

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

_____ Сергій БАЛЮТА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Проектування СЕП механічно-складального цеху Львівського автомобільного заводу та заходи щодо зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-2

_____ Белеканич Назарій Михайлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Мащенко Олег Анатолійович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Аліна СІРИК _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Електропостачання і енергоменеджменту
Освітній ступінь бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма Електротехніка та інформаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕПЕМ
/Сергій БАЛЮТА/
« 12 » листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Белеканича Назарія Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування СЕП механічно-складального цеху Львівського автомобільного заводу та заходи щодо зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах

керівник роботи Мащенко Олег Анатолійович, ст. викладач

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 11. 2023 р. № _____.

2. Строк подання здобувачем роботи 25 січня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи План механічно-складального цеху Львівського автомобільного заводу; характеристика споживачів електричної енергії; відомості про джерела живлення; умови проектування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика механічно-складального цеху та його споживачів електричної енергії; розрахунок силових електричних навантажень та освітлення цеху; вибір кількості, потужності трансформаторів на підставі техніко-економічного їх порівняння; компенсація реактивної потужності; вибір схеми та розрахунок силової мережі цеху; розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання; експлуатація електрообладнання цеху та основні шляхи економії енергії та ресурсів на підприємстві; релейний захист трансформатора; облік та вимірювання режимних параметрів системи електропостачання; якість електричної енергії і вплив її на нормальну роботу електроприймачів; охорона праці; індивідуальне завдання. Зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах.

5. Перелік графічного матеріалу

1. План розташування силового електрообладнання і прокладки електричних мереж.

2. Схема електрична принципова живильної та розподільчої мережі.

3. План розташування освітлювального електрообладнання і прокладки електричних мереж. 4. Несинусоїдність і несиметрія напруги в електричних мережах

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
ОП	Сірик А.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на дипломний проект	12.11.2023 р	
2	Вступ	14.11.2023 р	
3	Характеристика механічно-складального цеху та його споживачів електричної енергії	17.11.2023 р	
4	Розрахунок електричного освітлення цеху	23.11.2023 р	
5	Визначення електричних навантажень силових електроприймачів цеху	27.11.2023 р	
6	Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехової трансформаторної підстанції	02.12.2023 р	
7	Компенсація реактивної потужності	09.12.2023 р	
8	Вибір схеми та розрахунок силової мережі цеху	13.12.2023 р	
9	Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання	17.12.2023 р	
10	Експлуатація електрообладнання цеху	21.12.2023 р	
11	Основні шляхи економії електроенергії та ресурсів на підприємстві	25.12.2023 р	
12	Релейний захист трансформатора	29.12.2023 р	
13	Облік та вимірювання режимних параметрів системи електропостачання	05.01.2024 р	
14	Якість електричної енергії і вплив її на нормальну роботу електроприймачів	08.01.2024 р	
15	Охорона праці	17.01.2024 р	
16	Індивідуальне завдання. Зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах	21.01.2024 р	
17	Графічна частина	24.01.2024 р	
18	Література	25.01.2024 р	

Здобувач

_____ (підпис)

Назарій БЕЛЕКАНИЧ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олег МАЩЕНКО

(прізвище та ініціали)

Анотація

Белеканич Назарій Михайлович. Дипломний проєкт на тему:
«Проектування СЕП механічно-складального цеху Львівського
автомобільного заводу та заходи щодо зменшення несинусоїдності і несиметрії
напруги в електричних мережах»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2024
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 14 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 116 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: план розташування силового електрообладнання і прокладки електричних мереж, схема електрична принципова живильної та розподільчої мережі, план розташування освітлювального електрообладнання і прокладки електричних мереж, несинусоїдність і несиметрія напруги в електричних мережах.

Розрахунки й аналіз виконані за допомогою методик, що викладені у навчальній, довідниковій, нормативній і науково-технічній літературі.

У результаті виконання проєкту наведено характеристику механічно-складального цеху та його споживачів електричної енергії; виконано розрахунок силових електричних і освітлювальних навантажень; визначено кількість, потужність трансформаторів на підставі техніко-економічного порівняння; вибрано схему та розраховано низьковольтну силову мережу цеху; вибрано високовольтне електрообладнання і перевірено його до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання релейного захисту трансформатора, експлуатації електрообладнання, основні шляхи економії енергії та обліку і якості електричної енергії. Розглянуто індивідуальне завдання «Зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах».

У розділі охорона праці наведено основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та робочих місць, основні з електробезпеки та пожежної безпеки, захисту від електромагнітних полів та виконано розрахунок заземлюючих пристроїв.

Ключові слова: механічно-складальний цех, споживачі електроенергії, силове електричне навантаження, електричне освітлення, трансформатор, автоматичний вимикач, компенсація реактивної потужності, струм короткого замикання, провід, кабель, несинусоїдність, несиметрія.

Abstract

NAZARII BELEKANYCH. Diploma project on the topic:

"SEP design of the mechanical assembly shop of the Lviv Automobile Plant and measures to reduce non-sinusoidal and asymmetric voltage in electrical networks"

National University of Food Technologies, Kyiv - 2024

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 14 chapters and a list of references. The volume of the project is 116 pages.

The graphic part, which consists of four drawings, is included in the description: the location plan of the power electrical equipment and the laying of electrical networks, the electrical principle diagram of the power supply and distribution network, the plan of the location of the lighting electrical equipment and the laying of electrical networks, non-sinusoidal and asymmetry of voltage in electrical networks.

Calculations and analysis were performed using the methods described in educational, reference, regulatory and scientific and technical literature.

As a result of the implementation of the project, the characteristics of the mechanical assembly shop and its consumers of electrical energy are given; the calculation of power electrical and lighting loads has been performed; the number and capacity of transformers are determined on the basis of a technical and economic comparison; the scheme was selected and the low-voltage power network of the workshop was calculated; high-voltage and electrical equipment is selected and tested for short-circuit currents; the issue of relay protection of the transformer, operation of electrical equipment, main ways of saving energy and accounting and quality of electrical energy are considered. The individual task "Reducing non-sinusoidal and asymmetric voltage in electrical networks" was considered.

In the occupational safety section, the basic safety requirements for production equipment and workplaces, the basic requirements for electrical safety and fire safety, protection from electromagnetic fields, and the calculation of grounding devices are given.

Key words: mechanical assembly shop, electricity consumers, power electric load, electric lighting, transformer, circuit breaker, compensation of reactive power, short-circuit current, wire, cable, non-sinunoidity, asymmetry.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЧНО-СКЛАДАЛЬНОГО ЦЕХУ ТА ЙОГО СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	10
1.1. Характеристика електроприймачів електричної енергії.....	11
1.2. Вибір рівня напруги мережі.....	13
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ.....	15
2.1. Вибір системи освітлення й нормованої освітленості.....	15
2.2. Розміщення освітлювальних приладів.....	16
2.3. Розрахунок освітлювальних установок методом коефіцієнта використання світлового потоку.....	19
2.4. Електропостачання освітлювальних установок.....	20
2.5. Проектування освітлювальної установки аварійного освітлення.....	25
2.6. Вибір місця розташування, числа й типу групових щитків освітлення.....	28
3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ЦЕХУ.....	30
4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ.....	36
4.1. Техніко-економічне порівняння попередньо вибраних варіантів трансформаторів.....	37
5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	41

						ДП 2024 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			Зміст	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мащенко О.А.					4	
Реценз.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

5.1.	Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	41
5.2.	Регулювання режиму роботи батарей конденсаторів.....	42
6.	ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ.....	47
6.1.	Вибір схеми електропостачання цеху.....	47
6.2.	Розрахунок живильної й розподільчої мережі на стороні низької напруги.....	48
7.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	56
7.1.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	56
7.2.	Вибір високовольтного електрообладнання.....	59
8.	ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЦЕХУ.....	66
8.1.	Організація ремонту й технічного обслуговування.....	66
8.2.	Аналіз аварійних режимів і відмов устаткування.....	68
8.3.	Експлуатація й ремонт освітлювальних установок.....	69
9.	ОСНОВНІ ШЛЯХИ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГІЇ ТА РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	71
10.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА.....	75
11.	ОБЛІК ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	78
11.1	Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання.....	78
11.2.	Лічильники електричної енергії.....	79
12.	ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ І ВПЛИВ ЇЇ НА НОРМАЛЬНУ РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ.....	81
12.1.	Якість електричної енергії.....	81
12.2.	Характеристики електроенергії і її показники якості.....	84

13.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	86
14.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ЗМЕНШЕННЯ НЕСИНУСОЇДНОСТІ І НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	95
14.1	Несинусоїдність та способи її усунення.....	95
14.2.	Несиметричність напруги і її зменшення.....	107
	ЛІТЕРАТУРА.....	115

					ДП 2024 141	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Для України надзвичайно важливо визначити пріоритетні галузі промисловості, на яких могла б базуватися економіка країни.

Автомобілебудівну галузь України, яка є складовою машинобудівного виробництва, на сьогоднішній день якраз можна віднести до однієї з пріоритетних.

Сучасна історія дає приклад десятків країн, що досягли процвітання за рахунок ставки на розвиток цієї галузі: Німеччина, Японія, США та ін. Від виробництва автомобілів безпосередньо залежить економіка Франції, Італії, Великобританії, Південної Кореї, Китаю тощо.

Отже, автомобілебудування в промислово розвинених країнах суттєво впливає на економічний і соціальний розвиток суспільства, дає могутній імпульс розвитку інших галузей, забезпечує стійке зростання зайнятості населення, підвищує товарообіг і т.п.

Нормальне функціонування будь-якого підприємства в Україні в першу чергу залежить від забезпечення його безперебійними та якісними енергоресурсами.

Електрична енергія – основний вид енергії, що використовується в усіх галузях народного господарства. Широке впровадження електроенергії обумовлене її перевагами, з яких найбільш важливими є: можливість передачі на значні відстані від місця виробництва до місць споживання при порівняно малих втратах; простота перетворення в інші види енергії, наприклад, у теплову й механічну; гарна керованість.

Як свідчить аналіз сучасного стану електричних мереж, існує об'єктивна необхідність у оптимізації режимів їх роботи, удосконаленні принципів побудови мереж за рівнями напруги та видами виконання, комплексній автоматизації,

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			Вступ	Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Мащенко О.А.					7	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

підвищенні надійності, якості та ефективності функціонування мереж з урахуванням регіональних особливостей, що забезпечить ефективне керування, модернізацію та інноваційний розвиток електричних мереж. Ці та інші проблеми потребують свого розв'язання шляхом вибору оптимального напрямку розвитку електричних мереж. В умовах реформування відносин власності в енергетиці технічна політика є дієвим інструментом, який реалізує положення Закону України «Про електроенергетику» в частині створення державою умов для розвитку і підвищення технічного рівня електроенергетики.

Технічні та економіко-екологічні вимоги, що ставляться до електричних мереж нового покоління такі:

- електрична та екологічна безпека функціонування об'єктів електричних мереж;
- надійність електропостачання з урахуванням вимог споживачів в умовах зростання електричного навантаження і обсягів споживання електроенергії;
- обґрунтоване спрощення конструкцій і схем об'єктів електричних мереж при обов'язковому підвищенні їх елементної надійності;
- забезпечення нормованого рівня якості електричної енергії;
- адаптація мереж до динамічних умов розвитку регіонів, зростання електричних навантажень;
- застосування нових технологій обслуговування об'єктів електричних мереж і їхньої автоматизації;
- скорочення витрат на розподіл електричної енергії та терміну окупності інвестиційних проектів;
- застосування нових сучасних інформаційних технологій під час керування;
- створення об'єктів електричних мереж або ділянок мережі з інтелектуальним керуванням.

У процесі споживання електричної енергії відбувається перетворення в інші види енергії (теплову, механічну, хімічну). Близько 70 % електроенергії використовується для надання руху верстатам, механізмам, транспортним

					ДП 2024 141	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засобам, тобто для перетворення її в механічну енергію. Це перетворення здійснюється електричними машинами – електродвигунами.

Електродвигун – це основний елемент електропривода робочих машин. Гарна керованість електричною енергією й простота її застосування дозволили широко застосовувати в промисловості багатодвигунний електропривод робочих машин, коли окремі ланки робочої машини приводяться в рух самостійними двигунами. Електродвигуни набули широкого застосування на транспорті як тягові двигуни, що приводять в обертання колісні пари електровозів, електропоїздів, тролейбусів тощо.

Передача й розподіл електричної енергії неможлива без трансформаторів, що є статичними перетворювачами електроенергії змінного струму. Основне призначення трансформатора – перетворення напруги змінного струму при незмінній частоті.

Метою даного дипломного проєкту є розробка ефективної системи електропостачання механічно-складального цеху Львівського автомобільного заводу та заходи щодо зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах.

					ДП 2024 141	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЧНО-СКЛАДАЛЬНОГО ЦЕХУ ТА ЙОГО СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Механічно-складальний цех є одним з основних самостійних структурних підрозділів Львівського автомобільного заводу, у основні функції якого входить виготовлення й випуск продукції.

Механічно-складальний цех складається з комплексу виробничих ділянок і допоміжних підрозділів, у якому протікають виробничі процеси виготовлення виробів з металу і являє собою складну систему, структура й параметри якої перебувають у безпосередній залежності від складності конструкції, номенклатури продукції, що випускається і характеристик виробничого процесу її виготовлення.

Основною складовою виробничого процесу є технологічний процес, що містить дії, безпосередньо пов'язані зі зміною форми, розмірів або фізико-механічних властивостей оброблюваних заготовок, напівфабрикатів або деталей і їх складанням у складальні комплекси, а також контролю відповідності заданим технічним вимогам.

Інші допоміжні процеси, що протікають у цеху, повинні забезпечувати безперебійне виконання основного технологічного процесу.

Для виконання виробничого процесу робочі позиції (місця) повинні бути оснащені відповідним чином. Залежно від змісту операції й організації її проведення на робочій позиції (місці) можуть бути розташовані: технологічне устаткування, накопичувачі з напівфабрикатами, один робітник або група робітників, засоби автоматичного завантаження й розвантаження устаткування (роботи, маніпулятори, автоматичні агрегати завантаження), ріжучий й контрольний-вимірювальний інструмент, оснащення, засоби технічного обслуговування й охорони праці, елементи системи керування тощо.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1. Характеристика механічно-складального цеху та його споживачів електричної енергії	Лім.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Белеканич					10	
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2		

Технологічні процеси діючого виробництва розроблені й розробляються на нову освоювану продукцію стосовно до умов одиничного й серійного виробництва з урахуванням прогресивних рішень у галузі науки й технології. Тому в процесі виробництва застосовуються такі високопродуктивні види обробки, як термічне різання металу, вальцювання, холодне штампування. Використовується швидкопереналаштоване високопродуктивне устаткування з ЧПУ. При цьому забезпечується досягнення необхідної продуктивності меншою кількістю устаткування, скороченням виробничих площ, можливість швидкої підготовки виробництва й переналагодження при зміні продукції, що випускається, високу концентрацію технологічних операцій за одну установку оброблюваної деталі.

В цеху постійно модернізується наявне устаткування, закупляється нове.

1.1. Характеристика електроприймачів електричної енергії

Електроприймачем (ЕП) називається будь-який пристрій, в якому електрична енергія перетворюється в інший вид енергії – механічну (електродвигуни), теплову (електричні нагрівачі), світлову (електричні джерела світла) або хімічну (електроліз). Трансформатори-перетворювачі, в яких перетворюється не вид енергії, а тільки її потенціал (напруга) або носій (рід струму), також є електроприймачами.

ЕП поділяються за: родом струму, частотою, номінальною напругою, режимом роботи.

Рід струму – змінний (трифазний, однофазний) або постійний.

Частота – розрізняють ЕП нормальної (50 Гц), підвищеної (більше 50 Гц) або зниженої (менше 50 Гц). Більшість приймачів працюють на частоті 50 Гц.

Номінальна напруга: ПУЕ розрізняють напругу до і вище 1 кВ. До 1 кВ – 220, 380, 660 (В), вище 1 кВ – 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 500, 750 (кВ).

При постійному струмі: 6, 12, 24, 36, 110, 220, 440, 550, 825, 1500, 3000 (В).

Режим роботи. Для силових ЕП розрізняють три режими роботи – тривалий, короткочасний і повторно-короткочасний. При роботі в тривалому

					ДП 2024 141	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

режимі досягається теплова рівновага і встановлюється певна температура ЕП. Короткочасний режим характеризується тим, що після короткочасного включення і нагрівання його температура за період наступної паузи знижується до температури навколишнього середовища. Повторно-короткочасний (ПКР) – під час якого період включення тривалістю $t_{\hat{a}}$, чергується з паузою тривалістю t_i так само, як і тривалий режим, приводить до поступового нагрівання ЕП до сталої температури. Великою, що характеризує ПКР, є тривалість включення (ТВ), яка дорівнює:

$$\hat{D} = \frac{t_{\hat{a}}}{t_{\hat{a}} + t_i} = \frac{t_{\hat{a}}}{\hat{D}_0}, \quad (1.1)$$

де T_u – тривалість циклу. Кількість ТВ визначають у відсотках, тобто $\hat{D} \% = \hat{D} \cdot 100$. Значення $TB = 1$ (або 100 %) відповідає тривалому режиму.

Номинальна (встановлена) потужність. Між номінальною потужністю даного ЕП при тривалому (D_i) і повторно-короткочасному ($D_{i,\hat{e}}$) режимі існує таке співвідношення:

$$D_i = D_{i,\hat{e}} \cdot \sqrt{\hat{D}}, \quad (1.2)$$

звідки видно, що при $TB < 1$ буде завжди $D_{i,\hat{e}} > D_i$.

Характеристика силових електроприймачів електричної енергії цеху наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика споживачів енергії

Номер по плану	Назва верстату	Тип	Рн, кВт	Кількість
1	2	3	4	5
1	Свердлильний	2Н150	30	1
2	Токарний	1К62	28	1
3, 4, 5	Свердлильний	2Н118	24	3
6	Токарний	1К625	26	1
7	Токарний	1Н713	30	1
8, 9	Токарний	1425	32	2
10, 11	Кувальний	СС2112А	40	2

Продовження табл. 1.1

					ДП 2024 141	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4	5
12, 13	Свердлильний	2Н150	30	2
14, 15	Токарний	АР-41	35	2
16	Вальцювальний	ГФ2654	40	1
17, 18	розточувальний	2620Е	25	2
19	Фрезерний	ЛГ26	20	1
20, 21	Свердлильний	2М55	23	2
22	Фрезерний	6Р83Г	26	1
23, 24, 25	Розточувальний	2622ВФ1	42	3
26	Фрезерний	АМ13828	40	1
27, 28	Фрезерний	АМ13829	30	2
29, 30	Кувальний	СС2220	25	2
31	Свердлильний	2А554	24	1
32, 33, 34	Фрезерний	АМ16132	45	3
35, 36	Вентилятор	–	8	2
37, 38	Кран опорний	–	1,4	2

1.2. Вибір рівня напруги мережі

Цехові електричні кола напругою до 1000 В виконуються на стандартні напруги: 127; 220; 380 та 660 В.

В цьому пункті, частково розглянуті переваги і недоліки кожної з величини напруги.

Розглянемо напругу на 660 В, вона має такі переваги над іншими:

- менші електричні врати
- двигуни на цю напругу мають кращі техніко-економічні характеристики ніж двигуни на 380 В.

Але так, як і все вона має свої недоліки:

- для живлення освітлювальних мереж цеху, потрібно додатково встановлювати трансформатор на 0,66/0,22 кВ.
- для вимірювальних апаратів теж потрібно встановлювати додаткові трансформатори.

Використання напруг 127 і 220 В для живлення електродвигунів є економічно невигідним, невиправданим через великі втрати електроенергії, великого використання кольорового металу.

										Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП 2024 141

Для живлення електродвигунів в системах електропостачання промислових підприємств широко використовується мережа з лінійною напругою 380 В, оскільки фазна напруга в такій системі буде дорівнювати 220 В, що необхідно для живлення ліній освітлення.

Така система дає можливість спільно жити освітлювальні та силові вола; відносно низька напруга між «землею» і провідником, яка складає 220 В.

З цього можна зробити висновок, що для живлення цеху підприємства найбільш доцільно використовувати систему напруги 380/220 В, крім того, двигуни металообробних верстатів виготовляються на напругу 380 В.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЦЕХУ

2.1. Вибір системи освітлення й нормованої освітленості

При виборі системи освітлення потрібно виходити з характеру зорової роботи, що виконується в приміщенні, враховуючи яскравість і затінення робочих поверхонь технологічним устаткуванням і людьми, що перебувають у приміщенні. Яскравість є однією із самих неприємних проблем освітлення. У більшості випадків яскравість знижує гостроту сприйняття через втому, наслідком чого є погана концентрація й дефекти зору. Розрізняють пряму й відбиту яскравість. Пряма яскравість виникає при погляді на дуже яскраву світлову пляму, наприклад на лампу у світильнику, розплавлений метал, зварювання тощо. Виключити яскравість можна, підбравши відповідні світильники й правильно розташували їх відносно робочих місць. Відбита яскравість виникає внаслідок відбиття світла від глясових або дзеркальних поверхонь (дисплеї, меблі, папір з художньою печаткою тощо). Для запобігання відбитої яскравості необхідно критично оцінити не тільки типи й розташування світильників, але й матеріал освітлюваних поверхонь. Для обмеження відбитої яскравості на горизонтальних поверхнях нормується показник засліпленості.

Норми освітленості при використанні природного й штучного освітлення промислових приміщень, робіт на відкритому повітрі, громадських і житлових будинків, вулиць, дворів і площ населених пунктів регламентовані. Вони встановлені на основі класифікації по деяких кількісних ознаках. Основною ознакою, що визначає розряд робіт, є розмір деталей, що розрізняються.

При розмірі деталей менш 0,15 мм роботи відносяться до розряду I (найвища точність) і вимагають освітленості 1500 лк при загальному освітленні, а останній (VI) розряд відноситься до робіт, при яких різняться деталі більше 5 мм (дуже мала точність) і потрібна освітленість 150 лк при загальному освітленні.

					ДП 2024 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Белеканич</i>			2. Розрахунок електричного освітлення цеху	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>					15	
<i>Реценз.</i>						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

Основні норми освітленості відносяться до установок з газорозрядними джерелами світла. Для випадку застосування ламп розжарювання встановлюються знижені значення освітленості, виходячи з необхідності економії електроенергії.

Нормовані значення освітленості повинні бути забезпечені протягом усього періоду промислової експлуатації освітлювальної установки. Однак через старіння й забруднення ламп, світильників і поверхонь приміщення рівень освітленості згодом знижується. Це необхідно враховувати при проектуванні освітлювальної установки. Тому початкова освітленість повинна бути трохи більше нормованої, що досягається введенням коефіцієнта запасу, значення якого також регламентовані. Залежно від типу ламп і світильників, наявності пилу й інших забруднень у приміщенні, способу обслуговування й тривалості експлуатації значення коефіцієнта K_z зазвичай приймається в межах 1,4...1,7.

Виходячи із цього для приміщення цеху вибираємо загальну систему освітлення, розряд зорових робіт IV, нормована освітленість для газорозрядних ламп – 200 лк, коефіцієнт запасу 1,4; для допоміжних приміщень нормована освітленість – 75 лк, коефіцієнт запасу – 1,4.

2.2. Розміщення освітлювальних приладів

Існують два способи розміщення світильників загального освітлення: рівномірне й локалізоване. При локалізованому способі питання про вибір місця розташування світильника має вирішуватися індивідуально в кожному конкретному випадку залежно від характеру виробничого процесу.

При загальному рівномірному освітленні, а по можливості й при локалізованому освітленні світильники з лампами розжарювання, лампами ДРЛ, ДРИ й натрієвими лампами рекомендується розташовувати по вершинах квадратних, прямокутних (з відношенням більшої сторони прямокутника до меншої не більше 1,5) або ромбічних (з гострим кутом ромба, близьким до 60°) полів.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Для розміщення світильників у приміщенні цеху повинні бути відомі наступні розміри:

H – висота приміщення, м, приймаємо 8 м;

h_p – висота розрахункової поверхні над підлогою, м, приймаємо 0,8 м;

h_c – відстань від світильника до перекриття (звис), м, приймаємо 1,5 м;

L – відстань між сусідніми світильниками в ряді або рядами світильників, м;

H_p – розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника, м;

l – відстань від крайніх світильників або рядів світильників до стіни, м, приймаємо 0,5 м;

A – довжина приміщення, м, приймаємо 48 м;

B – ширина приміщення, м, приймаємо 42 м.

Визначаємо розрахункову висоту підвісу світильника над умовною робочою поверхнею співвідношенням

$$H_p = H - h_p - h_c; \quad (2.1)$$

$$H_p = 8 - 0,8 - 1,5 = 5,7 \text{ м.}$$

Розподіл освітленості по освітлюваній поверхні визначається типом КСС і відношенням відстані між сусідніми світильниками або рядами до висоти їх установки (L/H_p). Для кожної КСС існує найвигідніше значення L/H_p , що забезпечує найбільшу рівномірність розподілу освітленості й максимальну енергетичну ефективність.

Для типу КСС Г рекомендується приймати значення L/H_p – 0,8...1,1. Відповідно до цього розраховуємо значення L .

$$L = 0,87 \cdot 5,7 = 5 \text{ м.}$$

Відстань від крайніх світильників або рядів до стін розраховуємо по формулі

$$l = (0,3 \dots 0,5) \cdot L, \quad (2.2)$$

$$l = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ м.}$$

Число рядів світильників, шт, визначається з виразу

					ДП 2024 141	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = \frac{B-2 \cdot l}{L} + 1 \quad (2.3)$$

$$R = \frac{42-2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 8,4 \approx 8 \text{ шт.},$$

а число світильників у ряді, шт, зі співвідношення:

$$N_R = \frac{A-2 \cdot l}{L} + 1 \quad (2.4)$$

$$N_R = \frac{48-2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 9,6 \approx 10 \text{ шт.}$$

Після чого перераховуються реальні відстані:

- між рядами світильників:

$$L_b = \frac{B-2 \cdot l}{R-1} \quad (2.5)$$

$$L_b = \frac{42-2 \cdot 2,5}{8-1} = 5,285 \text{ м};$$

- між центрами світильників у ряді

$$L_A = \frac{A-2 \cdot l}{N_R-1} \quad (2.6)$$

$$L_A = \frac{48-2 \cdot 2,5}{10-1} = 4,78 \text{ м.}$$

Для прямокутних приміщень перевіряється умова

$$1 \leq L_A/L_b \leq 1,5$$

$$1 \leq 0,9 \leq 1,5.$$

Оскільки, умова не дотримується, необхідно зменшити число світильників у ряді на один. Визначимо відстані з урахуванням змін:

- між рядами світильників

$$L_b = \frac{42-2 \cdot 2,5}{8-1} = 5,285 \text{ м};$$

- між центрами світильників у ряді

$$L_A = \frac{48-2 \cdot 2,5}{9-1} = 5,375 \text{ м.}$$

$$1 \leq 1,02 \leq 1,5 \text{ – умова виконується.}$$

Загальне число світильників, шт, визначаємо по формулі:

$$N_{\text{св}} = R \cdot N_R \quad (2.7)$$

$$N_{\text{св}} = 8 \cdot 9 = 72 \text{ шт.}$$

					ДП 2024 141	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Розрахунок освітлювальних установок методом коефіцієнта використання світлового потоку

Розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм, визначається по формулі

$$\Phi_{\text{рп}} = \frac{E_n \cdot K_z \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{\text{оу}}} \quad (2.8)$$

де E_n – нормоване значення освітленості, лк;

K_z – коефіцієнт запасу;

F – освітлювальна площа, м²;

$\eta_{\text{оу}}$ – коефіцієнт використання світлового потоку освітлювальної установки, в.о;

z – відношення середньої освітленості до мінімальної, приймаємо 1,15.

Визначаємо площу приміщення, м²

$$F = A \cdot B \quad (2.9)$$

$$F = 48 \cdot 42 = 2016 \text{ м}^2.$$

Під коефіцієнтом використання світлового потоку розуміють відношення світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до світлового потоку джерела світла. Його значення приймається залежно від коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення: стелі – $r_{\text{п}}$ (приймаємо 0,5), стін – $r_{\text{с}}$ (приймаємо 0,3), розрахункової поверхні – $r_{\text{р}}$ (приймаємо 0,1) і від індексу приміщення $i_{\text{п}}$.

$$i_{\text{п}} = \frac{A \cdot B}{H_{\text{р}} \cdot (A+B)} \quad (2.10)$$

$$i_{\text{п}} = \frac{48 \cdot 42}{5,7 \cdot (48+42)} = 3,93.$$

По довідковим матеріалам вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку.

У зв'язку з тим, що найближчі числа в таблиці 3 і 5, скористаємося методом лінійної інтерполяції:

$$\eta_{\text{оу}} = \frac{88-70}{5-3} (3,93 - 3) + 70 = 78,37 \%$$

Тоді

									ДП 2024 141	Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\Phi_{\text{рп}} = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 2016 \cdot 1,15}{72 \cdot 0,7837} = 11504,4 \text{ лм.}$$

По величині $\Phi_{\text{рп}}$ приймаємо для освітлення лампи типу ДРЛ250(10)-4 потужністю 250 Вт зі світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 13500$ лм, значення якого відрізняється від $\Phi_{\text{рп}}$ на величину

$$\Delta\Phi = \frac{13500 - 11504,4}{11504,4} \cdot 100 = 17,35 \%,$$

Отже, значення $\Delta\Phi$ знаходиться в допустимих межах (-10... +20 %).

Вибираємо світильник типу РСП18-250-001 з лампою типу ДРЛ250, тип КСС Г, ККД = 70 %, ступінь захисту IP20.

Відстань між сусідніми світильниками в ряді, м:

$$L_A = \frac{A - 2l - N_R \cdot l_c}{N_R - 1} \quad (2.11)$$

$$L_A = \frac{48 - 2 \cdot 2,5 - 9 \cdot 1,534}{9 - 1} = 3,65 \text{ м.}$$

Розрахунок світильників для інших приміщень виконуємо аналогічно, результати зведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Результати розрахунку світильників

Найменування приміщень	Тип світильника	Тип лампи	Світловий потік, лм	Тип КСС	ККД, %	Ступінь захисту
1	2	3	4	5	6	7
Приміщення цеху	РСП18-250-001	ДРЛ250 (10)-4	24000	Г-1	70	IP20
Кімната відпочинку	ЛСП18	ЛБ18	1250	Д-2	70	IP20
Вентиляторна	ЛСП18	ЛБ18	1250	Д-2	70	IP20
Трансформаторна	ЛСП18	ЛБ18	1250	Д-2	70	IP20

2.4. Електропостачання освітлювальних установок

Вибір перерізів проводів освітлювальних мереж виконується за умовами:

- 1) по допустимому нагріванню тривалим розрахунковим струмом;
- 2) по допустимій втраті напруги;

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141				

3) по механічній міцності залежно від матеріалу провідника й способу прокладки.

Освітлювальна мережа живиться від трансформатора ТМГ630-6(10)/0,4, що має $\Delta P_k=6,75$ кВт, $U_k=5,5\%$, $\beta=0,9$, $\cos\varphi=0,6$. Умови навколишнього середовища нормальні.

Використовуючи вирази:

$$U_{ka} = \Delta P_k \cdot 100/S_n; \quad (2.12)$$

$$U_{kp} = \sqrt{U_k^2 - U_{ka}^2}; \quad (2.13)$$

$$\Delta U_T = \beta \cdot (U_{ka} \cdot \cos \varphi + U_{kp} \cdot \sin \varphi). \quad (2.14)$$

Визначимо втрату напруги в трансформаторі:

$$U_{ka} = 6,75 \cdot 100/630 = 1,07 \%;$$

$$U_{kp} = \sqrt{5,5^2 - 1,07^2} = 5,39 \%;$$

$$\Delta U_T = 0,9 \cdot (1,07 \cdot 0,6 + 5,39 \cdot 0,8) = 4,5 \%.$$

Знайдемо допустиму втрату напруги:

$$\Delta U_{доп} = 10 - \Delta U_T \quad (2.15)$$

$$\Delta U_{доп} = 10 - 4,5 = 5,5 \%$$

Розрахункове навантаження освітлення окремих приміщень і будівель, для яких не виконувався повний світлотехнічний розрахунок визначається по формулі:

$$P_p = K_{п} \cdot \sum K_{ПРА_i} \cdot P_{ном_i}, \quad (2.16)$$

де $K_{ПРА_i}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в пускорегулюючій апаратурі (приймаємо для ЛЛ 1,2, а для ДРЛ 1,1);

$P_{ном_i}$ – номінальна потужність лампи, кВт;

$K_{п}$ – коефіцієнт попиту, приймаємо 1.

Визначаємо розрахункові активні навантаження групових ліній, прийнявши $K_{п} = 1$:

$$\text{лінія С1: } P_{p1} = 1 \cdot 1,1 \cdot (0,25 \cdot 34) = 9,35 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С2: } P_{p2} = 1 \cdot 1,1 \cdot (0,25 \cdot 36) = 9,9 \text{ кВт};$$

$$\text{лінія С3: } P_{p3} = 1 \cdot 1,2 \cdot (0,018 \cdot 30) = 0,648 \text{ кВт}.$$

					ДП 2024 141	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для лінії, що живить один освітлювальний щиток, $K_{\pi}=1$ [1]. У цьому випадку її розрахункове навантаження складе суму навантажень всіх трьох ліній.

$$P_{\text{РП}} = P_{\text{p1}} + P_{\text{p2}} + P_{\text{p3}} \quad (2.17)$$

$$P_{\text{РП}} = 9,35 + 9,9 + 0,648 = 19,9 \text{ кВт.}$$

Обчислюємо момент навантаження кожної лінії по формулі:

$$M = P_p \cdot L, \quad (2.18)$$

де L – довжина лінії від живильного щитка до зосередженого навантаження, м;

P_p – зосереджене навантаження, кВт.

Значення L визначаємо для кожного ряду кожної лінії по формулі

$$L = l_1 + l \cdot (N_R - 1) / 2, \quad (2.19)$$

де l_1 – довжина ділянки лінії від освітлювального щитка до першого світильника, м;

N_R – число світильників в одному ряду, шт.

$$\text{лінія С1: } l_1 = 4,36 + 5,375 \cdot (7-1)/2 = 20,49 \text{ м;}$$

$$l_2 = 14,1 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 35,6 \text{ м;}$$

$$l_3 = 19,37 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 40,87 \text{ м;}$$

$$l_4 = 24,66 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 46,16 \text{ м;}$$

$$\text{лінія С2: } l_5 = 29,14 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 50,64 \text{ м;}$$

$$l_6 = 35,23 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 56,73 \text{ м;}$$

$$l_7 = 40,51 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 62,01 \text{ м;}$$

$$l_8 = 45,79 + 5,375 \cdot (9-1)/2 = 67,29 \text{ м;}$$

$$\text{лінія С3: } l_9 = 48,7 + 0,7 \cdot (4-1)/2 = 49,75 \text{ м;}$$

$$l_{10} = 50,7 + 0,7 \cdot (4-1)/2 = 51,75 \text{ м;}$$

$$l_{11} = 43 + 0,7 \cdot (4-1)/2 = 44,05 \text{ м;}$$

$$l_{12} = 46 + 0,7 \cdot (4-1)/2 = 47,05 \text{ м;}$$

$$l_{13} = 0,8 + 0,7 \cdot (7-1)/2 = 2,9 \text{ м;}$$

$$l_{14} = 1,1 + 0,7 \cdot (7-1)/2 = 3,2 \text{ м.}$$

Обчислюємо власні моменти навантаження ліній по формулі (2.18):

$$\text{лінія С1: } M_1 = 9,35 \cdot (20,49 + 35,6 + 40,87 + 46,16) = 1388,2 \text{ кВт} \cdot \text{м;}$$

$$\text{лінія С2: } M_2 = 9,9 \cdot (50,64 + 56,73 + 62,01 + 67,29) = 2343 \text{ кВт} \cdot \text{м;}$$

					ДП 2024 141	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лінія С1: $M_3 = 0,648 \cdot (49,75+51,75+44,05+47,05+2,9+3,2) = 128,75$ кВт · м;

лінія ПЛ: $M_{П} = 19,9 \cdot 3 = 59,7$ кВт · м.

Приведений момент розраховується по формулі

$$M_{ПР} = \sum M + \sum \alpha \cdot m, \quad (2.20)$$

де $\sum M$ – сума моментів даного й всіх наступних по напрямку струму ділянок з тим же числом проводів лінії, що й на даній ділянці;

$\sum \alpha \cdot m$ – сума наведених моментів ділянок з іншим числом проводів;

α – коефіцієнт приведення моментів. Приймаємо $\alpha = 1,85$.

$$M_{ПР} = 1388,2 + 2343 + 1,85 \cdot 128,75 = 3969,4 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

За умовою мінімуму витрати кольорового металу переріз провідників до розгалуження визначається по формулі:

$$F = M / (C \cdot \Delta U_{\text{доп}}), \quad (2.21)$$

де C – величина, що залежить від провідності матеріалу жил проводу або кабелю, а також номінальної напруги мережі. Приймаємо $C = 48$ для трифазної системи й $C = 8$ для однофазної.

$$F = 3969,4 / (48 \cdot 5,5) = 15,03 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $F = 16 \text{ мм}^2$. Вибираємо чотирижильний кабель АВВГ 4х16-0,66 з $I_{\text{доп}} = 60 \cdot 0,92 = 55,2$ А (по [1] з понижувальним коефіцієнтом 0,92).

Виконуємо розрахунок живильної лінії по допустимому нагріванню. Для цього знайдемо середньозважене значення коефіцієнта потужності навантаження по формулі:

$$\cos \varphi = \sum \cos \varphi_i \cdot P_{pi} / \sum P_{pi}, \quad (2.22)$$

де $\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності навантаження i -ї лінії;

P_{pi} – розрахункова потужність освітлювального навантаження i -ї лінії;

$$\cos \varphi = (0,92 \cdot 0,648 + 0,5 \cdot (0,25 \cdot 70)) / (0,648 + 9,9 + 9,35) = 0,47.$$

Розрахунковий струм визначається по формулі:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} \quad (2.23)$$

$$I_p = \frac{19,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,47} = 51,18 \text{ А.}$$

					ДП 2024 141	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки, $55,2 \text{ А} < 61,18 \text{ А}$, то вибраний по допустимій втраті напруги переріз жил кабелю не проходить по нагріванню розрахунковим струмом.

Отже, приймаємо кабель АВВГ 4x25-0,66 з $I_{\text{доп}} = 75 \cdot 0,92 = 69 \text{ А}$.

Визначаємо фактичну втрату напруги в живильній лінії по формулі:

$$\Delta U_{\text{ПЛ}} = M / (C \cdot F) \quad (2.24)$$

$$\Delta U_{\text{ПЛ}} = 3969,4 / (48 \cdot 25) = 3,3 \%$$

Обчислюємо залишкову величину допустимої втрати напруги, по якій розраховуються групові лінії

$$\Delta U'_{\text{доп}} = 5,5 - 3,3 = 2,2 \%$$

Визначаємо площу перерізу провідників групової лінії С1:

$$F = 1388,2 / (48 \cdot 2,2) = 13,1 \text{ мм}^2$$

Приймаємо чотирижильний кабель марки АВВГ 4x16-0,66 з $I_{\text{доп}} = 60 \cdot 0,92 = 55,2 \text{ А}$.

Знаходимо розрахунковий струм лінії по (2.23):

$$I_p = \frac{9,35}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,47} = 28,7 \text{ А}$$

Вибраний переріз задовольняє умові нагрівання, оскільки $55,2 \text{ А} > 28,7 \text{ А}$.

Визначаємо площу перерізу провідників групової лінії С2:

$$F = 2343 / (48 \cdot 2,2) = 22,2 \text{ мм}^2$$

Приймаємо п'ятижильний кабель марки АВВГ 5x25-0,66 з $I_{\text{доп}} = 75 \cdot 0,92 = 69 \text{ А}$.

Знаходимо розрахунковий струм лінії:

$$I_p = \frac{9,9}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,47} = 30,4 \text{ А}$$

Вибраний переріз задовольняє умові нагрівання, оскільки $55,2 \text{ А} > 30,4 \text{ А}$.

Визначаємо площу перерізу провідників групової лінії С3:

$$F = 128,75 / (8 \cdot 2,2) = 7,31 \text{ мм}^2$$

По допустимій втраті напруги слід прийняти трьохжильний кабель АВВГ 3x10-0,66 з $I_{\text{доп}} = 42 \text{ А}$.

Знаходимо розрахунковий струм лінії по формулі (2.23) для однофазної лінії:

$$I_p = \frac{0,648}{0,23 \cdot 0,92} = 3 \text{ А}$$

					ДП 2024 141	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір марки й перерізу проводів

Лінія	I_p	$I_{доп}$	Марка й переріз провідника
П1	51,18	69	АВВГ 4x25-0,66
С1	28,7	55,2	АВВГ 4x16-0,66
С2	30,4	69	АВВГ 4x25-0,66
С3	3	42	АВВГ 3x10-0,66

2.5. Проектування освітлювальної установки аварійного освітлення

У механічно-складальному цеху передбачається аварійне освітлення для евакуації. Для цього виділяється із системи робочого освітлення два світильники РСП18 з лампами типу ДРЛ потужністю 250 Вт. $\Phi_{л} = 13500$ лм. Зазначені світильники живляться від щитка аварійного освітлення ЩАО.

Відповідно до нормативних вимог аварійне евакуаційне освітлення має забезпечувати освітленість на підлозі основних проходів не менш 0,5 лк. Основні проходи визначаються на підставі розміщення технологічного устаткування в цеху, плану евакуації тощо. Для того щоб перевірити, чи виконується ця вимога при прийнятому розташуванні світильників евакуаційного освітлення, визначаємо освітленість, що створюється світильниками в контрольній точці. Як контрольну точку вибираємо точку A_1 . Для аварійного освітлення розрахункова висота визначається відстанню від світильника до підлоги, тобто $H_p + h_p$.

Для розрахунку необхідно визначити відстань від розрахункової точки до проекції осі симетрії світильника на площину, їй перпендикулярно проходящу через розрахункову точку.

За планом знаходимо $d = 3,66$ м, $H_p = 5,7$ м, $h_p = 0,8$ м.

Визначаємо тангенс кута падіння світлового променя в розрахункову точку:

$$tg\alpha = \frac{d}{H_p} \quad (2.25)$$

$$tg\alpha = \frac{3,66}{5,7+0,8} = 0,56 \Rightarrow \alpha = 29^\circ$$

По таблиці довідникових матеріалів шляхом лінійної інтерполяції визначаємо $(I_{29})_{1000} = 398,6$ кд.

										ДП 2024 141	Арк.
											25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Розраховуємо значення освітленості від світильника з умовною лампою зі світловим потоком 1000 лм:

$$E_{1000} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2} \quad (2.26)$$

$$E_{1000} = \frac{398.6}{6.5^2} \cdot \cos^3 29^\circ = 9.34 \text{ лк}$$

Прийнявши коефіцієнт додаткової освітленості $\mu=1,1$, визначимо освітленість у контрольній точці по формулі:

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_{\text{л}}}{K_s \cdot 1000} \cdot \mu \quad (2.27)$$

$$E = \frac{9,34 \cdot 13500}{1,4 \cdot 1000} \cdot 1,1 = 99,1 \text{ лк.}$$

Оскільки, $99,1 \text{ лк} > 0,5 \text{ лк}$, то можна зробити висновок про те, що контрольна точка освітлюється на належному рівні.

Над виходами із приміщення цеху встановлюємо світильники з написом "Вихід" типу ЛБО22-6 з компактною люмінесцентною лампою 6 Вт.

Розрахункове навантаження аварійного освітлення:

$$P_{pa1} = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,06 \cdot 2 = 0,144 \text{ кВт};$$

$$P_{pa2} = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,06 \cdot 3 = 0,216 \text{ кВт.}$$

Розрахункове навантаження живильної лінії:

$$P_{pp2} = 0,072 \cdot 5 = 0,36 \text{ кВт.}$$

Довжина лінії:

$$L_1 = 22,4 \text{ м};$$

$$L_2 = 51,6 \text{ м.}$$

Момент навантаження для лінії:

$$M_{п2} = 0,36 \cdot 4 = 1,44 \text{ кВт} \cdot \text{ м};$$

$$M_4 = 0,144 \cdot 22,4 = 3,23 \text{ кВт} \cdot \text{ м};$$

$$M_5 = 0,216 \cdot 51,6 = 11,15 \text{ кВт} \cdot \text{ м.}$$

Приведений момент:

$$M_{пр} = 1,44 + 1,85(3,23 + 11,15) = 28,04 \text{ кВт} \cdot \text{ м.}$$

Переріз провідників, мм^2 :

					ДП 2024 141	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{28,04}{8 \cdot 6,15} = 0,57 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $F=10 \text{ мм}^2$. Вибираємо трижильний кабель АВВГ 3х2,5-0,66 з $I_{\text{доп}} = 19 \cdot 0,92=17,5 \text{ А}$.

Виконуємо розрахунок живильної лінії по допустимому нагріванню.

Розрахунковий струм у провідниках:

$$I_p = \frac{0,36}{0,4 \cdot 0,7} = 1,29 \text{ А}$$

Оскільки, $1,29 \text{ А} < 17,5 \text{ А}$, то вибраний по допустимій втраті напруги переріз жил кабелю проходить по нагріванню розрахунковим струмом.

Фактична втрата напруги в лінії при невідомому перерізі, %, визначається по формулі:

$$\Delta U_{\text{пл}} = M / (C \cdot F) \quad (2.28)$$

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{1,44}{8 \cdot 2,5} = 0,072 \%$$

Обчислюємо залишкову величину допустимої втрати напруги, по якій розраховуються групові лінії:

$$\Delta U'_{\text{доп}} = 5,5 - 0,072 = 5,43 \%$$

Визначаємо площу перерізу провідників групових ліній, мм^2 , по формулі

$$F = M / (C \cdot \Delta U_{\text{доп}})$$

Для лінії С4:

$$F_4 = \frac{3,23}{8 \cdot 5,47} = 0,07 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо трижильний кабель марки АВВГ 3х2,5-0,66 з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Знаходимо розрахунковий струм лінії:

$$I_p = \frac{0,144}{0,4 \cdot 0,7} = 0,51 \text{ А}$$

Вибраний переріз задовольняє умові нагрівання, оскільки $19 \text{ А} > 0,51 \text{ А}$.

$$\Delta U_{\text{с10}} = \frac{3,23}{8 \cdot 2,5} = 0,16 \%$$

Для лінії С5:

$$F_5 = \frac{11,15}{8 \cdot 5,47} = 0,26 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо трижильний кабель марки АВВГ 3х2,5-0,66 з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2024 141

Знаходимо розрахунковий струм лінії:

$$I_p = \frac{0,216}{0,4 \cdot 0,7} = 0,77 \text{ А.}$$

Вибраний переріз задовольняє умові нагрівання, оскільки $19 \text{ А} > 0,26 \text{ А}$.

$$\Delta U_{c11} = \frac{11,15}{8 \cdot 2,5} = 0,56 \text{ \%}.$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 2.3

Таблиця 2.3

Вибір марки й перерізу провідників аварійного освітлення

Лінія	I_p	$I_{доп}$	Марка й переріз провідника	Фактична втрата напруги, %
П2	3	19	АВВГ 3х2,5-0,66	0,072
С4	0,51	19	АВВГ 3х2,5-0,66	0,16
С5	0,77	19	АВВГ 3х2,5-0,66	0,56

2.6. Вибір місця розташування, числа й типу групових щитків освітлення

Щитки освітлення вибираються залежно від необхідної кількості автоматичних вимикачів і розрахункових струмів ліній, що приєднуються. Для робочого освітлення приймаємо групові щитки серії ЩРО 8505 з однополюсними автоматичними вимикачами типу ВА61F29-1В на групових лініях. У щитку робочого освітлення потрібно сім автоматів (лінія С1 - 3, С2 - 3, С3 - 1). Приймаємо щиток типу ЩРО 8505 (кількість вимикачів – 9) із затискачами на вводі. Два вимикачі є резервними, що може виявитися корисним в умовах експлуатації освітлювальних установок. У якості ЩАО вибираємо щиток типу ОП-3 із шістьма однофазними вимикачами на групових лініях (два з них – резервні) із затискачами на вводі.

У якості ЩАО вибираємо щиток типу ЩО 8505-1218.

Вибір автоматичних вимикачів для захисту ліній, що живлять світильники з лампами типу ДРЛ здійснюється по виразу:

$$I_{ном p} > 1,3 \cdot I_p. \quad (2.29)$$

Наприклад, для лінії С1:

$$I_{ном p} > 1,3 \cdot 28,7 = 37,31 \text{ А.}$$

									ДП 2024 141	Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Приймаємо для захисту трифазної групової лінії однополюсний автоматичний вимикач типу ВА61F29-1В з $I_{ном р} = 40$ А [1].

Струм спрацьовування електромагнітного розщеплювача $I_{ср р} = 40 \cdot 5 = 200$ А.

Аналогічно виконуємо розрахунок і вибір автоматичних вимикачів для інших групових ліній. Результати заносимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Вибір автоматичних вимикачів для освітлення

Лінія, що захищається	Розрахунковий струм лінії, А	Тип автомату	Номинальний струм розщеплювача, А	Кратність струмової відсічки	Струм спрацьовування ел.маг. розщеплювача, А
П1	51,18	ВА61F29-1В	63	5	315
П2	0,3	ВА61F29-1В	0,5	3	1,5
С1	28,7	ВА61F29-1В	40	5	200
С2	30,4	ВА61F29-1В	40	5	200
С3	3	ВА61F29-1В	3,2	5	16
С4	0,26	ВА61F29-1В	0,5	3	1,5
С5	0,26	ВА61F29-1В	0,5	3	1,5

3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ ЦЕХУ

Провідники й кабелі найбільш розповсюджених середніх перерізів і звичайних конструкцій мають сталу часу близько 10 хв. Це дає підставу взяти за розрахунковий максимум середнє навантаження тривалістю 30 хв (так званий півгодинний максимум). Інші елементи заводських мереж, наприклад потужні струмопроводи або трансформатори, мають, звичайно, більшу сталу часу нагрівання, і тому їх варто вибирати не за півгодинним максимумом, а за максимумом більшої тривалості. Однак для створення однакової методики розрахунків «Вказівки щодо визначення електричних навантажень промислових підприємств» рекомендують для всіх елементів електричних мереж визначати півгодинний максимум.

Розрахунок навантажень силових електроприймачів цеху виконаємо за методом впорядкованих діаграм. Цей метод установлює зв'язок між розрахунковим навантаженням і індивідуальними показниками режиму роботи ЕП. Опускаючи математичні висновки і їх обґрунтування, докладно викладені автором методу Каяловим, наведемо лише кінцевий вираз, за яким встановлюється розрахункове значення півгодинного коефіцієнта максимуму активного навантаження:

$$\hat{E}_i = \left(1 + \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{f_{\hat{E}^2}^2 - 1}}{\sqrt{n_d}}\right) \cdot (A \cdot \hat{E}_0 - \hat{A}), \quad (3.1)$$

де $f_{\hat{E}^2}$ – коефіцієнт форми впорядкованої діаграми індивідуальних коефіцієнтів використання; K_ϕ – груповий коефіцієнт форми графіка навантаження за найбільш завантажену зміну, а коефіцієнти A і B мають такі числові значення, що залежать від величини K_ϕ : при $K_\phi < 1,1$ буде $A = 4,1$; $B = 3,1$, при $1,1 < K_\phi < 1,5$ буде $A = 2,8$; $B = 1,67$.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			3. Визначення електричних навантажень силових електроприймачів цеху	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мащенко О.А.					30	
Реценз.						ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Дослідження Каялова показали, що величини f_{E^2} лежать у межах 1,05-1,2. Слід зазначити, що всі висновки й розрахункові формули методу упорядкованих діаграм справедливі при $K_{\phi} < 1,5$ і $K_{BK} > 0,15$, що звичайно має місце на практиці. Менше значення коефіцієнта включення обумовлює короткочасні, нестабільні режими роботи, при яких навантаження має піковий характер.

Безпосереднє практичне використання виразу при ручному розрахунку виявляється важким, унаслідок складної структури залежності величини K_{ϕ} від показників режиму роботи ЕП, що входять у групу. Застосовуючи ряд припущень у практичних розрахунках, виявилось можливим спростити вираз і виразити півгодинний коефіцієнт максимуму залежно від двох основних величин: n_e і K_e . Отримані результати наводяться у таблицях підручників, довідникових та інших навчальних матеріалах.

Таблиця побудована для n_e від 4 до 200. Оскільки,

$$K_M = P_M / P_C, \text{ тоді } P_M = K_M / P_C, \text{ а } K_e = P_C / P_n.$$

Тоді максимальне навантаження

$$P_M = K_M \cdot K_e \cdot P_n$$

Або для розрахункового навантаження

$$P_p = K_M \cdot K_e \cdot P_n.$$

де P_C – середня потужність працюючих ЕП за найбільш завантажену зміну; P_n – сумарна активна потужність працюючих ЕП; K_e – груповий коефіцієнт використання активної потужності за найбільш завантажену зміну; K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності.

Як вже говорилося, величина коефіцієнта максимуму активної потужності знаходиться за таблицями залежно від величини групового коефіцієнта використання K_e і так званого ефективного числа електроприймачів групи n_e .

Ефективним (приведеним) числом електроприймачів n_e називається таке число однорідних за режимом роботи електроприймачів однакової потужності, яке дає ту ж величину розрахункового максимуму P_p , що і група електроприймачів різних за потужністю і режимом роботи.

Розрахунок електричних навантажень виконуємо за встановленою формою.

					ДП 2024 141	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як приклад, визначимо розрахункове навантаження вузла живлення ШС1.

Груповий коефіцієнт використання визначаємо по формулі:

$$K_{в гр} = \sum K_{в} \cdot P_{н} / \sum P_{н}, \quad (3.2)$$

де $K_{в}$ – коефіцієнт використання;

$P_{н}$ – номінальна потужність ЕП, кВт

$$K_{в гр} = 15,59/106,8=0,146.$$

Ефективне число електроприймачів, шт, визначаємо по формулі:

$$n_e = (\sum P_{н})^2 / \sum n \cdot P_{ні}^2, \quad (3.3)$$

де n_e – ефективна кількість електроприймачів;

$\sum P_{н}$ – сума потужностей ЕО, кВт;

n – кількість електроприймачів;

$P_{ні}$ – номінальна потужність одного електроприймача.

$$n_e = 500^2 / 29040 = 6 \text{ штук}$$

K_p визначаємо виходячи зі значення ефективного числа електроприймачів (n_e) і коефіцієнта використання по [1]

$$K_p=1,75$$

Активна розрахункова потужність ЕП підключених до вузла живлення P_p , кВт визначається по формулі:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{в} \cdot P_{н}, \quad (3.4)$$

де K_p – коефіцієнт розрахункової потужності.

$$P_p = 1,75 \cdot 74,8 = 130,9 \text{ кВт}$$

Реактивна розрахункова потужність ЕП Q_p , квар, визначається по формулі:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum K_{в} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg} \varphi \text{ при } n_e < 10, \quad (3.5)$$

де $P_{н}$ – номінальна потужність електрообладнання, кВт

$\operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності

$$Q_p = 1,1 \cdot 121,45 = 133,59 \text{ квар.}$$

Повну потужність групи ЕП S_p , кВт·А визначаємо по формулі:

$$S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2} \quad (3.6)$$

де Q_p – розрахункова реактивна потужність, квар;

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

P_p – активна потужність, кВт.

$$S_p = \sqrt{130,9^2 + 133,59^2} = 187,03 \text{ кВ А}$$

Розрахунковий струм визначаємо по формулі:

$$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_n \quad (3.7)$$

де I_p – розрахунковий струм, А;

U_n – номінальна напруга, 0,38 кВ.

$$I_p = 187,03 / \sqrt{3} \cdot 0,38 = 317,97 \text{ А.}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 3.1.

					ДП 2024 141	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Розрахунок силових електричних навантажень цеху

Вихідні дані						Розрахункові величини			Ефективне число ЕП, n_e	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A
по завданню технологів				по довідковим даним		$K_{вРн}$	$K_{вРнга}$	$n_{рн2}$			Активна, $P_p, кВт$	Реактивна, $Q_p, кВар$	Повна, $S_p, кВА$	
найменування ЕП	кількість ЕП шт, n	номінальна		коефіцієнт використання, K_v	коефіцієнт реактивної потужності, $\cos\phi/tg\phi$									
		Одного ЕП, $P_n, кВт$	Загальна, $P_n, кВт$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШС1														
2Н150 (свердильний)	1	30	30	0,14	0,5/1,73	4,2	7,27	900	9	1,75	130,9	133,59	187	317,9
1К62(токарний)	1	28	28	0,14	0,5/1,73	3,92	6,78	784						
2Н118(свердильний)	3	24	72	0,14	0,5/1,73	10,08	17,44	5184						
1К625(токарний)	1	26	26	0,14	0,5/1,73	3,64	6,3	676						
1Н713(токарний)	1	30	30	0,14	0,5/1,73	4,2	7,27	900						
1425(токарний)	2	32	64	0,14	0,5/1,73	8,96	15,5	4096						
СС2112А(кувальний)	2	40	80	0,2	0,65/1,17	16	18,72	6400						
2Н150(свердильний)	2	30	60	0,14	0,5/1,73	8,4	15,53	3600						
АР-41(токарний)	2	35	70	0,14	0,5/1,73	9,8	16,95	4900						
ГФ2654(вальцювальний)	1	40	40	0,14	0,5/1,73	5,6	9,69	1600						
Всього	16	315	500	0,146	0,515/1,674	74,8	121,45	29040						
ШС2														
2620Е(розточувальний)	2	25	50	0,14	0,5/1,73	7	12,11	2500	3	3,12	117,06	71,38	137,1	208,6
ЛГ26(фрезерний)	1	20	20	0,14	0,5/1,73	2,8	4,84	400						
2М55(свердильний)	2	23	46	0,14	0,5/1,73	6,44	11,14	2116						
6Р83Г(фрезерний)	1	26	26	0,14	0,5/1,73	3,64	6,3	676						
2622ВФ1(розточувальн.)	3	42	126	0,14	0,5/1,73	17,64	30,5	15876						
Всього	9	136	268	0,14	0,5/1,73	37,52	64,89	21568						

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШСЗ														
АМ13828(фрезерний)	1	40	40	0,14	0,5/1,73	5,6	9,69	1600	4	2,33	107,79	82,97	136,02	206,95
АМ13829(фрезерний)	2	30	60	0,14	0,5/1,73	8,4	15,53	3600						
СС2220(кувальний)	2	25	50	0,2	0,65/1,17	10	11,7	2500						
2А554(свердлильний)	1	24	24	0,14	0,5/1,73	3,36	5,81	576						
АМ16132(фрезерний)	3	45	135	0,14	0,5/1,73	18,9	32,7	18225						
Всього	9	164	309	0,152	0,53/1,618	46,26	75,43	26501						
ШР1														
Вентилятори	2	8	16	0,7	0,8/0,75	11,2	8,4	512	2	1,14	12,77	9,24	15,76	22,84
Всього	2	8	16	0,7	0,8/0,75	11,2	8,4	512						
Загальна														
ШС1	16	315	500	0,146	0,515/1,674	74,8	121,45	29040	15	1,76	299,3	270,65	403,5	613,8
ШС2	9	136	268	0,14	0,5/1,73	37,52	64,89	21568						
ШСЗ	9	164	309	0,152	0,53/1,618	46,26	75,43	26501						
ШР1	2	8	16	0,7	0,8/0,75	11,2	8,4	512						
Кран опорний	2	1,4	2,8	0,1	0,5/1,73	0,28	0,48	3,92						
Всього по цеху	38	624,4	1095,8	0,248	0,569/1,5	170,06	270,65	77624,92						

4. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕХОВОЇ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Правильний вибір числа й потужності трансформаторів на підстанціях промислових підприємств є одним з основних питань раціональної побудови систем електропостачання підприємств. У нормальних умовах силові трансформатори повинні забезпечувати живлення всіх електроприймачів підприємства.

При виборі числа і потужності силових трансформаторів важливими критеріями є надійність електропостачання, використання і витрати кольорового металу та використовувана трансформаторна потужність.

Число трансформаторів визначається за вимогами надійності електропостачання. Припустимо, що маємо дві схеми з одним та двома трансформаторами. Задача полягає в тому, щоб з двох схем обрати одну з найкращими показниками. Оптимальний варіант обирається на основі порівняння приведених річних витрат за кожним варіантом.

Для електропостачання в промисловості в основному використовуються трансформаторні підстанції внутрішньої й зовнішньої установки потужністю 160...2500 кВА і напругою до 10 кВ включно. Комплектні трансформаторні підстанції (КТП) цієї групи складаються із шаф вводу на напругу 10 кВ і розподільчих пристроїв (РУ) напругою до 1 кВ. Для КТП застосовують як масляні, так і заповнені негорючою рідиною або сухі трансформатори спеціального виконання з бічними виводами. Цехові КТП по роду установки можуть бути вбудовані, прибудовані й ті що окремо побудовані. Найбільш економічні одотрансформаторні підстанції, які при наявності централізованого резерву або зв'язків по вторинній напрузі можуть забезпечити надійне живлення споживачів II і III категорій.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Белеканич				4. Вибір кількості, потужності трансформаторів та місця розташування цехової трансформаторної	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Мащенко О.А.						36	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.	Балюта С.М.							

У системах електропостачання промислових підприємств найпоширеніші наступні одиничні потужності трансформаторів: 630, 1000, 1600 та 2500 кВА.

Знаходимо орієнтовну потужність трансформатора:

$$S_H = S_p / (\beta_T \cdot N_T), \quad (4.1)$$

де S_H – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

S_p – розрахункова потужність цеху, кВ·А;

N_T – число трансформаторів;

β_T – коефіцієнт завантаження трансформатора.

$$S_H = 403,5 / (0,9 \cdot 1) = 448,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Виходячи з виконаних розрахунків і довідникових даних, таку умову можуть задовольнити такі варіанти трансформаторів: два трансформатори потужністю $S_{\text{тр.н}} = 250$ кВА; один трансформатор потужністю $S_{\text{тр.н}} = 630$ кВА.

Технічні дані параметри вибраних варіантів трансформаторів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Технічні параметри трансформаторів і їх вартість

№ n/n	Тип	S _{ном} , кВА	U _{ном} , кВ		Втрати, кВт		U _{кз} , %	I _{кз} , %	Вартість K, грн
			ВН	НН	P _{х.х.}	P _{к.з.}			
1	ТМГ – 250/10	250	10	0,4	0,82	3,7	4,5	2,3	110440
2	ТМГ – 630/10	630	10	0,4	1,25	6,75	5,5	1,25	195920

4.1. Техніко-економічне порівняння попередньо вибраних варіантів трансформаторів

Приведені витрати визначаються при будівництві в одну чергу та при подальшій експлуатації при незмінних річних витратах. При цьому передбачається, що подальша експлуатація відбуватиметься з незмінними річними витратами, тобто втрати енергії та витрати на ремонт і технічне обслуговування та інші витрати не змінюються протягом року в розглянутий період експлуатації.

Приведені річні витрати визначаємо за формулою:

$$C_s = \tilde{N}_s + \dot{A}_f \cdot \dot{E}_s, \quad (4.2)$$

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141				

де \tilde{N}_i – експлуатаційні витрати i -го варіанта;

\hat{A}_i – коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, приймаємо рівним 0,15;

K_i – капітальні затрати i -го варіанта.

Експлуатаційні витрати складаються із суми річних втрат електроенергії та амортизаційних витрат, тобто:

$$\tilde{N}_i = \tilde{N}_{Wi} + \tilde{N}_a. \quad (4.3)$$

Втрати електричної енергії в трансформаторах обчислюємо за формулою:

$$\Delta W = n \cdot \left[\left(P_{\text{х.х.}} + \hat{E}_{\zeta \cdot \hat{a}} \cdot \frac{2 \cdot \hat{\sigma} \cdot \hat{\sigma} \cdot \%}{100} \cdot S_{i \cdot \text{д} \cdot \text{д}} \right) \cdot \hat{O}_i + \hat{E}_{\zeta}^2 \cdot \left(P_{\text{к.з.}} + \hat{E}_{\zeta \cdot \hat{a}} \cdot \frac{U_{\text{к.з.}} \cdot \%}{100} \cdot S_{i \cdot \text{д} \cdot \text{д}} \right) \cdot \tau \right], \quad (4.4)$$

де n – число трансформаторів однакової потужності; $P_{\text{х.х.}}$ – втрати холостого ходу, кВт; $K_{\text{з.в.}}$ – коефіцієнт втрат потужності електросистеми, $K_{\text{зп}} = 0,06$ кВт/квар; $I_{\text{х.х.}}$ – струм холостого ходу трансформатора, %; $S_{\text{н.тр.}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А; $T_{\text{д}}$ – дійсний час роботи трансформатора на рік, год; $K_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора; $P_{\text{к.з.}}$ – втрати короткого замикання, кВт; $U_{\text{к.з.}}$ – напруга короткого замикання, %; τ – час максимальних втрат, приймаємо $\tau = 4300$ год.

Коефіцієнти завантаження трансформаторів за варіантами визначаються за формулою:

$$\hat{E}_{\zeta^3} = \frac{S_{\text{д} \cdot \Sigma}}{S_{i \cdot \text{д} \cdot \text{д}}}, \quad (4.3)$$

де $S_{\text{д} \cdot \Sigma}$ – повне сумарне навантаження цеху, з табл. 3.1.

Тоді, для двох трансформаторів потужністю 2x250 кВА

$$\hat{E}_{\zeta^1} = \frac{S_{\text{д} \cdot \Sigma}}{2 \cdot S_{i \cdot \text{д} \cdot \text{д}1}} = \frac{403,5}{2 \cdot 250} = 0,81.$$

Для одного трансформатора потужністю 630 кВА

$$\hat{E}_{\zeta^2} = \frac{S_{\text{д} \cdot \Sigma}}{S_{i \cdot \text{д} \cdot \text{д}2}} = \frac{403,5}{630} = 0,64.$$

Втрати електричної енергії за варіантами:

					ДП 2024 141	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta W_1 = 2 \cdot \left[\left(0,82 + 0,06 \cdot \frac{2,3}{100} \cdot 250 \right) \cdot 8760 + 0,81^2 \cdot \left(3,7 + 0,06 \cdot \frac{4,5}{100} \cdot 250 \right) \cdot 4300 \right] = 45097 \text{ €} \cdot \text{ã};$$

$$\Delta W_2 = 1 \cdot \left[\left(1,25 + 0,06 \cdot \frac{1,25}{100} \cdot 630 \right) \cdot 8760 + 0,64^2 \cdot \left(6,75 + 0,06 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 630 \right) \cdot 4300 \right] = 30639 \text{ €} \cdot \text{ã} .$$

Вартість втрат електроенергії по варіантах визначаємо за формулою:

$$\tilde{N}_{W_s} = \Delta W_s \cdot C_0, \text{ ¤}, \quad (4.4)$$

де C_0 – вартість одного кВт·год, приймаємо на даний період $C_0 = 4 \text{ ¤} / \text{€} \cdot \text{ã}$.

Тоді,

$$\tilde{N}_{W1} = \Delta W_1 \cdot C_0 = 45097 \cdot 4 = 180388 \text{ ¤};$$

$$\tilde{N}_{W2} = \Delta W_2 \cdot C_0 = 30639 \cdot 4 = 122556 \text{ ¤}.$$

Щорічні амортизаційні витрати приймаємо 10 % від вартості трансформаторів, тобто:

$$\tilde{N}_{a1} = 0,1 \cdot (2 \cdot 110440) = 22088 \text{ ¤};$$

$$\tilde{N}_{a2} = 0,1 \cdot 195920 = 19592 \text{ ¤}.$$

Отже,

$$\tilde{N}_1 = \tilde{N}_{W1} + C_{a1} = 180388 + 22088 = 202476 \text{ ¤};$$

$$\tilde{N}_2 = \tilde{N}_{W2} + C_{a2} = 122556 + 19592 = 142148 \text{ ¤};$$

$$C_1 = \tilde{N}_1 + 0,15 \cdot \hat{E}_1 = 202476 + 0,15 \cdot (2 \cdot 110440) = 235608 \text{ ¤};$$

$$C_2 = \tilde{N}_2 + 0,15 \cdot \hat{E}_2 = 122556 + 0,15 \cdot 195920 = 151944 \text{ ¤}.$$

Результати техніко-економічних розрахунків зводимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Техніко-економічні розрахунки вибраних варіантів трансформаторів

№ п/п	Види витрат	Одиниці виміру	Порівняльні варіанти	
			I	II
1	2	3	4	5
1	Тип трансформатора	-	2хТМГ-250/10	ТМГ-630/10

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

1	2	3	4	5
2	Капітальні витрати	грн	220880	195920
3	Втрати електроенергії	кВт·год	45097	30639
4	Вартість втрат електроенергії	грн	180388	122556
5	Амортизаційні витрати	грн	22088	19592
6	Експлуатаційні витрати	грн	202476	142148
7	Приведені річні витрати	грн	235608	151944

Вибираємо варіант у якого менші приведені витрати, тобто на трансформаторній підстанції встановлюємо один трансформатор типу ТМЗ-630/10.

Трансформатор складається з активної частини, бака, кришки бака з вводами НН і ВН і виведеним на кришку бака приводом перемикача. Активна частина жорстко з'єднана із кришкою бака. Магнітопровід трансформаторів плоскошихтований, зібраний із пластин холоднокатаної електротехнічної сталі. Обмотки багат шарові циліндричні, намотані з обмотувального проводу. Відводи ВН виконані мідним проводом з посиленою паперовою ізоляцією, відводи НН із алюмінієвої шини. У верхній зоні активної частини встановлений перемикач відгалужень обмоток ВН. Бак трансформатора зварений. Він складається з верхньої рами, гофрованої стінки, обичайки, дна із привареними до нього швелерами, має в плані овальну форму. У нижній частині баків є вузол заземлення й зливальна пробка. У приварених до дна бака швелерах є отвори для кріплення трансформатора. На цих же швелерах за замовленням споживача встановлюються переставні транспортні ролики, що дозволяють робити поздовжнє або поперечне переміщення трансформатора. На кришці бака розміщені: вводи НН і ВН; привод перемикача; патрубок для заповнення маслом трансформатора; індикатор наявності масла; ремболт для підйому зібраного й заповненого маслом трансформатора; пластини з отворами для кріплення виробу на транспортних засобах на час транспортування; пробивний запобіжник (що поставляється по замовленню споживача), призначений для захисту мережі нижчої напруги від потрапляння підвищеного потенціалу.

										Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141					

5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Елементи системи електропостачання (СЕП) і електроприймачі змінного струму, що володіють індуктивністю (електродвигуни, трансформатори, перетворювачі тощо), споживають поряд з активною потужністю й реактивну, необхідну для створення електромагнітних полів. Її передача по електричних мережах знижує пропускну здатність ліній і трансформаторів по активній потужності й викликає додаткові втрати активної потужності й напруги. Тому при проектуванні СЕП прагнуть знизити споживану реактивну потужність до оптимального значення.

5.1. Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Для промислових підприємств із приєднаною потужністю менше 750 кВ А потужність компенсуючих пристроїв Q_{ky} , квар, визначається по формулі:

$$Q_{ky} = P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \quad (5.1)$$

де $\operatorname{tg}\varphi_1$ – фактичний коефіцієнт реактивної потужності (визначається за коефіцієнтом активної потужності);

$\operatorname{tg}\varphi_2$ – нормативний коефіцієнт реактивної потужності, відповідає оптимальному значенню коефіцієнта потужності, приймаємо 0,4.

P_p – активна потужність (приймається з табл. 3.1), кВт.

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_{\delta\Sigma}}{S_{\delta\Sigma}} = \frac{299,3}{403,5} = 0,74.$$

$\cos\varphi_1 = 0,74$, тоді $\operatorname{tg}\varphi_1$ дорівнює 0,9.

Отже,

$$Q_{ky} = 299,3 (0,9 - 0,4) = 149,65 \text{ квар.}$$

					ДП 2024 141		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Белеканич</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>			41		
<i>Реценз.</i>					<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>					5. Компенсація реактивної потужності		
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>					

Виходячи з отриманих даних, приймаємо до установки одну конденсаторну установку УКРМ 0.4 160/6-20 з шістьма ступенями регулювання потужності (20+20+20+30+30+40).

Конденсаторну батарею розмашовуємо в приміщення ТП і підключаємо її до шин низької напруги трансформатора.

Коефіцієнт активної потужності $\cos\varphi$ після компенсації реактивної потужності знаходимо по виразу:

$$\cos\varphi = \frac{D_{\delta}}{\sqrt{D_{\delta}^2 + (Q_{\delta} - Q_{\hat{E}O})^2}} \quad (5.2)$$

$$\cos\varphi = \frac{299,3}{\sqrt{299,3^2 + (270,65 - 160)^2}} = 0,94.$$

Значення $\cos\varphi = 0,94$ – задовільняє, отже конденсаторна установка вибрана правильно й реактивна потужність компенсована.

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$\beta_{\delta} = \frac{\sqrt{P_{\delta\Sigma}^2 + (Q_{\delta\Sigma} - Q_{\hat{E}O})^2}}{S_{\text{тп}}} = \frac{\sqrt{299,3^2 + (270,65 - 160)^2}}{630} = 0,51.$$

5.2. Регулювання режиму роботи батарей конденсаторів

Для підвищення економічності режиму розподільчих мереж і поліпшення якості напруги в електроприймачах крім централізованого регулювання використовують також місцеве регулювання. Найбільш розповсюдженими засобами місцевого регулювання в розподільчих мережах є батареї конденсаторів (БК), а в мережах промислових підприємств – ще і синхронні двигуни (СД). Зміна реактивної потужності, що генерується місцевими засобами регулювання напруги, приводить до зміни:

- втрат потужності в електричній мережі за рахунок зміни поточкорозподілу;
- напруги в вузлах приєднання місцевого джерела реактивної потужності на величину

					ДП 2024 141	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta U = \frac{\omega \cdot C \cdot x_c \cdot U}{U_{\text{н}}}$$

де x_c – індуктивний опір ділянки електричної мережі, на якому змінюється поточкорозподіл.

Перший з цих факторів визначає економічність режиму електричної мережі, другий – ефективність роботи електроприймачів.

При визначенні режиму місцевих джерел реактивної потужності в розподільній мережі необхідне урахування обох факторів. При цьому найвигідніший режим роботи розподільної мережі може бути отриманий як результат оптимізації з урахуванням активних і реактивних навантажень, за якими спостерігають одночасно, а також напруг у вузлах мережі. У загальному випадку враховуються також втрати потужності в місцевих засобах регулювання у функції реактивної потужності, а іноді вплив напруги на техніко-економічні показники електроприймачів.

Для виявлення закономірностей керування режимом місцевих джерел реактивної потужності доцільно визначити зв'язки між найбільш важливими параметрами. Неважливі параметри режиму, які несуттєво впливають на режим місцевих засобів регулювання, можуть не враховуватися.

Важливими параметрами, звичайно, виявляються напруга в місці приєднання джерела реактивної потужності або поблизу нього і реактивний струм живильної ділянки мережі, наприклад, I_2 (див. рис. 5.1) і, коли необхідно врахувати втрати потужності в місцевих засобах регулювання, його власний реактивний струм I_1 .

Для керування режимом місцевих джерел реактивної потужності можна використовувати автоматичні регулятори напруги, на вимірjuвальному органі яких реалізується функція типу

$$U_0 = U + {}^2_1 \cdot k_1 - {}^2_2 \cdot k_2,$$

де U – напруга вузла мережі; 2_1 , 2_2 – реактивні струми джерела і живильної ділянки мережі, відповідно; k_1 , k_2 , – сталі коефіцієнти, що мають розмірність опору.

					ДП 2024 141	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для керування режимом силових конденсаторів, втрати в яких несуттєво впливають на режим мережі, можна використовувати функцію типу:

$$U_0 = U - I_2 \cdot k_2,$$

де I_2 – залежний параметр режиму.

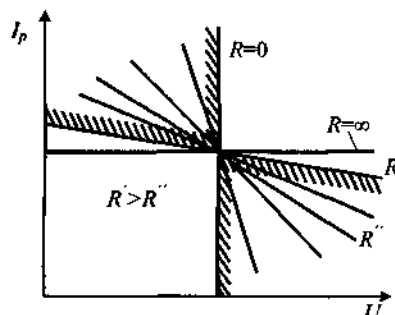


Рис. 5.1. Характеристика налаштування регулятора режиму конденсаторної батареї з уставками

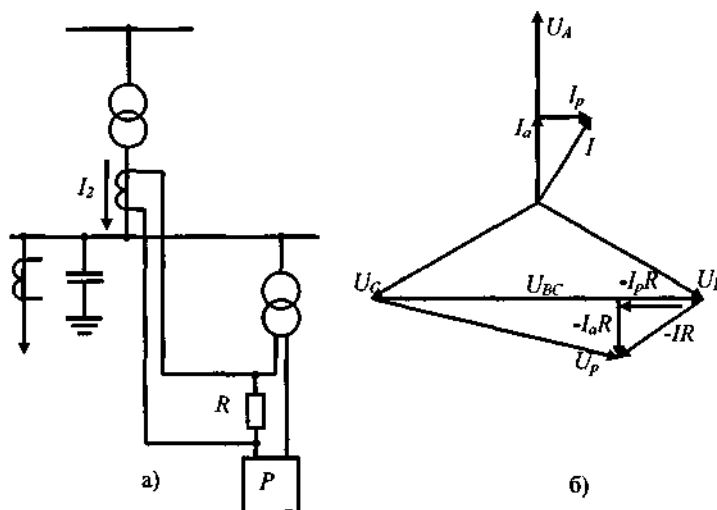


Рис. 5.2. Схема ввімкнення регулятора і векторна діаграма параметрів, які подаються на вимірювальний орган регулятора БК

Схема вмикання регулятора, що реалізовує функцію $U_0 = U - I_2 \cdot k_2$, наведена на рис. 5.2, а), а векторна діаграма величин – на рис. 5.2, б). Збільшення реактивного струму живильної ділянки мережі супроводжується зменшенням напруги на вимірювальному органі регулятора. У результаті регульована місцевим джерелом реактивна потужність збільшується, а реактивний струм живильної ділянки мережі на відповідну величину зменшується. Таким чином

практично здійснюється регулювання реактивного струму контрольованої ділянки мережі.

Уставка за реактивним струмом залежить від напруги. Збільшення напруги супроводжується збільшенням уставки за реактивним струмом, що перешкоджає підвищенню напруги. Зниження напруги, навпаки, призводить до зменшення реактивного струму живильної ділянки мережі, що перешкоджає зниженню напруги. Вплив напруги на уставку реактивного струму визначається величиною k_2 : чим більший цей коефіцієнт, тим менший вплив напруги. У мережі при $k_2 = 0$ регулятор реагує тільки на напругу; при $R \rightarrow \infty$ він практично реагує тільки на реактивний струм.

За необхідності підтримування стабільної напруги не в вузлі приєднання місцевого джерела реактивної потужності, а на деякій відстані від нього, у колі вимірювального органа використовують струмову компенсацію напруги.

Регулятор режиму БК характеризується зоною нечутливості, уставкою регулювання і витримкою часу. Зона нечутливості вибирається більшою за зміну напруги на вимірювальному органі, що виникає в результаті вмикання або вимикання секції БК:

$$\Delta U_{i\dot{a}\dot{z}} = \frac{U_i}{k_f} + \Delta U' = \frac{U_i}{k_f} + \frac{\Delta I_c}{k_\delta} \cdot R,$$

де U_i – зміна напруги у вузлі мережі, що виникає в результаті вмикання секції;

k_δ, k_f – коефіцієнти трансформації трансформаторів струму і напруги;

ΔI_c – реактивний струм секції БК;

R – опір функціонального перетворювача.

Практично зона нечутливості вибирається так, щоб підвищення напруги до гранично допустимого для конденсаторів значення супроводжувалося їхнім вимкненням. Цю умову задовольняє $\Delta U_{i\dot{a}\dot{z}} = 2,5 \div 3 \%$.

На рис. 5.3 наведено розрахункову залежність, яка використовується для вибору нечутливості регулювання або опору резистора в колі вимірювального органа при різних потужностях секцій конденсаторних батарей Q_c і коефіцієнтах

					ДП 2024 141	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трансформації трансформаторів струму для регулятора типу АРКОН (автоматичне регулювання конденсаторів).

При заданій величині $\Delta U'$ необхідно визначити величину R , а при заданому значенні R – величину $\Delta U'$ (яка для одержання $\Delta U_{i\dot{a}}$ повинна бути збільшена на зміну напруги в електричній мережі ΔU_i і можливу похибку регулятора).

Уставка U_δ встановлюється після вмикання регулятора в роботу з таким розрахунком, щоб режим БК відповідав необхідному (повністю ввімкнена або вимкнена).

При реалізації на вимірювальному органі функції $U_\delta = U + {}^2_1 \cdot k_1 - {}^2_2 \cdot k_2$ джерело реактивної потужності струмом I_l покриває не весь споживаний у вузлі реактивний струм, а тільки частину його.

Ця функція дозволяє здійснювати необхідний розподіл генерованого реактивного струму між декількома паралельно працюючими місцевими джерелами, втрати в яких повинні враховуватися, наприклад, декількома синхронними двигунами.

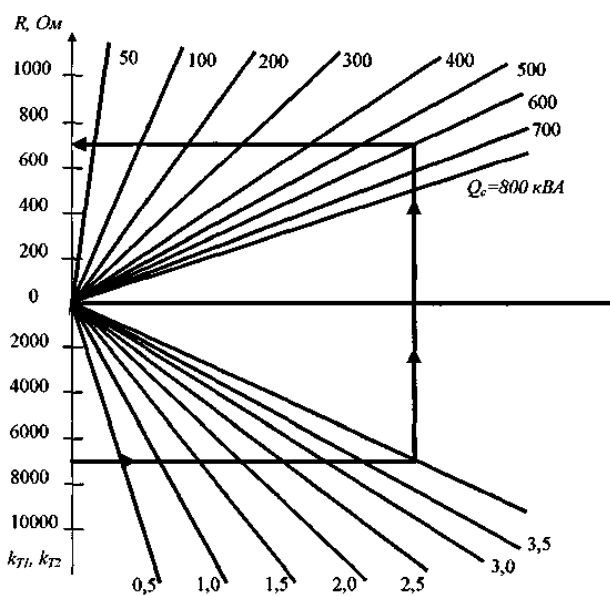


Рис. 5.3. Розрахункова залежність для налаштування регулятора конденсаторної батареї, що реагує на реактивний струм та напругу: Q_c – потужність секції батареї; R – опір резистора, що використовується як перетворювач струму в напругу; k_{c1} , k_{c2} – результуючі коефіцієнти трансформації трансформаторів струму; $\Delta U'$ – зміна напруги на вимірювальному органі, що зумовлена зміною реактивного струму

6. ВИБІР СХЕМИ ТА РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

6.1. Вибір схеми електропостачання цеху

Мережі напругою до 1 кВ служать для розподілу електроенергії всередині цехів промислових підприємств, а також для живлення деяких ЕП, розташованих за межами цеху на території підприємства.

Внутріцехові мережі діляться на живильні й розподільчі. Живильні відходять від джерела живлення (ТП) до розподільчих шаф (РШ), до розподільчих шинопроводів або до окремих великих ЕП.

Розподільчі внутріцехові мережі – це мережі, до яких безпосередньо підключаються різні ЕП цеху. Розподільчі мережі виконуються за допомогою розподільчих шинопроводів (ШРА) і розподільчих шаф.

По своїй структурі схеми внутріцехових електричних мереж можуть бути радіальними, магістральними й змішаними.

Радіальні схеми застосовують при наявності груп зосереджених навантажень із нерівномірним розподілом їх по площі цеху.

Превагами радіальних схем є їхня висока надійність, тому що аварія на одній лінії не впливає на роботу ЕП, підключених до іншої лінії. Недоліками радіальних схем є: мала економічність, пов'язана зі значною витратою провідникового матеріалу, труб, розподільчих шаф; велике число захисної й комутаційної апаратури; обмежена гнучкість мережі при переміщеннях ЕП, викликаних зміною технологічного процесу; невисокий ступінь індустріалізації монтажу.

Магістральні схеми доцільно застосовувати для живлення силових і освітлювальних навантажень, розподілених відносно рівномірно по площі цеху, а також для живлення групи ЕП, що належать однієї технологічної лінії. При магістральних схемах одна живильна магістраль обслуговує кілька розподільчих шаф і великі ЕП цеху.

					ДП 2024 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Белеканич</i>			6. Вибір схеми та розрахунок силової мережі цеху	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>					47	
<i>Реценз.</i>						<i>ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

Перевагами магістральних схем є: спрощення РУНН трансформаторних підстанцій, висока гнучкість мережі, що дає можливість перестановок технологічного устаткування без переробки мережі, використання уніфікованих елементів (шинопроводів), що дозволяють вести монтаж індустріальними методами. Недоліком є їхня менша надійність у порівнянні з радіальними схемами, тому що при аварії на магістралі всі підключені до неї ЕП втрачають живлення. (Однак введення в схему резервних перемичок між найближчими магістралями значно підвищує надійність магістральних схем) Застосування шинопроводів постійного перерізу приводить до деякої перевитрати провідникового матеріалу.

На практиці для електропостачання цехових ЕП радіальні або магістральні схеми рідко зустрічаються в чистому вигляді. Найбільше поширення мають змішані (комбіновані) схеми, елементи, що сполучають у собі, радіальні і магістральні схеми і придатні для будь-якої категорії електропостачання. Такі схеми застосовуються в прокатних і мартенівських цехах металургійної промисловості, у ковальських, котельних і механоскладальних цехах, на збагачувальних фабриках тощо. У змішаних схемах від головних живильних магістралей і їхніх відгалужень електроприймачі живляться через розподільчі шафи РШ або шинопроводи ШРА залежно від розташування устаткування в цеху. На ділянках з малим навантаженням, де прокладка розподільчих шинопроводів недоцільна, встановлюються розподільчі шафи, що приєднуються до найближчих шинопроводів (розподільчим або магістральним).

Виходячи з вищесказаного для живлення механічно-складального цеху приймаємо змішану схему електропостачання.

6.2. Розрахунок живильної й розподільчої мережі на стороні низької напруги

Підключення ЕП до розподільчих пунктів здійснюється за допомогою проводів з алюмінієвою жилою в полівінілхлоридній ізоляції марки АПВ прокладених у трубі.

					ДП 2024 141	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переріз провідників вибирається за умовою:

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (6.1)$$

де I_p – розрахунковий струм провідника, А;

$K_{\text{п}}$ – поправочний коефіцієнт на умови прокладки проводів; $K_{\text{п}} = 0,92$ [1].

Для багатодвигунного електропривода розрахунковий струм визначається як сума номінальних потужностей двигунів

$$I_p = \frac{\sum P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{max}}}, \quad (6.2)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, кВ;

$U_{\text{ном}} = 0,38$ кВ;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

η_{max} – коефіцієнт корисної дії двигуна, %.

Типи двигунів, що встановлені на відповідних верстатах і їх параметри, наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Типи двигунів, що встановлені на верстатах цеху

№ ЕП	Найменування ЕО	Тип двигуна	P_p , кВт	η , %	$\cos \varphi$	$K_{\text{п}}$	I_n , А	$I_{\text{пуск}}$, А	$I_{\text{пик}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Свердлильний верстат 2Н150	АИР100L4	4	85	0,84	7	8,52	59,64	230,7
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
2	Токарний верстат 1К62	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,98	32,37	227,2
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
3,4,5	Свердлильний верстат 2Н118	АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	190,7
		АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5	15,2	114	
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
6	Токарний верстат 1К625	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,98	32,37	261,3
		АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	
		АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7	35,1	245,7	

					ДП 2024 141	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Токарний верстат 1Н713	АИР100L4	4	85	0,84	7	8,52	59,64	230,7
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
8,9	Токарний верстат 2536	АИР100S4	3	82,0	0,83	7	6,7	46,9	256,8
		АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5	15,2	114	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
10, 11	Кувальний верстат СС2112А	АИР100S4	3	82,0	0,83	7	6,7	46,9	270,2
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
12, 13	Свердлильний верстат 2Н150	АИР100L4	4	85	0,84	7	8,52	59,64	230,7
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
14, 15	Токарний верстат Ар-41	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,98	32,37	261,9
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
16	Вальцювальний верстат ГФ2654	АИР100S4	3	82,0	0,83	7	6,7	46,9	270,2
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
17, 18	Розточувальний верстат 2620Е	АИР80А4	1,1	75,0	0,81	5,5	2,75	15,13	259,1
		АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	
		АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7	35,1	245,7	
19	Фрезерний верстат ЛГ26	АИР80В4	1,5	78	0,83	5,5	3,52	19,4	183,6
		АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5	15,2	114	
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
20, 21	Свердлильний верстат 2М55	АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	217,5
		АИР100S4	3	82,0	0,83	7	6,7	46,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
22	Фрезерний верстат 6Р83Г	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,98	32,37	261,3
		АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	
		АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7	35,1	245,7	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2024 141

Арк.

50

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23, 24, 25	Розточуваль- ний верстат 2622ВФ1	АИР80В4	1,5	78	0,83	5,5	3,52	19,4	273,5
		АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7	35,1	245,7	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
26	Фрезерний верстат АМ13828	АИР100S4	3	82,0	0,83	7	6,7	46,9	270,2
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
		АИР180S4	22	90	0,87	5,5	42,7	234,9	
27, 28	Фрезерний верстат АМ13829	АИР100L4	4	85	0,84	7	8,52	59,64	230,7
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР160S4	15	89,5	0,89	7	28,6	200,2	
29, 30	Кувальний верстат СС2220	АИР80А4	1,1	75,0	0,81	5,5	2,75	15,13	259,1
		АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	
		АИР160М4	18,5	90,0	0,89	7	35,1	245,7	
31	Свердлильний верстат 2А554	АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7	10,6	74,2	190,7
		АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5	15,2	114	
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
32, 33, 34	Фрезерний верстат АМ16132	АИР100L4	4	85	0,84	7	8,52	59,64	436,5
		АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,98	164,9	
		АИР180М4	30	91,5	0,86	7	58	406	
35, 36	Кран опорний	МТКF011-6	1,4	61,5	0,66	8	5,25	42	47,3
		МТКF011-6	1,4	61,5	0,66	8	5,25	42	
37, 39	Вентилятори	АИР132М4	11	87,5	0,87	7,5	21,9	164,3	164,3

Вибираємо провід для підключення верстату 2Н150 за умовою (6.1).

Визначаємо розрахунковий струм по формулі (6.2)

$$I_{p5} = \frac{4+11+15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,895 \cdot 0,89} = 57,3 \text{ А.}$$

Вибираємо провід АПВ-0,4 4(1x2,5) $I_{доп} = 14,8 \cdot 0,92 = 17,5 \text{ А}$ $17,5 \text{ А} > 14,8 \text{ А}$.

Аналогічно вибираються перерізи провідників для інших електроприймачів і результати вибору заносяться в табл. 6.2.

										Арк.
										51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141					

Вибір марки й перерізу проводів

№ ЕП	Найменування ЕО	I_p, A	Марка і переріз провідника	$I_{доп}, A$
1	Свердлильний верстат 2Н150	57,3	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
2	Токарний верстат 1К62	53,6	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
3,4,5	Свердлильний верстат 2Н118	47,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
6	Токарний верстат 1К625	49,6	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
7	Токарний верстат 1Н713	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
8,9	Токарний верстат 2536	62,9	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
10,11	Кувальний верстат СС2112А	77,4	АПВ – 0,4 4(1x50)	$120 \cdot 0,92 = 110,4$
12,13	Свердлильний верстат 2Н150	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
14,15	Токарний верстат Ар-41	61,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
16	Вальцювальний верстат ГФ2654	77,4	АПВ – 0,4 4(1x50)	$120 \cdot 0,92 = 110,4$
17,18	Розточувальн. верстат 2620Е	47,5	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
19	Фрезерний верстат ЛГ26	39,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
20,21	Свердлильний верстат 2М55	44,7	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
22	Фрезерний верстат 6Р83Г	49,6	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
23,24,25	Розточувал. верстат 2622ВФ1	81,3	АПВ – 0,4 4(1x50)	$120 \cdot 0,92 = 110,4$
26	Фрезерний верстат АМ13828	77,4	АПВ – 0,4 4(1x50)	$120 \cdot 0,92 = 110,4$
27,28	Фрезерний верстат АМ13829	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$
29,30	Кувальний верстат СС2220	47,5	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
31	Свердлильний верстат 2А554	47,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	$55 \cdot 0,92 = 50,6$
32,33,34	Фрезерний верстат АМ16132	86,6	АПВ – 0,4 4(1x50)	$120 \cdot 0,92 = 110,4$
35,36	Опорний кран	10,45	АПВ – 0,4 4(1x2,5)	$19 \cdot 0,92 = 17,5$
37,38	Вентилятори	21,9	АПВ – 0,4 4(1x6)	$30 \cdot 0,92 = 27,6$

Як апарати захисту вибираємо автоматичні вимикачі з комбінованим розщеплювачем з нерегульованою зворотньою залежною від струму характеристикою.

Для вибору автоматичного вимикача вони повинні задовольняти наступним умовам

$$I_{н.розщ} \leq I_{н.вим.} \quad (6.3)$$

					ДП 2024 141	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{н.розщ.}$ – номінальний струм розщеплювача автоматичного вимикача, А

$I_{н.вим.}$ – номінальний струм автоматичного вимикача, А

$$I_{н.розщ.} \geq I_p \quad (6.4)$$

де I_p – розрахунковий струм, А

$$K_{відс.} \geq 1,25 \cdot I_{пик} / I_{н.} \quad (6.5)$$

де $K_{відс.}$ – кратність відсічки;

$I_{пик}$ – піковий струм, А;

Вибираємо автоматичний вимикач для верстату 2Н150 за умовами (6.3-6.5):

$$63 \text{ А} < 100 \text{ А}$$

$$57,3 \text{ А} < 63 \text{ А}$$

Піковий струм $I_{пик}$, А визначаємо по формулі:

$$I_{пик} = I_{пущ. макс.} + \sum I_{н}' \quad (6.6)$$

де $I_{пущ. макс.}$ – максимальний пусковий струм двигуна, А;

$\sum I_{н}'$ – сума номінальних струмів інших електродвигунів, А

$$I_{пик} = 200,2 + 21,98 + 8,52 = 230,7 \text{ А}$$

Перевіряємо на неспрацьовування при пуску

$$10 \geq 1,25 \cdot 230,7 / 63 = 4,5.$$

Вибираємо автоматичний вимикач ВА 51-31 $I_{н.розщ.} = 63 \text{ А}$.

Перевіряємо відповідність вибраного автоматичного вимикача й живильного кабелю за умовою, при $K_3 = 1$ [1].

$$K_3 \cdot I_3 \leq I_{доп} \quad (6.7)$$

$$1 \cdot 63 < 64,4.$$

Аналогічно вибираються автоматичні вимикачі для інших електроприймачів і результати вибору заносяться в табл. 6.3.

					ДП 2024 141	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір автоматичних вимикачів

№ ЕП	Найменування ЕП	I_p, A	Марка і переріз провідника	$I_{доп}, A$	Тип апарата захисту	$I_{нз}, A$	$I_{нз,розш}, A$	$K_{адс}$	$K_p I_p \leq I_{\theta}$
1	Свердильний верстат 2Н150	57,3	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
2	Токарний верстат 1К62	53,6	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
3,4,5	Свердильний верстат 2Н118	47,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
6	Токарний верстат 1К625	49,6	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
7	Токарний верстат 1Н713	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
8,9	Токарний верстат 2536	62,9	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
10,11	Кувальний верстат СС2112А	77,4	АПВ – 0,4 4(1x50)	110,4	ВА 51-31	100	80	10	$1 \cdot 80 \leq 110,4$
12,13	Свердильний верстат 2Н150	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
14,15	Токарний верстат Ар-41	61,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	14	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
16	Вальцовальний верстат ГФ2654	77,4	АПВ – 0,4 4(1x35)	110,4	ВА 51-31	100	80	14	$1 \cdot 80 \leq 110,4$
17,18	Розточувальний верстат 2620Е	47,5	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
19	Фрезерний верстат ЛГ26	39,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	14	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
20,21	Свердильний верстат 2М55	44,7	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
22	Фрезерний верстат 6Р83Г	49,6	АПВ – 0,4 5(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	14	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
23,24,25	Розточувальний верстат 2622ВФ1	81,3	АПВ – 0,4 4(1x50)	110,4	ВА 51-31	100	100	14	$1 \cdot 100 \leq 110,4$
26	Фрезерний верстат АМ13828	77,4	АПВ – 0,4 4(1x35)	110,4	ВА 51-31	100	80	10	$1 \cdot 80 \leq 110,4$
27,28	Фрезерний верстат АМ13829	57,1	АПВ – 0,4 4(1x25)	64,4	ВА 51-31	100	63	10	$1 \cdot 63 \leq 64,4$
29,30	Кувальний верстат СС2220	47,5	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
31	Свердильний верстат 2А554	47,8	АПВ – 0,4 4(1x16)	50,6	ВА 51-31	100	50	10	$1 \cdot 50 \leq 50,6$
32,33,34	Фрезерний верстат АМ16132	86,6	АПВ – 0,4 4(1x50)	110,4	ВА 51-31	100	100	14	$1 \cdot 100 \leq 110,4$
35,36	Опорний кран	10,45	АПВ – 0,4 4(1x2,5)	17,5	ВА 51-25	25	12,5	10	$1 \cdot 12,5 \leq 17,5$
37,38	Вентилятори	21,9	АПВ – 0,4 4(1x6)	27,6	ВА 51-25	25	25	14	$1 \cdot 25 \leq 27,6$

Вибираємо кабель для підключення ШС1 розрахунковий струм беремо по табл. 3.1.

Вибираємо кабель АВВГ-0,4 (4x185) $I_{доп 1} = 385 \cdot 0,92 = 354,2 A$.

$$354,2 A > 317,97 A.$$

Аналогічно вибираються перерізи провідників для інших ШС, результати вибору заносяться в табл. 6.4.

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибір марки й перерізу кабеля до ШС

№ ШС	I_p , А	Переріз і марка кабеля	I_d , А
ШС1	317,97	АВВГ – 0,4 (4x185)	$385 \cdot 0,92 = 354,2$
ШС2	208,55	АВВГ – 0,4 (4x95)	$255 \cdot 0,92 = 234,6$
ШС3	206,95	АВВГ – 0,4 (4x95)	$255 \cdot 0,92 = 234,6$
ШР1	44	АВВГ – 0,4 (4x10)	$70 \cdot 0,92 = 64,4$

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

7. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок виконаємо у відносних одиницях, задаємося базовою потужністю $S_б = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, і базовою напругою $U_б = 10,5 \text{ кВ}$.

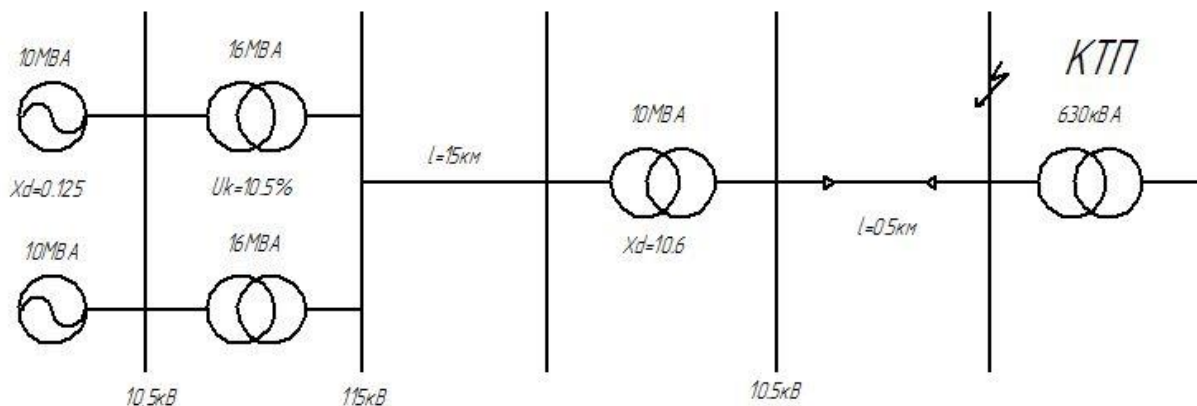


Рис.2.1. Вихідна схема для розрахунків струмів КЗ

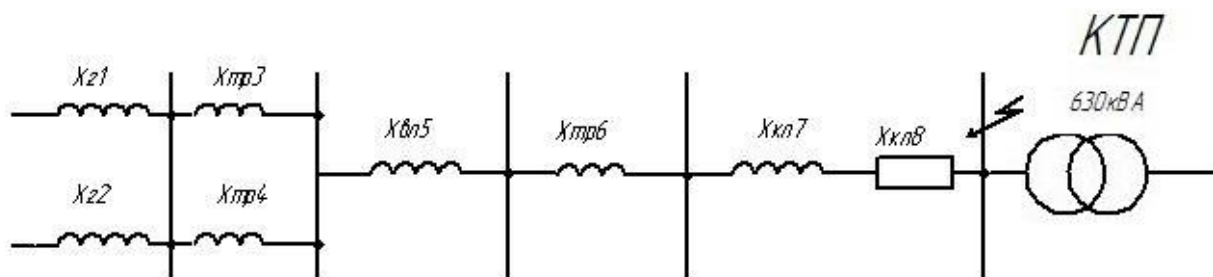


Рис.2.2. Схема заміщення

Обчислюємо опори схеми заміщення.

Опір генераторів $x_{Г1}$ і $x_{Г2}$, визначається по формулі:

ДП 2024 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Белеканич			
Перевір.	Мащенко О.А.			
Реценз.				
Н. Контр.				
Затверд.	Балюта С.М.			
7. Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного електрообладнання				
		Літ.	Арк.	Акрушів
			56	
ННІП і м. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2				

$$x_{r1}=x_{r2}=x_d/100 \cdot (S_6 / S_H), \quad (7.1)$$

де x_d – значення надперехідного опору генераторів;

S_6 – базове значення потужності, МВ·А;

S_H – номінальна потужність енергосистеми, МВ·А.

$$x_{r1} = x_{r2} = 0,125 \cdot (20/10) = 0,25.$$

Опір трансформаторів x_3, x_4 , визначається по формулі:

$$x_3 = x_4 = (U_k \% / 100) \cdot (S_6 / S_H), \quad (7.2)$$

де U_k – напруга короткого замикання трансформатора, %;

S_H – номінальна потужність трансформатора, МВ· А.

S_6 – базове значення потужності.

$$x_3 = x_4 = (10,5/100) \cdot (20/16) = 0,131.$$

Опір повітряної лінії x_2 , визначається по формулі:

$$x_2 = x_0 \cdot l \cdot (S_6 / U_{cp}^2), \quad (7.3)$$

де x_0 – індуктивний опір повітряної лінії, Ом/км;

l – довжина лінії, км

U_{cp} – середнє значення напруги лінії, кВ.

Індуктивний опір для повітряної лінії – $x_0 = 0,4$ Ом/км, для кабельної – $x_0 = 0,08$ Ом/км [1];

$$X_5 = 0,4 \cdot 15 \cdot (20 / 115^2) = 0,009.$$

За формулою (7.2) знаходимо опір трансформатора x_6

$$X_6 = (10,6/100) \cdot (20/10) = 0,212.$$

Знаходимо номінальний струм, А, кабелю, що живить КТП на високій стороні:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} \quad (7.4)$$

$$I_H = \frac{630}{1,73 \cdot 10,5} = 34,7 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель, що живить трансформатор марки NA2XS2Y6/10kV 3(1x35RM/16); $I_{доп} = 145$ А.

Індуктивний опір кабельної лінії x_7 визначається по формулі:

$$X_7 = x_0 \cdot l \cdot (S_6 / U_{cp}^2), \quad (7.5)$$

						ДП 2024 141	Арк.
							57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де x_0 – питомий індуктивний опір кабельної лінії, Ом/км;

l – довжина лінії, км

U_{cp} – середня напруга лінії, кВ.

$$X_7 = 0,102 \cdot 0,5 \cdot (20/10,52) = 0,009.$$

Активний опір кабельної лінії x_8 визначається по формулі:

$$R_8 = r_0 \cdot l \cdot (S_6 / U_{cp}^2), \quad (7.6)$$

де r_0 – активний опір кабельної лінії, Ом/км, приймаємо 1,95 [1];

l – довжина лінії, км.

$$R_8 = 1,95 \cdot 0,5 \cdot (20/10,52) = 8,7$$

Складаємо схему заміщення тільки з послідовно з'єднаними елементами.

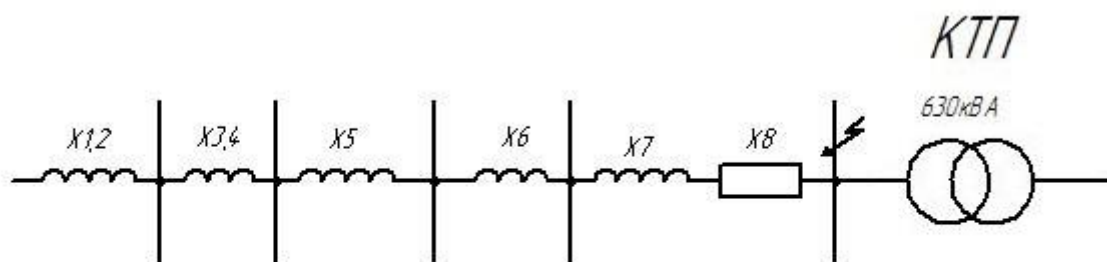


Рис.2.3. Схема заміщення тільки з послідовно з'єднаними елементами

Знаходимо сумарний опір $x_{1,2}$ і $x_{3,4}$

$$x_{1,2} = 0,25 \cdot \frac{0,25}{0,5} = 0,125$$

$$x_{3,4} = \frac{0,17}{0,262} = 0,06$$

Результуючий індуктивний і активний опори

$$X_{рез} = x_{1,2} + x_{3,4} + x_5 + x_6 + x_7 = 0,125 + 0,06 + 0,009 + 0,212 + 0,009 = 0,415$$

$$R_{рез} = r_8 = 0,177.$$

Повний результуючий опір $Z_{рез}$, визначається по формулі:

$$Z_{рез} = \sqrt{X_{рез}^2 + R_{рез}^2}, \quad (7.7)$$

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141					

$X_{рез}$ – результуючий індуктивний опір;

$R_{рез}$ – результуючий активний опір.

$$Z_{рез} = \sqrt{0,415^2 + 0,177^2} = 0,45;$$

Базисний струм $I_б$, кА, визначається по формулі:

$$I_б = S_б / \sqrt{3} \cdot U_б, \quad (7.8)$$

$$I_б = 20 / 1,73 \cdot 10,5 = 1,1 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання $I_к$, А визначається по формулі:

$$I_к = I_{по} = I_б / Z_{рез}, \quad (7.9)$$

де $I_{по}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання, кА;

$$I_к = I_{по} = 1,1 / 0,45 = 2,44 \text{ кА.}$$

Ударний струм i_y , кА, визначається по формулі:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{по}, \quad (7.10)$$

де K_y – ударний коефіцієнт; $K_y = 1,4$ [1];

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,44 = 4,83 \text{ кА.}$$

7.2. Вибір високовольтного електрообладнання

Параметри високовольтної шини вибирають виходячи з умови:

$$I_p \leq I_{доп.}, \quad (7.11)$$

де I_p – розрахунковий струм на стороні високої напруги, А;

$I_{доп.}$ – допустиме значення тривалого струму для, А;

$$I_p = 34,7 \text{ А} < I_{доп.} = 265 \text{ А.}$$

Вибираємо до установлення алюмінієву шину розмірами 3x25 мм, з алюмінію типу АДО, з $\sigma_{доп} = 49$ МПа.

Шину перевіряють на електродинамічну й термічну стійкість до впливу струмів КЗ.

Умова електродинамічної стійкості:

$$\dot{g}_{розр} \leq \dot{g}_{доп.}, \quad (7.12)$$

					ДП 2024 141	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\dot{g}_{розр}$ – розрахункова механічна напруга в матеріалі, МПа;

Розрахункову механічну напругу $\dot{g}_{розр}$, МПа, у матеріалі можна обчислити по формулі :

$$\dot{g}_{розр} = M/w, \quad (7.13)$$

де M – згинальний момент, що впливає на шину, Н м;

w – момент опору перерізу шини, що залежить від її розташування, см³.

Згинальний момент, що впливає на шину M , Н м, визначається так:

$$M = (f \cdot l)/10, \quad (7.14)$$

де f – максимальна сила, що впливає на шину, Н;

l – відстань між ізоляторами у шинній конструкції, м, беремо $l = 1$ м;

Момент опору перерізу шини w , см³, що розташована «пліском» розраховується по формулі:

$$w = (b \cdot h^2) / 6, \quad (7.15)$$

де b і h – відповідно ширина і висота шини, см;

$$w = (0,3 \cdot 2,5^2) / 6 = 0,3 \text{ см}^3.$$

Максимальна сила, що впливає на шину f , Н, обчислюється по формулі:

$$f = \sqrt{3} \cdot l/a \cdot i_y^2 \cdot 10^{-1}, \quad (7.16)$$

де a – відстань між фазами, м, беремо $a = 0,4$ м;

i_y – ударний струм короткого замикання, кА;

$$f = \sqrt{3} \cdot 1/0,4 \cdot 4,83^2 \cdot 10^{-1} = 10 \text{ Н};$$

$$M = (10 \cdot 1) / 10 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\dot{g}_{розр} = 1/0,3 = 3,3 \text{ МПа};$$

$$3,3 \text{ МПа} < 49 \text{ МПа};$$

Умова термічної стійкості шини:

$$f_{\text{мін}} < f_{\text{ш}}, \quad (7.17)$$

де $f_{\text{мін}}$ – мінімальний допустимий переріз, що витримає нагрівання струмами КЗ, мм²;

$f_{\text{ш}}$ – поперечни переріз шини, мм².

Мінімальний допустимий переріз, що витримає нагрівання струмами КЗ, $f_{\text{мін}}$, мм², обчислюється так:

					ДП 2024 141	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_{\text{мін}} = \sqrt{B_{\text{к}}/C_{\text{Т}}}, \quad (7.18)$$

де $B_{\text{к}}$ – тепловий імпульс струму короткого замикання, $A^2 \cdot c$;

$C_{\text{Т}}$ – коефіцієнт, що залежить від допустимої температури при короткому замиканні й матеріалу провідника.

Для шин з алюмінію $C_{\text{Т}} = 88$.

Тепловий імпульс струму короткого замикання $B_{\text{к}}$, $A^2 \cdot c$, обчислюється наступним чином:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{відк}} + T_{\text{а}}), \quad (7.19)$$

де $t_{\text{відк}}$ – час за який відключається струм короткого замикання, с;

$T_{\text{а}}$ – постійна загасання аперіодичної складової струму короткого замикання, с;

Для короткого замикання, що виникає у розподільчих мережах, приймають $T_{\text{відк}} = 0,6$ с, $T_{\text{а}} = 0,01$ с.

Тоді

$$B_{\text{к}} = 2,44^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 3,63 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$f_{\text{мін}} = \sqrt{3,63 \cdot 1000000} / 88 = 21,7 \text{ мм}^2.$$

Переріз шини $f_{\text{ш}}$, мм^2 , обчислюється за її розмірами:

$$f_{\text{ш}} = b \cdot h, \quad (7.20)$$

де b і h – відповідно ширина і висота шини, мм; мм;

$$f_{\text{ш}} = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}^2.$$

Перевіримо шини за (7.17)

$$21,7 \text{ мм}^2 < 75 \text{ мм}^2.$$

Опорні ізолятори вибираються за такою умовою:

$$f_{\text{розр}} \leq f_{\text{доп}}, \quad (7.21)$$

де $f_{\text{розр}}$ – максимальна сила, що діє на конструкцію із шин, Н;

$f_{\text{доп}}$ – допустима сила на шину, Н.

Допустима сила на шину $f_{\text{доп}}$, Н, розраховується по формулі:

$$f_{\text{доп}} = 0,6 \cdot f_{\text{руйн}}, \quad (7.22)$$

					ДП 2024 141	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $f_{руйн}$ – руйнівна сила на головку ізолятора, Н;

Для фарфорових ізоляторів вона становить $f_{руйн} = 25000$ Н.

Тоді,

$$f_{доп} = 0,6 \cdot 25000 = 15000 \text{ Н};$$

$$10 \text{ Н} < 15000 \text{ Н};$$

Отже, за довідником приймаємо до установки фарфоровий ізолятор типу ОФ – 2000 УХЛ.

Високовольтні апарати вибираються на порівнянні довідникових параметрів з розрахунковими, для цього складається порівняльна таблиця для кожного апарату.

Приймаємо до установки комплектний розподільчий пристрій серії КРУ2-10, що комплектується вакуумним вимикачем типу ВВ/TEL 10-20/630- У2-046, трансформатором струму ТПЛ 10/30, ошиновка виконана твердими шинами, що розташовуються «плиском».

Вибираємо вакуумний вимикач з електромагнітним приводом типу ВВ/TEL 10-20/630- У2-046. Вакуумні вимикачі ВВ/teL призначені для роботи в комплектних розподільчих пристроях (КРУ) і збірних камерах з одностороннім обслуговуванням (КСО) внутрішнього та зовнішнього встановлення класу напруги до 10 кВ трифазного змінного струму 50 Гц для систем з ізольованою та заземленою нейтраллю. Вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10 постачаються як для будівництва нових КРУ, так і для модернізації наявних. Під час модернізації вакуумні вимикачі ВВ/TEL-10 призначені для заміни застарілих і відпрацьованих свій ресурс масляних вимикачів, на вакуумні.

Порівняння розрахункових і довідникових параметрів високовольтного вимикача наведено в табл. 7.1.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Вибір високовольтного вимикача

Параметри вибору	Довідникові величини	Розрахункові величини	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{НОМ}} = 10,5$	$U_p = 10,5$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_p$ $10,5 = 10,5$
Номінальний струм, А	$I_{\text{НОМ}} = 630$	$I_p = 34,7$	$I_{\text{НОМ}} \geq I_p$ $630 > 34,7$
Номінальний струм відключення, кА	$I_{\text{НОМ відк}} = 20$	$I_{\text{по}} = 2,44$	$I_{\text{НОМ відк}} \geq I_{\text{по}}$ $20 > 2,44$
Динамічна стійкість, кА	$i_d = 52$	$i_y = 4,83$	$i_d \geq i_y$ $52 > 4,83$
Термічна стійкість, кА ² ·с	$I_t^2 \cdot t = 20^2 \cdot 4$	$B_k = 6,55$	$I_t^2 \cdot t \geq B_k$ $20^2 \cdot 4 > 6,55$

Для вибору трансформатора струму задаємося вторинним навантаженням приладів обліку та контролю електричної енергії, що підключаються до даного трансформатора струму.

Таблиця 7.2

Типи підключених приладів

Найменування	Тип	Повна потужність, $S_{2\text{пр}}, \text{В} \cdot \text{А}$
Амперметр	KWS-AC301	0,5
Ватметр	KWS-AC301	0,5
Вольтметр	KWS-AC301	0,5
Лічильник активної енергії	Енергоміра 5 (100) А	0,2
Лічильник реактивної енергії	Енергоміра 5 (100) А	0,2

Загальне підключене вторинне навантаження підключених приладів $\sum S_{2\text{пр}} = 1,9 \text{ В} \cdot \text{А}$. Вибираємо трансформатор струму ТПЛ 10/50.

Порівняння розрахункових і довідникових параметрів трансформатора струму наведено в табл. 7.3.

					ДП 2024 141	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір трансформатора струму

Параметри вибору	Довідникові величини	Розрахункові величини	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{ном} = 10$	$U_p = 10$	$U_{ном} \geq U_p$ $10 = 10$
Номінальний тривалий струм, А	$I_{ном} = 50$	$I_p = 34,7$	$I_{ном} \geq I_p$ $50 > 34,7$
Динамічна стійкість, кА	$\sqrt{2} \cdot K_d \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 250 \cdot 0,05$	$i_y = 4,83$	$\sqrt{2} \cdot K_d \cdot I_n \geq i_y = \sqrt{2} \cdot 250 \cdot 0,05 > 4,83$
Термічна стійкість, $кА^2 \cdot с$	$(K_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t = (45 \cdot 0,05)^2 \cdot 3$	$B_k = 6,55$	$(K_T \cdot I_{ном})^2 \cdot t \geq B_k$ $(45 \cdot 0,05)^2 \cdot 3 > 6,55$
Підключене навантаження, В·А	$S_{2номпр} = 10$	$\sum S_{2i0} = 1,9$	$S_{2номпр} \geq S_{2пр}$ $10 > 1,9$

Для вибору трансформатора напруги задаємося вторинним навантаженням підключеним до трансформатора напруги.

Типи підключених приладів

Найменування	Тип	Повна потужність, $S_{2пр}, В \cdot А$
Амперметр	KWS-AC301	0,5
Ватметр	KWS-AC301	2
Вольтметр	KWS-AC301	2
Лічильник активної енергії	Енергоміра 5 (100) А	9
Лічильник реактивної енергії	Енергоміра 5 (100) А	9

Загальне підключене вторинне навантаження підключених приладів $\sum S_{2i0} = 22,5 В \cdot А$ Вибираємо трансформатор напруги ЗНОЛ 06-10.

Порівняння розрахункових і довідникових параметрів трансформатора напруги наведено в табл. 7.5.

					ДП 2024 141	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір трансформатора напруги

Параметри	Довідникові величини	Розрахункові величини	Умови вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{ном}} = 10,5$	$U_p = 10,5$	$U_{\text{ном}} \geq U_p$ $10,5 = 10,5$
Підключене навантаження, В·А	$S_{2\text{номпр}} = 75$	$S_{2\text{пр}} = 22,5$	$S_{2\text{номпр}} \geq S_{2\text{пр}}$ $75 > 22,5$

Для вибору роз'єднувача слід порівняти отримані в ході розрахунків величини з їх довідниковими параметрами.

Вибір роз'єднувача

Параметри	Величини у довіднику	Розрахункові величині	Умові вибору
Номінальна напруга, кВ	$U_{\text{ном}} = 10,5$	$U_p = 10,5$	$U_{\text{ном}} \geq U_p$ $10,5 = 10,5$
Номінальний струм, кА	$I_{\text{н.розщ}} = 400$	$I_p = 34,7$	$I_{\text{н.розщ}} \geq I_p$ $400 > 34,7$
Динамічна стійкість, кА	$i_{\text{дин}} = 41$	$i_y = 4,83$	$i_{\text{дин}} \geq i_y$ $41 > 4,83$

8. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЦЕХУ

8.1. Організація ремонту й технічного обслуговування

Головним завданням технічного обслуговування електрогосподарства промислових підприємств полягає в тому, щоб не допускати виробничі простої через несправності електроустановок, підтримувати належну якість електроенергії й зберігати паспортні параметри електроустаткування протягом максимального часу при мінімальній витраті електричної енергії й матеріалів.

При обслуговуванні електроустановок електромонтер повинен стежити за станом навантаження живильних ліній і мереж, тому що втрати електроенергії в них пропорційні активному опору проводів.

Система планово-попереджувального ремонту (ППР) електроустаткування являє собою комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на підтримання електротехнічного устаткування в стані постійної працездатності, попередження його передчасного зношування й виключення аварійних ситуацій.

Сутність системи ППР полягає у виконанні необхідних видів ремонту електроустаткування через певні проміжки календарного часу його роботи. Чергування й періодичність цих ремонтів визначається призначенням електроустаткування, його конструктивними особливостями, габаритними розмірами й умовами експлуатації.

Система ППР передбачає планування й організацію ремонтів, визначення їх видів, обсягу робіт по кожному, строків проведення й порядок обліку й звітності.

Її ціль:

- удосконалювання організації ремонту;
- зменшення витрат на ремонт при підвищенні якості роботи;

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			8. Експлуатація електрообладнання цеху	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мащенко О.А.					66	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

- зниження капітальних вкладень в електрогосподарство шляхом забезпечення нормальної роботи устаткування при мінімальній кількості технічно необхідного резерву;
- скорочення простоїв технологічного устаткування через передчасний вихід з ладу електричної частини;
- забезпечення росту продуктивності технологічного устаткування й праці робітників;
- попередження передчасного фізичного зносу електротехнічного устаткування, підвищення термінів служби деталей, вузлів, апаратури й покупних виробів.

Організаційно-технічні заходи передбачають безперервне вдосконалювання системи ППР шляхом застосування раціональних методів і організації ремонтних робіт, впровадження прогресивної технології ремонту, вивчення й використання передового досвіду.

Обсяг робіт по технічному обслуговуванню включає: щоденний нагляд за виконанням правил експлуатації й інструкцій заводу-виготовлювача (контроль навантаження, температури окремих вузлів електричної машини, температури охолоджуючого середовища при замкнутій системі охолодження, наявності змащення в підшипниках, відсутності ненормальних шумів і вібрацій, надмірного іскріння на колекторі й контактних кільцях тощо); щоденний контроль за справністю заземлення; контроль за дотриманням правил техніки безпеки працюючими на електроустаткуванні; відключення електричних машин в аварійних ситуаціях; дрібний ремонт, що здійснюється під час перерв у роботі основного технологічного устаткування й не потребує спеціальної зупинки електричних машин (підтяжка контактів і кріплень, заміна щіток, регулювання траверс, підрегулювання пускорегулюючої апаратури й системи захисту, чищення доступних частин машини тощо); участь у приймально-здавальних випробуваннях після монтажу, ремонту й налагодження електричних машин і систем їх захисту й керування; планові огляди експлуатованих машин по затвердженому головним енергетиком графікові із заповненням карти огляду.

					ДП 2024 141	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У механічно-складальному цеху технічне обслуговування електроустаткування виконується в плановому порядку.

При плановому технічному обслуговуванні електроустаткування очищають, перевіряють, регулюють, змащують і при необхідності заміняють недовговічні, легкозйомні деталі (щітки, пружини тощо).

8.2. Аналіз аварійних режимів і відмов устаткування

Аварійний режим роботи електроустановки – режим роботи, що супроводжується відхиленням робочих параметрів від гранично-допустимих значень, що характеризується пошкодженням, виходу з ладу електроустаткування, можливою перервою електропостачання або може чинити загрозу для життя людей.

Найбільш частими причинами виникнення аварійного режиму роботи електродвигуна є пошкодження його обмоток, що викликані перегрівом, пробоем ізоляції або механічні пошкодження двигуна.

Перегрів обмоток електродвигуна виникає у випадках пропадань однієї з живильних фаз, зниження живлячої напруги, занадто великого навантаження на вал, або його повна зупинка, недостатнього охолодження обмоток, високої частоти включення двигуна або його запуск під занадто великим навантаженням.

Пробій ізоляції найчастіше трапляється при роботі електродвигуна в умовах підвищеної вологості, у результаті зволоження ізоляції обмоток електродвигуна.

Частою причиною механічного пошкодження електродвигуна є зношування підшипників, що викликає осьовий зсув ротора щодо статора.

Експлуатація електродвигунів в аварійному режимі приведе до дорогого ремонту або передчасного виходу його з ладу.

Для захисту електроустановок у цеху застосовуються, головним чином, автоматичні вимикачі серії ВА.

Автоматичні вимикачі призначені для багаторазового захисту електричних установок від перевантажень і коротких замикань. Головною відмінністю від плавкого запобіжника є можливість багаторазового використання.

										Арк.
										68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП 2024 141

Автоматичний вимикач є найбільш надійним засобом, що забезпечує безпеку персоналу й справність електричних установок у цеху.

8.3. Експлуатація й ремонт освітлювальних установок

Жодна освітлювальна установка, як це слідує із численних досліджень, не може залишатися ефективною, якщо за нею не буде забезпечений регулярний і гарний догляд. Старіння ламп і пов'язане із цим зниження їхнього світлового потоку, нагромадження пилу й бруду на відбиваючих і розсіюючих поверхнях світильників і лампах, а також поступове погіршення властивостей відбиваючих, поверхонь приміщень і устаткування – все це сприяє втраті світлового потоку й поступовому зменшенню рівня освітленості.

Старіння джерел світла є неминучим, ступінь же забруднення світильників і поверхонь приміщень і устаткування може контролюватися, а при добре організованій експлуатації наслідки забруднення можуть бути зведені до мінімуму.

Правильна організація експлуатації освітлювальних установок повинна передбачати: ретельне приймання освітлювальних установок після закінчення монтажних робіт і після капітальних ремонтів, своєчасну зміну ламп і чищення світильників, планово-попереджувальний огляд і ремонт світильників і електричної мережі.

Дуже важливою, необхідною й трудомісткою частиною робіт з експлуатації освітлювальних установок є періодичне очищення колб ламп і відбиваючих, розсіюючих і інших поверхонь і деталей світильників від пилу, що накопичується на них, і бруду.

Чищення світильників у механічно-складальному цеху виконується 1 раз на 3 місяці.

Для забезпечення нормальної роботи освітлювальної установки за нею потрібний постійний нагляд. Під час експлуатації необхідно здійснювати попереджувальні періодичні огляди, перевірки й ремонти елементів освітлювального устаткування

					ДП 2024 141	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Огляду, ремонту й перевірці підлягають світильники, групові й магістральні щитки, проводи, вимикачі, перемикачі, штепсельні розетки.

Огляд і ремонт світильників у цеху виконується 1 раз на 4 місяці.

Оглядом і перевіркою світильників повинні встановлюватися: наявність, цілісність і надійність закріплення розсіювачів, захисних стекол, екрануючих ґрат, відбивачів, надійність електричних контактів, стан ізоляції зарядних проводів.

Роботи з огляду, перевірки й ремонту світильників повинні бути присвячені вчасно їхнього чищення. Виявлені несправні або частини, що прийшли в непридатність, і деталі світильників повинні замінитися при ремонті аналогічними новими. Це стосується тільки легкозйомних частин світильників, таких, як патрони, розсіювачі, захисні стекла, екрануючі ґрати, стартери, ПРА, ущільнювальні прокладки тощо. Якщо частина, що прийшла в непридатність, світильника не може бути замінена, замінюється весь світильник.

					ДП 2024 141	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. ОСНОВНІ ШЛЯХИ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГІЇ ТА РЕСУРСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Створення умов для функціонування й розвитку економіки при максимально ефективному використанні паливно-енергетичних ресурсів є сьогодні вищим пріоритетом енергетичної політики України поряд зі стійким забезпеченням енергоносіями народного господарства.

Виходячи із цього, однією з основних цілей і завдань для будь-якого суб'єкта господарювання є підвищення енергозбереження.

Досягнення цієї мети здійснюється шляхом реалізації планів (програм) організаційно-технічних заходів (ОТЗ) по економії палива, теплової й електричної енергії. Такі плани (програми) розробляються на всіх рівнях керування: від підприємства (організації) до міністерства (відомства).

Ці плани включають наступні види заходів: науково-технічні, організаційно-економічні, нормативно-технічні, інформаційні й правові.

Вихідними даними для розробки планів (програм) ОТЗ по економії палива, теплової й електричної енергії є: законодавчі й нормативні акти України в області енергетичної політики, відомчі програми енергозбереження, результати енергетичного аудиту (обстеження), результати аналізу використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на підприємстві (організації) за попередні роки, дані про використання в різних галузях народного господарства досягнень науково-технічного прогресу, інформація про закінчені науково-дослідні роботи, раціоналізаторські пропозиції, винаходи тощо, а також матеріали з питань економії ПЕР, що публікуються в періодичній пресі, технічних журналах, довідниках і Інтернеті.

Основні напрямки енергозбереження на підприємстві:

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			9. Основні шляхи економії енергії та ресурсів на підприємстві	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мащенко О.А.					71	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

1. Підвищення ефективності роботи систем теплопостачання й впровадження нових ефективних джерел теплоти:

- налагодження й автоматичне регулювання гідравлічних і теплових режимів теплових мереж;

- впровадження автоматичних систем регулювання споживання теплоенергії в системах опалення, гарячого й холодного водопостачання громадських і виробничих приміщень;

- децентралізація систем теплопостачання споживачів з малими навантаженнями й різко-змінними режимами роботи;

- впровадження систем обігріву виробничих приміщень інфрачервоними випромінювачами;

- поліпшення якості селевої води, впровадження газогенераторних установок із застосуванням ефективних технологій перетворення низькосортних видів палива у висококалорійні;

- заміна морально застарілих кожухотрубних типів теплообмінників на сучасні пластинчасті;

- впровадження комплексної системи автоматизації й диспетчеризації котелень, теплових мереж.

2. Зниження втрат при передачі й використанні енергії:

- заміна діючих трубопроводів пари й гарячої води на передізольовані труби;

- ліквідація протяжних тепло- і паротрас із впровадженням установок локального обігріву приміщень на місцевих видах палива;

- установка й використання сучасних енергоефективних конденсатовідводчиків у системах паровикористання;

- модернізація й підвищення ефективності систем збору, повернення й використання конденсату пари;

- оптимізація завантаження силових трансформаторів на електропідстанціях споживачів;

- заміна незавантажених асинхронних електродвигунів на електродвигуни меншої потужності;

					ДП 2024 141	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- установка автоматичних вимикачів холостого ходу верстатів;
- перевод плавильних і термічних електропечей з одно-, двозмінної роботи на тризмінну;
- впровадження автоматичного регулювання роботи компресорів, вентиляційних установок;
- впровадження систем оборотного водопостачання для охолодження різних технологічних установок,

3. Впровадження систем обліку й регулювання енергії:

- оснащення приладами обліку й регулювання витрати енергоносіїв основного й допоміжного виробництв;
- впровадження приладів обліку, контролю й регулювання витрати енергоресурсів.

4. Використання вторинних енергоресурсів і низкопотенційного тепла:

- максимальна утилізація теплових вторинних енергоресурсів і низкопотенційного тепла (теплоти оборотної води, конденсату, димових газів, вентвикидів, каналізаційних стоків), що утворюються в технологічних процесах і системах опалення.

5. Установка енергоекономних освітлювальних пристроїв:

- впровадження автоматичних систем регулювання споживання електроенергії в системах освітлення;
- використання електронних пускорегулюючих апаратів (ЕПРА) у системах освітлення замість електромагнітних ПРА;
- автоматизація керування освітлювальними установками.

6. Впровадження нових енергозберігаючих і модернізація існуючих технологій, устаткування, матеріалів:

- впровадження автоматичних систем регулювання споживання енергоносіїв в системах вентиляції виробничих приміщень;
- використання нових ізоляційних матеріалів з поліпшеними теплофізичними характеристиками;
- впровадження теплонасосних установок на промислових підприємствах в

					ДП 2024 141	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- централізованих і індивідуальних системах опалення;
- заміна морально застарілого технологічного обладнання;
 - заміна електродвигунів з подвійним перевищенням номінальної потужності над робочою;
 - впровадження електродвигунів з підвищеним ККД;
 - підвищення ефективності компресорних установок;
 - підвищення питомої потужності електричного устаткування;
 - заміна компресорів, насосів і вентиляторів старих типів з низьким ККД (50-63 %) на сучасні більш ефективні із ККД більше 80 %;
 - децентралізація вентиляційних систем;
 - заміна стисненого повітря іншими енергоносіями й вентиляторним дуттям;
 - підвищення ККД компресорів, вентиляторів і насосів до паспортних значень.

7. Впровадження нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії:

- використання енергоефективних геліопідігрівачів для нагрівання води, що використовується на технологічні й побутові потреби.

					ДП 2024 141	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРА

Пристрої релейного захисту для силових трансформаторів передбачають від наступних видів пошкоджень і ненормальних режимів роботи: багатofазних замикань в обмотках і на виводах, однофазних замикань на землю в обмотках і на виводах, приєднаних до мережі з глухозаземленою нейтраллю, виткових замикань в обмотках обумовлених зовнішнім коротким замиканням, струмів в обмотках, обумовлених перевантаженням, зниженим рівнем масла.

Захист трансформаторів від короткого замикання в його обмотках, на виводах і з'єднаннях до вимикачів виконують у вигляді струмової відсічки без витримки часу. Захист встановлюють із боку джерела живлення, безпосередньо біля вимикача. У зону дії захисту при цьому потрапляє як сам трансформатор, так і його з'єднання з вимикачем.

Газовий захист базується на використанні явища газоутворення у баку пошкодженого трансформатора. Інтенсивність газоутворення залежить від характеру та розмірів пошкодження. Це дає можливість виконати газовий захист, здатний розрізняти ступінь пошкодження, і в залежності від цього діяти на сигнал або вимкнення. Основним елементом газового захисту є газове реле, яке встановлюється в маслопроводі між баком та розширювачем.

Перевагами газового захисту є: висока чутливість і реагування практично на всі види пошкоджень усередині бака; порівняно невеликий час спрацьовування; простота виконання; захист трансформатора при недопустимому зниженні рівня масла з будь-яких причин. Основний недолік – не реагує на пошкодження поза баком, у зоні між трансформатором та вимикачем.

Газовий захист не діє при короткому замиканні на виводах трансформатора та його з'єднаннях з вимикачем, тому для відключення трансформатора при цих пошкодженнях на трансформаторах передбачається захист від багатofазних

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			10. Релейний захист трансформатора	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Мащенко О.А.					75	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

коротких замикань. Він має дві ступені: 1) струмова відсічка без витримки часу; 2) максимальний струмовий захист.

Захист встановлюється з боку джерела живлення безпосередньо біля вимикача, при цьому до зони дії захисту входять трансформатор та його з'єднання з вимикачем. Спрацьовуючи, захист діє на відключення вимикача. Захист може бути виконаний за допомогою вторинних реле прямої та непрямої дії на змінному та постійному оперативному струмі.

Вибір пристроїв релейного захисту та автоматики елементів схеми електропостачання

Відповідно до вимог релейного захисту проектуємо такі види пристроїв релейного захисту та автоматики:

- для захисту кабельних ліній 10кВ, що живлять РП від КТП, передбачаємо релейний захист від таких видів ушкоджень та ненормальних режимів:

- 1) максимальний струмовий захист від міжфазних коротких замикань (КЗ);
- 2) захист від однофазних замикань на землю.

Крім цих захистів покажемо захист струмової відсічки для захисту від міжфазних коротких замикань на лінії, що живлять РП від КТП, яка не забезпечує достатню зону дії струмової відсічки через малу довжину лінії.

- для контролю ізоляції в мережі 10 кВ, крім струмового захисту, застосовується реле серії РН-50, яке підключається до розімкнутого трикутника трансформатора напруги, що встановлюється на кожній секції збірних шин.

- для захисту блоків лінія-трансформатор передбачаються такі види захисту:

- 1) максимальний струмовий захист, що захищає лінію та трансформатор;
- 2) струмова відсічка, що захищає лінію та частину обмотки трансформатора;

- 3) захист від замикань на землю на стороні 10 кВ;

- 4) резервний захист від однофазних коротких замикань на стороні 0,4 кВ;

- на секційному вимикачі РУ РП передбачається встановлення МСЗ – для відключення секційного вимикача при протіканні струмів КЗ при спрацьовуванні АВР; Захист елементів схеми електропостачання цехів напругою 0,4 кВ

										Арк.
										76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ДП 2024 141

виконується запобіжниками з плавкими вставками та автоматичними вимикачами; Як джерело оперативного струму використовуємо вимірювальні трансформатори струму та напруги.

					ДП 2024 141	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ОБЛІК ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

11.1. Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання

Облік електроенергії на підприємствах, може бути розрахунковим або технічним.

Розрахунковим обліком електроенергії називається облік виробленої, а також відпущеної споживачам електроенергії для грошового розрахунку за неї.

Лічильники, які встановлюють для розрахункового обліку, називаються розрахунковими лічильниками.

Технічним (контрольним) обліком електроенергії називається облік для стеження за витратою електроенергії всередині електростанцій, підстанцій, підприємств, у будівлях, квартирах тощо.

Лічильники, які встановлюють для технічного обліку, називаються лічильниками технічного обліку.

Відповідно до цього прилади обліку електроенергії (лічильники) поділяються на розрахункові та технічні. При споживчій потужності понад 750 кВ·А встановлення автоматизованої системи обліку активної та реактивної електроенергії є обов'язковою умовою за наявності двох і більше точок обліку, що характерно для більшості промислових підприємств. Відповідно до ПУЕ необхідно передбачити встановлення приладів технічного обліку в госпрозрахункових агрегатах, на технологічних лініях, енергоємних агрегатах для розрахунку питомих норм споживання електроенергії.

Розрахункові лічильники активної електроенергії на підстанції, котрі належить споживачеві, мають установлюватися на вводі (приймальному кінці)

					ДП 2024 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Белеканич			11. Облік та вимірювання режимних параметрів системи електропостачання	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Мащенко О.А.					78	
<i>Реценз.</i>						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

лінії електропередавання до підстанції споживача за відсутності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми або іншого споживача на живильній напрузі.

Лічильники реактивної електроенергії треба встановлювати на тих самих елементах схеми, на яких встановлено лічильники активної електроенергії для споживачів, які розраховуються за електроенергію з урахуванням дозволеної до використання реактивної потужності.

11.2. Лічильники електричної енергії

Облік активної та реактивної електроенергії трифазного струму має проводитися за допомогою трифазних лічильників.

Клас точності лічильників активної електроенергії не менше 2,0.

Клас точності лічильників реактивної електроенергії має вибиратися на один ступінь нижче відповідного класу точності лічильників активної електроенергії.

Клас точності трансформаторів струму і напруги для приєднання розрахункових лічильників електроенергії, повинен бути не більшим ніж 0,5. Допускається використовувати трансформатори напруги класу точності 1,0 для вмикання розрахункових лічильників класу точності 2,0.

Для приєднання лічильників технічного обліку допускається використовувати трансформатори струму класу точності 1,0, а також вбудовані трансформатори струму класу точності нижче 1,0, якщо для отримання класу точності 1,0 потрібно встановлювати додаткові комплекти трансформаторів струму.

Допускається застосовувати трансформатори струму із завищеним коефіцієнтом трансформації (за умов електродинамічної та термічної стійкості або захисту шин), якщо в разі найбільшого навантаження приєднання струму у вторинній обмотці трансформатора струму становитиме не менше ніж 40% номінального струму лічильника, а в разі найменшого робочого навантаження, не менше 5%.

									Арк.
									79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2024 141

Приєднувати струмові обмотки лічильників до вторинних обмоток трансформаторів струму слід, переважно, окремо від кіл захисту і спільно з електровимірювальними приладами.

Допускається здійснювати спільне приєднання струмових кіл, якщо окреме їх приєднання потребує установлення додаткових трансформаторів струму, а спільне приєднання не призводить до зниження класу точності і надійності кіл трансформаторів струму, які використовують для обліку, і забезпечує необхідні характеристики пристроїв релейного захисту.

Використовувати проміжні трансформатори струму для увімкнення розрахункових лічильників заборонено.

Навантаження вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, до яких приєднують лічильники, не повинно перевищувати номінальних значень.

В якості лічильників для комерційного обліку електроенергії вибираємо лічильники типу Енергоміра 5(100)А. Електролічильник трифазний Енергоміра 5(100)А активної та реактивної електроенергії з внутрішнім GSM-модемом Q2.

Електролічильник трифазний Енергоміра 5 (100) А активної і реактивної електроенергії з внутрішнім GSM-модемом – трифазний багатотарифний електричний лічильник обліку енергії застосовується в системах АСКОЕ (автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії). Такі інтелектуальні лічильники служать, щоб удосконалити контроль і управління споживання: на виробництвах, в офісах, торгових центрах, ринках, а також на садових, дачних, котеджних та гаражних кооперативах.

					ДП 2024 141	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ І ВПЛИВ ЇЇ НА НОРМАЛЬНУ РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

12.1. Якість електричної енергії

Електроенергія як товар має цілий ряд специфічних властивостей. Вона безпосередньо використовується під час створення інших видів продукції і має істотний вплив на економічні показники виробництва і якість виробів, що випускаються. Поняття якості електроенергії відрізняється від якості інших товарів. Якість електроенергії проявляється через якість роботи електроприймачів (ЕП). Тому, якщо ЕП працює незадовільно, а якість електроенергії відповідає встановленим вимогам, то причину слід шукати в якості виготовлення ЕП. Якщо показники якості електроенергії не відповідають вимогам, то висуваються претензії постачальнику – організації, що постачає електроенергію.

Якість електроенергії на місці виробництва не гарантує її якості в точці приєднання споживача. Характер самого виробничого процесу істотно впливає на показники якості електроенергії і в точці приєднання вони можуть бути різними до та після вмикання споживача. Якість електроенергії є складовою електромагнітної сумісності, що характеризує електромагнітне середовище. Електроприймачі і апарати, приєднані до електричних мереж, призначені для роботи при певних номінальних параметрах: номінальній частоті, номінальній напрузі, номінальному струмі, що змінюється за синусоїдальним законом. В системі електропостачання завжди можливе відхилення від цих вимог, які визначаються показниками якості електроенергії.

Якість електричної енергії – це сукупність її характеристик за частотою і напругою, які називаються показниками якості електроенергії. Останні визначають вплив електроенергії на електрообладнання, електричні апарати і

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	12. Якість електричної енергії і вплив її на нормальну роботу електроприймачів	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Белеканич					81	
Перевір.		Мащенко О.А.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
						<i>ННІПІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		

прилади, приєднані до електричної мережі. Характер цього впливу оцінюється ступенем відповідності цих показників якості електроенергії встановленим вимогам. В термінах електромагнітної сумісності показники якості електроенергії – це рівень електромагнітної перешкоди, що створюється в електричній мережі в єдиному і неперервному процесі виробництва, передаванні, розподілі і споживанні електричної енергії.

Електромагнітна сумісність (ЕМС) характеризує не тільки взаємодію між електричними приладами, апаратами, електрообладнанням і електромагнітним середовищем, але і взаємодії цих технічних засобів між собою. Під ЕМС розуміють здатність електротехнічних засобів або їх елементів нормально функціонувати в даному електромагнітному середовищі, не вносячи неприпустимих електромагнітних завад (ЕМЗ) в це середовище і не відчуваючи таких з його боку.

Якщо ЕМС не забезпечена, тобто окремі елементи електротехнічного обладнання або установки в цілому не мають заданої завадостійкості до внутрішніх (між елементами) і зовнішніх (відносно приладу) завад, то тим самим створюються умови для:

- функціональних порушень з певними наслідками, пов'язаними з відмовами, зі скороченням терміну служби і виходом з ладу устаткування, браком продукції, аваріями, помилковими спрацьовуваннями захисту і автоматики тощо;
- погіршення якості електроенергії;
- погіршення електромагнітного стану в навколишньому середовищі;
- ураження обслуговуючого персоналу.

Передумовою для цього є невраховані ЕМС або ЕМЗ, захист від яких непередбачений.

Електромагнітна завада – це випадкова електромагнітна дія, здатна спричинити в електротехнічному пристрої порушення функціонування, відмову або руйнування. Завада може виявлятися як струм, напруга, електромагнітне поле. У практиці розрізняють індуктивні і зовнішні ЕМЗ. До індуктивних відносяться завади, що розповсюджуються по проводах, зокрема по електричній мережі.

									Арк.
									82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2024 141

Зовнішні завади розповсюджуються через навколишній простір. Завади створюються відповідними джерелами, якими можуть бути як електротехнічні пристрої, так і електротехнологічні процеси. Так, наприклад, повітряна лінія високої напруги (пристрій) створює зовнішні завади під час передавання електроенергії (технологічний процес), що впливають на лінії зв'язку. Напруженість електричного і магнітного полів навколо лінії електропередачі характеризує електромагнітний стан. Наприклад, перетворювачі тягової підстанції електрифікованого транспорту створюють індуктивні завади в електричній мережі, від якої вони живляться. Спотворення синусоїдальної форми напруги під впливом струмів вищих гармонік, які протікають по електричній мережі, характеризують електромагнітний стан в цій мережі.

Важливою характеристикою електромагнітного стану є рівень ЕМС. Рівень ЕМС – це встановлене значення ЕМЗ, при якому з найбільшою ймовірністю гарантується нормальна взаємодія (функціонування) всіх технічних пристроїв, які є як джерелами завад, так і пристроями, що піддаються цим завадам.

Так, нормовані (допустимі) значення показників якості електроенергії є тими рівнями ЕМС електричної мережі, при яких гарантується нормальне функціонування будь-яких електротехнічних пристроїв, приєднаних до цієї мережі, якщо ці показники якості електроенергії не перевищують допустимих значень. З іншого боку, електротехнічні пристрої характеризуються своїми допустимими рівнями ЕМС, які визначають їх завадостійкість, при якій і гарантується нормальне функціонування цих пристроїв. Очевидно, що рівні завадостійкості повинні бути вищі за значення показників якості електроенергії в електричній мережі.

Рівень ЕМЗ може досягти порогового значення, яке перевищує рівень завадостійкості конкретного пристрою, що спричинить порушення його функціонування (відмова). Таке порогове значення називається завадочутливістю. Порушення функціонування може бути як оборотним, так і необоротним. У першому випадку, після зняття критичного впливу або зниження рівня ЕМЗ, пристрій відновить свої функціональні можливості. В іншому випадку, очевидно

					ДП 2024 141	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під впливом завади, відбулися необоротні зміни в елементах пристрою, внаслідок чого пристрій втратив свої функціональні можливості.

Багато видів індуктивних перешкод призводять до додаткового нагріву електроустаткування або його елементів під впливом підвищеної напруги, струмів вищих гармонік, струмів зворотної послідовності. Додатковий нагрів призводить до порушення ізоляції, руйнування конструктивних елементів електрообладнання і, таким чином, до незворотного порушення функціонування. Проте ефект від додаткового нагріву виявляється не відразу, а згодом. Тому, якщо дія даних завад була короткочасною, то після їх усунення пристрій не втратить своїх функціональних можливостей. Таким чином, час дії ЕМЗ також слід віднести, разом з рівнями, до характеристик ЕМС. Так, наприклад, нормально допустимі рівні ЕМС електричної мережі, її показники якості електроенергії можуть бути перевищені, але не більше, ніж протягом 72 хв за добу, що становить 5 % від 24 годин.

12.2. Характеристики електроенергії і її показники якості

Якість електроенергії враховує всі аспекти ЕМС, але характеризує тільки електричну мережу. Встановлені для неї допустимі рівні ЕМС називають показниками якості електроенергії.

Нормативні значення показників якості електроенергії і їх перелік встановлені нормативним документом, який є підставою для розробників апаратури і електрообладнання, що приєднуються до мережі, в частині їх завадостійкості, з одного боку, і рівня завад, що вносяться ними, з іншого. Якщо рівень завадостійкості цих технічних засобів вищий гранично допустимих значень показників якості електроенергії в мережі, ЕМС буде забезпечена.

Фактичні значення показників якості електроенергії повинні контролюватися за допомогою спеціалізованих засобів вимірювання в умовах експлуатації, а відповідні характеристики ЕП – шляхом необхідних випробувань при їх розробленні і виробництві.

					ДП 2024 141	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі показники якості електроенергії, які встановлені нормативним документом, можуть бути умовно розділені на три групи. До першої групи можна віднести відхилення частоти і відхилення напруги, які пов'язані з особливостями технологічного процесу виробництва і передавання електроенергії. Якість регулювання відхилень частоти і напруги визначає їх рівень в електроенергетичній системі. До другої групи можна віднести показники якості електроенергії, що характеризують несинусоїдність форми кривої напруги, несиметрію і коливання напруги. Джерелами цих спотворень (емітентами) є, головним чином, електроприймачі. Для координації ЕМЗ, що вносяться такими ЕП, необхідне застосування технічних заходів як на етапі розроблення і виробництва, так і в процесі їх експлуатації. До третьої групи можна віднести показники якості електроенергії, що характеризують випадкові електромагнітні явища і електротехнічні процеси, нерозривно пов'язані з технологічним процесом виробництва, передавання і споживання електроенергії. До них відносяться провали напруги, перенапруги і імпульси напруги, які виникають в системі електропостачання в більшості випадків в результаті комутацій електрообладнання або розрядів блискавки на лінію електропередачі.

Показники якості електроенергії перших двох груп нормуються стандартом і на них встановлені два допустимих рівні: нормальний і граничний. Показники якості електроенергії третьої групи не нормуються, проте, статистична інформація про них має велике значення для нормальної експлуатації електроенергетичної системи.

					ДП 2024 141	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

13.1. Основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та робочих місць на заводі

Машини, верстати, апарати та інше устаткування, що застосовується на Львівському автомобільному заводі різноманітне за принципом дії, конструкцією, типам і розмірам. Однак, дотримання основних вимог безпеки до виробничого устаткування дозволяє забезпечити безпеку його експлуатації.

Основним устаткуванням у механічно-складальному цеху є верстати з металообробки (фрезерні, свердлильні, токарські й т.д.), із цього випливає, що основними зонами, які представляють небезпеку для працівників є зони, розташовані в безпосередній близькості до робочих органів цих верстатів.

Устаткування обладнане засобами сигналізації при порушенні нормальних режимів роботи, а також засобами примусової зупинки й відключення від мережі. Рухомі частини обладнання, що представляють небезпеку обгороджені й забезпечені додатковими засобами захисту. Щити огорожень виготовляються із сухого дерева або іншого міцного ізоляційного матеріалу. На кожному щиті розміщують застережливі плакати: «Стій, висока напруга», «Стій, небезпечно для життя» (залежно від напруги електроустановки) або роблять відповідні написи. Елементи устаткування, з якими контактує людина, не мають гострих країв, кутів, нерівних, гарячих і переохолоджених поверхонь.

У механічно-складальному цеху робітники виконують свою трудову діяльність у позі "стоячи", оскільки для роботи на металорізальних верстатах необхідні фізичні зусилля від 10 до 20 кГ. Ця поза є найбільш важкою, тому що витрачається енергія на виконання роботи й на підтримку тіла у вертикальному й похилому положенні. Щоб знизити втомлення передбачаються регламентовані перерви, для цього робоче місце оснащено сидінням для відпочинку.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Белеканич			13. Охорона праці	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сірик А.О.					86	
Реценз.						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						

Інструменти й прилади розташовуються на робочому місці з урахуванням частоти їхнього використання: часто використовувані в оптимальній робочій зоні, менш часто – у зоні досяжності рук без нахилу тулуба, рідко використовувані – у більше віддаленій зоні. Усе, що береться лівою рукою – розташовано ліворуч, що правою – праворуч. Оброблюваний предмет закріплюється на устаткуванні на висоті, що складає 60 % від росту робітника.

Шафи й столи з інструментами розташовуються в безпосередній близькості від верстатів, інструменти й деталі відсортовані по типу. На кожному ящику висять бирки з назвою інструментів, що перебувають у ньому.

13.2. Основні заходи з електробезпеки

Механічно-складальний цех Львівського автомобільного заводу живиться за змішаною схемою електропостачання, рід струму – змінний. Трансформатор, що живить цех має потужність 630 кВА, з напругою на низькій стороні 380 В.

Відповідно до [6] цех відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою, оскільки є можливість одночасного дотику людини до частин металоконструкцій будівлі, що з'єднані із землею з однієї сторони й до металевих корпусів електроустаткування – з іншої.

Можливі такі причини електроураження персоналу:

- замикання на землю. Воно виникає при пошкодженні ізоляції й замиканні фази на корпус електрообладнання, при падінні на землю обірваного провідника, з інших причин;
- дотик до оголених струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- дотик до відключеного, але електрично зарядженого устаткування (до конденсаторів, кабелів);
- виникнення електричної дуги, а також всі ураження пов'язані із впливом електричних і магнітних полів підвищеної напруженості.

Значення електричного струму, що протікає через тіло людини, є основним чинником, що обумовлює результат ураження. Разом з тим великий вплив має тривалість впливу й до деякої міри частота струму.

					ДП 2024 141	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш імовірний шлях протікання струму через тіло робітника – "рука-рука", оскільки, робота що виконується на металообробних верстатах у механічно-складальному цеху виконується руками й усі робітники взуті в ізолююче взуття. Також при виконанні робіт вони стоять на ізолюючих килимках.

До захисних засобів, що захищають людину від ураження електричним струмом і впливу електричної дуги відносяться: ізолюючі штанги, діелектричні кліщі, покажчики напруги, слюсарно-монтажний інструмент із ізольованими рукоятками, захисні окуляри, діелектричні ковдрики й рукавички. Також для захисту від впливу електричного струму застосовується захисне заземлення й занулення.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є ізоляція струмопровідних частин устаткування, недоступність до струмопровідних частин устаткування, застосування спецодягу. На всіх засобах захисту, що пройшли випробування, крім інструменту з ізолюючими рукоятками й покажчиків напруги до 1 кВ, наявний відтиск штампю про їхнє випробування.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин електроустаткування в нормальному стані (корпусів, огорожень тощо), які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Занулення – це навмисне електричне з'єднання металевих неструмопровідних частин електроустаткування в нормальному стані із заземленою нейтраллю вторинної обмотки трифазного понижувального трансформатора або генератора із заземленим виводом джерела однофазного струму.

В приміщенні цеху електропроводки й кабелі прокладені в трубах і лотках, що забезпечує додаткову безпеку. Устаткування й проводки постійно піддаються огляду й ремонту. Усе електроустаткування захищене автоматичними вимикачами з високою швидкодією. Трансформатор розташований в окремому приміщенні – трансформаторній й захищений високовольтним вакуумним вимикачем.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

13.3. Захист від впливу електромагнітних полів

Відомо, що навколо струмопровідних частин (проводів, шин) виникає електромагнітне й електростатичне поле, вплив яких на людину визначається значенням напруженості поля, а також відстанню наближення працівників до діючого електроустаткування.

Вимірювання інтенсивності електромагнітного поля проводяться 1 раз у рік, при запуску нового обладнання, а також після проведення ремонтних робіт.

За результатами даних про вимірювання, напруженість електричного поля складає 4 кВ/м. Гранично допустима норма для безпечного виконання робіт протягом робочого дня становить 5 кВ/м. Із цього випливає, що напруженість електричного поля в цеху перебуває в нормі.

Основним методом захисту від електромагнітного випромінювання в цеху є екранування випромінювання, тобто застосування відбиваючих екранів, виконаних з алюмінію товщиною 1 мм і поглинаючих екранів, виконаних з каучуку. Всі екрани заземлені для забезпечення стікання зарядів, що утворюються на них, у землю.

13.4. Основні заходи з пожежної безпеки

Відповідно до діючих нормативно-правових актів з пожежної безпеки в Україні, на кожному підприємстві наказом або загальнооб'єктовою інструкцією має бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі:

- визначені місця й допустима кількість одноразового перебування у приміщеннях сировини, напівфабрикатів і готової продукції;
- визначені й обладнані місця для паління;
- дії працівників при виявленні пожежі;
- установлений порядок збирання горючих відходів і пилу, зберігання промасленого спецодягу;
- визначений порядок знеструмлення електроустаткування по закінченні робочого дня й у випадку пожежі;

					ДП 2024 141	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначений порядок і строки проходження протипожежного інструктажу й пожежно-технічного мінімуму, а також призначені особи, відповідальні за їхнє проведення.

Важливе місце у гарантуванні пожежної безпеки на промислових підприємствах відіграє організація пожежної охорони. Це пов'язано з тим, що пожежна охорона сприяє забезпеченню високого рівня пожежної безпеки на об'єктах, що належать підприємству.

Добровільна пожежна охорона утворюється відповідно статті 63 Кодексу цивільного захисту, постанови Кабінету Міністрів України від 17.07.2013 № 564 «Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони» та Правил пожежної безпеки в Україні з метою проведення заходів із запобігання виникнення пожеж та організації їх гасіння.

Основними завданнями пожежно-рятувальних підрозділів добровільної пожежної охорони є забезпечення пожежної безпеки, запобігання виникненню пожеж та нещасних випадків на них, гасіння пожеж, рятування людей, а також надання допомоги у ліквідації наслідків інших надзвичайних ситуацій.

У механічно-складальному цеху встановлена автономна пожежна сигналізація. У всіх приміщеннях є пожежні сповіщувачі, що реагують на задимлення й теплове випромінювання. Для ліквідації пожежі у початковій її стадії в цеху змонтований внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами, пожежними рукавами й насадками. Для локалізації гасіння невеликих вогнищ горіння є пересувні й переносні вогнегасники. В цеху використовуються порошкові вогнегасники ВП-5 та ВП-8.

Вогнегасники розташовуються на відстані не менш 1,2 м від прорізу дверей і на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до низу вогнегасника; ящики для піску мають об'єм 0,5 м³ і комплектуються совком.

На випадок виникнення пожежі у першу чергу потрібно евакуювати людей з цеху. Для цього встановлена система оповіщення, що вказує на рух до евакуаційних виходів. Оповіщення супроводжується одночасно включенням світлових покажчиків і піктограм. У будвлі цеху є схема евакуації робочого

					ДП 2024 141	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

персоналу, вивішена біля входів і виходів. Є основні й аварійні виходи з будівлі цеху на випадок виникнення пожежі, всі виходи позначені спеціальними табличками.

Цех відноситься до II ступеня вогнестійкості (будівлі з несучими й обгороджувальними конструкціями, побудовані із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Характеристика вогнестійкості: R 120-K0 – межа вогнестійкості 120 хв – за втратою несучої здатності, конструкції – пожежобезпечні.

13.5. Розрахунок заземлюючих пристроїв

Спроекуємо конструкцію заземлювального пристрою без використання природніх заземлювачів.

За вихідні дані візьмемо:

- Об'єкт, що захищається – стаціонарний (обладнання механічно-складального цеху).
- Напругу мережі – 380/220 В.
- Виконання мережі – з глухозаземленою нейтраллю.
- Тип заземлювального пристрою – сталеві вертикальні труби довжиною l_b – 3 м; діаметром d – 0,04 м; товщиною стінки δ_r – 3,5 мм.
- Відношення відстані між трубами до їх довжини приймемо $\frac{L_{\hat{a}}}{l_{\hat{a}}} = 1$.
- Горизонтальний заземлювач: з'єднувальна стрічка шириною b_c – 0,04 м;
- Глибина закладання вертикальних і горизонтальних електродів в ґрунт $h_b = h_r = 0,8$ м.
- Розташування заземлювачів попередньо приймаємо за чотирикутним контуром при їх числі від 4 до 100 та при розташуванні один ряд при їх числі від 2 до 20.
- Ґрунт – супісок; його склад – однорідний; вологість – нормальна; агресивність – нормальна.

					ДП 2024 141	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймається допустимий нормативний опір заземлюючого пристрою ($R_d \leq 4 \text{ Ом}$).

За дод. 9 [8] приймаємо $\rho_{\text{табл}} = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – наближене значення питомого опору ґрунту, що рекомендують для розрахунку.

Приймаємо значення $K_{\text{с.в}}$ – коефіцієнту сезонності для вертикальних заземлювачів для кліматичної зони III. За дод. 3 [8] беремо $K_{\text{с.в.}} = 1,5$.

Приймаємо коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною. За дод. 3 [8] беремо $K_{\text{с.г}} = 3,5$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів:

$$\rho_{\text{д.в.}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с.в.}} = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Обчислюємо розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів:

$$\rho_{\text{д.г.}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с.г.}} = 300 \cdot 3,5 = 1050 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода:

$$t = h_{\text{а}} + \frac{l_{\text{а}}}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м}.$$

Обчислюємо опір в одному вертикальному заземлювачі за формулою, наведеною в дод. 2 [13], рядок 4:

$$R_{\text{а}} = \frac{\rho_{\text{а}}}{2\pi l_{\text{а}}} \left(\ln \frac{2l_{\text{а}}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l_{\text{а}}}{4t-l_{\text{а}}} \right) = \frac{450}{2\pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3+3}{4 \cdot 2,3-3} \right) = 128 \text{ Ом}.$$

Визначаємо теоретичну кількість вертикальних заземлювачів без впливу коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів, тобто при ($\eta_{\text{в.в}} = 1$):

$$n_{\text{д.в.}} = \frac{R_{\text{д.г.}}}{R_{\text{а}} \cdot \eta_{\text{в.в.}}} = \frac{128}{4 \cdot 1} = 32.$$

Приймаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх за чотирикутним контуром і їх числом $n_{\text{т.в}} = 32$ та відношенням

$\frac{L_{\text{а}}}{l_{\text{а}}} = 1$. За дод. 4 [8] беремо $\eta_{\text{в.в.}} = 0,434$.

									Арк.
									92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Обчислюємо необхідне число, шт., вертикальних електродів

$$n_{\hat{a}} = \frac{R_{\hat{a}}}{R_{\hat{a}} \cdot \eta_{\hat{a}}} = \frac{128}{4 \cdot 0,434} = 74.$$

Розрахунковий опір, Ом, вертикальних електродів при $n_{\text{н.в.}} = 74$ без впливу з'єднувальної стрічки

$$R_{\hat{a}} = \frac{R_{\hat{a}}}{n_{\hat{a}} \cdot \eta_{\hat{a}}} = \frac{128}{74 \cdot 0,434} = 4.$$

Визначається відстань між вертикальними заземлювачами при співвідношенні $\frac{L_{\hat{a}}}{l_{\hat{a}}} = 1$:

$$L_{\hat{a}} = 1 \cdot l_{\hat{a}} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м.}$$

Довжина, м, з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача:

$$L_{\hat{a}} = 1,05 \cdot l_{\hat{a}} \cdot (n_{\hat{a}} - 1) = 1,05 \cdot 3 \cdot (74 - 1) \approx 230.$$

Опір $R_{\text{г.з.с.}}$, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) обчислюємо за формулою, наведеною в дод. 2 [8], рядок 6:

$$R_{\hat{a}} = \frac{\rho_{\hat{a}}}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{dt} = \frac{1050}{2\pi \cdot 230} \ln \frac{230^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 10,9.$$

При розташуванні вертикальних заземлювачів за чотирикутним контуром та співвідношенні $\frac{L_{\hat{a}}}{l_{\hat{a}}} = 1$ і необхідній кількості вертикальних заземлювачів $n_{\hat{a}} = 74$, коефіцієнт використання горизонтального заземлювача складає $\eta_{\hat{a}} = 0,19$ згідно дод. 5 [8].

Обчислюємо розрахунковий опір, Ом, розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) при їх числі $n_{\hat{a}} = 1$:

$$R_{\hat{a}} = \frac{R_{\hat{a}}}{n_{\hat{a}} \cdot \eta_{\hat{a}}} = \frac{10,9}{1 \cdot 0,19} = 57.$$

Загальний розрахунковий опір, Ом, у вертикальних та горизонтальних заземлювачах:

$$R_{\hat{a}} = \frac{R_{\hat{a}} \cdot R_{\hat{a}}}{R_{\hat{a}} + R_{\hat{a}}} = \frac{4 \cdot 57}{4 + 57} = 3,7.$$

									Арк.
									93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Вибираємо матеріал та поперечний переріз з'єднувальних провідників. За табл. 7.8 [9] вибираємо голі мідні $S_M = 4 \text{ мм}^2$ або алюмінієві $S_A = 6 \text{ мм}^2$ провідники.

Матеріал та поперечний переріз магістральної шини беремо за табл. 7.8 [9] і приймаємо сталеву шину з товщиною $\delta_c = 4 \text{ мм}$ і перерізом не менше $S = 100 \text{ мм}^2$.

									Арк.
									94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ЗМЕНШЕННЯ НЕСИНУСОЇДНОСТІ І НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

14.1. Несинусоїдність та способи її усунення

В ідеальній електроенергетичній системі (ЕЕС) енергія повинна передаватися при номінальних значеннях частоти і напруги, що не змінюються в часі. У реальних енергосистемах ці умови не виконуються внаслідок того, що багато споживачів електроенергії мають нелінійні характеристики навантаження (вентильні перетворювачі, силова електронна перетворювальна техніка, сталеплавильні електродугові печі на металургійних заводах тощо).

Відхилення форм кривих струму і напруги від правильної синусоїди зазвичай досліджують, розкладаючи їх як періодичні функції в ряд Фур'є. Гармонічні складові або гармоніки визначаються як значення напруги (струму) з частотою, кратною основній частоті мережі (у нас 50 Гц). Однією з основних характеристик, що визначає форму кривої, є фазовий кут (кут зсуву) гармоніки відносно основної частоти. Значення напруги в загальному випадку визначається:

$$u(t) = \sum_{k=1}^n U_k \sin(k \cdot \omega \cdot t + \psi_k), \quad (14.1)$$

де U_k – амплітуда k -ї гармоніки ряду Фур'є; k – номер гармоніки; n – кількість гармонік в ряду; ψ_k – фазовий кут k -ї гармоніки.

Одні і ті ж гармоніки від різних джерел можуть здійснювати різний вплив залежно від їх відносного положення. Як і багато інших форм спотворень, гармоніки впливають на всі види електричного обладнання, що знаходиться на досить великій відстані від місця генерації гармонік.

					ДП 2024 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Белеканич</i>				14. Індивідуальне завдання. Зменшення несинусоїдності і несиметрії напруги в електричних мережах	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Мащенко О.А.</i>					95		
<i>Реценз.</i>						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Балюта С.М.</i>							

Найбільш відчутним є вплив гармонік, що виникають в силових колах, на якість звуку телефонного зв'язку, що знижується через гармонічний шум, що наводиться силовими гармоніками. Існують інші, не менш небезпечні дії, що виражаються в помилкових спрацьовуваннях відповідальної керувальної і захисної апаратури, перевантаженні силових апаратів і елементів систем. В цьому випадку застосування навіть елементарних заходів захисту обладнання у вигляді фільтрів, що встановлюються біля споживачів, приводить до поліпшення кривої напруги і створення нормальних умов роботи.

Визначення допустимих рівнів гармонік не є простим і однозначним завданням. Знання струмів гармонік різних джерел недостатні для того, щоб встановити межі, в яких забезпечувалася б електромагнітна сумісність обладнання в будь-якій енергосистемі. Тому, якщо знання про гармоніки струму виходять, в основному, з фізичної суті явища, то розроблені стандарти і рекомендації є результатом аналізу попереднього практичного досвіду.

Таким чином, проблема несинусоїдності напруги в електричних мережах умовно поділяється на такі частини:

- виявлення джерела вищих гармонік;
- дослідження області поширення гармонік і міри відповідності їх встановленим нормам;
- оцінення впливу вищих гармонік на електроприймачі та розробка заходів щодо його зменшення.

Джерела гармонік в електричній мережі

Основні причини виникнення несинусоїдності напруги і струму – це наявність в електричних мережах вентильних перетворювальних установок і електроприймачів з нелінійною вольт-амперною характеристикою.

На рис. 14.1, як приклад, наведено криві напруг на виході однофазного (рис. 14.1, а) і трифазного (рис. 14.1, б) мостового вентильного перетворювача.

					ДП 2024 141	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

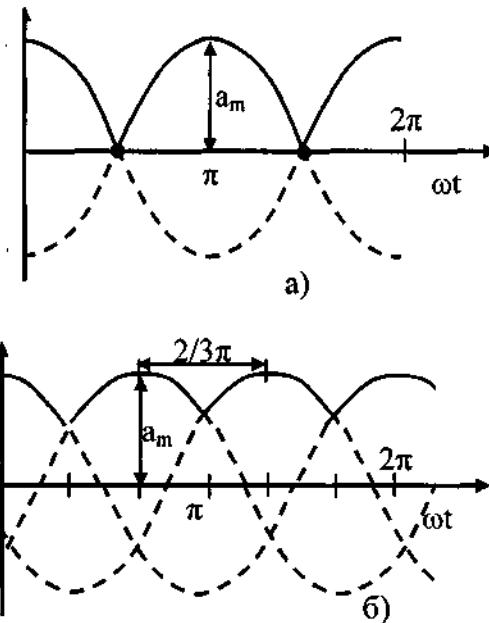


Рис. 14.1. Випрямлені криві напруг

Розкладені в ряд Фур'є випрямлені криві напруги записуються:
для однофазного випрямляча

$$u(\omega t) = \frac{4 \cdot U_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

і для трифазного

$$u(\omega t) = \frac{3 \cdot \sqrt{3} \cdot U_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right).$$

Вентильні перетворювачі застосовуються для живлення електрифікованого залізничного, а також міського і внутрішньо-заводського транспорту.

В ЕЕС вони застосовуються в лініях постійного струму і в установках постійного струму для перетворення змінного струму на постійний і навпаки (випрямлення та інвертування).

В ЕЕС також застосовуються струмообмежувальні пристрої і джерела реактивної потужності, які використовують тиристорні перетворювачі. Вентильні перетворювачі широко застосовуються в промисловості – в металургії для живлення термічних установок, в хімії – для установок електролізу, в машинобудівництві – для зварювальних установок, для регульованого електропривода як перетворювачі частоти.

Все це потужні споживачі, які суттєво спотворюють синусоїдні напругу і струм.

До появи статичних перетворювачів наявність гармонічних спотворень в енергосистемах асоціювалася, в першу чергу, з роботою електричних машин і трансформаторів. І, дійсно, основними джерелами гармонік, що існували раніше в електричних системах, були струми намагнічування силових трансформаторів.

Після того, як виконання вимог з конструювання економічних генераторів призвело до спотворення форми кривої напруги, генератори електричних станцій стали джерелом гармонік.

Сучасні трансформатори і електричні машини в нормальних умовах роботи не вносять істотних спотворень в мережу.

Проте при роботі їх, як і інших пристроїв з магнітопроводом, на нелінійній частині кривої намагнічування підведена синусоїдна напруга дає спотворену криву струму (рис. 14.2, а). Аналогічно, якщо через нелінійний опір пропустити синусоїдний струм, то напруга на ньому буде мати несинусоїдну форму (рис. 14.2, б).

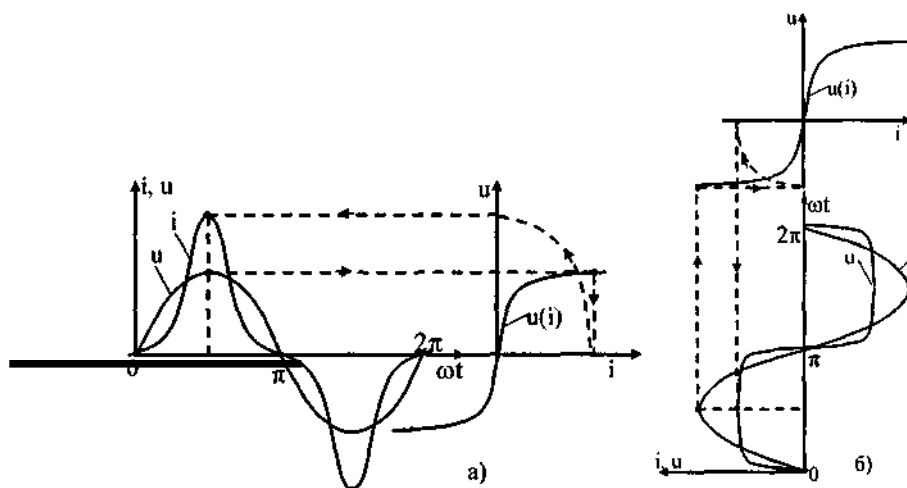


Рис.14.2. Спотворення синусоїдних напруги та струму пристроєм з нелінійною вольт-амперною характеристикою

На рис. 14.2, а заданою є синусоїдна крива напруги $u(\omega t)$. За нею і вольтамперною характеристикою, як показано на рисунку стрілками, будується несинусоїдна крива струму $i(\omega t)$. На рис. 14.2, б, навпаки, заданою є синусоїдна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

крива струму $i(\omega t)$, а за нею і вольт-амперною характеристикою, як показано на рисунку стрілками, будується несинусоїдна крива напруги $u(\omega t)$.

Таким чином, установки з нелінійною вольт-амперною характеристикою як вентильні перетворювальні установки є причиною спотворення синусоїди струму і напруги або в термінах, які використовуються в електротехніці, є джерелом вищих гармонік.

Зменшення несинусоїдності напруги та струму

Зменшення несинусоїдності напруги необхідне в тих випадках, коли вона стає більшою за допустиму (значення напруги або струмів вищих гармонік перевищує допустиме). Зменшення несинусоїдності може бути досягнуто одним з таких способів:

- усуненням причин, які спотворюють синусоїду, тобто зменшенням рівня вищих гармонік, що генеруються вентильними перетворювачами і пристроями з нелінійною вольт-амперною характеристикою;
- раціональною побудовою схеми електричної мережі, від якої живляться вентильні перетворювачі;
- застосуванням фільтрів вищих гармонік.

Зниження рівнів вищих гармонік, які генеруються перетворювачами, можна досягти за рахунок збільшення кількості фаз випрямлення в перетворювальних установках та застосуванням спеціальних схем випрямлення і законів керування ними, які забезпечують покращання форми кривої їх первинних струмів.

Обмеження спотворення форми кривої пристроями з магнітопроводами досягається тим, що в нормальних режимах їх робота здійснюється на лінійній частині кривої намагнічування.

Раціональна побудова схеми мережі з точки зору зниження несинусоїдності полягає в тому, що нелінійні навантаження живлять від окремих ліній і трансформаторів. На рис. 14.3 наведено можливі схеми живлення випрямної установки (ВУ) залежно від її потужності.

На рис. 14.3, а ВУ електротягової підстанції міського транспорту через спеціальний трансформатор $T_{\text{ВУ}}$ приєднана до шин РП. Якщо коефіцієнт

					ДП 2024 141	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спотворення синусоїдної форми кривої напруги K_U більший за допустиме значення, то для зменшення несинусоїдності треба живити ВУ окремою лінією від ЦП (рис. 14.3, б).

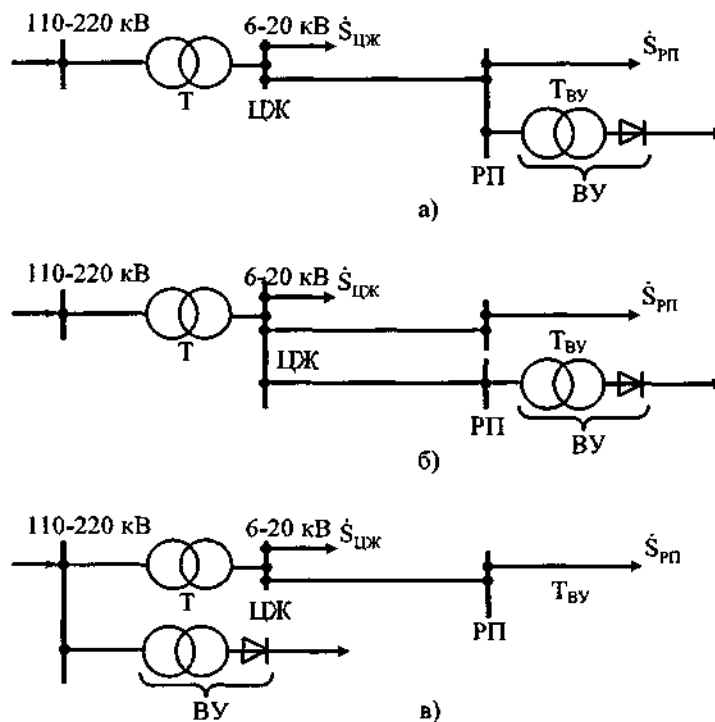


Рис. 14.3. Схеми живлення випрямної установки

Якщо ВУ має велику потужність, наприклад, ВУ сталеплавильної печі, то для зменшення впливу на споживачів розподільної мережі 10-0,38 кВ її живлять безпосередньо від підстанції 110-220 кВ (рис. 14.3, в). За такої схеми мережі вищі гармоніки, які генеруються перетворювачами, потрапляють з шин вищої напруги підстанції в живильну мережу 110-220 кВ, а не в розподільну мережу 10-0,38 кВ. Проте в цьому випадку можуть виникнути недопустимі напруги гармонік в живильній мережі ЕЕС. Рівень цих гармонік не може перевищувати допустимий.

Використання фільтрів – найпоширеніший спосіб зниження рівня вищих гармонік. В електричних мережах фільтри застосовуються, перш за все, для того, щоб зменшити амплітуду струмів або напруг однієї або декількох фіксованих частот (паралельні фільтри).

Найпростіший фільтр вищої гармоніки – це послідовно з'єднані реактор і батарея конденсаторів (БК) (рис. 14.4). Він вмикається паралельно до опору

мережі Z_M . Параметри реактора і БК підбираються так, щоб їх результувальний опір для певної частоти гармоніки дорівнював нулю. В загальному випадку на кожну гармоніку потрібен свій фільтр. Фільтр створює паралельну електричній мережі вітку з дуже малим опором, шунтує її на частоті заданої гармоніки і відповідно знижує напругу цієї гармоніки. Такі фільтри можуть приєднуватися як в місцях генерування вищих гармонік, так і у вузлах мережі з недопустимим рівнем гармонік.

На рис. 14.4 наведено схему паралельного фільтра і залежність його опору від частоти. Повний опір такого фільтра

$$Z_{\phi} = R + j\left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right), \quad (14.2)$$

де L – індуктивність реактора; C – ємність БК; R – сумарний активний опір реактора і БК, який відображає втрати в реакторі і БК.

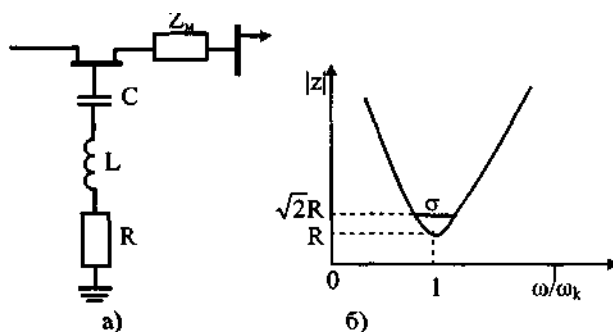


Рис. 14.4. Схема паралельного фільтра, налаштована на одну частоту, (а) і залежність його повного опору Z_{ϕ} від частоти (б)

На резонансній частоті $f_k = \frac{\omega_k}{2\pi}$ опір фільтра зменшується до чистоактивного опору R . Якщо f_k частота k -ї гармоніки, то для неї опір фільтра найменший і вона шунтується. Опір для неї визначається тільки активним опором R . Тобто в реальному фільтрі, налаштованому на k -ту гармоніку, опір не може бути рівним нулю і вона не може бути усунена зовсім.

Фільтр характеризується добротністю, яка визначається як відношення індуктивного (або ємнісного, оскільки вони однакові) опору при резонансі до активного опору:

$$D = \frac{X}{R}.$$

Добротність фільтра D визначає точність його настроювання. Фільтр з високою добротністю (від 30 до 60) налаштовується точно на одну з гармонічних частот. Фільтр же з низькою добротністю має малий опір в широкому діапазоні частот, особливо у випадку, якщо його рівень добротності не перевищує 5.

Як показано на рис. 14.4, б, смуга пропускання частот фільтра a обмежена частотою, на якій реактивний опір фільтра рівний його активному опору (тобто кут повного опору дорівнює 45°), і частотою, на якій модуль повного опору дорівнює $\sqrt{2} \cdot R$. Добротність фільтра пов'язана з шириною його смуги пропускання таким співвідношенням:

$$D = \frac{\omega_k}{\sigma},$$

де ω_k – налагоджувана кутова частота, рад/с.

Потужність фільтра визначається за реактивною потужністю, що генерується фільтром на основній частоті. Ця потужність майже точно дорівнює реактивній потужності основної частоти, що генерується конденсаторами.

Параметри фільтра L і C для заданої гармоніки визначаються з умови

$$\omega_k \cdot L = \frac{1}{\omega_k \cdot C},$$

яка впливає з (14.2).

При використанні фільтрів бажано зменшити максимальне відхилення частоти подавлюваної гармоніки. Цього можна досягти, застосовуючи настроювання фільтра за допомогою автоматичного регулювання ємності або зміни індуктивності. Звичайно вважається прийнятним регулювання $\pm 5\%$. Такі фільтри є фільтрами з автоматичним настроюванням.

Поширення вищих гармонік в електричних мережах

Як правило, розрахунки з розповсюдження вищих гармонік в електричній мережі виконуються за допущення, що електрична мережа симетрична і пасивна,

									Арк.
									102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

тобто до неї може бути застосований принцип суперпозиції, що дозволяє розглядати кожну гармоніку окремо.

Потоки потужності основної частоти і потоки потужності на гармонічних частотах в електричній системі, як це показано на еквівалентній схемі (рис. 14.5), взаємозв'язані. Генерувальна система Γ є джерелом основної синусоїдної напруги. Вона через опір системи $R_c + jX_c$ живить навантаження $R_f + jX_f$ через регульований статичний перетворювач. Потужність системи S_Γ передається споживачам через точки спільного приєднання (ТСП). Як правило, більша частина цієї потужності S_H живить навантаження, а менша S_{Π} – перетворювач.

На (рис. 14.5, б) показано потоки гармонік в еквівалентній схемі. На ній генератор основної частоти Γ подано своїм гармонічним опором. Джерелом гармонік струму є перетворювач, від якого частина потужності S_{Π} , перетворена на потужність гармонік, повертається в систему S_{CG} і генератор $S_{ГГ}$. Більша частина потужності гармонік споживається, як правило, в розподільних мережах навантаженням S_{HG} . Потужності S_{CG} і $S_{ГГ}$, пройшовши ТСП, розподіляються між паралельними елементами електричної мережі (лініями, трансформаторами) і викликають в них додаткові втрати та, спотворюючи напругу, погіршують умови роботи споживачів електроенергії в системі.

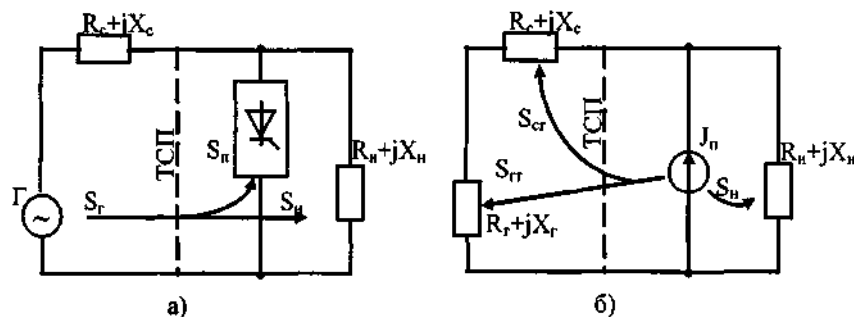


Рис. 14.5. Потоки потужності в електричній системі з гармоніками

Ступінь впливу гармонік на режим електричної мережі та споживачів електроенергії оцінюється за допомогою коефіцієнта спотворення форми кривої напруги, який визначається за виразом:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_1} \cdot 100 \approx \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_{\text{нн}}} \cdot 100, \% \quad (14.3)$$

де U_k – діюче значення напруги k -ї гармоніки; U_1 – напруга прямої послідовності основної частоти; n – номер останньої з гармонік, які враховуються.

Значення потоків потужності на гармонічних частотах в елементах електричної мережі визначаються за формулою:

$$\dot{S}_{ki} = 3 \sum_{k=2}^n (\dot{U}_{ki}^{\hat{a}\hat{o}} - \dot{U}_{ki}^{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}) \cdot \hat{i}_{ki} \quad (14.4)$$

де $\dot{U}_{ki}^{\hat{a}\hat{o}}$, $\dot{U}_{ki}^{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$ – напруги входу і виходу чотирьох полюсника, яким моделюється i -й елемент мережі; \hat{i}_{ki} – струм k -ї гармоніки в i -му елементі мережі, який визначається за результатами розрахунку усталеного режиму ЕЕС, де задавальним струмом є струм k -ї гармоніки джерела гармонік $I_{\text{гк}}$. Враховуючи (14.3), (14.4) та вимоги до моделювання процесу поширення гармонік, на кафедрі електричних станцій та систем ВНТУ розроблено методику і алгоритм розрахунку режиму електричних мереж на кожній з гармонік. Структурно-логічну схему адаптованого до гармонічного аналізу алгоритму наведено на рис. 14.6.

Оскільки навантаження задаються потужностями з врахуванням статичних характеристик, то розрахунок виконується в декілька ітерацій. На внутрішній ітерації методом Гаусса розв'язується система вузлових рівнянь:

$$Y_k \cdot \dot{U}_k = \dot{J}_k \quad (14.5)$$

Де Y_k – матриця вузлових провідностей електричної мережі на k -й гармоніці;

\dot{U}_k – вектор напруг вузлів k -ї гармоніки відносно базисного вузла;

\dot{J}_k – вектор задавальних струмів вузлів, в який входять і струми джерел гармонік.

На зовнішній ітерації уточнюються потужності в вузлах відповідно до розрахованих напруг і номера поточної гармоніки, а також уточнюються складові вектора \dot{J}_k . Результати розрахунку режиму кожної гармоніки передаються в банк даних (БД) для подальшого аналізу.

									Арк.
									104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141				

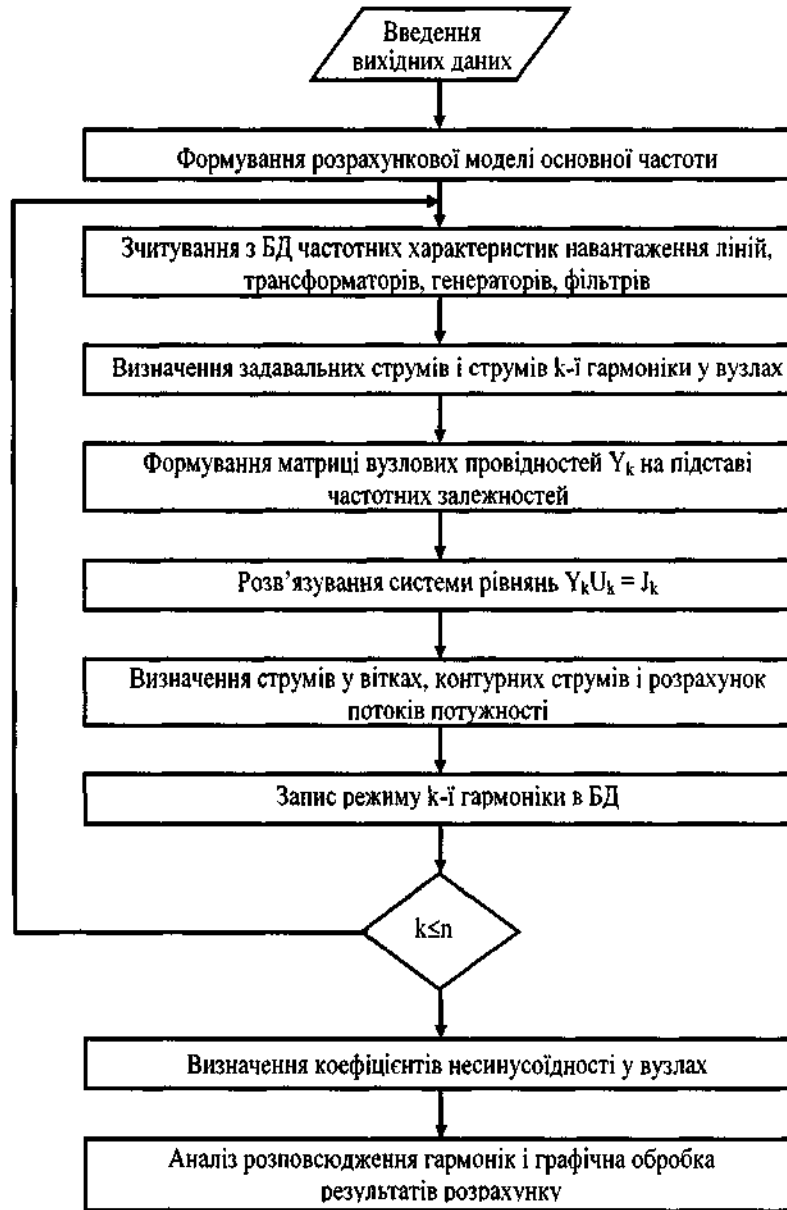


Рис. 14.6. Алгоритм дослідження розповсюдження гармонік

В програмі, в якій реалізовано розглянутий алгоритм, передбачено дослідження процесу обмеження рівня гармонік в системі за допомогою паралельних фільтрів (рис. 14.7). Оскільки фільтри, як правило, задаються своїми опорами на тій гармоніці, на яку вони настроєні, а розрахунок ведеться в «потужностях», то дані фільтрів перераховуються в потужності кожної гармоніки.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

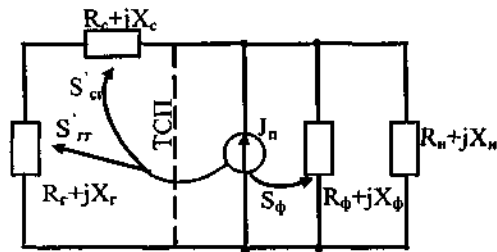


Рис. 14.7. Потіки потужності гармонік в електричній мережі з фільтром

За умови, що в настроєному на m -у гармоніку фільтрі $mX_L = X_C/m$, потужності фільтра на k -й гармоніці визначаються:

$$D_k = \frac{U_k^2 \cdot R}{R^2 + X_C^2 \cdot \gamma^2}, \quad Q_k = \frac{U_k^2 \cdot X_C \cdot \gamma}{R^2 + X_C^2 \cdot \gamma^2}$$

де R, X_L, X_C – відповідно активний, індуктивний та ємнісний опори фільтра; P_k – втрати активної потужності в фільтрі; Q_k – потужність генерації фільтра;

$$\gamma = \frac{k^2 - m^2}{m^2 \cdot k}$$

Як результат розрахунку визначаються потоки потужності в елементах мережі S'_{CG} і S'_{GR} , які відрізняються від потоків потужності в мережі, коли в ній відсутні фільтри. Якщо стоїть задача визначення оптимальних місць установлення і потужності фільтрів, то формується відповідна математична модель. При цьому розглянутий тут алгоритм і програма при моделюванні процесу поширення гармонік в електричній мережі використовуються як окремий програмний модуль.

Практично алгоритм дозволяє аналізувати протікання гармонік струму в мережі одночасно від необмеженої кількості джерел гармонік з будь-яким заданим спектром. Не обмежується також кількість фільтрів. Таким чином, сумарна генерація гармонік струму декількома перетворювачами і фільтрами, приєднаними до шин електричної мережі, використовується для аналізу проникнення гармонік струму в дану мережу.

14.2. Несиметричність напруги і її зменшення

Причини несиметричності напруги в електричних мережах і їх характеристика

Для симетричної трифазної системи напруг характерним є те, що у всіх трьох фазах модулі і фази напруг однакові. В несиметричних режимах ця рівність порушується. Несиметричні режими в електричних мережах виникають з таких причин:

- неоднакові навантаження в різних фазах;
- неповнофазна робота ліній або інших елементів в мережі;
- параметри ліній в різних фазах відрізняються.

В мережах 0,38 кВ найчастіше несиметричність виникає через неоднаковість навантаження фаз. Пояснюється це великою кількістю однофазних електроприймачів, які нерівномірно розподілені між фазами. Для зменшення несиметричності їх необхідно рівномірно розподіляти між фазами. Проте усунути зовсім несиметричність практично неможливо, оскільки вмикаються і вимикаються однофазні електроприймачі неодноразово і безсистемно.

В розподільних мережах 6-10 кВ несиметричність спричиняється, як правило, наявністю потужних однофазних електроприймачів і трифазних електроприймачів з неоднаковим споживанням у фазах. До них відносяться дугові сталеплавильні печі, індукційні плавильні установки, різні нагрівні установки тощо. Крім того, несиметричні електроприймачі -це зварювальні апарати різної потужності. Тягові підстанції електрофікованого на змінному струмі транспорту є також потужним джерелом несиметричності.

У трифазній електричній мережі режим нейтралі обумовлений провідністю відносно точки відліку, як таку можна взяти землю. Ємності між фазами створюють додаткові струми в них, не позначаючись на потенціалах мережі відносно землі. Сума струмів, що протікають в землю, відповідно до першого закону Кірхгофа дорівнює нулю. Якщо фазові напруги \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_N , то одержуємо:

$$\dot{U}_A(g_A + j\omega \cdot C_A) + \dot{U}_B(g_B + j\omega \cdot C_B) + \dot{U}_N(g_N + j\omega \cdot C_N) = 0,$$

									Арк.
									107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДП 2024 141

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{fán}} &= U_{\delta} \frac{j\omega C_A + \dot{a}^2 j\omega C_B + \dot{a} j\omega C_A}{j\omega(C_A + C_B + C_C) + (g_{\dot{A}} + g_{\dot{A}} + g_{\dot{N}})} = \\ &= U_{\delta} \frac{C_A + \dot{a}^2 C_B + \dot{a} C_A}{C_A + C_B + C_C} \cdot \frac{1}{1 - j \left[\frac{3g}{\omega} (C_A + C_B + C_C) \right]}. \end{aligned} \quad (14.7)$$

Другий множник рівняння (14.7) є ступенем відносної несиметрії мережі, обумовленої нерівністю ємностей фаз на землю ($u_0 = \dot{U}_{\text{fán}} / \dot{U}_{\delta}$). У третьому члені (14.7) як уявна величина в знаменнику присутнє відношення активних та ємнісних провідностей

$$d = \frac{3g}{\omega(C_A + C_B + C_C)} = \frac{3g}{\omega C_0},$$

яке визначається у відсотках або відсотках.

Якщо зіставити цю величину з відношенням активної провідності до ємності резонансного контуру, то вона відповідатиме добротності кола, яке відносно системи нейтралі мережі прийнято називати коефіцієнтом заспокоєння мережі.

Оскільки через провідність відповідно протікають активний і ємнісний струми на землю, то через них можна виразити коефіцієнт заспокоєння

$$d = \frac{2\dot{A}}{2\dot{N}}.$$

З урахуванням цього несиметрія дорівнює

$$\dot{U}_{\text{fán}} = \dot{U}_{\delta} \frac{\dot{u}_0}{(1 - jd)},$$

де \dot{u}_0 – ступінь несиметрії мережі, обумовленої відмінністю ємності фаз.

Приблизно значення струмів через ємності повітряної мережі можна знайти за формулою:

$$I_{\dot{n}} = (2,7 \div 3,3) \cdot U_{\dot{e}} \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ А},$$

де $U_{\dot{e}}$ – лінійна напруга мережі, кВ; l – довжина ЛЕП, км.

Для ЛЕП без грозозахисного троса коефіцієнт дорівнює 2,7, для ЛЕП з тросом – 3,3. На ЛЕП з металевими опорами ємності збільшуються на 10-12 %.

					ДП 2024 141	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ємнісний струм двоколової ЛЕП більший за струм одноколової ЛЕП на 30-60 % (залежно від розташування проводів: для горизонтального – 20 %; для вертикального – 35-40 %, ялинкою – 30 %).

Зазвичай для повітряних мереж коефіцієнт заспокоєння дорівнює 3-5 %, для кабельних мереж – 2-4 % (за наявності кабелів з застарілою ізоляцією – до 10 %). Якщо нейтраль ізольована, то вплив коефіцієнта заспокоєння незначний.

Для полегшення аварійного режиму електричної мережі з незаземленою нейтраллю використовується однофазний дросель з регульованим індуктивним опором, що вмикається між нейтраллю і землею (рис. 14.9), який називається дугогасильною котушкою.

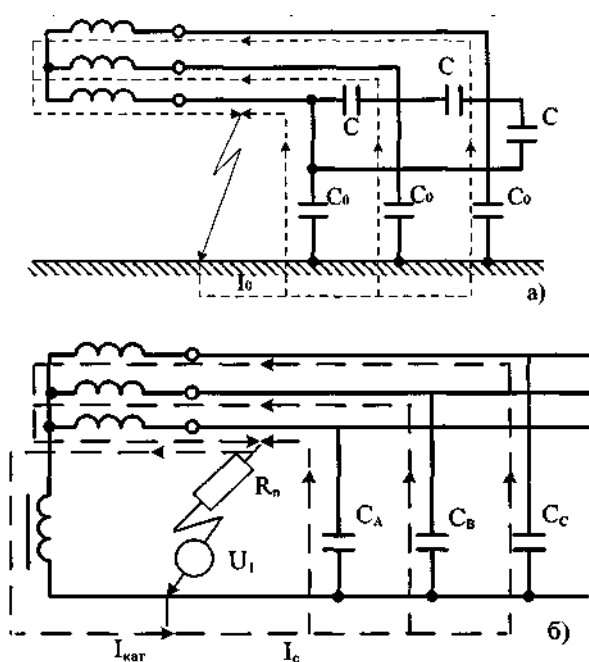


Рис. 14.9. Схема протікання ємнісних струмів під час замикання на землю для схеми без дугогасильної котушки а) і з нею б)

Дугогасильна котушка для струмів нульової послідовності утворює контур, що складається з послідовно з'єднаної індуктивності і сумарної ємності фаз відносно землі. Через те, що індуктивна і ємнісна провідності взаємно компенсуються, еквівалентна реактивна провідність може наближатися до нуля, а коло тоді поводить як активний опір. Таким чином, індуктивність дугогасильної котушки в поєднанні з ємністю мережі утворює коло, що виконує роль послідовного резонансного контуру.

Контур має активний опір, що визначається оберненою активною провідністю ізоляції фаз ($3/r$) і втратами активної потужності в дугогасильній котушці і трансформаторі ($1/r_{\text{еіо}}$).

Аналогічно (14.7), напруга несиметрії

$$\dot{U}_0 = U_\delta \frac{j\omega C_A + \dot{a}^2 j\omega C_B + \dot{a}j\omega C_C}{j\omega(C_A + C_B + C_C) - j1/\omega L_{\text{еіо}} + 1/R},$$

де $\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{r_{\text{еіо}}}\right) + \left(\frac{1}{r}\right)$.

Для співвідношення напруги зміщення нейтралі з фазною напругою отримуємо величину, яка називається ступенем зміщення нейтралі і визначається за формулою

$$u = \frac{\dot{U}_0}{U_\delta} = \frac{\dot{U}_0}{\frac{\omega(C_A + C_B + C_C) - 1/\omega L_{\text{еіо}}}{\omega(C_A + C_B + C_C)} - j \frac{1}{R\omega(C_A + C_B + C_C)}}.$$

Перший член знаменника, що є відношенням повної реактивної провідності контуру до його ємнісної провідності, характеризує ступінь розлаштування контуру (v). При резонансному налаштуванні, коли

$$\omega \sum_{i=1}^3 C_i = \frac{1}{\omega L_{\text{еіо}}},$$

розлаштування дорівнює нулю. Другий член знаменника, як і в (14.7), є коефіцієнтом заспокоєння мережі d . Отже, ступінь зміщення нейтралі можна виразити як

$$u = \frac{\dot{u}_0}{(v - jd)},$$

а абсолютні величини –

$$u = \frac{\dot{u}_0}{\sqrt{v^2 - d^2}}; U_0 = u \cdot U_\delta = \frac{U_{\text{іаіі}}}{\sqrt{v^2 - d^2}}. \quad (14.8)$$

Вираз ступеня розлаштування можна записати у вигляді

$$v = 1 - \frac{1}{\omega L_{\text{еіо}} \omega(C_A + C_B + C_C)} = 1 - k,$$

де k – співвідношення індуктивної провідності до ємнісної провідності мережі.

										Арк.
										111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Ступені розлаштування і налагодження визначаються також і за відповідними струмами:

$$v = \frac{I_c - I_{\hat{\epsilon}i\delta}}{I_c} \quad \text{і} \quad k = \frac{I_{\hat{\epsilon}i\delta}}{I_c}. \quad (14.9)$$

Якщо $\frac{1}{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}} < \omega(C_A + C_B + C_C)$, то ступінь розлаштування додатній і мережа працює з недокомпенсацією. Якщо $\frac{1}{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}} = \omega(C_A + C_B + C_C)$, то налаштування резонансне. Якщо $\frac{1}{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}} > \omega(C_A + C_B + C_C)$, то – від’ємний і мережа працює з перекомпенсацією. При $\frac{1}{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}} = 0$ мережа працює з ізольованою нейтраллю, а при $\frac{1}{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}} = \infty$ з глухо заземленою нейтраллю.

Розглянуті співвідношення виникають як в результаті зміни індуктивності при незмінній ємності мережі, так і при зміні ємності за незмінної індуктивності дугогасильної котушки.

Коефіцієнти заспокоєння компенсованої мережі і мережі без дугогасильної котушки дещо різні, оскільки на цей коефіцієнт впливає додатковий опір $r_{\text{кот}}$. Відношення активної складової струму, що протікає через дугогасильну котушку, до реактивної складової

$$\frac{I_a}{I_{\hat{\epsilon}i\delta}} = \frac{\omega L_{\hat{\epsilon}i\delta}}{r_0} = \frac{\Delta P_{\%}}{100},$$

де $\Delta P_{\%}$ – втрати активної потужності в котушці у відсотках від компенсувальної потужності.

Отже

$$r_{\hat{\epsilon}i\delta} = \omega L_{\hat{\epsilon}i\delta} \left(\frac{100}{\Delta P_{\%}} \right).$$

Зазвичай $\Delta P_{\%} = 1,5 \div 2 \%$.

Для компенсованої мережі

$$d = \frac{1}{R\omega(C_A + C_B + C_C)} = \frac{3}{r\omega(C_A + C_B + C_C)} + \frac{1}{r_{\hat{\epsilon}i\delta} \omega(C_A + C_B + C_C)}.$$

					ДП 2024 141	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи (14.9) отримаємо

$$d' = d + \delta k.$$

При резонансному настроюванні ($k=1$)

$$d' = d + k$$

Отже, коефіцієнт заспокоєння компенсованої мережі більший, ніж даний коефіцієнт для мережі без дугогасильної котушки на 1,5-2%.

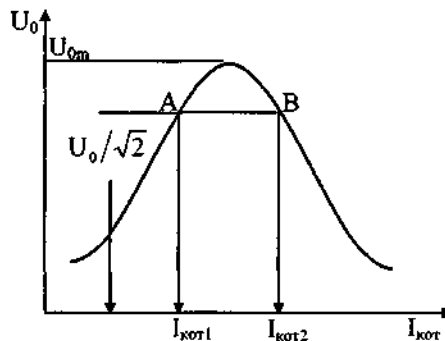


Рис. 14.10. Крива залежності U_0 від налаштування дугогасильної котушки

Характер залежності U_0 від налаштування дугогасильної котушки можна одержати експериментально у вигляді кривої (рис. 14.10), яка є резонансною. За нею можна одержати параметри режиму нейтралі мережі.

Для цього проведемо лінію, паралельну осі абсцис з ординатою $\frac{U_{0m}}{\sqrt{2}}$. Точки перетину з резонансною кривою А і В відповідають струмам компенсації $I_{кот1}$ і $I_{кот2}$.

Розрізняють два види несиметричності: систематичну і випадкову. Систематична несиметричність обумовлена нерівномірним постійним перевантаженням однієї з фаз, імовірна несиметричність відповідає непостійним навантаженням, коли в різний час перевантажуються різні фази залежно від випадкових факторів.

Причиною несиметричності напруг, як відмічалось, може бути неодинаковість параметрів ліній електропередачі по фазах. Відомо, що для вирівнювання параметрів фаз ліній застосовують транспозицію проводів. Але через те, що транспозиційні опори здорожують лінію, вони ненадійні і часто є джерелом аварій, на практиці іноді відмовляються від транспозиції або, що

									Арк.
									113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

частіше, подовжують транспозиційні цикли. Як результат, параметри фаз відрізняються, спад напруги в фазах буде різним і в кінці лінії напруги фаз відрізняються і за модулем, і за фазою.

В ЛЕП 330 кВ і вище для компенсації зарядної потужності і вирівнювання напруги вздовж лінії встановлюють шунтові пофазні реактори. Ці реактори, особливо на 750 кВ, не дуже надійні. При відмові одного з реакторів на час його ремонту реактивна потужність однієї з фаз залишається некомпенсованою, що призводить до того, що напруги фаз відрізняються. Ця "несиметрія" трансформується також в мережі нижчої напруги.

Причиною неповнофазної роботи елементів мереж 6-35 кВ з ізольованою або компенсованою нейтраллю може бути КЗ однієї фази на землю, коли мережа продовжує експлуатуватися якийсь час в такому стані. Такий режим роботи мережі дозволяє хоч і неякісно, але зберегти електропостачання споживачів. На практиці для зменшення струму КЗ на землю і, відповідно, зменшення несиметричності напруг фаз нейтраль трансформаторів заземляють через компенсаційний опір.

Несиметричність напруги впливає на продуктивність машин і механізмів і через те нормується. Для визначення коефіцієнта несиметричності напруги необхідно розраховувати усталений режим електричної мережі.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. /В.Є. Шестеренко. – Вінниця: Нова Книга, 2011.– 656 с.

2. Сірий О.М. Системи електроспоживання: розрахунки, вибір обладнання: навч. посіб. /О.М.Сірий; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. університет харч. технол.-К.: НУХТ, 2011.-319 с.

3. В.Є.Шестеренко. Проектування систем електропостачання. /В.Є. Шестеренко, О.В. Шестеренко. – Київ: ПП «К» 2017. – 436 с.

4. Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування. В.Є. Шестеренко, О.В. Шестеренко. – Київ: 2013. – 424 с.

5. Силові споживачі електричної енергії: [навч. посіб.] /[Соловей О. І., Розен В. П., Ситник О. О. та ін.]; за заг. ред. О. І. Солов'я; М-во освіти і науки, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Кандич С. Г., 2016. – 121 с.

6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.

7. ДБН В .2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К. – Мінрегіон України, 2018 р.

8. Охорона праці в галузі: Метод. вказівки до викон. розрахунково-граф. роботи „Розрахунок заземлюючого контуру” для студ. спец. 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” напряму 0906 „Електротехніка” денної та заоч. форм навчання /Уклад.: В.М.Фалес, Є.С.Богданов, А.М.Литвиненко. – К.: НУХТ, 2004. – 27 с.

					ДП 2024 141			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Белеканич</i>			Література	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мащенко О.А.</i>					115	
<i>Реценз.</i>						<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЗЕЛ-5-2</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>						

9. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник /За ред. канд. техн. наук, доцента В.Ц. Жидецького. – Львів, Афіша, 2000 – 352 с.

10. О. В. Кулаков, В. О. Росоха. Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках: Підручник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2012.

11. Локальні електроенергетичні системи: навчальний посібник /Лежнюк П.Д., Собчук Н.В., Слободянюк О.В. - Вінниця: ВНТУ, 2017. - 141 с.

12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrelektro.com.ua/ua/p802875126-vyklyuchatel-vakuumnyj-vvtel.html>.

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tf-k.net/catalog/kabelno_provodnikovaya_produktsiya/kabel.

14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04>.

					ДП 2024 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116