На багатьох підприємствах немає об'єктивного контролю та обліку енергоресурсів для внутрішніх споживачів, а списання енергоресурсів не здійснюється об'єктивно.

Перехід на облік за показаннями приладів, встановлених на кожному електроприймачі, дозволяє отримати достовірну інформацію про витрати та мінімізувати їх за допомогою СКУЕР.

Функції СКУЕР спрямовані на вирішення наступних завдань:

- оперативний контроль процесів розподілу та споживання енергоресурсів у режимі реального часу;
- ретроспективний аналіз вищезазначених процесів;
- моделювання нормальних та критичних ситуацій у розподілі та споживанні енергоресурсів та формулювання відповідних рішень.

Оперативний контроль процесів розподілу та споживання енергоресурсів у режимі реального часу дозволяє отримати наочну інформацію про рух енергоресурсів підприємства у будь-який довільний момент часу, про величину неврахованої різниці між отриманою та спожитою енергією. ресурсів для визначення поточної вартості енергоресурсів та результируючих фінансових показників. Оперативний контроль стимулює створення організаційної системи обмеження споживання енергоресурсів та поступове її впровадження.

Ретроспективний аналіз процесів розподілу та споживання енергоресурсів дозволяє постійно відстежувати зниження енергоємності кінцевої продукції. СКУЕР надає можливість переглядати будь-який період часу і наводити курсор на енергоресурси.

Оперативне моделювання ситуацій енергоспоживання дозволяє відтворювати як штатні режими, і кризові ситуації з енергоспоживанням.

Виробничі втрати, спричинені такими ситуаціями, як пошкодження продукції та обладнання, зупинка технологічного процесу тощо, іноді значно перевищують вартість самих енергоресурсів.

У складному багатоагрегатному виробництві з обмеженими енергоресурсами диспетчеру складно ухвалити правильне розподільне рішення у кризовій ситуації. СКУЕР повинен додатково виконувати функції диспетчерської системи з аналізом ситуації та автоматизованим документуванням.

Виходячи з вищевикладеного, СКУЕР має бути побудована як інтегрована ІТ-система пристроїв комерційного обліку кожного виду енергоносія із системою технічного обліку на рівні передачі даних.

Найбільшого економічного ефекту від створення таких систем можна досягти при комплексному вирішенні завдання – від проекту до встановлення та налагодження апаратного та програмного забезпечення. Впровадження таких систем вже відбулося на підприємствах Запоріжжя - Запорізький завод феросплавів, АвтоЗАЗ-Daewoo, ПБК "Славутич", Запорізький електромеханічний завод та у Тернопільській області - на Марилівському лікєро-горілочаному заводі (з 1/7 кВт·г до 0/85 кВт·г на 1 л.с.) [2].

Для створення СКУЕР компанія «Шнейдер Електрик» пропонує повний комплект апаратного та програмного забезпечення, а кафедра комп'ютерних технологій проводить підготовку спеціалістів зі створення комп'ютеризованих інформаційних систем на контролерах та обладнанні цієї компанії [2].

1.5 Аналіз завдання кваліфікаційної роботи

На території заводу є дев'ятнадцять цехів, що несуть певні силові і освітлювальні навантаження.

Особливістю даної кваліфікаційної роботи є наявність синхронних двигунів (димососів), що живляться безпосередньо від головної понижувальної (розподільною) підстанції заводу, напругою 10 кВ. Інші електроприймачі

заводу мають номінальну напругу 380/220 В. На території заводу немає особливо небезпечних, вибухо-, пожежонебезпечних або хімічних виробництв, отже, при проектуванні можна вибирати трансформатори з масляним охолодженням, здійснювати прокладення кабелів в алюмінієвій оболонці.

Зовнішнє електропостачання заводу можна здійснити трьома способами:

- напругою 110 кВ – повітряною лінією на залізобетонних опорах;
- напругою 35 кВ – повітряною лінією на залізобетонних опорах;
- напругою 10 кВ – кабельною лінією, прокладеною в землі.

З трьох варіантів вибирається найбільш економічний, і встановлюється ГПП (ГРП) з урахуванням рози вітрів – для зменшення забруднення підстанції.

1.6 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто питання впровадження енергозберігаючих технологій у електроприводі виробничих механізмів; впровадження енергозберігаючих технологій в системі освітлення; енергозберігаючі технології в системах компенсації реактивної потужності та регулювання напруги, а також енергозбереження за рахунок економії та обліку.

Проведено аналіз завдання кваліфікаційної роботи.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розрахунок електричного навантаження механічного цеху

Обчислення розрахункових навантажень робимо методом порядкових діаграм, тобто за допомогою коефіцієнту використання K_g та коефіцієнту розрахункової потужності K_p . Використовуючи генеральний план цеху, проведемо попередній розподіл всіх струмоприймачів по живленню від розподільчих пунктів. Оскільки в даному цеху 45 струмоприймачів, то встановимо 4 РП, напруга до яких підводиться двома магістралями від двох секцій шин (II категорія).

Проведемо розрахунок потужності на прикладі РП-1.

Відношення між номінальною, середньою і розрахунковою потужностями такі:

$$P_c = K_g \cdot P_{ном}, \text{ кВт}; \quad (2.1)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}; \quad (2.2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}, \text{ кВА}, \quad (2.3)$$

де K_g – коефіцієнт використання, в.о. ;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт потужностей.

$$P_c = 0,13 \cdot 11,4 = 1,428 \text{ кВА};$$

$$Q_c = 1,482 \cdot 2,29 = 3,39 \text{ кВАр};$$

$$S_c = \sqrt{1,482^2 + 3,39^2} = 3,7 \text{ кВА}.$$

Значення групового коефіцієнта використання визначається по формулі:

$$K_{в.гр.} = \frac{\sum P_c}{\sum P_{ном}} \quad (2.4)$$

Значення групового коефіцієнта потужності:

$$\cos \varphi_{ep.} = \frac{\sum P_c}{\sum S_c}; \quad (2.5)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{ep.} = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}; \quad (2.6)$$

$$P_p = P_c \cdot K_p, \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

де K_p – коефіцієнт навантаження.

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c, \text{ якщо } n_e \leq 10; \quad (2.8)$$

$$Q_p = Q_c, \text{ якщо } n_e > 10. \quad (2.9)$$

Для РП-1 визначимо:

$$K_{e.зр.} = \frac{23,447}{141,8} = 0,165;$$

$$\cos \varphi_{зр.} = \frac{23,447}{40} = 0,59;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{зр.} = \frac{32,357}{23,447} = 1,38.$$

Для усіх розподільчих пунктів знайдемо ефективне число струмоприймачів :

$$n_e = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum P_n^2} \quad (2.10)$$

Маючи n_e і $K_{e.зр.}$, визначаємо K_p .

Для РП-1:

$$K_p = 1,96 ;$$

$$P_p = 23,447 \cdot 1,96 = 45,96 \text{ кВт} .$$

Для решти струмоприймачів результат розрахунку зведемо в табл. 2.1. Після визначення розрахункових навантажень проведемо порівняння навантаження на магістралях. Різниця не має перевищити 30% .

Таблиця 2.1 – Значення розрахункових навантажень по цеху

№	Найменування	n, шт	P _{ном} , кВт	ΣP _н , кВт	K _ε	cosφ	P _с , кВт	Q _с , кВА р	S _с , кВа	n _ε	K _p	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВа
						tgφ								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПП-1														
1	Круглошл. ст.	1	11.4	11.4	0.13	<u>0.4</u> 2.29	1.482	3.39	3.7					
8,9	Плоскошл. ст.	2	7.5	15	0.13	<u>0.4</u> 2.29	1.95	4.46 6	4.872					
10,19, 20	Точильний верстат		2.8	8.4	0.1	<u>0.7</u> 1.02	0.84	0.85 8	1.2					
17	Прес гідравл.	1	7.5	7.5	0.17	<u>0.65</u> 1.169	1.275	1.49	3.847					
27	Вентил. калор.	1	4.5	4.5	0.7	<u>0.8</u> 0.75	3.15	2.36 3	3.938					
28,34	Прес кривош.	2	30	60	0.17	<u>0.65</u> 1.169	10.2	11.9 2	15.69					
35	Різьбонар. ст.	1	35	35	0.13	<u>0.5</u> 1.73	4.55	7.87	9.09					
	Разом	11	2.8-30	141.8	0.165	<u>0.59</u> 1.38	23.45	32.3 6	40	6	1.96	45.9	35.6	58
ПП-2														
2	Плоскошл. ст.	1	7.5	7.5	0.13	<u>0.4</u> 2.29	0.975	2.23 3	2.436					
3,4,5	Токарний ст.	3	4.7	14.1	0.13	<u>0.4</u> 2.29	1.833	4.2	4.581					
6,7	Унів. фрез. ст.	2	3.8	7.6	0.13	<u>0.4</u> 2.29	0.988	2.26	2.468					
11-13	Свердл.верстат		2.2	6.6	0.13	<u>0.5</u> 1.73	0.858	1.48 5	1.713					
18	Кран мостовий	1	18.2	18.2	0.2	<u>0.5</u> 1.73	3.64	6.29 7	7.27					
22,23	Прес хол. вид.	2	40	80	0.17	<u>0.65</u> 1.169	13.6	15.9	20.92					
	Разом	12	2.2-40	134	0.16	<u>0.56</u> 1.48	21.89	32.3 8	39	4	2.35	51.5	35.6	62.5'
ПП-3														
21	Кран мостовий	1	18,2	18,2	0,2	<u>0,5</u> 1,73	3,64	6,29 7	7,27					
29,30. 32,33	Довбальний верстат	4	4	16	0,13	<u>0,5</u> 1,73	2,08	3,6	4,156					
36-38	Ток.-гвинт. ст.		8,7	26,1	0,13	<u>0,5</u> 1,73	3,393	5,87	6,78					
39	Ножиці диск.	1	5,5	5,5	од	<u>0,7</u> 1,02	0,55	0,56 1	0,78					
40	Звар. Перетвор.	1	28	28	0,4	<u>0,5</u> 1,73	11,2	19,3 8	22,38					
41	Вентил. витяж.	1	10	10	0,7	0,8 0,75	7	5,25	7,425					
	Разом	11	4-28	103,8	0,27	<u>0,56</u> 1,48	27,86	40,9 5	49,5	7	1,23	34,3	45,1	56,6

продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП-4														
14-16	Ток.-гвинт. ст.		8,7	26,1	0,13	$\frac{0,5}{1,73}$	3,393	5,87	6,78					
24,25	Свердл, верстат	2	2 2	4,4	0,13	$\frac{0,5}{1,73}$	0,572	0,99	1,142					
26	Гострив.верстат	1	2,8	2,8	0,1	$\frac{0,7}{1,02}$	0,28	0,286	0,4					
31	Вентил. калор.	1	4,5	4,5	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	3,15	2,363	3,938					
44,45	Гільйотин, ніж.	2	13	26	0,1	$\frac{0,7}{1,02}$	2,6	2,652	3,714					
43	Звароч. перетвор..	1	28	28	0,4	$\frac{0,5}{1,73}$	11,2	19,38	22,38					
42	Вентил. витяж.	1	10	10	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	7	5,25	7,425					
	Разом	11	2,2-28	101,8	0,28	$\frac{0,6}{1,3}$	28,19	36,79	46,35	7	1,23	34,7	40,5	53,3
	1 магістраль (РП-1 +РП-2)											97,4	71,2	120
	2 магістраль (РП-3 + РП-4)											68,9	85,5	110
	Разом по цеху						101,4	142,5	174,9			166	157	230

Порівняння навантажень по магістралях:

$$\Delta S = \frac{S_{p1} - S_{p2}}{S_{p1}} \cdot 100\% ; \quad (2.11)$$

$$\Delta S = \frac{120,6 - 110}{120,6} \cdot 100 = 8,8\% < 30\% .$$

2.2 Розрахунок електричного навантаження заводу

Розрахунок електричного навантаження заводу аналогічний розрахунку електричного навантаження цеху.

Розрахунок n_e :

якщо $n \geq 4$ і відношення

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} \leq 3, \quad (2.12)$$

то $n_e = n$

якщо $m > 3$ і $K_\epsilon > 0,2$, то

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_m}{P_{n\max}}, \quad (2.13)$$

Результати розрахунків зведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункове навантаження заводу

Найменування цехів	Цех №	n, шт.	P _{ном} , кВт	ΣP _n , кВт	m	K _ε	cosφ	P _c , кВт	Q _c , кВАр	S _c , кВа	n _e	K _p	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВа
							tgφ								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Піч. цех., хол кінець печей	1	28	2,8..50	550	18	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	385	392,7	550	22	1	385	392,7	550
Піч. цех., гар кінець печей	2	32	2,8..50	640	18	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	448	457	640	26	1	448	457	640
Гориз. шламб		18	2,8..50	280	18	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	196	200	280	11	1	196	200	280
Склад сировини	4	6	4,5..40	100	9	0,2	$\frac{0,7}{1,02}$	20	20,4	28,6	5	1,72	34,4	22,4	41
Відділення сир. млинів	5	25	4,5...100	1200	22	0,6	$\frac{0,75}{1,88}$	720	633,6	960	24	1	720	633,6	959
Склад клинк.	6	12	4,5...30	180	7	0,2	$\frac{0,7}{1,02}$	36	36,7	51,4	12	1,32	47,5	36,7	60
Відділення цем. млинів	7	21	10...100	750	10	0,6	$\frac{0,75}{1,88}$	450	396	600	15	1	450	396	599
Суш. відділення	8	19	10..75	800	7,5	0,4	$\frac{0,8}{0,75}$	320	240	400	19	1	320	240	400
Верг. шламб.	9	18	2,8..40	250	14	0,7	$\frac{0,7}{1,02}$	175	178,5	250	13	1	175	178,5	250
Склад матеріалів	10	12	4,5..20	140	4	0,2	$\frac{0,7}{1,02}$	28	28,56	40	12	1,32	36,9	28,6	46,7
Механ. цех	11	45	2,2..40					101,4	142,5	175			166,4	156,7	230

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Електроре- монтний цех	12	43	1..40	740	40	0,3	$\frac{0,7}{1,02}$	222	226,4	317	37	1	222	226,4	317
Склад вогнетр.	14	8	4,5..10	45	2	0,2	$\frac{0,7}{1,02}$	9	9,18	12,9	8	1,48	13,32	10,1	16,7
Компресор.	15	14	1..40	350	40	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	245	183,8	306	14	1	245	183,8	306
Насосна	16	20	20..50	750		0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	525	393,8	656	20	1	525	393,8	656
Автогараж	17	15	1..20	90	20	0,2	$\frac{0,8}{0,75}$	18	13,5	22,5	9	1,43	25,7	14,85	30
Адм. будівля	18	45	1..40	450	40	0,5	$\frac{0,7}{1,02}$	225	229,5	321	23	1	225	229,5	321
Шиферний завод	19	85	1..20	1200	20	0,8	$\frac{0,8}{0,75}$	960	720	1200	85	1	960	720	1200
Димососи: СД 10 кВ	13	2	1000	2000	-	0,7	$\frac{0,8}{0,75}$	1400	-	1750	2	2	2800	-	2800
РАЗОМ										8561					9933

Далі визначимо освітлювальне навантаження заводу P_o по питомій потужності на одиницю площі ρ_o , площі цехів F (м²) і коефіцієнту попиту освітлення K_{no} :

$$P_o = \rho_o \cdot K_{n.o.} \cdot F \cdot 10^{-3}. \quad (2.14)$$

Приймаємо $K_{no}=0,8$, люмінесцентні лампи, коефіцієнт потужності яких:

$$\cos\varphi = 0,8; \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,75.$$

Знаходимо реактивну потужність люмінесцентних ламп :

$$Q_o = P_o \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.15)$$

Для першого цеху:

$$P_o = 2812,5 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 33,75 \text{ кВт};$$

$$Q_o = 33,75 \cdot 0,75 = 25,31 \text{ кВАр};$$

$$S_o = \sqrt{33,75^2 + 25,31^2} = 42,19 \text{ кВА}.$$

Отримане освітлювальне навантаження додаємо до середнього і розрахункового навантаження:

$$S'_p = \sqrt{(P_o + P_p)^2 + (Q_o + Q_p)^2}; \quad (2.16)$$

$$S'_c = \sqrt{(P_o + P_c)^2 + (Q_o + Q_c)^2}; \quad (2.17)$$

$$S'_{p1} = \sqrt{(33,75 + 385)^2 + (25,31 + 392,7)^2} = 591,7 \text{ кВА};$$

$$S'_{c1} = \sqrt{(33,75 + 385)^2 + (25,31 + 392,7)^2} = 591,7 \text{ кВА}.$$

Дані для інших цехів занесемо в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Навантаження заводу з освітленням

Цех №	F м ²	ρ _o , Вт/м	P _o кВт	Q _o кВА	S _o , кВ	P _c , кВт	Q _c кВА	P _{c'} , кВт	Q _{c'} кВА	S _{c'} кВа	P _p , кВт	Q _p кВА	Q _{p'} кВА	P _{p'} кВт	S' _p , кВа
1	2813	15	33,8	25,31	42,2	385	392,7	418,	418	591,	385	392,7	418	418,	591,
2	2331	15	27,9	20,98	35	448	457	475,	478	574,	448	457	478	476	674,
3	2188	10	17,5	13,13	21,9	196	200	213,	213	301,	196	200	213	213,	301,
4	3750	12	36	27	45	20	20,4	56	47	73,4	34,4	22,4	49	70,4	86
5	2038	16	26,1	19,56	32,6	720	633,6	746	653	992	720	633,6	653	746	991,
6	2488	12	23,9	18	29,9	36	36,7	59,9	55	81	47,5	36,7	55	71,4	90
7	2188	16	26	19,5	32,5	450	396	476	115,5	632	450	396	415	476	632
8	2719	12	26,1	19,6	32,6	320	240	346	260	432,	320	240	260	346	432,
9	2369	10	19	14,2	23,7	175	178,5	194	193	273,	175	178,5	192,7	194	273,
10	3938	10	31,5	23,6	39,4	28	28,56	59,5	52	79	36,9	28,6	52	68,5	86
11	864	14	9,68	7,26	12,1	101,	142,5	111	150	186,	166	156,7	164	176	240,
12	3281	14	36,8	27,6	45,9	222	226,4	258,	254	362,	222	226,4	254	259	362,
13	368	12	3,53	2,65	4,4	1400	-	1404	-	1404	2800	-	-	2804	2804
14	956	10	7,65	5,74	9,56	9	9,18	16,6	14,9	22,4	3 32	10,1	15,8	21	26,3
15	1806	12	17,3	13	21,7	245	183,8	262,	96,8	328	245	183,8	197	262	328
16	938	12	5	3,75	6,25	525	393,8	530	597,5	562,	525	393,7	398	530	662,
17	1563	15	16,3	12,2	20,3	18	13,5	34,3	26	42,8	25,7	14,9	27	42	50
18	2338	20	37,4	28	46,8	225	229,5	262,	258	367,	225	230	258	262	367,
19	9619	18	138,	103,8	173	960	720	1099	824	1373	960	720	824	1099	1373
Тер	12207	0,17	16,6	12,5						20,8					20,8
17	1563	15	16,3	12,2	20,3	18	13,5	34,3	26	42,8	25,7	14,9	27	42	50
Σ										9252					10624

Для наглядності по значеннях навантажень по цехах і їх структурі (силове і освітлювальне) побудуємо картограму навантажень.

Картограма навантажень будується на основі виразів:

$$R_i = \sqrt{\frac{S' p_i}{m \cdot \pi}}, \quad (2.18)$$

де R_i – радіус кола для i -го цеху, см;

S'_{pi} – розрахункова потужність i -го цехи, включаючи освітлення, кВА;

m – масштаб зображення,

$$\alpha = 360 \cdot \frac{S_o}{S'_{pi}}, \quad (2.19)$$

де α – кут для сектора, площа якого пропорційна освітлювальному навантаженню;

S_o – повна потужність освітлювального навантаження, кВА.

Дані для цехів приведені в табл. 2.4.

Визначимо знаходження центру електричних навантажень, використовуючи формули:

$$X_o = \frac{\sum (S'_{pi} \cdot X_i)}{\sum S'_{pi}}; \quad (2.20)$$

$$Y_o = \frac{\sum (S'_{pi} \cdot Y_i)}{\sum S'_{pi}}, \quad (2.21)$$

де X_i, Y_i – координати відповідних центрів цехових навантажень, см.

$$\begin{aligned} X_o = & \frac{591,7 \cdot 1,5 + 674,6 \cdot 8,8 + 301,7 \cdot 13,3 + 86 \cdot 17,8 + 991,6 \cdot 2 + 90 \cdot 6}{10603} + \\ & + \frac{632 \cdot 11,8 + 432,6 \cdot 2,2 + 27,4 \cdot 6,3 + 86 \cdot 16,5 + 240,6 \cdot 13,5 + 362,6 \cdot 16}{10603} + \quad \text{А} \\ & + \frac{3033 \cdot 9,3 + 26,3 \cdot 1 + 328 \cdot 4 + 662,5 \cdot 0,9 + 50 \cdot 6,2 + 376,6 \cdot 11 + 1373 \cdot 18,1}{10603} = 8,9 \text{ см} \end{aligned}$$

налогічно отримуємо $Y_o = 6,14$ см

Таблиця 2.4 – Побудова картограми навантажень

№ цеху	S_p' , кВА	S_o , кВА	m , кВА/см ²	R , см	α , °
1	591,7	42,19	135	1,18	26
2	674,6	35	135	1,26	19
3	301,7	21,88	135	0,84	26
4	86	45	135	0,45	188
5	991,6	32,6	135	1,5	12
6	90	29,85	135	0,46	119
7	632	32,5	135	1,22	19
8	432,6	32,6	135	1	27
9	273,4	23,68	135	0,8	31
10	86	39,38	135	0,45	165
11	240,6	12,1	135	0,75	18
12	362,6	45,9	135	0,9	46
13	3033	4,4	240	2	1
14	26,3	9,56	16	0,7	131
15	328	21,67	135	0,8	24
16	662,5	6,25	135	1,25	3
17	50	20,3	16	1	146
18	367,6	138	135	0,9	138
19	1373	173	135	1,8	45

2.3 Висновки до розділу 2

В даному розділі використовуючи метод впорядкових діаграм, тобто за допомогою коефіцієнту використання та коефіцієнту розрахункової потужності проведено обчислення розрахункових навантажень цеху та підприємства в цілому.

Для наглядності по значеннях навантажень по цехах і їх структурі (силове і освітлювальне) побудовано картограму електричних навантажень.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір кількості і потужності цехових трансформаторів.

Умови вибору трансформаторів :

$$S_{\text{номЦТП}} \geq \frac{S_c}{\beta_n \cdot n}, \quad (3.1)$$

де S_c – середньозмінне навантаження цеху;

β_n – номінальний коефіцієнт навантаження трансформаторів, що приймається:

- для I категорії $\beta_n = 0,55 - 0,7$;
- для II категорії $\beta_n = 0,7 - 0,8$;
- для III категорії $\beta_n = 0,9 - 0,95$.

$$S_{\text{номЦТП}} \geq \frac{S_p}{1,4}. \quad (3.2)$$

Далі перевіряється завантаження трансформатора :

$$\beta = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{номЦТП}}}. \quad (3.3)$$

Для I категорії повинна виконуватися умова $\beta \geq 0,5$, а для II категорії $\beta \geq 0,55$.

Потім перевіряємо необхідність встановлення компенсуючих пристроїв на стороні 0,4 кВ. Для цього визначаємо величину найбільшої реактивної потужності, яка може бути передана з боку 10 кВ без збільшення числа і потужності використовуваних трансформаторів по формулі:

$$Q_1 = \sqrt{(N\beta S_{\text{нт}})^2 - P_p'^2}, \quad (3.4)$$

де β – коефіцієнт завантаження, що приймається рівним 0,7 для споживачів I категорії, 0,8 – для II категорії, 0,93 – III категорії.

Тоді кількість реактивної потужності, яку треба компенсувати :

$$Q_{0,4} = Q_p' - Q_1. \quad (3.5)$$

Для першого цеху:

$$S_{\text{номЦТП}} \geq \frac{591,7}{0,7 \cdot 2} = 423 \text{ кВА.}$$

Вибираємо 2 ТМ - 630/10

$$S_{\text{номЦТП}} \geq \frac{591,7}{1,4} = 423 \text{ кВА;}$$

$$\beta = \frac{591,7}{2 \cdot 630} = 0,47.$$

Оскільки трансформатори є недовантаженими, то виберемо трансформатори ТМ-400/10 і зробимо компенсацію реактивної потужності.

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 418,75^2} = 371,8 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{0,4} = 418 - 371,8 = 46,2 \text{ кВАр.}$$

Вибираємо 2БК×25 кВАр: ККТ(Н) - 0,38 - Q УЗ;

$$Q_{БК} = 2 \cdot 25 = 50 \text{ кВАр;}$$

$$Q_p'' = Q_p' - Q_{БК} = 418 - 50 = 368 \text{ кВАр;} \quad (3.6)$$

$$S_p'' = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (3.7)$$

$$S_p'' = \sqrt{418,75^2 + 368^2} = 557 \text{ кВА.}$$

Знову перевіримо умову:

$$S_{\text{номЦТП}} \geq \frac{S_p''}{1,4} = \frac{557}{1,4} = 398 \text{ кВА.} \quad (3.8)$$

Розрахунки для інших цехів зведемо в табл. 3.1. Для інших цехів пристрої компенсації не встановлюються ($Q_{0,4} < 0$).

Таблиця 3.1 – Вибір трансформаторів

№ ТП	Категорія	Зона охоплення	Розп. ТП	S_c кВА	S_p кВА	$S_{ном.т}$ кВА	β_m	$\beta_{ов}$	$Q_{НБК0,4}$ кВАр	S_p кВА	β'_m	$\beta'_{ав}$
1	I	1	1	591,7	591,7	400	0,74	1,48	50	557	0,7	1,4
2	I	2	2	674,6	674,6	630	0,55	1,1		674,6	0,55	1Д
	II	3	3	301,7	301,7	250	0,6	1,2		301,7	0,6	1,2
4	II	5,6	5	1073	1073	1000	0,54	1,08	-	1073	0,54	1,08
5	II	4,7,10	7	784,4	804	630	0,64	1,28	-	804	0,64	1,28
6	II	8,14	8	455	458,9	400	0,57	1,14		458,9	0,57	1,14
7	11,111	9,17	9	316,2	323,4	250	0,65	1,3		323,4	0,65	1,3
8	II	11,12	12	549,1	603,2	400	0,7	1Л		603,2	0,75	1,5
9	I	15	15	328	328	250	0,66	1,32	-	328	0,66	1,32
10	I	16	16	662,5	662,5	630	0,53	1,06		662,5	0,53	1,06
11	III	18	18	367,6	367,6	400	0,92	-		367,6	0,92	-
12	I	19	19	1373	1373	1000	0,69	1,38	-	1373	0,69	1,38

Визначимо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати на стороні 10 кВ, встановивши батареї конденсаторів на ГПП. Їх потужність для однієї секції шин визначається:

$$Q_{10} = \frac{\sum Q_{B-H} + Q_B + \Delta Q'_T - Q_{сист} - Q_{P,CD}}{C}, \quad (3.9)$$

де C – кількість секцій шин;

$\sum Q_{B-H}$ – реактивна потужність, що визначається по формулі,

$$\sum Q_{B-H} = Q_P - Q_{БК} + \Delta Q'_T, \quad (3.10)$$

$\Delta Q'_T$ – втрати реактивної потужності в силових трансформаторах, кВАр:

$$\Delta Q'_T = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{HT} \cdot n + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_K}{100} \cdot S_{HT} \cdot \beta'_T, \quad (3.11)$$

Q_B – реактивна потужність приймачів, підключених до мережі 6-10 кВ (для цієї дипломної роботи $Q_B = 0$);

$Q_{сист}$ – реактивна потужність, що отримується з енергосистеми,

$$Q_{сист} = \alpha \cdot \sum P_p; \quad (3.12)$$

$$Q_{сист} = 0,33 \cdot 8535,13 = 2816,59 \text{ кВАр},$$

$\Delta Q'_T$ – втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП :

$$\Delta Q'_T = 0,1 \cdot S_{н.г.ГПП}, \quad (3.13)$$

ТП-1:

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \frac{2,1}{100} \cdot 400 + \frac{1}{2} \cdot \frac{4,5}{100} \cdot 400 \cdot 0,7 = 23,1 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 418 - 50 + 23,1 = 391,1,$$

ТП-2:

$$\Delta Q_T = 34,728 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 512,7 \text{ кВАр},$$

ТП-3:

$$\Delta Q_T = 14,875 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 228 \text{ кВАр},$$

ТП-4:

$$\Delta Q_T = 45,55 ;$$

$$Q_{B-H} = 753,32 \text{ кВАр},$$

ТП-5:

$$\Delta Q_T = 36,288 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 553,378 \text{ кВАр},$$

ТП-6:

$$\Delta Q_T = 21,93 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 297,37 \text{ кВАр},$$

ТП-7:

$$\Delta Q_T = 15,156 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 234,896 \text{ кВАр},$$

ТП-8:

$$\Delta Q_T = 23,55 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 441,51 \text{ кВАр},$$

ТП-9:

$$\Delta Q_T = 15,213 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 212,013 \text{ кВАр},$$

ТП-10:

$$\Delta Q_T = 34,728 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 431,882 \text{ кВАр},$$

ТП-11:

$$\Delta Q_T = 24,96 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 282,46 \text{ кВАр},$$

ТП-12:

$$\Delta Q_T = 50,425 \text{ кВАр};$$

$$Q_{B-H} = 874,425 \text{ кВАр};$$

$$\sum Q_{B-H} = 5213,063 \text{ кВАр};$$

$$Q_{P,CD} = \frac{\alpha_m \cdot P_m \cdot \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta}; \quad (3.14)$$

$$Q_{P,CD} = \frac{1,27 \cdot 2000 \cdot 0,75}{0,9} = 2116,67 \text{ кВАр}.$$

Виберемо трансформатори на ГПП:

$$S_{ном.Т} = \frac{S_c}{0,5 \cdot n} \cdot K_{P,M}; \quad (3.15)$$

$$S_{ном.Т} = \frac{9251,6}{0,5 \cdot 2} \cdot 0,9 = 8326 \text{ кВА}.$$

Для $2 \times \text{ТДН-10000}$

Приймаємо $\Delta Q_T = 2 \cdot 0,1 \cdot 10000 = 2000 \text{ кВАр};$

$$Q_{10} = \frac{5213,063 + 2000 - 2816,59 - 2116,67}{2} = 1139,9 \text{ кВАр}.$$

Вибираємо 2 комплектні КУ: У - 10 - 1125У3 (1125 кВАр);

$$Q_{КУ} = 2250 \text{ кВАр}.$$

Отримаємо сумарне навантаження по заводу:

$$S_p = \sqrt{P_p'^2 + (Q_p' - Q_{ку})^2} + S_{осв.мер}; \quad (3.16)$$

$$S_p = \sqrt{8535,13^2 + (4922,91 - 2250)^2} + 20,8 = 8964,675 \text{ кВА}.$$

3.2 Проект ГПП

3.2.1 Розрахунок струмів КЗ

Для розрахунку струмів КЗ побудуємо схему заміщення електричної мережі і приведемо параметри елементів схеми до базисного ступеня напруги $U_б = 11$ кВ.

Опір системи :

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_б^2}{S_c} \cdot K_T^2 = 0,4 \cdot \frac{11^2}{500} \cdot \left(\frac{11}{115}\right)^2 = 0,00088 \text{ Ом.} \quad (3.43)$$

ЕРС системи $E_c = 11$ кВ.

Опір двоколової лінії АС-70/11:

$$R = 4,1 \text{ Ом}; X = 4,26 \text{ Ом};$$

$$X_{ПЛ} = \frac{X}{2} \cdot K_T^2 = \frac{4,26}{2} \cdot \left(\frac{11}{115}\right)^2 = 0,019 \text{ Ом}; \quad (3.44)$$

$$R_{ПЛ} = \frac{R}{2} \cdot K_T^2 = \frac{4,1}{2} \cdot \left(\frac{11}{115}\right)^2 = 0,0188 \text{ Ом.} \quad (3.45)$$

Опір трансформаторів системи :

$$X_{ТС} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_б^2}{S_{ТН}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{11^2}{25} = 0,315 \text{ Ом.} \quad (3.46)$$

Опір трансформаторів ГПП :

$$X_{ГПП} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_б^2}{S_{ТН}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{11^2}{10} = 1,27 \text{ Ом.} \quad (3.47)$$

Опори ліній :

ГПП - ТП1

$$X_{кл} = x_0 \cdot l; \quad (3.48)$$

$$R_{кл} = r_0 \cdot l; \quad (3.49)$$

$$R_{кл} = 0,39 \text{ Ом};$$

$$X_{кл} = 0,022 \text{ Ом.}$$

Опір навантаження :

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{ном}}; \quad (3.50)$$

$$X_H = 0,35 \cdot \frac{11^2}{0,591} = 71,66 \text{ Ом.}$$

Оскільки $\frac{X}{R} = 2,5$, то:

$$R = \frac{X_H}{2,5}; \quad (3.51)$$

$$R = \frac{71,66}{2,5} = 28,66 \text{ Ом.}$$

ЕРС навантаження:

$$E_H = 0,85 \cdot U_H = 0,85 \cdot 11 = 9,35 \text{ кВ.}$$

Дані інших ліній занесемо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Опори ліній

№ТП	$R_{кл}$, Ом	$X_{кл}$, Ом	X_H , Ом	R_H , Ом	E_H , кВ	X_{mn} , Ом
1	2	3	4	5	6	7
1	0,39	0,022	71,66	28,66	9,35	0,0171
2	0,049	0,0028	62,74	25	9,35	0,0136
3	0,039	0,0022	140,23	56	9,35	0,027
4	0,329	0,026	39,47	15,79	9,35	0,0086
5	0,117	0,0066	52,67	21,07	9,35	0,0136
6	0,878	0,05	92,27	36,9	9,35	0,017
7	0,439	0,025	131	52,45	9,35	0,027
8	0,659	0,037	70,23	28,1	9,35	0,017
9	0,858	0,048	129,1	51,65	9,35	0,027
10	0,99	0,056	63,88	25,55	9,35	0,0136
11	0,318	0,018	115	46	9,35	0,017
12	0,475	0,038	30,84	12,34	9,35	0,0086
13(РП-10кВ)	0,09	0,018	13,96	5,59	9,35	-

Згортаємо схему заміщення:

$$X^* = X_c + X_{TC} + X_{III} + X_{III} = 0,00088 + 0,315 + 0,019 + 1,27 = 1,605; \quad (3.53)$$

$$R^* = R_{III} = 0,0188 \text{ Ом.} \quad (3.54)$$

Розрахунок струму КЗ в точці К1

$$X'_1 = X_1 + X_{III} + X_{кл1} = 71,66 + 0,017 + 0,022 = 71,7 \text{ Ом;} \quad (3.55)$$

$$R'_1 = R_1 + R_{\kappa 1} = 0,39 + 28,66 = 29,05 \text{ Ом}; \quad (3.56)$$

$$X'_2 = 62,756 \text{ Ом}; R'_2 = 25,049 \text{ Ом};$$

$$X'_3 = 140,26 \text{ Ом}; R'_3 = 56,04 \text{ Ом};$$

$$X'_4 = 39,5 \text{ Ом}; R'_4 = 16,12 \text{ Ом};$$

$$X'_5 = 52,69 \text{ Ом}; R'_5 = 21,187 \text{ Ом};$$

$$X'_6 = 92,337 \text{ Ом}; R'_6 = 37,778 \text{ Ом};$$

$$X'_7 = X_{III7} + X_7 = 0,027 + 131 = 131,027 \text{ Ом}; \quad (3.57)$$

$$R'_7 = R_7 = 52,45 \text{ Ом};$$

$$X'_{11} = X_{III11} + X_{11} + X_{\kappa 11} = 115,035 \text{ Ом}; \quad (3.58)$$

$$X'_\Sigma = \frac{X'_7 + X'_{11}}{X'_7 \cdot X'_{11}} = 61,256 \text{ Ом}; \quad (3.59)$$

$$X''_\Sigma = X'_\Sigma + X_{\kappa 7} = 61,281 \text{ Ом}; \quad (3.60)$$

$$R'_\Sigma = \frac{R'_7 + R'_{11}}{R'_7 \cdot R'_{11}} = 24,592 \text{ Ом}; \quad (3.61)$$

$$R''_7 = R'_\Sigma + R_{\kappa 7} = 25,036; \quad (3.62)$$

$$X'_8 = 70,284 \text{ Ом}; R'_8 = 28,76 \text{ Ом};$$

$$X'_9 = 129,175 \text{ Ом}; R'_9 = 52,508 \text{ Ом};$$

$$X'_{10} = 63,95 \text{ Ом}; R'_{10} = 25,54 \text{ Ом};$$

$$X'_{12} = 30,887 \text{ Ом}; R'_{12} = 12,815 \text{ Ом};$$

$$X'_{13} = 13,978 \text{ Ом}; R'_{13} = 5,68 \text{ Ом}.$$

Сумарні по заводу:

$$X_\Sigma = 4 \text{ Ом};$$

$$R_\Sigma = 1,626 \text{ Ом};$$

$$X_\Sigma = 9,35 \text{ Ом};$$

$$X_{ном} = \frac{X^* \cdot X_{11}}{X^* + X'_\Sigma} = \frac{1,605 \cdot 4}{1,605 + 4} = 1,145 \text{ Ом}; \quad (3.63)$$

$$R_{ном} = \frac{R^* \cdot R_\Sigma}{R^* + R_\Sigma} = \frac{0,0188 \cdot 1,626}{0,0188 + 1,626} = 0,0186592 \text{ Ом}; \quad (3.64)$$

$$E_{повн} = \left(\frac{E_c}{X^*} + \frac{X_\Sigma}{X'_\Sigma} \right) \cdot X_{повн} = \left(\frac{11}{1,605} + \frac{9,35}{4} \right) \cdot 1,145 = 10,52 \text{ кВ.} \quad (3.65)$$

Діюче значення періодичної складової струму КЗ за перший період:

$$I'' = \frac{E_{повн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{повн}} = \frac{10,52}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,145^2 + 0,0186^2}} = 5,3 \text{ кА.} \quad (3.66)$$

Ударний коефіцієнт:

$$K_y = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}}, \quad (3.67)$$

де T_a – електромагнітна стала часу загасання струму к.з..

$$T_a = \frac{X_{повн}}{\omega \cdot R_{повн}} = \frac{X_{повн}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{повн}}; \quad (3.68)$$

$$T_a = \frac{1,145}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0186} = 0,196;$$

$$K_y = 1 + e^{0,01/0,196} = 1,95. \quad (3.69)$$

Ударний струм к.з.:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I'' = 1,95 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,3 = 6,35 \text{ кА.} \quad (3.70)$$

Діюче значення повного струму КЗ за перший період:

$$I_y = I'' \cdot \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 5,3 \cdot \sqrt{1 + 2(1,95 - 1)^2} = 8,877 \text{ кА.} \quad (3.71)$$

Розрахунок струму КЗ в точці К2

Розрахунок струму КЗ для точки К2 ведемо без врахування струму підживлення від навантаження.

Опір системи :

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_\phi^2}{S_c} = 0,4 \cdot \frac{115^2}{500} = 10,58 \text{ Ом;} \quad (3.72)$$

$$E_c = 115 \text{ кВ.}$$

Опір ПЛ :

$$X_{ПЛ} = \frac{X}{2} = \frac{4,26}{2} = 2,13 \text{ Ом;} \quad (3.73)$$

$$R_{nl} = \frac{R}{2} = \frac{4,1}{2} = 2,05 \text{ Ом.} \quad (3.74)$$

Опір трансформаторів системи :

$$X_{TC} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_\epsilon^2}{S_{HT}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{115^2}{25} = 34,358 \text{ Ом.} \quad (3.75)$$

Згортаємо схему:

$$X_1 = X_c + X_{TC} + X_{III} = 10,58 + 34,385 + 2,13 = 47,095 \text{ Ом;} \quad (3.76)$$

$$R_I = R_{nl} = 2,05 \text{ Ом.} \quad (3.77)$$

Діюче значення періодичної складової струму КЗ :

$$I'' = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot Z} = 1,4 \text{ кА;} \quad (3.78)$$

$$T_a = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = 0,073 \text{ кА;} \quad (3.79)$$

$$K_y = 1,87.$$

Ударний струм КЗ :

$$i_y = 3,129 \text{ кА.}$$

Діюче значення повного струму :

$$I_y = 2,22 \text{ кА.}$$

Розрахунок струму КЗ в точці КЗ:

$$\frac{1}{X'_{повн}} = \frac{1}{X_{повн}} - \frac{1}{X'_{10}} = 0,858 \frac{1}{\text{Ом}}; \quad (3.80)$$

$$X'_{повн} = 1,166 \text{ Ом;}$$

$$\frac{1}{R'_{повн}} = \frac{1}{R_{повн}} - \frac{1}{R'_{10}} = 53,72 \frac{1}{\text{Ом}}; \quad (3.81)$$

$$R'_{повн} = 0,0186 \text{ Ом;}$$

$$X_{10}^* = X'_{повн} + X_{кл10} = 1,166 + 0,056 = 1,222 \quad (3.82)$$

$$R_{10}^* = R'_{повн} + R = 0,0186 + 0,99 = 1,0086; \quad (3.83)$$

$$X''_{10} = X'_{10} + X_{кл10} = 63,894; \quad (3.84)$$

$$R''_{10} = R'_{10} + R_{кл10} = 24,55; \quad (3.85)$$

$$X_{повн}^* = \frac{X_{10}^* \cdot X'_{10}}{X_{10}^* + X'_{10}} = 1,2; \quad (3.86)$$

$$R_{повн}^* = \frac{R_{10}^* \cdot R''_{10}}{R_{10}^* + R''_{10}} = 0,969; \quad (3.87)$$

$$X_{повн} = \left(\frac{10,52}{1,222} + \frac{9,35}{63,894} \right) \cdot 1,2 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$I'' = \frac{E_{повн}}{\sqrt{3} \cdot Z} = 3,93 \text{ кА}; \quad (3.88)$$

$$T_a = 0,0039;$$

$$K_y = 1 + e^{\frac{0,01}{0,196}} = 1,08. \quad (3.89)$$

Ударний струм КЗ :

$$i_y = 3,028 \text{ кА};$$

$$I_y = 3,955 \text{ кА}.$$

Дані інших точок КЗ занесемо в табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок струмів КЗ

Точка КЗ	S_p , кВА	I_{pmax} , А	$I^{(3)}_{к max}$, кА	$I^{(2)}_{к min}$, кА
Шини РП-	8964,675	517,56	5,3	4,99
Шини РП-	8964,675	47,052	1,4	1,212
ТП1	557	32,197	3,13	2,71
ТП2	674,6	38,99	3,57	3,12
ТП3	301,7	17,439	2,26	1,957
ТП4	1072,6	62	3,27	3,01
ТП5	804	46,474	3,11	2,89
ТП6	458,9	26,526	3,03	2,624
ТП7	691	39,942	3,24	2,91
ТП8	603,2	34,867	3,45	2,988
ТП9	328	18,96	2,4	2,078
ТП10(КЗ)	662,5	38,295	3,93	3,63
ТП11	367,6	21,249	2,95	2,555
ТП12	1373	79,364	3,74	3,35
РП1	3033	175,318	4,2	3,9
РП2	90	130	2,63	2,278
РП3	86	124,277	2,65	2,295
РП4	86	124,277	2,5	2,165
РП5	230,5	333,09	3,3	3,118
РП6	26,3	38	1,87	1,619
РП7	50	72,254	2,02	1,749

Перевірка кабелів на термічну стійкість

Перевіряємо кабелі внутрішньозаводської мережі по струму КЗ в точці К1:

$$I_{кз} = 5300 \text{ А};$$

$$S_{\text{мін}} \geq \frac{I_{кз}}{C} \cdot \sqrt{t_{\text{нр}}}, \quad (3.90)$$

де C – температурний коефіцієнт (для алюмінію $C=95$, для міді $C=165$);

$t_{\text{нр}}$ – час приведення (час процесу КЗ),

$$t_{\text{нр}} = 0,1\text{с};$$

$$S_{\text{мін}} \geq \frac{5300}{95} \cdot \sqrt{0,1} = 17,64 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо кабелі для живлення цехів мінімальним перерізом 25 мм².

Таблиця 3.4 – Остаточний вибір кабелів внутрішньозаводської мережі

Ділянка	S_p , кВа	I_p , А	$I_{\text{дон}}$, А	$F_{\text{см}}$, мм ²	R , Ом	X , Ом	Число кабелів	$U_{\text{ном}}$, кВ
ГПП-ТП1	591,7	17	90	25	0,25	0,02	2	10
ГПП-ТП2	674,6	19,5	90	25	0,03	0,0025	2	10
ГПП-ТП3	301,7	8,7	90	25	0,025	0,002	2	10
ГПП-ТП4	1072,6	31	90	25	0,329	0,026	2	10
ГПП-ТП5	804	23,2	90	25	0,075	0,006	2	10
ГПП-ТП6	459	13,2	90	25	0,563	0,045	2	10
ГПП-ТП7	691	20	90	25	0,281	0,023	2	10
ГПП-ТП8	603,2	17,4	90	25	0,423	0,034	2	10
ГПП-ТП9	328	9,5	90	25	0,55	0,044	2	10
ГПП-ТП10	662,5	19	90	25	0,638	0,051	2	10
ТП7-ТП11	367,6	21,2	90	25	0,4	0,016	1	10
ГПП-ТП12	1373	39,6	90	25	0,475	0,038	2	10
ГПП-РП1	3033	88	205	95	0,066	0,016	2	10
ТП4-РП2	90	65	75	25	0,094	0,007	2	0,38
ТП5-РП3	86	62	75	25	0,186	0,014	2	0,38
ТП8-РП5	230,5	166	200	120	0,313	0,023	2	0,38
ТП6-РП6	26,3	19	75	25	0,004	0,0012	2	0,38
ТП5-РП4	86	62	75	25	0,063	0,005	2	0,38
ТП7-РП7	50	72,3	75	25	0,188	0,014	1	0,38

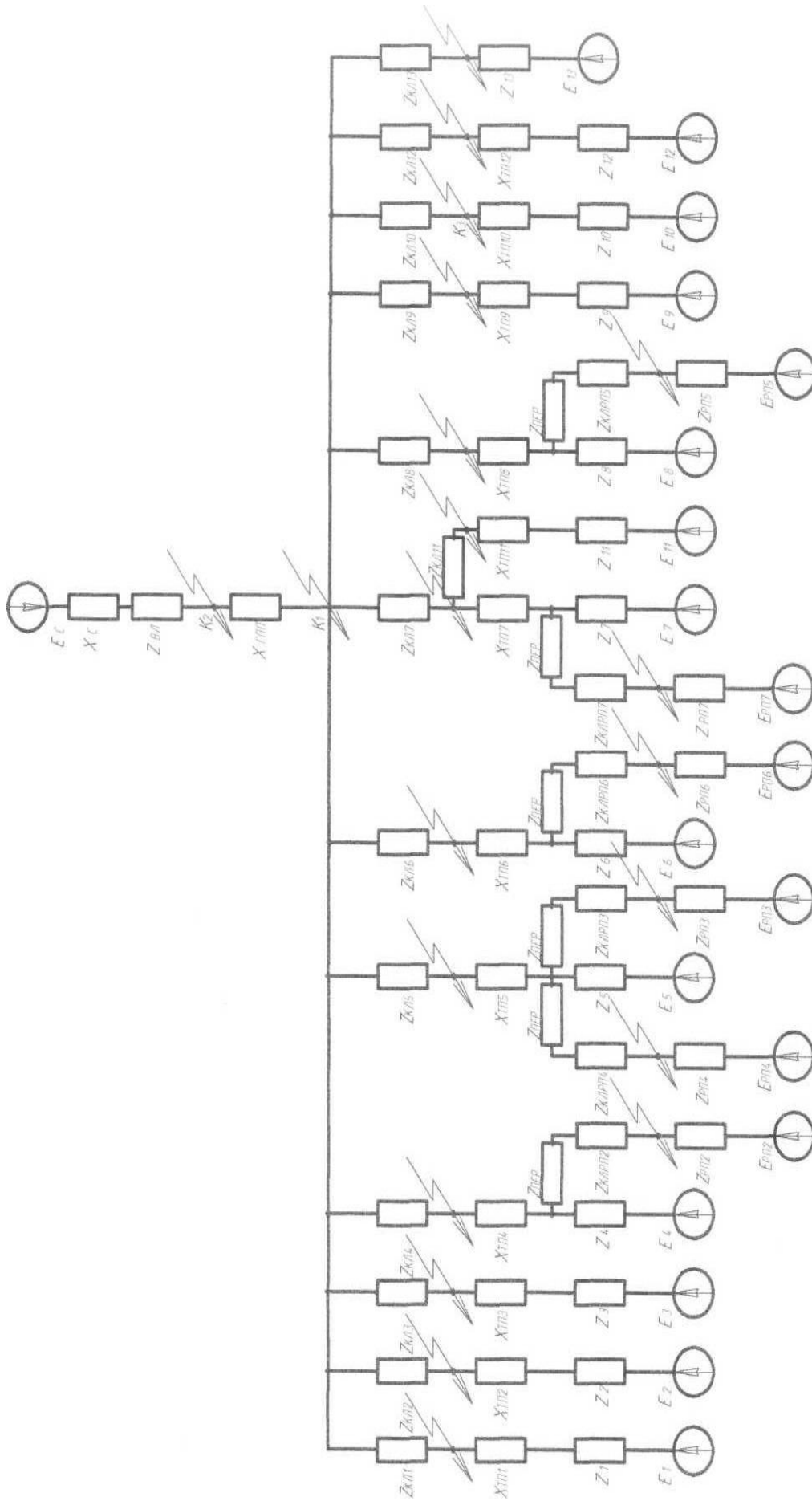


Рисунок 3.1 – Схема заміщення ел.мережі заводу для розрахунку КЗ

3.2.2 Вибір обладнання. Вибір вимикачів і роз'єднувачів

Вибір вимикачів виконуємо за умовами:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (3.91)$$

$$I_{ном} \geq I_{рmax}; \quad (3.92)$$

$$I_{відк.ном} \geq I''; \quad (3.93)$$

$$i_{дин} \geq i_{уд}. \quad (3.94)$$

Вибираємо роз'єднувачів аналогічно (окрім умови $I_{відк.ном} \geq I''$).

Таблиця 3.5 – Вибір вимикачів і роз'єднувачів для РП-10кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	ВВТЭ-10-20/1000У2	РВ-10/400 УЗ
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_{рmax} = 311,55$ А	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{ном} = 400$ А
$I'' = 5,3$ кА	$I_{відк.ном} = 12,5$ кА	-
$i_{у} = 6,3$ кА	$i_{дин} = 32$ кА	$i_{дин} = 52$ кА

Таблиця 3.6 – Вибір вимикачів і роз'єднувачів для РП-110кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	HGF 1012	РНДЗ-110/630
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{рmax} = 320,2$ А	$I_{ном} = 3150$ А	$I_{ном} = 630$ А
$I'' = 1,4$ кА	$I_{відк.ном} = 50$ кА	-
$i_{у} = 3,129$ кА	$i_{дин} = 150$ кА	$i_{дин} = 100$ кА

Вибір розрядників

Для захисту трансформаторів на ГПП на стороні 110 кВ встановлюються обмежувачі перенапруг ОПН-110 У1, а на стороні 10 кВ – обмежувачі перенапруг ОПН-10 У1, які встановлюються в комірках КРП.

Вибір шин ГПП

Перерізи гнучких шин вибираються за умовами:

$$F_e = \frac{I_{рmax}}{j_e}; \quad (3.95)$$

$$I_{рmax} \leq I_{дон}; \quad (3.96)$$

$$I_{рmax} = 320,2 \text{ А};$$

$$F_e = \frac{320,2}{1,1} = 291 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо для гнучких шин:

$$F_{cm} = 240 \text{ мм}^2, I_{don} = 610 \text{ А};$$

$$320,2 \text{ А} < 610 \text{ А}.$$

Згідно ПУЕ при $I^{(3)}_к < 20$ кА гнучкі шини не перевіряються на електродинамічну стійкість до струмів КЗ.

Для РП 10кВ з $I_{pmax} = 311,55$ А вибираю однополюсні алюмінієві шини прямокутного перерізу розміром 40×5 , $I_{don} = 540$ А;

$$311,5 < 540 \text{ А}.$$

Проводимо перевірку на термічну стійкість:

$$F_{\min} = I_{\infty} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C}, \quad (3.97)$$

де $C = 95$.

$$F_{\min} = 5300 \cdot \frac{\sqrt{0,1}}{95} = 17,6 \text{ мм}^2.$$

Оскільки $17,6 < 200 \text{ мм}^2$, то шина проходить по умові термічної стійкості.

Перевірка на електродинамічну стійкість:

$$\delta_{роз} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2 \cdot l^2}{w \cdot a} \cdot 10^{-8}, \quad (3.98)$$

де w – момент опору шини відносно осі, перпендикулярної дії зусилля:

$$w = \frac{e \cdot h^2}{6}; \quad (3.99)$$

$$w = \frac{5 \cdot 40^2}{6} = 1333 \text{ мм}^2 = 1,33 \text{ см}^2;$$

$$\delta_{роз} = \sqrt{3} \cdot \frac{6,3^2 \cdot l^2}{1,33 \cdot 0,26} \cdot 10^{-8} = 2 \text{ МПа};$$

$$\delta_{don} = 82,3 \text{ МПа}.$$

$2 < 82,3$ – шина проходить по умові механічної міцності.

Частота власних коливань :

$$f_o = \frac{173,2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{J}{F}}, \quad (3.100)$$

де J – момент інерції поперечного перерізу шини, см^4 .

$$J = \frac{e \cdot h^3}{12}; \quad (3.101)$$

$$J = \frac{5 \cdot 40^3}{12} \cdot 10^{-4} = 2,7 \text{ см}^4;$$

$$f_o = \frac{173,2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{2,7}{2}} = 201,2 \text{ Гц.}$$

Оскільки $f_o > 200$ Гц, то механічний резонанс виключений.

Вибір ізоляторів

Вибір здійснюється по допустимому навантаженню :

$$F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot F_{\text{розр}}; \quad (3.102)$$

$$F_{\text{роз}} < F_{\text{дон}}; \quad (3.103)$$

$$F_{\text{роз}} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot K_h \cdot 10^{-7}; \quad (3.104)$$

де

$$K_h = \frac{H}{H_{\text{єз}}}; \quad (3.105),$$

$$H = H_{\text{єз}} + e + \frac{h}{2}. \quad (3.106).$$

Вибираємо ізолятор ІО-10-3,75 УЗ:

$$K_{\text{єз}} = 120 \text{ мм}, F_{\text{розр}} = 3,75 \text{ кН}, U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$$

$$H = 120 + 5 + \frac{40}{2} = 145 \text{ мм};$$

$$K_h = \frac{145}{120} = 1,208;$$

$$F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot 3,75 = 2,25 \text{ кН};$$

$$F_{\text{роз}} = \sqrt{3} \cdot \frac{6300^2}{0,26} \cdot l \cdot 1,208 \cdot 10^{-7} = 31,9 \text{ Н} = 0,0319 \text{ кН};$$

$$0,0319 < 2,25 \text{ кН.}$$

Умова механічної міцності виконується.

Вибір трансформаторів власних потреб

На ГПП встановлюються два трансформатори власних потреб. Їх потужність визначається з умов навантаження :

- охолодження силових трансформаторів	3,5 кВт
- підігрівання шаф КРП	1кВт
- пристрої РПН	3,3кВт
- зовнішнє освітлення ВРП	3кВт
- обладнання зв'язку і телемеханіки	8,7кВт
- маслогосподарство	75кВт
Разом	94,5кВт

$$\sum S = \frac{\sum P}{\cos \varphi} = \frac{94,5}{0,95} = 99,5 \text{ кВА}; \quad (3.107)$$

$$S_o = \frac{99,5}{2 \cdot 0,7} = 71 \text{ кВА}. \quad (3.108)$$

Приймаємо трансформатори ТМ-100/10.

Вибір трансформаторів струму

Визначимо вторинне навантаження трансформаторів струму. Результати визначення вторинного навантаження представимо в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Визначення вторинних навантажень ТС

Місце встановлення	Прилади	Навантаження по		
		А	В	С
Лінії	Амперметр	0,02	-	0,02
	Трифазний универ. лічильник	0,008	-	0,008
РАЗОМ		0,028	-	0,028
Секційний вимикач	Амперметр	0,02	-	0,02
ВН трансформаторів ГПП	Амперметр	0,02	-	0,02
	Трифазний универ. лічильник	0,008	-	0,008
РАЗОМ		0,028	-	0,028

Трансформатори струму на відходящих лініях

Для встановлення в КРП заздалегідь приймаємо трансформатори струму ТПЛК-10 УЗ. Допустиме навантаження при необхідному класі точності 0,5 $Z_{\text{дон}} = 1,2 \text{ Ом}$.

Визначаємо можливість роботи трансформатора у вибраному класі точності по умові:

$$r_{\text{прил}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{к}} \leq Z_{\text{дон}}, \quad (3.109)$$

де $r_{\text{к}}$ – опір контактів (0,05 Ом).

Опір проводу :

$$r_{\text{пров}} = Z_{\text{дон}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{к}}; \quad (3.110)$$

$$r_{\text{пров}} = 1,2 - 0,028 - 0,05 = 1,122 \text{ Ом}.$$

Переріз проводу визначаємо по формулі:

$$F \geq \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пров}}}; \quad (3.111)$$

$$F = \frac{0,0283 \cdot 4}{1,122} = 0,1 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо контрольний кабель АКВРГ перерізом 4 мм².

Перевірка на електродинамічну стійкість здійснюється по умові:

$$i_y \leq K_{\text{ед}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}, \quad (3.112)$$

$$B = 70 \cdot 2000 \cdot 2 - 1 = 19600 \text{ кА}^2 \cdot \text{°С};$$

$$B_{\text{роз}} = 28 \text{ кА}^2 \cdot \text{°С}.$$

$28 \text{ кА}^2 \cdot \text{°С} < 19600 \text{ кА}^2 \cdot \text{°С}$ – умова виконується.

Вибір ТС для ВН ГПП

Приймаємо ТПОЛ-110, $I_{\text{ном}} = 600 \text{ А}$, $I_{\text{ном}2} = 5 \text{ А}$, клас точності 0,5, $Z_{\text{дон}} = 0,8 \text{ Ом}$, $i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$, $K_m = 40$, $t_m = 4 \text{ с}$.

Приймаємо контрольний кабель АКВРГ перерізом:

$$r_{\text{пров}} = 0,8 - 0,028 - 0,05 = 0,722 \text{ Ом};$$

$$F = \frac{0,0283 \cdot 4}{0,722} = 0,2 \text{ мм}^2;$$

Прилад	Число обмото	Число приладів	$S_{обм}, \text{ВА}$	$\cos \varphi$	$P, \text{Вт}$	$Q, \text{ВАр}$	$S, \text{ВА}$
Вольтметр Э335	1		2	1,0	6	0	6
Лічильник	1	8	6				48
РАЗОМ							54

Приймаємо НАМИ-10-95 УХЛ2, клас точності 0,5, $S_{ном} = 95 \text{ ВА}$.

$54 \text{ ВА} < 95 \text{ ВА}$ – умова виконується.

3.2.3 Компонування ГПП

Живлення заводу здійснюється по двоколовій повітряній лінії 110 кВ, виконаною проводами АС-70/11. ВРП-110 кВ ГПП виконується за схемою містка з роз'єднувачами РНДЗ-110/630 і вимикачами HGF 1012, яка забезпечує необхідну надійність. На ГПП встановлені 2 трансформатори ТДН-10000/110.

ЗРП-10 кВ ГПП виконується на основі комірок К-XXVI, в яких встановлюються вакуумні вимикачі ВВТЭ-10-20/1000, ВВТЭ-10-20/630, трансформатори напруги. На Ввідх і відходящих лініях встановлюються трансформатори струму для живлення вимірювальних кіл та кіл релейного захисту.

Цехові трансформаторні підстанції вибираємо марки КТП з номінальною потужністю 250-1000 кВА.

3.3 Релейний захист

3.3.1 Захист кабельних ліній напругою 10 кВ

Захист від багатофазних КЗ

Струмова відсічка виконується на реле РТ-80. Струм спрацьовування струмового відсічення вибирається виходячи з двох умов:

$$I_{с.з.} \geq k_{нал.} \cdot I_{\Sigma mp.}, \quad (3.115)$$

де $k_{нал} = 5$ – коефіцієнт налаштування;

$I_{\Sigma mp}$ – сумарний номінальний струм трансформаторів, що живляться від захищеної лінії.

$$I_{c.з.} \geq k_H \cdot I_{k2max}^{(3)}, \quad (3.116)$$

де $k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності.

Коефіцієнт чутливості знаходимо за виразом:

$$k_\chi = \frac{I_{\kappa 1min}^{(2)}}{I_{c.з.}}, \quad (3.117)$$

де $I_{\kappa 1min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ в точці k ;

k_χ має бути не менше 1,2.

Розрахунки приведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Розрахунок струму спрацьовування і коефіцієнта чутливості СВ

Ділянка	I_{pmax} , А	$I_{k1max}^{(3)}$ кА	$I_{k2max}^{(3)}$ кА	$I_{k1max}^{(2)}$ кА	$I_{c.з.}$, кА	k_χ
ГПП-ТВП	39,942	5,3	2,95	4,99	3,54	1,4
ГПП-РП1	175,318	5,3	4,2	4,99	4,5	1,2

МСЗ виконується на реле РТ-80. Струм спрацьовування МСЗ вибирається виходячи з умов налаштування від максимального робочого струму лінії і забезпечення повернення пускового органу захисту в початкове положення після його спрацьовування.

$$I_{c.з.} \geq \frac{k_H \cdot k_{cзп}}{k_R} \cdot I_{роб. макс}, \quad (3.118)$$

де $k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$k_n = 0,85$ – коефіцієнт повернення реле;

$k_{cзп}$ – коефіцієнт самозапуску навантаження після відключення зовнішнього КЗ;

$I_{роб макс}$ - максимальний робочий струм лінії.

Розрахунковий струм спрацьовування реле визначається за виразом:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot \frac{k_{cx}}{n_{mp}}, \quad (3.119)$$

де $k_{cx} = 1$ – коефіцієнт схеми;

n_{mp} – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Коефіцієнт чутливості знаходимо за виразом:

$$k_u = \frac{I_{\kappa 2 \min}^{(2)}}{I_{c.з.}}. \quad (3.120)$$

Він має бути не менше 1,5.

Результати розрахунків приведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Розрахунок струму спрацьовування і коефіцієнта чутливості

Ділянка	$I_{p \max}$, А	$I^{(3)}_{k2 \max}$ кА	$I^{(2)}_{k1 \max}$ кА	$I_{c.з.}$, кА	k_u	$t_{c.з.}$
ГПП-ТП	39,942	2,95	2,55	84,58	30,1	0,5
ГПП-РШ	175,318	4,2	3,63	371,26	9,8	0,5

Захист від замикань на землю

$$I_{c.з.} \geq I_{c.з.роз.} = k_{нал} \cdot k_B \cdot I_c, \quad (3.121)$$

де $k_{нал} = 1,2$ – коефіцієнт налаштування;

$$I_c = I_{c.d.} + I_{c.l.}. \quad (3.122)$$

При номінальній потужності двигуна, що не перевищує 2,5-3 МВт, значенням $I_{c.d.}$ можна нехтувати. Тоді:

$$I_c = I_{c.l.} = I_{c0} \cdot L \cdot m, \quad (3.123)$$

Коефіцієнт чутливості знаходимо за виразом:

$$k_u = \frac{I'_c - I_c}{I_{c.з.}}, \quad (3.124)$$

де k_u – найменше реальне значення ємнісного струму мережі $I'_c = 5A$, k_u має бути не менше 1,25.

Результати розрахунків приведені в табл. 3.11 для усіх ділянок.

Таблиця 3.11 – Розрахунок захисту від замикань на землю

Ділянка	I_{pmax}, A	$I_{co} A/км$	I_c, A	$I_{c.з.}$	k_u
ГПП-ТП1	32.197	0.65	0.33	0.99	4.7
ГПП-ТП2	38.99	0.65	0.033	0.099	50.2
ГПП-ТП3	17.439	0.65	0.033	0.099	50.2
ГПП-ТП4	62	0.65	0.35	1.05	4.43
ГПП-ТП5	46.474	0.65	0.1	0.3	16.3
ГПП-ТП6	26.526	0.65	0.5	1.5	3
ГПП-ТВП	39.942	0.65	0.25	0.75	6.3
ГПП-ТП8	34.867	0.65	0.4	1.2	3.8
ГПП-ТП9	18.96	0.65	0.53	1.59	2.8
ГПП-ТП10	38.295	0.65	0.6	1.8	2.4
ГПП-ТП12	79.364	0.65	0.45	1.35	3.4
ГПП-РШ	175.318	1.04	0.5	1.5	3

3.3.2 Захист блоків «Трансформатор - магістраль»

Згідно ПУЕ мають бути встановлені наступні види заохисту :

- 1) захист від багатофазних КЗ;
- 2) захист від надструмів перевантаження (встановлюється для трансформаторів потужністю 400 кВА і більше, який діє на сигнал, якщо на підстанції є черговий персонал, або на автоматичне розвантаження або виключення, якщо персоналу немає);
- 3) захист від замикань на землю;
- 4) температурна сигналізація;
- 5) газовий захист.

Захист від багатофазних КЗ

Захист від багатофазних КЗ виконується двоступінчатим:

- 1) струмова відсічка миттєвої дії;
- 2) МСЗ.

$$1) \quad I_{c.з.} > k_H \cdot I_{k2max}^{(3)}, \quad (3.125)$$

де $k_H = 1,2$;

$I_{k2max}^{(3)}$ – струм трифазного КЗ на стороні НН трансформатора.

$$k_u = \frac{I_{\kappa 1min}^{(2)}}{I_{c.з.}} \geq 2, \quad (3.126)$$

де $I_{\kappa 1 \min}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ на стороні ВН.

Дані занесемо в табл. 3.12.

$$2) \quad I_{c.з.} \geq \frac{k_H \cdot k_{cзн}}{k_n} \cdot I_{роб. \max}, \quad (3.127)$$

де $k_H = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$k_n = 0,85$ – коефіцієнт повернення реле;

$k_{cзн}$ – коефіцієнт самозапуску навантаження після відключення зовнішнього КЗ;

$I_{роб. \max}$ – максимальний робочий струм.

$$k_{\chi} = \frac{I_{\kappa 2 \min}^{(1)}}{I_{c.з.}} \geq 1,5, \quad (3.128)$$

де $I_{\kappa 2 \min}^{(1)}$ – струм однофазного КЗ на стороні НН трансформатора.

Дані занесемо в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Розрахунок захисту від багатofазних КЗ

Ділянка	$I_{p \max}$, А	$I^{(3)}_{\kappa 2 \max}$ кА	$I^{(2)}_{\kappa 1 \max}$ кА	$I^{(1)}_{\kappa 2 \max}$ кА	$I_{c.з.с.в.}$, кА	$k_{\chi.с.в.}$	$I_{c.з.мсз}$, А	$k_{\chi.мсз}$
ГПП-ТП1	32,197	1,02	2,7	0,88	1,22	2,2	90,9	9,68
ГПП-ТП2	38,99	1,23	3,09	1,07	1,47	2,1	110,09	9,7
ГПП-ТП3	17,439	0,8	1,95	0,69	0,975	2	49,24	14
ГПП-ТП4	62	1,12	2,83	0,97	1,347	2,1	175,06	5,54
ГПП-ТП5	46,474	0,97	2,69	0,84	1,17	2,3	131,22	6,4
ГПП-ТП6	26,526	0,97	2,62	0,84	1,16	2,25	74,9	11,2
ГПП-ТП8	34,867	1,15	3,45	0,99	1,38	2,5	98,45	10
ГПП-ТП9	18,96	0,95	2,4	0,82	1,14	2,1	53,53	15,3
ГПП-ТП10	38,295	1,42	3,93	1,23	1,7	2,3	108,13	11,4
ГПП-ТП12	79,364	1,25	3,74	1,08	1,5	2,5	224,09	4,8

Захист від надструмів перевантаження

Захист встановлюється для трансформаторів потужністю більше 400 кВА і виконується у вигляді МСЗ з дією на сигнал.

$$I_{сз} \geq \frac{k_n}{k_n} \cdot I_{роб.маж}, \quad (3.129)$$

де $k_n = 1,2$ – коефіцієнт надійності;

$k_n = 0,85$ – коефіцієнт повернення реле.

Дані занесемо в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Розрахунок захисту від перевантаження

№ТП	$S_{рном},$ кВА	$I_{рmax},$ А	$I_{сз},$ А	$t_{с.з.},$ с
1	400	32,197	45,45	0,1
2	630	38,99	55	0,1
4	1000	62	87,53	0,1
5	630	46,474	65,61	0,1
6	400	26,526	37,45	0,1
8	400	34,867	49,22	0,1
10	630	38,295	54,06	0,1
12	1000	79,364	112,04	0,1

Захист від багатозазних КЗ і перевантаження трансформаторів, що живляться за магістральною схемою (ТП7, ТП11) виконується запобіжниками типу ПК1-10-20/16-20УЗ.

$$I_{вс.ном.} > k_з \cdot I_{рmax}, \quad (3.130)$$

де $k_з = 1,1 - 1,25$.

Таблиця 3.14 – Вибір запобіжників

№ТП	$I_{рmax},$ А	$I_{вс.ном.},$ А
7	39,942	50
11	21,249	25

3.3.3 Захист кабельних ліній напругою 0,38 кВ

Низьковольтні кабелі, що прокладаються в землі від цехових трансформаторних підстанцій до розподільних пунктів, захищаємо запобіжниками.

Таблиця 3.15 – Розрахунок захисту низьковольтних кабелів

Ділянка	I_{pmax}, A	$I_{пл.вс.}, A$	Марка запобіжника
ТП4-РП2	130	150	ПН2-250
ТП5-РП3	124,277	150	ПН2-250
ТП5-РП4	124,277	150	ПН2-250
ТП8-РП5	333,09	350	ПН2-400
ТП6-РП6	38	40	ПН2-100
ТП7-РП7	72,254	80	ПН2-100

3.3.4 Захист трансформаторів ГПП

Визначимо струм спрацьовування захисту на реле РНТ-565 налаштованим від кидка струму намагнічення :

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{ном.т.}, \quad (3.131)$$

$I_{ном.т.}$ – номінальний струм трансформатора з високої сторони.

$$I_{ном.т.} = \frac{S_{ном.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (3.132)$$

$$I_{ном.тнн} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,857 \text{ A};$$

$$I_{ном.твн} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,204 \text{ A};$$

$$I_{с.з.} \geq 1,3 \cdot 50,204 = 65,265 \text{ A}.$$

Визначимо струм спрацьовування захисту налаштований від струму небалансу :

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{н\bar{б}}; \quad (3.133)$$

$$k_n = 1,3.$$

Струм небалансу:

$$I_{н\bar{б}} = I'_{н\bar{б}} + I''_{н\bar{б}} + I'''_{н\bar{б}}, \quad (3.134)$$

$I'_{н\bar{б}}$ – струм, що враховує похибку трансформаторів струму.

$$I_{н\bar{б}} = k_a \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{kmax}^{BH}, \quad (3.135)$$

k_a – коефіцієнт, що враховує аперіодичну складову, набуває значення 1;

$k_{одн}$ – коефіцієнт однотипності ТС (0,5 або 1).

З боку живлення встановлені ТС з $I_{ном.1} = 100$ А ($I_{ном.т} = 50,204$ А ВН), а з боку 10 кВ вибираю ТС з $I_{ном.1} = 1000$ А ($I_{ном.т} = 549,857$ А НН).

Вторинний струм в плечах диференціального захисту при номінальному навантаженні силового трансформатора :

$$I_2^{BH} = \frac{k_{CX} \cdot I_{ном.т}^{BH}}{k_{ТС}^{BH}}; \quad (3.136)$$

$$I_{ном.2}^{BH} = \frac{\sqrt{3} \cdot 50,204 \cdot 5}{300} = 4,348 \text{ А};$$

$$I_{ном.2}^{HH} = \frac{I_{ном.т}^{HH}}{k_{ТС}^{HH}}; \quad (3.137)$$

$$I_2^{HH} = \frac{549,857 \cdot 5}{1000} = 2,749 \text{ А}.$$

Через невелику різницю між струмами, що протікають по ТС приймаємо $k_{одн} = 0,5$.

ε – повна похибка ТС (0,1).

$$I_{k.max}^{BH} = I_{k.max}^{(3)} \cdot k_m; \quad (3.138)$$

$$I_{k.max}^{BH} = 5300 \frac{10,5}{115} = 483,9 \text{ А};$$

$$I'_{нб} = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 483,9 = 24,196 \text{ А},$$

$I''_{нб}$ – враховує наявність у силового трансформатора пристрою РПН.

$$I''_{нб} = \Delta N \cdot I_{k.max}^{BH}, \quad (3.139)$$

ΔN – половина регульовального діапазону РПН, $\Delta N = 0,06$;

$$I''_{нб} = 0,06 \cdot 483,9 = 29,034 \text{ А},$$

$I'''_{нб}$ – враховує дискретність шкали уставок.

$$I_{нб} = 24,196 + 29,034 = 53,23 \text{ А};$$

$$I_{с.з.} > 1,3 \cdot 53,23 = 69,199 \text{ А}.$$

Вибираю найбільший струм спрацьовування захисту рівний
= 69,2А.

$I_{c.з.}$

Чутливість захисту

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{\text{BH}}}{I_{\text{с.з.}}}; \quad (3.140)$$

$$I_{\text{к.мін}}^{\text{BH}} = I_{\text{к.мін}}^{(2)} \cdot k_m; \quad (3.141)$$

$$I_{\text{к.мін}}^{\text{BH}} = 4990 \frac{10,5}{155} = 455,6 \text{ А};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{455,6}{69,2} = 6,58.$$

Визначення вторинного струму спрацьовування захисту з найбільшим вторинним струмом.

Найбільший вторинний струм спостерігається на ТС з боку живлення, так як ТС сполучені в трикутник.

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{k_{\text{ТС}}}; \quad (3.142)$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 69,2}{100/5} = 5,99 \text{ А}.$$

Визначимо розрахункову кількість витків для основної сторони

$$\omega_{\text{осн}} = \frac{F_{\text{сх}}}{I_{\text{с.р.}}}, \quad (3.143)$$

де $\omega_{\text{с.р.}}$ – магніторушійна сила спрацьовування реле РНТ-565, $F_{\text{ср}}=100$;

$\omega_{\text{осн.}}$ – сумарне число витків робочої і першої зрівняльної обмоток з основного боку.

$$\omega_{\text{осн}} = \omega_{\text{роб.}} + \omega_{\text{зр.1}}; \quad (3.144)$$

$$\omega_{\text{осн}} = \frac{100}{5,99} = 16,69.$$

На основній обмотці є відпаювання для регулювання числа витків, приймаємо найближче менше ціле значення до $\omega_{\text{осн.}}$, яке можна встановити на робочій і першій зрівняльній обмотках. Приймаємо $\omega_{\text{осн}}=16$ витків.

Визначаємо кількість витків з неосновного боку

$$\omega_{неосн} = \omega_{осн} \frac{I_1}{I_2} = \omega_{зр2} + \omega_{роб.}, \quad (3.145)$$

I_1, I_2 – вторинний струм в плечах захисту при номінальній потужності трансформатора.

$$I_1 = 4,348 \text{ А}, I_2 = 2,749 \text{ А};$$

$$\omega_{неосн} = 16 \cdot \frac{4,348}{2,749} = 25,3.$$

Приймаємо $\omega_{неосн} = 25$.

Уточнення струму небалансу.

$$I''_{нб} = \frac{\omega_{осн.роз} - \omega_{осн}}{\omega_{осн.роз}} I_{к.мах}^{ВН} + \frac{\omega_{неосн.роз} - \omega_{неосн}}{\omega_{неосн.роз}} I_{к.мах}^{НН}; \quad (3.146)$$

$$I''_{нб} = \frac{16,69 - 16}{16,69} \cdot \frac{483,9}{100/5} + \frac{25,3 - 25}{25,3} \cdot \frac{5300}{1000/5} = 1,314 \text{ А};$$

$$I''_{нб} = 1,31 \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 5} = 15,175 \text{ А}.$$

Повний струм небалансу

$$I_{нб} = 24,196 + 29,034 + 15,175 = 68,405 \text{ А}.$$

Уточнення первинного струму спрацьовування захисту

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot I_{н.б.}; \quad (3.147)$$

$$I_{с.з.} = 1,3 \cdot 68,405 = 88,927 \text{ А}.$$

Визначення чутливості захисту

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мін}^{ВН}}{I_{с.з.}}; \quad (3.148)$$

$$k_{ч} = \frac{455,6}{88,927} = 5,12.$$

Коефіцієнт чутливості перевищує 1,5. Отже захист на реле РНТ-565 є чутливим.

Максимальний струмовий захист від зовнішніх багатозазних КЗ

Захист встановлюється з боку джерела живлення безпосередньо у вимикача, при цьому в зону дії захисту входять трансформатор і його приєднання з вимикачами. Захист діє на відключення вимикачів.

Струм спрацьовування захисту налаштовується від максимального робочого струму :

$$I_{с.з.} \geq \frac{k_H \cdot k_{сз}}{k_{II}} \cdot I_{роб.маx}, \quad (3.149)$$

де k_H – коефіцієнт надійності, що приймається рівним 1,2;

k_{II} – коефіцієнт повернення, приймаємо 0,85;

$k_{сз}$ – коефіцієнт самозапуску навантаження після відключення зовнішнього КЗ, визначається для узагальненого навантаження по кривих [1];

$I_{роб.маx}$ – максимальний робочий струм.

$$I_{роб.маx} = 517,56 \text{ А.}$$

Визначення коефіцієнта самозапуску :

$$k_{КЗ} = \frac{I_{роб.маx}}{I_{к.маx}^3}; \quad (3.150)$$

$$k_3 = \frac{517,56}{5300} = 0,1.$$

По кривій залежності знаходимо $k_{сз} = 2,25$ [1];

$$I_{сз} \geq \frac{1,2 \cdot 2,25}{0,85} \cdot 517,56 \cdot \frac{10,5}{115} = 150,1 \text{ А.}$$

Розрахунковий струм спрацьовування реле:

$$I_{с.з.} = I_{с.з.} \cdot \frac{k_{сх}}{n_m}, \quad (3.151)$$

де $k_{сх}$ – коефіцієнт схеми, рівний 1.

$$I_{с.з.} = 150,1 \cdot \frac{1}{300/5} = 2,5 \text{ А.}$$

Чутливість захисту :

$$k_{ч} = \frac{I_{к.мин}^2}{I_{с.з.}}; \quad (3.152)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{4990}{150,1} \cdot \frac{10,5}{115} = 3;$$

$$k_{\text{ч}} > 1,5.$$

Струмовий захист від перевантажень

Струм спрацьовування захисту :

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_H}{k_n} \cdot I_{\text{ном.тр}}, \quad (3.153)$$

де $k_H = 1,05$, $k_n = 0,85$;

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{1,05}{0,85} \cdot 50,204 = 62,01 \text{ А.}$$

3.3.5 Захист конденсаторних установок

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{нал.}} \cdot I_{\text{К.У.ном.}}, \quad (3.154)$$

$$I_{\text{К.У.ном.1}} = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1125}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 61,859 \text{ А}; \quad (3.155)$$

$$I_{\text{с.з.}} = k_{\text{нал.}} \cdot I_{\text{К.У.ном.}} = 2,5 \cdot 61,859 = 154,647 \text{ А.} \quad (3.156)$$

Чутливість відсічки:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^2}{I_{\text{с.з.}}^2} = \frac{2206}{154,647} = 14,26 > 2. \quad (3.157)$$

Знаходимо струм КЗ :

ТП1: $S_n = 400$ кВА, з'єднання обмоток $\Delta - Y0 - 11$;

$R_m = 5,6$ мОм; $X_m = 17,1$ мОм;

$$X_{\Sigma} = X_T = 17,1 \text{ мОм}; \quad (3.158)$$

$$R_{\Sigma} = R_T + R_{\text{пер.1}} + R_{\text{пер.2}} = 5,6 + 15 + 20 = 40,6 \text{ мОм}; \quad (3.159)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2} = \sqrt{17,1^2 + 40,6^2} = 44,05 \text{ мОм}; \quad (3.160)$$

$$I_K^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 44,05} = 4,98 \text{ кА}; \quad (3.161)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,98 = 4,31 \text{ кА}; \quad (3.162)$$

$$I_{K.U.ном.1} = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 75,967 \text{ А}; \quad (3.163)$$

$$I_{с.з.} = k_{нал.} \cdot I_{K.U.ном} = 2,5 \cdot 75,967 = 189,9 \text{ А}. \quad (3.164)$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА52-31: $I_{ном.вик} = 100\text{А}$.

Для конденсаторних установок 10 кВ:

$$I_{с.з.1} = 1,3 \cdot I_{K.U.ном} = 1,3 \cdot 61,859 = 80,417 \text{ А}. \quad (3.165)$$

Для конденсаторних установок 0,4 кВ:

$$I_{с.з.1} = 1,3 \cdot I_{K.U.ном} = 1,3 \cdot 75,967 = 98,757 \text{ А}. \quad (3.166)$$

Для конденсаторних установок 10кВ :

$$U_{с.з.} = 1,1 \cdot U_{K.U.ном} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ кВ}. \quad (3.167)$$

Для конденсаторних установок 0,4кВ :

$$U_{с.з.} = 1,1 \cdot U_{K.U.ном} = 1,1 \cdot 0,38 = 0,418 \text{ В}. \quad (3.168)$$

3.3.6 Захист синхронних двигунів 10 кВ

Струмова відсічка

Налаштування від пускового струму

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{пуск}, \quad (3.169)$$

$I_{пуск}$ – пусковий струм СД.

$$I_{пуск} = k_n \cdot I_{ном}; \quad (3.170)$$

$$I_{пуск} = 7 \cdot 87,6 = 613,2 \text{ А},$$

$k_n = 1,8$ для реле РТ-40.

$$I_{с.з.} = 1,8 \cdot 613,2 \text{ А}.$$

Струм спрацьовування реле

$$I_{с.з.} = \frac{k_{сх} \cdot I_{с.з.}}{n_m}, \quad (3.171)$$

$k_{сх} = \sqrt{3}$ – при однорелейному виконанні.

Коефіцієнт трансформації ТС приймаю $n_m = 800/5$.

$$I_{с.р.} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1103,76}{800/5} = 11,95 \text{ А}. \quad (3.172)$$

Чутливість струмової відсічки:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мін}}^2}{I_{\text{с.з.}}} \geq 2; \quad (3.173)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{3900}{1103,76} = 3,5 \quad (k_{\text{ч}} > 2).$$

Струмовий захист від перевантажень

Струм спрацьовування реле

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{ном}}}{K_{\text{в}} \cdot n_{\text{м}}}, \quad (3.174)$$

де $k_{\text{н}} = 1,3$, $k_{\text{н}} = 0,8$, $k_{\text{сх}} = \sqrt{3}$ (однорелейна схема), $n_{\text{м}} = 800/5$.

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{1,3 \cdot \sqrt{3} \cdot 87,6}{0,8 \cdot 800 / 5} = 1,54 \text{ А.}$$

Захист від втрати живлення і пониження напруги

Захист електродвигунів від пониження напруги виконується двоступінчатим.

Параметри спрацьовування першого ступеня :

$$U_{\text{с.р.1}} \leq 0,7 \cdot U_{\text{ном}}. \quad (3.175)$$

Час спрацьовування першого ступеня захисту виконується 0,5...1,5 с.

Параметри спрацьовування другого ступеня :

$$U_{\text{с.р.2}} \leq 0,5 \cdot U_{\text{ном}}; \quad (3.176)$$

$$U_{\text{с.р.2}} \leq 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ кВ.}$$

Час спрацьовування другого ступеня захисту виконується 5...10 с.

Захист від асинхронного ходу

Струм спрацьовування захисту:

$$I_{\text{с.з.}} = 1,4 \cdot I_{\text{ном}}; \quad (3.177)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 1,4 \cdot 87,6 = 122,64 \text{ А.}$$

3.4 Внутрішньоцехове електропостачання

3.4.1 Розрахунок силової мережі цеху

$$I_p = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi}. \quad (3.178)$$

Таблиця 3.16 – Вибір кабелю силової мережі цеху

Ділянка	S_p , кВА	I_p , А	$I_{доп}$, А	Марка кабелю	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	L , м	R , Ом	X Ом	ΔU , %
РП1- РП2	62,6	94	95	АПВБ- 3×35+1×16	0,894	0,088	38	0,034	0,0033	1,3
ВРП- РП1	120,6	183	200	АПВБ- 3×120+1×70	0,261	0,08	6	0,0016	0,0005	0,13
РП3- РП4	53,3	81	95	АПВБ- 3×35+1×16	0,894	0,088	12	0,0107	0,0011	0,3
ВРП- РП3	109,9	167	200	АПВБ- 3×120+1×70	0,261	0,08	28	0,0073	0,0022	0,5

3.4.2 Розрахунок струмів к.з. в цеху

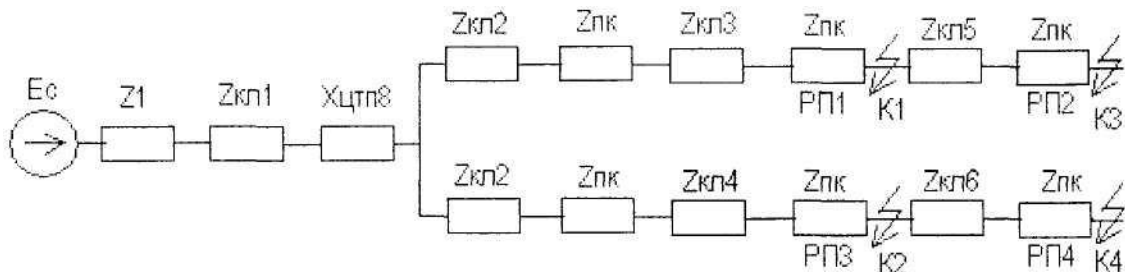


Рисунок 3.2 – Схема заміщення

$$X = X' \cdot k_m^2; \quad (3.179)$$

$$E_c = 0,4 \text{ кВ.}$$

$$I'' = \frac{E_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}. \quad (3.180)$$

Точка К1 : $R_{\Sigma} = 0,0667 \text{ Ом}$, $X_{\Sigma} = 0,0644 \text{ Ом}$;

$$I'' = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,0667^2 + 0,0644^2}} = 2,49 \text{ кА.}$$

К2: $R_{\Sigma} = 0,0724 \text{ Ом}$, $X_{\Sigma} = 0,0661 \text{ Ом}$;

$I'' = 2,36 \text{ кА}$;

K3: $R_{\Sigma} = 0,1307 \text{ Ом}$, $X_{\Sigma} = 0,0977 \text{ Ом}$;

$I'' = 1,4 \text{ кА}$;

K4: $R_{\Sigma} = 0,1131 \text{ Ом}$, $X_{\Sigma} = 0,0672 \text{ Ом}$;

$I'' = 1,76 \text{ кА}$.

$I_{кз} = 2490 \text{ А}$;

$$S_{\min} \geq \frac{I_{кз}}{C} \cdot \sqrt{t_{np}} = \frac{2490}{95} \cdot \sqrt{0,1} = 8,3 \text{ мм}^2. \quad (3.181)$$

Таблиця 3.17 – Вибір кабелів і вимикачів

№ РП	№ е/п	$P_{ном}$ кВт	$\cos\varphi$	I_p , А	$I_{дон}$, А	Марка кабелю	R_0 , Ом/м	X_0 , Ом/м	$I_{ном.авт.}$	Марка вим.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
РП1	1	11,4	0,4	43,3	55	АПВ-4*16	1,95	0,095	50	ВА52-	
	8,9	7,5	0,4	28,5	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	32	ВА52-	
	10,19,20	2,8	0,7	6	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	17	7,5	0,65	17,5	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	25	ВА52-	
	27	4,5	0,8	8,5	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	28,34	30	0,65	70	75	АПВ-4*25	1,25	0,092	100	ВА52-	
	35	35	0,5	106,4	110	АПВ-	0,625	0,085	160	ВА52-	
	Ввід			280	290	АПВБ-	0,169	0,078	400	ВА52-	
РП2	2	7,5	0,4	28,5	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	32	ВА52-	
	3,4,5	4,7	0,4	18	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	25	ВА52-	
	6,7	3,8	0,4	14,4	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	11,12,13	2,2	0,5	6,7	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	18	18,2	0,5	55,3	75	КГ-4*25	1,25	0,092	63	ВА52-	
	22,23	40	0,65	93,5	95	АПВ-	0,894	0,088	100	ВА52-	
		Ввід			216	250	АПВБ-	0,208	0,079	250	ВА52-
	21	18,2	0,5	55,3	75	КГ-4*25	1,25	0,092	63	ВА52-	
РП3	29,30,32,33	4	0,5	12	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	36-38	8,7	0,5	26,4	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	32	ВА52-	
	39	5,5	0,7	12	42	4(ПВ-3)--1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	40	28	0,5	85	95	АПВ-	0,894	0,088	100	ВА52-	
	41	10	0,8	19	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	25	ВА52-	
		Ввід			210	250	АПВ-	0,208	0,079	250	ВА52-
РП4	14-16	8,7	0,5	26,4	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	32	ВА52-	
	24,25	2,2	0,5	6,7	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	26	2,8	0,7	6	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	31	4,5	0,8	8,5	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	16	ВА52-	
	44,45	13	0,7	28	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	32	ВА52-	
	43	28	0,5	85	95	АПВ-	0,894	0,088	100	ВА52-	
	42	10	0,8	19	42	4(ПВ-3) - 1*10	3,12	0,099	25	ВА52-	
		Ввід			169	170	АПВ-	0,329	0,081	250	ВА52-

3.5 Висновки до розділу 3

В даному розділі здійснено вибір кількості і потужності цехових трансформаторів, а також розроблено проект головної понижувальної підстанції.

Живлення до заводу було підведене від найближчої електростанції двоколовою повітряною лінією зі сталю-алюмінієвими проводами АС-70/11 і залізобетонними опорами напругою 110 кВ. На ГПП встановлені 2 трансформатори ТДН-10000/110, які захищені електричними вимикачами марки HGF 1012. До цехових підстанцій живлення підводиться кабелями марки ААБл за розгалуженою схемою, захист цехових підстанцій здійснюється за допомогою запобіжників і автоматичних вимикачів, встановлених в КРП. Для живлення цехів використовуються комплектні трансформаторні підстанції різної потужності. Для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні батареї, що встановлюються на шинах ГПП і на виводах низької напруги цехової підстанції ТП1.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Розробка заходів з охорона праці та техніки безпеки

На кожному підприємстві при експлуатації електрообладнання користуються нормативно-технічною документацією з безпечної експлуатації електроспоживачів: “Закон України про Охорону праці”, ПУЕ, ПТЕ і ПТБ у відповідності до якої електроустановки допущені до експлуатації.

До нормативно-технічної документації входять:

- акти прийому робіт;
- генеральний план ділянки на якому нанесені споруди і підземні електротехнічні комутації;
- акти випробувань і наладки електрообладнання;
- акти прийому електроустановок в експлуатацію;
- виконавчі робочі схеми первинних і вторинних електричних з'єднань;
- технічний паспорт електрообладнання;
- інструкції по обслуговуванню електроустановок, а також посадові інструкції по кожному робочому місцю.

Крім того, на кожному цеху необхідно мати:

- паспортні карти або журнал з описанням електрообладнання і засобів захисту із вказанням технічних даних, а також присвоєння інвентарних номерів;
- креслення електрообладнання, електроустановок і споруд, комплекти креслень запасних частин, виконавчі креслення повітряних і кабельних трас;
- креслення підземних кабельних трас і заземлюючі пристрої з прив'язками до будівельних споруд, а також з вказанням місць установки з'єднувальних муфт і перемикань з іншими комунікаціями;

- загальні схеми електропостачання, складені по підприємству в цілому і по окремим цехам та ділянкам;
- комплект експлуатаційних інструкцій по обслуговуванню електроустановок цеха, ділянки і комплект посадових інструкцій по кожному робочому місцю і інструкцій по охороні праці.

Всі зміни в електроустановках, які вносяться в процесі експлуатації, повинні відображатися в схемах і кресленнях відразу за підписом особи, яка відповідає за електрогосподарство, з вказанням його посади і дати внесення змін.

Заходи з електробезпеки поділяються на організаційні та технічні.

До організаційних заходів, що забезпечують безпеку виконання робіт в електроустановках відносяться:

- оформлення робіт нарядом-допуском, розпорядженням або переліком робіт, що виконують в порядку технічної експлуатації;
- допуск до роботи;
- наряд під час виконання робіт;
- оформлення перерв в роботі, переводу бригади на інше робоче місце, закінчення роботи

В процесі роботи заводу персонал повинен систематично проходити інструктаж з техніки безпеки. На робочих місцях повинні бути інструкції по обслуговуванню обладнання, правила техніки безпеки, плакати та попереджувальні написи.

Особи, що обслуговують електроустановки, проходять медогляд, навчання безпечним методам роботи, перевірку знань кваліфікаційної групи по ТБ.

Технічні заходи.

Для захисту людей в умовах виробничого процесу застосовуються:

- безпечні струми;
- ізоляція проводів;
- механічні огороження;

- захисні заземлення;
- занулення;
- блокування пристроїв;
- захисні засоби.

Захисне заземлення - це заземлення, виконане з метою захисту людей від замикань на землю, або корпус.

Захисне відключення - система захисту, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки.

На підприємстві повинні проводитись протипожежні інструктажі.

Всі працівники підприємства зобов'язані знати та неухильно виконувати правила пожежної безпеки. Для цього з робітниками проводиться пожежно-технічний мінімум, де їх знайомлять з методами гасіння пожеж і засобів, що використовуються для цього.

Головним завданням пожежної безпеки є забезпечення працюючих комфортними умовами праці, зберігання матеріальних цінностей, а також забезпечення неперервного виробничого процесу.

Основними причинами пожеж на підприємствах харчової промисловості є необережна робота з відкритим вогнем, застосування пошкоджених, вогнегасників які не відповідають класу вибухонебезпечності.

Пожежна безпека заводу забезпечується системою запобігання пожеж і пожежного захисту. Пофарбування зовнішньої поверхні обладнання, яка нагрівається, повинне проводитись жаростійкою фарбою.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно проводити організаційні заходи. До них відносяться:

- організація пожежної охорони;
- навчання працюючих;
- розробка і застосування норм та правил.

Пожежна профілактика - це найбільш важлива частина протипожежних заходів і уявляє собою єдиний комплекс організаційних та технічних заходів по попередженню та локалізації пожеж та вибухів.

Головними та найбільш частими причинами горіння, пожеж, вибухів є:

1. порушення правил пожежної безпеки;
2. порушення режиму технологічного процесу;
3. несправність обладнання;
4. самозапалювання, грозові розряди.

Причинами пожеж являються також короткі замикання та струмові навантаження провідників. Електрична дуга може визвати запалення розташованих поблизу горючих матеріалів і маслонаповнених апаратів.

В приміщеннях підприємства передбачені засоби для гасіння пожежі. В електричних установках гасіння пожежі відбувається за допомогою повітряно-механічної піни піноутворювачем (ПО-1 та ПО-6).

Ручні вогнегасники типів ОУ-5 та ОУ-8 передбачені для гасіння невеликих джерел вогню всіх видів.

При виникненні пожеж, якщо електрична установка не відключена та знаходиться під напругою, виникає небезпека враження електричним струмом. Необхідно зняти напругу, а потім гасити її. Якщо напругу зняти не можна, то припускається гасіння установки при дотриманні особистих засобів електробезпеки. На заводі плануються такі протипожежні заходи:

1. На основі даних по вибухо- та пожежонебезпеці технологічних процесів визначені класи вибухо-пожежонебезпеки згідно ПУЕ та здійснено вибір електричного обладнання, електричного освітлення та електричної апаратури.

2. Пускова та розподільча апаратура винесена з вибухонебезпечних приміщень у електрощитові. Світильники вибрані відповідно класу та групі вибухонебезпечної суміші.

3. Розподільчі шафи, пускова апаратура у цехах розташовані у місцях доступних для обслуговування з проходами не менше за 0,8 м від технологічного обладнання.

Згідно ПУЕ приміщення на підприємстві по вибухо- та пожежонебезпеці класифікують (табл 4.1).

Таблиця 4.1 – Перелік вибухо-пожеженебезпечних приміщень на підприємстві

№	Найменування приміщень	Категорії з вибухо-пожеже небезпеки	Клас приміщення згідно умов навколишнього середовища
1	Складські приміщення	В	П-Па
2	ГРП	А	В-Іа
3	Дільниця зарядки, акумуляторів електрокара в посудо-тарному цеху, лікерному відділенні	А	В-І
4	Зарядка гаража	А	В-І
5	Склад красок гаража	А	В-І
6	Машинний зал аміачної компресорної	А	В-Іб
7	Камера витяжних вентиляторів із машинного залу	А	В-Іб

Вибухонебезпечною вважається зона в приміщенні в межах до 5 м. по горизонталі і вертикалі від технологічного апарату із якого можливе виділення горючих газів, або парів легкозаймистих речовин, якщо об'єм вибухонебезпечної суміші рівний або більший 5% вільного об'єму приміщення.

Пожеженебезпечною зоною називається простір в приміщеннях і поза приміщеннями в межах якого постійно чи періодично обертаються горючі речовини і в якому вони можуть знаходитись при нормальному технологічному процесі, або при його порушеннях.

4.2 Вимоги до проектування й побудови промислових підприємств

Нові промислові підприємства повинні будуватися з врахуванням вимог, виконання яких сприяє підвищенню стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкту.

Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розміщувати розосереджено. Відстань між будівлями повинна забезпечувати протипожежні розриви. При

забезпеченні таких розривів виключається можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу навіть, якщо гасіння пожежі не проводиться.

Ширина протипожежного розриву L_p , м, визначається за формулою:

$$L_p = H_1 + H + 15 \text{ м,}$$

де H і H_1 – висота сусідніх будинків.

Будівлі адміністративно-господарського і обслуговуючого призначення повинні розміщуватись окремо від основних цехів.

Найбільш важливі виробничі споруди треба будувати заглибленими або пониженої висоти, прямокутної форми в плані. Це зменшить парусність будівлі і збільшить її опір ударній хвилі будь-якого вибуху. Висока стійкість до дії ударної хвилі властива залізобетонній будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці.

Для підвищення стійкості до пожеж в будинках повинні застосовуватись вогнестійкі конструкції, а також вогнезахисна обробка горючих елементів будівлі. В кам'яних будинках перекриття повинно бути виготовлене з армованого бетону або з бетонних плит. Велика за розмірами будівля повинна поділятися на секції з негорючими стінами.

В ряді випадків при проектуванні і будівництві промислових будівель і споруд повинна бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного порошку. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості і продовольчих складів.

В складських приміщеннях повинно бути якомога менше вікон та дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин (бензин, нафта, мазут та ін.) повинні розміщуватись в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля кордонів об'єкту або за його межами.

Деякі унікальні види технологічного обладнання потрібно розміщувати в більш міцних спорудах (підвалах, підземних спорудах) або будівлях з легких негорючих конструкцій павільйонного типу, під навісами або відкрито. Це обумовлюється тим, що в багатьох випадках обладнання може витримати набагато більший надлишковий тиск ударної хвилі, ніж будівля, в якій воно

знаходиться. При зруйнуванні будівлі внаслідок падіння конструкцій розміщене в них обладнання буде виходити з ладу.

На підприємствах, які виготовляють або споживають сильнодіючі отруйні і вибухонебезпечні речовини, при будівництві чи реконструкції необхідно передбачати захист ємностей і комунікацій від зруйнування ударною хвилею або падаючими конструкціями, а також заходи, які виключають розливання отруйних і вибухонебезпечних речовин.

Душові приміщення необхідно проектувати з врахуванням використання їх для санітарної обробки людей, а місця для миття машин - з врахуванням використання їх для знезаражування автотранспорту.

Дороги на території об'єкту повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручний і найкоротший шлях між виробничими будівлями, спорудами і складами. В'їздів на територію об'єкту повинно бути не менше, ніж два з різних напрямків. Внутрішні залізниці повинні забезпечувати найпростішу схему рух та займати мінімальну площу території об'єкту і мати обгінні ділянки. Вводи залізниці в цехи повинні бути, як правило, тупикові.

Системи побутової і виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків в міську каналізаційну мережу і пристосування для аварійних викидів в підготовлені для цього місця.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі здійснено розробку проекту системи електропостачання цементно-шиферного заводу.

Живлення до заводу було підведене від найближчої електростанції двоковою повітряною лінією зі сталевалюмінієвими проводами АС-70/11 і залізобетонними опорами напругою 110 кВ. На ГПП встановлені 2 трансформатори ТДН-10000/110, які захищені елегазовими вимикачами марки HGF 1012. До цехових підстанцій живлення підводиться кабелями марки ААБл за розгалуженою схемою, захист цехових підстанцій здійснюється за допомогою запобіжників і автоматичних вимикачів, встановлених в КРП К-XXVI. Для живлення цехів використовуються комплектні трансформаторні підстанції різної потужності. Для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні батареї, що встановлюються на шинах ГПП і на виводах низької напруги цехової підстанції ТП1.

Був розроблений релейний захист кабельних ліній, цехових трансформаторів, трансформаторів ГПП, конденсаторних установок і високовольтних синхронних двигунів. Захист низьковольтної мережі виконаний за допомогою автоматичних вимикачів і запобіжників. Виконані умови безпеки і екологічності. Розраховано грозозахист ГПП, а також заземлення ГПП і цехів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Якунін О. А. Аналіз можливостей підприємств до оптимізації електроспоживання / О. А. Якунін, В. В. Доценко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – №175.– С. 110–112.
2. Конспект лекцій з дисципліни з навчальної дисципліни „Енергозбереження засобами електропривода” для студентів усіх форм навчання спеціальності 7.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»/ укл.: д.т.н., проф. Нізімов В.Б. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. - 144 с.
3. Бабюк, С. М., Хлопик, В. В. (2019). Актуальність задачі відновлення електропостачання знеструмлених споживачів трансформаторних підстанцій. Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 3, 7-7.
4. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
5. Електрична частина станцій та підстанцій: виконання та оформлення домашніх контрольних робіт: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.В. Остапчук, Р.В. Вожаков. – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2022. – 84 с.
6. Бабюк, С. М., & В Пліс, Я. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 2, 82-83.
7. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначеності (EN 50160:2010, IDT) : ДСТУ EN 50160: 2014. – [Чинний від 2014-10-01]. – К.Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України)

8. Технічна політика: Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2014. 250 с.

9. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 84-85.

10. Бабюк С. М. Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання / С. М. Бабюк, Я. В. Пліс // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 82–83.

11. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 148 с.

12. Зорін В.В., Штогрін Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл.– Ніжин ТОВ “Видавництво”Аспект-поліграф”, 2011. – 248 с.

13. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.

14. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : Навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик; Вінниц. держ. техн. ун-т. - Вінниця, 2002. - 111 с. 77 23

15. Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers / Serhiy Babiuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Yaroslav Osadtsa // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2022. — Vol 107. — No 3. — P. 67–75.

16. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of

the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

17. Буняк, О., Бабюк, С., & Сисак, І. (2019). Інтелектуальний пристрій автоматичного регулювання параметрів електромережі. Матеріали ІV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій “присвячена 80-ти річчю з дня народження професора ЯІ Проця, 268-270.

18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.