

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Олена Бориченко
« ___ » _____ 2025 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма: Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: Компенсація реактивної потужності у ливарному цеху

Виконав:

студент III курсу, групи ОЕ-п21

Коробко Богдан Андрійович _____

Керівник:

к.т.н., асистент Яценко Дмитро Валерійович _____

Консультанти:

Охорона праці та пожежна безпека д.т.н., проф. Третьякова Л.Д. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтроль пров. інженер Прокопенко.І.Д. _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма: “Системи забезпечення споживачів електричною енергією”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олена Бориченко

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Коробко Богдану Андрійовичу

1. Тема проєкту « Компенсація реактивної потужності у ливарному цеху», керівник проєкту к.т.н., асистент Яценко Дмитро Валерійович, затверджені наказом по університету від «23» травня 2025 р. № 1699-с

2. Термін здачі студентом закінченого проєкту “18” червня 2025 р.

3. **Вихідні дані до проєкту** Схема електропостачання району міста та цеху

4. **Перелік розділів, які мають бути розроблені**

а) електрична частина: Розробка загальної схеми електропостачання промислового підприємства та району міста

б) спеціальна частина: Компенсація реактивної потужності у ливарному цеху

в) охорона праці та пожежна безпека: Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації установки компенсації реактивної потужності.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1. Схема електропостачання міста;

2. Схема живлення обладнання ливарного цеху

3. Схема підключення конденсаторної установки

4. Конструкція конденсаторної установки

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ (частина)	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>к.т.н., доц. Калінчик В.П.</i>		
<i>Розрахунки струмів короткого замикання</i>	<i>к.т.н., доц. Белоха Г.С.</i>		
<i>Охорона праці та пожежна безпека</i>	<i>д.т.н., проф. Третьякова Л.Д.</i>		

Дата видачі завдання “22” травня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту	Позначки керівника про виконання завдань
1	Загальні відомості про об'єкт дослідження	24.05.2025-03.06.2025	
2	Розробка загальної схеми електропостачання промислового підприємства	25.06.2025-06.06.2025	
3	Вирішення прикладних задач щодо об'єкту дослідження за темою диплом	07.06.2025-12.06.2025	
4	Охорона праці та пожежна безпека під час модернізації системи електропостачання промислового об'єкту	12.06.2025-14.06.2025	
6	Підготовка графічного матеріалу	14.06.2025-16.06.2025	
7	Захист дипломного проєкту	19.06.2025	

Студент

Керівник проєкту

Богдан КОРОБКО

Дмитро ЯЦЕНКО

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проекту: «Компенсація реактивної потужності у ливарному цеху.»

Дипломний проект містить на 110 (без додатків) аркушах тексту, кількість ілюстрацій – 35, таблиць – 30, робочих креслень – 4, 27 використаних джерел за переліком посилань – 23 , та 1 додатки

Мета проекту – підвищення енергоефективності промислового підприємства шляхом розробки та впровадження системи компенсації реактивної потужності на основі встановлення конденсаторних установок у ливарному цеху..

У спеціальній частині проведено аналіз споживання реактивної потужності в ливарному цеху, виконано техніко-економічне обґрунтування доцільності її компенсації. Розглянуто різні варіанти компенсації (централізовану, групову, комбіновану), обрано оптимальну конфігурацію системи з урахуванням характеристик навантаження та умов експлуатації.

Ключові слова: КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, КОНДЕНСАТОРНА УСТАНОВКА, КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Topic diploma: “Reactive power compensation in a foundry.”

A diploma is presented on 110 pages , 35 illustrations, 30 tables, 4 working drawings, 27 appendices, and 1 references.

The objective of the project is to enhance the energy efficiency of an industrial enterprise by designing and implementing a reactive power compensation system based on the installation of capacitor banks within a foundry workshop.

The specialized section presents an in-depth analysis of reactive power consumption in the foundry, followed by a technical and economic assessment of compensation feasibility. Various compensation strategies — including centralized, group, and combined approaches — are evaluated, and the most efficient system configuration is proposed, taking into account the load characteristics and operational conditions of the facility.

Keywords: SHORT CIRCUIT, CABLE LINE, REACTIVE POWER COMPENSATION, REACTIVE POWER, CAPACITOR UNIT, POWER FACTOR, POWER SUPPLY, ELECTRICITY LOSSES.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ДБН – державні будівельні норми;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

КЗ – коротке замикання

КРП – компенсація реактивної потужності;

ПЛ – повітряна лінія;

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;

ЩАО – щит аварійного освітлення;

ЩЗО – щит зовнішнього освітлення.

УКРП – установка компенсації реактивної потужності.

НКРЕКП – Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.

ЗВТ – Засоби вимірювальної техніки.

ККОЕ – Кодекс комерційного обліку електричної енергії.

ТН –Трансформатор напруги.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Вступ	9
1	ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1	Мета дослідження.....	11
1.2	Компоненти систем компенсації реактивної потужності	12
1.2.1	Цифровий регулятор коефіцієнта потужності.....	12
1.2.2	Контактори для комутації конденсаторних батарей.....	13
1.2.3	Конденсатори для компенсації реактивної енергії.....	15
1.2.4	Інші конструкційні елементи в установках КРП.....	17
1.3	Мета компенсації реактивної потужності у ливарному цеху.....	21
	Висновки до розділу.....	23
2	РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	24
2.1	Умови проектування.....	24
2.2	Визначення розрахункових електричних навантажень цеху промислового підприємства.....	27
2.3	Вибір трансформаторів.....	40
2.4	Розрахунок живлячих і розподільних мереж. Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі.....	42
2.5	Вибір комутаційних апаратів захисту від коливань напруги.....	46
2.6	Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання.....	49
2.7	Релейний захист та автоматика (РЗА).....	67
2.8	Організація обліку електричної енергії на об'єкті проектування.....	69
2.9	Економічні характеристики проекту.....	71
	Висновки до розділу.....	75
3	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У ЛИВАРНОМУ ЦЕХУ.....	76
3.1	Мета компенсації реактивної потужності в ливарному цеху.....	76
3.2	Реактивна потужність, яку треба компенсувати.	78
3.3	Втрати КПД трансформатора.....	80
3.4	Завантаження трансформатора до компенсації.....	81
3.5	Втрати в лініях при виборі централізованої компенсації по стороні 0,4 кВ.-.....	82
3.6	Втрати в лініях при виборі комбінованої компенсації	87
3.7	Втрати в лініях при виборі групової компенсації	90
3.8	Індивідуальна компенсація.....	92
	Висновки до розділу.....	93
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ.....	93

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1	Технічна характеристика обладнання.....	93
4.2	Роботи потрібно виконати, склад бригади, групу з електробезпеки працівників, тривалість робіт	94
4.3	Параметри умов праці	95
4.4	Оцінка небезпечних і шкідливих чинників на робочих місцях.....	96
4.5	Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках.....	97
4.6	Розрахунок ємного струму розряду установки.....	100
4.7	Заходи з пожежної безпеки	101
	Висновки до розділу.....	103
	ВИСНОВКИ	104
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105
	ДОДАТКИ	
	Додаток А.	106

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне промислове виробництво неможливо уявити без надійного та ефективного електропостачання. Системи електропостачання є невід'ємною складовою енергетичної інфраструктури будь-якого підприємства, забезпечуючи подачу електроенергії до споживачів у необхідній кількості, належної якості та з дотриманням усіх технічних вимог. Вони охоплюють цілий комплекс технічних засобів та заходів — від електростанцій, трансформаторних підстанцій і ліній електропередачі до внутрішньоцехових мереж та споживачів.

Одним з ключових параметрів, що визначають ефективність функціонування систем електропостачання, є якість електроенергії. До основних показників якості належать напруга, частота, форма сигналу та баланс активної й реактивної потужності. Особливу увагу заслуговує реактивна потужність, оскільки вона безпосередньо впливає на навантаження енергосистем, рівень втрат енергії, напругу у мережі, а також на термін служби обладнання.

Реактивна потужність — це частина повної потужності, яка не витрачається на виконання корисної роботи, а забезпечує створення електромагнітних полів у пристроях змінного струму: трансформаторах, електродвигунах, дроселях тощо. Незважаючи на те, що вона не трансформується в механічну або теплову енергію, реактивна потужність є необхідною для нормального функціонування багатьох електротехнічних пристроїв. Без неї, наприклад, неможливо було б працювати індукційним двигунам, які широко застосовуються у промисловості, зокрема у ливарному виробництві.

Надмірне споживання реактивної потужності веде до значних втрат електроенергії в мережах, зниження коефіцієнта потужності, перевантаження трансформаторів та інших елементів системи. У зв'язку з цим, питання оптимального керування реактивною потужністю є актуальним як для підприємств, так і для всієї енергосистеми. Особливої важливості воно набуває у галузях із високою концентрацією електроприводів, як-от у ливарному виробництві.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ливарні цехи характеризуються наявністю великої кількості електричних агрегатів зі змінним режимом роботи: індукційні печі, плавильні печі електродвигуни, вентиляційні установки, транспортери тощо. Ці споживачі створюють значне навантаження на систему електропостачання, при цьому активно споживаючи реактивну потужність. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні спеціальних технічних засобів і методів для регулювання та компенсації реактивної потужності, що дозволить підвищити енергоефективність, знизити експлуатаційні витрати та покращити надійність роботи електросистеми цеху.

У даній дипломній роботі розглядається питання компенсації реактивної потужності для конкретного ливарного цеху. Метою дослідження є аналіз існуючих умов електроспоживання, виявлення джерел надмірного споживання реактивної потужності та розробка технічних рішень щодо її компенсації із застосуванням сучасних засобів автоматизації та регулювання.

Актуальність роботи зумовлена не лише прагненням до підвищення енергоефективності промислових підприємств, а й вимогами сучасного законодавства та нормативів щодо енергозбереження. Правильне керування реактивною потужністю дозволяє також уникнути штрафних санкцій з боку енергопостачальних організацій за низький коефіцієнт потужності.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Мета дослідження

Збільшення виробничих потужностей на промислових підприємствах призводить до перевантаження встановленого електрообладнання і вимагає покращення системи електропостачання. Традиційне вирішення проблеми прокладання додаткових кабелів або їх заміна на кабелі більшого перерізу, встановлення додаткових трансформаторів вимагає значних капітальних вкладень і в кінцевому підсумку відбивається на ціні продукції. Крім того, пропускна здатність мереж середньої напруги обмежена. Це спричиняє або відмова електропостачальної організації в приєднанні додаткової потужності, або включення в плату за техприєднання вартості реконструкції мережі мережі вище межі балансової належності.

Компенсація реактивної потужності дозволяє підвищити ефективність використання електроенергії в трьох основних напрямках: збільшення пропускної спроможності ліній і трансформаторів, зниження втрат активної енергії, нормалізація напруги. Установка компенсуючих пристроїв дозволяє зменшити активні втрати за рахунок зниження повного струму. Таким чином, компенсація реактивної потужності може бути повною мірою названа однією з технологій енергозбереження. Навіть на підприємствах, де немає проблем з перевантаженням електромережевого обладнання, за рахунок зниження активних втрат заходи щодо компенсації реактивної потужності окупаються за порівняно короткий період часу.

За величиною коефіцієнта реактивної потужності можна судити про те, яка частина споживаної енергії корисно використовується для здійснення роботи.

					ОЕ-п21.0004.004 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Коробко Б.А.				ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Яценко Д.В.						11	110
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.				НН ІЕЕ ОЕ-п21			
Затв.								

1.2 Компоненти систем компенсації реактивної потужності

1.2.1 Цифровий регулятор коефіцієнта потужності

Основна функція цифрового регулятора полягає в безперервному моніторингу потужності в мережі через підключені трансформатори струму. На основі цих вимірів пристрій обчислює активну та реактивну потужність, а також поточне значення $\cos \varphi$. Якщо значення коефіцієнта потужності виходить за межі встановленого діапазону, регулятор подає керуючі сигнали на контактори або тиристорні ключі, які вмикають або вимикають відповідні конденсаторні ступені.

Застосований алгоритм контролю гарантує коректну роботу пристрою навіть у мережах з підвищеним рівнем гармонік. Регулювання коефіцієнта потужності здійснюється шляхом автоматичного підключення або відключення групи конденсаторів на основі обчисленої реактивної потужності, що дозволяє забезпечити своєчасну та точну компенсацію. Це сприяє зменшенню кількості перемикачів і підвищенню ефективності використання конденсаторних батарей.

Цифрові регулятори (рис.1.1) мають гнучкі налаштування, які дозволяють оптимізувати роботу УКРП відповідно до умов конкретного об'єкта. Серед основних параметрів, які задаються під час налаштування регулятора, — цільове значення $\cos \varphi$ (зазвичай 0,95–1,00), чутливість до відхилень, затримка на перемикач, порядок підключення/відключення ступенів, а також режим роботи

Одна з важливих особливостей сучасних цифрових РКП — це здатність працювати зі ступенями різної потужності. Регулятор не просто вмикає ступені по черзі, а самостійно визначає, які з них краще активувати для найточнішої компенсації. Такі пристрої можуть підтримувати від 4 до 16 і більше ступенів, а деякі моделі — ще й управляти двома банками конденсаторів або індивідуальними фазами у разі однофазної компенсації.

Сучасні регулятори обладнані цифровими дисплеями, на яких відображаються основні параметри: коефіцієнт потужності, активна/реактивна потужність, струм, напруга, частота, а також стан кожного ступеня. Крім того, більшість пристроїв

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мають інтерфейси зв'язку (RS-485, Modbus), що дозволяє інтегрувати їх у систему автоматизованого керування енергоспоживанням.

З технічної точки зору, цифровий регулятор є мікропроцесорним пристроєм, який аналізує вхідні сигнали з трансформаторів струму, обробляє дані через вбудоване програмне забезпечення, приймає логічні рішення і подає сигнали на вихідні реле або напівпровідникові ключі. Пристрій також веде реєстрацію аварійних подій, відключень та збоїв, що підвищує рівень надійності системи загалом.



Рисунок 1.1- Цифровий регулятор коефіцієнта потужності[1]

1.2.2 Контактори для комутації конденсаторних батарей

Контактори забезпечують комутацію конденсаторних батарей (рис 1.2), які компенсують реактивну потужність у електричних мережах. Основним завданням контакторів у таких системах є підключення та відключення ступенів конденсаторів у відповідь на сигнали автоматичного регулятора, що відстежує зміну навантаження та поточне значення коефіцієнта потужності ($\cos \phi$).

Контактори, що застосовуються в КУ, мають особливу конструкцію, оскільки в момент увімкнення конденсаторів виникають дуже великі імпульсні струми, які можуть у десятки, а іноді й у сотні разів перевищувати номінальний струм конденсатора. Це так званий пусковий струм, зумовлений миттєвою зарядкою конденсаторів. Щоб запобігти пошкодженню обладнання та забезпечити надійну

роботу в умовах частих перемикань, використовуються спеціалізовані контактори з додатковими елементами.

Однією з характерних особливостей таких контакторів є наявність демпферних контактів або струмознижуючих пристроїв — зазвичай у вигляді попередньо підключених резисторів або дроселів, які обмежують пусковий струм при включенні. Після зменшення цього струму головні контакти замикаються, і ланцюг переходить у нормальний робочий режим. Крім того, самі контакти в таких пристроях виготовляються з особливих матеріалів (наприклад, срібло-оксидно-олов'яних сплавів — AgSnO_2), що мають підвищену стійкість до ерозії, викликаній електричною дугою.

Котушки керування і часто обладнані вбудованими схемами захисту від перенапруг або пристроями плавного пуску для зниження шуму і зношування. Деякі моделі передбачають можливість частого перемикання — до десятків тисяч циклів на рік, що є важливим у системах з динамічним навантаженням.

Серед найпоширеніших серій контакторів, які використовуються в установках компенсації реактивної потужності, варто виділити Schneider Electric серії LC1-DK або LC1-DB, Eaton серії DIL K, Siemens серії 3RT1 з додатковими аксесуарами, Lovato Electric серії BG..K, а також ABB серії AF..K. Всі ці пристрої спеціально адаптовані до роботи з конденсаторними навантаженнями і мають характеристики, які відповідають класу комутації AC-6b, що є стандартом для конденсаторів.

Вибираючи контактор для КУ, слід звертати увагу на такі параметри, як номінальний струм, тип навантаження, напруга та тип котушки, електрична та механічна зносостійкість, можливість монтажу, а також наявність демпферних пристроїв. Неправильний вибір контактора — наприклад, звичайного силового контактора без демпфера — може призвести до передчасного зношування, небезпеки електричної дуги, перегріву або навіть пожежі.

У сучасних системах, особливо там, де навантаження змінюється дуже швидко, контактори іноді замінюють на тиристорні ключі, які забезпечують безконтактну, безшумну та надшвидку комутацію. Проте такі рішення дорожчі й

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складніші в реалізації, тому контактори залишаються найбільш поширеним і доступним способом комутації в класичних установках компенсації реактивної потужності.



Рисунок 1.2- Контактор для комутації конденсаторних батарей[1]

1.2.3 Конденсатори для компенсації реактивної енергії

Конденсаторна банка — це набір електричних конденсаторів, з'єднаних між собою у певній конфігурації, зазвичай у трифазному виконанні. Конденсатори можуть бути з'єднані зіркою або трикутником, залежно від схеми підключення та потреб мережі. Типовою є реалізація однієї "ступені" в системі автоматичної компенсації потужності у вигляді окремої конденсаторної банки.

Сучасні конденсатори для УКРП виготовляються як самовідновлювані поліпропіленові силові конденсатори з металізованим діелектриком. Вони мають високу надійність, низький рівень втрат, високу стійкість до перенапруг і здатність до автоматичного відновлення після локального пробою. У разі виходу з ладу один із шарів металізації автоматично «вигоряє» в місці пошкодження, і конденсатор продовжує працювати.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одна з найважливіших характеристик банок — це їх номінальна потужність, яка зазвичай виражається в квар (кіловар). Потужність може становити від 2,5 до 100 квар і більше на один елемент, залежно від типу установки та конфігурації ступенів. Банки можуть бути індивідуальними або груповими, тобто встановлюватись по одному на кожен двигун, або централізовано на головній розподільчій шині.

Конденсаторні банки комплектуються засобами захисту — запобіжниками або автоматичними вимикачами, а також пристроями для розрядки, які знижують напругу на клеммах після вимкнення. Без розрядних резисторів напруга на конденсаторі може зберігатися небезпечно довго навіть після відключення. Також часто застосовуються температурні датчики або пристрої захисту від перенапруги.

Фізично банки монтуються в шафах або на панелях, зазвичай в металевих корпусах з вентиляційними отворами. Важливим є забезпечення нормального тепловідведення, оскільки надмірний перегрів знижує ресурс конденсатора. У випадку великої потужності або важких умов експлуатації шафи обладнуються активною вентиляцією або навіть кондиціонерами.

З технічної точки зору, вибір банок має здійснюватися з урахуванням таких параметрів, як: номінальна потужність, номінальна напруга, допустимий струм, коефіцієнт втрат, температурний режим, клас ізоляції, наявність захисних пристроїв, можливість роботи з дроселями, тип діелектрика та ступінь самовідновлення.

На рисунку 1.3 зображені конденсаторні банки різних потужностей від різних виробників.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3- Конденсаторні банки[1]

1.2.4 Інші конструкційні елементи в установках КРП

Окрім основних компонентів — конденсаторних банок, цифрового регулятора коефіцієнта потужності та комутаційних елементів (контакторів або тиристорних ключів) — сучасні установки компенсації реактивної потужності (УКРП) містять низку додаткових конструкційних елементів, які забезпечують надійну, безпечну та ефективну роботу всієї системи. Ці елементи виконують функції захисту, вимірювання, розрядки, охолодження, а також забезпечують фізичну інтеграцію всіх компонентів в єдиний конструктив.

Одним із базових конструкційних елементів є трансформатори струму (ТТ). Вони використовуються для вимірювання навантаження в мережі та передачі даних до регулятора. Зазвичай трансформатори встановлюються на вводі або на шині навантаження і забезпечують пропорційне зменшення струму до рівня, який безпечно сприймається регулятором (наприклад, 5 А або 1 А на виході). Вони мають високу точність і клас ізоляції, який відповідає робочій напрузі установки.

Для захисту від коротких замикань і перевантажень в схемі використовуються пристрої захисту, зокрема: автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники або комбінації з роз'єднувачами. Ці елементи монтуються на кожну ступінь компенсації або на весь контур загалом і забезпечують локалізацію пошкоджень у разі аварійної ситуації. При виборі захисту враховуються не тільки номінальні струми, а й можливість виникнення високих імпульсів під час вмикання конденсаторів.

Ще один обов'язковий компонент — розрядні резистори, які монтуються на кожен конденсаторну банку. Їхнє завдання — забезпечити безпечне зниження залишкової напруги на конденсаторі після його відключення. Без такого елемента на виводах конденсатора ще протягом кількох хвилин або навіть годин може залишатися напруга, яка є небезпечною для обслуговуючого персоналу. Типовий час повної розрядки — до рівня <50 В за 60 секунд.

У випадках, коли в мережі присутні гармонійні спотворення, а також для запобігання резонансу між індуктивністю мережі та ємністю конденсаторів, в установках застосовуються реактори (дроселі). Це індуктивні елементи, які встановлюються послідовно з конденсаторами і утворюють фільтр нижньої частоти. Найчастіше використовуються дроселі з реактивним зміщенням 7% або 14%, що відповідає резонансним частотам близько 189 Гц або 134 Гц. Вони дозволяють уникнути посилення гармонік і захищають як конденсатори, так і мережу.

Конструкція УКРП також включає елементи корпусу, серед яких — шафа або панель, в якій змонтовані всі компоненти. Шафи виготовляються з металу з антикорозійним покриттям, можуть мати ступінь захисту IP31, IP41, IP54 або IP65 залежно від умов експлуатації (всередині приміщення чи на вулиці). Внутрішнє компонування має бути організоване так, щоб забезпечити зручність монтажу, безпечне обслуговування та ефективне тепловідведення.

Система охолодження — ще один важливий конструкційний елемент. У більшості установок застосовується природна вентиляція через жалюзі та отвори. Проте для потужних або щільно компонованих систем передбачається примусова вентиляція за допомогою вентиляторів. Деякі шафи можуть комплектуватися температурними датчиками, термореле або навіть міні-кондиціонерами для підтримання оптимального температурного режиму.

Додатково, в конструкцію можуть бути включені заземлювальні шини, клемники, клемні рейки, міжфазні перегородки, кабельні вводи та маркування, що відповідає вимогам електробезпеки та промислового стандарту.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, інші конструкційні елементи УКРП не менш важливі, ніж силові та керувальні компоненти. Вони забезпечують захист, безпеку, довговічність, точність керування та відповідність нормам електромонтажу і технічної експлуатації. Їхній правильний вибір та монтаж є ключем до ефективної та безаварійної роботи всієї системи компенсації реактивної потужності.

На рисунку 1.4 зображена конструкція установки компенсації реактивної потужності.

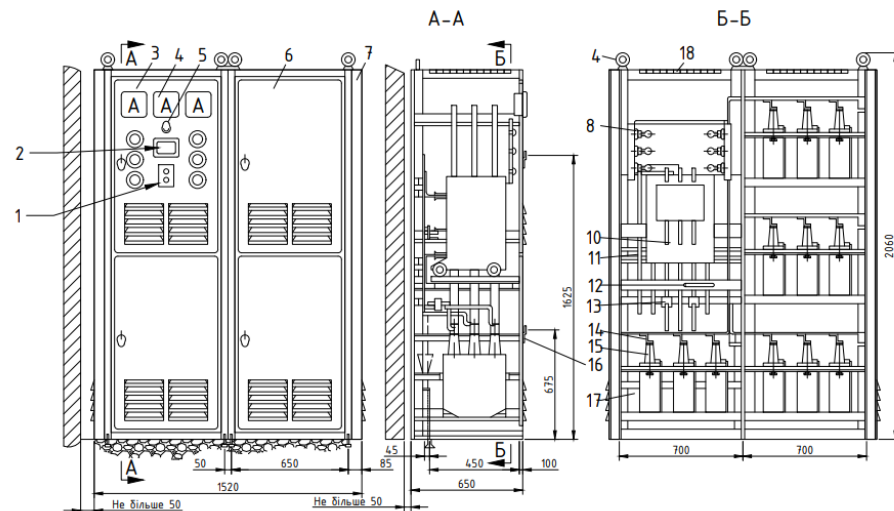


Рисунок 1.4 - Конструкція установки компенсації реактивної потужності.

На рисунку 1.5 представлена принципова електрична схема підключення автоматизованої установки компенсації реактивної потужності типу ПКРП-0,4-300-12-10-УХЛЗ. Дана установка призначена для роботи в трифазній мережі з напругою 0,4 кВ і забезпечує автоматичну ступеневу компенсацію реактивної потужності з урахуванням змін навантаження

Установка складається з 12 незалежних конденсаторних груп, підключена до мережі за схемою «трикутник». Живлення надходить на установку від трифазної мережі напругою 0,4 кВ через головний автоматичний вимикач, який виконує захисну функцію. Далі струм проходить через трансформатори струму, які знімають інформацію про навантаження і передають її на регулятор коефіцієнта потужності.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Цифровий регулятор $\cos \phi$ аналізує поточне співвідношення активної та реактивної потужності у мережі, і в залежності від цього формує керуючі сигнали на силові контактори. Кожен контактор керує вмиканням однієї з конденсаторних батарей. Таким чином, при зниженні коефіцієнта потужності нижче заданого значення, регулятор автоматично вмикає необхідну кількість ступенів, а при зменшенні навантаження — поступово їх вимикає, запобігаючи перекомпенсації.

Кожна ступінь компенсації має окрему захисну апаратуру — плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі на три фази, що підвищує надійність роботи всієї установки. Завдяки великій кількості ступенів (12), система дозволяє здійснювати компенсацію з високою точністю — мінімальний крок 10 кВАр. Це забезпечує стабільне підтримання коефіцієнта потужності на заданому рівні (зазвичай не нижче 0,92) в умовах змінного та нестабільного навантаження, характерного для промислових електроприймачів.

Підключення конденсаторів за схемою «трикутник» дозволяє рівномірно розподіляти навантаження по фазах і уникати впливу нульової складової струму, що є перевагою при роботі в трифазній системі без нейтралі. Така схема з'єднання також зменшує ризик появи резонансних коливань у мережі.

Установка ПКРП-0,4-300-12-10-УХЛЗ є ефективним рішенням для автоматизованої компенсації реактивної потужності в системах електропостачання промислових підприємств. Її застосування дозволяє знизити навантаження на кабелі і трансформатори, покращити якість електроенергії, зменшити втрати активної потужності в мережі, а також уникнути штрафних санкцій за низький коефіцієнт потужності. Автоматичне керування установкою забезпечує її повністю самостійне функціонування без участі персоналу, що особливо актуально в умовах змінного виробничого навантаження.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

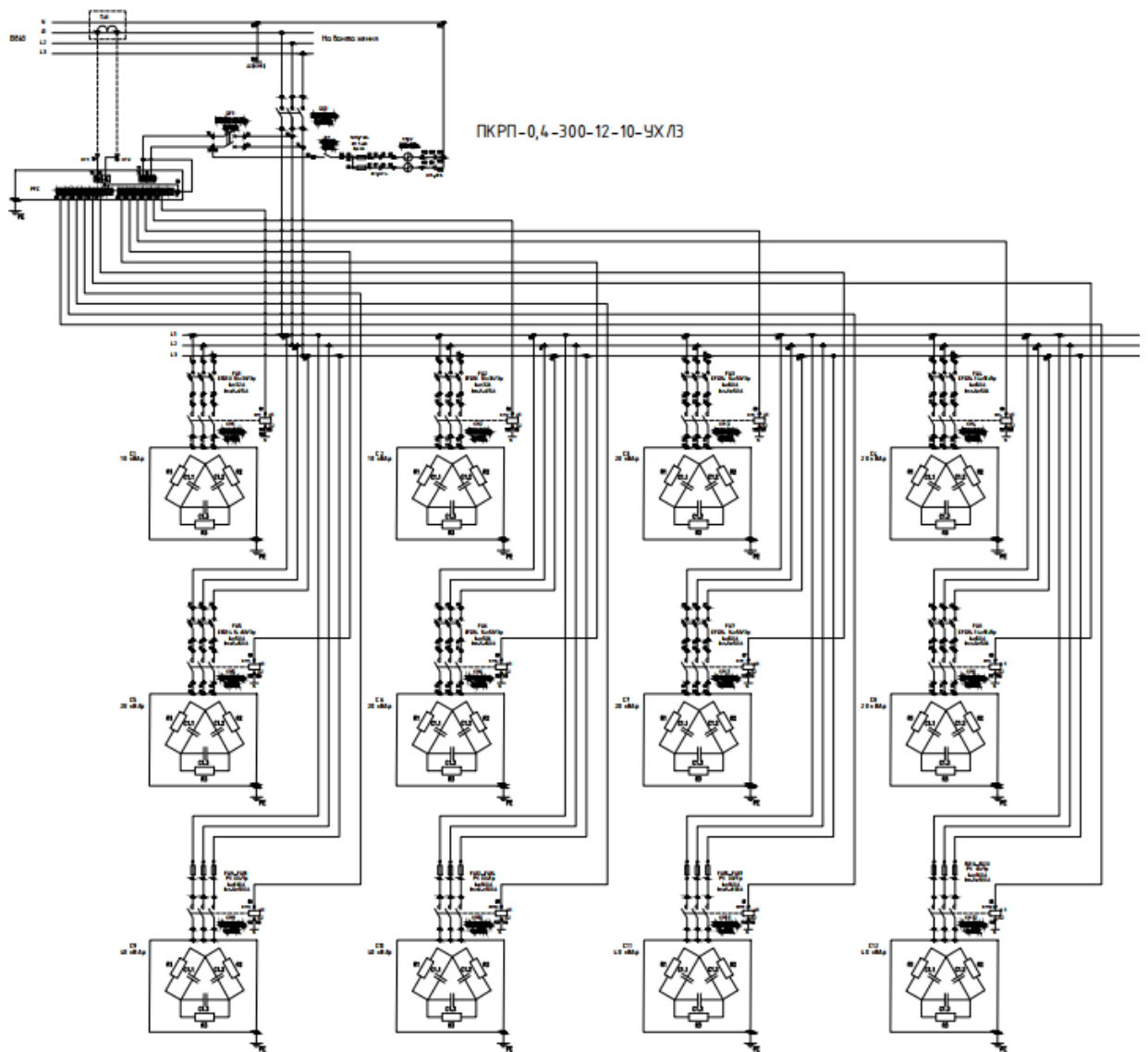


Рисунок 1.5 - Схема підключення ПКРП-0,4-300-12-10-УХ ЛЗ

1.3 Мета компенсації реактивної потужності у ливарному цеху

Ливарний цех є енергомістким виробничим об'єктом, що характеризується значною кількістю потужних електроприймачів індуктивного типу. До таких споживачів відносяться, перш за все, індукційні та електротермічні печі, електрозагартівні установки і тд. Згідно з технологічною картою та планом розміщення обладнання, в цеху встановлено 41 одиниць електроприймачів, згрупованих по 7 силових пунктах (СП), з активною потужністю від 3 до 60 кВт кожен.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Загальна активна потужність цеху становить понад 650 кВт. Проте більшість навантажень мають низький коефіцієнт потужності, в межах 0,4–0,8, що обумовлює значну долю реактивної потужності в загальному енергоспоживанні. Найнижчі значення коефіцієнта потужності спостерігаються в індукційних печей ($\cos \varphi = 0,4$), які водночас мають і найбільшу одиничну потужність. Це знижує загальний $\cos \varphi$, що є критично низьким і призводить до перевантаження кабельних ліній, трансформаторів, збільшення струмових втрат та, у деяких випадках, — до фінансових штрафів за споживання реактивної енергії.

В умовах сучасного енергоефективного виробництва, оптимізація режимів електроспоживання є необхідною, а компенсація реактивної потужності — обов'язковою складовою технічної модернізації. Метою компенсації є підвищення коефіцієнта потужності до нормативного значення не нижче 0,95. Це дозволить суттєво знизити струм у мережі, зменшити навантаження на трансформатори, уникнути штрафів, а також покращити якість електроенергії та надійність роботи обладнання. Після підсумування усіх величин було виявлено, що найбільший внесок у реактивне навантаження цеху формують саме індукційні печі. Зважаючи на характер навантаження, що змінюється впродовж робочої зміни, рекомендовано застосовувати автоматизовану установку компенсації реактивної потужності (УКРП) ступеневого типу. Вона повинна складатися з цифрового регулятора коефіцієнта потужності, щонайменше 8–10 ступенів комутації, конденсаторних банок із самовідновлюваними елементами, а також комутаційної апаратури — контакторів або тиристорних блоків для швидкої та надійної роботи. Для електроприймачів з високою частотою перемикачів, зокрема індукційних печей, рекомендовано використовувати тиристорну комутацію, що дозволяє уникнути механічного зношування контактів.

Монтаж компенсаційного обладнання рекомендується здійснювати централізовано, у ввідному розподільному щиті, з підключенням трансформаторів струму на головну шину. Це забезпечить контроль за всім навантаженням цеху.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Водночас для найпотужніших електроприймачів доцільно розглянути варіант індивідуальної компенсації, щоб зменшити локальні перевантаження.

Підсумовуючи, варто зазначити, що впровадження автоматизованої системи компенсації реактивної потужності дозволить:

- зменшити загальні витрати електроенергії,
- забезпечити відповідність стандартам енергоспоживання,
- підвищити надійність і довговічність роботи обладнання,
- стабілізувати електропостачання в умовах складного промислового навантаження.

Таким чином, компенсація реактивної потужності є невід’ємною частиною енергетичного удосконалення ливарного цеху, що напряму впливає на ефективність виробничих процесів та енергетичну безпеку підприємства загалом.

Висновок до розділу

Реактивна потужність — це невід’ємна складова роботи індуктивних навантажень, проте її надлишок у мережі призводить до негативних наслідків: перевантаження кабелів, зниження ефективності використання трансформаторів, збільшення втрат активної енергії та падіння напруги. Саме тому компенсація реактивної потужності розглядається як один із найефективніших способів підвищення енергоефективності промислових електромереж.

Особливо актуально це для ливарного цеху, де експлуатується велика кількість електроприймачів із низьким коефіцієнтом потужності — індукційних, плавильних і термічних печей, які формують значну реактивну складову навантаження. Без компенсації це призводить до перевитрати енергії та порушення нормальних режимів роботи обладнання.

У рамках аналізу було розглянуто ключові компоненти сучасних систем компенсації: цифрові регулятори, комутаційну апаратуру, конденсаторні батареї та допоміжні елементи. Також наведено приклад реалізації автоматизованої установки типу ПКРП, яка забезпечує динамічну адаптацію до змін у навантаженні й дозволяє ефективно підтримувати заданий рівень $\cos \phi$.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Умови проєктування

У даному проєкті розглядається система електропостачання окремого району, що входить до складу великого міста. Під міською системою електропостачання слід розуміти комплекс електричних мереж та трансформаторних підстанцій, які функціонують на території міста та забезпечують електричною енергією споживачів різного призначення.

Як правило, живлення міських споживачів здійснюється через розподільчі мережі напругою 6–10 кВ та 0,38 кВ, які підключаються до джерел живлення вищих рівнів. Енергопостачання побутових і промислових навантажень здійснюється через трансформаторні підстанції, оснащені трансформаторами відповідної потужності, які знижують напругу до рівня 0,38 кВ. Конфігурація мережі формується залежно від характеру електроспоживання. Для живлення окремих категорій споживачів, зокрема підприємств промисловості або комунальної сфери, можуть застосовуватись індивідуальні підстанції, що функціонують автономно, без прямого підключення до основної мережі. За необхідності безперебійного електропостачання, такі підстанції можуть бути обладнані системами автоматичного перемикачання на резервне джерело у випадку аварії на основній лінії.

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування. Литі заготовки використовують більшість галузей промисловості. Водночас технологія ливарного виробництва охоплює непростий комплекс явищ, фізична сутність яких відрізняється значною складністю. Під час розроблення основних проблем технології ливарного виробництва, як показує практика, більшість

					ОЕ-п21.0004.004 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Коробко Б.А.			КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У ЛИВАРНОМУ ЦЕХУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Яценко Д.В.					76	110
Н. Контр.		Прокопенко І.Д.				НН ІЕЕ ОЕ-п21		
Затв.								

науково— дослідних та інженерних задач вирішуються з урахуванням теплових, гідродинамічних та інших фізичних явищ, які мають місце в процесах лиття. У теперішній час особлива увага приділяється виробництву литих заготовок литтям у металеві форми, за моделями, які витоплюються, під тиском, в оболонкові форми тощо.

Схема електропостачання представлена на рисунку 2.1.

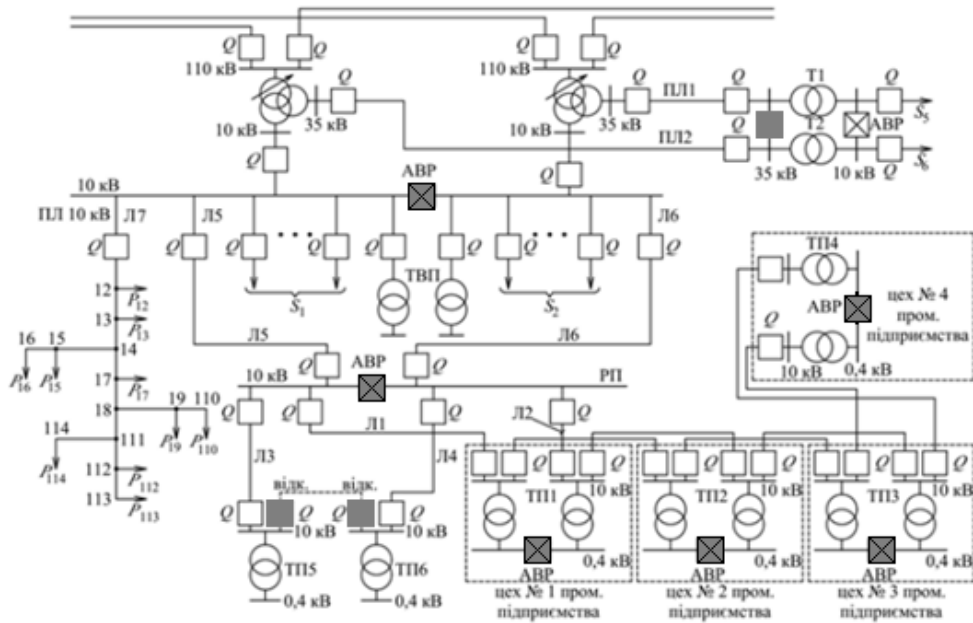


Рисунок 2.1 – Схема електропостачання

Все обладнання працює на трифазному змінному струмі промислової частоти 50 Гц і напрузі 380 В. Для освітлення та розеточної групи предабачену напругу 220 В. Основними споживачами є печі (плавильні, індукційні, електротермічні, електрозагартівні), а також вентилятори, які відносяться до першої категорії надійності електропостачання. Відсутність електроенергії для цього обладнання може спричинити значні втрати продукції або створити небезпеку для здоров'я персоналу. Інше обладнання, як-от ливарні машини, очищувальні барабани та шліфувальні верстати, належить до другої категорії надійності, оскільки їх вимкнення впливає лише на ефективність роботи, але не несе критичних ризиків. Зважаючи на те, що обладнання першої категорії становить більшу частину навантаження, цех загалом належить до першої категорії надійності

електропостачання. В таблиці 2.1 та 2.2 показано перелік обладнання планованого до встановлення в ливарному цеху.

Таблиця 2.1 – Характеристики ЕП ливарного цеху

	Номер на плані	ЕП	K_b	$\cos\varphi$	Номінальна потужність, кВт	Категорії надійності
СП-1	18-20	Плави́льна піч	0,9	0,75	47	I
	25-27	Ливарна машина	0,9	0,8	16	I
СП-2	21,23,24	Плави́льна піч	0,6	0,75	47	I
	28-30	Ливарна машина	0,6	0,8	30	I
СП-3	31	Галтувальний барабан	0,6	0,8	6	III
	32-34	Очисний барабан	0,25	0,75	9	III
	35-38	Шліфувальний верстат	0,6	0,8	3	III
СП-4	39,42	Вентилятор	0,9	0,85	16	I
	17	Кран-балка, ТВ=25%	0,2	0,7	15	II
СП-5	40,41	Вентилятор	0,9	0,85	16	I
	16	Кран-балка, ТВ=25%	0,2	0,7	15	II
СП-6	7,8	Індукційна піч	0,7	0,4	80	I
	9,10	Індукційна піч	0,6	0,4	60	I
СП-7	1,2	Електротермічна піч	0,8	0,95	14	II
	3-6	Електрозагартівна піч	0,8	0,9	13	II
	11-14	Електротермічна піч	0,6	0,95	10	II
	15	Сушильна піч	0,5	1	4	II

Таблиця 2.2 – Додаткові силові пункти

ЩО ЩАО	Щит основного освітлення.	I
	Щит аварійного освітлення, світлових показчиків аварійних виходів та сигналізації.	

Електроприймачі підключені до силових розподільчих пунктів (РП) за допомогою окремих ліній. Усі кабельні лінії прокладені в спеціальних траншеях у бетонній підлозі. Кабелі для кранових установок (№16, 17) закріплені до сталевих перекриттів і прокладені в металевих коробах, що забезпечує безпеку та надійність мережі. На плані цеху відображено розміщення електроприймачів, РП і

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

технологічного обладнання, яке розподілено відповідно до процесу виробництва та споживаної потужності. Усі силові кабелі виготовлені з матеріалів, що не підтримують горіння, для забезпечення пожежної безпеки.

На плані цеху (рисунок 2.2) показано розміщення основного електрообладнання: електроприймачів, силових пунктів, щитів освітлення (звичайного та аварійного) та схематичне прокладання кабельних ліній. Розташування силових пунктів оптимізовано з урахуванням потреб технологічного процесу та необхідної потужності.

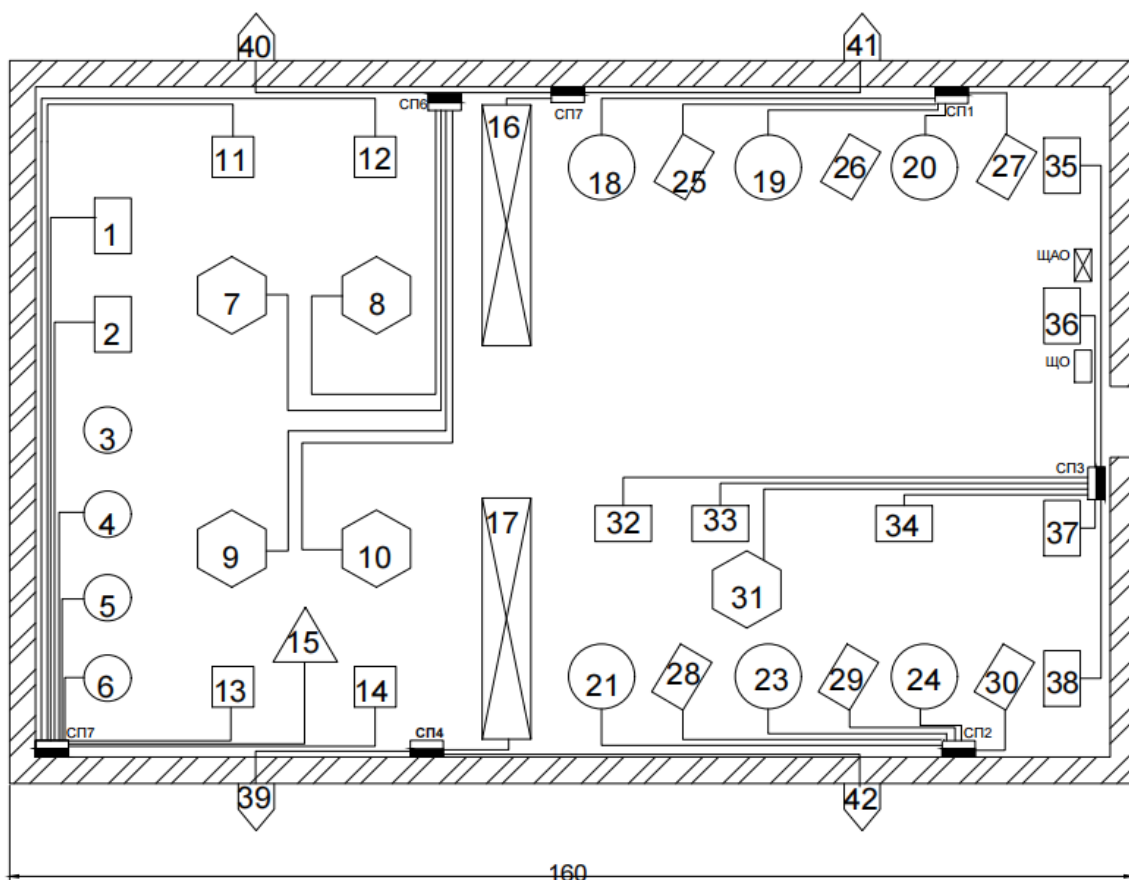


Рисунок 2.2 – План розміщення ЕП ливарного цеху

2.2 Визначення розрахункових електричних навантажень цеху промислового підприємства

Використання методу коефіцієнтів навантаження (КН), заснованого на упорядкованих діаграмах, дозволяє більш точно визначити середні електричні навантаження у верхніх рівнях системи електропостачання. Це допомагає

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

уникнути завищених розрахунків. Далі ми розрахуємо навантаження для СП-1. Розрахунки для СП-2 – СП-7 виконуються аналогічно, а результати будуть занесені до таблиці 2.3.

Розрахунок номінальної активної потужності групи електроприймачів виконується за наступною формулою:

$$P_H = nP_{H_i}, \quad (2.1)$$

де n – кількість ЕП;

P_{H_i} – номінальна потужність електроприймача;

За формулою (2.1):

$$P_{H1} = 3 \cdot 47 = 141 \text{ кВт},$$

$$P_{H2} = 3 \cdot 16 = 48 \text{ кВт},$$

Знаходимо проміжні величини активної і реактивної потужності: за формулами:

$$P_{\text{пр}} = P_H k_B, \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \text{tg}\varphi, \quad (2.3)$$

де k_B - коефіцієнт використання;

$$P_{\text{пр}1} = 141 \cdot 0,9 = 126,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр}1} = 126,9 \cdot 0,88 = 111,9 \text{ квар},$$

$$P_{\text{пр}2} = 48 \cdot 0,9 = 43,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пр}2} = 43,2 \cdot 0,75 = 32,4 \text{ квар},$$

Знайдемо групова номінальну активну потужність СП-1:

$$P_H = 141 + 48 = 189 \text{ кВт},$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності СП-1:

$$P_{\text{нСП}1} = 126,9 + 43,2 = 170,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{нСП}1} = 111,92 + 32,4 = 144,3 \text{ квар},$$

В СП-1 шукаємо споживачів з максимальним і мінімальним значенням номінальної потужності та знаходимо їх відношення.

$$P_{\text{maxСП}1} = 47 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{minСП}1} = 16 \text{ кВт},$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						28
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m = \frac{P_{\max\text{СП1}}}{P_{\min\text{СП1}}} = \frac{47}{16} = 2,9, \quad (2.4)$$

Обчислюємо коефіцієнт використання силового пункту в цілому:

$$K_B = \frac{P_{\Pi}}{P_H}, \quad (2.5)$$

де P_{Π} - сумарна проміжна потужності для СП-1;

P_H - сумарна номінальна потужність для СП-1;

$$K_B = \frac{170,1}{189} = 0,9,$$

Ефективне число ЕП визначимо за формулою:

$$n_{\text{еф}} = \frac{P_H^2}{\sum_{i=1}^2 P_{Hi}^2}, \quad (2.6)$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{189^2}{3 \cdot 47^2 + 3 \cdot 16^2} = 4,8,$$

Приймаємо $n_{\text{еф}} = 4$.

Відповідно до джерела [2] розраховуємо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_p = 1,$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність для СП-1:

$$P_p = P_{\Pi} K_p, \quad (2.7)$$

$$P_p = 170,1 \cdot 1 = 170,1 \text{ кВт},$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$\text{при } n_{\text{еф}} < 10 \quad Q_p = 1,1 Q_{\Pi},$$

$$\text{при } n_{\text{еф}} > 10 \quad Q_p = Q_{\Pi},$$

для СП-1: $Q_p = Q_{\Pi} = 1,1 \cdot 144,3 = 158,75$ квар.

Повна розрахункова потужність для СП-1:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.8)$$

$$S_p = \sqrt{170,1^2 + 158,75^2} = 232,67 \text{ кВА},$$

Розрахунковий струм для СП-1:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						29
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (2.9)$$

де S_p – повна розрахункова потужність для СП-1;

U_H – номінальна напруга;

$$I_{pСП1} = \frac{232,67}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 353,5 \text{ А.}$$

Розрахуємо сумарне силове навантаження цеху по СП 1-7.

Сумарна кількість електроприймачів:

$$n = 6 + 6 + 8 + 3 + 3 + 4 + 11 = 41,$$

Сумарна номінальна активна потужність:

$$P_H = 189 + 189 + 45 + 47 + 47 + 280 + 124 = 921 \text{ кВт},$$

Сумарна проміжна активна і реактивна потужності:

$$P_{\Pi} = 170,1 + 170,1 + 17,6 + 31,8 + 31,8 + 184 + 90 = 695,35 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Pi} = 144,3 + 144,3 + 14,1 + 20,9 + 20,9 + 421,6 + 35,4 = 801,5 \text{ квар},$$

Серед всіх шукаємо електроприймачі з максимальним і мінімальним значенням номінальної потужності та знаходимо їх відношення.

$$P_{\max СП1} = 80 \text{ кВт},$$

$$P_{\min СП1} = 3 \text{ кВт},$$

$$m = \frac{P_{\max СП1}}{P_{\min СП1}} = \frac{80}{3} = 26,7, \quad (2.10)$$

Коефіцієнт використання всього силового навантаження:

$$K_B = \frac{P_{\Pi}}{P_H}, \quad (2.11)$$

де P_{Π} - сумарна проміжна потужність;

P_H - сумарна номінальна потужність;

$$K_B = \frac{695,35}{921} = 0,75,$$

Ефективне число ЕП визначимо за формулою:

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{n.i.\max}}, \quad (2.12)$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \cdot 921}{80} = 23,03,$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $n_{e\phi} = 23$.

Згідно [2] визначимо коефіцієнт розрахункового навантаження:

$$K_p = 0,85,$$

Розраховуємо сумарну розрахункову активну потужність для СП 1-7:

$$P_p = P_{\Pi} K_p, \quad (2.13)$$

$$P_p = 695,35 \cdot 0,85 = 591,05 \text{ кВт},$$

Визначаємо розрахункову реактивну потужність:

$$Q_p = Q_{\Pi} K_p,$$

для СП 1-7: $Q_p = 801,5 \cdot 0,85 = 681,27$ квар

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.14)$$

$$S_p = \sqrt{591,05^2 + 681,27^2} = 901,93 \text{ кВА},$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (2.15)$$

де S_p – повна розрахункова потужність;

U_H – номінальна напруга;

$$I_{pСП1} = \frac{901,93}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1370,33 \text{ А}.$$

Проведемо розрахунок електричного освітлення проектованого цеху, яке поділяється на робоче та аварійне освітлення.

Для розрахунку освітлення в ливарному цеху використаємо метод коефіцієнта використання.

Потрібний потік ламп в кожному світильнику знаходиться за формулою:

$$\Phi = \frac{E_{\min} k_3 F z}{\eta}, \quad (2.16)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу;

E_{\min} – мінімальна освітленість, лк;

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						31
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

F – площа, приміщення, що освітлюється, m^2 ;

z – коефіцієнт нерівномірності освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку – відношення світлового потоку, який падає на робочу поверхню, до світлового потоку світильників.

Коефіцієнт використання η залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стін $\rho_{ст}$, стелі ρ_c , робочої поверхні ρ_p , та від показника приміщення який враховує співвідношення розмірів приміщення.

Приймаємо:

$$\rho_{ст} = 0,3,$$

$$\rho_c = 0,5,$$

$$\rho_p = 0,2,$$

Згідно вище приведених формул, визначаємо:

Коефіцієнт запасу $k_3 = 1,8$.

Мінімальна освітленість $E_{min} = 200$ лк.

Коефіцієнт нерівномірності $z = 1,15$.

Площа приміщення:

$$F = AB, \quad (2.17)$$

$$F = 150 \cdot 100 = 15000 \text{ м}^2,$$

Визначимо показник, що враховує співвідношення розмірів приміщення (індекс приміщення):

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (2.18)$$

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.19)$$

де $H = 12$ м – висота приміщення цеху;

$h_c = 0,2$ м – відстань світильника від перекриття;

$h_p = 0,8$ м – висота розрахункової поверхні над підлогою згідно норм [2];

$$h = 12 - 0,2 - 0,8 = 11 \text{ м},$$

$$i = \frac{150 \cdot 100}{11 \cdot (150 + 100)} = 5,4,$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = 0,54$$

Визначимо світловий потік однієї лампи, необхідний для забезпечення заданої мінімальної освітленості, лм:

Нормоване значення освітленості для цеху дорівнює 200 лк. Коефіцієнт мінімальної освітленості $z = 1,12$. Вибираємо значення коефіцієнту запасу $k_3 = 1,3$.

Вибираємо згідно [3] тип та потужність ламп:

тип LP-8171, $\Phi_{\text{л}} = 18000$ лм, $P_{\text{л}} = 150$ Вт $U = 220$ В.

Тоді світловий потік:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,3 \cdot 15000 \cdot 1,12}{0,55} = 7941818.2 \text{ лм,}$$

Кількість світильників:

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{л}}}, \quad (2.20)$$

$$N_{\text{св}} = \frac{7941818.2}{18000} = 441.2 \approx 441 \text{ шт.}$$

Використовуємо LED LP-8171; Потужність ламп $P_{\text{л}} = 150$ Вт, $I = 1.5$ А, $\cos \varphi$ не менше 0,95, тоді $\text{tg} \varphi = 0,34$.

Визначаємо активну потужність освітлювального навантаження при коефіцієнті попиту ($K_{\text{п}} = 0,9$):

$$P_{\text{осв}} = n P_{\text{л}} K_{\text{п}}, \quad (2.21)$$

$$P_{\text{осв}} = 441 \cdot 150 \cdot 0,9 = 59535 \text{ Вт,}$$

Реактивна потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \text{tg} \varphi, \quad (2.22)$$

$$Q_{\text{осв}} = 59535 \cdot 0,34 = 20241.9 \text{ вар,}$$

Згідно з вимогами до аварійного освітлення, світильники в цеху повинні бути розміщені рівномірно. Освітленість, яку вони забезпечують в аварійному режимі, має становити 5% від нормальної, але не виходити за межі діапазону від 5 до 30 люкс.

$$P_{\text{ав}} = 0,05 P_{\text{осв}}, \quad (2.23)$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						33
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{ав} = 0,05 \cdot 59.5 = 2.975 \text{ кВт},$$

Повне освітлювальне навантаження:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв\Sigma}^2 + Q_{осв\Sigma}^2}, \quad (2.24)$$

$$P_{осв\Sigma} = 59.5 + 2.975 = 62.475 \text{ кВт},$$

$$Q_{осв\Sigma} = 62.475 \cdot 0,34 = 21.2 \text{ квар},$$

$$S_{осв} = \sqrt{62.475^2 + 21.2^2} = 66 \text{ кВА}.$$

Активна, реактивна та повна потужності на шинах НН:

$$P_{НН} = P_{осв\Sigma} + P_p = 62.475 + 591,05 = 653.5 \text{ кВт}, \quad (2.25)$$

$$Q_{НН} = Q_{осв\Sigma} + Q_p = 21.2 + 681,27 = 702.5 \text{ квар}, \quad (2.26)$$

$$S_{НН} = \sqrt{P_{НН}^2 + Q_{НН}^2} = \sqrt{653.5^2 + 702.5^2} = 959.5 \text{ кВА}. \quad (2.27)$$

Результати розрахунків вносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.3 – Навантаження ливарного цеху

Початкові дані										Проміжні потужності		n _{г.о}	n _с	K _p	Розрахункові потужності			Розрахунковий струм I _p , А
Найменування ЕП	n, од	За умовою				Довідникові				P _н , кВт	Q _н , квар				P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
		Номинальна потужність, кВт				P _{н.т.макс} / P _{н.т.мін}	K _л	cosφ	tgφ									
		P _н	P _{н.с}	P _{н.т.макс}	P _{н.т.мін}													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Плавильна піч	3	47,0	141,0				0,90	0,75	0,88	126,90	111,92							
Ливарна машина	3	16,0	48,0				0,90	0,80	0,75	43,20	32,40							
СП-1, СП-2	6		189,0	47,0	16,0	2,9	0,90			170,1	144,3	4,83	6	1,00	170,10	158,75	232,67	353,50
Галтувальний барабан	1	6,0	6,0				0,60	0,80	0,75	3,60	2,70							
Очисний барабан	3	9,0	27,0				0,25	0,75	0,88	6,75	5,95							
Шліфувальний верстат	4	3,0	12,0				0,60	0,80	0,75	7,20	5,40							
СП-3	8		45,0	9,0	3,0	3,0	0,39			17,6	14,1	6,43	6	1,14	20,01	15,46	25,28	38,41
Вентилятор	2	16,0	32,0				0,90	0,85	0,62	28,80	17,85							
Кран-балка	1	15,0	15,0				0,20	0,70	1,02	3,00	3,06							
СП-4, СП-5	3		47,0	16,0	15,0	1,1	0,68			31,8	20,9	3,00	3	1,14	36,25	23,00	42,93	65,23
Індукційна піч	2	80,0	160,0				0,70	0,40	2,29	112,00	256,62							
Індукційна піч	2	60,0	120,0				0,60	0,40	2,29	72,00	164,97							
СП-6	4		280,0	80,0	60,0	1,3	0,66			184,0	421,6	3,92	4	1,14	209,76	463,76	508,99	773,33
Електротермічна піч	2	14,0	28,0				0,80	0,95	0,33	22,40	7,36							
Електрозагартівна піч	4	13,0	52,0				0,80	0,90	0,48	41,60	20,15							
Електротермічна піч	4	10,0	40,0				0,60	0,95	0,33	24,00	7,89							
Сушильна піч	1	4,0	4,0				0,50	1,00	0,00	2,00	0,00							
СП-7	11		124,0	14,0	4,0	3,5	0,73			90,0	35,4	17,71	11	1,00	90,00	35,40	96,71	146,94
СП-1...7 на шинах ТП-4, 0,4 кВ	41		921,0	80,0	3,0	26,7	0,75			695,35	801,50	23,03	23	0,85	591,05	681,27	901,93	1370,33
ЩО							0,90	0,90	0,34						62,48	21,20	65,97	100,24
Шини 0,4 кВ															653,52	702,47	959,46	1457,75

Розрахункові навантаження цивільних об'єктів

Визначення розрахункових навантажень в електропостачальних системах міста представлені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - навантаження в електропостачальних системах житлових і громадських будинків.

№	тип об'єкту	к-сть	умовне позначення	Категорія надійності
1	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 2 секції, 128 квартир	3	А	II
2	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 1 секція, 64 квартири	3	Б	II
3	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 1 секція, 36 квартир	7	В	II
4	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 3 секції, 108 квартир	2	Г	II
5	Магазин промислових товарів на 200м ² торгівельної зали	1	Д	III
6	Магазин продовольчих товарів на 300м ² торгівельної зали	1	Е	III

На рисунку 2.3 зображена схема розміщення житлових та громадських будівель відносно трансформаторних підстанцій.

Кожен багатоквартирний будинок оснащений пристроєм АВР.

Визначення розрахункових навантажень громадських об'єктів виконуємо згідно [1]:

$$P_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л} \quad (2.28)$$

$$Q_{ж.б} = p_{пит} n_{кв} tg\varphi_{кв} + 0,9 K_{п.л} n_{ліф} p_{л} tg\varphi_{ліф} \quad (2.29)$$

де $p_{пит}$ – питоме розрахункове електричне навантаження житл;

$n_{кв}$ – сумарна кількість квартир;

$n_{ліф}$ – сумарна кількість ліфтів;

$K_{п.л}$ – коефіцієнти попиту для ліфтових установок;

$tg\varphi$ – реактивне навантаження.

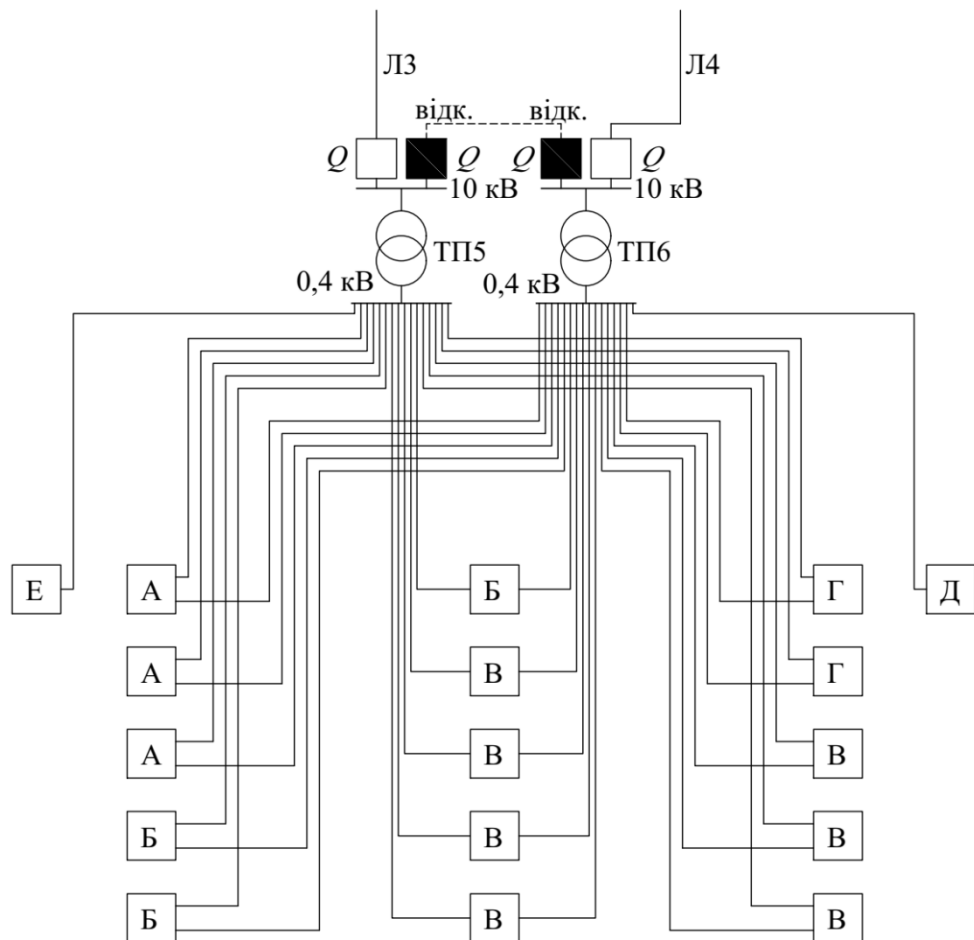


Рисунок 2.3 – Схема електропостачання з житловими та громадськими будівлями

Будинки з однаковими кухнями групуються в один об'єкт. Магазили (продовольчі та промислові), які працюють нормально, аналізуються окремо, з урахуванням загальної кількості квартир у них та кількості ліфтів.

Багатоквартирні будинки з електроплитами (А+Б):

$$P_{AB}^{1/2} = 1,3492 \cdot \frac{(64 \cdot 3 + 128 \cdot 3)}{2} + 0,9 \cdot \frac{9}{2} \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,6375 = 428,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{AB}^{1/2} = 1,3492 \cdot \frac{(64 \cdot 3 + 128 \cdot 3)}{2} \cdot 0,4 + 0,9 \cdot \frac{9}{2} \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,6375 \cdot 1,17 = 202,25 \text{ квар.}$$

Багатоквартирні будинки з газовими плитами (В+Г):

$$P_{BG}^{1/2} = \frac{n_{KB}}{2} p_{пит} + 0,9 \frac{n_{ліф}}{2} P_{лкпл} =$$

$$= \frac{(36 \cdot 7 + 108 \cdot 2)}{2} \cdot 0,8479 + 0,9 \cdot \frac{13}{2} \cdot 6,5 \cdot 0,63125 = 222,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ВГ}}^{1/2} = \frac{n_{\text{кв}}}{2} P_{\text{пит}} \text{tg}\varphi_{\text{кв}} + 0,9 \frac{n_{\text{ліф}}}{2} P_{\text{л}} k_{\text{пл}} \text{tg}\varphi_{\text{ліфт}} =$$

$$= \frac{(36 \cdot 7 + 108 \cdot 2)}{2} \cdot 0,8479 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot \frac{13}{2} \cdot 6,5 \cdot 0,63125 \cdot 1,17 = 113,4 \text{ квар.}$$

Магазин промислових товарів (Д):

$$P_{\text{Д}} = sp_{\text{пит}} = 200 \cdot 0,15 = 30 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{Д}} = P_{\text{Д}} \text{tg}\varphi = 15 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ квар.}$$

Магазин продовольчих товарів (Е):

$$P_{\text{Е}} = sp_{\text{пит}} = 300 \cdot 0,25 = 75 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{Е}} = P_{\text{Е}} \text{tg}\varphi = 75 \cdot 0,75 = 56,25 \text{ квар}$$

Зводимо до таблиці 2.5 розрахункові навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи.

Таблиця 2.5 – Навантаження об'єктів в нормальному режимі роботи:

Позначення на схемі	Об'єкт	$P_{\text{р,кВт}}$	$Q_{\text{р,квар}}$
А,Б	Житловий будинок з електричними плитами	428,6	202,25
В,Г	Житловий будинок з газовими плитами	222,4	113,4
Д	Магазин промислових товарів	30	22,5
Е	Магазин продовольчих товарів	75	56,25

Розраховуємо навантаження на шини ТП5 та ТП6 в нормальному режимі роботи.

$$P_{\text{ТП}} = P_{\text{р,max}} + \sum_{i=1}^{n-1} P_{\text{pi}} K_{\text{с,max}i}, \quad (2.30)$$

$$Q_{\text{ТП5}} = Q_{\text{q,max}} + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{\text{qi}} K_{\text{с,max}i}, \quad (2.31)$$

$$S_{\text{ТП}} = \sqrt{P_{\text{ТП}}^2 + Q_{\text{ТП}}^2}, \quad (2.32)$$

Навантаження на шини ТП5:

$$P_{ТП5}^H = 428,5887 + 222,4119 \cdot 0,9 + 75 \cdot 0,6 = 673,76 \text{ кВт};$$

$$Q_{ТП5}^H = 202,25 + 113,4 \cdot 0,9 + 56,25 \cdot 0,6 = 338,06 \text{ квар};$$

$$S_{ТП5}^H = \sqrt{673,76^2 + 338,06^2} = 753,81 \text{ кВА}.$$

Навантаження на шини ТП6

$$P_{ТП6}^H = 428,5887 + 222,4119 \cdot 0,9 + 30 \cdot 0,6 = 646,76 \text{ кВт};$$

$$Q_{ТП6}^H = 202,25 + 113,4 \cdot 0,9 + 22,5 \cdot 0,6 = 317,81 \text{ квар};$$

$$S_{ТП6}^H = \sqrt{646,76^2 + 317,81^2} = 720,63 \text{ кВА}.$$

Розраховуємо навантаження в після аварійному режимі.

Розглянемо два сценарії післяаварійної роботи системи електропостачання. У першому випадку виходить з ладу трансформатор ТП6, внаслідок чого електроживлення житлових будинків та продовольчого магазину забезпечується через ТП5. У другому випадку аварії піддається трансформатор ТП5, і тоді постачання електроенергії до житлових будинків та магазину промислових товарів здійснюється від ТП6.

Багатоквартирні будинки з електроплитами (А+Б):

$$\begin{aligned} P_{AB} &= n_{кв} p_{пит} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} = \\ &= 576 \cdot 1,2044 + 0,9 \cdot 9 \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,52 = 759 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{AB} &= n_{кв} p_{пит} \operatorname{tg} \varphi_{кв} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} \operatorname{tg} \varphi_{ліфт} = \\ &= 576 \cdot 1,2044 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 9 \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,52 \cdot 1,17 = 353,8 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Багатоквартирні будинки з електроплитами (В+Г):

$$\begin{aligned} P_{BG} &= n_{кв} p_{пит} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} = \\ &= 468 \cdot 0,7128 + 0,9 \cdot 13 \cdot 6,5 \cdot 0,47 = 369,3 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{BG} &= n_{кв} p_{пит} \operatorname{tg} \varphi_{кв} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} \operatorname{tg} \varphi_{ліфт} = \\ &= 468 \cdot 0,7128 \cdot 0,43 + 0,9 \cdot 13 \cdot 6,5 \cdot 0,47 \cdot 1,17 = 185,3 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Зведемо до таблиці 2.6 розраховані розрахункові навантаження об'єктів в після аварійному режимі роботи.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						38
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Навантаження на кожен з трансформаторів (ТП5, ТП6) в післяаварійному режимі роботи

	Об'єкт	Рр, кВт	Qр, квар
ТП5	Житл. буд. із ел. плитами	759	353,8
	Житл. буд. із газ. плитами	369,3	185,3
	Магазин прод. товарів	75	56,25
ТП6	Житл. буд. із ел. плитами	759	353,8
	Житл. буд. із газ. плитами	369,3	185,3
	Магазин пром. товарів	30	22,5

Розраховуємо навантаження на шини ТП5 в після аварійному режимі роботи.

$$P_{ТП5}^{па} = 759 + 369,3 \cdot 0,9 + 75 \cdot 0,6 = 1136,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{ТП5}^{па} = 353,8 + 185,3 \cdot 0,9 + 56,25 \cdot 0,6 = 554,4 \text{ квар};$$

$$S_{ТП5}^{па} = \sqrt{1136,4^2 + 554,4^2} = 1264,4 \text{ кВА.}$$

Навантаження на шини ТП6 в післяаварійному режимі роботи:

$$P_{ТП6}^{па} = 759 + 369,3 \cdot 0,9 + 30 \cdot 0,6 = 1109,4 \text{ кВт};$$

$$353,8 + 185,3 \cdot 0,9 + 22,5 \cdot 0,6 = 534 \text{ квар};$$

$$S_{ТП6}^{па} = \sqrt{1109,4^2 + 534^2} = 1231,3 \text{ кВА.}$$

Визначимо навантаження типових об'єктів на прикладі житлового будинку з електричними плитами, 16 поверхів, 2 секції, 128 квартир:

$$\begin{aligned} P_A &= n_{кв} p_{пит} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} = \\ &= 128 \cdot 1,632 + 0,9 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,8 = 231,2 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_A &= n_{кв} p_{пит} \text{tg}\varphi_{кв} + 0,9 n_{ліф} P_{л} k_{пл} \text{tg}\varphi_{ліфт} = \\ &= 128 \cdot 1,632 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 2 \cdot (6,5 + 9) \cdot 0,8 \cdot 1,17 = 109,67 \text{ квар.} \end{aligned}$$

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2} = \sqrt{231,216^2 + 109,67^2} = 255,91 \text{ кВА.}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 2.7.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						39
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 - Навантаження в електропостачальних системах міст

№	тип об'єкту	к-сть	ум. познач.	P, кВт	Q, квар	S, кВА
1	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 2 секції, 128 квартир	3	А	231,2	109,7	255,9
2	Житловий будинок з електричними плитами, 16 поверхів, 1 секція, 64 квартири	3	Б	154,4	78,9	173,4
3	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 1 секція, 36 квартир	7	В	54,9	25,6	0,6
4	Житловий будинок з газовими плитами, 9 поверхів, 3 секції, 108 квартир	2	Г	111,6	48,2	21,5
5	Магазин промислових товарів на 200м ² торгівельної зали	1	Д	30	22,5	7,5
6	Магазин продовольчих товарів на 300м ² торгівельної зали	1	Е	75	56,3	3,8

2.3 Вибір трансформаторів

Зведемо до таблиці 2.8 навантаження по кожному ТП в після аварійному режимі роботи, для вибору трансформаторів.

Таблиця 2.8 - Навантаження ТП в післяаварійному режимі роботи

№	P, кВт	Q, квар	S _ф , кВА
ТП1	653,5	702,5	959,5
ТП2	360	60	364,97
ТП3	340	70	347,13
ТП4	330	90	342,05
ТП5	1136,4	554,4	1264,4
ТП6	1109,4	534	1231,3

Визначимо номінальні потужності розподільчих трансформаторів.

Для ТП1 приймаємо трансформатор ТМ 1000/10, з наступними паспортними даними:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_H=1000$ кВА;

$\Delta P_{xx}=10,8$ кВт;

$\Delta P_{кз}=1,55$ кВт;

$I_{xx}=1,2$ %;

$U_{кз}=5,5$ %.

Перевірка трансформатора в післяаварійному режимі:

Втрати в трансформаторі:

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз})^2 + \left(S_H \frac{I_{xx}}{100} + \left(\frac{S_\phi}{S_H} \right)^2 S_H \frac{U_{кз}}{100} \right)^2}, \quad (2.34)$$

$$\Delta S = \sqrt{(10,8 + 1,55)^2 + \left(1000 \cdot \frac{1,2}{100} + \left(\frac{959,5}{1000} \right)^2 \cdot 1000 \cdot \frac{5,5}{100} \right)^2} = 63,8 \text{ кВА},$$

$$S_{ТП1} = S_\phi + \Delta S < 1,4 \cdot 1,5 S_H = 959,5 + 63,8 < 1,4 \cdot 1000 = \\ = 1023,3 < 1400 \text{ кВА}.$$

Вибір трансформатора для інших ТП проводиться аналогічно.

Отримані результати розрахунків заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Розподіл навантаження на ТП1-ТП6

№	Марка транс.	$S_{нт}$, кВА	ΔS кВА	$S_{п/а}$, кВА	$1,4 S_{нт}$, кВА
1	ТМ 630/10	1000	63,8	1023,3	1400
2	ТМ 400/10	400	21,9	386,9	560
3	ТМ 400/10	400	20,5	367,6	560
4	ТМ 400/10	400	20,2	362,3	560
5	ТМ 1000/10	1000	100,7	1365,1	1400
6	ТМ 1000/10	1000	96,2	1327,5	400

2.4 Розрахунок живлячих і розподільних мереж. Вибір перерізу ліній низької напруги, що живлять житлові та громадські будівлі

Мінімально допустимі перерізи мережі напругою до 1000 В, в загальному випадку, повинні задовольняти наступним вимогам:

1. Втрата напруги в нормальному режимі не повинна перевищувати допустимої величини: $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}$.

2. Втрата напруги в післяаварійному режимі не повинна більш ніж на 5% перевищувати допустиму величину: $\Delta U_{\text{п/а}} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\%$.

3. Струмове навантаження в нормальному режимі не повинне перевищувати допустимої величини, визначеної з урахуванням умов прокладки кабельної лінії:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.35)$$

де $I_{\text{доп}}$ – допустиме тривале струмове навантаження, яке визначається за довідковими даними з урахуванням марки кабелю (дроту) і способу його прокладки (у землі, в повітрі, в трубах і так далі);

K_1 – коефіцієнт, що враховує фактичні температурні умови експлуатації кабелю або повітряної лінії, $K_1=1$;

K_2 – корегуючий (уточнюючий) коефіцієнт, що враховує кількість паралельно прокладених і працюючих кабелів, $K_2=1$.

4. Струмове навантаження в післяаварійному режимі не повинне перевищувати допустиме значення, визначене з урахуванням відповідного коефіцієнта допустимого перевантаження:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\text{пер}}, \quad (2.36)$$

де $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження, який визначається з урахуванням умов прокладки, тривалості перевантаження і попереднього завантаження КЛ, $K_{\text{пер}}=1,3$.

Оберемо перерізи ліній живлення виходячи в розрахунків післяаварійного режиму, оскільки якщо лінія витримає п/а режим роботи то і нормальний також витримає.

Проведемо розрахунок на прикладі багатоквартирного будинку А1:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						42
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо розрахунковий переріз за формулою:

$$F = \frac{P_p \rho L_{\text{кл}}}{10 U_H^2 \Delta U_{\text{доп}}} \quad (2.37)$$

де P_p розрахункове навантаження, що проходить (протікає) через кабельну лінію 0,4 кВ у нормальному режимі роботи, кВт;

ρ – питомий опір кабельної лінії, для алюмінію - $\rho = 26,2-29,5$ Ом/км·мм² (для розрахунків приймаємо середнє значення, для алюмінію - $\rho = 27,85$ Ом/км·мм²;

$L_{\text{кл}}$ - довжина кабельної лінії, км;

U_H – номінальна напруга, кВ;

$\Delta U_{\text{доп}}$ - допустима втрата напруги, %;

$$F = \frac{P_p \rho L_{\text{кл}}}{10 U_H^2 \Delta U_{\text{доп}}} = \frac{231,2 \cdot 27,5 \cdot 0,06}{10 \cdot 0,38^2 \cdot 5} = 52,8 \text{ мм}^2$$

Визначаємо розрахункове струмове навантаження на головних ланках у напрямі від ТП5 та від ТП6:

$$I_{A1} = \frac{\sqrt{P_{A1}^2 + Q_{A1}^2}}{\sqrt{3} U_H} = \frac{\sqrt{231,2^2 + 109,7^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 388,81 \text{ А}, \quad (2.38)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{A1} \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}},$$

$$388,81 \leq 330 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3,$$

$$388,8 \leq 429.$$

АВВГ 5×240, $I_{\text{доп}} = 330$ А, $r_0 = 0,125$ Ом/км, $x_0 = 0,0587$ Ом/км.

Розраховуємо втрату напруги (у відсотках від номінального значення) на ділянці мережі

$$\Delta U_{A1} = \frac{P_{A1} r_0 L_{\text{кл}}}{10 U_H^2} = \frac{231,2 \cdot 0,125 \cdot 0,06}{10 \cdot 0,38^2} = 1,2 \%, \quad (2.39)$$

Втрата напруги у післяаварійному режимі не повинна перевищувати допустиму величину +5%:

$$\Delta U_{A1} \leq \Delta U_{\text{доп}} + 5\% \rightarrow 1,2\% \leq 10\%,$$

Отже, обрали АВВГ 5×240, $I_{\text{доп}} = 330$ А, $r_0 = 0,125$ Ом/км, $x_0 = 0,0587$ Ом/км.

Отримані результати по цій та інших лініях заносимо в таблицю 2.10.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок мінімально припустимого перерізу ліній розподільної мережі

10 кВ.

Таблиця 2.10 – Вибір перерізу ліній низької напруги в післяаварійному режимі

Об'єкт	I_p, A	$L, км$	Кабель	Ідоп, А	$r_0, Ом/км$	$x_0, Ом/км$	$\Delta U \leq 10\%$
A1	388,81	0,06	АВВГ-5х240	330	0,125	0,0587	1,2
A2	388,81	0,053	АВВГ-5х240	330	0,125	0,0587	1,06
A3	388,81	0,079	АВВГ-5х240	330	0,125	0,0587	1,58
Б1	263,39	0,066	АВВГ-5х120	224	0,253	0,0602	1,78
Б2	263,39	0,08	АВВГ-5х120	224	0,253	0,0602	2,16
Б3	263,39	0,074	АВВГ-5х120	224	0,253	0,0602	2
В1	92,01	0,062	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	4,5
В2	92,01	0,055	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	3,99
В3	92,01	0,087	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	6,3
В4	92,01	0,076	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	5,5
В5	92,01	0,083	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	6,02
В6	92,01	0,078	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	5,66
В7	92,01	0,8	АВВГ-5х16	72	1,91	0,0675	5,8
Г1	184,65	0,077	АВВГ-5х70	166	0,443	0,0612	2,63
Г2	184,65	0,056	АВВГ-5х70	166	0,443	0,0612	1,9
Д	56,98	0,089	АВВГ-5х10	55	3,08	0,073	5,69
Е	142,44	0,063	АВВГ-5х35	113	0,868	0,0637	2,84

Оберемо перерізи проводів для ліній електропередачі 10 кВ (Л1–Л6), враховуючи їхню роботу в умовах післяаварійного режиму. З метою спрощення розрахунків приймаємо однакові перерізи для парних ліній: Л1 і Л2, Л3 і Л4, Л5 і Л6. Під час визначення необхідних перерізів враховуватимемо максимально можливі навантаження, які можуть виникати на кожній ділянці мережі.

Розрахуємо переріз лінії Л1 і Л2:

Знаходимо навантаження Л1, Л2 які живлять ТП1-4:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						44
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

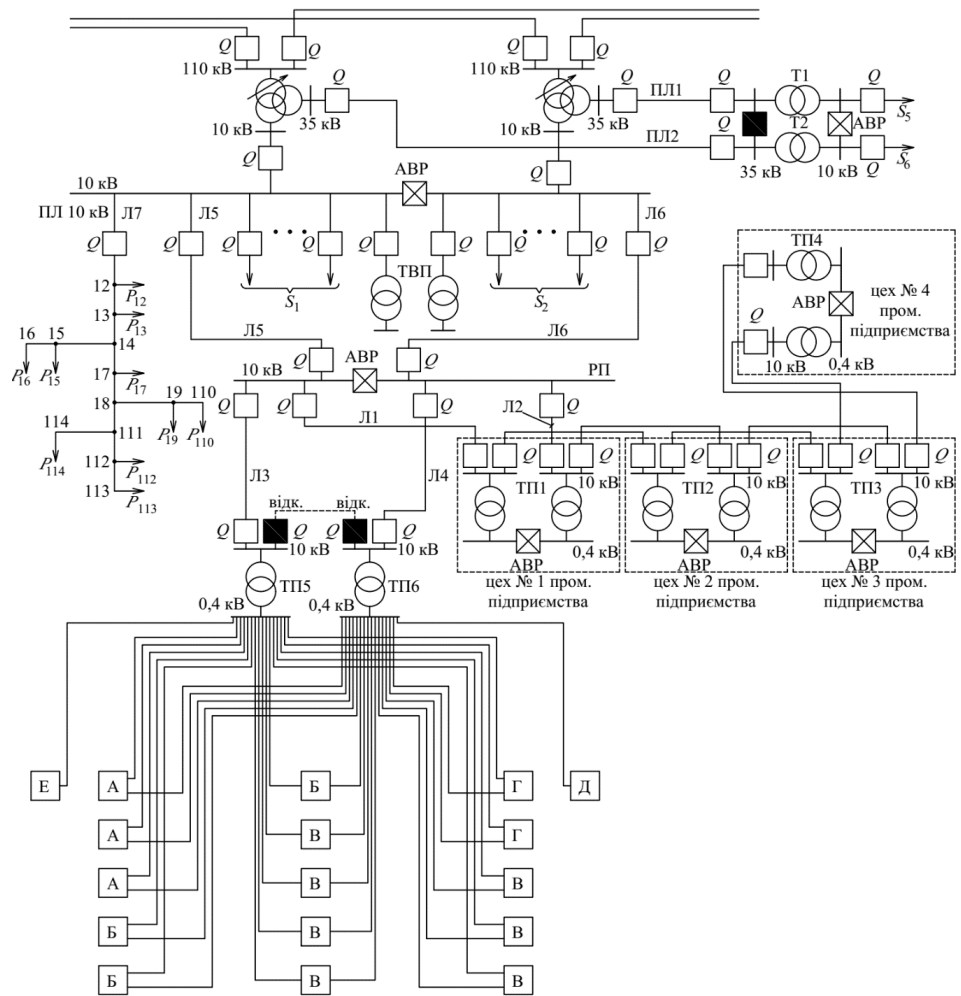


Рисунок 2.5– Схема електропостачання

Знаходимо навантаження Л1, Л2 які живлять ТП1-4:

$$S_{Л1,2}^{п/а} = K_{см} \sum_i^n S_{ТПi}, \quad (2.40)$$

$$S_{Л1,2}^{п/а} = 0,85 \cdot \sqrt{(653,5 + 360 + 340 + 330)^2 + (702,5 + 60 + 70 + 90)^2} = 1631,7 \text{ кВА},$$

$K_{см}$ -Коефіцієнт суміщення максимумів, приймаємо з таблиці 9 довідкових даних.

Визначаємо розрахункове струмове навантаження:

$$I_{Л1,2} = \frac{S_{Л1,2}^{п/а}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{1631,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 94,2 \text{ А}, \quad (2.41)$$

Обираєм з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{Л1,2} \leq I_{доп} K_1 K_2 K_{пер},$$

$$94,2 \leq 119 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3,$$

$$94,2 \leq 154,7.$$

Отже, обрали АПВП 3×35, $I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}$, $r_0 = 0,868 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$.

Для Л3,4 та Л5,6 проводимо розрахунок аналогічно та заносимо отримані значення перерізів ліній 10кВ у таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 - Вибір перерізу ліній в післяаваріоному режимі напругою 10кВ

	S, кВА	ТП, що живляться	I, А	Марка	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{\text{доп}}$, А
Л1-Л2	1631,7	ТП1-4	94,2	АПВП 3х35	0,868	0,095	119
Л3-Л4	2121,3	ТП5-6	122,5	АПВП 3х35	0,868	0,095	119
Л5-Л6	3753	ТП1-6	216,7	АПВП 3х120	0,253	0,08	232

2.5 Вибір комутаційних апаратів захисту від коливань напруги

Одним із ключових аспектів забезпечення надійної роботи електроустановок є захист від коливань напруги, які можуть мати як природне, так і техногенне походження. У системах низьковольтного електропостачання з номінальною напругою 0,4 кВ коливання напруги виникають внаслідок грозових розрядів, комутаційних процесів у мережі, обриву нульового провідника, асиметрії фаз, а також аварійних режимів на стороні високої напруги.

Такі коливання можуть призводити до перегріву обладнання, зниження ресурсу електроніки, пошкодження ізоляції, а в окремих випадках — до повної втрати працездатності електроприймачів. Зокрема, імпульсні перенапруги тривалістю в наносекунди можуть мати амплітуду до кількох кіловольт, що в рази перевищує допустимі рівні для низьковольтного обладнання.

Захист від подібних небезпечних явищ здійснюється за допомогою спеціальних комутаційних і захисних апаратів, які працюють за принципом обмеження, відведення або повного відключення навантаження при критичних значеннях параметрів електромережі. Основними технічними засобами боротьби з перенапругами є обмежувачі перенапруг (УЗІП), газорозрядники, реле контролю напруги, стабілізатори та інші пристрої.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						46
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрядники — це електротехнічні пристрої, призначені для захисту електричних установок від небезпечних імпульсних перенапруг, що виникають внаслідок грозових розрядів або комутаційних процесів у мережі. Вони забезпечують короткочасне шунтування напруги, що перевищує допустимий рівень, на землю або іншу потенційно-безпечну точку, тим самим запобігаючи пошкодженню електрообладнання.

2.5.2 Реле напруги

Реле контролю напруги (РКН) — це автоматичний електричний пристрій, що призначений для захисту електрообладнання від тимчасового підвищення і зниження напруги через нестабільну роботу електричної мережі або обрив нейтралі. Це дозволяє уникнути перегріву, зносу або пошкодження обладнання, зокрема електродвигунів, комп'ютерної техніки, автоматики та побутових приладів.

Реле має повністю автоматичну роботу, так як уставки підвищеної та зниженої напруги, а також порогові значення для відновлення живлення встановлені заздалегідь.

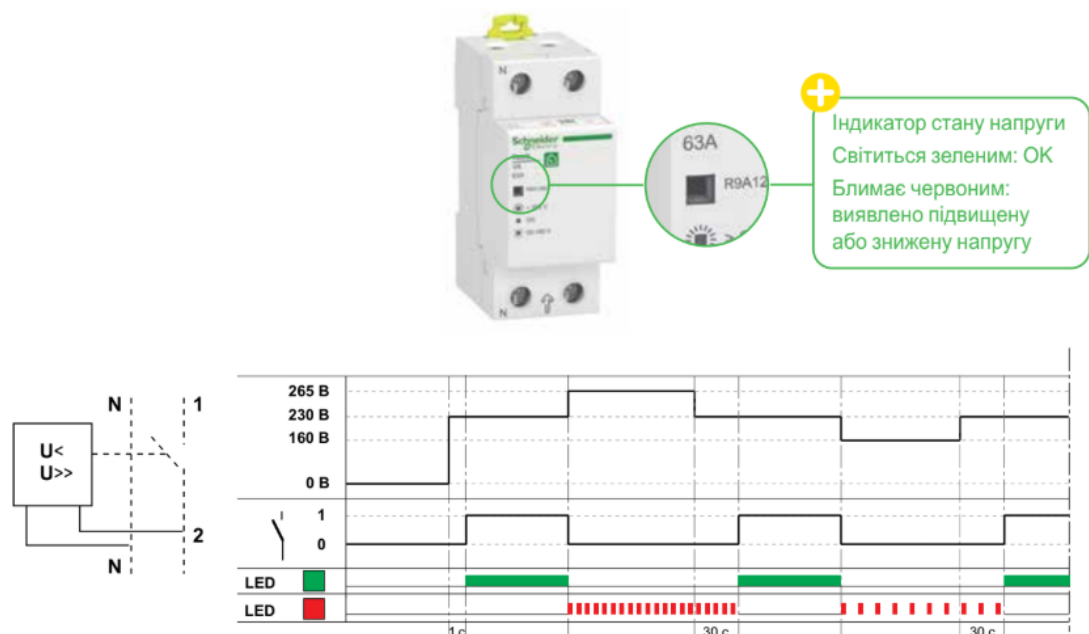


Рисунок 2.5- Графік роботи реле напруги[4]

Розрахунок вибору реле напруги

Для підвищення надійності електропостачання, а також захисту споживачів від аварійних режимів (перенапруга, провал напруги, зникнення або порушення послідовності фаз), необхідне встановлення реле контролю напруги на кожен живильну лінію від трансформаторної підстанції (ТП) до силових пунктів (СП).

Комутація реле напруги з контакторами виконується не по силовій частині, а через керуючий ланцюг. Це стандартна схема автоматики, де реле контролює параметри мережі, а контактор комутує силове навантаження.

Визначення розрахункових струмів навантаження

$$I_{СП} = \frac{\sqrt{P_{СП}^2 + Q_{СП}^2}}{\sqrt{3}U_H} \quad (2.42)$$

$$I_{СП1} = \frac{\sqrt{170,1^2 + 144,3^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 338,9 \text{ А}$$

Для врахування пускових струмів та похибок вимірювання запроваджено коефіцієнт запасу 1,25:

$$I_{рез} = I_{СП1} \cdot 1,25 = 338,9 \cdot 1,25 = 423,6$$

Для СП2-7 проводимо розрахунок аналогічно та заносимо отримані значення розрахункових струмів та вибору обладнання таблицю 2.12

Таблиця 2.12 - Вибір реле напруги

	$I_{СП}, \text{А}$	$I_{рез}, \text{А}$	Реле напруги	Контактори
СП-1	338,9 А	423,6 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1D400 / ABB AF580
СП-2	338,9 А	423,6 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1D400 / ABB AF580
СП-3	34,2 А	42,8 А	Zubr D63t або Finder 70.61	-
СП-4	115,6 А	144,5 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1D160 / ABB AF165
СП-5	115,6 А	144,5 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1D160 / ABB AF165
СП-6	698,9 А	873,6 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1F800 / ABB AF580
СП-7	149,9 А	187,4 А	Schneider RM17TE00	Schneider LC1D200 / ABB AF200

Комутація реле контролю напруги із силовими контакторами реалізується за допомогою проміжного керуючого кола. Реле напруги має сухий вихідний контакт, через який подається напруга на котушку силового контактора. У разі виявлення відхилень (перенапруга, зникнення фази, асиметрія) реле розмикає контакт, що призводить до знеструмлення котушки та вимкнення контактора. Така схема є надійною, безпечною та рекомендованою для промислових об'єктів із струмами понад 63 А.

2.5.3 Пристрої захисту від імпульсних перенапруг

Вони захищають електричне та електронне обладнання від непрямой перенапруги, викликаной грозивим розрядом.

Основним чутливим елементом ПЗП є особливий напівпровідниковий модуль (варістор), опір якого різко зменшується, якщо напруга, яке протікає через нього, перевищує номінальні встановлені значення.

Коли, з якої-небудь причини, напруга в мережі різко зростає, опір напівпровідникового елемента ПЗП миттєво падає до мінімальних значень. В результаті цього ток починає надходити через захисний пристрій на контур заземлення, створюючи штучне коротке замикання, яке провокує спрацьовування автоматичного вимикача і знеструмлення мережі. Після того, як напруга знизиться до допустимих меж, опір варистора зросте і ланцюг продовжить роботу в звичайному режимі.

Такі пристрої, в залежності від конструкції і цільової захисту, підрозділяються на три класи.

ПЗП I класу є дієвим захистом від перенапруг, причиною яких є розряд блискавки. Пристрої цього класу встановлюються на вводах напруги живлення в енергоємні виробничі цехи, великі адміністративно-побутові будівлі, торговельні та розважальні комплекси тощо.

ПЗП II класу оберігають побутову техніку та електричну проводку від імпульсів перенапруги, що виникають через включення або відключення обладнання великої потужності. Пристрій ПЗП II класу монтується в розподільні щити, встановлені в

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						49
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під'їздах багатоквартирних будинків.

ПЗП III класу найбільш чутливі і реагують на миттєві перепади напруги, причиною якого є коротке замикання в мережі. Такі пристрої необхідні для захисту високоточної і дорогого електронного обладнання, в тому числі медичного.

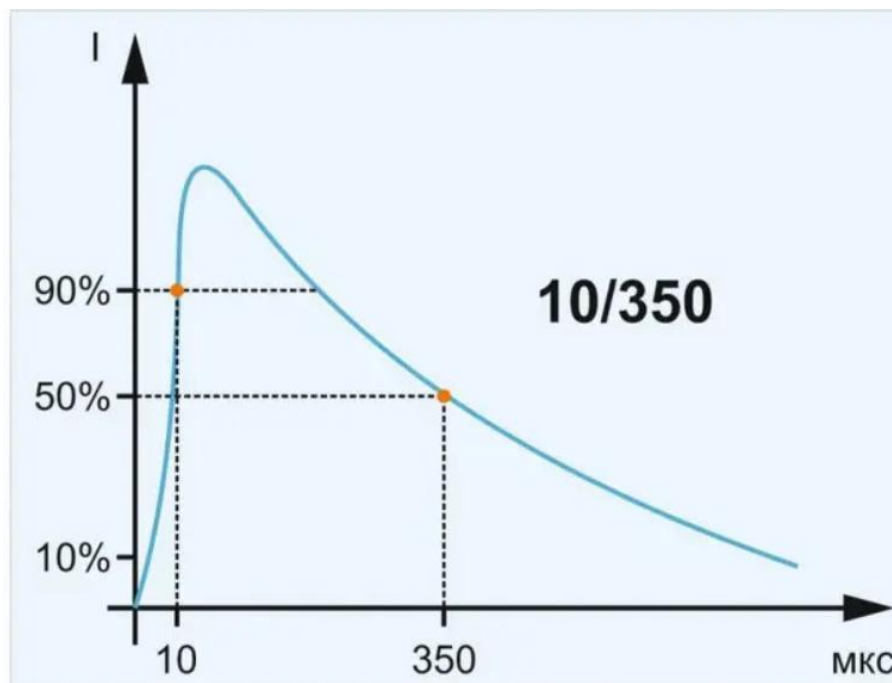


Рисунок 2.6 - Імпульс струму з формою хвилі 10/350 мкс [5]

На деяких моделях ПЗП може стояти інша маркування, наприклад ОПС (обмежувач перенапруг мережі) або ОІН (обмежувач імпульсних напруг). Однак яку б назву не мало такий пристрій, завдання у нього одна - захист від імпульсних перенапруг.

Вибір ПЗП для будинку або для захисту промислової мережі повинен ґрунтуватися на базових характеристиках пристрою. Для зручності і полегшення підбору пристрої захисту від імпульсних перенапруг вони друкарським способом наносяться на його корпус:

номінальне і максимальне напруження мережі живлення - напруга, на яке розраховане пристрій; номінальний і максимальний струм розряду - імпульс струму, який навіть при багаторазовому проходженні через пристрій не приведе до його виходу з ладу; рівень напруги захисту - гранична величина напруги, при якому

пристрій не спрацьовує; клас випробувань; індикатор стану варистора - зелений (робочий), а червоний (пристрій вийшов з ладу).

Колірна індикація стану варистора дозволяє помітити, що він знаходиться в неробочому стані, і вчасно замінити його на новий.



Рисунок 2.7- Пристрої захисту від імпульсних перенапруг[6]

Обмежувач перенапруги ETI ETITES — це тип ПЗП (пристрій захисту від імпульсних перенапруг), який розроблений компанією ETI для захисту електроустановок низької напруги (наприклад, 0,4 кВ) від короточасних імпульсних перенапруг, внаслідок атмосферних розрядів або комутаційних перенапруг.



Рисунок 2.8-Обмежувач перенапруги[7]

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

2.5.4 Стабілізатор напруги

Стабілізатори напруги – це спеціальні пристрої, які призначені для підтримки стабільного рівня напруги в електричній мережі. Вони захищають побутову техніку, комп'ютери, промислове обладнання та інші електричні прилади від негативних наслідків, спричинених перепадами напруги, стрибками та перешкодами.

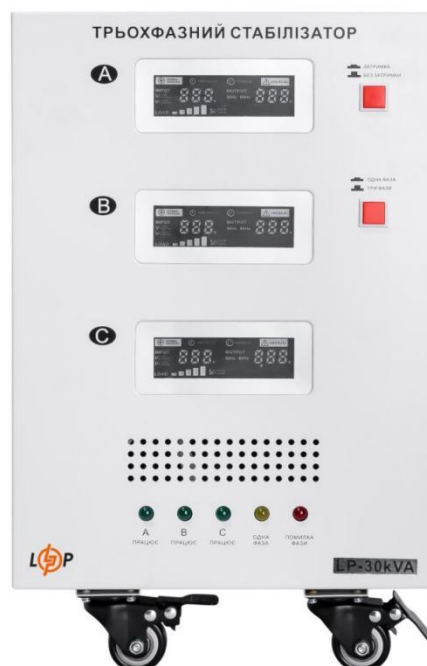


Рисунок 2.9 -Трифазний стабілізатор напруги LogicPower LP-SHT-30kVA[8]

Трифазний стабілізатор напруги LogicPower LP-SHT-30kVA є сучасним електронним пристроєм, призначеним для забезпечення стабільної напруги на виході при коливаннях вхідної напруги в мережах 0,4 кВ. Його конструкція базується на сервопривідному принципі регулювання з плавною корекцією напруги, що забезпечує високу точність стабілізації та надійний захист споживачів.

Цей стабілізатор має номінальну потужність 30 кВА, що дозволяє використовувати його для живлення промислового обладнання, електродвигунів, насосів, систем автоматики, систем освітлення, а також офісної техніки великої

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

потужності або серверного обладнання. Його можна інтегрувати як у виробничі процеси, так і в системи резервного живлення об'єктів критичної інфраструктури.

Пристрій підтримує широкий діапазон вхідної напруги: від 260 до 450 В по фазах, що дозволяє йому ефективно працювати навіть у нестабільних або перевантажених мережах. Точність стабілізації становить $\pm 2\%$, завдяки чому обладнання, що підключається, отримує якісне живлення з мінімальними відхиленнями від номінальних параметрів.

- Вбудовані захисні функції включають:
- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження;
- затримку при ввімкненні;
- автоматичне відключення при критичних відхиленнях напруги.

Стабілізатор має трьохфазну схему з незалежним регулюванням по кожній фазі, що дозволяє точно вирівнювати напругу навіть при нерівномірному навантаженні. Завдяки цифровому дисплею, користувач може в режимі реального часу контролювати параметри вхідної та вихідної напруги, струму та режиму роботи.

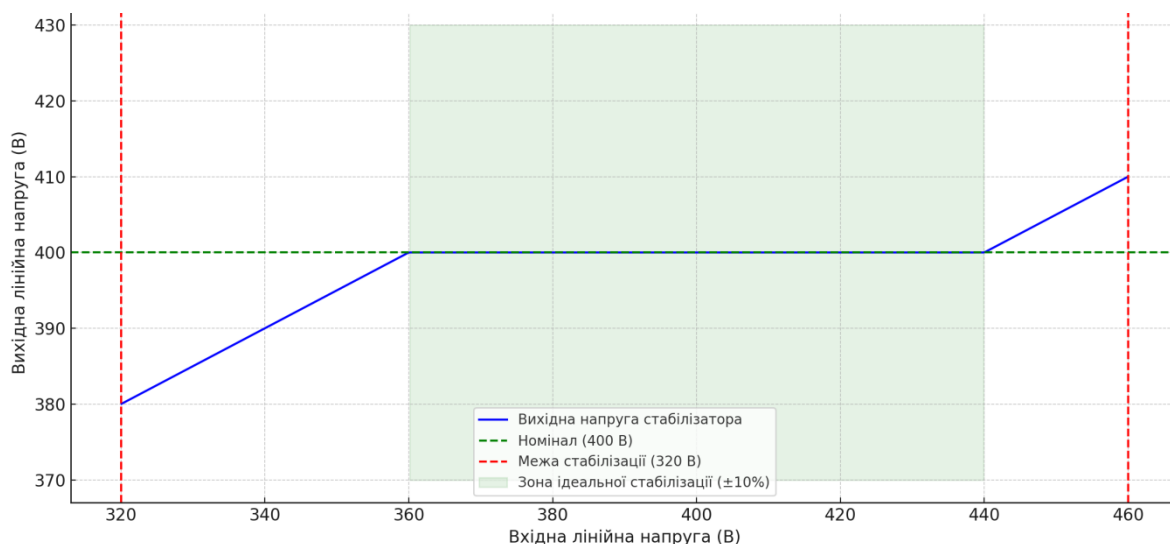


Рис.2.10 - Графік роботи трифазного стабілізатора напруги

Корпус пристрою виконаний у металевому кожусі з вентиляційними отворами та активною системою охолодження, що забезпечує надійну роботу в умовах підвищеної температури або пилу. Монтаж здійснюється в закритих електрощитових або технічних приміщеннях з можливістю підключення через автоматичні вимикачі.

2.6 Розрахунок струмів короткого замикання та перевірка вибраних комутаційних апаратів і живлячих провідників за умов короткого замикання

2.6.1 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі вище 1кВ

2.6.1.1 Побудова розрахункової схеми та розрахунок параметрів елементів схеми заміщення

Коротке замикання – це випадковий або навмисний контакт між фазами (полюсами) струмопровідних частин електроустановки чи між ними та землею, що не передбачений нормальним режимом функціонування. Унаслідок цього в колах, які безпосередньо під'єднані до місця такого контакту, різко зростає струм, значно перевищуючи допустимі значення для усталеного режиму. Якщо йдеться про дотик однієї фази до землі в мережах з ізольованою або резонансно заземленою нейтраллю, такий процес також вважається коротким замиканням.

У практиці експлуатації систем електропостачання (СЕР) основною причиною виникнення перехідних процесів найчастіше є саме короткі замикання, які суттєво порушують штатний режим роботи електрообладнання. Тому на етапі проектування СЕР їх враховують як типові збурення, що провокують перехідні електромагнітні процеси.

Метою аналізу перехідних процесів є виявлення специфіки роботи системи в умовах змін, здатність прогнозувати розвиток подій та забезпечувати керованість процесами. Це дозволяє приймати технічно обґрунтовані рішення при проектуванні та експлуатації електричних мереж. Зокрема, результати розрахунків перехідних процесів використовують для налаштування систем автоматичного керування аварійними ситуаціями, аналізу електромеханічних характеристик,

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						54
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення умов стійкої роботи навантаження та забезпечення безперебійної роботи підприємств.

Важливим є також врахування впливу перехідних процесів на якість електропостачання: необхідно мінімізувати їхню тривалість, запобігати повторному виникненню збурень та забезпечувати стабілізацію режиму після їх завершення. Для аналітичного вивчення таких процесів застосовують метод координатних перетворень, комплексні числа, метод симетричних складових, а також схеми заміщення, які відповідають певному режиму роботи мережі. Поширеним є й графоаналітичний підхід, а для складних розрахунків – комп'ютерне моделювання.

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) необхідний для:

- оцінки можливостей функціонування споживачів у разі аварій;
- підбору апаратури з урахуванням теплової та електродинамічної стійкості;
- проектування та налаштування релейного захисту й автоматичних пристроїв;
- визначення впливу струмів КЗ на лінії зв'язку;
- вибору захисного обладнання, зокрема розрядників;
- аналізу причин аварій у електрообладнанні.

У цьому розділі розглядаються методи визначення параметрів схем заміщення, еквівалентування мережі, обчислення надперехідного струму трифазного КЗ, розподілу струмів короткого замикання, визначення перенапруг, застосування типових кривих та розрахунок несиметричних КЗ.

На графічному зображенні (рис. 2.11) представлено розрахункову схему – однолінійну спрощену діаграму електроустановки з позначенням усіх елементів, включаючи джерела живлення (електростанції, генератори), які живлять точку КЗ, а також мережеві компоненти (лінії електропередач, трансформатори, реактори), що з'єднують ці джерела з місцем аварії. У схемі вказуються всі параметри, необхідні для виконання розрахунків.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						55
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

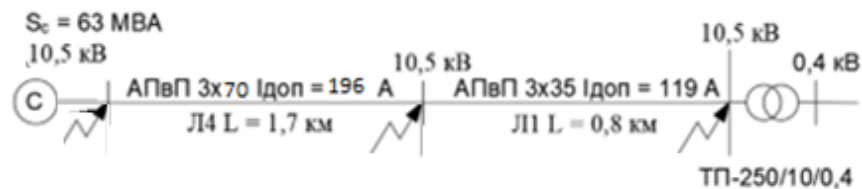


Рисунок 2.11– Розрахункова схема

Електропостачання забезпечується від електроенергетичної системи. З шин підстанції електроенергія передається по кабельним лініям (Л4 та Л1) до понижуючого трансформатора з напругою 10/0,4 кВ.

Таблиця 2.13 містить параметри схеми

Таблиця 2.13 – Параметри елементів схеми

Позначення на РС	Кабельні та повітряна лінії марки АПВП				
	Марка та переріз кабелю	L, км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$I_{доп}$, А
Л4	АПВП 3x35	0,4	0,868	0,095	119
Л1	АПВП 3x35	0,5	0,868	0,095	119

У цьому розділі розрахунки виконуються на основі даних, отриманих із довідкових матеріалів. Після побудови розрахункової схеми її спрощують, подаючи кожен елемент у вигляді схеми заміщення з урахуванням індуктивних опорів, що формують спрощену загальну схему заміщення. Далі здійснюється розрахунок параметрів окремих елементів цієї схеми.

Оскільки визначення струмів короткого замикання (КЗ) проводиться для кількох точок електричної мережі, створюється єдина схема заміщення (див. рис. 2.12). Параметри її елементів розраховуються один раз із використанням загальних базисних умов, що дозволяє ефективно застосовувати ці дані для подальших розрахунків КЗ у різних вузлах мережі.

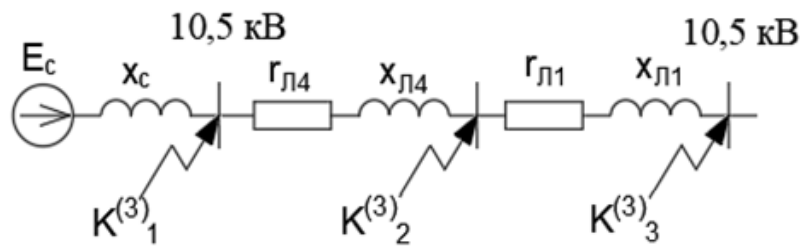


Рисунок 2.12 – Загальна схема заміщення

2.6.1.2 Розрахунок трифазного короткого замикання

Відповідно до таблиці 2.7.1 визначаємо параметри елементів схеми заміщення.

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ}$$

Енергосистеми:

$$S_c = 4500 \text{ МВА},$$

$$x_c = x_c'' \cdot \frac{U_c^2}{S_c} = 0,25 \cdot \frac{10500^2}{4500000000} = 0,006 \text{ Ом}$$

$$E_c = \frac{U_6}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,06$$

Кабельні лінії КЛ4 та КЛ1:

$$r_{\text{КЛ4}} = r_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,868 \cdot 0,4 = 0,347 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{КЛ4}} = x_{0\text{КЛ4}} \cdot l_{\text{КЛ4}} = 0,095 \cdot 0,4 = 0,038 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{КЛ1}} = r_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,868 \cdot 0,5 = 0,434 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{КЛ1}} = x_{0\text{КЛ1}} \cdot l_{\text{КЛ1}} = 0,095 \cdot 0,4 = 0,0475 \text{ Ом}.$$

На рисунку 2.13 відображено схему заміщення елементів лінії живлення для точка К1 трифазного короткого замикання

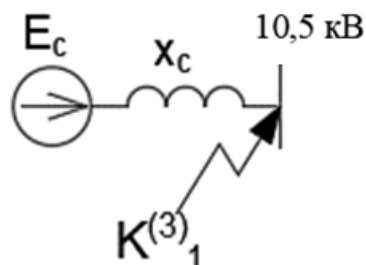


Рисунок 2.13 – Еквівалентна схема заміщення для точки $K_1^{(3)}$

$$r_{\text{рез}} = 0,$$

$$x_{рез} = x_c = 0,006 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = 0,006,$$

$$I_{K1} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = 1010 \text{ кА},$$

На рисунку 2.13 відображено елементи схеми заміщення, через які буде проходити струм короткого замикання у випадку короткого замикання в точці К2.

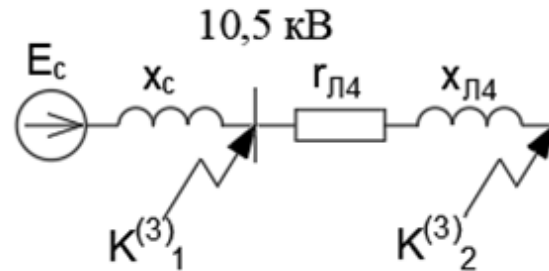


Рисунок 2.14 – еквівалентна схема заміщення для точки К₂⁽³⁾

$$r_{рез} = r_{кл4} = 0,347 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{кл4} = 0,353 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = 0,494 \text{ Ом},$$

$$I_{K32} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = 12,26 \text{ кА},$$

На рисунку 2.15 відображено схему заміщення елементів лінії живлення для точка К3 трифазного короткого замикання.

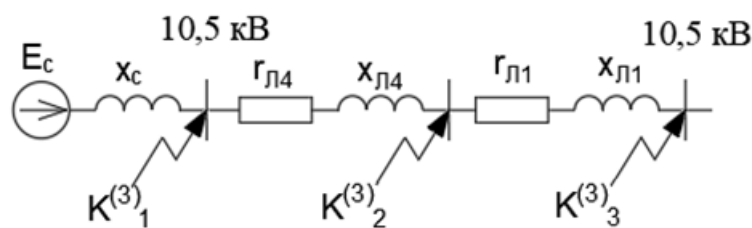


Рисунок 2.15 – Еквівалентна схема заміщення для точки К₃⁽³⁾

$$r_{рез} = r_{кл4} + r_{кл1} = 0,781 \text{ Ом},$$

$$x_{рез} = x_c + x_{кл4} + x_{кл1} = 0,0915 \text{ Ом},$$

$$Z_{рез} = \sqrt{r_{рез}^2 + x_{рез}^2} = 0,786 \text{ Ом},$$

$$I_{K33} = \frac{E_c}{Z_{рез}} = 7,7 \text{ кА},$$

Визначаємо інші електричні характеристики точки $K_3^{(3)}$.

Сталу затухання аперіодичної складової розраховується на заступною формулою

$$T_{акз} = \frac{X_{рез}}{\omega \cdot r_{рез}} = 0,00037 \text{ с},$$

де $\omega = 2\pi \cdot f$ - кутова частота.

Оцінюємо величину ударного коефіцієнта, базуючись на даних про сталу часу згасання аперіодичної складової струму та момент виникнення ударного струму

$$k_{yK3} = 1 + e^{-\frac{t}{T_{акз}}} = 1,04$$

Знаходимо ударне значення струму та максимальне діюче значення повного струму:

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot k_{yK3} \cdot I_{K3} = 10,89 \text{ кА},$$

$$I_{дкз} = I_{K3} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{yK3} - 1)^2} = 7,7 \text{ кА}.$$

де i_{yK3} - ударне значення струму;

$I_{дкз}$ - найбільше діюче значення повного струму.

Обчислюємо величину теплового імпульсу, враховуючи загальну тривалість проходження струму короткого замикання:

$$B_{K3} = I_{K3}^2 \cdot (t_{відкл} + T_{акз}) = 10,69 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де $t_{відкл} = t_z + t_{вимик}$ час початку КЗ до його відключення, с, з врахуванням часу спрацювання захисту та повного часу вимикання вимикача з приводом, с.

Проводимо аналогічний розрахунок для всіх точок КЗ та зводимо результати у таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	$x_{\Sigma i}$	$r_{\Sigma i}$	I_i'' , кА	T_{aki} , с	$k_{уді}$	$i_{уді}$, кА	$I_{ді}$, кА	$B_{кі}$, кА ² ·с
K1	0,006	0	1010	-	-	-	-	-
K2	0,353	0,347	12,26	0,0032	1,04	18,03	12,27	27,5
K3	0,781	0,0915	7,7	0,00037	1	10,89	7,7	10,69

2.6.1.3 Розрахунок однофазного короткого замикання

На рисунку 2.16 відображено схему заміщення елементів однофазного короткого замикання.

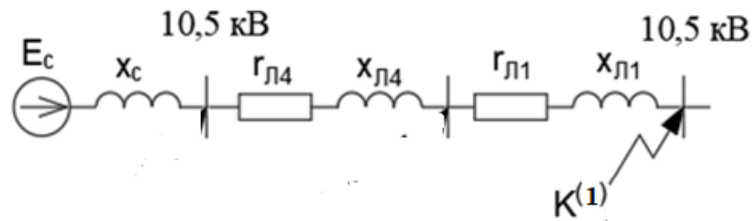


Рисунок 2.16 – Схема однофазного короткого замикання

Пряма схема заміщення елементів відображена на рисунку 2.17

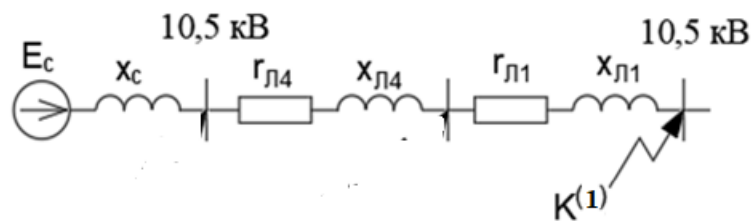


Рисунок 2.17 – Пряма схема заміщення

$$r_{1\text{рез}} = r_{л1} + r_{л4} = 0,781 \text{ Ом},$$

$$x_{1\text{рез}} = x_c + x_{л1} + x_{л4} = 0,0915 \text{ Ом},$$

Пряма схема заміщення елементів відображена на рисунку 2.18

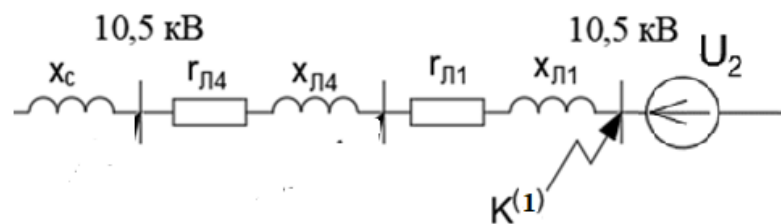


Рисунок 2.18 – Зворотня схема заміщення

$$r_{2\text{рез}} = r_{л1} + r_{л4} = 0,781 \text{ Ом},$$

$$x_{2\text{рез}} = x_{л1} + x_{л4} = 0,0855 \text{ Ом}$$

Пряма схема заміщення елементів відображена на рисунку 2.19

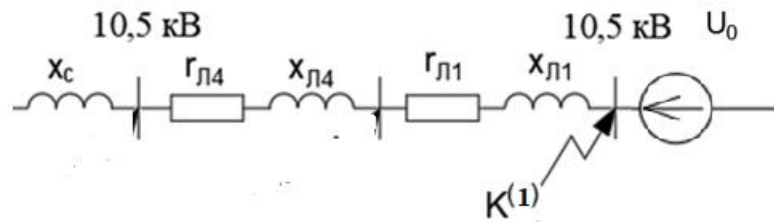


Рисунок 2.19 – Нульова схема заміщення

$$r_{л0} = 3,5 \cdot r_{л1} = 1,5190 \text{ Ом},$$

$$x_{л0} = 3,5 \cdot x_{л1} = 1,662 \text{ Ом},$$

$$I_{кз}^{(1)} = 20 \text{ кА}$$

$$x_{c0} = \frac{3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_c}{I_{кз}^{(1)}} - (x_{c1} + x_{c2}) = 0,214 \text{ Ом},$$

$$r_{орез} = r_{л01} + r_{л04} = 0,781 \text{ Ом},$$

$$x_{орез} = r_{л01} + r_{л04} = 0,0855 \text{ Ом},$$

Тепер знаходимо струм КЗ в точці К⁽¹⁾

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{3 \cdot E_c}{\sqrt{3} \sqrt{(r_{1рез} + r_{2рез} + r_{орез})^2 + (x_{1рез} + x_{2рез} + x_{орез})^2}} = 4,45 \text{ кА}$$

Визначимо постійну часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{ак}^{(1)} = \frac{x_{\Sigma}^{(1)}}{\omega \cdot r_{\Sigma}^{(1)}} = 0,00035 \text{ с},$$

Обчислимо ударний коефіцієнт при однофазному КЗ:

$$k_{уд}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак2}^{(1)}}} = 1,$$

Обчислимо ударний струм при однофазному КЗ:

$$i_{уд}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2}^{(1)} \cdot I_{кз}^{(1)} = 6,29 \text{ кА},$$

Обчислимо найбільше діюче значення повного струму короткого замикання:

$$I_{д}^{(1)} = I_{кз}^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд2}^{(1)} - 1)^2} = 4,45 \text{ кА};$$

Розраховуємо значення теплового імпульсу:

$$B_k^{(1)} = I_{кз}^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак2}^{(1)}) = 3,57,$$

де $t_{відімк}$ – час від початку КЗ до його відімкнення, с.

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с}.$$

$t_3 = 0,1$ – час спрацювання релейного захисту, с;

$t_{\text{вимик}} = 0,08$ – повний час вимикання вимикача з приводом, с.

Результати розрахунків для точки К2 заносимо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Результати розрахунків для точки К1

Точка КЗ	$x_{\Sigma}^{(1)}$	$r_{\Sigma}^{(1)}$	$I_{\text{КЗ}}^{(1)}$, кА	$T_{\text{ак}}^{(1)}$, с	$k_{\text{уд}}^{(1)}$	$i_{\text{уд}}^{(1)}$, кА	$I_{\text{д}}^{(1)}$, кА	$B_{\text{к}}^{(1)}$, кА ² ·с
К ⁽¹⁾	2,343	0.2625	4,45	0,00035	1	6,29	4,45	3,57

2.6.2 Розрахунок струмів короткого замикання в електричній мережі нижче 1 кВ

2.6.2.1 Розрахунок трифазного короткого замикання

Опір елементів збірних шин та їхніх з'єднань відіграє важливу роль у формуванні струмів короткого замикання в електромережах з напругою до 1 кВ. Подібний вплив чинять також трансформатори струму та котушки розмикання в автоматичних вимикачах. Важливим фактором є і опір контактних з'єднань — зокрема, болтових з'єднань шин, перехідного опору в точці виникнення КЗ та контактів у затискачах електроапаратури. Усі елементи короткозамкнутого кола, які мають активну або індуктивну складову опору, враховуються в процесі розрахунку, що виконується в абсолютних фізичних одиницях. Відповідна схема для розрахунків наведена на рисунку 2.20.

Вихідні дані:

Система: струм КЗ $I_{\text{КЗЗ}}^3 = 7,7$ кА,

Приймаємо трансформатор типу ТМ-1000/10/0,4 з такими паспортними даними

$$S_H = 1000 \text{ кВА}, U_{\text{НВ}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{\text{кз}} = 10,8 \text{ кВт}, U_{\text{к}} = 5,5 \%, \Delta I_{\text{хх}} = 1,2 \%, \Delta P_{\text{хх}} = 1,55 \text{ кВт}$$

Шини приєднання трансформатора до щита 0,4 кВ: $l_{\text{ш}} = 5 \text{ м}$, метал – Al, $r_{\text{ш.о}} = 0,1 \text{ Ом / км}$, $x_{\text{ш.о}} = 0,13 \text{ Ом / км}$, $S = 80 \times 8 \text{ мм}^2$.

QF; тип АВМ 12П, $I_{\text{ном}} = 1200 \text{ А}$, QF_1 ; тип ВА-51-35М2, $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$.

Трансформатор струму ТС: $r_{\text{ТС}} = 0,2 \text{ мОм}$, $x_{\text{ТС}} = 0,05 \text{ мОм}$.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Рисунок 2.21 – Схема заміщення

Еквалентуємо СЗ:

$$x_1 = x_c + x_T + x_{кв.SF} + x_{ш} + x_{TC} = 1,14 + 8,62 + 0,07 + 0,65 + 0,05 = 10,53 \text{ МОм},$$

$$r_1 = r_{ш} + 4 \cdot r_{б.к} + r_{кв.SF} + r_T + r_{КСF} + r_{TC} = 0,5 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 1,728 + 0,14 + 0,2 = 2,71 \text{ МОм},$$

Виконаємо розрахунок надперехідного значення струму трифазного КЗ:

$$I_4^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{HH} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_1^2 + r_1^2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,53^2 + 2,71^2}} = 22,3 \text{ кА},$$

Розрахунок постійної часу згасання аперіодичного струму трифазного КЗ:

$$T_{ак4}^{(3)} = \frac{x_1}{\omega \cdot r_1} = \frac{10,53}{314 \cdot 2,71} = 0,012 \text{ с},$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$W_{к4}^{(3)} = I_4^{(3)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак4}^{(3)}),$$

де $t_{відімк}$ - час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик} = 0,1 + 0,08 = 0,18 \text{ с},$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{вимик} = 0,08$ - час вимкнення вимикача, с;

$$W_{к4}^{(3)} = 22,3^2 \cdot (0,18 + 0,0012) = 90,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

Розрахунок ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(3)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак6}^{(3)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0012}} = 1,00024 \text{ с},$$

$$i_{уд4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4}^{(3)} \cdot I_4^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00024 \cdot 22,3 = 31,54 \text{ кА},$$

Розрахунок найбільшого діючого значення струму короткого замикання:

$$I_{y4}^{(3)} = I_4^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд4}^{(3)} - 1)^2},$$

$$I_{y4}^{(3)} = 22,3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,00024 - 1)^2} = 22,3 \text{ кА},$$

2.6.2.2 Розрахунок струму однофазного КЗ

Проведемо розрахунок струму однофазного КЗ в $K_4^{(1)}$.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						64
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема заміщення прямої послідовності відображена на рисунку 2.22

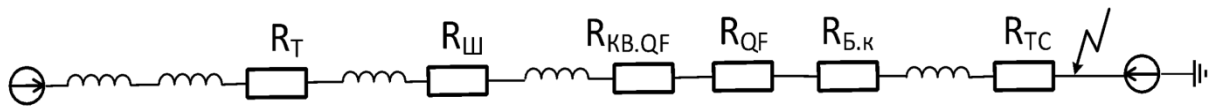


Рисунок 2.22 – СЗ прямої послідовності

$$x_1 = x_c + x_T + x_{КВ.SF} + x_{Ш} + x_{ТС},$$

$$x_1 = 1,14 + 8,62 + 0,07 + 0,65 + 0,05 = 10,53 \text{ мОм},$$

$$r_1 = r_{Ш} + 4 \cdot r_{Б.К} + r_{КВ.SF} + r_T + r_{КSF} + r_{ТС},$$

$$r_1 = 0,5 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 1,728 + 0,14 + 0,2 = 2,71 \text{ мОм}$$

Схема заміщення нульової послідовності відображена на рисунку 2.23:

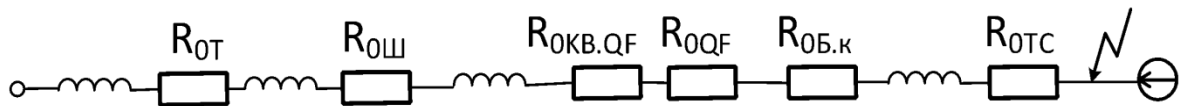


Рисунок 2.23 – Схема заміщення нульової послідовності

Визначимо опори нульової послідовності шин:

$$x_{Ш.0} = 8,5 \cdot x_{Ш} = 8,5 \cdot 0,65 = 5,53 \text{ мОм}$$

$$r_{Ш.0} = 10 \cdot r_{Ш} = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ мОм},$$

Розрахуємо значення еквівалентних активних та індуктивних опорів нульової послідовності для $K_4^{(1)}$:

$$x_0 = x_{T0} + x_{КВ.QF0} + x_{Ш0} + x_{ТС0},$$

$$x_0 = 8,62 + 0,07 + 5,53 + 0,05 = 14,27 \text{ мОм},$$

$$r_0 = r_{T0} + 4 \cdot r_{Б.К0} + r_{К.QF0} + r_{КВ.QF0} + r_{Ш.0} + r_{ТС0},$$

$$r_0 = 1,728 + 4 \cdot 0,003 + 0,13 + 0,14 + 5 + 0,2 = 7,21 \text{ мОм},$$

Знаходимо діюче значення періодичної складової струму однофазного КЗ:

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot U_{HH}) \cdot 10^3 \cdot m^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_1 + r_0)^2 + (2 \cdot x_1 + x_0)^2}}$$

де x_0 та r_0 - індуктивний та активний опір схеми заміщення нульової послідовності, $m = 3$.

$$I_4^{(1)} = \frac{(1,05 \cdot 0,4) \cdot 10^3 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 2,71 + 7,21)^2 + (2 \cdot 10,53 + 14,27)^2}} = 19,38 \text{ кА},$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Знаходимо значення постійної часу згасання аперіодичного струму короткого замикання:

$$T_{ак4}^{(1)} = \frac{2 \cdot x_1 + x_0}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (2 \cdot r_1 + r_0)} = \frac{2 \cdot 10,53 + 14,27}{314 \cdot (2 \cdot 2,71 + 7,21)} = 0,0089 \text{ с,}$$

Розрахунок значення ударного коефіцієнту:

$$k_{уд4}^{(1)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{ак6}^{(1)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0089}} = 1,325 \text{ с,}$$

Розрахунок значення ударного струму для $K_6^{(1)}$:

$$i_{уд4}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4}^{(1)} \cdot I_4^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,325 \cdot 19,38 = 36,3 \text{ кА,}$$

Розрахунок найбільшого значення повторного струму КЗ:

$$i_{y4}^{(1)} = I_4^{(1)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_{уд4}^{(1)} - 1)^2},$$

$$I_{y4}^{(1)} = 19,38 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,325 - 1)^2} = 21,33 \text{ кА,}$$

Розрахунок теплового імпульсу:

$$B_{к4}^{(1)} = i_4^{(1)2} \cdot (t_{відімк} + T_{ак6}^{(1)}),$$

де $t_{відімк}$ -час від початку КЗ до вимкнення, с:

$$t_{відімк} = t_3 + t_{вимик},$$

$t_3 = 0,1$ - релейний захист – час спрацювання, с;

$t_{вимик} = 0,08$ -час вимкнення вимикача, с;

$$B_{к4}^{(1)} = 19,38^2 \cdot (0,18 + 0,0089) = 70,94 \text{ кА}^2 \cdot \text{с,}$$

2.6.2.3 Перевірка вибраних комутаційних апаратів і провідників та

ВИСНОВКИ

Дані комутаційного апарату та умови перевірки занесені в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Перевірка комутаційних апаратів 0,4 кВ

Напруга	Вибраний елемент	Параметри	Умови перевірки	Розрахункові дані	Каталожні дані
0,4 кВ	ЕВ2 630/3Е 630А 3р	Струм динамічної стійкості	$i_{уд} \leq i_{max}$ $I'' \leq I_{вимик}$	31,54 22,3	50
		Тепловий імпульс	$B_k \leq I_{т.с}^2 t_{т.с}$	90,01	1200

З аналізу таблиці 2.16 видно, що обраний апарат повністю відповідає заданим вимогам і придатний для використання в даних умовах. У рамках проєкту виконано розрахунок струмів короткого замикання як для однофазного, так і для трифазного випадків, а також здійснено перевірку працездатності комутаційної апаратури.

2.7 Релейний захист та автоматика

Розрахунок параметрів максимального струмового захисту.

Захист від надструмів, селективність якого досягається шляхом правильного вибору часу спрацювання, називається максимальним струмовим захистом. Цей тип захисту може функціонувати з фіксованою часовою затримкою, що не залежить від рівня струму в зоні дії. У разі пошкодження в будь-якому місці контрольованої ділянки, захист активується після заздальгідь заданого інтервалу часу.

Максимальний струмовий захист належить до пристроїв із часовою витримкою. Як пусковий механізм найчастіше застосовують реле максимального струму, яке працює у зв'язці з реле часу або індукційним реле.

Під час вибору уставки струму спрацювання головним чинником є запобігання помилковому відключенню, зокрема в разі короткочасних перевантажень, що можуть виникати після аварійних ситуацій. Розрахунок порогу спрацювання здійснюється з урахуванням особливостей навантаження та умов експлуатації конкретної електроустановки:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n k_{спз}}{k_n} I_{р макс} \quad (2.43)$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 57,8 = 216,75 \text{ А,}$$

де k_n - коефіцієнт надійності, $k_t = 1,1, \dots, 1,5$;

$k_{спз}$ - коефіцієнт самозапуску двигунів, $k_{спз} = 2, \dots, 3$;

k_n - коефіцієнт повернення, захисту, для електромагнітних та індукційних реле приймають $k_n = 0,8$;

$I_{р макс}$ - максимальний розрахунковий струм мережі, що захищається.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						67
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{p \text{ макс}} = I_{p \text{ макс ТП1}} = \frac{S}{1,73 \cdot U}$$

S - номінальна потужність трансформатора ТП-1 ТМ1000/10/0,4

U - номінальна напруга обмотки високої напруги трансформатора ТП-1.

$$I_{p \text{ макс}} = \frac{1000}{1,73 \cdot 10} = 57,8 \text{ А,}$$

З порахованого струму (57,8 А) вибираємо трансформатор струму ТОЛУ 10 100/5 з параметрами: номінальна напруга - 10 кВ, номінальний первинний струм – 10 А, номінальний вторинний струм – 5 А, номінальний коефіцієнт трансформації $K_I = 10$, клас точності для релейного захисту 10P і номінальне вторинне навантаження 5 ВА.

Струму спрацювання реле I_p визначається

$$I_p = \frac{k_{CX} I_{C.3}}{K_I} \quad (2.44)$$

$$I_p = \frac{1 \cdot 216,75}{10} = 21,675$$

де k_c - коефіцієнт схеми;

K_I - коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Коефіцієнт чутливості максимального струмового захисту визначається як відношення:

$$K_Y = \frac{I_{K.3. \text{мін}}^{(2)}}{I_{C.3.}} \quad (2.45)$$

де $I_{K.3. \text{мін}}^{(2)}$ - мінімальний струм КЗ при ушкодженні на кінці зони, що захищається (КЗ)

$$I_{K.3. \text{мін}}^{(2)} = 0,867 * I_{K.3.}^{(3)} = 0,867 * 22,3 = 19,33 \text{ кА}$$

$$I_{K.3.}^{(3)} = 22,3, \text{ з розділу 2.7.2.1}$$

Тоді коефіцієнт чутливості максимального струмового захисту буде

$$K_Y = \frac{I_{K.3. \text{мін}}^{(2)}}{I_{C.3.}} = \frac{19330}{216,75} = 89,1 > 1,5.$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						68
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

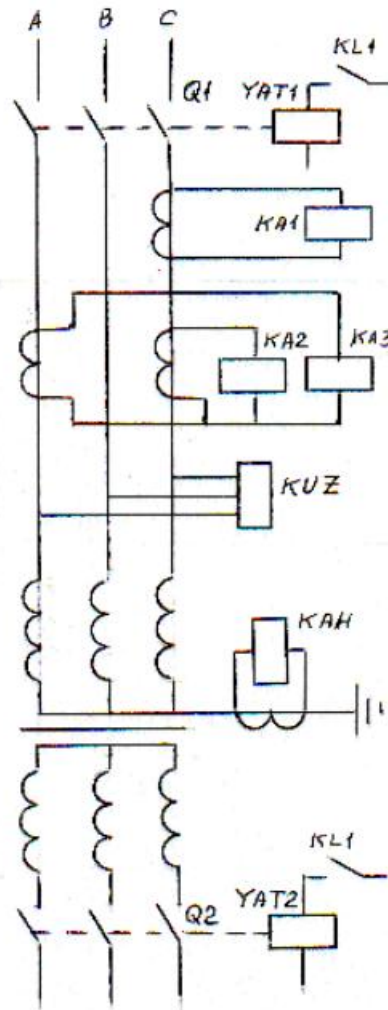


Рисунок 2.24 - Схема максимального струмового захисту

2.8 Організація обліку електричної енергії на об'єкті проєктування

Згідно п. 5.2.1 гл. 5.2 р. в Кодексу комерційного обліку електричної енергії[9], затвердженого постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) зі змінами, електроустановки споживачів та інших учасників ринку мають бути забезпечені повіреними, введеними в експлуатацію та прийнятими до розрахунків (введеними в облік) вузлами обліку, а також (за потреби) засобами вимірювальної техніки для контролю якості електричної енергії, а саме:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						69
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Для розрахункового обліку електричної енергії мають використовуватися засоби обліку, які пройшли повірку або державну метрологічну атестацію.

2. Розрахункові лічильники електричної енергії повинні бути встановлені на межі балансової належності відповідно до п.1.5.11 Правил улаштування електроустановок (ПУЕ)[10].

3. Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) повинні встановлюватися відповідно до вимог гл. 5.2 р. в ККОЕЕ, а саме: постачальник послуг комерційного обліку повинен ввести в експлуатацію наданий споживачем ЗВТ з підтвердженням наявної повірки та його відповідності вимогам цього Кодексу. Послуги з облаштування електроустановки новим вузлом вимірювання або його реконструкції надаються споживачу постачальником послуг комерційного обліку (далі – ППКО) відповідно до договору та цього Кодексу. Надання споживачу замовлених ним послуг з облаштування або реконструкції вузла обліку електричної енергії здійснюється за рахунок споживача. Встановлення лічильників та підготовка під пломбування обладнання повинно бути виконано відповідно до вимог п.1.5.26, п.1.5.29, п.1.5.31 ПУЕ[10].

4. Дозволено застосовувати трансформатори струму із завищеним коефіцієнтом трансформації (за умов електродинамічної та термічної стійкості або захисту шин), якщо:

– у разі застосування трансформаторів струму класу точності 0,5 S за максимального навантаження в точці обліку струм у вторинній обмотці трансформатора струму становитиме не менше ніж 40 % номінального струму лічильника, а за мінімального навантаження – не менше ніж 5 %;

– у разі застосування трансформаторів струму класу точності 0,2 S за максимального навантаження в точці обліку струм у вторинній обмотці трансформатора струму становитиме не менше ніж 20 % номінального струму лічильника, а за мінімального навантаження – не менше ніж 1 % (п. 1.5.17 ПУЕ)[10]. Коефіцієнт трансформації ТС визначити проєктом.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						70
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Приєднання струмових ланцюгів лічильників до вторинних ланцюгів трансформаторів струму необхідно виконати окремо від ланцюгів захисту (п.1.5.18 ПУЕ)[10].

6. Навантаження вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму не повинне перевищувати номінальних значень. Перетин та довжина дротів та кабелів в ланцюгах напруги розрахункових лічильників повинні обиратися такими, щоб втрати напруги в цих колах не перевищували 0,25% номінальної напруги трансформатора напруги (п.1.5.19 ПУЕ)[10].

7. Трансформатори напруги (ТН) мають бути розраховані на робочу напругу приєднання, та первинна обмотка підключена безпосередньо з боку вищої напруги приєднання.

8. Провести розрахунок завантаження ТН, при необхідності встановити окремий ТН на потреби розрахункового обліку та релейного захисту по кожній секції шин.

9. Трансформатори напруги, які використовуються для обліку електричної енергії та захищені з боку вищої напруги запобіжниками має бути обладнані контролем цілісності запобіжників, який видає сигнал (світловий, звуковий, телемеханіки) (п.1.5.24 ПУЕ)[10].

10. В ланцюгах обліку необхідно встановити випробувальну колодку, яка має забезпечувати закорочення вторинних кіл трансформаторів струму, відключення струмових ланцюгів лічильника та ланцюгів напруги в кожній фазі лічильників при проведенні їх заміни або перевірки, а також включення зразкового лічильника без відключення дротів і кабелів. Конструкція випробувальної колодки повинна забезпечувати можливість пломбування та відсутність доступу до вторинних ланцюгів розрахункових лічильників (п. 1.5.23 ПУЕ)[10].

2.9 Економічні характеристики проєкту

Плата за надання послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії визначається оператором системи споживачу відповідно до «Методики

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						71
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії», затвердженої Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 06.02.2018 № 87, та зареєстрованої в Мінюсті України 02.04.2018 р. за № 392/318-44.

Розрахунки за перетікання реактивної електроенергії здійснюються за об'єктами споживача, дозволена потужність яких становить 16 кВт і більше.

Оплата послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії здійснюється споживачем за звітний розрахунковий період у разі, якщо споживання та генерація реактивної електричної енергії за об'єктом складає 1000 квар·год і більше (за відсутності відповідних засобів обліку реактивної електричної енергії ці величини визначаються розрахунковим шляхом).

Розрахунковим вважається період з 00 годин першого числа до 24-00 години останнього числа поточного місяця. Визначення плати за перетікання реактивної електроенергії виконується за кожним об'єктом споживача, виходячи із обсягів перетікань реактивної електричної енергії, що обраховані у точках розрахункового обліку споживача.

Розрахунки за надання послуг із компенсації реактивної електричної енергії здійснюються споживачем грошовими коштами на рахунок оператора системи, вказаний в п. 9 Договору КПРЕЕ.

Споживач не пізніше 14-00 години третього робочого дня місяця, наступного за розрахунковим, направляє свого представника до оператора системи для подання підписаного уповноваженою особою споживача та скріпленого його печаткою:

Оплата послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії виконується споживачем на підставі рахунка, виставленого оператором системи. Сума платежу визначається виходячи із обсягів фактично спожитої та генерованої споживачем реактивної електричної енергії, відповідно до даних наданих споживачем «Акта про обсяги споживання реактивної електричної енергії за розрахунковий період», «Акта про обсяги генерації реактивної електричної енергії

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						72
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за розрахунковий період» та умов цього додатку з урахуванням сум платежів, що надійшли від споживача.

Плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії визначається трьома складовими величинами:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 - \Pi_3 \quad (2,46)$$

де:

Π_1 – основна плата за перетікання реактивної електроенергії, грн;

Π_2 – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності (КРП);

Π_3 – знижка плати при залученні споживача до регулювання балансу реактивної потужності (електроенергії), грн.

Основна плата за перетікання реактивної електроенергії визначається за формулою:

$$\Pi_1 = \Pi_c + \Pi_r \quad (2.47)$$

де:

Π_c - плата за споживання реактивної електроенергії, грн;

Π_r - плата за генерацію реактивної електроенергії, грн.

Плата за споживання реактивної електроенергії визначається за формулою:

$$\Pi_c = \sum_{i=1}^n (W_{Q_{сп}} (+) * D_i) * T \quad (\text{грн.}), \quad (2.48)$$

у разі обліку електричної енергії за зонами доби за формулою:

$$\Pi_c = \sum_1^n \sum_{i=1}^v (W_{Q_{сп}} (+) * D_i) * T \quad (\text{грн.}) \quad (2.49)$$

де:

n – число вхідних точок розрахункового обліку реактивної електроенергії;

i – індекси вхідних точок розрахункового обліку реактивної електроенергії;

v – число тарифних зон;

$W_{Q_{сп}}$ – споживання реактивної електроенергії в точці обліку протягом розрахункового періоду, квар · год;

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						73
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$W_{Q_{спі}}$ – споживання реактивної електроенергії в точці обліку в і-й зоні розрахункового періоду, квар·год;

D_i – відповідно економічний еквівалент реактивної потужності (ЕЕРП) у вхідних точках обліку, кВт/квар;

T – прогнозована середня закупівельна ціна на активну електричну енергію, на розрахунковий місяць, грн./кВт·год [11].

Розрахуємо плату за реактивну енергію:

$$K_{реакт} = (A_q - A_{допуст}) \cdot T_{реакт} \quad (2.50)$$

де A_q - обсяг спожитої реактивної електроенергії, кВАр·год;

$A_{допуст}$ - обсяг допустимої реактивної електроенергії, кВАр·год (розраховується через $\tan \varphi = 0,4$ або $\cos \varphi = 0,93$);

$T_{реакт}$ – тариф за реактивну електроенергію, $T_{реакт} = 0,25$ грн/квар·год.

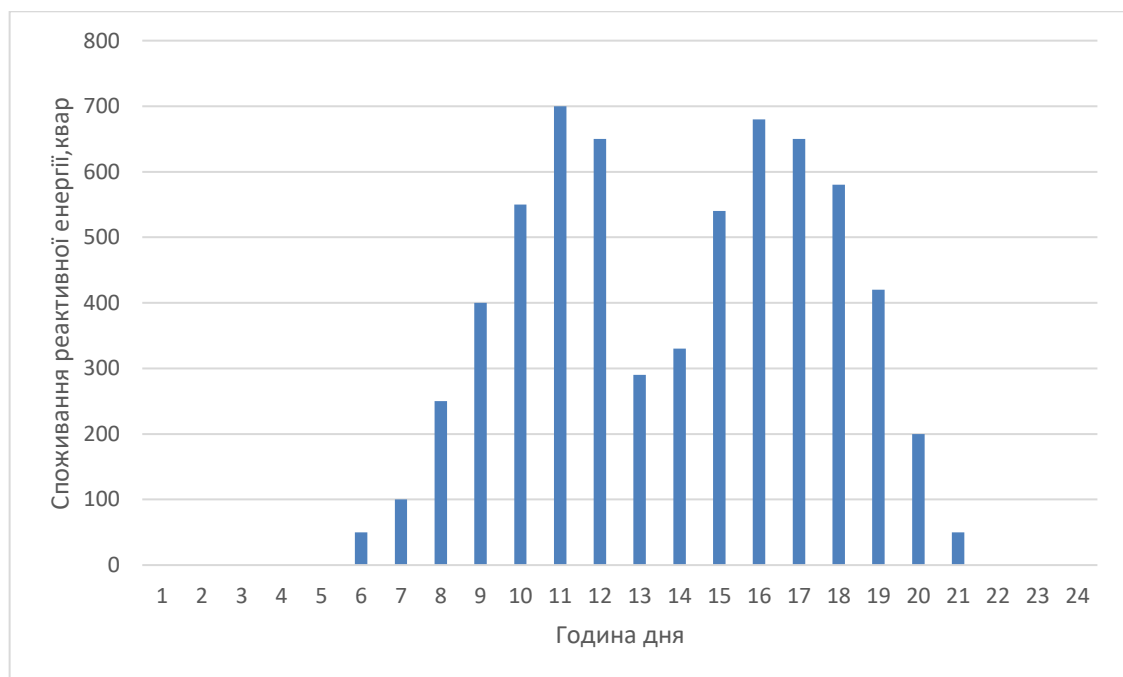


Рисунок 2.25 - Графік споживання реактивної в ливарному цеху енергії за день

З графіка порахуємо середній показник споживання реактиної енергії за день. Приймаємо, що підприємство працює 4000 годин в рік. 2 зміни по 8 годин, 5 днів.

Для визначення втрат реактивної електроенергії, розраховуємо

$$A_q = (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{24}) \cdot 4000, \quad (2.50)$$

де A_q – річні втрати реактивної електроенергії, квар·год/рік;

Q_i – реактивна потужність втрат за відповідну годину добу, квар.

Приймаємо, що підприємство працює 4000 годин в рік. 2 зміни по 8 годин, 5 днів.

Щоб порахувати допустиме споживання реактивної енергії, знайдемо середнє активне споживання за день до компенсації.

$$P_{\text{серед}} = \frac{Q_{\text{серед}}}{\text{tg}\varphi}, \quad (2.51)$$

$\text{tg}\varphi_2 = 1.078$ – коефіцієнт навантаження після компенсації

$$P_{\text{серед}} = \frac{270}{1.078} = 250 \text{ кВт},$$

$$A_{\text{допуст}} = 250 \cdot 0.4 = 100 \text{ квар},$$

Кількість реактивної енергії за яку треба сплатити:

$$A_q = (270 - 100) \cdot 4000 = 680000 \text{ квар}\cdot\text{год},$$

Для визначення збитків через втрати реактивної електроенергії, розраховуємо

$$K_{\text{реакт}} = 680000 \cdot 0.25 = 170000 \text{ грн},$$

Де $\Gamma_{\text{реакт}}$ – вартість річних збитків за втрати реактивної електроенергії, грн/рік;

$\Gamma_{\text{реакт}}$ – тариф за реактивну електроенергію, $\Gamma_{\text{реакт}} = 0.25$ грн/квар·год.

Отже підприємство втрачає кожен рік по 170000 грн за сплату споживання реактивної енергії.

Розрухуємо економію при зменшенні втрат в лініях 10 кВ, від яких живиться ТП1:

За рахунок встановлення конденсаторних батарей, на лініях Л1.1 та Л2.1 було зменшено втрати активної потужності на 1,1 кВт та 1.5 кВт.

Розрахуємо скомпенсовані втрати активної потужності:

$$E = (1.1 + 1.5) \cdot 4000 \text{ год} = 11400 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

При тарифі 6 грн/кВт·год

$$11400 \cdot 6.5 = 74100 \text{ грн/рік}$$

6,5 - тариф за електроенергію.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						75
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже підприємство заощаджує 74100 грн/рік при встановленні конденсаторних установок, на втратах активної потужності в лініях.

Отже без встановлення компенсаційних установок, підприємство мусарно втрачає (74100+170000=244100 грн/рік)

Порахуємо термін окупності Термін окупності:

$$246800 / 244100 = 1,011 \text{ роки}$$

$$238900 / 244100 = 0,97 \text{ роки}$$

Таблиця 2.17- Економічні показники при встановленні установки компенсації

	Тип компенсації	Кількість установок	Загальна вартість (грн)	Очікувана економія, грн/рік	Окупність (роки)
1	Централізована	2 шт по 123400 грн	246800	244100	1
2	Комбінована	2 шт по 123400 грн	246800	244100	1
3	Групова	1 шт 400 квар + 2 шт по 100 квар	238900	244100	1

Висновок до розділу

У цьому розділі проведено детальний аналіз навантаження для споживачів як побутового, так і промислового призначення. Розраховано ключові характеристики системи електропостачання, зокрема номінальні потужності трансформаторів та площі перерізу кабелів як високовольтних, так і низьковольтних ліній. Виконано обчислення струмів короткого замикання для напруг до 1 кВ і вище, а також підбрано відповідні вимикачі для обох рівнів напруги. Окремо розглянуто економічний аспект підключення підприємства до електромереж. Усі розрахункові дії здійснено згідно з вимогами чинних стандартів і нормативно-технічної документації

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						76
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У ЛИВАРНОМУ ЦЕХУ

3.1 Мета компенсації реактивної потужності в ливарному цеху.

Компенсація реактивної потужності є одним з найважливіших етапів оптимізації електропостачання промислових підприємств, зокрема ливарних цехів, де присутні значні постійні індуктивні навантаження. Основна мета компенсації полягає у зменшенні перетоків реактивної енергії, підвищенні коефіцієнта потужності, зниженні струмів у мережі та втрат потужності, а також у зменшенні навантаження на трансформатори та мережеві елементи.

Існує кілька основних способів компенсації реактивної потужності, кожен з яких має свої особливості, переваги й недоліки.

Індивідуальна компенсація передбачає підключення конденсаторних установок безпосередньо до виводів конкретних електроприймачів. Такий підхід дозволяє найефективніше знизити втрати електроенергії та повністю розвантажити мережу від реактивної складової у межах конкретного обладнання. Проте цей метод має й істотний недолік — обмежене використання потужності конденсаторів. Після зупинки електроприймача компенсуюча установка автоматично також вимикається, навіть якщо загальна потреба в компенсації в мережі зберігається.

Групова компенсація реалізується шляхом підключення конденсаторних батарей до розподільчих пунктів. Це дає змогу досягнути вищого рівня використання встановленої потужності компенсуючих пристроїв, оскільки вони обслуговують одразу групу споживачів. Проте недоліком цього способу є те, що ділянка мережі між розподільчим пунктом і навантаженням залишається навантаженою реактивною потужністю.

Централізована компенсація передбачає підключення конденсаторних установок до збірних шин трансформаторної підстанції на рівні 0,4 або 6–10 кВ. У цьому випадку досягається найбільш повне використання встановленої потужності

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						77
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компенсуючого обладнання. Проте недоліком є те, що вся електромережа нижчого рівня — від підстанції до споживача — залишається незвільненою від реактивного навантаження. Окрім цього, в умовах України централізована компенсація часто є економічно недоцільною для більшості промислових підприємств через те, що тарифні коефіцієнти, пов'язані з надлишковим споживанням реактивної енергії, застосовуються лише до абонентів, приєднаних до магістральних мереж Єдиної енергосистеми.

Комбінована компенсація є найбільш гнучким і ефективним варіантом. Вона полягає у поєднанні централізованого або групового підходу з індивідуальним. Такий підхід дозволяє оптимально розмістити компенсуючі пристрої з урахуванням специфіки навантажень, їх циклічності, потужності та режимів роботи. Завдання правильного вибору схеми компенсації в такому випадку розглядається як оптимізаційна задача, мета якої — забезпечити максимальний економічний ефект при збереженні стабільності та надійності роботи електромережі й обладнання.[12]

У процесі розробки системи компенсації реактивної потужності для ливарного цеху необхідно також враховувати негативні наслідки збільшених перетоків реактивної енергії. При зниженні коефіцієнта потужності, наприклад, до значення $\cos \varphi = 0,68$ ($\operatorname{tg} \varphi = 1,078$), у порівнянні з ідеальним значенням $\cos \varphi = 1,0$, повний струм у лінії збільшується приблизно у 1,41 раза.

Це призводить до:

1. Зменшення пропускної здатності електричних мереж по струму, зростання теплових втрат і необхідності використання кабелів з більшим перерізом або навіть прокладки нових ліній електропередача. У деяких випадках також виникає потреба у заміні трансформаторів на потужніші.

2. Зростання активних та реактивних втрат у системі (ΔP і ΔQ), що подвоює загальні втрати електроенергії, підвищує експлуатаційні витрати, збільшує споживання палива та формує додатковий тарифний тиск на підприємство.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						78
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Зниження напруги в електромережі, що спричиняє збільшення ковзання асинхронних двигунів, зменшення освітленості на робочих місцях та, відповідно, зниження продуктивності праці. Додатково це впливає на стійкість роботи як локального вузла навантаження, так і енергосистеми загалом — через ризик виникнення так званої "напругової лавини".

3.2 Реактивна потужність, яку треба компенсувати.

Визначимо значення $\cos \varphi$ для ливарного цеху.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{653,5}{959,5} = 0,68$$

де

P- активна потужність споживаєма в цеху.

Q- реактивна потужність споживаєма в цеху.

Для розрахунку визначимо значення $\operatorname{tg}\varphi_1$ і $\operatorname{tg}\varphi_2$.

Після проведення компенсації реактивної потужності навантаження коефіцієнт потужності повинен бути $\cos \varphi_2 \geq 0,95$. Отже

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2}}{\cos \varphi_2}$$
$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,329.$$

Реальне значення коефіцієнту потужності становить $\cos \varphi = 0,68$, тому

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1}}{\cos \varphi_1}$$
$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\sqrt{1 - 0,68^2}}{0,68} = 1,078.$$

Визначаємо реактивну потужність конденсаторних батарей

$$Q_{ку} = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

де Q – значення шуканої реактивної потужності батареї конденсаторів (квар);

P – значення активної потужності силової установки (кВт);

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						79
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\operatorname{tg}\varphi_1$ – значення кута зсуву фаз до компенсації;

$\operatorname{tg}\varphi_2$ – значення кута зсуву фаз після компенсації.

$$Q_{\text{кy}} = 653,5 \cdot (1,078 - 0,329) = 484, \text{ кВАр}$$

Визначаємо потужність необхідну, для забезпечення максимального значення коефіцієнта потужності $\cos\varphi=1$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2}}{\cos \varphi_2}.$$
$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sqrt{1 - 1^2}}{1} = 0.$$

Визначаємо реактивну потужність конденсаторних батареї

$$Q_{\text{кy}} = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$
$$Q_{\text{кy}} = 653,5 \cdot (1,078 - 0) = 704,5 \text{ кВАр}$$

Отже, ми визнали, що нам потрібні компенсувати 484,9 квар реактивної потужності, щоб отримати допустимий рівень коефіцієнта потужності $\cos\varphi=0,95$. Аналогічно розрахуємо динамічну зміну реактивної потужності, при зміні коефіцієнта потужності від 0,68 до 1 та занесемо в таблицю 3.1.[13]

Таблиця 3.1-Залежність реактивної потужності від коефіцієнта потужності

	$\cos \varphi$	φ (фазний зсув)	$\operatorname{tg}\varphi$	$Q_{\text{кy}}$
1	0.68	47.16	1.078	0
2	0.75	41.41	0.882	181,7
3	0.8	36.87	0.75	214,4
4	0.85	31.79	0.62	299,3
5	0.9	25.84	0.484	388,2
6	0.95	18.19	0.329	489,47
7	1.0	0.0	0.0	704,5

3.3 Втрати КПД трансформатора ТМ-1000/10

Завантаження реактивною потужністю трансформаторів знижує їхній коефіцієнт корисної дії.

Визначити ККД трансформатора ТМ-1000-/10 при $\cos \varphi = 0,95$ и $\cos \varphi = 0,68$. За паспортними даними втрати холостого ходу даного трансформатора

складають, 10,8 кВт, а короткого замикання - 1,55 кВт. Отже, при коефіцієнт корисної дії $\cos \varphi = 0,95$.

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + P_{xx} + P_{K3}} \cdot 100\% = \frac{950}{950 + 10,8 + 1,55} \cdot 100\% = 98,7\%$$

та при $\cos \varphi = 0,68$

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + P_{xx} + P_{K3}} \cdot 100\% = \frac{680}{680 + 10,8 + 1,55} \cdot 100 = 98,2\%.$$

По результатах розрахунку сформуємо графік залежності ККД трансформатора від коефіцієнта потужності(рис. 3.1)

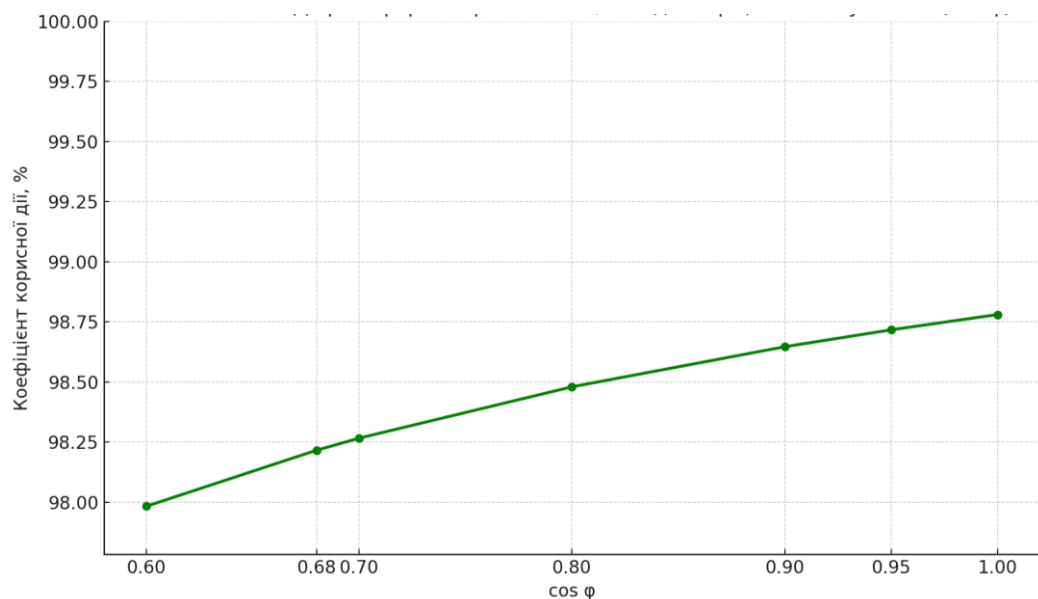


Рис 3.1- Графік залежності ККД трансформатора від коефіцієнта потужності

3.4 Завантаження трансформатора до компенсації

Передача реактивної потужності через лінії та трансформатори знижує ефективність використання електричних мереж, обмежуючи їх здатність передавати активну потужність. У результаті це може унеможливити повне використання номінальної потужності електрообладнання.

Тоді максимальна активна потужність, яку може отримати підприємство.

$$P = S \cdot \cos \varphi = 1000 \cdot 0,68 = 680 \text{ кВт.}$$

Для отримання більшої активної потужності потрібно задіяти другу трансформаторну підстанцію.

У той же час компенсація реактивної потужності із збільшенням до 0,95 забезпечила б використання

$$P = S \cdot \cos \varphi = 1000 \cdot 0,95 = 950 \text{ кВт}$$

По результатах розрахунку сформуємо графік завантаження трансформатора від коефіцієнта потужності(рис. 3.2)

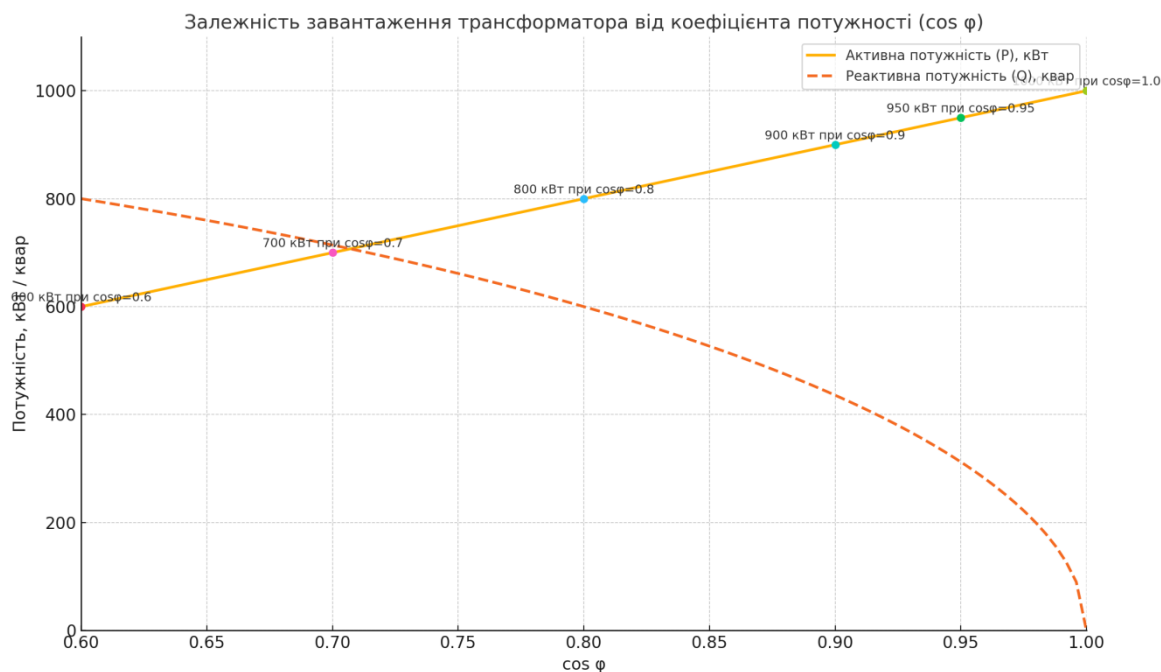


Рис 3.2- Графік залежності завантаження трансформатора від коефіцієнта потужності

3.5 Втрати в лініях при виборі централізованої компенсації по стороні 0,4 кВ.

При виборі централізованої компенсації на шинних виводах ТП, ми розвантажуюмо лінії над трансформатором Л1.1 та Л2.1, які зображені на рис. 3.3. Проведемо розрахунки втрат. При виборі установки компенсації треба врахувати, що підстанції двотрансформаторні. Тому установку та розрахунки будемо проводити окремо на кожний трансформатор. В даному випадку обираємо конденсаторні установки з автоматичним регулюванням ПКРП-0,4-300-12-10-УХ ЛЗ [14], які будуть підключені до збірних шин на стороні 0,4 кВ.

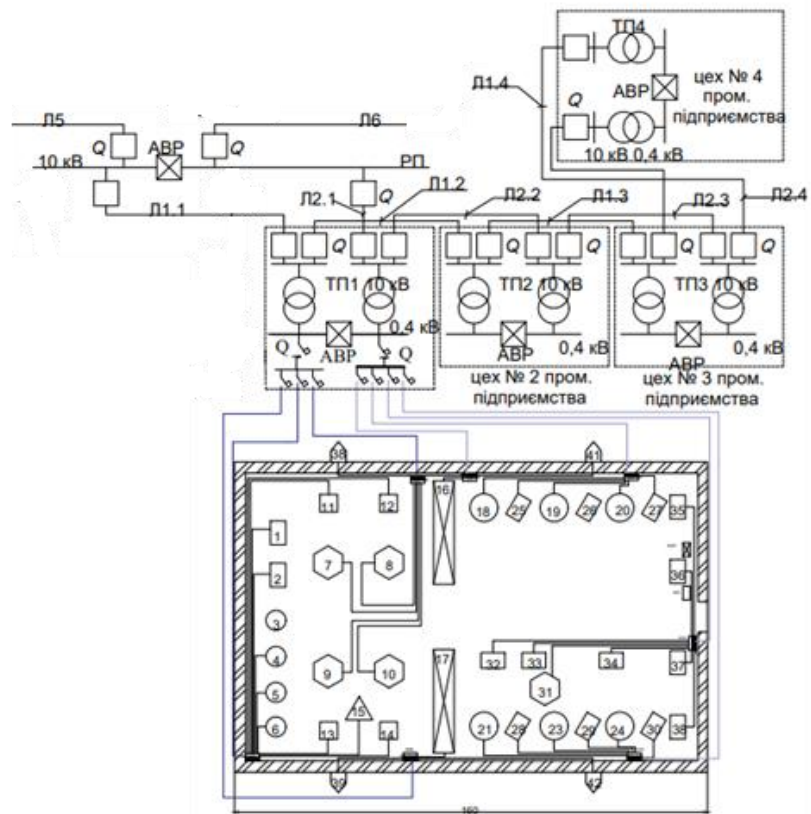


Рис. 3.3 - Схема електропосащення промислових цехів.

Навантаження на першому трансформаторі, згідно таблиці 1.2

$$P_1 = P_{СП1-2} + P_{СП3} + P_{СП5} = 340,2 + 17,6 + 31,8 = 389,6 \text{ кВт.}$$

$$Q_1 = Q_{СП1-2} + Q_{СП3} + Q_{СП5} = 288,6 + 14,1 + 20,9 = 323,6 \text{ квар}$$

Навантаження на другому трансформаторі, відповідно:

$$P_2 = P_{СП4} + P_{СП6} + P_{СП7} = 31,8 + 184 + 90 = 305,8 \text{ кВт.}$$

$$Q_2 = Q_{СП4} + Q_{СП6} + Q_{СП7} = 20,9 + 421,6 + 35,4 = 477,9 \text{ квар.}$$

Проведемо розрахунок втрат для ділянок Л1.1 та Л2.1 :

Від Л1.1 живиться ТП1-4. Навантаження ТП1-ТП4 задано для двох паралельних ліній, тому для розрахунків доцільно розділити навантаження навпіл

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

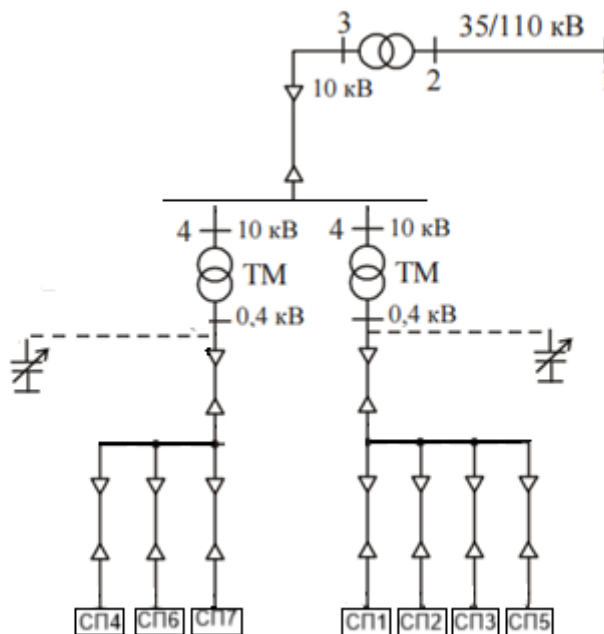


Рис-3.4 - Схема централізованого типу підключення ПКРП

$$P_p = \left(P_{ТП1.1} + \frac{P_{ТП2}}{2} + \frac{P_{ТП3}}{2} + \frac{P_{ТП4}}{2} \right) =$$

$$= \left(389,6 + \frac{360}{2} + \frac{340}{2} + \frac{330}{2} \right) = 904,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p = \left(\frac{Q_{ТП1}}{2} + \frac{Q_{ТП2}}{2} + \frac{Q_{ТП3}}{2} + \frac{Q_{ТП4}}{2} \right) =$$

$$= \left(323,6 + \frac{60}{2} + \frac{70}{2} + \frac{90}{2} \right) = 433,6 \text{ квар},$$

Розрахуємо втрати в трансформаторах, що живляться від Л1.1.

$$\Delta P_{ТП} = P_{кз} + P_{хх}, \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_{ТП} = \frac{S_H I_{хх}}{100} + \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 S_H \frac{U_K}{100}, \quad (3.2)$$

$$\Delta P_{ТП1} = 10,8 + 1,55 = 12,35 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{ТП1} = \frac{1000 \cdot 1,2}{100} + \left(\frac{959,5}{1000} \right)^2 \cdot 1000 \cdot \frac{5,5}{100} = 24,6 \text{ квар},$$

$$\Delta P_{ТП2} = 5,5 + 0,83 = 6,33 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{ТП2}} = \frac{400 \cdot 1,5}{100} + \left(\frac{364,97}{400} \right)^2 \cdot 400 \cdot \frac{4,5}{100} = 9,75 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{\text{ТП3}} = 5,5 + 0,83 = 6,33 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП3}} = \frac{400 \cdot 1,5}{100} + \left(\frac{347,13}{400} \right)^2 \cdot 400 \cdot \frac{4,5}{100} = 9,39 \text{ квар,}$$

$$\Delta P_{\text{ТП4}} = 5,5 + 0,83 = 6,33 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП4}} = \frac{400 \cdot 1,5}{100} + \left(\frac{342,05}{400} \right)^2 \cdot 400 \cdot \frac{4,5}{100} = 9,29 \text{ квар,}$$

Таким чином навантаження Л1.1:

$$P_{\text{Л1.1}} = P_p + \Delta P_{\text{ТП1}} + \Delta P_{\text{ТП2}} + \Delta P_{\text{ТП3}} + \Delta P_{\text{ТП4}} =$$

$$= 904,6 + 12,35 + 6,33 + 6,33 + 6,33 = 935,9 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{Л1.1}} = Q_p + \Delta Q_{\text{ТП1}} + \Delta Q_{\text{ТП2}} + \Delta Q_{\text{ТП3}} + \Delta Q_{\text{ТП4}} =$$

$$= 433,6 + 24,93 + 9,75 + 9,39 + 9,29 = 487 \text{ квар,}$$

Використовуючи кабель АПВП 3х35 довжиною 0,6 км з питомим опором 0,868 Ом/км, визначимо відсоток втрати напруги на ділянці лінії Л1.1.

Втрати потужності до компенсації становлять

$$\Delta P_1 = \frac{(P^2 + Q_1^2) \cdot R}{U^2} = \frac{(935,9^2 + 487^2) \cdot 0,868 \cdot 0,6}{10^2} \cdot 10^{-3} = 5,8 \text{ кВт}$$

а після встановлення конденсаторних батарей знизяться до

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + (Q_1 - Q_{\text{ЕК}})^2}{U^2} \cdot R = \frac{(935,9^2 + (487 - 300)^2) \cdot 0,868 \cdot 0,6}{10^2} \cdot 10^{-3}$$

$$= 4,7 \text{ кВт}$$

тобто зменшаться на

$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = 5,8 - 4,7 = 1,1 \text{ кВт}$$

Таким чином, втрати потужності зменшилися з 5,2 до 4,4 кВт, або на

$$\frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1} \cdot 100\% = \frac{5,8 - 4,7}{5,8} \cdot 100\% = 18,2 \%$$

$$x_0 = 0,095 \text{ Ом/км.}$$

Втрати напруги до компенсації

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$$\Delta U_1 = \frac{P \cdot R + Q_1 \cdot X}{U} = \frac{935,9 \cdot 0,52 + 487 \cdot 0,095 \cdot 0,6}{10} = 51,5 \text{ В}$$

а після встановлення конденсаторних батарей

$$\Delta U_2 = \frac{P \cdot R + (Q_1 - Q_{\text{БК}}) \cdot X}{U} = \frac{935,9 \cdot 0,52 + (487 - 300) \cdot 0,095 \cdot 0,6}{10} = 49,8 \text{ В.}$$

Зменшення втрат напруги складає

$$\Delta U_1 - \Delta U_2 = 51,5 - 49,8 = 1,7 \text{ В}$$

Втрати напруги зменшилися, а отже, рівень напруги підвищився на

$$\frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{U} \cdot 100\% = \frac{51,5 - 49,8}{10000} \cdot 100\% = 0,0002 \%$$

Аналогічно рахуємо для Л2.1 та занесемо в таблицю 3.1

Таблиця 3.2-Втрати в лініях Л1.1 та Л2.1

	$P_{\text{Л1.1}}$	$Q_{\text{Л1.1}}$	ΔP_1	ΔP_2	$\frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\Delta P_1}$	ΔU_1	ΔU_2	$\frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{U}$
Л1.1	935,9	487	5,8	4,7	18,2	51,5	49,8	0,017
Л2.1	832,1	641,3	5,7	4,2	26,7	47	45,3	0,017

Повна потужність лінії після компенсації:

$$S_{\text{Л1.1}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{935,9^2 + (487 - 300)^2} = 954,3 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{Л2.1}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{832,1^2 + (641,3 - 300)^2} = 899,4 \text{ кВА}$$

В даному типі підключенні конденсаторних установок, лінії від ТП до СП не розвантажуються. Підберемо кабелі від ТП до СП.

Визначаємо розрахункове струмове навантаження на головних ланках у напрямі від ТП до СП.

$$I_{\text{СП1}} = \frac{\sqrt{P_{\text{СП1}}^2 + Q_{\text{СП1}}^2}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{170,1^2 + 144,3^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 338,9 \text{ А,}$$

Обираємо з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$I_{\text{СП1}} \leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}},$$

$$\leq 330 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1,$$

$$338,9 \leq 363.$$

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

АВВГ 5×240, I_{доп} =330 А, r₀ =0,125 Ом/км, x₀ =0,0587 Ом/км.

Розраховуємо втрату напруги

$$\Delta U_{СП1} = \frac{P_{СП1} r_0 L_{кл} + Q_{СП1} x_0 L_{кл}}{10 U_H^2} = \frac{170,1 \cdot 0,125 \cdot 0,08 + 144,3 \cdot 0,0587 \cdot 0,08}{10 \cdot 0,38^2} = 1,64\%$$

Отримані результати по цій та інших лініях заносимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.3- Вибір кабельних ліній від ТП до СП

	Ip, А	L, км	Кабель	Iдоп, А	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	ΔU
ТП-СП1	338,9	0,08	АВВГ 5×240	330	0,125	0,0587	1,64
ТП-СП2	338,9	0,1	АВВГ 5×240	330	0,125	0,0587	2,05
ТП-СП3	34,2	0,06	АВВГ 5×10	47	3,08	0,073	3,2
ТП-СП4	115,6	0,1	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,1
ТП-СП5	115,6	0,11	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,5
ТП-СП6	698,9	0,05	2 АВВГ 5×240	660	0,0625	0,02935	1,4
ТП-СП7	149,9	0,15	АВВГ 5×70	155	0,443	0,0612	6

Отже, основна перевага централізованої компенсації полягає у простоті впровадження та обслуговування: одна конденсаторна установка здатна обслуговувати весь цех або кілька секцій мережі. Крім того, це зменшує кількість комутаційних елементів, та економить простір в електрощитових приміщеннях.

Однак централізована компенсація має і суттєві недоліки. Найважливішим з них є те, що електромережа між трансформаторною підстанцією та

електроприймачами залишається навантаженою реактивною потужністю. Тобто, струм реактивної складової продовжує циркулювати в розподільних кабелях, що:

- не зменшує додаткові втрати енергії в лініях;
- не підвищує пропускну здатність кабелів і трансформаторів;
- не розвантажує внутрішньоцехову інфраструктуру.

Крім цього, в умовах України централізована компенсація економічно доцільна лише для підприємств, що підключені до магістральних або регіональних електричних мереж. Це зумовлено тим, що діючі нормативні документи, які визначають підвищувальні або знижувальні коефіцієнти до тарифів за неякісне споживання електроенергії, застосовуються лише до споживачів, приєднаних до мереж загального користування. Для внутрішньоцехових споживачів без прямого енергоринку, централізована компенсація, хоча і технічно ефективна, часто не дає фінансового ефекту.

У випадку ливарного цеху, де значна частина навантаження зосереджена на індукційних печах, централізована компенсація не дозволяє зменшити втрати у найбільш навантажених ділянках мережі, що є критично важливим для стабільності живлення.

3.6 Втрати в лініях при виборі комбінованої компенсації

При виборі комбінованої компенсації ми залишаємо централізований тип підключення для ТП2, тому що від неї живляться більшість електроприймачів з різними навантаженнями та встановлюємо другу УКРП груповим методом, на індукційні печі, тим самим розвантажуємо лінії над трансформатором Л1.1 та Л2.1,(так як потужність установок однакова,то розрухунки не змінюються), а також кабельну лінію ТП-СП6. Проведемо розрахунки втрат по аналогічно. В даному випадку також обираємо конденсаторні установки. автоматичним регулюванням ПКРП-0,4-300-12-10-УХ ЛЗ, схема приєднання зображений на рис. 3.5.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						88
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

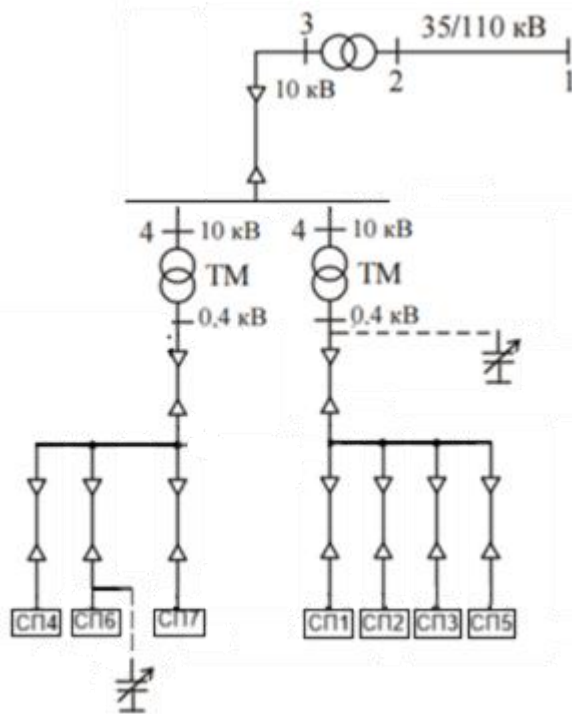


Рис. 3.5- Схема підключення комбінованим типом

Визначаємо розрахункове струмове навантаження для ділянки ТП-СП6

$$I_{\text{СП6}} = \frac{\sqrt{P_{\text{СП6}}^2 + Q_{\text{СП6}}^2}}{\sqrt{3}U_{\text{H}}} = \frac{\sqrt{184^2 + (412,6 - 300)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 327,7 \text{ A,}$$

Обираємо з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$\begin{aligned} I_{\text{A1}} &\leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}}, \\ &\leq 330 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1, \\ 327,7 &\leq 363. \end{aligned}$$

АВВГ 5×240, $I_{\text{доп}} = 330 \text{ A}$, $r_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,0587 \text{ Ом/км}$.

Розраховуємо втрату напруги

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{СП1}} &= \frac{P_{\text{СП6}} r_0 L_{\text{кл}} + Q_{\text{СП6}} x_0 L_{\text{кл}}}{10U_{\text{H}}^2} \\ &= \frac{184 \cdot 0,125 \cdot 0,05 + (412,6 - 300) \cdot 0,0587 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,38^2} = 1,02 \%, \end{aligned}$$

Отримані результати по цій та інших лініях заносимо в таблицю 3.3

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						89
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4- Вибір кабельних ліній від ТП до СП

	I_p , А	L, км	Кабель	Ідоп, А	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU
ТП-СП1	338,9	0,08	АВВГ 5×240	330	0,0125	0,0578	0,9
ТП-СП2	338,9	0,08	АВВГ 5×240	330	0,0625	0,02935	1,3
ТП-СП3	34,2	0,06	АВВГ 5×10	47	3,08	0,073	3,2
ТП-СП4	115,6	0,1	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,1
ТП-СП5	115,6	0,11	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,5
ТП-СП6	327	0,05	АВВГ 5×240	330	0,0625	0,02935	1,02
ТП-СП7	149,9	0,15	АВВГ 5×70	155	0,443	0,0612	6

Комбінована схема компенсації забезпечує технічно найбільш збалансоване рішення для ливарного цеху. Завдяки розміщенню частини конденсаторних батарей біля найбільш індуктивно-навантажених ділянок (СП6) зменшуються втрати в кабелях, покращується стабільність напруги в зоні роботи індукційних печей, знижується рівень струмів по лініях Л1.1, Л2.1. Централізована частина забезпечує базову компенсацію, тоді як групова — динамічне регулювання за умовами навантаження. Це дозволяє досягти більшого ефекту, порівняно з централізованим при виборі того самого обладнання.

3.7 Втрати в лініях при виборі виключно групової компенсації

При виборі групової компенсації є сенс розглянути групове підключення установки з автоматичним регулюванням компенсації ПКРП - 0.4 - 400квар - 10 - 30 УЗ[15] на СП6, тому що до неї при'єднано найбільше реактивного споживання, а також розглянути встановлення 2 установки на СП1-СП2, але меншої потужності ПКРП-0,4-100/5[16] , таким чином ми розвантажуюмо лінії над трансформатором Л1.1 та Л2.1, а також кабельну лінію ТП-СП1-2, СП-6.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						90
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

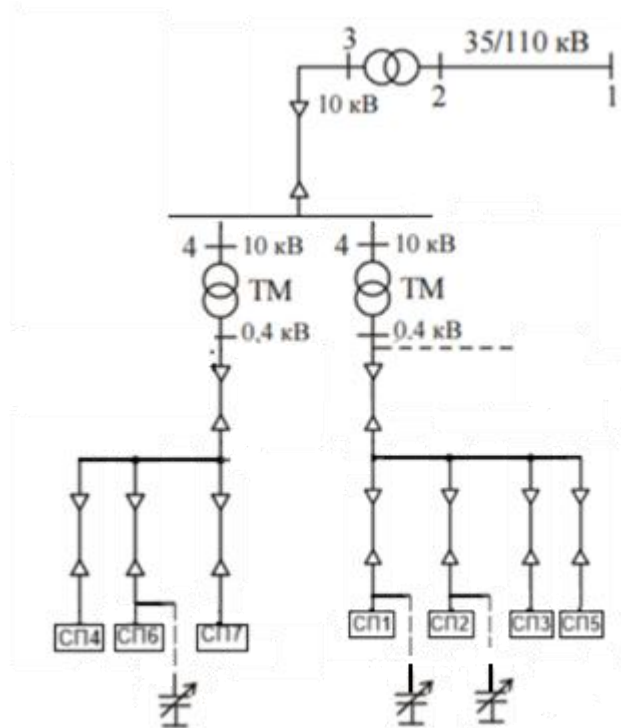


Рис. 3.5- Схема підключення груповим типом

$$I_{СП1-2} = \frac{\sqrt{P_{СП1-2}^2 + Q_{СП1-2}^2}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{\sqrt{170,1^2 + (144,3 - 100)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 267 \text{ А,}$$

Обираємо з каталогу найближче більше значення перерізу за умовою:

$$\begin{aligned} I_{A1} &\leq I_{\text{доп}} K_1 K_2 K_{\text{пер}}, \\ &\leq 267 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1, \\ &267 \leq 293,7. \end{aligned}$$

АВВГ 5×150, $I_{\text{доп}} = 254 \text{ А}$, $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,0596 \text{ Ом/км}$.

Розраховуємо втрату напруги

$$\begin{aligned} \Delta U_{СП1} &= \frac{P_{СП1} r_0 L_{\text{кл}} + Q_{СП1} x_0 L_{\text{кл}}}{10U_H^2} \\ &= \frac{170,1 \cdot 0,206 \cdot 0,08 + (144,3 - 100) \cdot 0,05967 \cdot 0,08}{10 \cdot 0,38^2} = 2,08 \%, \end{aligned}$$

Отримані результати по цій та інших лініях заносимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.5- Вибір кабельних ліній від ТП до СП

	I_p , А	L, км	Кабель	$I_{\text{доп}}$, А	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU
--	-----------	-------	--------	----------------------	---------------	---------------	------------

ТП-СП1	267	0,08	АВВГ 5×150	254	0,206	0,0596	2,08
ТП-СП2	267	0,08	АВВГ 5×150	254	0,206	0,0596	1,3
ТП-СП3	34,2	0,06	АВВГ 5×10	47	3,08	0,073	3,2
ТП-СП4	115,6	0,1	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,1
ТП-СП5	115,6	0,11	АВВГ 5×50	126	0,641	0,0625	4,5
ТП-СП6	327	0,05	АВВГ 5×240	330	0,0625	0,02935	1,02
ТП-СП7	149,9	0,15	АВВГ 5×70	155	0,443	0,0612	6

Групова компенсація є ефективним і компромісним варіантом, особливо для діляниць з великою кількістю однотипних індуктивних навантажень. Проте в частині розвантаження всієї мережі вона поступається індивідуальній чи комбінованій схемі. Для досягнення оптимального техніко-економічного результату доцільно використовувати групову компенсацію в поєднанні з іншими типами, як це й реалізовано у варіанті комбінованої компенсації.

3.8 Індивідуальна компенсація

Індивідуальна компенсація реактивної потужності передбачає встановлення конденсаторних установок безпосередньо біля окремих електроприймачів з високим рівнем споживання реактивної енергії. Такий підхід дозволяє повністю нейтралізувати локальну реактивну складову до її надходження в електромережу, тим самим знижуючи навантаження на розподільчі кабелі, трансформатори і основну систему електропостачання.

У ливарному цеху на розглянутому підприємстві функціонують 41 електроприймачі, з яких найбільше реактивне навантаження створюють:

4 індукційні печі в Т1, які разом споживають понад 421,6 квар,

6 плавильних печей у Т2 — загальне реактивне навантаження близько 223,8 квар.

З огляду на це, індивідуальна компенсація є доцільною в першу чергу для індукційних печей, які характеризуються, високим рівнем реактивного споживання. Також треба звернути увагу, що режими роботи індукційних печей є непостійний, їхнє навантаження змінюється в часі: плавлення, витримка, долив —

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						92
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усе це дає нерівномірну реактивну потужність, тому встановлення індивідуально конденсаторних банок на кожен піч робить експлуатацію незручної, та менш ефективною. Установка індивідуально установки з автоматичним регулюванням є економічно не доцільним, найкращий варіант- це групова компенсація.

Щодо плавильних печей у Т2:

Індивідуальна компенсація для кожного з 6 менш потужних агрегатів є технічно можливою, але також економічно недоцільною. У цьому випадку доцільніше впровадити групову компенсацію на рівні СП, яка обслуговує дану групу навантаження. Це дозволяє оптимізувати витрати на обладнання та обслуговування, водночас знижуючи реактивну складову потужності в ділянці живлення.

Висновок до розділу:

У даному розділі ми розглянули компенсацію реактивної потужності в ливарному цеху, де споживання індуктивного навантаження є особливо значним через використання плавильних і індукційних печей, підібравши УКРП загальним номіналом 600 квар на двотрансформаторну підстанцію(ТП1), яка живить ливарний цех. Було досліджено зменшення навантаження та втрат на лініях які живлять ТП та цех, розглянуто різні типи підключення установки: групову, комбіновану та централізовану. По результатам роботи можна зробити висновки, що установка компенсації було визначено потужність, яку необхідно компенсувати для досягнення допустимого рівня коефіцієнта потужності $\cos\varphi = 0,95$. Показано, як зменшення $\cos\varphi$ призводить до зменшення струмів у мережі, зниження ККД трансформаторів, зменшення втрат потужності та напруги, що дозволяє зменшити перерізи кабелів та навіть модернізацію обладнання. Побудовано таблицю та графіки, що відображають залежність реактивної потужності й завантаження трансформаторів від зміни коефіцієнта потужності, а також обґрунтовано необхідність оптимального вибору схеми компенсації.

Особливу увагу приділено впливу компенсації на втрати в кабельних лініях та трансформаторах при різних типах схем підключення. Визначено, що

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						93
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

централізована компенсація є технічно простою, але не забезпечує повного розвантаження мережі, тоді як комбінована схема дозволяє досягти найкращого балансу між технічною ефективністю та економічною доцільністю. Індивідуальна компенсація, попри її технічну ефективність, визнана малоприсадною через складність реалізації та змінний характер навантаження окремих електроприймачів. Результати розрахунків показали суттєве зменшення втрат потужності й напруги в мережі після впровадження комбінованої компенсації, що підтверджує доцільність саме такого підходу для даного типу виробництва.

У підсумку, проведений аналіз і розрахунки підтверджують, що впровадження комбінованої системи компенсації реактивної потужності дозволяє досягти високої енергетичної ефективності, зменшити навантаження на електричну мережу, забезпечити стабільність напруги, підвищити надійність енергопостачання та зменшити витрати підприємства на оплату електроенергії.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						94
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1 Загальна характеристика установки компенсації реактивної потужності.

Загальна характеристика об'єкта наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристика об'єкта

Назва	Розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія пожежної безпеки
Конденсаторна установка	Внутрішня ЕУ	Частина окремого приміщення	Приміщення підвищеною небезпекою	Категорія Д

Таблиця 4.2- Технічні показники ЕУ

Найменування	Параметри	Характеристики
Комплектна конденсаторна установка	Напруга	0.4 кВ
	Частота мережі	50 Герц
	Компенсаційна потужність	300 квар
	Кількість автоматичних ступеней	12 ступеней
	Потужність автоматичного, регульованого ступеня	300 (10+10+20+20+20+20+20+20+40+40+40+40)
	Температурний режим експлуатації	45°C....+ 40°C
	Регулювання	Автоматичне
	Ступінь захисту	IP 31
	Максимальне навантаження по струму	1,3 Ін.м.

					ОЕ-п21.0004.004 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Коробко Б.А.				ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Третякова Л.Д.						93	110
Н. Контр.	Прокопенко І.Д.					НН ІЕЕ ОЕ-п21		
Затв.								

Продовження таблиці 4.2

	Максимальне навантаження за напругою	1,1 Уном.
	Максимальне навантаження за напругою	1,1 Уном.
	Тип конденсаторів	Конденсатори EPCOS плівковий, наповнення компаунд, робочий діапазон за температурою становить -45+50
	Струм, Іном	600 А

4.2 Визначає, які роботи потрібно виконати, склад бригади, групу з електробезпеки працівників, тривалість робіт

До самостійного виконання робіт із експлуатації та технічного обслуговування конденсаторних установок у посаді електрика з ремонту та обслуговування електрообладнання допускаються особи, які досягли віку, передбаченого чинним законодавством, мають відповідну професійну підготовку, пройшли навчання, інструктажі, стажування та перевірку знань з охорони праці у встановленому порядку.

До робіт з обслуговування конденсаторних установок допускаються працівники, які мають групу з електробезпеки не нижче III (для електроустановок напругою до 1000 В включно) або не нижче IV (для електроустановок напругою понад 1000 В).

Для виконання робіт із монтажу та експлуатації УКРП формують електромонтажну бригаду згідно з вимогами НПАОП 40.1-1.21-98 [17]. Інформація представлена в таблиці 4.3.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

Таблиця 4.3-Професійний склад[18]

Посада	Кількість	Кваліфікація
Електромонтер	1	III група допуску
Електромонтер-налагоджувальник	1	III група допуску
Головний енергетик(керівник)	1	IV група допуску
Різноробочий робітник	1	I група допуску

Таблиця 4.4-Порядок проведення робіт

Вид робіт	Тривалість робіт
Підготовчі роботи: 1.Розробка та погодження проєктної документації; 2.Підготовка місця монтажу, організація безпечного доступу.	Відповідно погодженого терміну
Доставка та розвантаження обладнання.	1 день
Встановити виріб у відведене згідно проєкту місце.	1 день
Підключити силові кабелі, встановити заземлення. Встановити та підключити до виробу вимірювальний трансформатор струму.	2 дні
Виконати необхідні для введення в експлуатацію випробування відповідно до вимог ПУЕ . Задати необхідні параметри автоматичного регулювання у налаштуваннях регулятора реактивної потужності. Ввести виріб в експлуатацію.	2 дні

4.3 Параметри умов праці

Умови праці визначаються як сукупність факторів виробничого середовища, що мають забезпечити безпечне та комфортне функціонування організму працівника під час виконання трудових обов'язків. Залежно від характеру професійної діяльності необхідно проводити всебічну оцінку впливу шкідливих та небезпечних чинників, серед яких можуть бути: фізичне й психоемоційне навантаження, перенапруження розумової діяльності, а також виявлення основних джерел впливу і їх кількісних характеристик.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

Таблиця 4.5- Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинників	Основні характеристики	Значення показників	Характеристика допустимості
Параметри Мікроклімату	Температура повітря	15-28 С	Задовільні умови роботи
	Відносна вологість повітря	40-60 %	Задовільні умови роботи
	Швидкість вітру	(0,01...10) м/с	Оптимальні умови для роботи
Важкість праці	Переміщення вантажів	До 10 кг	
	Робоче положення	Стоячи, стоячи зігнувшись	Задовільно, за потреби відпочивати
	Статичні та динамічні Навантаження	200-250 Вт/год,	Допустимо
	Категорія робіт	ІІІ	Відповідно до кваліфікації
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження	80-85% робочого часу	Згідно з інструкціями
	Інтелектуаль на напруженість	70% робочого часу	
	Змінність	1 зміна, 8 годин	

4.4 Оцінка небезпечних і шкідливих чинників на робочих місцях

При виконанні монтажу, налагодження та введення в експлуатацію установки компенсації реактивної потужності (УКРП), яка приєднується до електромережі напругою 0,4 кВ, працівники зазнають дії комплексу виробничих факторів, що можуть створювати потенційні загрози для здоров'я та життя. Ці фактори охоплюють фізичні (шум, вібрація, мікроклімат), електромагнітні (постійні та змінні поля).

Для забезпечення належного рівня охорони праці, мінімізації ризиків нещасних випадків та підтримання безпечних умов праці, необхідно проводимо аналіз чинників виробничого середовища.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Таблиця 4.6-Чинники, що зумовлюють шкідливість умов праці

Найменування чинників	Основні характеристики	Значення показників	Характеристика допустимості
Шум	Рівень шуму	85 дБА	Допустимі рівні – до 80 дБА для постійного шуму.
Електромагнітне поле	Напруженість електричного поля:	0,5 кВ/м	до 5 кВ/м (при 50 Гц).
	Напруженість магнітного поля:	0	до 0,5 кА/м.
Вібрація	Вібрація	відсутня	не вище 2,5 м/с ² .
Електричний струм	Струм	-	Струм вище 0.5 мА вважається небезпечним.

4.5 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках

Враховуючи характер робіт з монтажу та підключення, визначається категорія робіт — роботи без напруги, які виконуються за нарядом-допуском. Такий порядок забезпечує контрольований доступ до робочої зони та перевірку наявності і відсутності напруги перед початком робіт.

Організаційні заходи включають:

- Призначення відповідального керівника робіт та виконавця.
- Проведення інструктажу для всіх членів бригади.
- Встановлення попереджувальних та заборонних плакатів на місці робіт.
- Контроль знеструмлення та перевірка відсутності напруги за допомогою покажчиків.
- Використання переносного заземлення на вводі в УКРП під час виконання монтажних робіт.

Перед стартом електромонтажних робіт керівник зобов'язаний ознайомити персонал з технічною документацією, а також провести інструктажі з правил електробезпеки та заходів пожежної безпеки для всіх учасників процесу. Електромонтер з ремонту та обслуговування електрообладнання зобов'язаний здійснити ретельний огляд робочого місця з метою виявлення потенційних

небезпек. Необхідно перевірити справність усіх виробничих інструментів, пристроїв, приладів, обладнання. Особливу увагу приділяють засобам індивідуального та колективного захисту — працівник повинен упевнитися у їх справності та використати відповідно до вимог конкретної роботи.

Також працівник повинен ознайомитись із технологічним процесом виконання запланованих робіт, у тому числі з особливостями окремих операцій.

Перед безпосереднім початком виконання завдання, працівник отримує розпорядження від керівника робіт.

У разі виявлення будь-яких порушень, несправностей або відхилень від норм безпеки, працівник зобов'язаний доповісти про це безпосередньому керівнику.[17]

Таблиця 4.7- Заходи безпеки

Заходи безпеки	Вимоги до заходів
Ізоляція струмовідних частин	Всі відкриті струмовідні елементи повинні бути надійно ізольовані. Ізоляція виконується за допомогою спеціальних матеріалів, які перешкоджають виникненню електричної дуги та прямого контакту з частинами, що перебувають під напругою.
Захисне заземлення	Заземлення є основним методом захисту від ураження електричним струмом при порушенні ізоляції. Усі металеві частини, які можуть опинитися під напругою, підлягають заземленню відповідно до вимог ПУЕ (Правил улаштування електроустановок).
Система автоматичного відключення живлення	Установлюються пристрої автоматичного вимкнення у разі короткого замикання, перенапруги або витоку струму на землю.
Маркування обладнання та кабельних ліній	Елементи електроустановки маркуються відповідно до їх призначення, що дозволяє ідентифікувати джерела живлення, навантаження, напрямки кабелів. Це запобігає помилкам при експлуатації або ремонті.
Фізичні огороження та попереджувальні знаки	Для унеможливлення доступу сторонніх осіб до небезпечних зон встановлюються бар'єри, металеві щити або сітки. У місцях потенційної небезпеки розміщуються попереджувальні знаки та інструкції.

Працівники, які виконують роботи з монтажу УКРП, повинні бути забезпечені наступними ЗІЗ, відповідно до характеру робіт:

Таблиця 4.7– Засоби індивідуального захисту [19]

Види ЗІЗ	Призначення	Назва	Термін використання	Технічні характеристики
Захисний одяг	Захист від механічних ушкоджень	Комбінезон	1 рік	Під час робіт усіх видів
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	Взуття робоче з сталлюю вставкою	1 рік	Під час робіт усіх видів
Захист для рук	Захист від механічних та електричних ушкоджень	Рукавички з поліуретановим покриттям	12 робочих змін	Під час робіт усіх видів
Захист голови	Захист від механічних та електричних ушкоджень	Каска	3 роки	Під час робіт усіх видів
Захист очей	Захист від механічних ушкоджень	Захисні прозорі окуляри	2 роки	Під час робіт усіх видів

4.6 Розрахунок ємного струму розряду установки

Перед кожним повторним увімкненням конденсаторної батареї необхідно розрядити нижче 10% її номінального значення напруги. Ця вимога багато в чому регламентує величину інтервалу перемикання ступеней автоматизованих конденсаторних установок (АКУ) компенсації реактивної потужності.

Для забезпечення безпечного розряду конденсаторів установки компенсації реактивної потужності (УКРП) після її відключення, обов'язковим є застосування розрядних резисторів. Вони підключаються паралельно кожному конденсатору або кожній фазі установки з метою зниження залишкової напруги до безпечного [20]

Розраховуємо ємнісний струм розряду конденсаторів для кожної фази, вважаючи, що навантаження симетричне.

Загальна реактивна потіжність:

$$Q = 2\pi f C U_{\phi}^2, \quad (4.1)$$

де $f = 50$ Гц - частота мережі;

$U_{\phi} = 230$ В - напруга мережі;

C = ємність конденсаторів;

Звідси знайдемо загальну ємність установки:

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						101
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = \frac{Q}{2\pi f U_{\Phi}^2}$$

$$C = \frac{300 \cdot 10^3 / 3}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 230^2} = 6 \text{ мФ}$$

Як відомо, сумарна величина активного розрядного опору визначається за формулою:

$$R \leq 15 \cdot \left(\frac{U_{\Phi}}{Q}\right) \cdot 10^6,$$

$$R = 15 \cdot \left(\frac{230}{300 \cdot 10^3 / 3}\right) \cdot 10^6 = 1642 \text{ Ом}$$

Відповідно час розряду однофазного косинусного силового конденсатора:

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\Phi}}{1,5 \cdot U_{\text{раз}}};$$

де $U_{\text{раз}} = 20 \text{ В}$ - безпечна напруга;

$$t = 1642 \cdot 0,006 \cdot \ln \frac{\sqrt{2} \cdot 230}{1,5 \cdot 20} = 23,5 \text{ сек}$$

Струм розряду конденсатора :

$$I_{\text{роз}} = \frac{U_{\Phi}}{R}$$

$$I_{\text{роз}} = \frac{230}{1642} = 0,14 \text{ А,}$$

4.7 Заходи з пожежної безпеки

Система пожежної та вибухопожежної безпеки у приміщеннях, де розміщується електротехнічне обладнання, зокрема установки компенсації реактивної потужності (УКРП), спрямована на комплексне попередження виникнення пожеж, а також мінімізацію їх наслідків у разі виникнення. Основними напрямками цієї системи є локалізація осередку займання, недопущення поширення вогню та продуктів згоряння, своєчасне виявлення пожежі, ефективна ліквідація займання і організований захист персоналу та матеріальних цінностей від небезпечних чинників пожежі.

Першочерговими технічними заходами протипожежного захисту є створення умов, за яких поширення вогню по будівельних конструкціях та елементах обладнання буде максимально ускладнено. Це забезпечується проектуванням приміщень із відповідною вогнестійкістю конструкцій. Вогнестійкість будівельних елементів визначається їх здатністю зберігати несучу, огорожувальну та

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						102
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплоізоляційну функції під впливом високих температур протягом нормативного часу, який регламентується ДБН В.1.1-7:2016[21] та іншими будівельними нормами. Ступінь вогнестійкості приміщення, де встановлено електрообладнання, повинен відповідати щонайменше III категорії, що передбачає використання негорючих матеріалів у будівельних елементах, включаючи підлогу, стелю та стіни.

Для внутрішнього оздоблення та кабельних трас використовуються тільки матеріали, які мають групу горючості не вище Г1, а також антипірени — спеціальні просочення, що знижують займистість. Усі інженерні комунікації (трубопроводи, вентиляційні канали, кабельні вводи) повинні бути герметизовані протипожежними муфтами або вставками, що перешкоджають поширенню полум'я та диму між приміщеннями.

Для недопущення загоряння кабельних систем передбачено використання вогнестійких кабелів з оболонками, що не підтримують горіння. Також важливо, щоб обладнання (зокрема, силові шафи УКРП) було оснащено засобами аварійного відключення живлення та автоматичними вимикачами, які здатні миттєво розірвати електричне коло у разі короткого замикання або перевантаження. У разі пожежі автоматичні установки пожежогасіння (газові, аерозольні або порошкові) дозволяють локалізувати вогнище займання без участі людини, зберігаючи обладнання від значних пошкоджень.

Для додаткового захисту приміщення необхідно обладнати засобами пожежогасіння ручної дії — вогнегасниками з відповідним класом гасіння (наприклад, порошковими ВП-5 або вуглекислотними ВВК-2), що розміщуються у легкодоступних місцях відповідно до ДСТУ EN 3[22]. У разі зберігання матеріалів або технічного обслуговування приміщення повинно мати вільні проходи, евакуаційні виходи та відповідне аварійне освітлення. Протипожежні перешкоди (стіни, перегородки, вогнетривкі двері) створюють бар'єри для поширення полум'я всередині об'єкта.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						103
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надзвичайно важливим елементом системи безпеки є забезпечення умов для швидкої евакуації персоналу. Шляхи евакуації мають бути чітко позначені, не захаращені, мати протиковзке покриття та бути освітленими. Евакуаційні виходи повинні виходити або безпосередньо назовні, або до коридорів, що ведуть до сходових кліток із виходом на вулицю. Всі евакуаційні шляхи маркуються згідно з ДСТУ ISO 7010[23], а плани евакуації вивішуються на видимих місцях.

Для мінімізації ризику виникнення займання під час експлуатації установок компенсації реактивної потужності необхідно також регулярно проводити технічне обслуговування електрообладнання. Контроль за станом ізоляції, контактів, автоматичних вимикачів та кабельних з'єднань повинен здійснюватись відповідно до ПУЕ. Заборонено експлуатацію пошкодженого або нестабільного обладнання, особливо в умовах підвищеної вологості або запиленості.

Таким чином, заходи пожежної безпеки у приміщеннях з електроустановками базуються на поєднанні конструктивного, інженерного, технічного та організаційного захисту. Дотримання цих вимог є ключовим фактором у зниженні ризиків виникнення пожежі, забезпеченні безпеки персоналу та збереженні матеріальних ресурсів підприємства.

Висновки до розділу

У межах розділу було розглянуто проект установки компенсації реактивної потужності (УКРП) на напругу 0,4 кВ та потужність 300 квар, призначеної для покращення енергоефективності електроустановок споживача. Реалізація такої установки дозволяє зменшити навантаження на трансформатор, знизити втрати електроенергії в мережі та забезпечити відповідність вимогам енергопостачальної організації щодо коефіцієнта потужності.

Значну увагу приділено питанням електробезпеки. Визначено категорію робіт (роботи без напруги), передбачено видачу наряду-допуску, підібрано засоби індивідуального захисту для персоналу, а також обґрунтовано технічні та

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						104
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організаційні заходи, що забезпечують безпечне проведення електромонтажних і пусконаладжувальних робіт. Окремий розділ присвячено аналізу системи протипожежного захисту. Проаналізовано вимоги до приміщень, де експлуатується УКРП, відповідно до чинних нормативно-правових актів.

Таким чином, розроблена система відповідає технічним, нормативним та безпековим вимогам, а її впровадження дозволяє підвищити ефективність роботи електроустановок, знизити витрати на електроенергію та забезпечити високий рівень надійності та безпеки як для обладнання, так і для обслуговуючого персоналу.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						105
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У представленій дипломній роботі розглянуто актуальне питання компенсації реактивної потужності ливарного цеху. Проведено всебічний техніко-економічний аналіз об'єкта дослідження, виконано детальні розрахунки електричних навантажень, параметрів електропостачання, обґрунтовано вибір трансформаторів та захисного обладнання.

У спеціальній частині роботи детально досліджено варіанти компенсації реактивної потужності (централізована, групова, комбінована, індивідуальна), проведено порівняння втрат потужності при кожному з них, що дозволило зробити обґрунтовані висновки щодо доцільності впровадження автоматизованої установки ступеневої компенсації з цифровим регулятором коефіцієнта потужності.

Результати дослідження свідчать про високу практичну значущість запропонованих технічних рішень — впровадження запропонованої системи дозволить:

- зменшити втрати електроенергії в мережі;
- знизити навантаження на трансформатори;
- підвищити коефіцієнт потужності до нормативного рівня;
- уникнути штрафів від енергопостачальників;
- підвищити надійність роботи обладнання.

У підсумку, можна стверджувати, що встановлення конденсаторної установки в даному ливарному цеху — це технічно виправданий, економічно доцільний та енергетично ефективний захід, який сприяє підвищенню загальної енергоефективності підприємства та забезпечує стабільність роботи енергетичної інфраструктури.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						106
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Типові схеми компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/solutions/typical/energy/6718.php> – Дата звернення: 23.05.2025.

2. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/v.2.5-23_2010.pdf – Дата звернення: 25.05.2025

3. Світлодіодний світильник LIGHTPROM MARSO 150W [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lightprom.com.ua/potuzhnyj-promyslovyj-svitlodiodnyj-svitylnyk-lightprom-marso-150w-18000lm-4000k-817> – Дата звернення: 5.06.2025.

4. Реле напруги 1P+N 63A, Resi9 Schneider Electric R9A12663 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://schneider.kiev.ua/rele-napryazheniya-1pn-63a-resi9-schneider-electric-r9a12663>. – Дата звернення: 15.06.2025.

5. Обмежувач імпульсної перенапруги УЗІП, 3P+N, тип В (40-65кА) Electro [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrolend.com.ua/ua/p800343822-ogranichitel-impulsnyh-perenapryazhenij.html?srsId=AfmBOop-EC69NUFddfl-PdquEmzMO1rdGv4ZfkocY4DwCarVvLR6h>. – Дата звернення: 15.06.2025.

6. Schneider Electric Обмежувач перенапруги Acti9 iPRD40, 40/15кА, 350В, 3P+N (A9L40600) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s-electric.com.ua/eshop/zahist-impulsnyh-perenaprug/obmezhuвач-perenaprug-i-acti9-iprd40-40-15ka-350v-3r-n-a9l40600-id4400.html>. – Дата звернення: 15.06.2025.

7. ETI ETITEC A 280/5/B-NO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.skad.com.ua/ogranichitel_perenapryajeniya_etitec_a_280-5-b-no/. – Дата звернення: 15.06.2025.

8. LogicPower LP-30kVA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stabilno.com.ua/ru/stabilizator-napryazheniya-logicpower-lp-30kva-21-kvt-3-fazy/>. – Дата звернення: 15.06.2025.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						107
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Постанова 14.03.2018 № 311 “Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text>. – Дата звернення: 10.06.2025.

10. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>. – Дата звернення: 21.06.2025.

11/ Про затвердження Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0392-18#Text>. – Дата звернення: 25.05.2025.

12. Інформаційна стаття про реактивну потужність, гармоніки та способи боротьби з ними [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tekhar.com/Production/Compensation/index_comp_gen_u.htm. – Дата звернення: 23.05.2025.

13. Реактивна потужність в електричних мережах. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/5e935110-5b9b-430e-b14f-757ff341902b/content>. – Дата звернення: 22.05.2025.

14. Установка компенсации реактивной мощности 300 кВар УКРМ - 0.4 - 300кВар - 8 - 20 УЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecshop.com.ua/p138100-ustanovka_kompensatsii_reaktivnoy_moshchnosti_300_kvar_ukrm_0-4_300kvar_8_20_uz. – Дата звернення: 16.06.2025.

15. Установка компенсации реактивной мощности 400 кВар УКРМ - 0.4 - 400 кВар - 10 - 30 УЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecshop.com.ua/p138102-ustanovka_kompensatsii_reaktivnoy_moshchnosti_400_kvar_ukrm_0-4_400kvar_10_30_uz?srsId=AfmBOoojh7YQ4YTGjyD5QkdORCcllywX_17_hY7U7gsdxflX_FUoDVwk – Дата звернення: 16.06.2025.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						108
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Конденсаторна установка 100 кВАр УКРМ-0,4-100/5 [Електронний ресурс].
– Режим доступу: <https://avelectric.com.ua/ua/p1253078160-kondensatorna-ustanovka-100.html>. – Дата звернення: 16.06.2025.

17. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

18. Допуски з електробезпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://evcsfera.com/dopuski-z-elektrobezpeki>. – Дата звернення: 10.06.2025.

19. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2011.

20. Розряд конденсатора після відключення від мережі [Електронний ресурс].
– Режим доступу: <https://leg.co.ua/arhiv/podstancii/kondensatornye-ustanovki-dlya-rovnysheniya-koefficienta-moschnosti-17.html>. – Дата звернення: 11.06.2025.

21. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги

22. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. Частина 7. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробувань (EN 3-7:2004+A1:2007, IDT)

23. ДСТУ EN ISO 7010:2019 Графічні символи. Кольори та знаки безпеки.

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						109
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Додаток 1 до Договору
про надання послуг з компенсації
перетікань
реактивної електричної енергії
від « » 20_p

Порядок розрахунків за перетікання реактивної електроенергії

Цей порядок складено відповідно до Правил роздрібно ринку електричної енергії затверджених постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 14 березня 2018 року № 312 (далі - ПРПЕЕ) та Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії, затвердженої наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 06 лютого 2018 року N 87, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 02 квітня 2018 року за N 392/31844 (далі - Методика).

1. Споживач:
2. Адреса:
3. Встановлена потужність компенсувальних установок (КУ) Споживача:

Таблиця 1

№ п/п	Тип КУ	Номінальна напруга		Усього
		до 1000 В	понад 1000 В	
1.	Конденсаторні установки, квар в тому числі:			
1.1	3 автоматичним регулюванням, квар			
1.2	3 ручним регулюванням, квар			
2.	Синхронні двигуни (СД), кВт			
3.	Пристрої КРП, заблоковані з технологічним обладнанням, квар			

Відключені від електромереж установки повинні бути опломбовані персоналом Оператора системи розподілу (далі - ОСР) при складанні додатку до договору і відповідно не вносяться до даної таблиці.

В неробочий час компенсувальні установки Споживача мають бути відключені.

4. Плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії об'єкта Споживача за розрахунковий період П визначається згідно з порядком, встановленим Методикою:

$$П = П1 + П2 - П3,$$

де П1 - основна плата за перетікання реактивної електроенергії, грн;

П2 - надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі. Споживача засобами компенсації реактивної потужності (КРП), грн;

П3 - знижка плати у разі залучення споживача до регулювання балансу реактивної потужності (електроенергії), грн.

5. Характеристики точок розрахункового обліку:

Таблиця 2

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						110
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

п/п	ЕСІ код	Точка розрахунку ЕЕРП (п/ст., РП, ТП та ін)	Тип точок вимірювання	Наявність приладу обліку споживання так/ні	Наявність приладу обліку генерації так/ні	Активна потужність навантаження, кВт	Реактивна потужність навантаження, квар	ЕЕРП, кВт/квар

Тип: Qc(+)- вхідна точка вимірювання споживання реактивної електроенергії;

Qc(-) - транзитна точка вимірювання споживання реактивної електроенергії;

Qr(+)- вхідна точка вимірювання генерації реактивної електроенергії;

Qr(-) - транзитна точка вимірювання генерації реактивної електроенергії.

6. Значення економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП) *D* визначається на основі інформаційної бази розрахункових схем магістральних мереж Оператора системи передачі, розподільних мереж Оператора системи розподілу і технологічних мереж споживача.

7. Черговий перерахунок ЕЕРП повинен виконуватися один раз на два роки. Нові значення ЕЕРП набирають чинності у січні кожного дворічного періоду, починаючи з 01 січня 2019 року.

8. Перераховані значення ЕЕРП Оператор системи розподілу доводить до відома Споживача письмовим повідомленням.

9. Облік споживання та генерації реактивної електроенергії здійснюється засобами обліку згідно Додатку 3 до Договору споживача про надання послуг з розподілу електричної енергії, з врахуванням поточних змін приладів обліку.

10. Індукційні засоби обліку реактивної електроенергії повинні мати стопори зворотного ходу. За наявності на об'єкті Споживача засобів КРП необхідно забезпечити окремі обліки споживання і генерації реактивної електроенергії.

Розрахункові засоби обліку, що контролюють генерацію реактивної електроенергії в мережу Оператора системи розподілу, мають бути встановленні вище точок приєднань усіх наявних у мережі Споживача джерел реактивної електроенергії.

11. За відсутності у вхідній точці вимірювання засобу обліку споживання реактивної електроенергії розраховується за формулою 2 Методики з використанням нормативного тангенсу навантаження 0,8.

12. У випадку тимчасового порушення обліку реактивної електроенергії не з вини або неподання даних про обсяги перетікання реактивної електроенергії в поточному розрахунковому періоді розрахунок здійснюється за середньодобовим обсягом попереднього розрахункового періоду, а в наступні розрахункові періоди за формулами 2, 5, 7 Методики. У разі, якщо облік не може бути відновлений у строк одного розрахункового періоду не з вини споживача, порядок подальших розрахунків встановлюється за домовленістю сторін.

13. При пошкодженні розрахункових засобів обліку реактивної електроенергії з вини Споживача, зміні схем підключення приладів обліку, пошкодженні та/або зриву пломб,

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						111
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунок значення реактивної електроенергії здійснюється за формулами 2, 5, 7 Методики.

14. Установка КУ здійснюється Споживачем з обов'язковим повідомленням Оператора системи розподілу.

У випадку, якщо на об'єкті Споживача виявлені КУ, підключені без повідомлення оператора системи розподілу та не зафіксовані в договорі, сумарна розрахункова генерація реактивної електричної енергії (у разі, якщо на об'єкті відсутній прилад обліку генерації реактивної енергії) визначається з урахуванням потужності самовільно підключених КУ за формулою 7 Методики з дати останнього переоформлення відповідного додатку. Нарахування проводиться на підставі двостороннього акту, де зафіксовано додатково встановлену потужність КУ.

15. Споживач зобов'язаний надавати Оператору системи розподілу дані для переоформлення нового Додатку до Договору про надання послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії в наступних випадках:

- при включенні/відключенні пристроїв компенсації реактивної електроенергії;
- при зміні точки підключення, по які проводяться розрахунки за перетікання реактивної електроенергії;
- при зміні типу засобу обліку (встановлення лічильника на споживання чи/та генерацію реактивної електроенергії);
- на обґрунтовану вимогу Оператора системи розподілу.
- За підсумками розрахункового періоду оператор системи розподілу надає Споживачу розрахункові документи на оплату за надання послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії.

Оплата рахунків за надання послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії здійснюється Споживачем на протязі 5-ти банківських днів з дня отримання (формування) рахунків, але не пізніше останнього банківського дня поточного місяця. За дату оплати рахунка приймається дата зарахування коштів на поточний рахунок Оператора системи розподілу.

У разі несплати Споживачем Оператору системи розподілу у визначені терміни (строки) платежів з оплати вартості надання послуг з компенсації перетікань реактивної електричної енергії, - Оператором системи розподілу можуть бути застосовані заходи визначені підпунктом 2 п. 10.1. Договору споживача про надання послуг з розподілу електричної енергії .

17. Цей додаток набирає чинності з дати підписання Сторонами і є чинним на строк дії договору споживача про надання послуг з розподілу електричної енергії. Сторона зобов'язуються переглянути умови цього Додатку та підписати його в новій редакції в разі настання умов, передбачених в п. 15 цього Додатку, а також при перерахунку ЕЕРП, виконаного оператором системи розподілу відповідно до п. 6 цього Додатку.

Оператор системи розподілу

Споживач

" ____ " _____ 20__ р

" ____ " _____ 20__ р

					ОЕ-п21.2104.004 ПЗ	Арк.
						112
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		