

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: «Розробка системи електроспоживання ремонтної ділянки
Житомирського автотранспортного підприємства»

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ЗЕЛ 5-2

_____ Пойта Юрій Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Шестеренко Володимир Євгенович _____
(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. Гулога
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/
« 11 » листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Пойта Юрія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електроспоживання ремонтної ділянки Житомирського автотранспортного підприємства
керівник роботи Шестеренко Володимир Євгенович, к.т.н., професор
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 ремонтної ділянки Житомирського автотранспортного підприємства; характеристика споживачів електричної енергії; відомості про джерела живлення; умови проектування
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Коротка характеристика ремонтної ділянки та споживачів електричної енергії; розрахунок електричних навантажень силової мережі та освітлення ремонтної ділянки; вибір числа та потужності силових трансформаторів з урахуванням компенсації реактивної потужності; розрахунок високовольтних і низьковольтних струмів короткого замикання; вибір і перевірка електрообладнання на напругу 10 кВ; релейний захист та автоматика; організація обліку та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання; якість електричної енергії в системі електроспоживання; охорона праці; індивідуальне завдання. Компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах.
5. Перелік графічного матеріалу
 1. План розташування силового електрообладнання і прокладки електричних мереж.
 2. Принципова електрична схема живильної та розподільчої мережі.
 3. План розташування освітлювального електрообладнання і прокладки електричних мереж.
 4. Компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.11.2023 р	
2	Коротка характеристика ремонтної ділянки та споживачів електричної енергії	18.11.2023 р	
3	Розрахунок електричного освітлення ремонтної ділянки	22.11.2023 р	
4	Розрахунок електричних навантажень силової мережі	26.11.2023 р	
5	Компенсація реактивної потужності	30.11.2023 р	
6	Вибір числа та потужності силових трансформаторів цехової підстанції	04.12.2023 р	
7	Розрахунок і вибір апаратів управління та захисту силової мережі	10.12.2023 р	
8	Розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі ремонтної ділянки	14.12.2023 р	
9	Розрахунок струмів короткого замикання	18.12.2023 р	
10	Вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів КЗ.	25.12.2023 р	
11	Релейний захист та автоматика	03.01.2024 р	
12	Організація обліку та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання	06.01.2024 р	
13	Якість електричної енергії в системі електроспоживання	10.01.2024 р	
14	Охорона праці	14.01.2024 р	
15	Індивідуальне завдання. Компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах	20.01.2024 р	
16	Графічна частина	23.01.2024 р	
17	Література	25.01.2024 р	

Здобувач

(підпис)

Юрій ПОЙТА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ШЕСТЕРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Анотація

Пойта Юрій Володимирович. Дипломний проєкт на тему:
«Розробка системи електроспоживання ремонтної ділянки Житомирського
автотранспортного підприємства»

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 99 сторінок.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: план розташування силового електрообладнання і прокладки електричних мереж, принципова електрична схема живильної та розподільчої мережі, план розташування освітлювального електрообладнання і прокладки електричних мереж, компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах.

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

У результаті виконання проєкту наведено характеристику споживачів електроенергії ремонтної ділянки; виконано розрахунок силових електричних і освітлювальних навантажень; визначено число й потужність силових трансформаторів; розраховано та вибрано високовольтне і низьковольтне електрообладнання та провідники і перевірено їх до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання релейного захисту, організації обліку та якості електричної енергії. Розглянуто індивідуальне завдання «Компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах».

У розділі охорона праці наведено основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та робочих місць, основні вимоги до забезпечення електробезпеки та пожежної безпеки та виконано розрахунок заземлюючих пристроїв.

Ключові слова: ремонтна ділянка, споживачі електроенергії, силове електричне навантаження, електричне освітлення, силовий трансформатор, захисна апаратура, струм короткого замикання, проводи і кабелі, розподільчий пункт, шинопровід, компенсація реактивної потужності.

Abstract

YURIY POITA. Diploma project on the topic:

"Development of the power consumption system of the repair station of the Zhytomyr motor vehicle enterprise"

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 99 pages.

The graphic part, which consists of four drawings, is included in the description: a plan for the location of power electrical equipment and the laying of electrical networks, a basic electrical diagram of the power supply and distribution network, a plan for the location of lighting electrical equipment and the laying of electrical networks, compensation of reactive power in local power systems.

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 electricity consumers of the repair station are given; the calculation of power electrical and lighting loads has been performed; the number and power of power transformers are determined; calculated and selected high-voltage and low-voltage electrical equipment and conductors and tested them for short-circuit currents; the issue of relay protection, organization of accounting and quality of electric energy is considered. The individual task "Compensation of reactive power in local power systems" was considered.

In the occupational safety section, the main safety requirements for production equipment and workplaces, the main requirements for ensuring electrical safety and fire safety are given, and the calculation of grounding devices is performed.

Keywords: repair station, electricity consumers, power electric load, electric lighting, power transformer, protective equipment, short-circuit current, wires and cables, distribution point, busbar, compensation of reactive power.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
1.	КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	11
1.1.	Коротка характеристика ремонтної ділянки.....	11
1.2.	Характеристика споживачів електричної енергії ремонтної ділянки..	12
1.3.	Вибір роду струму та рівня напруги.....	14
1.4.	Вибір схеми електропостачання ремонтної ділянки.....	14
2.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	16
2.1.	Світлотехнічний освітлювальної мережі.....	16
2.2.	Електричний розрахунок освітлювальної мережі.....	20
3.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ.....	27
4.	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	33
5.	ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІ.....	36
6.	РОЗРАХУНОК І ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ.....	39
6.1	Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів до верстатів.....	39
6.2.	Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів.....	40
6.3.	Вибір силових ящиків для підключення шинопроводів.....	42

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>					6	
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>						
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

7.	РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	43
7.1.	Розрахунок і вибір перерізів провідників до верстатів.....	43
7.2.	Визначення характеристик труб для прокладки проводів до верстатів	44
7.3.	Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення шинопроводів та силового пункту.....	45
7.4.	Розрахунок та вибір шинних збірок та розподільчого пункту.....	46
8.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	47
8.1.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ.....	47
8.2.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ.....	48
9.	ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	55
9.1.	Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ.....	55
9.2.	Вибір і перевірка високовольтних шин.....	57
9.3.	Вибір і перевірка опорних ізоляторів.....	59
9.4.	Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника.....	59
10.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА.....	61
10.1.	Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання.....	63
11.	ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВАННЯ.....	65
12.	ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.....	69
12.1.	Показники якості електричної енергії.....	71
12.2.	Розрахунок втрат напруги.....	71
13.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	72

14.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	83
14.1.	Способи і засоби компенсації реактивної потужності.....	86
14.2.	Компенсація реактивної потужності в електричних мережах загального призначення.....	91
14.3.	Визначення реактивної потужності, що генерується синхронними двигунами.....	92
14.4.	Визначення потужності батарей конденсаторів напругою понад 1 кВ.	93
14.5.	Компенсація реактивної потужності за наявності специфічних навантажень.....	95
	ЛІТЕРАТУРА.....	99

ВСТУП

Місце електроенергетики в сучасному світі визначається сьогодні не тільки величезними обсягами енергоресурсів, що переробляються, але й незмірною кількістю агрегатів, установок, трубопроводів, ліній електропередач, машин і механізмів, складністю систем електропостачання, а головне – ні з чим незрівнянною надійністю, простотою та якістю забезпечення електричною енергією у будь-який момент часу та у необхідній кількості.

Електроустановки, як і інші технічні пристрої в процесі їх створення проходять стадії проектування, монтажу, налагодження та допуску в експлуатацію. Проектування електроустановок є трудомістким процесом, що вимагає від проєктувальника не тільки гарної інженерної підготовки, але і знань ПУЕ та великої кількості нормативно-технічних документів, що використовуються в електроенергетиці.

Сучасні системи електропостачання промислових підприємств повинні відповідати рівню розвитку технологій, обсягу споживання електричної енергії, забезпечувати показники якості електроенергії та відповідну до вимог споживача надійність за максимальної економічної ефективності. Практично на стадії проектування об'єкта в систему електропостачання повинні закладатися такі технічні вирішення, які забезпечили б виконання згаданих умов. Завдання ускладнюється тим, що з часом попередні умови можуть змінюватись як у частині значень електричних навантажень, територіальному їх розташуванні, так і з боку енергосистеми, сторонніх споживачів тощо. До того ж, деякі вихідні дані можуть бути задані з певним наближенням або просто відсутні. Тому розроблена електропостачальна система повинна бути досить універсальною і легко пристосовуватися до деякої варіації вихідних умов, а також має передбачатись можливість її подальшого розвитку.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Поїта Ю.В.</i>					9	
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8		
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>						

Основні вимоги, що ставляться до систем електропостачання:

1. Мають бути забезпечені показники якості електроенергії відповідно до діючих стандартів.
2. Надійність системи має відповідати категорії електроприймачів щодо надійності їх електропостачання.
3. Електропостачальна система має бути гнучкою.
4. Система має бути придатною до розширення або реконструкції.
5. Мають застосовуватися сучасні способи постачання електроенергії, силові елементи та елементи захисту, автоматики, керування тощо.

Основною вимогою, що висувається до проєктів систем електроспоживання, є надійність електропостачання споживачів. Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих, відповідних умовам навколишнього середовища, електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

У даному дипломному проєкті розглядаються питання розробки системи електроспоживання ремонтної ділянки Житомирського автотранспортного підприємства та компенсація реактивної потужності в локальних електроенергетичних системах.

					ДП 2024 141	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Коротка характеристика ремонтної ділянки

Ремонтна ділянка знаходиться на території Житомирського автотранспортного підприємства, в окремій одноповерховій будівлі. Довжина будівлі 56 метрів, ширина 30 м, висота верстатного відділення 8 м, а всіх інших відділень та допоміжних приміщень – 2,5 м.

Стіни залізобетонні, підлога бетонна, дах виконаний з покрівельного профнастилу. По периметру ремонтної ділянки встановлено 19 віконних отворів, висотою 3,6 м, шириною 3 м. Будівля обладнана двома парами воріт шириною 4 м, висотою 4,2 м. Є проїзди шириною 3 м, проходи достатньої ширини. В ремонтній ділянці є ремонтні, електромеханічні та зварювальні ділянки, кабінет начальника цеху, кімната майстра, кімната для обслуговуючого персоналу, склад запчастин, побутова кімната, інструментальна та приміщення КТП. Ремонтна ділянка обладнана точно-шліфувальними та настільно-свердлильними верстатами; електромеханічна ділянка укомплектована токарно-настільними, консольно-фрезерними, плоскошліфувальними та різьбонарізними верстатами; зварювальну ділянку обладнано зварювальним обладнанням; кабінет начальника цеху, кімната майстра, кімната обслуговуючого персоналу, побутова кімната, інструментальна, обладнані столами, стільцями, шафами, персональними комп'ютерами. Ремонтна ділянка обладнана вантажопідйомним механізмом – кран-балкою вантажопідйомністю 5 тон.

У будівлі використовується природне та штучне освітлення. У виробничому приміщенні передбачено комбіноване електроосвітлення, що складається із загального освітлення за рахунок світильників з лампами ДРІ, розташованих рівномірно по всьому цеху та місцевого освітлення, за рахунок світильників з

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Коротка характеристика ремонтної ділянки	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>					11	
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>						
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		

лампами розжарювання, розташованих безпосередньо на верстатах. Все електроосвітлення цеху робоче. Для забезпечення електроенергією освітлювальних приладів необхідні освітлювальні мережі, які поділяються на живильні та групові. Вибір освітлювальних установок здійснюється з урахуванням усіх умов електропостачання дільниці, що проєктується. Для забезпечення необхідної якості освітлення велике значення має вибір джерел живлення.

1.2. Характеристика споживачів електричної енергії ремонтної дільниці

На ремонтній дільниці використовуються електроприймачі другої та третьої категорії по надійності електропостачання. Електроприймачі другої категорії – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпустку продукції, масових простоїв робітників, механізмів та промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості працівників. Для таких приймачів також має передбачатись резервне живлення, але перемикання на нього може переводитися вручну черговим персоналом або оперативною виїзною бригадою. Електроприймачі II категорії рекомендується забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаємно резервуючих джерел живлення. Для електроприймачів II категорії при порушенні електропостачання від одного із джерел живлення допустимі перерви електропостачання на час, необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади. Допускається живлення електроприймачів II категорії по одній кабельній лінії, що складається не менше ніж із двох кабелів, приєднаних до одного загального апарату. За наявності централізованого резерву трансформаторів та можливості заміни пошкодженого трансформатора за час не більше 1 доби допускається живлення електроприймачів II категорії від одного трансформатора.

Електроприймачі третьої категорії – всі інші електроприймачі, які не підходять під визначення першої та другої категорій. Живлення електроприймачів III категорії електропостачання може виконуватися від одного

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

джерела живлення за умови, що перерви електропостачання, необхідні для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищують 1 доби.

Усі верстати у бідівлі ремонтної дільниці розміщуються згідно з технологічною послідовністю обробки та ремонту деталей та їх надходження від верстата до верстата. При розміщенні обладнання враховано норми відстаней для безпечних переміщень деталей та самих робітників у процесі роботи.

Перелік основних споживачів електричної енергії в ремонтній дільниці наведений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основні споживачі електричної енергії ремонтної дільниці

№ на плані дільниці	Назва електроспоживача	Р _{ЕП} , кВт
1	2	3
1, 2	Токарно-гвинторізні верстати	10,5
3, 4	Горизонтально-розточувальні верстати	10,5
5, 6	Алмазно-розточувальні верстати	6
7, 8	Токарно-шліфувальні верстати	11
9, 10	Радіально-сверлувальні верстати	5,2
11, 12	Свердлувальні-фрезерні верстати	11
13, 14	Заточувальні верстати	9
15, 16	Болтонарізні верстати	3
17, 18	Круглошліфувальні верстати	13
19-21	Повждовжньо – фрезерні верстати	30
22-24	Токарно-револьверні верстати	13
25	Різьбонарізний верстат	4

Потужність електроспоживання Р_{ЕП}, кВт вказано для одного електроприймача.

1.3. Вибір роду струму та рівня напруги

При виборі роду струму та напруги слід враховувати такі фактори. Наприклад, зі збільшенням відстані, зростає електричний опір проводів, і збільшуються втрати через їхнє нагрівання. Відповідно, щоб зменшити втрати або зменшуємо опір провідників, або збільшуємо напругу. З цим завданням може впоратися лише змінний струм. Крім того, в основному електроприймачі в ремонтній ділянці – електродвигуни, електричне освітлення, які зазвичай є споживачами трифазного змінного струму. Для внутрішньоцехових електричних мереж, найбільше застосування отримала напруга 400/230 В, основною перевагою якої є можливість спільного живлення силових та освітлювальних електроприймачів, причому від мережі 400 В буде живитись силове навантаження, а від мережі 230 В – освітлювальне навантаження.

1.4. Вибір схеми електропостачання ремонтної ділянці

Головними вимогами до електричних мереж є: надійність живлення споживачів, зручність в експлуатації та економічність. Для вибору схеми електропостачання необхідно враховувати весь технологічний процес виробництва, а саме навантаження всіх споживачів, вимоги до безпеки електропостачання, умови довкілля тощо. Також однією з найважливіших умов вибору є планування ділянці, а саме розташування трансформаторної підстанції та розподіл навантажень по ній.

За способом ізоляції мережі можуть бути поділені на дві групи:

- 1) виконані неізольованими проводами та шинами (повітряні лінії та шинопроводи);
- 2) виконані ізольованими провідниками (кабельні лінії та електропроводки).

Схеми в окремих ланках системи електропостачання можуть бути радіальними, магістральними (з однобічним живленням, із двостороннім живленням і кільцевими) і змішаними.

При магістральній схемі живлення резервування за низькою напругою здійснюється значно простіше і дешевше, ніж при радіальній схемі за допомогою

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

кабельних перемичок. Воно виконується за допомогою змикання хвостових ділянок магістралей низької напруги від сусідніх підстанцій короткою перемичкою, що облаштована нормально розімкнутими роз'єднувачами.

Перевага магістральних мереж, особливо виконаних струмопроводами, дозволяє рекомендувати їхнє застосування у всіх випадках, коли цьому не перешкоджають які-небудь місцеві умови. При цьому перевагу необхідно віддавати схемам блоків трансформатор-магістраль, по можливості без розподільчих пристроїв низької напруги й без розподільчих щитів.

Радіальна схема живлення безпосередньо потужних електроприймачів і окремих розподільчих пунктів, від яких самостійними лініями живляться більш дрібні електроприймачі. Ці схеми забезпечують високу надійність живлення окремих споживачів, тому що аварії локалізуються дією автоматичного вимикача ушкодженої лінії та не торкаються інші лінії. Радіальні схеми живильних мереж з розподільчими щитами на підстанціях варто застосовувати тільки при живленні потужних електроприймачів і цехових силових розподільчих пунктів, якщо застосуванню магістральних схем перешкоджають територіальне розташування навантажень, умови середовища чи техніко-економічні дані.

У чистому виді радіальні чи магістральні схеми застосовують рідко. Найбільше поширення на практиці знаходять змішані схеми. Змішані схеми живлення дозволяють найбільш раціонально використовувати переваги як магістральних, так і радіальних схем.

Виходячи з усього вищесказаного, вибираємо змішану схему електропостачання для ремонтної ділянки.

					ДП 2024 141	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ

2.1. Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі

Розраховуємо загальне освітлення ремонтної дільниці. Світлотехнічний розрахунок виконаємо за методом коефіцієнта використання світлового потоку. Довжина приміщення $A=40$ м, ширина $B=22$ м, висота $H=8$ м. За довідковими таблицями вибираємо коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення $\rho_{\text{п}}=0,7$, $\rho_{\text{с}}=0,5$, $\rho_{\text{р}}=0,3$, нормовану освітленість ремонтної дільниці $E_{\text{н}}=300$ лк, коефіцієнт запасу приймаємо рівним $K_3 = 1,5$, тип кривої сили світла (КСС Г-1), лампи типу ДРІ.

Розміщення світильників.

Розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника визначається за формулою:

$$H_{\text{р}} = H - h_{\text{н}} - h_{\text{д}} = 8 - 1 - 0,8 = 6,2 \text{ м}, \quad (2.1)$$

де H – висота приміщення, м;

$h_{\text{н}}$ – відстань від світильника до перекриття, м, приймаємо $h_{\text{с}} = 1$ м;

$h_{\text{д}}$ – висота розрахункової поверхні над підлогою, м, приймаємо $h_{\text{р}}=0,8$ м.

По довідниковій таблиці приймаємо $L/H_{\text{р}}=1$ відповідно $L=6,2$ м. Відстань від стіни до крайнього світильника l приймаємо рівним $0,3 \cdot L$ ($l=0,3 \cdot 6,2=1,86$ м).

Визначаємо число рядів світильників за формулою:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{22 - 2 \cdot 1,86}{6,2} + 1 = 4 \text{ рядів}. \quad (2.2)$$

Обчислюємо число світильників у ряду за формулою:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{40 - 2 \cdot 1,86}{6,2} + 1 = 7 \text{ світильників}. \quad (2.3)$$

Відстань між рядами світильників:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1} = \frac{22 - 2 \cdot 1,86}{4 - 1} = 6,09 \text{ м}. \quad (2.4)$$

					ДП 2024	141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Світлотехнічний розрахунок освітлювальної мережі	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>					16		
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>							
Зав.кафедр.									
Н. Контр.									
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8				

Відстань між світильниками в ряді:

$$L_{\hat{A}} = \frac{\hat{A} - 2 \cdot l}{N_R - 1} = \frac{40 - 2 \cdot 1,86}{7 - 1} = 6,04 \text{ м} . \quad (2.5)$$

Знаходимо загальну кількість світильників за формулою:

$$N_{\hat{A}} = R \cdot N_R = 4 \cdot 7 = 28 \text{ шт} . \quad (2.6)$$

Розрахунок освітлення.

Визначаємо площу приміщення:

$$F = A \cdot B = 40 \cdot 22 = 880 \text{ м}^2 . \quad (2.7)$$

Обчислюємо індекс приміщення:

$$i_v = \frac{A \cdot B}{\hat{I}_d \cdot (\hat{A} + \hat{B})} = \frac{40 \cdot 20}{6,2 \cdot (40 + 20)} = 2,28 . \quad (2.8)$$

Для КСС Г-1 і $i_v = 2,28$ при заданих коефіцієнтах відбиття знаходимо із довідника методом лінійної інтерполяції коефіцієнт використання світлового потоку

$$\eta_{i\hat{d}} = 90 + \frac{2,28 - 2}{3 - 2} \cdot (101 - 90) = 93,08 \% .$$

Розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику обчислюємо за формулою:

$$\hat{O}_{\hat{d}} = \frac{\hat{A}_i \cdot \hat{E}_c \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{i\hat{d}}} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 880 \cdot 1,15}{28 \cdot 0,9308} = 17473,4 \text{ лк} . \quad (2.9)$$

За довідковими таблицями вибираємо ДРІ потужністю 250 Вт з $\hat{O}_{\hat{d}} = 19000 \text{ лк}$ типу ГСП04-250.

Для інших приміщень також розраховуємо освітлення за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Обчислимо для кімнати майстра, інші розрахунки зводимо до табл 2.1.

Довжина приміщення $A=8$ м, ширина $B=6$ м, висота $H=2,5$ м. Коефіцієнти відбиття приймаємо $\rho_{\text{п}}=0,5$, $\rho_{\text{с}}=0,3$, $\rho_{\text{р}}=0,1$. За довідковими таблицями вибираємо КСС типа Д-1. Нормована освітленість $E_{\text{н}}=200$ лк, коефіцієнт запасу приймаємо рівним $K_3=1,4$.

Розміщення світильників.

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

Розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника визначається за формулою (2.1)

$$h_{\delta} = h - h_{\bar{n}} - h_{\delta} = 2,5 - 0 - 0,8 = 1,7 \text{ м}.$$

По довідниковій таблиці приймаємо $L/H_p=1,5$ відповідно $L=2,55$ м. Відстань від стіни до крайнього світильника l приймаємо рівним $0,3 \cdot L$ ($l=0,3 \cdot 2,55=0,76$ м).

Визначаємо число рядів світильників за формулою (2.2):

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,76}{2,55} + 1 \approx 3 \text{ рядів}.$$

Відстань між рядами світильників за (2.4):

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1} = \frac{6 - 2 \cdot 0,76}{3 - 1} = 2,24 \text{ м}.$$

Розрахунок освітлення.

Визначаємо площу приміщення за (2.7):

$$F = A \cdot B = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2.$$

Обчислюємо індекс приміщення за (2.8):

$$i_r = \frac{A \cdot B}{h_{\delta} \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 6}{1,7 \cdot (8 + 6)} = 2.$$

Для КСС Д-1 і $i_r = 2$ при заданих коефіцієнтах відбиття знаходимо із довідника методом лінійної інтерполяції коефіцієнт використання світлового потоку

$$\eta_{\delta} = 55 \%.$$

Визначаємо необхідний світловий потік ламп одного ряду за формулою (2.9):

$$\hat{O}_{\delta} = \frac{A_r \cdot E_c \cdot F \cdot z}{R \cdot \eta_{\delta}} = \frac{200 \cdot 1,4 \cdot 48 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,55} = 8960 \text{ лк}.$$

Число світильників у ряду $N_R \approx 4$.

Значення світлового потоку однієї лампи у кожному світильнику визначаємо за формулою:

$$\hat{O}_{\epsilon} = \frac{\hat{O}_{\delta}}{N_R} = \frac{8960}{4} = 2240 \text{ лк}. \quad (2.10)$$

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

Визначаємо відстань між сусідніми світильниками у ряді за формулою:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l - N_R \cdot l_{\bar{n}}}{N_R - 1} = \frac{8 - 2 \cdot 0,76 - 4 \cdot 1,396}{4 - 1} = 0,3 \text{ м}, \quad (2.11)$$

де $l_{\bar{n}}$ – довжина одного світильника, м.

За довідковими таблицями вибираємо світильник ЛПП12-36 з люмінесцентними лампами типу ЛБ потужністю 36 Вт зі світловим потоком 2300 лм. Габаритні розміри лампи 1396x78x125.

Таблиця 2.1

Розрахунок електричного освітлення для допоміжних приміщень дільниці

Приміщення	Освітленість, лк	Тип світильника	Кількість
КТП	75	ЛПП12-18	12
Інструментальна	75	ЛПП12-18	12
Побутова	100	ЛПП12-18	8
Кабінет начальника дільниці	200	ЛПП12-36	8
Склад	75	ЛПП12-18	6
Ремонтна ділянка	300	ЛПП12-36	30
Електромеханічна ділянка	300	ЛПП12-36	27
Обслуговуючий персонал	150	ЛПП12-36	12
Склад матеріалів	75	ЛПП12-18	12
Кімната майстра	200	ЛПП12-36	12

Розрахуємо аварійне освітлення ремонтної дільниці.

На ремонтній дільниці передбачається аварійне освітлення для евакуації. Для цього виділяється із системи робочого освітлення чотири світильники ГСП04 з лампами типу ДРІ потужністю 250 Вт, світловим потоком 19000 лм. Вказані світильники живляться від щитка аварійного освітлення ЩАО.

Відповідно до нормативних вимог аварійне евакуаційне освітлення має забезпечити освітленість на підлозі основних проходів не менше ніж 0,5 лк. Основні проходи визначаються виходячи з технологічного устаткування дільниці, плану евакуації тощо. Для того щоб перевірити, чи виконується ця вимога при прийнятому розташуванні світильників евакуаційного освітлення, розраховую освітленість, яку вони створюють у контрольній точці. Як контрольні точки розглядаємо точки *A* і *B*. Однак найгіршою є точка *B*, так як вона освітлена меншою кількістю світильників при відключенні робочого освітлення.

Визначаємо освітленість, що створюється у контрольній точці B найближчим світильником аварійного освітлення.

Використовуючи просторові ізолюкси для КСС Г-1 для $d = 6,2$ м , $I_{\delta} = 6,2$ м , $h_{\delta} = 0,8$ м , обчислюємо умовну освітленість світильника $\Sigma a = 5$ м² .

Розрахункова освітленість в контрольній точці B обчислюється за формулою:

$$\dot{A} = \frac{\hat{O}_{\delta} \cdot \mu \cdot \Sigma a}{\hat{E}_{\zeta} \cdot 1000} = \frac{19000 \cdot 1,1 \cdot 5}{1,5 \cdot 1000} = 69 \text{ лк} . \quad (2.12)$$

Оскільки, $69 \text{ лк} > 0,5 \text{ лк}$, то аварійне освітлення відповідає вимогам нормативно правових актів з охорони праці.

Використовуючи просторові ізолюкси контрольної точки A для КСС Г-1 для $d = 6,2$ м , $I_{\delta} = 6,2$ м , $h_{\delta} = 0,8$ м , обчислюємо умовну освітленість світильника $\Sigma a = 1,4$ м² .

Розрахункова освітленість в контрольній точці B обчислюється за формулою (2.12):

$$\dot{A} = \frac{\hat{O}_{\delta} \cdot \mu \cdot \Sigma a}{\hat{E}_{\zeta} \cdot 1000} = \frac{19000 \cdot 1,1 \cdot 1,4}{1,5 \cdot 1000} = 19,5 \text{ лк} .$$

Оскільки, $19,5 \text{ лк} > 0,5 \text{ лк}$, то аварійне освітлення відповідає вимогам нормативно правових актів з охорони праці.

Аналогічно виконується розрахунок аварійного освітлення для КТП.

Над виходами з ремонтної ділянки встановлюються світильники з піктограмою "Вихід" типу ЛБО22-6 з люмінесцентною лампою потужністю 6 Вт.

2.2. Електричний розрахунок освітлювальної мережі

Розрахункову потужність освітлювального навантаження визначаємо за формулою:

$$D_{\delta i} = \hat{E}_{\delta i} \cdot \sum \hat{E}_{i \delta a^3} \cdot D_{i \delta a^3} , \quad (2.13)$$

де $K_{\text{по}}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$K_{\text{праі}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в пускорегулюючих апаратах (ПРА);

P_{yoi} – установлена потужність ламп.

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

Значення коефіцієнта попиту приймаємо для ремонтної ділянки рівним 0,95, для допоміжних приміщень рівним 0,85.

Значення $K_{пра}$ приймаємо для ламп типу ДРІ 1,1, для ЛЛ зі стартерною схемою пуску рівним 1,2.

Розрахункова потужність групи щитка ЩО1 дорівнює загальній розрахунковій потужності. Потужність групи С1:

$$D_{\delta N1} = 0,85 \cdot 1,2 \cdot (12 \cdot 18 + 12 \cdot 18 + 8 \cdot 36 + 8 \cdot 18) = 881,3 \text{ Вт}.$$

Визначаємо розрахунковий струм групи С1 за формулою:

$$I_{\delta N1} = \frac{D_{\delta N1}}{U_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \cos\varphi} = \frac{881,3}{220 \cdot 0,92} = 4,2 \text{ А}. \quad (2.14)$$

Визначаємо загальне розрахункове навантаження для ЩО:

$$P_{заг} = 1 \cdot (881,3 + 1306,25 + 1045 \cdot 3 + 991,44) = 6314 \text{ Вт}.$$

Розрахунковий струм групової мережі для однофазних ліній визначаємо за такою формулою:

$$I_{\delta} = \frac{D_{\delta}}{3 \cdot U_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \cos\varphi} = \frac{6314}{3 \cdot 220 \cdot 0,92} = 9,9 \text{ А}. \quad (2.15)$$

Інші розрахунки зводимо до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахункові потужності та струми груп освітлювальної установки

Група	P_p , Вт	I_p , А
ЩО1	6314	9,9
С1	881,3	4,2
С2	1306,25	11,3
С3-С5	1045	9
С6	991,44	4,7
ЩО2	4057,2	5,88
С7	660,96	3,1
С8	1045	9
С9-С11	783,75	6,8
ЩАО	1045	1,51
С12	1045	9
С13	1045	9

Для ЩО1 вибираємо тип щитка освітлення – ЩО 8505 - 1606 з 6 відходящими групами.

Для ЩО2 вибираємо тип щитка освітлення – ЩО 8505 - 1606 з 6 відходящими групами.

Для ЩАО вибираємо тип щитка аварійного освітлення – ЩО 8505 – 0504 з 2 відходящими групами.

Вибір автоматичного ввідного вимикача групи С1 за умовою:

$$I_{I.д.дiçi} \geq 2 \delta, \quad (2.16)$$

де $I_{I.д.дiçi}$ – номінальний струм теплового розщеплювача автоматичного вимикача, А.

$$I_{I.д.дiçi} = 6,3 \times 2 \delta = 4,2.$$

За довідниками вибираємо автоматичний вимикач ВА 51-29 з $I_{ном.розщ.} = 6,3$ А, $K_{с.в.} = 10$.

Інші розрахунки зводимо в табл. 2.3

Таблиця 2.3

Вибір автоматичних вимикачів групових ліній

Група	I_p, A	$K_{с.в.}$	$I_{н \text{ вим}}, A$	$I_{н \text{ розщ}}, A$	Тип вимикача
ЩО1	9,9	14	25	10	ВА 51-25
С1	4,2	10	63	6,3	ВА 51-29
С2	11,3	10	63	12,5	ВА 51-29
С3-С5	9	10	63	10	ВА 51-29
С6	4,7	10	63	6,3	ВА 51-29
ЩО2	5,88	14	25	6,3	ВА 51-25
С7	3,1	10	63	6,3	ВА 51-29
С8	9	10	63	10	ВА 51-29
С9-С11	6,8	10	63	8	ВА 51-29
ЩАО	9	14	25	10	ВА 51-25
С12	9	10	63	10	ВА 51-29
С13	9	10	63	10	ВА 51-29

Переріз провідників освітлювальних мереж обираємо: за умовою механічної міцності (для алюмінієвих проводів та кабелів мінімальний переріз – 2,5 мм²); по термічній стійкості та за допустимою втратою напруги.

Для вибору перерізу жил живильних проводів, визначаємо на прикладі групової лінії С1, момент навантаження за формулою:

$$\dot{I} = D_{\delta} \cdot L, \text{ êÂð·ì ,} \quad (2.16)$$

де D_{δ} – розрахункове навантаження, кВт;

L – довжина лінії, м.

Довжину лінії С1 обчислимо по формулі

$$L = l_1 + \frac{l \cdot (N_R - 1)}{2}, \text{ ì,} \quad (2.17)$$

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

N_R – число світильників в одному ряду, шт.

Тоді,

$$L = 17,5 + \frac{3 \cdot (4 - 1)}{2} = 22 \text{ ì;}$$

$$\dot{I} = 0,88 \cdot 22 = 19,36 \text{ êÂð·ì .}$$

Допустиму втрату напруги для освітлювальної мережі визначаємо за формулою:

$$\Delta U_{\text{âñ}} = U_{\text{ðð}} \% - \Delta U_{\delta} \% - \Delta U_{\text{min}} \% , \quad (2.18)$$

де ΔU_{min} – мінімально допустима напруга на затискачах електроприймача,

$$\Delta U_{\text{min}} = 95\% ; U_{\text{ðð}} = 105 \% .$$

Тоді,

$$\Delta U_{\text{âñ}} = 105 - 2,11 - 95 = 7,89 \% .$$

Визначаємо переріз жил провідників однофазної лінії С1, виходячи із залишкової величини допустимої втрати напруги, за формулою:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{âñ}}}, \text{ ì}^2, \quad (2.19)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт. Приймаємо за довідниковими даними, рівним 8;

$\Delta U_{\text{âñ}}$ – допустима за втратами напруга, %.

$$F = \frac{19,36}{8 \cdot 7,89} = 0,3 \text{ ì}^2 .$$

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

Розрахунки для інших груп, зводимо до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Розрахункові дані групових ліній

Група	М, кВт·м	F, мм ²	$\Delta U_{\%}, \%$	L, м	$\Delta U_{\text{доп}}, \%$
ЩО1	631,4	10	7,8	100	7,89
C1	19,36	0,31	8	22	
C2	26,3	0,4	8,2	20	
C3	26,71	0,42	7,9	28	
C4	28,2	0,44	8	29	
C5	33,5	0,53	7,9	33	
C6	18	0,28	8	19	
ЩО2	607,5	9,6	7,9	150	
C7	7	0,11	7,9	12	
C8	24,2	0,38	7,9	24	
C9	9,9	0,15	7,9	16	
C10	7,6	0,12	8,2	13	
C11	9,3	0,14	7,9	12	
ЩАО	62,7	0,99	7,9	60	
C12	18,2	0,28	8,1	18	
C13	18,2	0,28	8,1	18	

Переріз провідників освітлювальної мережі за нагріванням вибираємо за таблицями [1] тривалих допустимих струмів $I_{\text{доп}}$ залежно від величини I_p за умовою:

$$K_n^2 \geq \frac{I_p^2}{I_{\text{доп}}^2}, \quad (2.20)$$

де K_n – поправочний коефіцієнт на фактичні умови прокладання провідника, приймаємо $K_n = 1$.

$$K_n^2 \geq \frac{4,2}{1} = 4,2 \text{ А.}$$

Приймаємо переріз жили проводу 2,5 мм². Провід марки АПВ 5х2,5 з допустимим струмом нагрівання $I_{\text{доп}}=19$ А.

Визначаємо фактичну втрату напруги групової лінії С1 при відомому перерізі за формулою:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\dot{I}}{\tilde{N} \cdot F} = \frac{19,36}{8 \cdot 2,5} = 1 \%. \quad (2.21)$$

Так як фактична втрата напруги групової лінії при відомому перерізі склала 1 %, отже, провідник вибраний правильно.

Інші розрахунки зводимо до табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Вибір перерізу проводів

Група	I_p, A	$I_{\text{мі. доц.}}, A$	Переріз і марка провідника	$I_{\text{доп.}}, A$
ЩО1	9,9	10	АВВГ 4х2,5	19
С1	4,2	6,3	АПВ 3(1х2,5)	19
С2	11,3	12,5	АПВ 3(1х2,5)	19
С3	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19
С4	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19
С5	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19
С6	4,7	6,3	АПВ 3(1х2,5)	19
ЩО2	5,88	6,3	АВВГ 4х2,5	19
С7	3,1	6,3	АПВ 3(1х2,5)	19
С8	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19
С9	6,8	8	АПВ 3(1х2,5)	19
С10	6,8	8	АПВ 3(1х2,5)	19
С11	6,8	8	АПВ 3(1х2,5)	19
ЩАО	1,52	6,3	АВВГ 4х2,5	19
С12	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19
С13	9	10	АПВ 3(1х2,5)	19

Проведемо перевірку вибраного провідника групи С1 на відповідність апарату захисту:

$$I_{\text{мі. доц.}} \geq I_{\text{з}} \cdot \frac{\hat{E}_{\text{з}}}{\hat{E}_r} = 6,3 \cdot \frac{1}{1} = 6,3 \text{ A}, \quad (2.22)$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм ланцюга, А; $I_{\text{пр}}$ – номінальний струм провідника, А; $I_{\text{з}}$ – номінальний струм захисного апарату, А; $K_{\text{з}}$ – кратність тривалого допустимого струму провідника до номінального струму захисного апарату, $K_{\text{з}}=0,33$ – для запобіжника, $K_{\text{з}}=1$ – для автоматичного вимикача; $K_{\text{н}}=1$ – коефіцієнт, що враховує умови прокладання.

Інші розрахунки зводимо до табл. 2.6.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Перевірка вибраного провідника

I_p, A	$I_{доп.}, A$	$k_3 \cdot I_3 / k_n$
9,9	19	10
4,2	19	6,3
11,3	19	12,5
9	19	10
9	19	10
9	19	10
4,7	19	6,3
5,88	19	6,3
3,1	19	6,3
9	19	10
6,8	19	8
6,8	19	8
6,8	19	8
1,52	19	6,3
9	19	10
9	19	10

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

При розробці проєкту електропостачання ділянки необхідно визначити максимальну електричну потужність, щоб забезпечити нормальну роботу об'єкта. Залежно від цього значення, що називається розрахунковим навантаженням, вибирається джерело електропостачання й все устаткування електричної мережі, що забезпечує передачу необхідної потужності: лінії, трансформатори, розподільчі пристрої.

Розрахунок електричних навантажень від силових електроспоживачів проводимо за методом коефіцієнта максимуму – K_{\max} .

З метою розрахунку складаємо відомість електричних навантажень, використовуючи перелік устаткування наведений у табл. 1.1.

Для кожного споживача знаходимо значення коефіцієнта використання – K_v та коефіцієнта потужності – $\cos \phi$.

Групуємо споживачі електроенергії цеха і групи з однаковим режимом роботи, тобто з однаковим коефіцієнтом використання – K_v . Дальші розрахунки проводимо окремо для кожної групи.

Розраховуємо розрахункові навантаження:

Розраховуємо розрахункові навантаження:

$$P_p = P_{CM} \cdot K_{\max}, \text{ кВт}; \quad (2.1)$$

$$Q_p = Q_{CM}, \text{ квар}, \quad \text{при } n_e \geq 10 \quad (2.2)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{CM}, \text{ квар}, \quad \text{при } n_e < 10$$

де P_{CM} – середня активна потужність за максимально завантаженою зміну, кВт;

Q_{CM} – середня реактивна потужність за максимально завантаженою зміну квар;

$K_{\max} = f(n_e, K_v)$ – коефіцієнт максимуму, визначається за двідниковими таблицями.

					ДП 2024 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ					
Розробив		<i>Поїта Ю.В.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>							27	
Зав.кафедр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8		
Н. Контр.										
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{Hi})^2}, \text{ шт.} - \text{ефективна кількість споживачів електроенергії групи.}$$

$$P_{CM} = P_H \cdot K_a, \text{ кВт}; \quad (2.3)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар}, \quad (2.4)$$

де P_H – установлена потужність групи споживачів, кВт;

$\text{tg}\varphi$ – відповідає середньозваженому $\cos\varphi$ споживачів групи.

Споживачі з практично постійним графіком навантаження ($K_B \geq 0,6$) групуємо в окремі групи і для них розрахункове навантаження визначаємо із співвідношення:

$$P_p = P_{CM}, \text{ кВт}. \quad (2.5)$$

Якщо в групі кількість споживачів не перевищує 3, тобто $n < 4$, то розрахункове навантаження даної групи визначається із співвідношення:

$$P_p = P_H, \text{ кВт}. \quad (2.6)$$

Якщо в групі споживачів з кількістю $n > 3$, а $n_e < 4$, то розрахункове навантаження для такої групи визначаємо із співвідношення:

$$P_p = P_H \cdot K_\zeta, \text{ кВт} \quad (2.7)$$

де K_ζ – коефіцієнт завантаження.

Результати розрахунків електричних навантажень ремонтної ділянки від силових споживачів заносимо у табл. 2.1.

Розглянемо приклад розрахунку трифазних навантажень, приєднаних до ШС2, від якого живляться наступні електроприймачі:

7,8. Токарно-шліфовальні верстати: $K_B=0,14$, $\cos\varphi=0,5$; $\text{tg}\varphi=1,73$; $n=2$.
Номінальна потужність напівавтомату: $P_H=11$ кВт.

9,10. Радіально-сверлувальні верстати: $K_B=0,14$, $\cos\varphi=0,5$; $\text{tg}\varphi=1,73$; $n=2$.
Номінальна потужність верстату: $P_H=5,2$ кВт.

11,12. Свердлильно-фрезерні верстати: $K_B=0,17$, $\cos\varphi=0,65$; $\text{tg}\varphi=1,17$; $n=2$.
Номінальна потужність верстату: $P_H=11$ кВт.

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

17,18. Круглошліфувальні верстати: $K_B=0,14$, $\cos\varphi=0,5$; $\operatorname{tg}\varphi=1,73$; $n=2$.

Номінальна потужність верстату: $P_H=13$ кВт.

19-21. Повждовжньо – фрезерні верстати: $K_B=0,17$, $\cos\varphi=0,65$; $\operatorname{tg}\varphi=1,17$; $n=3$. Номінальна потужність верстату: $P_H=30$ кВт.

25. Різбонарізний верстат: $K_B=0,12$, $\cos\varphi=0,4$; $\operatorname{tg}\varphi=2,29$; $n=1$. Номінальна потужність верстату: $P_H=4$ кВт.

Послідовність обчислень зберігається.

1. Розрахунок виконується за табличною формою.

2. Вузол живлення – ШС2.

3. Визначення сумарної потужності електроприймачів:

$$\sum D_i = \sum n_i \cdot P_{ii} , \quad (2.8)$$

де n_i – кількість відповідних електроприймачів;

P_{ii} – номінальна потужність відповідних електроприймачів.

$$\sum D_i = 2 \cdot 11 + 2 \cdot 5,2 + 2 \cdot 11 + 2 \cdot 13 + 3 \cdot 30 + 1 \cdot 4 = 174,4 \text{ кВт}.$$

4. Визначення навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{CM} = K_B \cdot n \cdot P_H; \quad (2.8)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.9)$$

1) Для токарно-шліфувальних верстатів:

$$P_{CM} = 0,14 \cdot 2 \cdot 11 = 3,08 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 3,08 \cdot 1,73 = 5,32 \text{ квар.}$$

2) Для радіально-сверлувальних верстатів:

$$P_{CM} = 0,14 \cdot 2 \cdot 5,2 = 1,45 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 1,45 \cdot 1,73 = 2,51 \text{ квар.}$$

3) Для свердлильно-фрезерних верстатів:

$$P_{CM} = 0,17 \cdot 2 \cdot 11 = 3,74 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 3,74 \cdot 1,17 = 4,37 \text{ квар.}$$

4) Для круглошліфувальних верстатів:

$$P_{CM} = 0,14 \cdot 2 \cdot 13 = 3,64 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = 3,64 \cdot 1,73 = 6,29 \text{ квар.}$$

					ДП 2024	141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

5) Для повздовжньо – фрезерних верстатів:

$$P_{cm} = 0,17 \cdot 3 \cdot 30 = 15,3 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 15,3 \cdot 1,17 = 17,9 \text{ квар.}$$

б) Для різьбонарізного верстату:

$$P_{cm} = 0,12 \cdot 1 \cdot 4 = 0,48 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 0,48 \cdot 2,29 = 1,09 \text{ квар.}$$

Визначення групового коефіцієнта використання:

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{\sum D_{\hat{n}i}}{\sum D_i} \quad (2.10)$$

де $\sum P_{\hat{n}i} = 3,08 + 1,45 + 3,74 + 3,64 + 15,3 + 0,48 = 27,69 \text{ кВт}$ – сумарне змінне навантаження.

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{27,69}{174,4} = 0,15.$$

6. Визначаємо:

$$\sum n \cdot D_i^2 = 2 \cdot 11^2 + 2 \cdot 5,2^2 + 2 \cdot 11^2 + 2 \cdot 13^2 + 3 \cdot 30^2 + 1 \cdot 4^2 = 3592,08 \text{ êÀ²}$$

7. Знаходимо ефективне число приймачів:

$$n_{\hat{a}} = \frac{(\sum_1^n D_i)^2}{\sum_1^n n \cdot D_i^2} = \frac{174,4^2}{3592,08} = 8,4.$$

Приймаємо ціле число $n_e = 8$.

8. По табл. 2.1 [1] знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження (K_p) залежно від $K_b = 0,15$ і $n_e = 8$; $K_p = 1,78$.

9. Знаходимо розрахункове активне навантаження:

$$P_p = K_p \cdot P_{cm} = 1,78 \cdot 27,69 = 49,3 \text{ кВт.}$$

10. Знаходимо розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} = 1,1 \cdot 37,48 = 41,22 \text{ квар.}$$

11. Визначення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{49,3^2 + 41,22^2} = 64,26 \text{ êÀ²}.$$

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

12. Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{64,26}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 92,8 \text{ A}.$$

Результати цього й наступних розрахунків навантажень зводяться в табл.

3.1.

Визначаємо сумарну активну, реактивну та повну потужність ремонтної ділянки, а також розрахунковий струм і результати заносимо в табл. 3.1.

Сумарна активна потужність ремонтної ділянки

$$P_{\delta\Sigma} = P_{\delta\phi\bar{N}1} + P_{\delta\phi\bar{N}2} + P_{\delta\phi\bar{D}1} + P_{\delta\bar{m}\bar{a}1} = 20,3 + 49,3 + 19,7 + 7,1 = 96,4 \text{ кВт}.$$

Сумарна реактивна потужність ремонтної ділянки

$$Q_{\delta\Sigma} = Q_{\delta\phi\bar{N}1} + Q_{\delta\phi\bar{N}2} + Q_{\delta\phi\bar{D}1} + Q_{\delta\bar{m}\bar{a}1} = 17,23 + 41,22 + 9,68 + 3 = 71,13 \text{ кВар}.$$

Повна сумарна потужність ремонтної ділянки

$$S_{\delta\Sigma} = \sqrt{P_{\delta\Sigma}^2 + Q_{\delta\Sigma}^2} = \sqrt{96,4^2 + 71,13^2} = 119,8 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Сумарний розрахунковий струм ремонтної ділянки

$$I_{\delta\Sigma} = \frac{S_{\delta\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{119,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 173 \text{ А}.$$

Сумарна активна потужність на шинах низької напруги ТП

$$P_{\delta\Sigma\delta i} = P_{\delta\Sigma} + P_{\delta\bar{a}\bar{i}\bar{i}} = 96,4 + 100 = 196,4 \text{ кВт}.$$

Сумарна реактивна потужність на шинах низької напруги ТП

$$Q_{\delta\Sigma\delta i} = Q_{\delta\Sigma} + Q_{\delta\bar{a}\bar{i}\bar{i}} = 71,13 + 50 = 121,13 \text{ кВар}.$$

Повна сумарна потужність на шинах низької напруги ТП

$$S_{\delta\Sigma\delta i} = \sqrt{P_{\delta\Sigma\delta i}^2 + Q_{\delta\Sigma\delta i}^2} = \sqrt{196,4^2 + 121,13^2} = 230 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Сумарний розрахунковий струм на шинах низької напруги ТП

$$I_{\delta\Sigma} = \frac{S_{\delta\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{230}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 332 \text{ А}.$$

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

Таблиця 3.1

Розрахунок силових електричних навантажень

Вихідні дані					Розрахункові величини				Ефективне число ЕП n_e	Коеф. Розрахунков. Навантаж. K_p	Розрахункові потужності			
Згідно вихідних даних			По довіднику		$K_b \cdot P_n$	$K_b \cdot P_n \cdot \text{tg} \phi$	$n \cdot p^2$	Активна, $P_p = K_p \cdot \sum K_b \cdot P_n$, кВт			Реактивна, $Q_p = I, I \cdot K_b \cdot P_n \cdot \text{tg} \phi$, квар	Повна, S_p , кВА	Розрахунковий струм, $I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n)$, А	
Найменування електроприймача	Кількість ЕП n , шт	Номінальна потужність, кВт		Коеф. використання K_b $K_{b, \text{ср.}} = \sum K_b \cdot P_n / \sum P_n$	Коеф. потужності і реактивної потужності $\cos \phi / \text{tg} \phi$	В заключній графі								
		Одного ЕП p_n	Загальна $P_n = p_n \cdot n$			$\sum K_b \cdot P_n$	$\sum K_b \cdot P_n \cdot \text{tg} \phi$	$\sum n \cdot p^2$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШС1														
Токарно-гвинторізні верстати	2	10,5	21	0,14	0,5/1,73	2,94	5,08	220,5	7	1,86	20,3	17,2 3	26,6 2	38,5
Горизонтально-розточувальні верстати	2	10,5	21	0,17	0,65/1,17	3,57	4,17	220,5						
Алмазно-розточувальні верстати	2	6	12	0,17	0,65/1,17	2,04	2,38	72						
Заточувальні верстати	2	9	18	0,13	0,5/1,73	2,34	4,04	162						
Всього	8	36	72	0,15	0,6/1,45	10,89	15,67	657						
ШС2														
Токарно-шліфовальні верстати	2	11	22	0,14	0,5/1,73	3,08	5,32	242	8	1,78	49,3	41,2 2	64,2 6	92,8
Радіально-сверлувальні верстати	2	5,2	10,5	0,14	0,5/1,73	1,45	2,51	54,08						
Свердлильно-фрезерні верстати	2	11	22	0,17	0,65/1,17	3,74	4,37	242						
Круглошліфовальні верстати	2	13	26	0,14	0,5/1,73	3,64	6,29	338						
Повздовжньо-фрезерні верстати	3	30	90	0,17	0,65/1,17	15,3	17,9	2700						
Різьбонарізний верстат	1	4	4	0,12	0,4/2,29	0,48	1,09	16						
Всього	12	74,2	174,4	0,15	0,55/1,65	27,69	37,48	3592,08						
ШР1														
Болтонарізні верстати	2	3	6	0,12	0,65/1,17	0,72	1,64	18	3	2,89	19,7	9,68	21,9 4	31,7
Токарно-револьверні верстати	3	13	36	0,17	0,65/1,17	6,12	7,16	507						
Всього	5	16	42	0,15	0,65/1,17	6,84	8,8	525						
Дод. навантаж.	7	45,17	91,89	0,18		14,52	23,1	2406,5			100	50		
ЩО											7,1	3	7,7	11,8
Всього по дільниці	32	171,37	380,29	0,63	0,6/1,09	59,94	85,05	7198,58	18	2,17	196,4	121,2	230	332

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП 2024 141	Арк. 32
-----	------	----------	--------	------	--------------------	------------

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Компенсація реактивної потужності – цілеспрямований вплив на баланс реактивної потужності у вузлі електроенергетичної системи з метою регулювання напруги, а в розподільчих мережах також з метою зниження втрат електроенергії. Здійснюється з використанням компенсуючих пристроїв. Для підтримки необхідних рівнів напруги у вузлах електричної мережі споживання реактивної потужності повинно забезпечуватись необхідною генерованою потужністю з урахуванням необхідного резерву. Реактивна потужність, що генерується, складається з реактивної потужності, що виробляється генераторами електростанцій і реактивної потужності компенсуючих пристроїв, розміщених в електричній мережі та в електроустановках споживачів електричної енергії.

Компенсація реактивної потужності особливо актуальна для промислових підприємств, основними електроприймачами яких є асинхронні двигуни, у результаті коефіцієнт потужності без вжиття заходів із компенсації складає 0,7-0,75.

Заходи щодо компенсації реактивної потужності на підприємстві дозволяють:

1. зменшити навантаження на трансформатори, збільшити термін їхньої служби;
2. використовувати проводи та кабелі меншого перерізу за рахунок зменшення навантаження на них;
3. покращити якість електроенергії у електроприймачів (за рахунок зменшення спотворення форми напруги);
4. зменшити навантаження на комутаційну апаратуру за допомогою зменшення струмів у їх колах;

					ДП 2024 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ					
Розробив	<i>Пойта Ю.В.</i>							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	<i>Шестеренко.</i>								33	
Зав.кафедр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Н. Контр.										
Затвердив	<i>Балюта С.М.</i>									

5. уникнути штрафів за зниження якості електроенергії заниженим коефіцієнтом потужності;

6. Зменшити витрати на електроенергію.

Для зниження втрат електричної енергії використовуємо компенсацію реактивної потужності, за допомогою встановлення конденсаторної батареї.

Сумарна розрахункова потужність конденсаторної батареї обчислюється за формулою:

$$Q_{\hat{E}O} = P_{\partial_{\Sigma}\partial i} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2). \quad (4.1)$$

Значення $\cos\varphi_1$ визначаємо за виразом:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_{\partial_{\Sigma}\partial i}}{S_{\partial_{\Sigma}\partial i}} = \frac{196,4}{230} = 0,85. \quad (4.2)$$

Оскільки, $\cos\varphi_1 = 0,85$ тоді $\operatorname{tg}\varphi_1$ відповідно складає 0,62.

Нормоване значення $\cos\varphi_2 \geq 0,95$, тоді $\operatorname{tg}\varphi_2$ приймаємо рівним 0,33.

Отже,

$$Q_{\hat{E}O} = 196,4 \cdot (0,62 - 0,33) = 56,9 \text{ квар.}$$

Вибираємо стандартну конденсаторну установку УКРМ 0,4-70/5-10 (10+10+10+20+20).

$$Q_{\text{ном уст}} \geq Q_p$$

$$Q_p = 56,9 \text{ квар}$$

Параметри УКРМ 0,4-70/5-10:

Номінальна напруга 0,4 кВ;

Потужність установки 70 квар;

Потужність найменшої ступені 10 квар;

Кількість ступеней – 5.

Тоді повне навантаження на шинах низької напруги підстанції, з урахуванням компенсації, складе:

$$S_{\partial i} = \sqrt{P_{\partial_{\Sigma}\partial i}^2 + (Q_{\partial_{\Sigma}\partial i} - Q_{\hat{E}O})^2} = \sqrt{196,4^2 + (121,13 - 70)^2} = 203 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Знайдемо фактичний коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ф}}$ за виразом:

					ДП 2024 141	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\cos\varphi_{\delta} = \frac{P_{\delta\Sigma\delta i}}{\sqrt{P_{\delta\Sigma\delta i}^2 + (Q_{\delta\Sigma\delta i} - Q_{\dot{E}O})^2}} = \frac{196,4}{\sqrt{196,4^2 + (121,13 - 70)^2}} = 0,97. \quad (4.3)$$

Фактичний коефіцієнт потужності ремонтної ділянки має бути більшим або рівним 0,95, що відповідає нормам цієї мережі. Отриманий фактичний коефіцієнт потужності – 0,97, отже, конденсаторна установка вибрана правильно.

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

5. ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

За допомогою трансформаторів напруга підвищується до величин (110-750 кВ), необхідних для ліній електропередач, енергосистем, а також багаторазово поступово знижується до величин, що застосовуються безпосередньо в приймачах електроенергії (220, 380, 660 В).

На підстанціях застосовують трифазні або групи однофазних трансформаторів з двома або трьома роздільними обмотками. Відповідно до числа обмоток різних напруг трансформатори поділяються на двохобмоткові та триобмоткові. Обмотки вищої, середньої та нижчої напруг прийнято скорочено позначати відповідно ВН, СН, НН.

Залежно від виду охолодження трансформатори класифікуються на сухі, масляні та з негорючим рідким діелектриком.

У свою чергу, сухі підрозділяються на трансформатори з природним повітряним охолодженням у відкритому виконанні, у захищеному виконанні, у герметичному виконанні, з повітряним дуттям; масляні – на трансформатори з природною циркуляцією повітря та масла, з природною циркуляцією повітря та примусовою циркуляцією масла, з примусовою циркуляцією повітря та природною циркуляцією масла, з примусовою циркуляцією повітря та масла, з примусовою циркуляцією води та природною циркуляцією масла; з негорючим рідким діелектриком – на трансформатори з природним охолодженням негорючим рідким діелектриком, з охолодженням негорючим рідким діелектриком дуттям.

Кожен трансформатор характеризується номінальними параметрами: потужністю (кВ·А), струмами первинної та вторинної обмоток (А), втратами на нагрівання міді та сталі (кВт), а також напругою короткого замикання (В) та

					ДП 2024 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>				36			
Зав.кафедр.					ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8				
Н. Контр.									
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>							

групою з'єднань.

Реактивну потужність поряд з активною споживає значна частина електроприймачів: асинхронні електродвигуни, трансформатори, лінії електропередач. Розрізняють три види компенсації реактивної потужності: централізовану (з установкою компенсуючого пристрою на ТП підприємства), групову (з установкою компенсуючого пристрою в цехах біля розподільчих щитів) та індивідуальну (з установкою пристрою, що компенсує, поруч з електроприймачем).

Як основний засіб компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах рекомендується застосовувати батареї статичних конденсаторів, які є найбільш економічними джерелами реактивної потужності. Установка компенсуючого пристрою необхідна для підвищення $\cos \phi$ підприємства і поліпшення якості електроенергії.

Оскільки ремонтна ділянка автотранспортного підприємства відноситься до 3 категорії споживача за надійністю електропостачання, кількість трансформаторів $N=1$.

Дані для розрахунків беруться із пункту 4 кваліфікаційної роботи. Номінальна потужність трансформатора $S_{ном}$, кВ·А визначається за формулою:

$$S_{\bar{m}} = \frac{S_{\partial i}}{\beta_{\partial} \cdot N}, \quad (5.1)$$

де β_{∂} – рекомендуємий коефіцієнт завантаження трансформатора, в.о., для споживачів третьої категорії $\beta_{\partial} = 0,9$;

N – кількість трансформаторів, шт.

Тоді,

$$S_{\bar{m}} = \frac{203}{0,9 \cdot 1} = 225,6 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

За шкалою номінальних потужностей, за довідником вибираємо трансформатор типу ТМГ-250/10-У1.

Номінальні параметри трансформатора наведено в табл. 5.1.

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

Технічні характеристики трансформатора

Тип трансформатора	S_H , кВ · А	Втрати, кВт		$U_{кз}$, %	$I_{хх}$, %
		ХХ	КЗ		
ТМГ-250/10-У1	250	0,74	3,7	4,5	2,3

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження трансформатора з урахуванням компенсації реактивної потужності:

$$\beta_{\partial} = \frac{\sqrt{P_{\partial\sigma\partial}^2 + (Q_{\partial\sigma\partial} - Q_{\partial\sigma\partial})^2}}{S_{\partial\partial}} = \frac{\sqrt{196,4^2 + (121,13 - 70)^2}}{250} = 0,81.$$

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

6. РОЗРАХУНОК І ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Для захисту верстатів та груп електроспоживачів від перевантаження та струмів короткого замикання передбачаємо автоматичні вимикачі серії ВА.

6.1. Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів до верстатів

Автоматичні вимикачі вибираються за таких умов:

$$U_{\text{м}}^{\text{АА}} \geq U_{\text{м}}^{\text{іадаае}^3}, \quad (6.1)$$

де $U_{\text{м}}^{\text{іадаае}^3}$ – номінальна напруга мережі, в якій використовується автоматичний вимикач.

Номінальним струмом теплового розщеплювача:

$$I_{\text{м.}i\text{ц}u}^2 \geq I_{i\text{ц}}^2. \quad (6.2)$$

Номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{\text{м.}AA}^2 \geq I_{i\text{ц}u}^2. \quad (6.3)$$

Автоматичний вимикач перевіряється за струмом спрацювання розщеплювача миттєвої дії:

$$I_{\text{м}i\text{а}o}^2 \geq 1,25 \cdot I_{i\text{e}}^2. \quad (6.4)$$

Автоматичні вимикачі вибираємо з довідникової літератури.

Як приклад розглянемо розрахунок та вибір автоматичного вимикача для повздовжньо фрезерного верстату.

Обчислюємо номінальний струм верстату за формулою:

$$I_{\text{м}}^{\text{і}o\text{А}} = \frac{D_{\text{м}}^{\text{і}o\text{А}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{м}}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 54 \text{ А}. \quad (6.5)$$

$$I_{i\text{e}}^{\text{і}o\text{А}} = 5 \cdot I_{\text{м}}^{\text{і}o\text{А}} = 5 \cdot 54 = 270 \text{ А}. \quad (6.6)$$

Отже за довідниковими даними вибираємо автоматичний вимикач серії ВА типу ВА 51-31 з такими параметрами: $I_{\text{м.}i\text{ц}u}^2 = 63 \text{ А}$; $I_{\text{м.}AA}^2 = 100 \text{ А}$.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК І ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>					39	
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>						
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		

Визначаємо струм спрацювання (відсічки) електромагнітного або комбінованого розщеплювача за (6.4):

$$I_{\text{спрацювання}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{н.а.}} \geq 1,25 \cdot 270 \geq 337,5 \text{ А.}$$

Розрахункове значення кратності струму відсічки $K_{\text{с.в.}}$ може бути знайдено по формулі:

$$K_{\text{с.в.}} = \frac{1,25 \cdot I_{\text{н.а.}}}{I_{\text{відсічки}}} = \frac{337,5}{63} = 5,4. \quad (6.7)$$

Приймаємо стандартний коефіцієнт відсічки для даного автоматичного вимикача рівним 7.

Аналогічним чином вибираються автоматичні вимикачі для інших верстатів і результати вибору наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати вибору автоматичних вимикачів до верстатів

№ ЕП на плані	Дані ЕП		Дані АВ				Тип вимикача
	$I_{\text{н.а.}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{н.а.}}$, А	$I_{\text{н.а.}}$, А	$I_{\text{відсічки}}$, А	$K_{\text{с.в.}}$	$K_{\text{с.в.}}$	
1,2	17,4	103,75	25	20	5,2	7	ВА 51-25
3,4	22,3	109,87	25	25	4,4	7	ВА 51-25
5,6	13,4	98,75	25	16	6,2	7	ВА 51-25
7,8	20	187,5	25	20	9,4	10	ВА 51-25
9,10	10,7	74,37	25	12,5	5,9	7	ВА 51-25
11,12	19,5	105,12	25	20	5,3	7	ВА 51-25
13,14	15,6	133,25	25	16	8,3	10	ВА 51-25
15,16	5,8	50,75	25	6,3	8	10	ВА 51-25
17,18	24,8	144,75	25	25	5,8	7	ВА 51-25
19-21	54	337,5	100	63	5,4	7	ВА 51-31
22-24	24,2	192,75	25	25	7,7	10	ВА 51-25
25	7,5	70,37	25	8	8,7	10	ВА 51-25

6.2. Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів

Автоматичні вимикачі вибираємо аналогічно вибору АВ для верстатів, тільки необхідно по іншому визначати піковий струм.

Піковий струм групи електроспоживачів обчислюється за формулою:

$$I_{\Sigma}^2 = I_{\Sigma}^2 + (I_{\Sigma, \max} - \hat{E}_a \cdot I_i)^2, \quad (6.8)$$

де I_{Σ} – розрахунковий струм споживачів даної групи, A (береться з табл. 3.1 кваліфікаційної роботи);

$I_{\Sigma, \max}$ – максимальний пусковий струм найпотужнішого споживача в групі, A (з табл. 6.1);

I_{Σ} – номінальний струм даного споживача, A (з табл. 6.1);

K_B – коефіцієнт використання (з табл. 3.1 кваліфікаційної роботи).

Виконаємо розрахунок та здійснимо вибір автоматичного вимикача для ШР1. Все значення, подставленні нижче, беремо з приложення А.

Визначаємо піковий струм для даної групи

$$I_{\Sigma}^2 = 31,7 + (150 - 0,17 \cdot 24,2) = 177,6 \text{ A}.$$

Визначаємо струм електромагнітного розщеплювача

$$I_{\Sigma}^2 \geq 1,25 \cdot I_{\Sigma}^2 = 1,25 \cdot 177,6 = 222 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-31 з

$$I_{\Sigma}^2 = 40 \text{ A}; I_{\Sigma}^2 = 100 \text{ A}; I_{\Sigma, \text{магн.}} = 400 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач для конденсаторної установки.

Визначаємо номінальний струм конденсаторної установки за формулою:

$$I_{\Sigma}^2 = \frac{Q_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{70}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 100 \text{ A}. \quad (6.9)$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-31 з

$$I_{\Sigma}^2 = 100 \text{ A}; I_{\Sigma}^2 = 100 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач на шинах низької напруги для живлення ремонтної ділянки автотранспортного підприємства.

Визначаємо піковий струм

$$I_{\Sigma}^2 = 173 + (270 - 0,17 \cdot 54) = 434 \text{ A}.$$

Визначаємо струм електромагнітного розщеплювача

$$I_{\Sigma}^2 \geq 1,25 \cdot I_{\Sigma}^2 = 1,25 \cdot 434 = 542,5 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-35 з

$$I_{\Sigma}^2 = 200 \text{ A}; I_{\Sigma}^2 = 250 \text{ A}; I_{\Sigma, \text{магн.}} = 2400 \text{ A}.$$

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі отримані дані заносимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Вибір автоматичних вимикачів до груп електроспоживачів

Найменування групи ЕП	I_p, A	$K_{в.ст}$	$I_{номAB}$	$I_{н.розц}$	Тип вимикача
ШС – 1	38,5	10	100	40	ВА 51-31
ШС – 2	92,8	10	100	100	ВА 51-31
ШР – 1	31,7	10	100	40	ВА 51-31

6.3. Вибір силових ящиків для підключення шинопроводів

На вводі шинних збірок встановлюються силові ящики з рубильником і запобіжником для захисту та забезпечення видимого розриву електричного кола. Вибір силових ящиків здійснюється на підставі номінального струму комплектних запобіжників.

Таблиця 6.3

Вибір силових ящиків для підключення шинопроводів

Позначення на плані	$I_{ном.ЕП}, A$	$I_{пик}, A$	$\frac{I_{пик}^2}{\alpha}, A$	$I_{н.зап}, A$	Тип запобіжника	Тип силового ящика	$I_{н.ся}, A$
ЯС1	38,5	-	-	100	ПН2-100	ЯБПВУ-1м	100
ЯС2	92,8	-	-	100	ПН2-100	ЯБПВУ-1м	100

7. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ РЕМОНТНОЇ ДІЛЬНИЦІ

7.1. Розрахунок і вибір перерізів провідників до верстатів

Електричні мережі напругою до 1 кВ ремонтної ділянки виконаємо провідниками з алюмінієвими струмопровідними жилами. Алюмінієві провідники з міркувань економічності під час проектування СЕП використовуються найчастіше.

При виборі перерізів провідників для відгалужень до окремих електроприймачів за розрахункові струми I_p приймаються їх номінальні струми $I_{ном}$. Вибрані за нагріванням перерізи провідників повинні відповідати струмам захисних апаратів. Для вибору перерізу провідників використовуємо такі співвідношення:

$$I_{доп}^2 \geq I_{н.АІ}^2 \quad ; \quad (7.1)$$

$$I_{доп}^2 \geq \hat{E}_\zeta \cdot I_\zeta^2 \quad , \quad (7.2)$$

де $I_{доп}$ – тривалий допустимий струм провідника, А;

\hat{E}_ζ – коефіцієнт захисту;

I_ζ – номінальний струм теплового розщеплювача автоматичного вимикача або плавкої вставки запобіжника, А.

Приймаємо за довідниковими даними $\hat{E}_\zeta = 1,0$ для провідників, що захищаються автоматичними вимикачами.

Для прикладу, вибираємо провід для поздовжньо-фрезерного верстата.

Вибираємо провід марки АПВ4 (1×25) з $I_{доп} = 70$ А. Провід прокладається в полівінілхлоридній трубі під бетоном. Оскільки, $I_{доп} = 70$ А > $I_\zeta = 63$ А, то провідник вибрано правильно.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	<i>Пойта Ю.В.</i>						43	
Перевірив	<i>Шестеренко.</i>					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив	<i>Балюта С.М</i>							

Провідники вибираємо за довідниковою літературою. Для всіх інших верстатів вибираємо провідники аналогічно наведеному вище розрахунку і результати вибору зводимо до табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Вибір перерізу проводів до верстатів ремонтної дільниці

№ ЕП	$I_{\text{м.Аі}}$, А	$I_{\text{м.δiçù}}$, А	$K_3 \cdot I_3$	Марка і переріз провідника	$I_{\text{доп.}}$, А
ШС1					
1,2	17,4	20	20	АПВ4 (1x3)	21
3,4	22,3	25	25	АПВ4 (1x5)	27
5,6	13,4	16	16	АПВ4 (1x2,5)	19
13,14	15,6	16	16	АПВ4 (1x2,5)	19
ШС2					
7,8	20	20	20	АПВ4 (1x3)	21
9,10	10,7	12,5	12,5	АПВ4 (1x2,5)	19
11,12	19,5	20	20	АПВ4 (1x3)	21
17,18	24,8	25	25	АПВ4 (1x5)	27
19-21	54	63	63	АПВ4 (1x25)	70
25	7,5	8	8	АПВ4 (1x2,5)	19
ШР1					
15,16	5,8	20	6,6	АПВ4 (1x2,5)	19
22-24	24,2	25	25	АПВ4 (1x5)	27

7.2. Визначення характеристик труб для прокладки проводів до верстатів

Прокладка проводів у трубах застосовується в будь-яких приміщеннях. Це найбільш надійна і в той же час найбільш трудомістка та дорога електропроводка. Для її виконання застосовують сталеві та пластмасові труби.

Звичайні сталеві водогазопровідні та легкі водогазопровідні (з умовним проходом 20-50 мм) труби допускається застосовувати в пожежонебезпечних та вибухонебезпечних зонах. Тонкостінні електрозварні труби не допускається застосовувати у вибухонебезпечних зонах.

Проводи закладають у повністю змонтовані труби з протяжними коробками, задалегідь надівши на кінці труб пластмасові втулки для захисту ізоляції проводів при протягненні проводів. Для збереження ізоляції від пошкоджень необхідно правильно вибрати діаметр труби, який залежить від діаметра та якості

проводів, конфігурації трубопроводу, його довжини і наявності на ньому вигинів. Вибираємо труби за монограмою з довідникових джерел. Результати вибору труб наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Характеристика вибраних труб

№ ЕП на плані	Провід	Кількість проводів	Труба			
	d _ж , мм		D ^{ПОЗ} _{ВН} , мм	d _в (СТ), мм	d _з (СТ), мм	d _{ум} , мм
1,2	4,6	4	14,1	15,7	21,3	15
3,4	4,8		14,5	15,7	21,3	15
5,6	4,2		13	15,7	21,3	15
13,14	4,2		13	15,7	21,3	15
7,8	4,6		14,1	15,7	21,3	15
9,10	4,2		13	15,7	21,3	15
11,12	4,6		14,1	15,7	21,3	15
17,18	4,8		14,5	15,7	21,3	15
19-21	9,5		35	41	48	40
25	4,2		13	15,7	21,3	15
15,16	4,2		13	15,7	21,3	15
22-24	4,8		14,5	15,7	21,3	15

7.3. Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення шинопроводів та силового пункту

Підключення розподільчих шкаф, шинопроводів здійснюється за допомогою кабелів з алюмінієвми жилами полівінілхлоридною ізоляцією, марки АВВГ. Переріз кабелів за нагрівання визначається за таблицями допустимих струмів складених для нормальних умов прокладання, залежно від розрахункових значень тривалих допустимих струмових навантажень. Вибираємо кабель для підключення ШС1.

Для вибору перерізу кабелів використовуємо умови (7.1) та (7.2).

Вибираємо кабель марки ААВГ_{НГ-LS5} 4×10, I_{доп} = 45 А > ²_с = 40 А. Кабель прокладається в лотку. Оскільки умова вибору виконується, відповідно кабель вибрано вірно. Для всіх інших груп споживачів вибір наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3.

Вибір живильних кабелів

№ групи	$I_{\text{дiс}}, \text{ A}$	$I_{\text{м.дiсi}}, \text{ A}$	$K_3 \cdot I_3$	Марка і переріз провідника	$I_{\text{доп.}}, \text{ A}$
ШС1	38,5	40	40	АВВГ _{нг-LS} 4x10	45
ШС2	92,8	100	100	АВВГ _{нг-LS} 4x35	100
ШР1	31,7	40	13,2	АВВГ _{нг-LS} 4x10	45

7.4. Розрахунок та вибір шинних збірок та розподільчого пункту

Шинопроводи магістральні та розподільчі призначені для виконання у виробничих приміщеннях чотирипрохідних силових електричних мереж у системах з глухозаземленою нейтраллю. Шинопроводи, освітлювальні та тролейні застосовуються для живлення відповідно освітлювальних та пересувних приладів та електроприймачів. Шинопроводи можуть виконуватися також неізолюваними або захищеними шинами за умови прокладання їх на достатній висоті над підлогою відповідно до вимог ПУЕ.

Вибираємо розподільчий шкаф за довідником. Її характеристики заносимо до табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Вибір розподільчого шкафа

№ шкафа	Тип	Номинальний струм ввідного автомату	Число підключених автоматів
ШР – 1	ПР8501-011	160	6

Вибираємо розподільчі шинопроводи по довіднику і їх номінальні параметри заносимо в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Вибір розподільчих шинопроводів

№ ШС	Тип	$I_n, \text{ A}$	Електродинамічна стійкість, кА	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$
ШС1	ШРА5-100	100	7	0,21	0,21
ШС2	ШРА5-100	100	7	0,21	0,21

										Арк.
										46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

8.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

Основними причинами порушення нормального режиму роботи системи електропостачання є виникнення коротких замикань в мережі або в елементах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції чи помилкових дій обслуговуючого персоналу.

Для зменшення збитків і швидкого відновлення нормального режиму роботи системи електропостачання, необхідно правильно визначити струми короткого замикання і за ними перевірити електрообладнання, захисну апаратуру і засоби обмеження струмів короткого замикання.

Для визначення струмів короткого замикання складемо розрахункову схему, що зображена на рис. 8.1, а і схему заміщення (рис. 8.1, б).

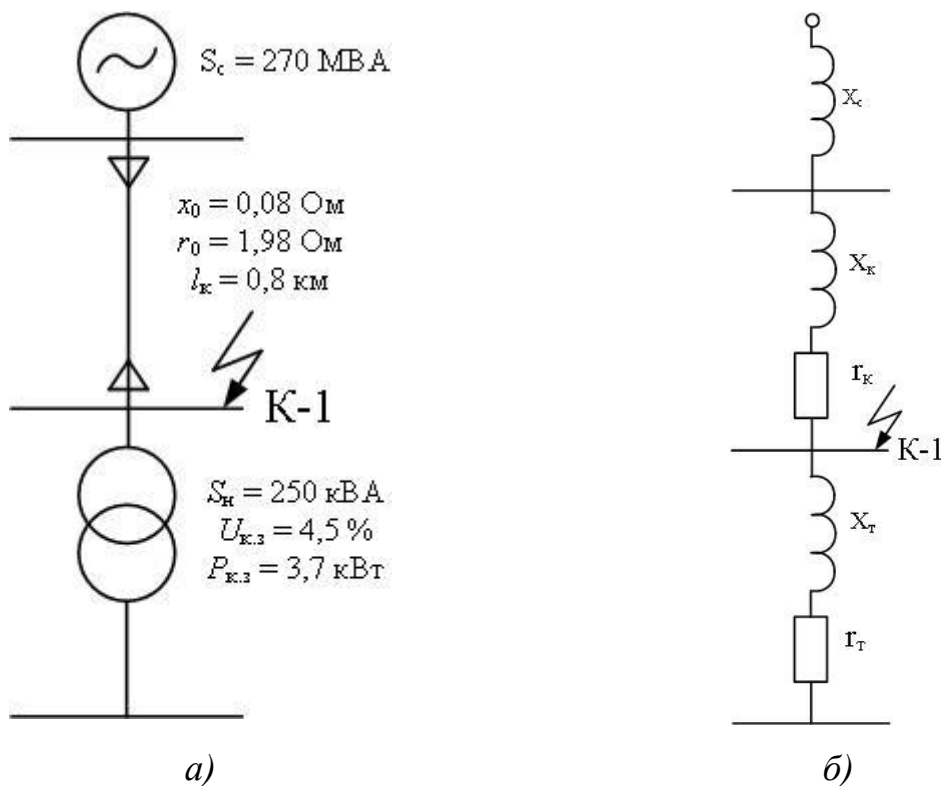


Рис. 8.1. Розрахункова та схема заміщення для визначення струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

					ДП 2024 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Пойта Ю.В.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Шестеренко.				47	
Зав.кафедр.					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Н. Контр.							
Затвердив		Балюта С.М.					
					РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ		

Вихідними даними для розрахунку струмів короткого замикання на стороні напруги 10 кВ є потужність системи $S_c = 270$ МВА, номінальна потужність трансформатора $S_{н.т} = 250$ кВ·А, напруга короткого замикання трансформатора $u_k = 4,5$ % та опір системи $x_c = 0$.

Обчислимо струм короткого замикання в точці: К1 – на стороні напруги 10 кВ. При розрахунку струмів короткого замикання широко використовуються два методи розрахунку: в іменованих одиницях та в базисних відносних одиницях.

Розрахунок виконаємо у відносних базисних одиницях, для цього задаємось: $U_{бк1} = 10,5$ кВ, $S_б = 100$ МВА.

Обчислюємо опір системи за формулою:

$$\tilde{\delta}_{\tilde{n}^*á} = \frac{S_{á}}{S_{\tilde{n}}} = \frac{100}{270} = 0,37. \quad (8.1)$$

Визначаємо реактивний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони І1:

$$\tilde{\delta}_{1^*á} = \tilde{\delta}_{01} \cdot I_1 \frac{S_{á}}{U_{á\hat{E}1}^2} = 0,08 \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,058, \quad (8.2)$$

де $x_{01} = 0,08$ Ом/км – питомий реактивний опір кабельної високовольтної лінії.

Визначаємо активний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони І1:

$$r_{1^*á} = r_{01} \cdot I_1 \frac{S_{á}}{U_{á\hat{E}1}^2} = 1,98 \cdot 0,8 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 1,437, \quad (8.3)$$

де $r_{01} = 1,98$ Ом/км – питомий активний опір кабельної високовольтної лінії.

Обчислюємо повний реактивний опір для точки К1:

$$\tilde{\delta}_{\Sigma^*á\hat{E}1} = \tilde{\delta}_{\tilde{n}^*á} + \tilde{\delta}_{1^*á} = 0,37 + 0,058 = 0,428. \quad (8.4)$$

Знаходимо повний опір у точки К1:

$$z_{\Sigma^*á\hat{E}1} = \sqrt{\tilde{\delta}_{\Sigma^*á\hat{E}1}^2 + r_{1^*á}^2} = \sqrt{0,428^2 + 1,437^2} = 1,499. \quad (8.5)$$

Обчислюємо базисний струм у точці К1 за формулою:

$$I_{á\hat{E}1}^2 = \frac{S_{á}}{\sqrt{3} \cdot U_{á\hat{E}1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,496 \text{ ê}\lambda. \quad (8.6)$$

Знаходимо струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

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

$$I_{\Sigma} = \frac{I_{\Sigma}^2}{Z_{\Sigma}} = \frac{5,496}{1,499} = 3,666 \text{ А.} \quad (8.7)$$

Обчислюємо ударний струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

$$I_{\text{уд}} = I_{\Sigma} \cdot K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} = 3,666 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 7,19 \text{ А,} \quad (8.8)$$

де $K_{\text{уд}}$ ударний коефіцієнт, приймаємо його для високої сторони рівним 1,4.

Обчислюємо потужність короткого замикання у точці К1:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 3,666 = 64,5 \text{ ВА.} \quad (8.9)$$

8.2. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ

Особливостями розрахунку струмів короткого замикання в мережі напругою 0,4 кВ є наступне:

1. Усі розрахунки ведуться в іменованих одиницях, при цьому опори елементів схеми заміщення враховують у мОм.
2. Враховуються всі індуктивні й активні опори елементів.
3. Враховуються опори контактних з'єднань, котушок розщеплювачів автоматичних вимикачів тощо.
4. При обчисленні мінімального значення струму короткого замикання враховується опір дуги в місці короткого замикання.

Для обчислення струмів короткого замикання слід скласти розрахункову схему електропостачання ділянки та схему заміщення електричних елементів.

Для розрахунку струмів короткого замикання використовуються наступні співвідношення:

а) 3-фазного КЗ, кА

$$I_{\text{К}}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К}}}, \quad (8.10)$$

де $U_{\text{л}}$ – лінійна напруга в точці короткого замикання, кВ;

$Z_{\text{К}}$ – повний опір до точки короткого замикання, Ом.

б) 2-фазного КЗ, кА

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

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)} = 0,87 \cdot I^{(3)}. \quad (8.10)$$

в) 1-фазного КЗ, кА

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\pi} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{ кА}, \quad (8.11)$$

де $U^{(1)}$ – фазна напруга в точці короткого замикання, кВ;

Z_{π} – повний опір петлі фаза-нуль до точки короткого замикання, Ом;

$Z_T^{(1)}$ – повний опір трансформатора однофазному короткому замиканню, Ом.

г) K_y – ударний коефіцієнт, визначається за графіками довідникових даних і функцією:

$$K_y = f\left(\frac{R_k}{X_k}\right), \quad (8.12)$$

де R_k, X_k – сумарний активний і реактивний опір до точки короткого замикання.

д) діюче значення ударного струму, кА:

$$I_y = q \cdot I_K^{(3)}, \quad (8.14)$$

де q – коефіцієнт діючого значення ударного струму:

$$q = \sqrt{1 + 2(\hat{E}_{\phi} - 1)^2}. \quad (8.15)$$

Активний R_L і реактивний X_L опори кабельних ліній, визначаються по формулах:

$$R_L = r_o \cdot L; \quad (8.16)$$

$$X_L = x_o \cdot L, \quad (8.17)$$

де r_o, x_o – відповідно питомий активний і реактивний опір кабельної лінії, мОм;

L – довжина кабельної лінії, м.

Обчислимо струм короткого замикання на затискачах найбільш потужного і віддаленого споживача ремонтної дільниці (№ 21 за планом – повздовжньо-фрезерний верстат).

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

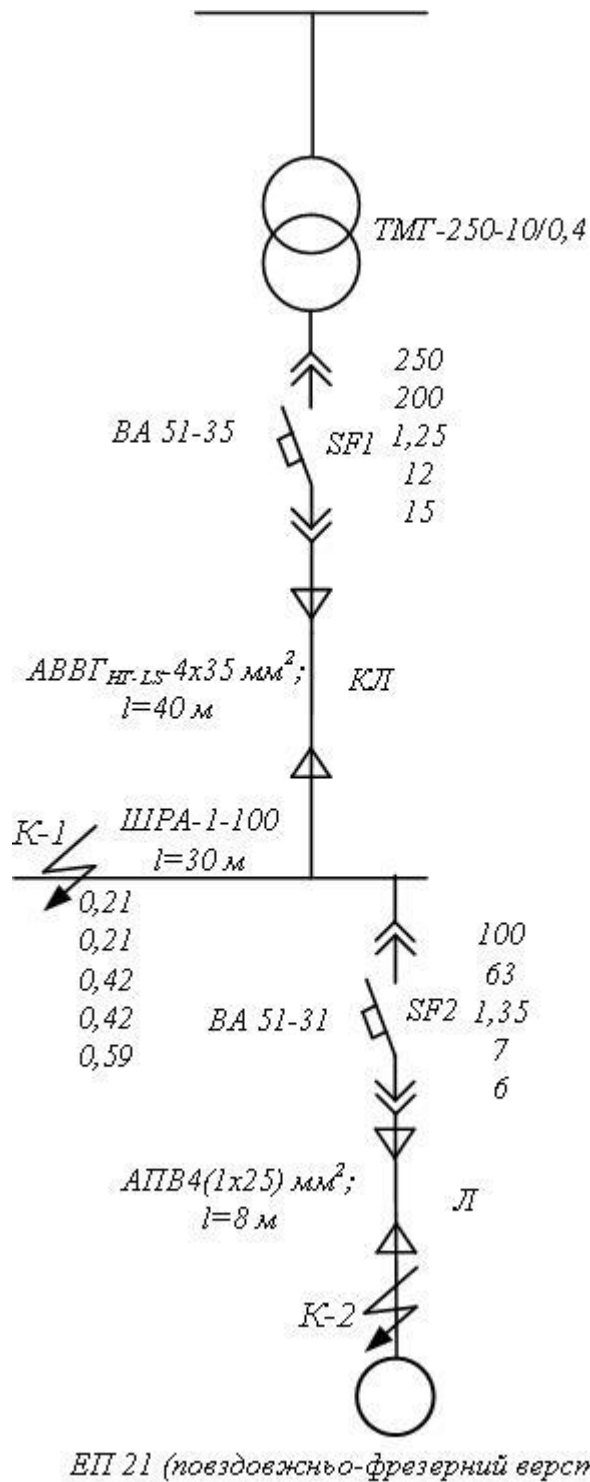


Рис. 8.2. Розрахункова схема для обчислення трифазного струму короткого замикання на стороні 0,4 кВ

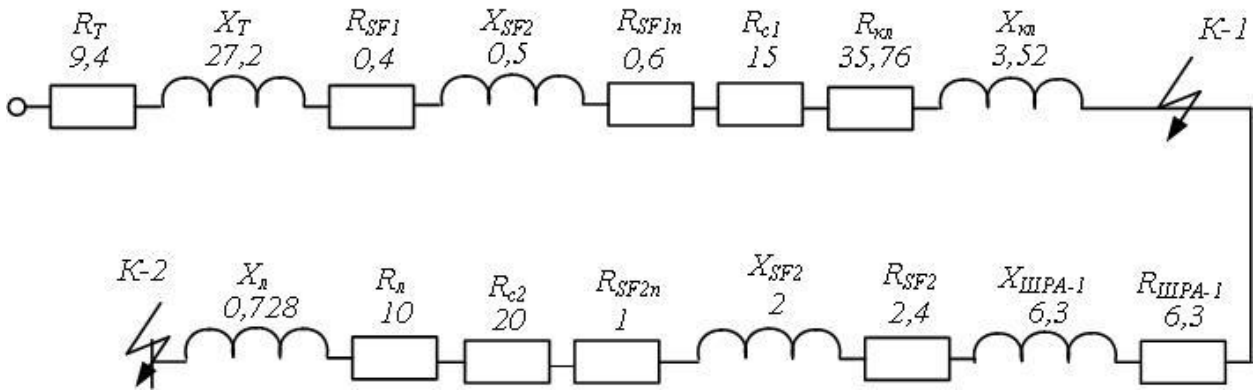


Рис. 8.3. Схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

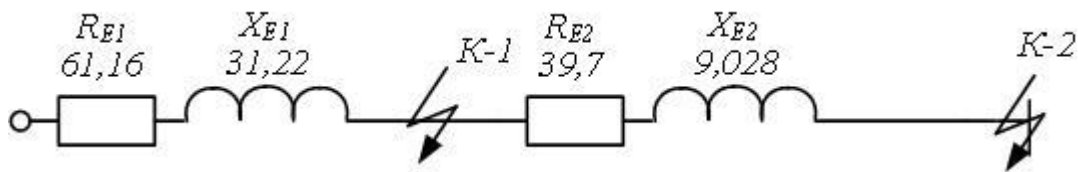


Рис. 8.4. Перетворена схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

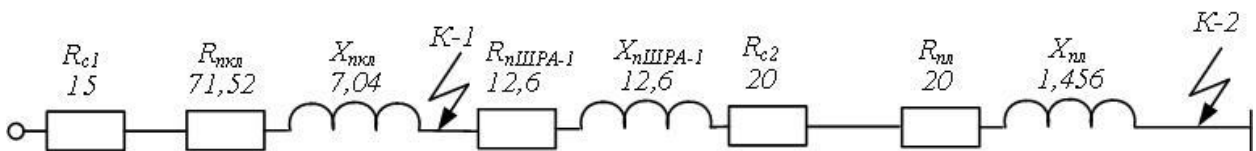


Рис. 8.5. Схема заміщення для розрахунку однофазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

Обчислимо значення струмів короткого замикання для точки К1

Обчислюємо опори до точки К1.

Опір трансформатора ТМГ-250-10/0,4

$$R_T = 9,4 \text{ мОм};$$

$$X_T = 27,2 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 312 \text{ мОм}.$$

Перехідний опір першого ступеню розподілу приймаємо $R_{c1} = 15 \text{ мОм}$.

Для автоматичного вимикача ВА 51-35 з номінальним струмом теплового розщеплювача $I_{ном} = 200 \text{ А}$.

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

$$R_{SF1} = 0,4 \text{ мОм};$$

$$X_{SF1} = 0,5 \text{ мОм};$$

$$R_{SF1II} = 0,6 \text{ мОм}.$$

Для кабеля марки АВВГ_{НГ-LS} 5х35 активний і реактивний опір $r_0 = 0,894$ мОм/м, $x_0 = 0,088$ мОм/м і довжиною 40 м:

$$R_{кЛ} = 0,894 \cdot 40 = 35,76 \text{ мОм};$$

$$X_{кЛ} = 0,088 \cdot 40 = 3,52 \text{ мОм};$$

Для першого ступеня розподілу коефіцієнт ударного струму $K_{y1} = 1,1$.

Обчислюємо значення повного опору схеми заміщення до точки К1

$$R_{E1} = R_T + R_{SF1} + R_{SF1II} + R_{кЛ} + R_{C1} = 9,4 + 0,4 + 0,6 + 35,76 + 15 = 61,16 \text{ мОм}.$$

$$X_{E1} = X_T + X_{SF1} + X_{кЛ} = 27,2 + 0,5 + 3,52 = 31,22 \text{ мОм}$$

$$Z_{A1} = \sqrt{61,16^2 + 31,22^2} = 68,7 \text{ мОм}.$$

$$K_{y1} = f\left(\frac{\sum R_1}{\sum X_1}\right) = f(1,9) = 1,1.$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_{y1} - 1)^2} = 1/$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z} = 380 / (1,73 \cdot 68,7) = 3,19 \text{ кА};$$

$$I_y = I_K^{(3)} \cdot K_{y1} = 3,19 \cdot 1,1 = 3,51 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,86 \cdot 3,19 = 2,74 \text{ кА};$$

Знаходимо значення повного опору схеми заміщення 1-фазних струмів короткого замикання до точки К1

$$R_{п1} = R_{C1} + 2 \cdot R_{кЛ} = 15 + 2 \cdot 35,76 = 86,52 \text{ мОм};$$

$$X_{п1} = X_{кЛ} = 2 \cdot 3,52 = 7,04 \text{ мОм};$$

$$Z_{i1} = \sqrt{86,52^2 + 7,04^2} = 86,8 \text{ мОм}.$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\Phi}{Z_{п1} + \frac{Z^{(1)}}{3}} = 220 / (86,8 + 312/3) = 1,15 \text{ кА}.$$

Для точки короткого замикання К2, розрахунок ведеться аналогічно вище наведеному, з додаванням відповідних опорів наступних елементів схеми. Результати розрахунку струмів короткого замикання наведені в табл. 8.1.

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

Таблиця 8.1

Зведена таблиця струмів короткого замикання на низькій стороні

№ п/п	R_K , МОм	X_K , МОм	Z_K , МОм	$Z_{КП}$, МОм	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I^{(1)}$, кА
К1	61,16	31,22	68,7	86,8	3,19	2,74	1,15
К2	100,86	40,248	108,6	140,7	2,02	1,74	0,899

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

9. ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

9.1. Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ

Провідники будь-якого призначення повинні відповідати вимогам тривалого допустимого нагрівання струмами як нормального, так і максимального режиму.

У зв'язку з цим переріз високовольтних провідників вибирають за економічно вигідною густиною струму для нормального режиму роботи електроустановки і перевіряють за максимально тривалою допустимою температурою $t_{\text{доп}}$ поверхні провідника при максимальному режимі.

Економічно вигідний переріз провідника, мм^2 , визначається за формулою:

$$S_{\text{âê}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{âê}}}, \quad (9.1)$$

де $I_{\text{н}}$ – струм нормального робочого режиму, А;

$j_{\text{âê}}$ – значення економічно вигідної густини струму, А/мм^2 .

Обчислений економічно вигідний переріз провідника ($S_{\text{ек}}$) заокруглюється до найближчого стандартного перерізу $S_{\text{ст}}$, мм^2 .

Слід зазначити, що умови вибору перерізу провідників не залежать від економічно вигідної густини струму:

- для збірних шин електроустановок і збірних шин в межах відкритих і закритих розподільчих пристроїв усіх напруг (і вибирається за нагріванням);
- для мереж промислових підприємств і мереж напругою до 1 кВ при T_{max} до 4000...5000 годин на рік;
- для мереж тимчасових споруд;
- для освітлювальної мережі промислових підприємств, житлових і громадських будівель тощо.

					ДП 2024 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір і перевірка провідників					
Розробив		<i>Поїта Ю.В.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>							55	
Зав.кафедр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Н. Контр.										
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

Перевірка вибраного стандартного перерізу $S_{ст}$ за граничною тривало допустимою температурою при максимальному режимі провадиться для всіх видів провідників: шин, кабелів, проводів. Тривало допустима максимальна температура $t_{доп}$ провідників нормується або умовою підвищеного окислення контактних з'єднань для неізольованих провідників, або умовою швидкого старіння ізоляції для ізольованих провідників. З урахуванням максимальних тривалих допустимих температур навколишнього середовища для $t_{опт.с}$ (для повітря 25 °С, для землі та води 15 °С) для різних видів провідників стандартного перерізу та їх ізоляції експериментально отримані максимальні значення тривалих допустимих струмів $I_{доп}$.

Провідник задовольняє умові нагрівання його до тривало допустимої температури при максимальному режимі, якщо виконується умова:

$$K_{нав} \cdot I_{доп} \geq I_{макс}, \quad (9.2)$$

де $K_{нав}$ – допустимий коефіцієнт навантаження в максимальному режимі, приймається більшим за одиницю.

Для шин, неізольованих проводів, а також кабельних ліній напругою 20...35 кВ $K_{нав} = 1$, тобто їх перевантажувати в максимальному режимі недопустимо і має виконуватись умова:

$$I_{доп} \geq I_{макс}. \quad (9.3)$$

При протіканні струмів КЗ збільшуються втрати електроенергії в провідниках і контактах, що призводить до їх інтенсивного нагрівання. Нагрівання може прискорювати старіння і руйнування ізоляції, викликає зварювання і вигорання контактів, втрачають механічну міцність шини і проводи тощо. Провідники і апарати мають без пошкодження витримувати протягом заданого розрахункового часу нагрівання струмами коротких замикань, тобто бути термічно стійкими.

Протікання струмів короткого замикання викликає і значні електродинамічні зусилля між провідниками. Якщо не вжити належних заходів, то під дією цих зусиль струмопровідні частини і їх ізоляція можуть пошкодитися.

					ДП 2024 141	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо номінальний та максимальний струм на високій стороні:

$$I_i = \frac{S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20,16 \text{ А}.$$

Економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{д}} = \frac{14,4}{1,4} = 10,3 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до обчисленого перерізу кабельної лінії приймаємо найближчий стандартний переріз $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$ (трижильний кабель NA2XS2Y6/10kV з номінальним перерізом жили 1*35RM/16, $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$ при прокладанні його в землі).

Перевіримо вибраний кабель на термічну стійкість до дії струмів короткого замикання за умовою:

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{\hat{A}_{\hat{e}}}}{C}, \quad (9.4)$$

де тепловий імпульс визначається за формулою:

$$\hat{A}_{\hat{e}} = (I_{\text{д}}^{\text{н}})^2 \cdot (\tau_{\text{д}} + \tau_{\text{а}}) = 3,666^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 8,2 \text{ А}^2 \cdot \text{с}. \quad (9.5)$$

Отже,

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{8,2 \cdot 10^6}}{90} = 31,8 \text{ мм}^2.$$

Остаточно, приймаємо кабель марки NA2XS2Y6/10kV з номінальним перерізом жили 1*35RM/16 та $I_{\text{доп}} = 145 \text{ А}$.

9.2. Вибір і перевірка високовольтних шин

Високовольтні шини вибираються за такої умови:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}}, \quad (9.6)$$

де $I_{\text{р}}$ – розрахунковий струм в нормальному режимі, приймаємо його рівним номінальному струму на високій стороні трансформатора, А;

$I_{\text{доп}}$ – тривалий допустимий струм для шини, А.

Вибираємо алюмінієву шину перерізом 3x25 мм, з алюмінію марки АДО,

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

$\sigma_{\text{доп}} = 49 \text{ МПа}$ з $I_{\text{доп.}} = 265 \text{ А}$.

$$265 \text{ А} \geq 14,4 \text{ А};$$

Перевіримо вибрані шини на електродинамічну й термічну стійкість до дії струмів короткого замикання.

Перевірка на електродинамічну стійкість проводиться за такою умовою:

$$\dot{g}_{\text{доп}} \geq \dot{g}_{\text{розр}} \quad (9.6)$$

де $\dot{g}_{\text{розр}}$ – розрахункове механічне напруження в матеріалі шини, МПа;

Розрахункове механічне напруження $\dot{g}_{\text{розр}}$, МПа, у матеріалі обчислюється за формулою:

$$\dot{g}_{\text{розр}} = M / w, \quad (9.7)$$

де M – згинальний момент, що діє на шини, Н м;

w – момент опору перерізу і він залежить від положення шини, см^3 .

Згинальний момент M , Н м, обчислюємо за формулою:

$$M = (f \cdot l) / 10, \quad (9.8)$$

де f – максимальне зусилля, що діє на шини, Н;

l – відстань між ізоляторами шин, м, $l=1$ м;

Момент опору перерізу шини w , см^3 , що розташована «плашмя» обчислюється за формулою:

$$w = (b \cdot h^2) / 6 = (0,3 \cdot 2,5^2) / 6 = 0,3 \text{ см}^3, \quad (9.9)$$

де b і h – розміри поперечного перерізу шини, см.

Максимальне зусилля, що діє на шини f , Н, визначається за формулою:

$$f = \sqrt{3} \cdot l/a \cdot i_y^2 \cdot 10^{-1} = \sqrt{3} \cdot 1/0,4 \cdot 7,19^2 \cdot 10^{-1} = 22,4 \text{ Н}, \quad (9.10)$$

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

i_y – ударний струм короткого замикання, кА;

Тоді,

$$M = (22,4 \cdot 1) / 10 = 2,24 \text{ Н};$$

$$\dot{g}_{\text{розр}} = 2,24/0,3 = 7,5 \text{ МПа}.$$

Отже, умова (4.6) виконується, оскільки:

$$49 \text{ МПа} > 7,5 \text{ МПа};$$

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

Перевіримо шини на термічну стійкість за умовою:

$$f_{\text{ш}} \geq f_{\text{мін}}, \quad (9.11)$$

де $f_{\text{мін}}$ – мінімально допустимий переріз по нагріванню, мм^2 ;

$f_{\text{ш}}$ – переріз шини, мм^2 .

Знайдемо переріз шини $f_{\text{ш}}$, мм^2 :

$$f_{\text{ш}} = b \cdot h = 3 \cdot 25 = 75 \text{ мм}^2,$$

Отже, умова (9.10) виконується, оскільки

$$f_{\text{ш}} = 75 \text{ мм}^2 > f_{\text{мін}} = 31,8 \text{ мм}^2.$$

9.3. Вибір і перевірка опорних ізоляторів

Опорні ізолятори вибираються за умовою

$$f_{\text{доп}} \geq f_{\text{розр}}, \quad (9.12)$$

де $f_{\text{розр}}$ – максимальне зусилля, що діє на конструкцію з шин, Н;

$f_{\text{доп}}$ – допустиме навантаження на шину, Н.

Допустиме навантаження на шину $f_{\text{доп}}$, Н, приймається 60 % від руйнівного навантаження на головку ізолятора, тобто

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

де $f_{\text{руйн}} = 25000 \text{ Н}$ – для фарфорових ізоляторів типу ОФ - 2000 УХЛ.

Для фарфорових ізоляторів $f_{\text{руйн}} = 25000 \text{ Н}$.

Тоді, умова (9.12) виконується, оскільки

$$f_{\text{доп}} = 15000 \text{ Н} > f_{\text{розр}} = 22,4 \text{ Н}.$$

9.4. Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника

Трансформатори ТМГ-250-10/0,4 на КТП з високої сторони комплектуємо вимикачем навантаження типу ВНП-17 і для захисту від струмів короткого замикання – запобіжником ПК-10/30.

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

10. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА

Експлуатуючи будь-яку електроенергетичну систему потрібно зважати на можливість виникнення у ній пошкоджень та ненормальних режимів роботи.

Для запобігання небезпечних наслідків пошкоджень та ненормальних режимів використовується комплекс спеціальних автоматичних пристроїв, що отримав назву релейний захист.

Реле – автоматично-діючий апарат, призначений виробляти стрибкоподібну зміну стану контрольованої мережі при заданих значеннях вхідної величини, що характеризує певне відхилення режиму контрольованого об'єкту.

Основним призначенням релейного захисту є:

- При виникненні пошкоджень виявляти і відключати пошкоджену ділянку, впливаючи на спеціальні силові вимикачі, що призначені для розімкнення струмів пошкодження;
- Виявляти ненормальні режими і, в залежності від характеру порушення, виробляти операції, необхідні для відновлення нормального режиму, або подавати сигнал черговому персоналу.

Основні вимоги до захисту від КЗ:

- Швидкодія

Швидке відключення пошкодженого обладнання або ділянки електроустановки зменшує розміри пошкоджень та зберігає нормальну роботу споживачів непошкодженої частини установки і запобігає порушенню паралельної роботи генераторів, електростанцій і енергосистеми в цілому.

Ця вимога пред'являється, коли в мережі виникає пробій напруги нижче $0,6 \cdot U_{ном}$.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Поїта Ю.В.</i>						
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>					61	
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		

- Селективність

Селективністю називається здатність захисту вимикати при короткому замиканні лише пошкоджену ділянку мережі найближчими до місця КЗ вимикачами.

У відповідності зі способами забезпечення селективності при зовнішніх КЗ розрізняють дві групи захистів: з абсолютною селективністю і з відносною селективністю.

Абсолютну селективність мають захисти, селективність яких при зовнішніх КЗ забезпечується їх принципом дії, тобто захист здатний працювати тільки при КЗ на захисному об'єкті. Тому захисти з абсолютною селективністю виконуються без витримки часу.

Відносну селективність мають захисти, на які за принципом дії можна покласти функції резервних захистів при КЗ на суміжних елементах мережі. З урахуванням цього, такі запобіжні заходи в загальному випадку повинні виконуватися з витримками часу.

- Чутливість

Захист має володіти такою чутливістю в межах встановленої для нього зони, щоб забезпечувалася його дія на самому початку появи пошкодження.

Чутливість захисту має також забезпечити дію при пошкодженнях на суміжних ділянках мережі. Чутливість захисту повинна бути такою, щоб вона діяла при КЗ в кінці встановленої для неї зони в мінімальному режимі роботи системи і при замиканнях через електричну дугу.

- Надійність

Надійність полягає у тому, що захист має правильно і без відмови діяти у межах встановленої для нього зони і не має працювати неправильно у режимах, при яких його робота не передбачалася.

Надійність забезпечується досконалими принципами захисту та конструкцією апаратури, простим виконанням, а також рівнем експлуатації.

На трансформаторній підстанції передбачаємо такі види:

- від коротких міжфазних замикань;

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

- від атмосферних перенапруг;
- від коротких замикань і перевантажень лінії 0,4 кВ;
- газовий захист трансформатора.

Основним захистом системи електроспоживання ремонтної ділянки автотранспортного підприємства є автоматичні вимикачі.

10.1. Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання

Автоматичні вимикачі перевіряють за двох умов:

1. Надійність спрацювання:

$$I_k^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р}, \quad (10.1)$$

де $I_k^{(1)}$ – однофазний струм короткого замикання на ділянці що розглядається, кА;

$I_{н.р}$ – номінальний струм теплового розщеплювача автоматичного вимикача на даній ділянці.

2. Відмикаюча здатність:

$$I_{відкл} > \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)} \cdot K_c, \quad (10.2)$$

де $I_{відкл}$ – струм відключення автоматичного вимикача на даній ділянці електричної мережі, кА

$I_k^{(3)}$ – трифазний струм короткого замикання, кА;

K_c – коефіцієнт, що враховує вплив електричної дуги на коротке замикання, приймається рівним 1,4.

Зробимо перевірку раніше вибраних автоматичних вимикачів, на ділянці електричної мережі ремонтної ділянки, що зображена на рис. 8.2.

Автоматичний вимикач SF1

Для вимикача SF1 ВА 51-35 (приєднання КТП-СШ2):

$I_{н.р} = 200$ А; $I_{відкл} = 15$ кА.

Умова 1

$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 200 = 600$ А = 0,6 кА;

$I_{кл}^{(1)} = 1,15$ кА (табл. 8.1).

Оскільки, $1,15$ кА $\geq 0,375$ кА то умова виконується.

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

Умова 2.

$$\sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 3,19 \cdot 1,4 = 6,32 \text{ кА.}$$

Оскільки, $15 \text{ кА} > 6,32 \text{ кА}$ то умова виконується.

Автоматичний вимикач SF2

Для вимикача SF2 ВА 51-31 (СШ2-ЕП21):

$$I_{н.р} = 63 \text{ А}; I_{відкл} = 6 \text{ кА.}$$

Умова 1

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 63 = 189 \text{ А} = 0,189 \text{ кА}; I_{к2}^{(1)} = 0,899 \text{ кА (табл. 8.1).}$$

Оскільки, $0,899 \text{ кА} > 0,189 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова 2

$$\sqrt{2} \cdot I_{к2}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 2,02 \cdot 1,4 = 4 \text{ кА.}$$

Оскільки, $6 \text{ кА} > 4 \text{ кА}$, то умова виконується.

Отже, відповідно до вище наведених умов перевірки, автоматичні вимикачі вибрані вірно.

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

11. ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВАННЯ

Основними вимоги, що ставляться до обліку електроенергії, регламентованими ПУЕ є застосування двох видів обліку електроенергії:

- розрахункового (комерційного), який фіксується для визначення кількості виробленої і відпущеної електроенергії для визначення її вартості;
- технічного (внутрізаводського), яким контролюється витрата електроенергії споживачами, наприклад промисловим підприємством.

В системі електропостачання автотранспортного підприємства вимірюються поточні значення величин струму, напруги та потужності, а також здійснюється облік споживаної електроенергії.

На автотранспортному підприємстві використана така схема розташування контрольно-вимірювальних приладів. У табл. 11.1 вказано місце їх установки.

Таблиця 11.1

Контрольно-вимірювальні прилади і місце їх установки

Місце установки	Встановлені прилади
Кабельні лінії 10 кВ, що живлять трансформаторні підстанції цехів	Амперметр, лічильник активної та реактивної енергії
Цехові трансформаторні підстанції (сторона 0,4/0,23 кВ)	Амперметр в кожній фазі, вольтметр для вимірювання міжфазної напруги, лічильник активної та реактивної енергії

Організація контролю споживання електроенергії є першим та найважливішим кроком до її раціонального використання шляхом:

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Пойта Ю.В.						65	
Перевірив	Шестеренко.							
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив	Балюта С.М.					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8		

- 1) виявлення всередині підприємства цехів та ділянок, що перевитратили електроенергію;
- 2) детальної перевірки рахунків, що виставляються електропостачальною організацією;
- 3) виявлення найбільш енергетично ефективних режимів роботи обладнання та підтримки цих режимів протягом якомога більшого відрізка часу;
- 4) суворої кількісної оцінки ефективності різних енергозберігаючих заходів у натуральному та грошовому виразі.

Системи енергообліку дозволяють проводити облік споживання електроенергії та тепла на об'єктах житлового, комерційного та виробничого призначення. Системи можуть враховувати споживання енергоресурсів на рівні будинку, районів, міста, населеного пункту з єдиним диспетчерським та фінансовим центрами.

До функцій системи можна віднести:

1. Автоматичний збір даних із приладів обліку електроенергії;
2. Зберігання параметрів обліку у базі даних;
3. Можливість встановлення багатотарифного обліку;
4. Повне зняття крадіжки електрики;
5. Можливість без монтажу вимкнути абонента за несплату;
6. Дані з усіх лічильників, встановлених у будівлі відділу, автоматично збираються пристроєм збору та передачі даних (ПСПД).

ПСПД дані покази приладів обліку передає на комп'ютер зі спеціалізованим програмним забезпеченням, де ці дані зберігаються, обробляються, а також за цими даними виставляються платіжки на оплату електроенергії. На схемі цей вузол відзначений ЦОІ – центр обробки інформації.

Повний перелік аналізованих даних включає:

- Фактичні комерційні витрати електроенергії за будь-який період (миттєві витрати, година, доба, місяць, рік, за весь період вимірів);
- показники якості енергоресурсів;
- технічний стан обладнання, інженерних мереж;

					ДП 2024 141	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- несанкціонований доступ до приладів обліку.

Впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії вигідно з багатьох причин. Насамперед, АСКОЕ дає економічний ефект, який може досягати 5-20 % на рік від сумарного споживання.

Підприємство користується приладом СЕ 303 (Трьохфазний багатофункціональний лічильник активної та реактивної енергії). Лічильник є трифазним, універсальним трансформаторного або безпосереднього включення, призначений для вимірювання активної та реактивної електричної енергії, потужності, частоти напруги, коефіцієнтів активної та реактивної потужностей, кутів між векторами фазних напруг і векторами фазних струмів і напруг, середньоквадратичного значення напруги, сили струму. Лічильник має можливість організації багатотарифного обліку електроенергії з передачею накопиченої інформації через оптопорт, інтерфейс RS485, радіо, PLC або GSM/GPRS модеми.

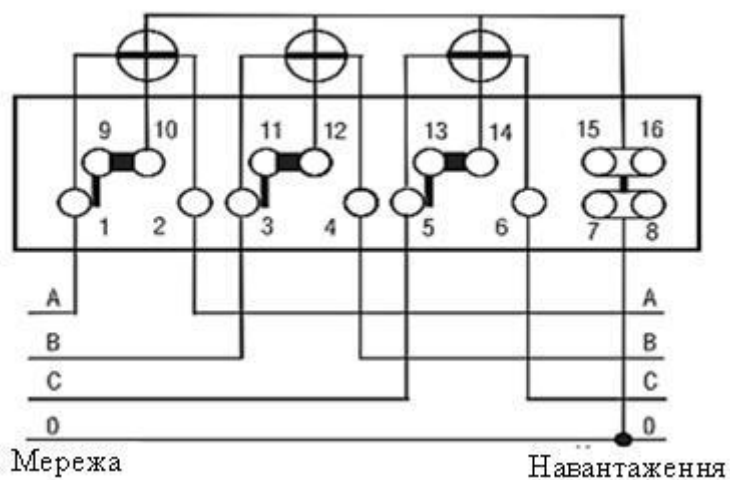


Рис. 11.1. Схема безпосереднього підключення лічильника СЕ 303

Цей лічильник має такі характеристики:

1. Зберігання даних про погодинні обсяги спожитої енергії за останні 148 діб;
2. Інтервал часу усереднення профілів навантаження: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 60 хвилин;
3. Тривалість зберігання інформації при відключенні живлення – не менше 10 років;

4. Фіксацію 20 останніх коригувань часу, зміни установок часу тарифних зон та перепрограмування метрологічних характеристик лічильника;
5. Фіксацію 100 останніх пропадань і виходів за межі допустимих значень фазних напруг;
6. Індикацію даних на РК-індикаторі із заданою періодичністю ($T=5-255$ с) або прогортання за допомогою елементів керування (кнопки) на лицьовій панелі;
7. Управління навантаженням із використанням зовнішнього комутаційного пристрою;
8. Сигналізацію відхилення від лімітів за потужністю та споживанням, фіксацію максимального значення потужності для кожного тарифу протягом місяця (інтервал усереднення - 30 хвилин) та контроль перевищення ліміту для видачі лічильником команди на спрацьовування зовнішнього реле сигналізації;
9. Захист від зовнішніх впливів.

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

12. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

До якості електричної енергії (ЯЕ) пред'являються такі ж вимоги, що пред'являються до якості будь-якої промислової продукції. Електрична енергія як продукт істотно відрізняється від продукції інших галузей промисловості тим, що вона не складається. Однак від якості електричної енергії значною мірою залежать умови роботи її споживачів. Тому забезпечення необхідної якості електричної енергії має велике народногосподарське значення. Підвищення якості електричної енергії найчастіше пов'язано з додатковими витратами, тому що вимагає застосування додаткових технічних пристроїв.

Доцільно розрізняти наступні показники якості електричної енергії: гранично допустимі значення по технічним умовам, нормовані значення й оптимальні або економічно обґрунтовані значення. Ці значення можуть помітно розрізнятися і залежать від ряду місцевих умов. В основному, по технічним умовам допускаються гранично припустимі відхилення від номінальних значень. За умовами економічності часто доцільним виявляється їхнє зменшення.

Як правило, нормуватися можуть тільки значення, зумовлені технічними умовами. Оптимальні значення повинні визначатися в кожному конкретному випадку особливо, хоча деякі типові рішення не виключаються.

Раніше вважалося, що на промислових підприємствах у мережах трифазного струму напруги повинні складати практично симетричну систему і повинні змінюватися практично синусоїдально в часі (за час одного періоду основної частоти). У дійсності положення різко змінилося за останні 25-30 років у зв'язку з широким застосуванням приймачів електричної енергії, що мають несприятливими з погляду роботи системи електропостачання характеристиками.

					ДП 2024 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ					
Розробив	<i>Пойта Ю.В.</i>							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	<i>Шестеренко.</i>								69	
Зав.кафедр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Н. Контр.										
Затвердив	<i>Балюта С.М.</i>									

До таких приймачів відносяться: вентиляні перетворювачі, установки однофазного і трифазного електрозварювання, потужні електротермічні установки, зокрема дугові плавильні печі, потужні газорозрядні лампи тощо. Вольт-амперна характеристика таких пристроїв нелінійна. Це приводить до погіршення якості електричної енергії внаслідок значного порушення форми кривих струмів і напруг у системі електропостачання промислових підприємств.

В системах електропостачання ряду промислових підприємств сумарна частка участі електротермічних і вентиляних навантажень може складати до 40 % і більше. Тому такі явища, як порушення симетрії напруг і синусоїдальності їхньої зміни в часі, приходиться вважати постійно діючими. Відповідно до нормативів вони повинні знаходитися в допустимих межах, у противному випадку необхідне проведення відповідних заходів щодо нормалізації положення.

Варто розрізняти показники якості електроенергії, зумовлені живильною електроенергетичною системою і приймачами електричної енергії. Так, наприклад, відхилення частоти залежить від живильної системи; коливання частоти, несинусоїдальність форми кривої напруги, коливання напруги, несиметрія напруг, зсув нейтралі викликаються роботою окремих приймачів електричної енергії.

Не всі показники якості електричної енергії мають жорстко нормовані значення. Так, за значенням і тривалістю нормуються тільки відхилення частоти, інші – тільки за значенням. Відхилення і коливання напруги нормуються за швидкістю зміни напруги; для інших показників якості електричної енергії швидкість зміни не встановлюється.

Варто мати на увазі, що якщо порушення технічних умов може бути помічене за непрямыми проявами (перегрів елементів електроустаткування, підвищена пошкоджуваність, збільшення браку продукції тощо), то зниження техніко-економічних показників роботи систем електропостачання промислових підприємств, транспорту і побуту може залишатися непоміченим. Для його виявлення потрібен ретельний контроль, виконання розрахунків, зіставлення з іншими, аналогічними умовами і т.д. Якість електричної енергії можна поліпшити

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

засобами живильної мережі або застосуванням відповідного додаткового устаткування на основі наявного досвіду проектних і експлуатаційних організацій.

12.1. Показники якості електричної енергії

Нормування значень показників якості електричної енергії відноситься до числа основних питань проблеми якості електричної енергії. Систему показників якості електричної утворюють кількісні характеристики повільних (відхилення) і швидких (коливання) змін діючого значення напруги, її форми та симетрії у трьохфазній системі, а також зміни частоти.

Показники електричної енергії діляться на дві групи: основні та додаткові.

До основних показників відносять: усталене відхилення напруги δU_y ; розмах зміни напруги δU_t ; доза флікера P_t ; коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U ; коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$; коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю K_{2U} ; коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю K_{0U} ; відхилення частоти Δf ; тривалість провалу напруги Δt_n ; імпульсна напруга U_{imn} ; коефіцієнт тимчасової перенапруги K_{nepU} .

До додаткових показників якості електроенергії відносять: частоту повторення зміни напруги $F_{\delta U_t}$; інтервал між змінами напруги $\Delta t_{i,i+1}$; глибину провалу напруги δU_n ; частість появи провалів напруги F_n ; тривалість імпульсу за рівнем 0,5 його амплітуди $t_{imn0,5}$; тривалість тимчасової перенапруги Δt_{nepU} .

Встановлено два види норм якості електричної енергії: нормально допустимі і гранично допустимі. Оцінка відповідності показників вказаним нормам проводиться у на протязі розрахункового періоду, рівного 24 год, у відповідності з вимогами нормативних документів.

12.2. Розрахунок втрат напруги

Обчислимо втрати напруги на затискачах найбільш потужного і електрично віддаленого споживача електричної енергії ремонтної ділянки (див. рис. 8.2.).

					ДП 2024 141	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наведений фрагмент електричної мережі складається з двох основних ділянок, це КТП-СШ2 і СШ2-ЕП21 (повздовжньо-фрезерний верстат).

Втрати напруги на цих ділянках знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \text{ В}, \quad (12.1)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії живлення;

l – довжина лінії;

r_0, x_0 – відповідно питомий активний і індуктивний опір лінії живлення.

Ділянка КТП-СШ2

$I_p = 92,8$ А (див. табл. 3.1.); $l = 40$ м (згідно плану ремонтної ділянки); для кабеля марки АВВГ_{нг-LS} 4х35 активний і реактивний опір $r_0 = 0,894$ Ом/км, $x_0 = 0,088$ Ом/км; $\cos \varphi, \sin \varphi$ знаходимо за $\text{tg} \varphi$:

$$\text{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{\tilde{n}i}}{\sum P_{\tilde{n}i}} = \frac{37,48}{27,69} = 1,354.$$

Відповідно $\varphi = 53,5^\circ$; $\cos \varphi = 0,6$; $\sin \varphi = 0,8$.

Тоді, за (15.1) отримаємо

$$\Delta U_{\tilde{E}\tilde{D}\tilde{I} - \tilde{N}\tilde{\emptyset} 2} = \sqrt{3} \cdot 92,8 \cdot 0,04 \cdot (0,894 \cdot 0,6 + 0,088 \cdot 0,8) = 3,9 \text{ В},$$

Ділянка СШ2-ЕП21 (повздовжньо-фрезерний верстат)

$I_{\tilde{m}}^{\tilde{I}\tilde{O}\tilde{A}} = 50$ А; $l = 8$ м (згідно плану ремонтної ділянки); для проводу марки АПВ4 (1х25) активний і реактивний опір $r_0 = 1,24$ Ом/км, $x_0 = 0,099$ Ом/км; $\cos \varphi = 0,89$; $\sin \varphi = 0,45$.

$$\Delta U_{\tilde{N}\tilde{\emptyset} 2 - \tilde{A}\tilde{I} 21} = \sqrt{3} \cdot 50 \cdot 0,008 \cdot (1,24 \cdot 0,89 + 0,099 \cdot 0,45) = 0,8 \text{ В}.$$

Сумарні втрати напруги на ділянці складуть

$$\Delta U = \Delta U_{\tilde{E}\tilde{D}\tilde{I} - \tilde{N}\tilde{\emptyset} 2} + \Delta U_{\tilde{N}\tilde{\emptyset} 2 - \tilde{A}\tilde{I} 21} = 3,9 + 0,8 = 4,7 \text{ В}.$$

Або

$$\frac{\Delta U}{U_i} \cdot 100\% = \frac{4,7}{380} \cdot 100 = 1,2 \%, \text{ що не перевищує } 5 \%.$$

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

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

13.1. Основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та робочих місць

Конструкція обладнання, що встановлене на ремонтній дільниці Житомирського автотранспортного підприємства, немає виступаючих частин станини верстатів. Рухомі елементи є у токарного верстата, це головка шпинделя, а у шліфувального – стіл.

Небезпечною зоною біля токарного верстата є зона обертання шпинделя.

Небезпечними зонами під час роботи обладнання : на токарному верстаті є зона обертання головки шпинделя з виробом; на фрезерному верстаті є зона зняття стружки з виробу; на свердлильному верстаті – зона свердління виробу. Захистом від небезпечних зон при роботі обладнання є екрани, що ізолюють зону обробки; відкриті частини верстатів, що обертаються, закриваються глухими кожухами, щільно прикріпленими до станини; механічне блокування огорож фрези, ременів, шківів, захисного щитка на абразивному верстаті тощо.

Біля обладнання, що встановлено на ремонтній дільниці є пристрої ручного аварійного відключення обладнання у вигляді кнопки, що повністю зупиняє роботу обладнання, на верстатах є важелі, необхідні для зупинки частини обладнання встановленого на верстаті.

При виборі конкретного способу захисту машин, механізмів і інструменту враховують тип роботи, розмір та форму заготовки, метод оброблення, розташування робочого місця та виробничі вимоги.

Для зручності та безпеки керування обладнанням передбачені спеціальні рукоятки. Вузли включення обладнання розміщені на спеціальній панелі кнопок. Органи управління обладнанням не становлять небезпеки. Вони розташовані на передній частині верстата.

					ДП 2024 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ					
Розробив		<i>Поїта Ю.В.</i>						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>							73	
Зав.кафедр.								ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ5-8		
Н. Контр.										
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>								

Працюючи з технологічним устаткуванням застосовуються різні огорожувальні засоби. Вони необхідні для ізоляції частин машин, що рухаються, зон обробки верстатом тощо. Огороджувальні засоби виконані із металу, конструкція у вигляді сітки.

Запобіжні захисні пристрої передбачають автоматичне відключення машин при відхиленнях від нормального режиму роботи або при попаданні людини в небезпечну зону свердлувального верстата під час свердління виробу.

Під час обслуговування електрообладнання робітники дотримуються безпечних прийомів виконання робіт та заходів безпеки.

У місцях і зонах, перебування в яких пов'язане з можливою небезпекою для працюючих на виробничому обладнанні, що є джерелом небезпеки, наносяться знаки безпеки. Крім знаків застосовують плакати та знаки безпеки: плакати для заборони включення обладнання («НЕ ВКЛЮЧАТИ - РОБОТА НА ЛІНІЇ» або «НЕ ВКЛЮЧАТИ - ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ»), попереджувальні плакати («СТІЙ! НАПРУГА», «НЕ ВЛІЗАЙ! УБ'Є») та вказівні плакати («ЗАЗЕМЛЕНО» тощо).

Робочим місцем токаря є верстат токарний.

На робочому місці токаря на підлозі розташовані дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і шириною не менше 0,6 м від частин верстата, що виступають. Робоче місце токаря має достатнє освітлення, зокрема і місцеве. Пускові пристрої, електродвигуни, металеве обладнання, які можуть опинитися під напругою, – заземлені.

Матеріали до робочого місця токаря подаються механічними візками та автокарами.

Всі предмети та інструменти розташовані на робочому місці в межах досяжності витягнутих рук, щоб не робити зайвих рухів-нахилів, поворотів, присідань тощо, що викликають додаткові витрати часу та прискорюють втомлюваність робітника.

Для очищення токарного верстата від стружки токар використовує щітку, після очищення стружка забирається в спеціальний контейнер. На робочому місці знаходяться набір різців, підбоїв під них, планшайба, люнети, обертовий центр,

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

набір напилків, повідкові патрони та інше. Біля верстата вивішена інструкція щодо безпечної його експлуатації та табличка із зазначенням особи, яка відповідає за його експлуатацію.

В ремонтній дільниці на робочому місці токаря зберігається багато інструментів та пристосувань: для їх зберігання використовується організаційно-технічне оснащення, до якого входять інструментальна тумбочка з планшетом, прикріпленим з заднього боку тумбочки і яка служить для вивішування документації (креслень, карт технологічного процесу, інструкцій з техніки безпеки); приймальний столик, на верхній полиці якого встановлюють тару із заготовками, а на нижній зберігають пристосування та приладдя. Готові заготовки складають на стелаж.

Токар забезпечений спецодягом: віскозно-лавсановий костюм; шкіряні черевики; захисні окуляри. Для відпочинку та під час перерв робоче місце токаря обладнане сидінням. Робоча поза «стоячи».

13.2. Забезпечення електробезпеки

Приміщення ремонтної дільниці відповідно до ПУЕ за ступенем небезпеки ураження людини електричним струмом відносяться до особливо небезпечних приміщень, оскільки в них є струмопровідні залізобетонні підлоги, є можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання, що мають з'єднання із землею, або металоконструкціями будівлі та металевим корпусам електроустаткування.

На ремонтній дільниці можливе ураження електричним струмом, оскільки є установки та обладнання, які пов'язані з трансформацією, передачею, розподілом, перетворенням електроенергії, становлять серйозний ризик у плані заподіяння шкоди здоров'ю людини. Тому наявність електроустановок на ремонтній дільниці зобов'язує керівництво оснащувати приміщення з такою апаратурою за спеціальними правилами, які обумовлені в ПУЕ.

					ДП 2024 141	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема електроживильної мережі ремонтної ділянки трифазна. Струм змінний. Електроустаткування живиться напругою 220, 380 В, споживана потужність 120 кВт·А.

Комплектна трансформаторна підстанція знаходиться на території ремонтної ділянки, для запобігання ураження людини електричним струмом, ворота та двері зачинені на замок. Ключ знаходиться у начальника ремонтної ділянки. Від КТП по шинних збірках на висоті 3,5 м, прокладений кабель типу АВВГ до розподільчої силової шафи, а від шафи верстати отримують живлення проводом типу АПВ, який прокладений під бетоном в поліетиленовій трубі.

Особи, які обслуговують верстати мають мати III групу з електробезпеки.

Ураження людини електричним струмом можливе лише при замиканні електричного кола через тіло людини. Це можливо при:

- дотику до відкритих струмовідних частин обладнання та проводів;
- дотику до корпусів електроустановок, що випадково опинилися під напругою;
- кроковій напрузі;
- звільнення людини, яка перебуває під напругою;
- дії електричної дуги.

Найбільш небезпечними вважаються шляхи проходження струму через життєво важливі органи людини (серце, легені, мозок), тобто петлі струму голова-рука, голова-ноги, рука-рука, руки-ноги.

В якості електрозахисту, що забезпечує безпеку експлуатації електрообладнання і лінії електропроводки використовуються переносні заземлення, а також захисне заземлення.

До захисних засобів осіб, які обслуговують електроустановки, від ураження електричним струмом, впливу електричної дуги, належать: ізолюючі штанги, діелектричні кліщі, слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими рукоятками для роботи в електроустановках до 1000 В, захисні окуляри, килимки, діелектричні рукавички.

					ДП 2024 141	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі металеві конструкції, частини електроустаткування, корпуси машин та всіх видів верстатів підлягають заземленню.

13.3. Забезпечення пожежної безпеки

За вибухопожежною небезпекою будівля ремонтної дільниці має категорію Д, оскільки на ній відбувається оброблення неспалимих речовин та матеріалів в холодному стані.

Приміщення дільниці (з допоміжними відділеннями) відноситься до пожежонебезпечної зони П-Па.

За ступенем вогнестійкості будівля ремонтної дільниці відноситься до III.

Несучі елементи будівлі R 90-КО з межею вогнестійкості 90 хв за втратою несучої здатності; не пожежонебезпечні.

Самонесучі стіни RE 60-КО з межею вогнестійкості 60 хв за втратою несучої здатності та втратою цілісності незалежно від того, який із двох граничних станів настане раніше; не пожежонебезпечні.

Зовнішні несучі стіни RE 30-КО з межею вогнестійкості 30 хв за втратою несучої здатності та втратою цілісності незалежно від того, який із двох граничних станів настане раніше; не пожежонебезпечні.

Для локалізації гасіння невеликих вогнищ горіння в ремонтній дільниці є вуглекислотні вогнегасники. В наявності один переносний ВВК-3,5, і два пересувні вогнегасники ВВК-18, розташовані безпосередньо біля входу на ремонтну дільницю на відстані 1,25 м від дверей, та в місцях виробничих робіт.

На ремонтній дільниці є пожежні сповіщувачі, що реагують на задимлення та теплове випромінювання. Для ліквідації пожеж у початковій стадії в цеху зроблено внутрішній протипожежний водопровід із пожежними кранами, пожежними рукавами та стовбурами, які знаходяться на пожежних постах.

У разі виникнення пожежі в першу чергу проводиться евакуація людей. На цей випадок є система оповіщення, що вказує на рух до евакуаційних виходів. Оповіщення супроводжується одночасно включенням світлових покажчиків та піктограм. На ремонтній дільниці є схеми евакуації робочого персоналу,

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

встановлені біля входів та виходів. Є два основних та 2 аварійні виходи з приміщення у разі виникнення пожежі, всі виходи позначені спеціальними табличками.

13.4. Розрахунок заземлюючих пристроїв

Захисним заземленням називається навмисне електричне з'єднання металевих частин електроустановки, що нормально перебувають без напруги, але на яких вона може з'явитися внаслідок пошкодження ізоляції, із заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій – сукупність електрично з'єднаних між собою заземлювачів і заземлюючих провідників.

Заземленню підлягають: корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників тощо, приводи електричних апаратів, вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів, каркаси розподільчих щитів, щитів керування, щитків і шаф, металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, броня й оболонки контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, сталеві труби електропроводки й інші металеві конструкції, пов'язані з установкою електроустаткування, а також корпуси пересувних і переносних електроприймачів.

Не потрібно заземлювати арматури підвісних і штирі опорних ізоляторів, кронштейни й освітлювальну арматури при установці їх на дерев'яних опорах ліній електропередачі, устаткування, установлене на заземлених металевих конструкціях, корпуси електровимірювальних приладів, реле, установлених на щитах, щитках, шафах і на стінках камер розподільчих пристроїв.

Найбільші допустимі значення опору заземлення R_z , встановлені ПУЕ, становлять:

для установок напругою до 1000 В:

10 Ом – за сумарної потужності генераторів чи трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

					ДП 2024 141	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Ом – у всіх інших випадках;

для установок напругою понад 1000 В:

0,5 Ом – за великих струмів замикання на землю (тобто понад 500 А);

$250 / I_3 \leq 10$ Ом (де I_3 – розрахунковий струм замикання на землю, А) – за малих струмів замикання на землю і за умови, що заземлювач використовується тільки для електроустановок напругою понад 1000 В;

$125 / I_3 \leq 10$ Ом – за малих струмів замикання на землю і за умов, що заземлювач використовується одночасно для установок напругою до 1000 В.

Заземлюючий пристрій дозволяє знизити до безпечного значення напругу дотику людини, оскільки при пошкодженні ізоляції людина виявляється включеною в електричне коло паралельно заземлювачу, опір якого значно менше опору людини, що знижує величину струму, що проходить через людину.

Заземлювачем називається металевий провідник, що безпосередньо перебуває в зіткненні із землею.

У якості заземлювачів у першу чергу використовуються природні – це прокладені в землі металеві труби, за винятком трубопроводів з горючими рідинами й газами, металеві й залізобетонні конструкції будівель і споруд, свинцеві оболонки кабелів.

Якщо немає можливості використовувати природні заземлювачі або їх опір не задовольняє вимогам безпеки, то застосовують штучні заземлювачі, що заглиблюються в землю, виготовлені, як правило, з низьковуглецевої сталі різного профілю.

В якості вертикальних електродів використовуються сталеві труби з товщиною стінки не менше 3,5 мм (зазвичай це труби діаметром 5...6 см) і кутова сталь з товщиною полок не менше 4 мм (зазвичай це кутова сталь розміром від 40x40 до 60x60 мм) довжиною 2,5...3,0 м. Широко використовується також пруткова сталь діаметром не менше 10 мм, довжиною до 10 м, а іноді і більше.

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Для з'єднання вертикальних електродів і в якості самостійного горизонтального електрода використовується стрічкова сталь перерізом не менше 4x12 мм і сталь круглого перерізу діаметром не менше 6 мм.

Заземлюючі електроди можуть бути одиночними або груповими, групові електроди електрично з'єднані загальною стрічкою утворюють заземлюючий контур.

Загальний заземлюючий пристрій може бути комбінованим і складатися із центрального і місцевого заземлюючих пристроїв. Місцевий заземлюючий пристрій виконується у вигляді окремих електродів або групи паралельно з'єднаних заземлювачів. Центральний заземлюючий пристрій, як правило, виконується у вигляді замкнутого контуру на підстанції.

У якості магістральних заземлюючих провідників застосовуються:

- сталеві однодротові проводи $D > 6$ мм;
- сталеві багатодотові проводи $S > 35$ мм²
- сталеві алюмінієві й алюмінієві проводи $S > 35$ мм²;

Заземлювачі, що заземлюють частини електроустановок, приєднуються до заземлюючої мережі за допомогою окремого відгалудження, що дозволяє знижувати сумарний опір мережі заземлення. Забороняється послідовне з'єднання елементів, що заземлюються, тому що при обриві в ланцюзі заземлення одного елемента заземлення, втраяться інші.

Для заземлюючого пристрою приймаємо: як вертикальні електроди – кутову сталь із шириною сторін 50 мм, товщиною стінки 6 мм; як горизонтальний контур – сталеву стрічку 50×6 мм². Довжина вертикальних електродів – 3 м; довжина контуру по периметру будівлі 172 м (розміри будівлі: 56x30 м). Верхні кінці вертикальних електродів розташовані на глибині 0,5 м. Ґрунт навколо будівлі – суглинок.

Визначаємо розрахунковий опір для горизонтальних електродів

$$\rho_{D\dot{C}D,\bar{A}} = \hat{E}_{\bar{A}} \cdot \rho \quad (13.1)$$

$$\rho_{D\dot{C}D,\bar{A}} = 5 \cdot 80 = 400 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

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

Опір розтіканню горизонтальних електродів, приварених до верхніх кінців вертикальних електродів, R_r , Ом

$$R_{\bar{a}} = \frac{\rho_{\text{розр.г.}}}{\hat{E}_{\text{АЕЕ}} \cdot 2\pi \cdot l_{\bar{a}}} \cdot \text{Ln} \left(\frac{2 \cdot l_{\bar{a}}^2}{b \cdot t_0} \right) \quad (13.2)$$

де $\rho_{\text{розр.г.}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом м;

b – ширина стрічки, м (приймаємо стрічку $50 \times 6 \text{ мм}^2$);

l_2 – довжина сталевий смуги рівна периметру будівлі, м, рівна 172 м;

$K_{\text{АЕЕ}} = 0,33 \div 0,85$ – коефіцієнт використання з'єднувальної смуги в контурі,

чим більше периметр контуру заземлення, тим менше коефіцієнт використання;

$t_0 = 0,5 \div 0,8$ – глибина розташування з'єднувальної смуги, м.

$$R_{\bar{a}} = \frac{400}{0,50 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 172} \cdot \text{Ln} \left(\frac{2 \cdot 172^2}{0,05 \cdot 0,75} \right) = 10 \hat{\text{н}} \quad .$$

Опір розтікання одного вертикального електрода, R_e , Ом

$$R_{\hat{a}} = \frac{\rho_{\text{розр.в.}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\hat{a}}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\hat{a}}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{(4t + l_{\hat{a}})}{(4t - l_{\hat{a}})} \right) \quad (13.3)$$

де $\rho_{\text{розр.в.}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м;

$l_{\hat{a}}$ – довжина електрода, м;

d – діаметр електрода, м.

Відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода, t , м

$$t = \frac{l_{\hat{a}}}{2} + t_0 = \frac{3}{2} + 0,8 = 2,3 \hat{\text{н}} \quad (13.4)$$

Тоді,

$$R_{\hat{a}} = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{(4 \cdot 2,3 + 5)}{(4 \cdot 2,3 - 5)} \right) = 45,83 \hat{\text{н}} \quad .$$

Далі визначаємо уточнений опір розтікання вертикальних електродів, $R_{\text{ВУ}}$, Ом.

$$R_{\hat{a}.o} = \frac{R_{\bar{a}} \cdot R_{\phi o}}{R_{\bar{a}} - R_{\phi o}} = \frac{10 \cdot 4}{10 - 4} = 6,6 \hat{\text{н}} \quad , \quad (13.5)$$

де R_r – опір розтікання горизонтальної стрічки, Ом;

$R_{\text{шт}}$ – опір заземлюючого пристрою, Ом;

Визначається число вертикальних електродів, N , шт

									Арк.
									81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$N = \frac{R_{\bar{A}}}{K_{\bar{A}\bar{A}} \cdot R_{\bar{A}\bar{O}}} \quad (13.6)$$

де $R_{\bar{A}}$ – опір розтікання вертикальних електродів, Ом;

$K_{\bar{A}\bar{A}} = 0,62 \div 0,85$ – коефіцієнт використання вертикальних електродів, що враховує збільшення опору заземлювача, внаслідок екранування сусідніх електродів;

$R_{\text{ВУ}}$ – уточнений опір розтікання вертикальних електродів, Ом;

$$N = \frac{45,83}{0,7 \cdot 6,6} = 9,92 \approx 10 \text{ шт}$$

Визначення загального опору заземлюючого контуру:

$$R_{\text{З.Е.}} = \frac{R_{\bar{A}} \cdot R_{\bar{A}}}{R_{\bar{A}} \cdot K_{\bar{A}\bar{A}} \cdot N + R_{\bar{A}} \cdot K_{\bar{A}\bar{A}}} \quad (13.7)$$

$$R_{\text{З.Е.}} = \frac{45,83 \cdot 10}{45,83 \cdot 0,7 \cdot 10 + 10 \cdot 0,5} = 1,41 \text{ Ом}$$

Загальне значення не перевищило 4 Ом. Остаточо приймаємо число вертикальних електродів в кількості 10 шт.

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Електроприймачі споживачів потребують для своєї роботи як активної, так і реактивної потужності. Реактивна потужність виробляється, як і активна, синхронними генераторами і передається по системі електропостачання до споживачів. Величина активної потужності, що виробляється джерелом, визначається так:

$$D = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot S \cdot \cos \varphi. \quad (14.1)$$

Кут між векторами струму і напруги визначає ступінь використання потужності джерела струму.

Знижуючи споживання приймачами реактивної потужності, можна: зменшити встановлену потужність генератора, трансформаторну потужність підстанцій, збільшити пропускну здатність системи електропостачання, не збільшуючи перерізів кабелів, проводів та інших струмоведучих частин.

Основними споживачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни. На їх частку припадає 65-70 % споживаної реактивної потужності, 20-25 % припадає на трансформатори і 10 % на повітряні лінії електропередачі та інші приймачі (люмінесцентні лампи, індуктивні печі і т. ін.). На рис. 14.1 наведена діаграма, що ілюструє роботу компенсуючого пристрою.

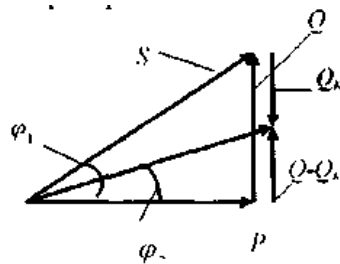


Рис. 14.1. Діаграма компенсації роботи пристрою

					ДП 2024 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>				83	
Зав.кафедр.					ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ		
Н. Контр.					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛ15-8		
Затвердив		<i>Балюта С.М.</i>					

При зниженні споживання реактивної потужності Q до $Q - Q_k$ величина φ_1 зменшується до φ_2 , що приводить до збільшення коефіцієнта потужності при постійній величині переданої активної потужності.

Способи забезпечення промислових споживачів активною і реактивною потужностями різні. Якщо джерелами активної потужності є тільки генератори електричних станцій, то видів джерел реактивної потужності більше: синхронні машини, батареї конденсаторів, ємнісна провідність повітряних і кабельних ліній електропередачі.

Витрати на виробництво реактивної потужності генераторами електричних станцій, як правило, нижчі, ніж витрати на виробництво реактивної потужності іншими джерелами. Але передача реактивної потужності від шин електричних станцій по мережах електричної системи і мережах промислових підприємств призводить до додаткових витрат. Це:

- втрати активної потужності й енергії в елементах мережі, по яких передається реактивна потужність Q при напрузі U .

$$\Delta D_\delta = \frac{Q^2}{U^2} \cdot R, \quad (14.2)$$

Тому що $\Delta D = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2}{U^2} \cdot R + \frac{Q^2}{U^2} \cdot R = \Delta D_a + \Delta D_\delta$;

- втрати реактивної потужності в елементах мережі, по яких вона передається:

$$\Delta Q = \frac{Q^2}{U^2} \cdot X; \quad (14.3)$$

- збільшуються перерізи провідників і номінальна потужність трансформаторів;

- збільшуються втрати напруги в елементах мережі

$$\Delta U_\delta = \frac{Q \cdot \tilde{O}}{U},$$

оскільки:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot \tilde{O}}{U} = \frac{P \cdot R}{U} + \frac{Q \cdot \tilde{O}}{U} = \Delta U_a + \Delta U_\delta. \quad (14.4)$$

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

Повні витрати на виробництво і передачу всієї необхідної реактивної потужності від шин електричних станцій значно більші, ніж витрати на виробництво реактивної потужності безпосередньо в системі електропостачання. Тому економічно доцільно від генераторів електричних станцій передавати частину реактивної потужності, а більшу частину компенсувати на шинах підстанцій 2-5 рівня. Виникає завдання вибору типів, потужності і місць розміщення компенсувальних пристроїв, що забезпечують баланс реактивної потужності в режимі максимальних і мінімальних навантажень, при мінімумі сумарних витрат на виробництво і передачу реактивної потужності. У системі електропостачання в цілому і для кожного вузла в будь-який момент часу повинен дотримуватися баланс: сума реактивних потужностей, що надходять у вузол і що відходять від вузла, дорівнює нулю. У загальному вигляді рівняння балансу реактивної потужності можна записати:

$$Q_{\Lambda\Sigma} = Q_{n\Sigma} + \Delta Q_{\epsilon\Sigma} + \Delta Q_{\delta\delta\Sigma}, \quad (14.5)$$

де $Q_{\Lambda\Sigma}$ – сумарне надходження реактивної потужності від її джерел (генераторів); $Q_{n\Sigma}$ – сумарне реактивне навантаження споживачів; $\Delta Q_{\epsilon\Sigma}$ – сумарні втрати реактивної потужності в лінії мережі; $\Delta Q_{\delta\delta\Sigma}$ – сумарні втрати реактивної потужності в трансформаторах мережі.

Кожному конкретному значенню цього рівняння відповідає своє значення напруги (у межах значень, близьких до номінального). Пояснимо це на прикладі.

Нехай у сталому режимі має місце баланс реактивної потужності на межі розподілу мереж енергосистеми і споживача, якому відповідає деяка напруга U_n у місці підключення навантаження. Цій напрузі відповідає навантаження:

$$S_i = \sqrt{D_i^2 + Q_i^2}, \quad (14.6)$$

Напруга джерела живлення при цьому U_u . Між U_u і U_n існує зв'язок:

$$U_n = U_u - \Delta U = U_u - \frac{P_i \cdot R + Q_i \cdot X}{U_i}, \quad (14.7)$$

де ΔU – втрата напруги в мережі при передачі навантаження Q_i і D_i ; R , X – відповідно активний і реактивний опори мережі.

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

Компенсація реактивної потужності дозволяє знизити втрати напруги в мережі. Якщо до проведення заходів щодо компенсації втрати напруги становлять ΔU , то після проведення таких заходів вони становлять:

$$\Delta U' = \frac{P_i \cdot R + (Q_i - Q_{\text{е.і.}}) \cdot \tilde{O}}{U_i}, \quad (14.8)$$

де $Q_{\text{е.і.}}$ – потужність компенсувальних пристроїв. Зниження втрат напруги за рахунок компенсації реактивної потужності становить:

$$\delta U = \Delta U - \Delta U' = \frac{P_i \cdot R + Q_i \cdot X}{U_i} - \frac{P_i \cdot R + (Q_i - Q_{\text{е.і.}}) \cdot \tilde{O}}{U_i} = \frac{Q_{\text{е.і.}} \cdot \tilde{O}}{U_i}. \quad (14.9)$$

Тому установлення в споживачів компенсувальних пристроїв з регульованою реактивною потужністю дозволяє їм здійснювати не тільки компенсацію реактивної потужності, але й, у разі потреби, – місцеве регулювання напруги (за рахунок зміни втрат напруги в розподільних і цехових мережах).

14.1. Способи і засоби компенсації реактивної потужності

При проектуванні системи електропостачання і її експлуатації розглядаються і впроваджуються заходи, що не потребують спеціальних компенсувальних пристроїв. До них можна віднести:

- впорядкування технологічного процесу для підвищення коефіцієнта потужності;
- використання синхронних двигунів у всіх випадках, коли це раціонально і можливо;
- правильний вибір потужності трансформаторів і двигунів з їх оптимальним навантаженням;
- застосування пристроїв, що обмежують холостий хід приймачів – асинхронних двигунів, трансформаторів, заміна і тимчасове відключення малозавантажених трансформаторів і т. ін.

Однак без технічних засобів здійснити ці заходи неможливо. До таких технічних засобів відносяться **конденсаторні батареї**.

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Конденсаторні батареї є основним засобом компенсації реактивної потужності в системі електропостачання.

Головні їхні переваги:

- малі втрати активної потужності (0,0025-0,005 кВт/квар);
- простота експлуатації (через відсутність обертових частин, малої маси і відсутності фундаментів);
- можливість збільшення або зменшення встановленої потужності залежно від потреби;
- можливість установа в будь-якій точці мережі: в окремих електроприймачів, групами в цехах або великих батареях.

До недоліків конденсаторів відносяться:

- залежність генерованої реактивної потужності від напруги мережі:

$$Q_{\text{д.д.}} = \left(\frac{U_i}{U_{\text{д.д.}}}\right)^2 \cdot Q_{\text{д.д.}}$$

де U_i – фактична мережа напруги, кВ; $U_{\text{д.д.}}$ – реактивна потужність конденсаторної батареї при $U_i = U_{\text{д.д.}}$;

- чутливість до переключень живильної напруги (вищих гармонік);
- пожежонебезпечність;
- наявність залишкової напруги.

Залежно від місця підключення конденсаторних установок компенсація може бути розділена на індивідуальну, групову і централізовану.

1. Індивідуальна компенсація здійснюється за допомогою статичних конденсаторів, які підключають наглухо до затисків електроприймача. При такій компенсації все коло від джерела живлення до приймача розвантажується від його реактивного струму. Недолік цього способу полягає в тому, що конденсатори при цьому використовуються тільки в період роботи того електроприймача, до затискачів якого вони підключені. Через це індивідуальна компенсація застосовується для потужних електроприймачів, які працюють у тривалому режимі.

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

2. **Групова** компенсація здійснюється шляхом підключення конденсаторних установок до розподільних шаф або шинопроводів цехової мережі. Вона широко застосовується в цехах, середовище яких не агресивне і не небезпечне щодо пожежі і вибуху. У іншому разі конденсаторні установки розміщують в окремому приміщенні, така компенсація називається централізованою.

3. **При централізованій компенсації** компенсувальні пристрої підключають до шин цехової трансформаторної підстанції на стороні до 1 кВ або до шин розподільного пункту напругою 10 кВ. При цьому не розвантажується розподільна живильна мережа РП.

Однак компенсація реактивної потужності на багатьох підприємствах за допомогою конденсаторних установок виявилася неефективною через інерційність регулювання їх потужності, оскільки батареї конденсаторів є нерегульованими або ступінчасто-регульованими джерелами реактивної потужності. Батарею необхідно розділяти на секції, кожен з яких слід підключати через окремий комутаційний апарат. Це приводить до створення принципово нових компенсувальних пристроїв статичних джерел реактивної потужності (ДРП), до яких висуваються такі вимоги:

- висока швидкість зміни реактивної потужності;
- можливість генерування і споживання реактивної потужності (оскільки батареї конденсаторів здатні тільки генерувати, але не споживати реактивну потужність);
- можливість роботи в умовах впливу вищих гармонік.

Основними елементами статичних ДРП є конденсатор і дросель-накопичувачі електромагнітної енергії і вентиля (тиристори), що забезпечують її швидке перетворення. Розглянемо одну з таких схем, що застосовується в мережах з різкозмінним навантаженням.

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

двигунів, побудовані у відносних одиницях при різних коефіцієнтах завантаження двигуна.

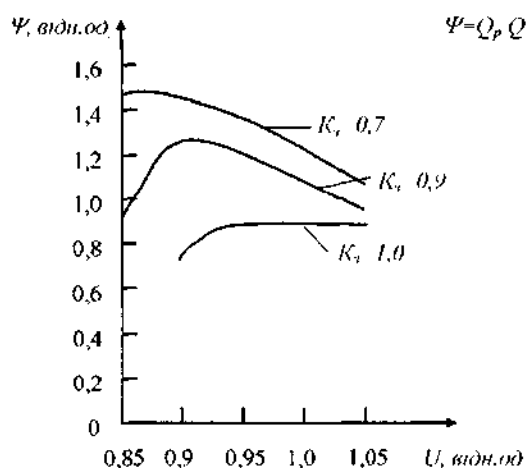


Рис. 14.4. Зміна реактивної потужності синхронного двигуна, що може призвести до генерації

За базисні умови взято номінальну напругу $U_{ном}$ і номінальну реактивну потужність $Q_{ном}$.

При глибоких аварійних зниженнях напруги в синхронних машинах відбувається автоматичне форсування збудження, що призводить до істотного збільшення генерації реактивної потужності. Синхронні машини мають гарні динамічні характеристики за реактивною потужністю, що відбивають реакцію синхронної машини за реактивною потужністю на коливання напруги в електричній мережі. У синхронних машин коливання напруги викликають зміни реактивної потужності, що знаходяться в протифазі зі зміною реактивної потужності споживачів. У результаті синхронні машини згладжують графік реактивної потужності і сприяють зменшенню коливань напруги.

Синхронні машини порівняно з конденсаторами малочутливі до зміни такого показника якості електричної енергії, як несинусоїдальність напруги, тому можуть використовуватися як джерело реактивної потужності в електричних мережах, що живлять потужні вентиляльні перетворювачі.

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

14.2. Компенсація реактивної потужності в електричних мережах загального призначення

Визначення потужності батарей конденсаторів у мережах до 1 кВ. Розрахункова потужність батарей конденсаторів до 1 кВ визначається двома послідовними розрахунковими етапами:

- вибір економічно оптимальної кількості трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій;
- визначення додаткової потужності батарей конденсаторів з метою оптимального зниження втрат у трансформаторах і в мережі 10 кВ підприємства, що живить ці трансформатори.

Сумарну розрахункову потужність батарей конденсаторів визначають так:

$$Q_{i.\dot{\epsilon}} = Q_{i.\dot{\epsilon}.(1)} + Q_{i.\dot{\epsilon}.(2)}, \quad (14.10)$$

де $Q_{i.\dot{\epsilon}.(1)}$ і $Q_{i.\dot{\epsilon}.(2)}$ – сумарні потужності батарей, обумовлені на двох зазначених етапах розрахунку.

Сумарна $Q_{i.\dot{\epsilon}}$ потужність батарей конденсаторів розподіляється між окремими трансформаторами пропорційно їх реактивним навантаженням.

Для кожної технологічно концентрованої групи цехових трансформаторів однакової потужності мінімальне їх число, необхідне для живлення найбільшого активного навантаження, визначається за формулою:

$$N_{\dot{\Delta}\min} = \frac{P_{i.\dot{\Delta}}}{\beta_{\dot{\Delta}} \cdot S_{\dot{\Delta}}} + \Delta N, \quad (14.11)$$

де $P_{i.\dot{\Delta}}$ – найбільше сумарне розрахункове, активне навантаження даної групи трансформаторів; $\beta_{\dot{\Delta}}$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів; $S_{\dot{\Delta}}$ – прийнята номінальна потужність одного трансформатора; ΔN – добавка до найближчого більшого цілого числа.

Економічно оптимальну кількість трансформаторів визначають за формулою:

$$N_{\dot{\Delta}.\dot{A}} = N_{\dot{\Delta}\min} + m, \quad (14.12)$$

де m – додаткова кількість трансформаторів, обумовлена залежно від $N_{\dot{\Delta}\min}$ і ΔN за рис. А. 16 додатку. При трьох і менше трансформаторах їх потужність

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

вибирається, виходячи з найбільшого активного навантаження відповідно до умови:

$$S_{\dot{\delta}} \geq \frac{P_{i.\dot{\delta}}}{\beta_{\dot{\delta}} \cdot N} \quad (14.13)$$

За обраною кількістю трансформаторів визначають найбільшу реактивну потужність, що доцільно передати через трансформатори в мережу напругою до 1 кВ:

$$Q_{\dot{\delta}} = \sqrt{(N_{\dot{\delta}.A} \cdot \beta_{\dot{\delta}} \cdot S_{\dot{\delta}})^2 - P_{i.\dot{\delta}}^2} \quad (14.14)$$

Сумарна потужність батареї конденсаторів для даної групи трансформаторів на першому етапі розрахунків становить:

$$Q_{i.\dot{\delta}.(1)} = Q_{i.\dot{\delta}} - Q_{\dot{\delta}}, \quad (14.15)$$

де $Q_{i.\dot{\delta}}$ – сумарне розрахункове реактивне навантаження. Якщо виявиться, що $Q_{i.\dot{\delta}.(1)} < 0$, то на першому етапі розрахунків установа батареї конденсаторів не потрібне, тоді $Q_{i.\dot{\delta}.(1)} = 0$.

Додаткову сумарну потужність батарей конденсаторів для даної групи трансформаторів $Q_{i.\dot{\delta}.(2)}$ визначають так:

$$Q_{i.\dot{\delta}.(2)} = Q_{i.\dot{\delta}} - Q_{i.\dot{\delta}.(1)} - \gamma \cdot N_{\dot{\delta}.A} \cdot S_{\dot{\delta}}, \quad (14.16)$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, обумовлений залежно від показників K_1 і K_2 і схеми живлення цехової підстанції і визначається за рисунками додатків [12]: для радіальної схеми; для магістральної з двома трансформаторами; для магістральної з трьома і більше; для двоступінчастої схеми живлення трансформаторів від РП 10 кВ, на яких відсутні джерела реактивної потужності.

Якщо виявиться, що $Q_{i.\dot{\delta}.(2)} < 0$, то для даної групи трансформаторів $Q_{i.\dot{\delta}.(2)} = 0$.

14.3. Визначення реактивної потужності, що генерується синхронними двигунами

Кожен установлений синхронний двигун є джерелом реактивної потужності, що визначається так:

					ДП 2024 141	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\bar{n}.\bar{a}} = D_{\bar{n}.\bar{a}.m} \cdot \beta_{\bar{n}.a} \cdot \operatorname{tg}\varphi_m, \quad (14.17)$$

де $D_{\bar{n}.a.m}$ – номінальна активна потужність; $\beta_{\bar{n}.a}$ – коефіцієнт завантаження за активною потужністю.

14.4. Визначення потужності батарей конденсаторів напругою понад 1 кВ

Для кожної цехової ПС визначають некомпенсоване реактивне навантаження на стороні 10 кВ кожного трансформатора:

$$Q_{\delta.i.a.a.d.} = Q_{i.\delta.} - Q_{i.e.\delta} + \Delta Q_{\delta}, \quad (14.18)$$

де $Q_{i.\delta.}$ – найбільше розрахункове реактивне навантаження трансформатора; $Q_{i.e.\delta}$ – фактично прийнята потужність батарей конденсаторів; ΔQ_{δ} – сумарні реактивні втрати в трансформаторі при його коефіцієнті завантаження β_{δ} , квар.

Таблиця 14.1

Коефіцієнт завантаження трансформатора β_{δ}

Номінальна потужність трансформатора, кВ·А	Завантаження трансформатора β_{δ}					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
400	13	15	18	20	23	26
630	20	23	28	33	39	45
1000	28	34	41	49	58	69
1600	41	51	62	75	90	107
2500	62	79	99	121	146	175

Для кожного РП або ПС визначають його некомпенсоване реактивне навантаження $Q_{\delta.i.}$ як суму реактивних потужностей, що живляться від цехових ПС та інших споживачів:

$$Q_{\hat{A}.\hat{E}} = \sum_{i=1}^n Q_{\delta.i.} - Q_{\hat{A}1}, \quad (14.19)$$

де $Q_{\delta.i.}$ – розрахункове реактивне навантаження на шинах 10 кВ i -го розподільчого пункту; n – кількість РП (або ПС) на підприємстві; $Q_{\hat{A}1}$ – вхідна реактивна потужність, задана енергосистемою на шинах 10 кВ. Коли виявиться, що потужність $Q_{\hat{A}.\hat{E}} < 0$, слід взяти її рівною нулю і за узгодженням з

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

енергосистемою, яка видала технічні умови на приєднання споживачів, установити нове значення вхідної потужності. Сумарна реактивна потужність ВБК розподіляється між окремими РП і ПС на шинах 10 кВ і округлюється до найближчої стандартної потужності ККУ. До кожної секції РП рекомендується підключити компенсувальні пристрої однакової потужності, але не менше 1000 квар. При меншій потужності батареї її слід встановлювати на живильній ПС, якщо вона належить промислового підприємству.

14.5. Компенсація реактивної потужності за наявності специфічних навантажень

Розвиток науково-технічного прогресу в промисловості супроводжується широким застосуванням силової напівпровідникової перетворювальної техніки. Це, зокрема, використання тиристорів в електроприводі змінного і постійного струмів, вентильних перетворювачів для електротермічних і електротехнологічних установок різного призначення. Поряд з нелінійними навантаженнями, за яких ми розглядаємо вентильні перетворювачі, є і несиметричні навантаження, причому, симетричне виконання і режими роботи яких неможливі або недоцільні внаслідок конструктивних, технологічних і економічних розумінь. Це:

1. Дугові сталеплавильні печі три- і однофазного виконання;
2. Однофазні установки електрошлакового переплавлення потужністю $P = 10\ 000$ кВ А;
3. Однофазні індукційні печі потужністю до 16 000 кВА.

При цьому багато несиметричних навантажень мають істотно нелінійний характер. Робота таких споживачів у системі електропостачання супроводжується несинусоїдальністю, несиметрією, відхиленнями і коливаннями напруги, значення яких суттєво перевищують припустимі. Наявність таких навантажень значно ускладнює вирішення завдання компенсації реактивної потужності. Вищі гармоніки струму і напруги, проходячи по елементах системи електропостачання, можуть викликати резонанси струмів у контурі, утвореному індуктивністю мережі

									Арк.
									94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

і ємністю силових батарей конденсаторів, що приводить останні до перевантажень за струмом і частого виходу їх з ладу. Тому в таких випадках компенсація за допомогою звичайних батарей статичних конденсаторів на підприємствах з високим рівнем вищих гармонік практично виявляється неефективною. Так, прокатний цех металургійного заводу має до 30 % вентиляно-перетворювального навантаження, де коефіцієнт несинусоїдальності перевищує 10 % і конденсаторні установки виявляються непрацездатними через перевантаження їх струмами вищих гармонік. У цих випадках при КРП (компенсатори реактивної потужності) застосовують спеціальні схеми: конденсаторні батареї з послідовно включеними реакторами для їх захисту від перевантаження за струмом або за допомогою фільтрів, що здійснюють компенсацію реактивної потужності і фільтрацію вищих гармонік.

У даний час випускаються установки, які одночасно здійснюють компенсацію реактивної потужності основної частоти, фільтрацію вищих гармонік, компенсацію коливань напруги і симетрування напруги мережі.

Компенсація реактивної потужності в електричній мережі з нелінійними навантаженнями.

У вузлі мережі підприємства з нелінійними навантаженнями допускається використання як джерела реактивної потужності конденсаторних установок, якщо виконуються такі умови:

а) для вентиляльних перетворювачів

$$S_{КЗ} / S_{н.л.} \geq 200,$$

б) для інших нелінійних навантажень

$$S_{КЗ} / S_{н.л.} \geq 100,$$

де $S_{КЗ}$ – потужність КЗ для даного вузла мережі; $S_{н.л.}$ – сумарна потужність нелінійного навантаження.

При невиконанні цих умов питання про КРМ у вузлі мережі з нелінійним навантаженням вирішується з застосуванням спеціальних пристроїв.

Вплив нелінійних навантажень на мережу підприємства оцінюють за допомогою коефіцієнта несинусоїдальності:

					ДП 2024 141	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

$$\hat{E}_{i.\bar{n}} = 100 \cdot \sqrt{\sum_{v=1}^n U_v^2 / U_{\bar{m}}^2}, \quad (14.20)$$

де U_v – діюче значення напруги v -ї гармоніки; $U_{\bar{m}}$ – номінальна напруга мережі; n – порядковий номер останньої з гармонік, що враховуються.

Для обчислення $\hat{E}_{i.\bar{n}}$ потрібно визначити рівень напруги окремих гармонік, що викликані нелінійним навантаженням.

Фазну напругу гармоніки в розглянутій точці мережі підприємства знаходять за формулою:

$$U_v = \frac{I_v \cdot v \cdot U_{i.\bar{v}} \cdot U_{\bar{m}}}{S_{\hat{E}\zeta}}, \quad (14.21)$$

де I_v – діюче значення фазного струму v -ї гармоніки; v – порядковий номер гармоніки; $U_{\bar{m}}$ – номінальна напруга розглянутої мережі; $U_{i.\bar{v}}$ – напруга в точці підключення нелінійного навантаження (якщо розглянута точка збігається з точкою приєднання нелінійного навантаження, то $U_{i.\bar{v}} = U_{\bar{m}}$).

Для розрахунку U_v , необхідно попередньо визначити струм відповідної гармоніки, що залежить не тільки від електричних параметрів, але й від типу нелінійного навантаження.

• Розглянемо розрахунок гармоніки струму для найбільш розповсюдженого нелінійного навантаження – вентиляних перетворювачів. Для одиночного вентиляного перетворювача значення фазного струму v -ї гармоніки розраховується за такою формулою:

$$I_v = \frac{m \cdot S_{i.\delta}}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot U_{\bar{m}} \cdot \tilde{\delta}_* \cdot v^2} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \left(\frac{3 \cdot v \cdot \tilde{\delta}_*}{m \cdot \sin \varphi} \right), \quad (14.22)$$

де m – число фаз випрямляча перетворювача; $S_{i.\delta}$ – споживана потужність перетворювача; $\tilde{\delta}_*$ – сумарний індуктивний опір мережі, приведений до потужності трансформатора перетворювача; φ – кут, що характеризує коефіцієнт реактивної потужності перетворювача ($\sin \varphi = Q_{i.\delta} / S_{i.\delta}$, де $Q_{i.\delta}$ – реактивна потужність перетворювача).

					ДП 2024 141	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від схеми випрямляча одиночного перетворювача рекомендується враховувати такі гармоніки струму: при 6-фазній схемі - 5, 7, 11, 13; при 12-фазній-11, 13, 23, 28; при 24-фазній-23, 25, 47, 49.

В інженерних розрахунках допускається визначення гармонік до 13-го порядку за спрощеною формулою:
$$I_v = \frac{S_{i.\delta}}{U_{\hat{m}} \cdot v \cdot \sqrt{3}}.$$

Для мереж з вентильними перетворювачами можна, не обчислюючи гармоніки струму і напруги, визначати коефіцієнт несинусоїдальності за формулою:

$$\hat{E}_{i.\bar{n}} = \frac{S_{i.\delta}}{S_{\hat{E}\zeta}} \cdot \sqrt{\frac{0,955 \cdot \sin \varphi}{S_{i.\delta} / S_{\hat{E}\zeta} + \bar{\sigma}_{i.\delta}^*} - 0,91}, \quad (14.23)$$

де $\bar{\sigma}_{i.\delta}^* = U_{\hat{E}\zeta} \cdot (1 + \hat{e}_\delta / 4) \cdot S_{i.\delta} / 100 \cdot S_{\delta\delta}$ – індуктивний опір перетворювального агрегата; $U_{\hat{E}\zeta}$ – напруга КЗ трансформатора перетворювача, %; κ_p – коефіцієнт розщеплення обмотки трансформатора (з каталогу); $S_{\delta\delta}$ – номінальна потужність трансформатора.

• Для дугової сталеплавильної печі (ДСП) при визначенні сили струму, гармонік у режимі розплавлювання достатньо враховувати тільки з 2-ї по 7-му гармоніки. Сила струму залежить від кількості і потужності ДСП та для практичних розрахунків:

- для однієї ДСП $I_v = I_{i.\delta} / v^2,$

де $I_{i.\delta}$ – номінальна сила струму грубого трансформатора;

- для групи однакових ДСП $I_{v.\bar{\alpha}\delta} = I_v \cdot \sqrt[4]{N},$

де N – кількість одночасно працюючих ДСП у режимі розплавлювання;

- для групи печей різної потужності

$$I_{v.\bar{\alpha}\delta} = I_{v.\max} \cdot \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n (S_{i.\delta.\bar{\alpha}} / S_{i.\delta.\max})}, \quad (14.24)$$

де $S_{i.\delta.\bar{\alpha}}$ – потужність 1-го грубого трансформатора; $S_{i.\delta.\max}$ – максимальна потужність грубого трансформатора в групі ДСП; $I_{v.\max}$ – струм гармоніки грубого трансформатора максимальної потужності; n – число працюючих печей.

									Арк.
									97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Визначення струмів гармонік, генерованих установками дугового і контактного електрозварювання змінного струму.

Для установки дугового або контактної зварювання сила струму гармонік (рекомендується враховувати тільки 3-ю і 5-у) становить:

- для одиначної установки –

$$I_v = \frac{S_{\delta} \cdot \beta_{\bar{n}\bar{a}} \cdot \sqrt{\delta\bar{A}}}{v^2 \cdot U_{\bar{m}}}, \quad (14.25)$$

де S_{δ} – номінальна потужність трансформатора; $\beta_{\bar{n}\bar{a}}$ – коефіцієнт завантаження; T_B – тривалість включення;

- для групи установок дугового електрозварювання при незалежному режимі роботи:

$$I_{v.\bar{a}\bar{\delta}} = \sqrt{\sum_{s=1}^n I_{v,s}^2}, \quad (14.26)$$

де $I_{v,s}$ – сила струму v -ї гармоніки i -ї установки; n – загальна кількість працюючих установок.

Визначення струмів гармонік, генерованих установками дугового електрозварювання постійного струму.

Рекомендується враховувати тільки 5, 7 і 11-у гармоніки:

- для одиначної установки –

$$I_v = \frac{2 \cdot \bar{n}\bar{a}}{v}, \quad (14.27)$$

де $2 \cdot \bar{n}\bar{a}$ – номінальний струм первинного струму установки;

- для групи установок –

$$I_{v.\bar{a}\bar{\delta}} = \sqrt{\sum_{s=1}^n I_{v,s}^2}, \quad (14.28)$$

де $I_{v,s}$ – сила струму v -ї гармоніки i -ї установки; n – загальна кількість працюючих установок.

					ДП 2024 141	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т 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. Василега П.О. Електропостачання: навчальний посібник /П.О.Василега. – Суми: Університетська книга, 2019. – 415 с.
6. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007 р. – 280 с.
7. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
8. ДБН В .2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К. – Мінрегіон України, 2018 р.
9. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. Затверджено МНС України від 09.07.2012 р. № 964, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 серпня 2012 р. за № 1299/21611.

					ДП 2024 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Пойта Ю.В.</i>					99	
Перевірив		<i>Шестеренко.</i>						
Зав.кафедр.								
Н. Контр.								
Затвердив		<i>Балюта С.М</i>			ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого, ЗЕЛІ5-8			

10. С.М. Балюта. Оптимальний режим роботи джерел реактивної потужності підприємства /С.М. Балюта, І.Є. Ізволенький, В.Є. Шестеренко //Наукові праці НУХТ. – 2012. - №45. – С. 61...66.

11. Шестеренко В.Є. Проблеми системної компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах /В.Є. Шестеренко //Энергетика и электрификация. – 2000. - № 1. С. 47...50.

12. Локальні електроенергетичні системи: навчальний посібник /Лежнюк П.Д., Собчук Н.В., Слободянюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 141 с.

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://energotransbud.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=67&Itemid=89.

14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tfk.net/catalog/kabelno_provodnikovaya_produktsiya/kabel_vysokogo_napryazheniya/trekhzhilnye_silovye_kabeli_v_izolyatsii_iz_sshitogo_polietilena_xlpe/10_kv_silovoy_kabel_v_izolyatsii_iz_sshitogo_polietilena_xlpe_/silovoy_kabel_xruhaxs_6_10kv_3x185rnc_25_analog_arvegapu_10_3x185_25.html.

					ДП 2024 141	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		