

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

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

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

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Електротехніка та інформаційні технології»

на тему: «Проектування системи електропостачання цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕЛ 4-3 ____

Щербак Максим Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник **Шпак Владислав Вячеславович**
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти **Аліна СІРИК**
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент **Микола ЯКИМЧУК**
(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)

м. Київ – 2025 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/
« » 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Щербака Максима Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

керівник роботи Шпак Владислав Вячеславович, доктор філософії, асистент

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» 04. 2025 р. № 218-кс.

2. Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи План цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу; характеристика споживачів електричної енергії; відомості про джерела живлення; умови проектування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Коротка характеристика технологічного процесу та споживачів електричної енергії цеху; розрахунок електричних навантажень; компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв; вибір числа та потужності трансформаторів на ТП; розрахунок і вибір апаратів захисту силової мережі; розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху; розрахунок електричного освітлення цеху; розрахунок струмів короткого замикання; вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів короткого замикання; релейний захист та автоматика; організація обліку та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання; якість електричної енергії в системі електроспоживання цеху; охорона праці; індивідуальне завдання. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

5. Перелік графічного матеріалу

1. План виробничого цеху з прокладкою силової мережі.

2. Однолінійна схема електропостачання цеху.

3. План виробничого цеху з освітлювальною мережею.

4. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 12 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>14.04.2025 р</i>	
2	<i>Коротка характеристика технологічного процесу та споживачів електричної енергії цеху</i>	<i>16.04.2025 р</i>	
3	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>21.04.2025 р</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв</i>	<i>23.04.2025 р</i>	
5	<i>Вибір числа та потужності трансформаторів на ТП</i>	<i>26.04.2025 р</i>	
6	<i>Розрахунок і вибір апаратів захисту силової мережі</i>	<i>30.04.2025 р</i>	
7	<i>Розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху</i>	<i>02.05.2025 р</i>	
8	<i>Розрахунок мережі електричного освітлення</i>	<i>05.05.2025 р</i>	
9	<i>Розрахунок струмів короткого замикання</i>	<i>08.05.2025 р</i>	
10	<i>Вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів короткого замикання</i>	<i>10.05.2025 р</i>	
11	<i>Релейний захист та автоматика</i>	<i>13.05.2025 р</i>	
12	<i>Організація обліку та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання</i>	<i>15.05.2025 р</i>	
13	<i>Якість електричної енергії в системі електроспоживання цеху</i>	<i>18.05.2025 р</i>	
14	<i>Охорона праці</i>	<i>20.05.2025 р</i>	
15	<i>Індивідуальне завдання. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання</i>	<i>23.05.2025 р</i>	
16	<i>Література</i>	<i>24.05.2025 р</i>	
17	<i>Оформлення пояснювальної записки проєкту</i>	<i>25.05.2025 р</i>	
18	<i>Оформлення графічної частини проєкту</i>	<i>27.05.2025 р</i>	
19	<i>Подання готової роботи для перевірки на плагіат</i>	<i>30.05.2025 р</i>	

Здобувач

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Щербак М.П.

(прізвище та ініціали)

Шпак В.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Щербак Максим Петрович. Дипломний проєкт на тему:

«Проектування системи електропостачання цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання»

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2025

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 14 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проєкту становить 142 сторінки.

До опису надано графічну частину, яка складається із чотирьох креслень: план виробничого цеху з прокладкою силової мережі, однолінійна схема електропостачання цеху, план виробничого цеху з освітлювальною мережею, автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

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

У результаті виконання проєкту наведено коротку характеристику технологічного процесу та споживачів електроенергії виробничого цеху; виконано розрахунок електричних навантажень цеху; вибрано число й потужність трансформаторів цехової ТП з урахуванням компенсації реактивної потужності; розраховано та вибрано електрообладнання живильної та розподільчої мережі цеху та перевірено їх до дії струмів короткого замикання; розглянуто питання щодо релейного захисту, організації обліку та якості електричної енергії електроспоживальної системи. Розглянуто індивідуальне завдання «Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання».

У розділі охорона праці розглянуті питання щодо забезпечення безпеки при обслуговуванні комплектної трансформаторної підстанції, основні заходи з пожежної безпеки та виконано розрахунок контуру захисного заземлення.

Ключові слова: виробничий цех, морозиво, споживачі електроенергії, електричне навантаження, освітлення, трансформатор, захисна апаратура, струм короткого замикання, провід, кабель, силовий пункт, компенсація реактивної потужності, релейний захист, автоматичне повторне ввімкнення.

Abstract

MAKSYM SHCHERBAK. Diploma project on the topic:

"Design of a power supply system for an ice cream production plant with a capacity of 6.5 tons of finished product per day. Automatic reactivation (AR) in power supply systems"

National University of Food Technologies, Kyiv - 2025

141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 14 chapters and a list of used literature. The volume of the project is 142 pages.

The description is accompanied by a graphic part consisting of four drawings: a plan of the production shop with the laying of the power network, a single-line diagram of the power supply of the shop, a plan of the production shop with the lighting network, automatic reclosing (AR) in power supply systems.

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

As a result of the project, a brief description of the technological process and electricity consumers of the production shop is provided; the electrical loads of the shop are calculated; the number and power of the shop's transformers are selected, taking into account reactive power compensation; the electrical equipment of the shop's power supply and distribution network is calculated and selected and checked for short-circuit currents; issues of relay protection, organization of metering and quality of electric energy of the power consumption system are considered. The individual task "Automatic reclosing (AR) in power supply systems" is considered.

The occupational safety section considers issues related to ensuring safety when servicing a complete transformer substation, basic fire safety measures, and calculates the protective grounding circuit.

Keywords: production shop, ice cream, electricity consumers, electrical load, lighting, transformer, protective equipment, short-circuit current, wire, cable, power point, reactive power compensation, relay protection, automatic reclosing.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	9
1.	КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЦЕХУ.....	11
1.1.	Коротка характеристика технологічного процесу виробництва морозива	11
1.2.	Характеристика споживачів електричної енергії цеху.....	12
1.3.	Вибір роду струму та рівня напруги.....	16
1.4.	Вибір схеми електропостачання ремонтної цеху.....	16
2.	РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	18
2.1.	Визначення розрахункового навантаження цеху з виготовлення морозива.....	18
2.2.	Визначення розрахункового навантаження окремих приміщень виробничого цеху.....	24
2.3.	Визначення сумарного розрахункового навантаження на шини ТП з урахуванням освітлювального навантаження та втрат в трансформаторах.....	25
3.	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ.....	27
4.	ВИБІР ЧИСЛА ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТП...	29
4.1.	Техніко-економічне порівняння вибраних варіантів трансформаторів.....	31
5.	РОЗРАХУНОК І ВИБІР АПАРАТІВ ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ.	36
5.1	Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії.....	36

					ДП 2025 141							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Щербак М.П.			Зміст				Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Шпак В.В.									6	
Реценз.		Якимчук М.В.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.												
Затверд.		Балюта С.М.										

5.2.	Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів.....	38
5.3.	Вибір силових пунктів.....	40
6.	РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ.....	43
6.1.	Розрахунок і вибір перерізів провідників до споживачів електричної енергії.....	43
6.2.	Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії.....	45
6.3.	Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення силових пунктів.....	46
7.	РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	47
7.1.	Розрахунок робочого освітлення цеху по виробництву морозива методом коефіцієнта використання.....	48
7.2.	Розрахунок освітлення для окремих приміщень виробничого цеху...	51
7.3.	Вибір щитків освітлення, апаратів захисту та провідників.....	54
8.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	57
8.1.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ.....	57
8.2.	Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 0,4 кВ.....	59
9.	ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ТА ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НАПРУГУ 10 КВ І ПЕРЕВІРКА ЇХ ДО ДІЇ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	65
9.1.	Вибір і перевірка провідників напругою 10 кВ.....	65
9.2.	Вибір і перевірка високовольтних шин.....	69
9.3.	Вибір і перевірка опорних ізоляторів.....	70
9.4.	Вибір і перевірка високовольтного вимикача на стороні низької напруги ГПП.....	71
9.5.	Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника.....	73

10.	РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА.....	76
10.1.	Релейний захист трансформатора.....	78
10.2.	Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання.....	81
11.	ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВАННЯ.....	83
11.1.	Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання.....	83
11.2.	Лічильники електричної енергії.....	87
12.	ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ.....	94
12.1.	Показники якості електричної енергії.....	96
12.2.	Розрахунок втрат напруги на ділянці мережі цеху	98
13.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	100
14.	ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВВІМКНЕННЯ (АПВ) В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	111
14.1.	Призначення АПВ.....	111
14.2.	Різновиди автоматичного повторного включення та базові вимоги до його реалізації.....	113
14.3.	Одноразове електричне автоматичне повторне включення.....	117
14.4.	Типи цифрових пристроїв АПВ, що застосовуються для ліній.....	121
14.5.	Система АПВ для шин напругою 6 кВ.....	124
14.6.	Реалізація АПВ у разі спрацювання захисту при однофазному замиканні на землю.....	131
14.7.	Автоматичне повторне вмикання трансформатора.....	133
	ЛІТЕРАТУРА.....	141

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 проєктування, монтажу, налагодження та допуску в експлуатацію. Проєктування 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 проєктування 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 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щербак М.П.			Вступ		
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						9	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

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 даній кваліфікаційній роботі розглядаються питання проєктування системи електропостачання цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу та автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання.

					ДП 2025 141	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ТА СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЦЕХУ

1.1. Коротка характеристика технологічного процесу виробництва морозива

Морозиво – це продукт, який одержують заморожуванням і збиванням суміші натурального молока, вершків, згущеного або сухого незбираного чи знежиреного молока, а також різних смакових і ароматичних речовин та стабілізаторів.

Виробництво морозива високої якості для виробника сприяє прискоренню реалізації продукції і одержання прибутку. Серед найважливіших проблем, які повинна вирішувати сьогодні наука і практика, особливе місце займає забезпечення населення повноцінними продуктами харчування. Це стосується не лише основних продуктів харчування, а й десертів, ласощів, таких, як морозиво. Морозиво являється одним із найулюбленіших продуктів і користується стійким попитом у споживачів, особливо у літній період. Споживання морозива в Україні не перевищує 1–1,5 кг на людину в рік; у Швеції, Норвегії, Фінляндії та інших країнах світу воно складає 12–13 кг. Для вирішення завдань підвищення якості, споживчої цінності морозива, розширення та вдосконалення його асортименту, необхідний подальший пошук та використання різних добавок та наповнювачів. Так як на сьогоднішній день є дуже багато виробників морозива, то для того, щоб встояти в конкурентній боротьбі, потрібно постійно вдосконалювати свій асортимент і особливу увагу приділяти якості морозива. Тому ця проблема є сьогодні актуальною.

Морозиво характеризується високою харчовою і біологічною цінністю. В морозиві на молочній основі міститься від 3 до 15 % жиру і більше, значна кількість цукрів (від 14 до 27 %). Із загальної кількості цукрів у морозиві на

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Щербак М.П.			1. Коротка характеристика технологічного процесу та споживачів електричної енергії цеху	Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Шпак В.В.					11		
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

молочній основі міститься від 4 до 5 % лактози. Морозиво має у своєму складі до 3-4% білкових речовин. Висока кількість сухих речовин, яка коливається від 30 до 40 %. Цукри, жири і білки морозива характеризуються високою засвоюваністю від 95 до 98 %. Енергетична цінність морозива коливається від 100 до 250 ккал на 100г. Біологічна цінність морозива визначається вмістом повноцінних білків, поліненасичених жирних кислот, органічних кислот (молочної і лимонної), вітамінів і мінеральних речовин.

Базовий технологічний, процес виробництва морозива включає в себе підготування сировини, приготування суміші, фільтрування, пастеризацію, гомогенізацію (для сумішей на молочній основі), охолодження, зберігання, фризерування суміші, фасування, загартовування і дозагартовування морозива.

При фризеруванні суміші морозива насичується повітрям (взбивається) частково заморожується; повітря розподіляється в продукті у вигляд маленьких бульбашок, суміш охолоджується, в залежності від складу, від мінус 2 до -4 °С, після чого починається її замерзання. Причому, чим нижча температура холодоносія у фризері і інтенсивніше перемішування, тим швидше утворюються кристали льоду і цим самим вони є менші. При фризеруванні починається формування структури морозива, яке закінчується після його загартування.

Фасоване морозиво загартовують в потоці повітря температурою від мінус 25 до -37 °С в спеціальних морозильних апаратах; які входять в склад поточних ліній, а також в металічних формах ескімогенераторах, які охолоджуються циркуляцією розсолу з температурою від мінус 2,5 до -40 °С. Морозиво на вагу в металічних гільзах або картонних ящиках з вкладками поліетиленової плівки загартовується в морозильних камерах з температурою повітря не вище -20 °С. Температура морозива на вагу після загартування повинна бути не вищою ніж -12 °С, а температура фасованого морозива -10 °С. Перш ніж помістити фасоване морозиво в камеру зберігання, його дозагартовують в спеціальних камерах загартування або в камерах зберігання. Тривалість дозагартування фасованого морозива складає від 24 до 36 годин. Загартоване морозиво поміщають в камеру зберігання.

					ДП 2025 141	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Характеристика споживачів електричної енергії цеху

Споживачі цеху мають 2 і 3 категорію по надійності електропостачання. Головними споживачами електричної енергії є технологічне обладнання різного призначення для виробництва морозива.

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

Усе технологічне обладнання у будівлі виробничого цеху розміщуються згідно з технологічною послідовністю виробництва морозива (див. рис. 1.1). При

					ДП 2025 141	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщенні обладнання враховано норми відстаней для безпечного проведення процесу та самих робітників у процесі роботи.

Площа цеху складає 1560,25 м² (довжина – 60,5 м; ширина – 30,5 м; висота – 6 м).

У будівлі використовується природне та штучне (робоче і аварійне) освітлення. У виробничому приміщенні передбачено загальне рівномірне освітлення виконане за допомогою сучасних світлодіодних ламп.

Відомості про електричні навантаження цеху наведені в табл. 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1

Відомість електричних навантажень цеху з виготовлення морозива

№ за планом	Найменування обладнання	Встановлена потужність одиниці, кВт	К-сть
IX	Цех виготовлення морозива		
1	Резервуар накопичення молока В2 - ОМВ - 2,5	1,5	5
2	Приймально-лічильна установка УМПА-1.5	5,5	1
3	Горизонтальний резервуар РМГЦ-10	2	4
4	Сепаратор-молокоочишувач А1 ОЦМ 5	5	2
5	Фризер Hoyer Frigus 1200M	32	3
6	Фасувальний апарат М6-АРТ	16	3
7	Фризер TEKNO-ICE 600 LPH	2,6	3
8	Пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ	35	1

Таблиця 1.2

Відомість електричних навантажень окремих приміщень виробничого цеху

№ за планом	Назва приміщень цеху	Загальна потужність обладнання цеху, кВт
1	2	3
I	Приймально-мийне відділення	55,4
II	Приймальне відділення	44,8

Продовження табл. 1.2

1	2	3
III	Приймальна лабораторія	17,5
IV	Відділення централізованого миття	15
V	Склад миючих засобів	16,8
VI	Кабінет технолога	6
VII	Виробнича лабораторія	49,1
VIII	Баклабораторія	30,8
X	Камера загартовування	30,2
XI	Побутова кімната	5
XII	Підготовче відділення	52,5
XIII	Камера зберігання	12,2
XIV	Експедиція	5
XV	ТП	

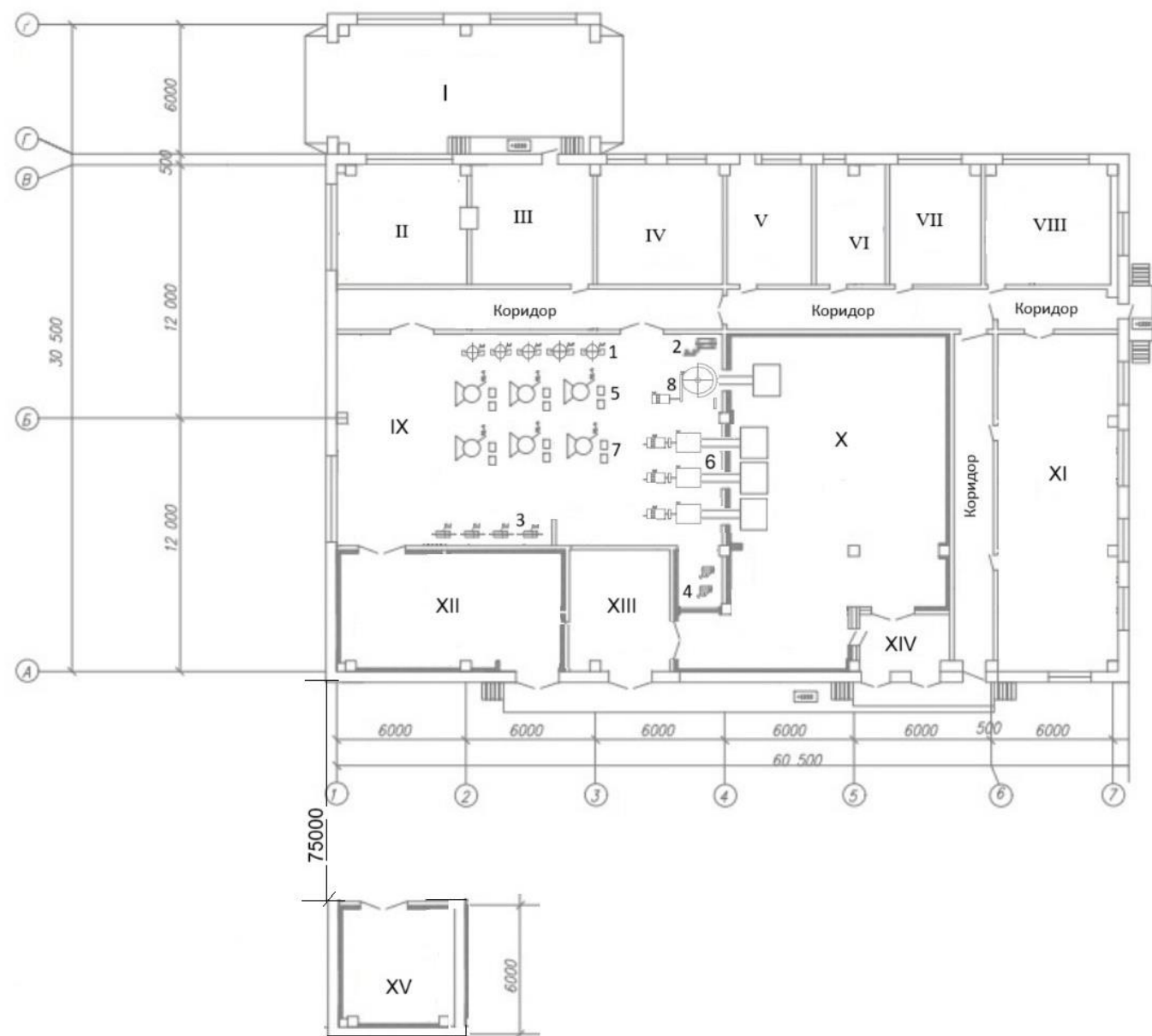


Рис. 1.1. План цеху

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 дільниці – 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 цеху

Живлення виробничого цеху здійснюється від цехової трансформаторної підстанції (ТП), що знаходиться на відстані 75 м від споруди. ТП підключена до підстанції глибокого вводу, що знаходиться в 7 км від неї напругою 10 кВ.

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 дільниці, 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).

					ДП 2025 141	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 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 радіальну схему електропостачання для живлення електроспоживачів цеху.

					ДП 2025 141	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Визначення розрахункового навантаження цеху з виготовлення морозива

При розробці проєкту електропостачання цеху 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 – $\cos \varphi$.

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:

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

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

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

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

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

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2. Розрахунок електричних навантажень		
Розроб.		Щербак М.П.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Лім.	Арк.	Аркуші
						18	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

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

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

групи.

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

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

де P_H – установлена потужність групи споживачів, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$ – 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 цеху з виготовлення морозива і від силових споживачів заносимо у табл. 2.1.

Розглянемо приклад розрахунку трифазних навантажень, приєднаних до СП-1, від якого живляться наступні електроприймачі:

1. Резервуар накопичення молока В2 - ОМВ - 2,5: $K_b=0,7$, $\cos \varphi=0,8$; $\operatorname{tg} \varphi=0,75$; $n=5$. Номінальна потужність резервуару: $P_H=1,5$ кВт.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. Приймально-лічильна установка УМПА-1.5: $K_B=0,65$, $\cos\varphi=0,8$; $\operatorname{tg}\varphi=0,75$; $n=1$. Номінальна потужність установки: $P_H=5,5$ кВт.

8. Пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ: $K_B=0,8$, $\cos\varphi=0,8$; $\operatorname{tg}\varphi=0,75$; $n=1$. Номінальна потужність установки: $P_H=35$ кВт.

Послідовність обчислень зберігається.

1. Розрахунок виконується за табличною формою.

2. Вузол живлення – СП-1.

3. Визначення сумарної потужності електроприймачів:

$$\sum P_i = \sum n_i \cdot P_{ni} , \quad (2.8)$$

де n_i – кількість відповідних електроприймачів;

P_{ni} – номінальна потужність відповідних електроприймачів.

$$\sum P_i = 5 \cdot 1,5 + 1 \cdot 5,5 + 1 \cdot 35 = 48 \text{ кВт}.$$

4. Визначення навантаження за найбільш завантажену зміну:

$$P_{cm} = K_B \cdot n \cdot P_H ; \quad (2.9)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.10)$$

1) Резервуар накопичення молока В2 - ОМВ - 2,5:

$$P_{cm} = 0,7 \cdot 5 \cdot 1,5 = 5,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 5,25 \cdot 0,75 = 3,94 \text{ квар.}$$

2) Приймально-лічильна установка УМПА-1.5:

$$P_{cm} = 0,65 \cdot 1 \cdot 5,5 = 3,58 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 3,575 \cdot 0,75 = 2,68 \text{ квар.}$$

3) Пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ:

$$P_{cm} = 0,8 \cdot 1 \cdot 35 = 28 \text{ кВт};$$

$$Q_{cm} = 28 \cdot 0,75 = 21 \text{ квар.}$$

Визначення групового коефіцієнта використання:

$$\hat{E}_A = \frac{\sum P_{ni}}{\sum P_i} \quad (2.11)$$

					ДП 2025 141	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\sum P_{\text{нi}} = 5,25 + 3,58 + 28 = 36,83 \text{ кВт}$ – сумарне змінне навантаження.

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \frac{36,83}{48} = 0,77.$$

6. Визначаємо:

$$\sum n \cdot D_i^2 = 5 \cdot 1,5^2 + 1 \cdot 5,5^2 + 1 \cdot 35^2 = 1266,5 \text{ м}^2$$

7. Знаходимо ефективне число приймачів:

$$n_{\hat{a}} = \frac{(\sum_1^n D_i)^2}{\sum_1^n n \cdot D_i^2} = \frac{48^2}{1266,5} \approx 2.$$

Приймаємо ціле число $n_e = 2$.

8. По табл. 2.1 [1] знаходимо коефіцієнт розрахункового навантаження (K_p) залежно від $K_b = 0,77$ і $n_e = 2$; $K_p = 1,2$.

9. Знаходимо розрахункове активне навантаження:

$$P_p = K_p \cdot P_{\text{см}} = 1,2 \cdot 36,83 = 44,2 \text{ кВт.}$$

10. Знаходимо розрахункове реактивне навантаження:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{см}} = 1,1 \cdot 27,62 = 30,4 \text{ квар.}$$

11. Визначення повної розрахункової потужності:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{44,23^2 + 30,4^2} = 53,7 \text{ мВА.}$$

12. Розрахунковий струм групи:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{53,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 77,5 \text{ А.}$$

Результати цього й наступних розрахунків навантажень зводяться в табл. 2.1.

Визначаємо сумарну активну, реактивну та повну потужність цеху з виробництва морозива, а також розрахунковий струм і результати заносимо в табл. 2.1.

Активна потужність цеху

$$P_{\delta_{\Sigma O}} = P_{\delta_{\text{N}i-1}} + P_{\delta_{\text{N}i-2}} + P_{\delta_{\text{N}i-3}} = 44,2 + 109,3 + 43,8 = 197,3 \text{ кВт.}$$

					ДП 2025 141	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Розрахунок електричних навантажень цеху з виробництва морозива

Вихідні дані							Розрахункові величини			Ефективне значення ЕП, η_e	Коефіцієнт розрахункового навантаження, K_p	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, I_p, A
За даними технологічного проектування				За довідниковими даними			Середня потужність		Проміжна розрахункова величина			Активна, $P_{cm}, кВт$	Реактивна, $Q_{cm}, квар$	Повна, $S_p, кВА$	
Характерні категорії ЕП, що приєднуються до вузла живлення	Кількість ЕП, $n, шт$	Номінальна (встановлена) потужність, $кВт$		Коефіц. використання, K_v	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності $tg \varphi$									
1	2	3	4				5	6	7	8	9	10	11	12	13
СП-1															
Резервуар накопичення молока В2 - ОМВ - 2,5	5	1,5	7,5	0,7	0,8	0,75	5,25	3,94	11,25						
Приймально-лічильна установка УМПА-1.5	1	5,5	5,5	0,65	0,8	0,75	3,58	2,68	30,25						
Пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ	1	35	35	0,8	0,8	0,75	28	21	1225						
Всього	7		48	0,53	0,8	0,75	36,83	27,62	1266,5	2	1,2	44,2	30,4	53,7	77,5

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СП-2															
Фризер Hoyer Frigus 1200M	3	32	96	0,6	0,8	0,75	57,6	43,2	3072						
Фасувальний апарат М6-АРТ	1	16	16	0,6	0,8	0,75	9,6	7,2	256						
Фризер TEKNO-ICE 600 LPH	3	2,6	7,8	0,6	0,8	0,75	4,68	3,51	20,28						
Всього	7		119,8	0,6	0,8	0,75	71,88	53,91	3348,3	4	1,46	109,3	59,3	124,4	179,6
СП-3															
Горизонтальний резервуар РМГЦ-10	4	2	8	0,6	0,8	0,75	4,8	3,6	16						
Сепаратор-молокоочищувач А1 ОЦМ 5	2	5	10	0,6	0,8	0,75	6	4,5	50						
Фасувальний апарат М6-АРТ	2	16	32	0,6	0,8	0,75	19,2	14,4	512						
Всього	8		50	0,6	0,8	0,75	30	22,5	578	4	1,46	43,8	24,8	50,3	72,6
Всього: силові навантаження												197,3	114,5	228	329,3

Реактивна потужність цеху

$$Q_{\delta\Sigma\ddot{O}} = Q_{\delta\ddot{N}\ddot{I} -1} + Q_{\delta\ddot{N}\ddot{I} -2} + Q_{\delta\ddot{N}\ddot{I} -3} = 30,4 + 59,3 + 24,8 = 114,5 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Повна потужність цеху

$$S_{\delta\Sigma\ddot{O}} = \sqrt{P_{\delta\Sigma\ddot{O}}^2 + Q_{\delta\Sigma\ddot{O}}^2} = \sqrt{197,3^2 + 114,5^2} = 228 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Розрахунковий струм цеху

$$I_{\delta\Sigma\ddot{O}} = \frac{S_{\delta\Sigma\ddot{O}}}{\sqrt{3} \cdot U_i} = \frac{228}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 329,3 \text{ А}.$$

2.2. Визначення розрахункового навантаження окремих приміщень виробничого цеху

Розрахунок електричних навантажень для окремих приміщень виробничого цеху виконаємо за методом коефіцієнта попиту. Для визначення розрахункових навантажень з цього методу необхідно знати установлену потужність $P_{ном}$ групи приймачів, коефіцієнти потужності $\cos \varphi$ та попиту $K_{п.а}$ цієї групи, які визначаються за довідниковими даними.

Розрахункове навантаження групи однорідних за режимом роботи приймачів визначають за формулами:

- для активної потужності: $P_{\delta} = \hat{E}_{i.\dot{a}} \cdot D_{\ddot{m}} ;$ (2.12)

- для реактивної потужності: $Q_{\delta} = P_{\delta} \cdot \text{tg} \varphi ;$ (2.13)

- для повної потужності: $S_{\delta} = \sqrt{P_{\delta}^2 + Q_{\delta}^2} ,$ (2.14)

де відповідає $\text{tg} \varphi$ відповідає $\cos \varphi$ цій групі приймачів.

Визначення розрахункового силового навантаження за встановленою потужністю та коефіцієнтом попиту є наближеним методом розрахунку, тому його застосування рекомендують для попередніх розрахунків та визначення загальнозаводських навантажень.

Усі отримані результати за методом коефіцієнта попиту наведені у табл. 2.2.

					ДП 2025 141	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2

Розрахунок навантажень окремих приміщень виробничого цеху

№	Найменування приміщення	P _н , кВт	K _п	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Приймально-мийне відділення	55,4	0,7	0,6	1,17	38,78	45,4	
II	Приймальне відділення	44,8	0,7	0,6	1,17	31,36	36,7	
III	Приймальна лабораторія	17,5	0,41	0,6	1,17	7,2	8,4	
IV	Відділення централізованого миття	15	0,6	0,65	1,02	9	9,2	
V	Склад миючих засобів	16,8	0,5	0,65	1,02	8,4	8,6	
VI	Кабінет технолога	6	0,6	0,63	1,23	3,6	4,4	
VII	Виробнича лабораторія	49,1	0,55	0,63	1,23	27	33,2	
VIII	Баклабораторія	30,8	0,7	0,7	1,02	21,6	22	
X	Камера загартовування	30,2	0,8	0,7	1,02	24,2	24,6	
XI	Побутова кімната	5	0,85	0,88	0,53	4,3	2,3	
XII	Підготовче відділення	52,5	0,82	0,85	0,62	43,1	26,7	
XIII	Камера зберігання	12,2	0,68	0,78	0,8	8,3	6,6	
XIV	Експедиція	5	0,8	0,85	0,62	4	2,5	
Всього						230,8	230,6	326,3

2.3. Визначення сумарного розрахункового навантаження на шинах ТП з урахуванням освітлювального навантаження та втрат в трансформаторах

Орієнтовані значення питомих витрат потужності на освітлення приймають за довідниковими даними:

Потужність освітлювальної установки обчислюється за формулою:

$$P_{\text{осв}} = \delta_{\text{осв}} \cdot F, \quad (2.15)$$

де $p_{\text{осв}}$ – питома активна потужність освітлення, яку можна прийняти для світлодіодних ламп від 5 до 7 Вт/м², ми приймаємо $p_{\text{осв}} = 6$ Вт/м²;

F – площа цеху, визначається за планом приміщення, 1440 м².

Тоді, $P_{\text{осв}} = \delta_{\text{осв}} \cdot F = 6 \cdot 1560,25 = 9362 \text{ Вт} = 9,4 \text{ кВт}$.

					ДП 2025 141			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				25

Обчислюємо сумарну активну потужність силових електроспоживачів цеху

$$P_{\delta\Sigma} = P_{\delta\Sigma\text{О}} + P_{\delta_{\text{ієд}} \text{ ієд}} = 197,3 + 230,8 = 428,1 \text{ кВт}.$$

Знаходимо сумарну реактивну потужність силових електроспоживачів цеху

$$Q_{\delta\Sigma} = Q_{\delta\Sigma\text{О1}} + Q_{\delta_{\text{ієд}} \text{ ієд}} = 114,5 + 230,6 = 345,1 \text{ кВар}.$$

Обчислюємо повну сумарну потужність силових електроспоживачів цеху

$$S_{\delta\Sigma} = \sqrt{P_{\delta\Sigma}^2 + Q_{\delta\Sigma}^2} = \sqrt{428,1^2 + 345,1^2} = 550 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Визначаємо сумарний розрахунковий струм цеху

$$I_{\delta\Sigma} = \frac{S_{\delta\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{і}}} = \frac{550}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 794 \text{ А}.$$

Обраховуємо можливі втрати потужності

$$\Delta P = 2\% \cdot (P_{\delta\Sigma} + P_{\text{ін}}) = 0,02 \cdot (428,1 + 9,4) = 8,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q = 10\% \cdot Q_{\delta\Sigma} = 0,1 \cdot 345,1 = 34,5 \text{ квар}.$$

Визначаємо повну потужність, що споживається цехом

$$\begin{aligned} S_{\delta\Sigma}' &= \sqrt{(P_{\delta\Sigma} + P_{\text{ін}} + \Delta P)^2 + (Q_{\delta\Sigma} + \Delta Q)^2} = \\ &= \sqrt{(428,1 + 9,4 + 8,8)^2 + (345,1 + 34,5)^2} = 586 \text{ кВт}\cdot\text{А}. \end{aligned}$$

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

У "Вказівках щодо компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах" установлені вихідні дані для визначення потужності пристроїв, що компенсують, котрі визначаються граничними значеннями реактивної потужності і можуть бути передані підприємству від енергосистеми в режимах найбільших і найменших реактивних навантажень енергосистеми. При цьому час найбільших активних навантажень енергосистеми може не збігатися з часом найбільших навантажень підприємства.

Для здійснення штучної компенсації, також відомої як поперечна, використовують спеціальні компенсуючі пристрої, які є джерелом реактивної енергії ємнісного характеру.

Серед них основне місце займають статичні конденсатори.

Найбільш ефективна компенсація реактивної потужності досягається при централізованому підході, тому конденсаторні батареї розміщуються у приміщенні трансформаторної підстанції на низькій стороні.

Коефіцієнт потужності електромережі, що живить цех, становить $\cos \varphi = 0,97$, що відповідає значенню $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,25$. Для визначення динамічних змін споживання реактивної потужності використовуємо $\operatorname{tg} \varphi_1$:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Q_{\delta \Sigma} + \Delta Q}{P_{\delta \Sigma} + P_{\text{нагр}} + \Delta P} = \frac{345,1 + 34,5}{428,1 + 9,4 + 8,8} = 0,8505. \quad (3.1)$$

Тепер визначимо потужність компенсуючих пристроїв в ківоварах

$$Q_{\text{Е.І.}} = \Sigma D_{\text{сд}} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 446,3 \cdot (0,8505 - 0,25) = 268 \text{ квар.} \quad (3.2)$$

За довідниковими матеріалами вибираємо дві регульовані конденсаторні установки типу УКРМ-0,4-160/20 з номінальною потужністю $Q_n = 2 \times 160 = 320$ квар, що має шість ступенів регулювання потужності, квар (20+20+20+30+30+40).

					ДП 2025 141					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	3. Компенсація реактивної потужності та вибір місця розташування компенсуючих пристроїв			Лім.	Арк.	Архувів
Розроб.		Щербак М.П.								
Перевір.		Шпак В.В.							27	
Реценз.		Якимчук М.В.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.										
Затверд.		Балюта С.М.								

Конденсаторну установку приєднуємо до кожної секції шин низької напруги трансформатора.

Комплектація конденсаторної установки

1. Ввід КУ – роз'єднувач E.NEXT
2. Індивідуальний захист конденсатора – автоматичний вимикач виробництва E.NEXT.
3. Індивідуальний комутуючий апарат конденсатора – контактор виробництва E.NEXT (для комутації ємнісного навантаження).
4. Регулятор реактивної потужності виробництва фірми CNC.
5. Конденсатори LPC DW – виробництво ETI.

Загальний вигляд конденсаторної установки УКРМ-0,4-160/20 показано на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Загальний вигляд конденсаторної установки УКРМ-0,4-160/20

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

4. ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТП

При виборі числа і номінальної потужності трансформаторів на цехових ТП необхідно враховувати багато факторів, основні з яких наводяться нижче:

а) число трансформаторів

Основним фактором, що визначає число трансформаторів, є категорія безперебійності електропостачання електроприймачів, що живляться від однієї підстанції.

1. При відносно невеликій кількості (до 30 %) електроприймачів I і II категорії рекомендується застосовувати однострансформаторні підстанції. Резервування споживачів I і II категорії забезпечується по перемичках на нижчій напрузі від сусідніх підстанцій, що мають живлення від другого незалежного джерела.

2. Якщо на підстанції переважають електроприймачі I і II категорії, особливо у випадках, коли I категорії – більше 30 %, безумовно, встановлюють двотрансформаторні підстанції, при виході з ладу одного з трансформаторів той що залишився, бере на себе все навантаження підстанції.

3. В інших випадках рішення можуть прийматися не так однозначно, особливо, коли в навантаженні підстанції переважають споживачі II категорії;

б) вибір номінальної потужності трансформаторів на однострансформаторних підстанціях

Для проєктованих підстанцій, якщо невідомий графік навантаження споживачів, потужність трансформаторів вибирається на підставі розрахункового максимального навантаження.

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{макс.}} \quad (4.1)$$

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щербак М.П.			4. Вибір числа і потужності трансформаторів на ТП	Лім.	Арк.
Перевір.		Шпак В.В.					29
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3	
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

Вибір оптимального числа та потужності трансформаторів на підстанціях промислових підприємств є ключовим аспектом при розробці систем електропостачання. Умови нормальної експлуатації вимагають, щоб силові трансформатори забезпечували живлення всіх електроприймачів підприємства.

На даній підстанції використовується два трансформатори, оскільки цех, який вона обслуговує, належить до II і III категорії надійності електропостачання.

Для вибору найбільш раціонального варіанту електропостачання зазвичай розглядають щонайменше два варіанти щодо числа та потужності трансформаторів на підстанції, порівнюючи їх за техніко-економічними показниками.

Вибір потужності трансформаторів здійснюється враховуючи розрахункове навантаження об'єкту електропостачання та число годин, протягом яких максимальне навантаження використовується.

Оскільки цех відноситься до споживачів категорії II та III категорії надійності, для нього найбільш підходить двотрансформаторна підстанція. Для такої підстанції трансформатор обирають згідно з наступною умовою:

$$S_{\partial\partial.i} \geq \frac{S_{\partial\Sigma}''}{0,7 \cdot 2}. \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} S_{\partial\Sigma}'' &= \sqrt{(D_{\partial\Sigma} + D_{\text{in}\hat{a}} + \Delta D)^2 + (Q_{\partial\Sigma} + \Delta Q - Q_{\hat{E}.i})^2} = \\ &= \sqrt{(428,1 + 9,4 + 8,8)^2 + (345,1 + 34,5 - 268)^2} = 460 \text{ кВА}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Тоді, за (4.1) отримаємо

$$S_{\partial\partial.i} \geq \frac{S_{\partial\Sigma}''}{0,7 \cdot 2} = \frac{460}{0,7 \cdot 2} = 329 \text{ кВА}.$$

З урахуванням потреб об'єкту електропостачання та умов роботи, можливими варіантами трансформаторів, які відповідають вказаній умові, є:

I Варіант – два трансформатори потужністю $S_{\text{тр.н}} = 400 \text{ кВА}$;

II Варіант – два трансформатори потужністю $S_{\text{тр.н}} = 630 \text{ кВА}$.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

4.1. Техніко-економічне порівняння вибраних варіантів трансформаторів

При розробці проєкту промислового підприємства важливо враховувати технічні та економічні аспекти для вибору найоптимальнішого варіанту електропостачання. Технічні критерії, такі як надійність, зручність в експлуатації, довговічність та ступінь автоматизації, грають важливу роль у виборі оптимального рішення. З іншого боку, економічні параметри, такі як капітальні вкладення та щорічні експлуатаційні витрати, також мають вирішальне значення.

Технічний розрахунок потужності трансформаторів проводиться з урахуванням компенсації реактивної потужності, тоді як економічний аналіз вибору кількості та потужності трансформаторів базується на загальних показниках та умовних вартостях обладнання.

Серед ключових економічних показників є сумарні приведені затрати. Варіант з найменшими сумарними приведеними затратами при рівних умовах вважається більш ефективним.

Сумарні приведені затрати визначаються при будівництві та подальшої експлуатації з незмінними річними витратами. Це означає, що річні витрати на ремонт, обслуговування та енергію залишаються постійними протягом року у розглянутому періоді експлуатації.

Отже, аналіз техніко-економічних показників дозволяє обґрунтувати найбільш ефективний варіант електропостачання для промислового об'єкту.

Технічне порівняння варіантів

I – й варіант два трансформатори ТМЗ-400/10 ($S_{\text{тр.н}} = 400$ кВА).

II – й варіант два трансформатори ТМЗ-630/10 ($S_{\text{тр.н}} = 630$ кВА).

Перевіримо трансформатори до перевантажувальної їх здатності.

Час дії максимуму навантаження 2 години.

Для першого і другого варіантів обчислимо коефіцієнт завантаження трансформаторів за формулою:

					ДП 2025 141	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\hat{E}_{\zeta} = \frac{S_{\delta\Sigma}'}{S_{i.\delta\delta.}}; \quad (4.4)$$

I – й варіант

$$\hat{E}_{\zeta 1} = \frac{S_{\delta\Sigma}''}{2 \cdot S_{i.\delta\delta.}} = \frac{460}{2 \cdot 400} = 0,58.$$

II – й варіант

$$\hat{E}_{\zeta 2} = \frac{S_{\delta\Sigma}'}{2 \cdot S_{i.\delta\delta.}} = \frac{460}{2 \cdot 630} = 0,37.$$

Допустиме навантаження на час дії максимуму навантаження становить:

для I – го варіанту – $1,4 > 0,58$;

для II – го варіанту – $1,63 > 0,37$;

а допустиме аварійне перевантаження:

для I – го варіанту – $1,7 > 0,58$;

для II – го варіанту – $1,8 > 0,37$.

Технічні характеристики першого і другого варіантів трансформаторів відповідають вимогам для застосування на нашій підстанції.

Для безпосереднього електропостачання промислових об'єктів при напрузі 10/0,4 кВ найбільш широко застосовуються комплектні трансформаторні підстанції (КТП), застосовуються в постійних, а також в тимчасових електроустановках промислових підприємств, так як вони трансформабельні і прості для монтажу і демонтажу.

Економічне порівняння варіантів

Для економічного порівняння виписуємо з довідників технічні параметри трансформаторів (див. табл. 4.1).

					ДП 2025 141	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні параметри трансформаторів

№ п/п	Тип трансформатора	S _{ном.} , кВА	U _{ном.} , кВ		Втрати, кВт		U _{к.} , %	I _{х.} , %	Ціна К, грн
			ВН	НН	P _{х.х.}	P _{к.з.}			
1	ТМ – 400/10	400	10	0,4	0,92	3,9	4,5	1,9	286800
2	ТМ – 630/10	630	10	0,4	1,37	8,5	5,5	1,8	394800

Враховуючи вище зазначене, ми повинні обрати найкращий варіант із двох доступних трансформаторів.

Для цього ми проводимо розрахунки втрат електричної енергії в обох варіантах за допомогою відповідної формули:

$$\Delta W = n \cdot \left[\left(P_{х.х.} + K_{з.в.} \cdot \frac{I_{х.х.} \%}{100} \cdot S_{н.тр.} \right) \cdot T_{\partial} + K_{з}^2 \cdot \left(P_{к.з.} + K_{з.в.} \cdot \frac{U_{к.з.} \%}{100} \cdot S_{н.тр.} \right) \cdot \tau \right], \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (4.5)$$

де n – число трансформаторів однакової потужності;

P_{х.х.} – втрати потужності холостого ходу, кВт;

K_{з.в.} – коефіцієнт втрати потужності електросистеми, приймаємо K_{з.в.} = 0,06 кВт/квар;

I_{х.х.} – струм холостого ходу, %;

S_{н.тр.} – номінальна потужність трансформатора, кВА;

T_д – дійсний час роботи трансформатора в рік, год;

K_з – коефіцієнт завантаження трансформатора;

P_{к.з.} – потужність короткого замикання, кВт;

U_{к.з.} – напруга короткого замикання, %;

τ – час максимальних втрат, який визначається із графіку і залежить від T_м і cos φ.

Приймаємо у нашому випадку τ = 4200 год.

Тоді, розрахунок по кожному з варіантів:

$$\Delta W_1 = 2 \cdot \left[\left(0,92 + 0,06 \cdot \frac{1,9}{100} \cdot 400 \right) \cdot 8760 + 0,58^2 \cdot \left(3,9 + 0,06 \cdot \frac{4,5}{100} \cdot 400 \right) \cdot 4200 \right] = 38180 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta W_2 = 2 \cdot \left[\left(1,37 + 0,06 \cdot \frac{1,8}{100} \cdot 630 \right) \cdot 8760 + 0,37^2 \cdot \left(8,5 + 0,06 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 630 \right) \cdot 4200 \right] = 48088 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Виконуємо розрахунок річних втрат електроенергії для обох варіантів за допомогою відповідної формули:

$$\tilde{N}_w = \Delta W \cdot C_0, \text{ .} \quad (4.6)$$

де C_0 – вартість електричної енергії (1 кВт·год), яка на даний період складає для підприємства $C_0 = 6 \text{ /} \cdot \text{}$.

$$\tilde{N}_{w1} = \Delta W_1 \cdot C_0 = 38180 \cdot 6 = 229080 \text{ .}$$

$$\tilde{N}_{w2} = \Delta W_2 \cdot C_0 = 48088 \cdot 6 = 288528 \text{ .}$$

Проводимо розрахунок щорічних амортизаційних витрат для кожного з варіантів за допомогою відповідної формули:

$$\tilde{N}_a = \varphi \cdot \hat{E}, \text{ } \quad (4.7)$$

де φ – відсоток амортизаційних відрахувань для трансформаторів, який приймаємо $\varphi = 10 \%$.

$$\tilde{N}_{a1} = 0,1 \cdot (2 \cdot 286800) = 57360 \text{ .}$$

$$\tilde{N}_{a2} = 0,1 \cdot (2 \cdot 394800) = 78960 \text{ .}$$

Проводимо розрахунок щорічних експлуатаційних витрат для кожного варіанту за допомогою відповідної формули:

$$\tilde{N} = \tilde{N}_w + C_a, \text{ ;} \quad (4.8)$$

$$\tilde{N}_1 = \tilde{N}_{w1} + C_{a1} = 229080 + 57360 = 286440 \text{ }$$

$$\tilde{N}_2 = \tilde{N}_{w2} + C_{a2} = 288528 + 78960 = 367488 \text{ }$$

Використовуючи відповідну формулу, обчислюємо приведені річні витрати для кожного варіанту:

$$\zeta = \tilde{N} + p \cdot \hat{E}, \text{ } \quad (4.9)$$

де p – нормований коефіцієнт економічної ефективності, приймаємо $p = 0,15$.

$$\zeta_1 = \tilde{N}_1 + 0,15 \cdot \hat{E}_1 = 286440 + 0,15 \cdot (2 \cdot 286800) = 372480 \text{ }$$

					ДП 2025 141	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_2 = \tilde{N}_2 + 0,15 \cdot \hat{E}_2 = 367488 + 0,15 \cdot (2 \cdot 394800) = 485928 \text{ грн.}$$

Результати техніко-економічних розрахунків наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Зведені техніко-економічні розрахунки по вибору трансформаторів

№ n/n	Види витрат	Одиниці виміру	Варіант трансформатора	
			I	II
1	Тип трансформатора	-	2хТМ-400/10	2хТМ-630/10
2	Капітальні витрати	грн.	573600	789600
3	Річні втрати електроенергії	кВт·год	38180	48088
4	Вартість річних втрат електроенергії	грн.	229080	288528
5	Амортизаційні витрати	грн.	57360	78960
6	Експлуатаційні річні витрати	грн.	286440	367488
7	Приведені річні витрати	грн.	372480	485928

Враховуючи економічний аспект, ми обираємо варіант з меншими приведеними річними витратами, яким є перший варіант. Отже, на трансформаторній підстанції встановлюємо два трансформатори типу ТМ-400/10.

Загальний вигляд трансформатора ТМ-400/10, що встановлений на ТП показано на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Загальний вигляд трансформатора ТМ-400/10

5. РОЗРАХУНОК І ВИБІР АПАРАТІВ ЗАХИСТУ СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Згідно з ПУЕ апарати захисту за своєю виключаючою здатністю мають відповідати максимальному значенню струму короткого замикання на початку ділянки електричної мережі, що захищається.

Допускається установка апаратів захисту, нестійких до максимальних значень струму короткого замикання, якщо найближчий апарат, розташований у напрямі до джерела живлення, забезпечує миттєве вимкнення струму короткого замикання.

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

5.1. Розрахунок і вибір автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії

Автоматичні вимикачі вибираються за таких умов:

$$U_{\text{н}}^{\text{АА}} \geq U_{\text{н}}^{\text{ІАДАА}}, \quad (5.1)$$

де $U_{\text{н}}^{\text{ІАДАА}}$ – номінальна напруга мережі, в якій використовується автоматичний вимикач.

Номінальним струмом теплового розщеплювача:

$$I_{\text{н.ТД}}^2 \geq I_{\text{ТД}}^2. \quad (5.2)$$

Номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{\text{н.АА}}^2 \geq I_{\text{н.ТД}}^2. \quad (5.3)$$

Автоматичний вимикач перевіряється за струмом спрацювання розщеплювача миттєвої дії:

$$I_{\text{нДАД}}^2 \geq 1,25 \cdot I_{\text{ТД}}^2. \quad (5.4)$$

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щербак М.П.			5. Розрахунок і вибір апаратів захисту силової мережі	Лім.	Арк.
Перевір.		Шпак В.В.					36
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3	
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					

Автоматичні вимикачі вибираємо з довідникової літератури.

Як приклад, розглянемо розрахунок та вибір автоматичного вимикача для фризера Hoyer Frigus 1200M (позиція 5 на плані цеху).

Обчислюємо номінальний струм установки за формулою:

$$I_{\text{ном}}^{\text{ф}} = \frac{P_{\text{ном}}^{\text{ф}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{32}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 60,8 \text{ А.} \quad (5.5)$$

$$I_{\text{рз}}^{\text{ф}} = 5 \cdot I_{\text{ном}}^{\text{ф}} = 5 \cdot 60,8 = 304 \text{ А.} \quad (5.6)$$

Отже за довідниковими даними вибираємо автоматичний вимикач серії ВА типу ВА 51-31 з такими параметрами: $I_{\text{ном.дв}}^{\text{ф}} = 63 \text{ А}$; $I_{\text{ном.лв}}^{\text{ф}} = 100 \text{ А}$.

Визначаємо струм спрацювання (відсічки) електромагнітного або комбінованого розщеплювача за (5.4):

$$I_{\text{пд}}^{\text{ф}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{рз}}^{\text{ф}} \geq 1,25 \cdot 304 \geq 380 \text{ А.}$$

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

$$\hat{E}_{\text{н.а.}} = \frac{1,25 \cdot I_{\text{рз}}^{\text{ф}}}{I_{\text{ном.дв}}^{\text{ф}}} = \frac{380}{63} = 6. \quad (5.7)$$

Приймаємо стандартний коефіцієнт відсічки для даного автоматичного вимикача рівним 7.

Аналогічним чином вибираються автоматичні вимикачі для інших споживачів електричної енергії і результати вибору наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Результати вибору автоматичних вимикачів до споживачів електричної енергії цеху

№ ЕП на плані	Дані ЕП		Дані АВ				Тип вимикача
	$I_{\text{ном}}^{\text{лв}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{рз}}^{\text{ф}}$, А	$I_{\text{ном.лв}}^{\text{ф}}$, А	$I_{\text{ном.дв}}^{\text{ф}}$, А	$\hat{E}_{\text{н.а.дв}}$	$\hat{E}_{\text{н.а.лв}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	3,8	100	6,3	0,6	3	ВА 51-31
2	11	13,8	100	12	1,15	3	ВА 51-31
3	4	5	100	6,3	0,8	3	ВА 51-31

1	2	3	4	5	6	7	8
4	10	62,5	100	12	5,2	7	ВА 51-31
5	60,8	380	100	63	6	7	ВА 51-31
6	32	200	100	40	5	7	ВА 51-31
7	5,2	32,6	100	6,3	5,2	7	ВА 51-31
8	66,5	415	100	80	5,2	7	ВА 51-31

5.2. Розрахунок та вибір автоматичних вимикачів для групи електроспоживачів

Автоматичні вимикачі вибираємо аналогічно вибору АВ для одинарних споживачів електричної енергії, тільки необхідно по іншому визначати піковий струм.

Піковий струм групи електроспоживачів обчислюється за формулою:

$$I_{\Sigma}^2 = I_{\Sigma}^2 + (I_{\text{ном.макс}} - \hat{E}_a \cdot I_i^2), \quad (5.8)$$

де I_{Σ} – розрахунковий струм споживачів даної групи, A (береться з табл. 2.1 кваліфікаційної роботи);

$I_{\text{ном.макс}}$ – максимальний пусковий струм найпотужнішого споживача в групі, A (з табл. 5.1);

$I_{\text{ном}}$ – номінальний струм даного споживача, A (з табл. 5.1);

K_b – коефіцієнт використання (з табл. 2.1 кваліфікаційної роботи).

Виконаємо розрахунок та здійснимо вибір автоматичного вимикача для СП-2.

Визначаємо піковий струм для даної групи

$$I_{\Sigma}^2 = 179,6 + (304 - 0,6 \cdot 60,8) = 447 \text{ A}.$$

Визначаємо струм електромагнітного розщеплювача

$$I_{\text{дв.магн.}} \geq 1,25 \cdot I_{\Sigma}^2 = 1,25 \cdot 447 = 559 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-35 з

$$I_{\text{ном.дв.магн.}} = 200 \text{ A}; I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ A}; I_{\text{ел.магн.}} = 2400 \text{ A}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач для конденсаторної установки.

Визначаємо номінальний струм конденсаторної установки за формулою:

$$I_{\text{н.к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 230,9 \text{ А.} \quad (5.9)$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-35 з

$$I_{\text{н.д}} = 250 \text{ А; } I_{\text{н.л}} = 250 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач на шинах низької напруги трансформатора для живлення приміщення виробничого цеху.

Визначаємо номінальний струм після трансформатора на шинах низької напруги за формулою:

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{т.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,4 \text{ А,} \quad (5.10)$$

де $S_{\text{т.д}}$ – номінальна потужність трансформатора на ТП

Визначаємо піковий струм

$$I_{\text{п}} = 794 + (332,5 - 0,8 \cdot 66,5) = 1073,3 \text{ А.}$$

Визначаємо струм електромагнітного розщеплювача

$$I_{\text{р.д}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{п}} = 1,25 \cdot 1073,3 = 1342 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач висувного виконання типу ВА 51-39 з

$$I_{\text{н.д}} = 630 \text{ А; } I_{\text{н.л}} = 630 \text{ А; } I_{\text{ел.магн.}} = 6300 \text{ А.}$$

Вибираємо секційний автоматичний вимикач.

Визначаємо струм, що протікатиме між секціями шин низької напруги

$$I_{\text{н.с}} = \frac{S_{\text{т.д}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,4} = 288,7 \text{ А,} \quad (5.11)$$

Вибираємо автоматичний вимикач типу ВА 51-37 з

$$I_{\text{н.д}} = 400 \text{ А; } I_{\text{н.л}} = 400 \text{ А; } I_{\text{ел.магн.}} = 4000 \text{ А.}$$

Всі отримані дані заносимо в табл. 5.2.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Таблиця 5.2

Вибір автоматичних вимикачів до груп електроспоживачів

Найменування групи ЕП	I_p, A	$K_{в.ст}$	$I_{номAB}$	$I_{н.розщ}$	Тип вимикача
СП-1	77,5	10	250	100	ВА 51-35
СП-2	179,6	12	250	200	ВА 51-35
СП-3	72,6	10	250	100	ВА 51-35
СП-4	310	10	400	320	ВА 51-37

Загальний вигляд автоматичних вимикачів, що використовуються в схемі електропостачання цеху зображено на рис. 5.1.

5.3. Вибір силових пунктів

Всі електроприймачі ділять на підгрупи по кількості апаратів захисту в силовому пункті. Визначається розрахункова потужність кожної підгрупи. По величині розрахункової потужності вибирають провідники для живлення силового пункту і апарат на вході в силовий пункт.

По характеристикам електроприймачів вибирають параметри апаратів захисту: плавкі вставки запобіжників або розчіплювачі автоматичних вимикачів.

По параметрам апаратів захисту вибирають провідники для живлення окремих електроприймачів.

Вибираємо силові розподільчі пункти за довідником. Її характеристики заносимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Вибір силових пунктів

№ СП	Тип	Номінальний струм ввідного автомату	Число лінійних автоматичних вимикачів типу ВА 51-31
СП-1	ПР8501-067	250	8
СП-2	ПР8501-067	250	8
СП-3	ПР8501-067	250	8
СП-4	ПР8501-089	400	10

					ДП 2025 141	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний вигляд силового пункту типу ПР85 показано на рис. 5.2.



а)



б)



в)



г)

Рис. 5.1. Загальний вигляд автоматичних вимикачів, що використовуються у схемі електропостачання цеху:

а – ВА 51-39; б – ВА 51-35; в – ВА 51-37; г – ВА 51-31

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП 2025 141

Арк.

41



Рис. 5.2. Загальний вигляд розподільчого пункту серії ПР85

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

6. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПРОВІДНИКІВ ЖИВИЛЬНОЇ ТА РОЗПОДІЛЬЧОЇ МЕРЕЖІ ЦЕХУ

6.1. Розрахунок і вибір перерізів провідників до споживачів електричної енергії

Електричні мережі напругою до 1 кВ цеху 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:

$$^2_{\tilde{a}\tilde{u}} \geq ^2_{\tilde{m}\tilde{A}\tilde{I}} \quad ; \quad (6.1)$$

$$^2_{\hat{\mathbf{a}}\hat{\mathbf{u}}} \geq \hat{E}_c \cdot ^2_c, \quad (6.2)$$

де $I_{\text{доп}}^2$ – тривалий допустимий струм провідника, А;

 $\hat{E}_c$ – 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 фризера Noyer Frigus 1200М.

Вибираємо провід марки АПВ4 (1×25) з $I_{\text{доп}} = 70 \text{ А}$. Провід прокладається в полівінілхлоридній трубі під бетоном. Оскільки, $I_{\text{доп}} = 70 \text{ А} > I_{\text{з}} = 63 \text{ А}$, то провідник вибрано правильно. Провідники вибираємо за довідниковою літературою. Для всіх інших споживачів електричної енергії вибираємо

					ДП 2025 141						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6. Розрахунок і вибір провідників живильної та розподільчої мережі цеху				Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Щербак М.П.									
Перевір.		Штак В.В.									43
Реценз.		Якимчук М.В.							ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		
Н. Контр.											
Затверд.		Балюта С.М.									

провідники аналогічно наведеному вище розрахунку і результати вибору зводимо до табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Вибір перерізу проводів до споживачів електричної енергії цеху

№ ЕП за планом	$I_{\text{м.АІ}}$, А	$I_{\text{м.д.і.с.і.}}$, А	$K_3 \cdot I_3$	Марка і переріз провідника	$I_{\text{доп.}}$, А
1	3	6,3	6,3	АПВ4 (1x2,5)	19
2	11	12	12	АПВ4 (1x2,5)	19
3	4	6,3	6,3	АПВ4 (1x2,5)	19
4	10	12	12	АПВ4 (1x2,5)	19
5	60,8	63	63	АПВ4 (1x25)	70
6	32	40	40	АПВ4 (1x16)	55
7	5,2	6,3	6,3	АПВ4 (1x2,5)	19
8	66,5	80	80	АПВ4 (1x35)	85

Загальний вигляд проводу, що використовується в розподільчій мережі цеху показано на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Загальний вигляд проводу марки АПВ

6.2. Визначення характеристик труб для прокладки проводів до споживачів електричної енергії

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 сталі та пластмасові труби.

Звичайні сталі 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 (с. 64 [1]), а потім за табл. 3.1 [1]. Результати вибору труб наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Характеристика вибраних труб

№ ЕП на плані	Провід	Кількість проводів	Труба			
	d _ж , мм		D ^{PO3} _{ВН} , мм	d _в , (ст), мм	d _з , (ст), мм	d _{ум} , мм
1	4,2	4	14,8	15,7	21,3	15
2	4,2		14,8	15,7	21,3	15
3	4,2		14,8	15,7	21,3	15
4	4,2		14,8	15,7	21,3	15
5	9,5		35	41	48	40
6	7,8		28	35,9	42,3	32
7	4,2		14,8	15,7	21,3	15
8	10,7		42	53	60	50

6.3. Розрахунок і вибір перерізів провідників для живлення силових пунктів

Підключення силових пунктів здійснюється за допомогою кабелів з алюмінієвими жилами полівінілхлоридною ізоляцією, марки АБВГ. 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 СП-1.

Для вибору перерізу кабелів використовуємо умови (6.1) та (6.2).

Вибираємо кабель марки АБВГ_{НГ-LS} 4×50, $I_{\text{доп}} = 105 \text{ А} > I_{\text{с}} = 100 \text{ А}$. Оскільки умова вибору виконується, відповідно кабель вибрано вірно. Для всіх інших груп споживачів вибір наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Вибір живильних кабелів

№ групи	$I_{\text{н.д.с.}}$, А	$K_3 \cdot I_3$	Марка і переріз провідника	$I_{\text{доп.}}$, А
СП-1	100	100	АБВГ _{НГ-LS} 4x50	105
СП-2	200	200	2xАБВГ _{НГ-LS} 4x50	210
СП-3	100	100	АБВГ _{НГ-LS} 4x50	105
СП-4	320	320	2xАБВГ _{НГ-LS} 4x95	330

Загальний вигляд живильного кабелю марки АБВГ_{НГ-LS} показано на рис. 6.2.



Рис. 6.2. Загальний вигляд кабелю марки АБВГ-0,6/1 з алюмінієвими жилами

7. РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Раціональне освітлення забезпечує психологічний комфорт, поліпшує умови праці, підвищує безпеку робіт і одночасно сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню продуктивності праці. При хорошому освітленні очі протягом довгого часу зберігають здатність добре бачити, не стомлюючись. Незадовільне освітлення ускладнює виконання роботи, може призвести до нещасного випадку і захворювання органів зору.

У практиці проектування електричного освітлення промислових будинків застосовують дві системи робочого освітлення:

- систему загального освітлення, призначену для освітлення робочих поверхонь усього приміщення в цілому;
- систему комбінованого освітлення, що складається з загального освітлення приміщення і місцевого освітлення робочих поверхонь.

У системі загального освітлення розрізняють:

- загальне рівномірне освітлення від світильників, рівномірно розташованих у кожному ряду при однаковій відстані між рядами;
- загальне локалізоване освітлення, виконане з урахуванням розподілу робочих місць і устаткування.

Згідно з [9] для загального штучного освітлення доцільно використовувати розрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами (світлодіодні лампи) мають більшу світлову віддачу та більший термін експлуатації.

Лампи типу ДРЛ, що задовільно працюють при низьких температурах навколишнього середовища, доцільно застосовувати: для загального освітлення, поза виробничими приміщеннями, територій промислових підприємств, відкритих складів, а також вулиць і площ міст; у виробничих приміщеннях із високими стелями, де не ставлять особливі вимоги до передачі кольору при роботах,

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7. Розрахунок мережі електричного освітлення		
Розроб.		Шербак М.П.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						47	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

пов'язаних із періодичним спостереженням за устаткуванням або механізованим технологічним процесом; у прожекторному освітленні (крім охоронного освітлення).

В цеху по виробництву морозива передбачаємо встановлення робочого загального рівномірного освітлення. Так як в ньому проводяться роботи середньої точності і відносяться до IV розряду зорової роботи, то приймаємо нормативну освітленість рівною $E_n = 300$ лк.

Для освітлення виробничого цеху вибираємо світильники зі світлодіодними лампами.

7.1. Розрахунок робочого освітлення цеху по виробництву морозива методом коефіцієнта використання

Світильники вибирають, виходячи зі світлотехнічних, економічних і естетичних вимог, а також з урахуванням умов навколишнього середовища.

Серед світлотехнічних вимог враховують, насамперед, світлорозподіл світильників з урахуванням зменшення сліпучої дії і відбитої близькості (розсіювачами і з дифузійним відбитком поверхні), випромінювання світлового потоку в нижню і верхню півсфери.

З урахуванням економічних вимог необхідне повне економічне обґрунтування, найчастіше обмежуване зіставленням типу і потужності джерела світла і економічної енергетичності, що визначається корисною світловою віддачею.

Для розрахунку загального рівномірного освітлення при горизонтальній робочій поверхні основним є метод світлового потоку (коефіцієнт використання), що враховує світловий потік лампи Φ_d , лм.

Для системи загального освітлення приймемо LED лампу VIDEX A145 100W E40 5000K.

Розміри приміщення:

Довжина – $\hat{A} = 18$ м.;

Ширина – $\hat{A} = 10$ м.;

					ДП 2025 141	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа – $S = A \cdot B = 18 \cdot 10 = 180 \text{ м}^2$;

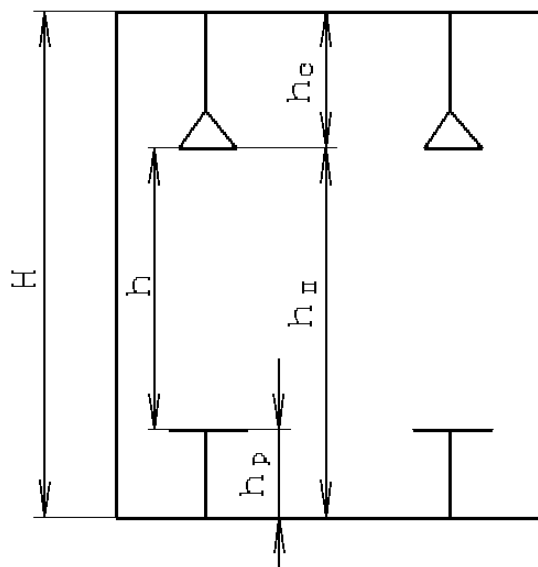


Рис. 7.1. Розташування світильників по висоті приміщення

Розрахункова висота, h , визначається по формулі:

$$h = H - h_c - h_p, \quad (7.1)$$

де H – висота приміщення, $H=6 \text{ м}$;

h_c – відстань світильників до стелі, $h_c=0,3 \text{ м}$;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, $h_p=0,8 \text{ м}$;

$$h = 6 - 0,3 - 0,8 = 4,9 \text{ м};$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{18 \cdot 10}{4,9 \cdot (18 + 10)} = 1,31. \quad (7.2)$$

За величиною індексу приміщення і коефіцієнтів відбиття світлового потоку від стін, стелі, і робочої поверхні: $\rho_n = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$, $\rho_p = 20 \%$ за довідниковими матеріалами знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку, що рівний 71%.

Розраховуємо освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку.

$$N = \frac{E_n \cdot k_c \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{е}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 2 \cdot 180 \cdot 1,1}{1 \cdot 9000 \cdot 0,71} = 18,5, \quad (7.3)$$

де E_n – нормоване значення освітленості в цеху, 300 лк;

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

k_z – коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку, 2;

S – площа приміщення, 180 м²;

Z – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу світлового потоку по робочій поверхні, 1,1;

n – кількість ламп в світильнику, 1

Φ_l – світловий потік однієї лампи, 9000 лм

η – коефіцієнт використання світлового потоку, 71%.

Приймаємо до встановлення 18 світильників: по 6 штук в трьох рядах.

Основні характеристики LED лампи VIDEX A145 100W E40 5000K згідно [20] наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Характеристики LED лампи VIDEX A145 100W E40 5000K

Артикул	VL-A145-100405
Категорія	Високопотужні лампи
Колірна температура світла	5000K (денне світло)
Якість світла	Ra > 80
Тип цоколя	E 40
Особливості	Високопотужні
Напруга	AC 175-264 V
Потужність	100 W
Енергоефективність	90 Lm/W
Клас енергоспоживання	A
Час запуску	Миттєвий старт (<1 сек)
Регулювання освітленості (диммер)	Не підтримує
Світловий потік	9000 Lm
Максимальна сила струму	500mA
Частота	50/60 Hz
Кут розсіювання	200°
Коефіцієнт потужності	0,9
Коеф. збереження світловіддачі в кінці номінал. терміну служби	≥ 94,8 %
Ресурс роботи	30000 годин
Кількість циклів Ввім/Вимк	20000
Матеріали	Алюміній-поліамід
Робоча температура	-20°C ~ + 40 °C
Гарантійний термін	2 роки
Розміри	148 mm x 270 mm
Вага	850 г

Результати розрахунку за допомогою он-лайн калькулятора [20] наведено в табл. 7.2 та рис. 7.2.

Таблиця 7.2

Результати розрахунку освітлення за допомогою он-лайн калькулятора [20]

Параметр	Значення
Кількість світильників (шт)	18
Середня освітленість (лк)	456
Мін. Освітленість (лк)	285
Макс. Освітленість (лк)	866
Рівномірність (хв. / Пор.)	0,63
Екстра. Дорівнює. (Хв. / Макс.)	0,84
Коеф. Використання	0,71

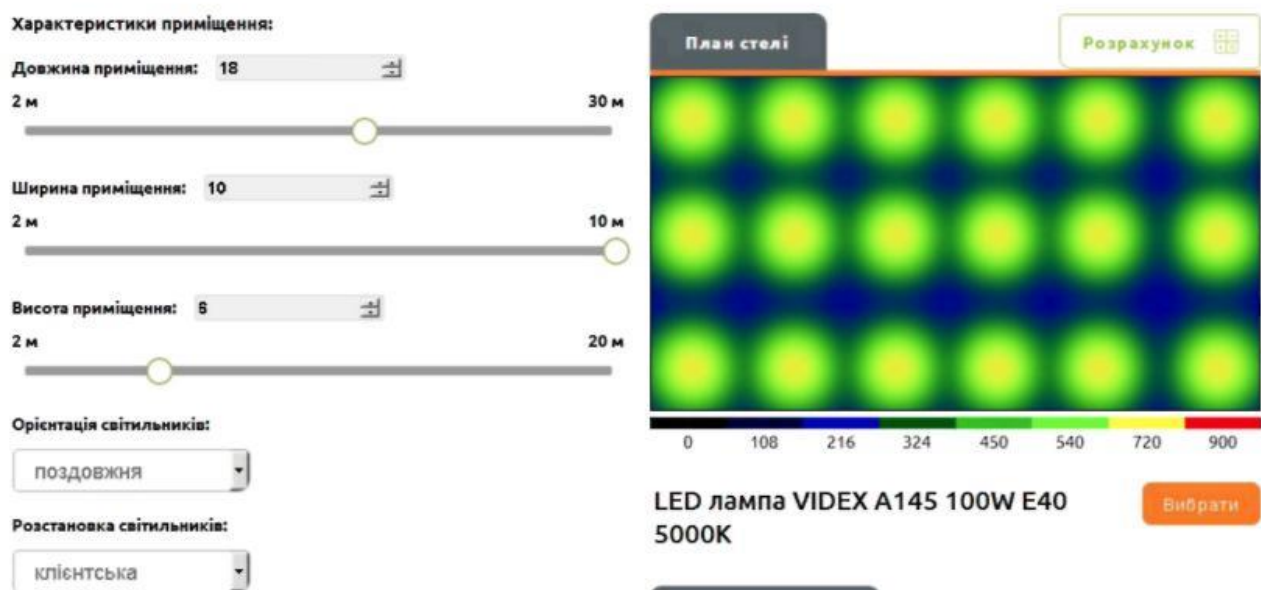


Рис. 7.2. Фрагмент результатів розрахунку освітлення цеху з виробництва морозива за допомогою он-лайн калькулятора

7.2. Розрахунок освітлення для окремих приміщень виробничого цеху

Для практичних спрощених розрахунків світлодіодного освітлення можна скористатися нижче наведеною методикою:

1. Величину світлового потоку визначають за формулою:

$$E_n \cdot S \cdot k_z, \quad (7.4)$$

де E_n – стандарт норми освітленості (лк);

S – площа приміщення (m^2);

k_3 – коефіцієнт запасу.

2. Коефіцієнт запасу залежить від висоти стель:

до 2,7 м = 1;

від 2,7 до 3 м = 1,2;

від 3 до 3,5 м = 1,5;

від 3,5 до 5,5 м = 2.

Також його слід застосовувати, якщо кімната і меблі в темних тонах.

3. Стандарти освітленості

Згідно зі стандартами, норма освітленості для приміщень на 1 м² наступна (вимірюється в лк):

– житлова кімната, спальня, вітальня – 150;

– кухня – 150;

– дитяча – 200;

– кабінет, бібліотека, конференц-зал – 300;

– більярдна – 300;

– коридор і хол – 50;

– ванна – 50;

– тренажерний зал – 150;

– офіс – 300.

4. Потужність і світловий потік ламп

У табл. 7.3 наведені орієнтовні значення відповідності потужності ламп і їх світлового потоку.

Таблиця 7.3

Потужність світлодіодних ламп і їх світловий потік

3-4 Вт	250-300 лм
4-6 Вт	300-450 лм
6-8 Вт	450-500 лм
8-10 Вт	600-900 лм
10-12 Вт	900-1100 лм
12-14 Вт	1100-1250 лм
14-16 Вт	1250-1400 лм
16-18	1400-1600 лм
18-20	1600-1800 лм

Наведемо приклад розрахунку для кабінету технолога. Підбираємо побутові світлодіодні лампи для робочого кабінету площею 20 м² і з висотою стель в 3 м. Розрахунок такий: $150 \times 20 \times 1,5 = 4500$ лм. За отриманим результатом підбираємо 4 світлодіодні лампи по 1200 лм для загального освітлення, тобто встановлюємо 4xLED лампи VIDEX A60e 12W E27 4100K.

Для інших приміщень виробничого цеху розрахунок виконується аналогічно наведеному прикладу і їх результати показано в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Результати розрахунку освітлення для окремих приміщень виробничого цеху

№ за пла- ном	Назва приміщення цеху	Пло- ща, м ²	Висо- та, м	Нормо- вана освітле- ність Е _н , лк	К _з	Загальний світловий потік, лм	Кількість та тип світлодіодної лімпи
1	2	3	4	5	6	7	8
I	Приймально-мийне відділення	72	3	100	1,5	10800	9xLED лампа VIDEX A60e 12W E27
II	Приймальне відділення	36	3	100	1,5	5400	4xLED лампа TITANUM A65 15W E27
III	Приймальна лабораторія	36	3	100	1,5	5400	4xLED лампа TITANUM A65 15W E27
IV	Відділення централізованого миття	36	3	100	1,5	5400	4xLED лампа TITANUM A65 15W E27
V	Склад миючих засобів	26	3	75	1,5	2925	2xLED лампа TITANUM A65 15W E27
VI	Кабінет технолога	20	3	150	1,5	4500	4xLED лампа VIDEX A60e 12W E27
VII	Виробнича лабораторія	26	3	150	1,5	5850	4xLED лампа VIDEX G95e 15W E27
VIII	Баклабораторія	36	3	100	1,5	5400	4xLED лампа VIDEX G95e 15W E27
X	Камера загартування	120	6	75	2	18000	4xLED лампа VIDEX A118 50W E40

1	2	3	4	5	6	7	8
XI	Побутова кімната	160	3	75	1,5	18000	12xLED лампа VIDEX G95e 15W E27
XII	Підготовче відділення	48	6	100	2	9600	2xLED лампа VIDEX A118 50W E40
XIII	Камера зберігання	32	6	100	2	6400	2xLED лампа VIDEX A118 50W E40
XIV	Експедиція	12	3	75	1,5	1350	2xLED лампа VIDEX A60e 12W E27
	Коридор	150	3	75	1,5	16875	12xLED лампа VIDEX A65e 15W E27

Загальна потужність освітлювальних приладів за табл. 7.4 складає 1270 Вт, а з урахуванням потужності світлодіодних ламп цеху з виробництва морозива – 3070 Вт.

7.3. Вибір щитків освітлення, апаратів захисту та провідників

Щитки освітлення серії ЩО призначені для прийому і розподілу електричної енергії в освітлювальних установках виробничих, громадських, адміністративних та інших подібних будівлях, а також нечастого включення і відключення ліній групових кіл і їх захисту при перевантаженнях і коротких замиканнях.

Щитки освітлення приєднуються до трифазних мереж електроживлення напругою 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц з і забезпечують можливість приєднання до чотирьох- і п'ятипровідних мереж живлення з типами заземлення системи відповідно TN-C, TN-S, TN-C-S.

Комплектується автоматичними вимикачами в залежності від числа вихідних групових ліній. Номінальні струми розчеплювачів на автоматах обумовлюються при замовленні.

Конструктивно ЩО – металева шафа з дверцятами, усередині якої, в залежності від виконання, встановлюється певна кількість модульних автоматичних вимикачів.

Для захисту від струмів витоку на землю встановлюються модульні автомати з уставкою спрацьовування 30, 100, 300 мА. Введення і виведення провідників передбачене як у верхній, так і в нижній частинах шафи.

За способом встановлення щитки поділяються на:

- навісні, для встановлення на стінах, колонах і інших подібних конструкціях;
- вмонтовувані, для встановлення в нішах стін.

Для вибору апаратів захисту та перерізу провідника для живлення щитків освітлення струми

- для ввідного автоматичного вимикача:

$$I_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{\sqrt{3} \cdot U_{\epsilon}} = \frac{3070}{\sqrt{3} \cdot 380} = 4,7 \text{ A}; \quad (7.5)$$

- для вихідної групової лінії

$$I_{\delta} = \frac{P_{\delta}}{U_{\delta}} = \frac{600}{220} = 2,7 \text{ A}, \quad (7.6)$$

де P_{δ} – потужність найбільш завантаженої фази, в даному випадку це лінія з шістьма LED лампами VINDEX A145 100W E40 5000K цеху з виробництва морозива.

Отже, за отриманими розрахунками вибираємо ввідний триполюсний автоматичний вимикач серії ВА 51-31

$$I_{\epsilon} = 8 \text{ A}; I_{\delta} = 100 \text{ A}; I_{\text{ел.магн.}} = 24 \text{ A}.$$

Для вихідної групової лінії вибираємо однополюсний автоматичний вимикач серії ВА 51-25

$$I_{\epsilon} = 3,15 \text{ A}; I_{\delta} = 25 \text{ A}; I_{\text{ел.магн.}} = 44,1 \text{ A}.$$

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автоматичні вимикачі з розчеплювачами, що мають зворотно-залежну від струму характеристику, а

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

саме тепловими нерегульованими або комбінованими (тепловими та електромагнітними), як нерегульованими, так і регульованими.

Для живлення щитків освітлення вибираємо мідний кабель ВВГ 4×2,5 мм² з $I_{\text{доп}} = 25 \text{ А}$, а для живлення ліній освітлення трижильний провідник ВВГ 3×1,5 мм² з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

Щиток робочого освітлення – ЩО08505-0306 на 6 приєднань.

Для аварійного освітлення в цеху з виробництва морозива вибираються чотири світильники з LED лампою VIDEX A145 100W E40, а в коридорі чотири світильники з LED лампою VIDEX A65e 15W E27.

Потужність аварійного освітлення у відсотках від робочого приймається:

Для продовження роботи – 20 %;

Для евакуації – 5 %.

Щиток аварійного освітлення – ЩО08505-0302 на 2 приєднання.

Щиток аварійного освітлення заживлюємо від сусідньої підстанції.

					ДП 2025 141	Арк.
						56
Змн.	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).

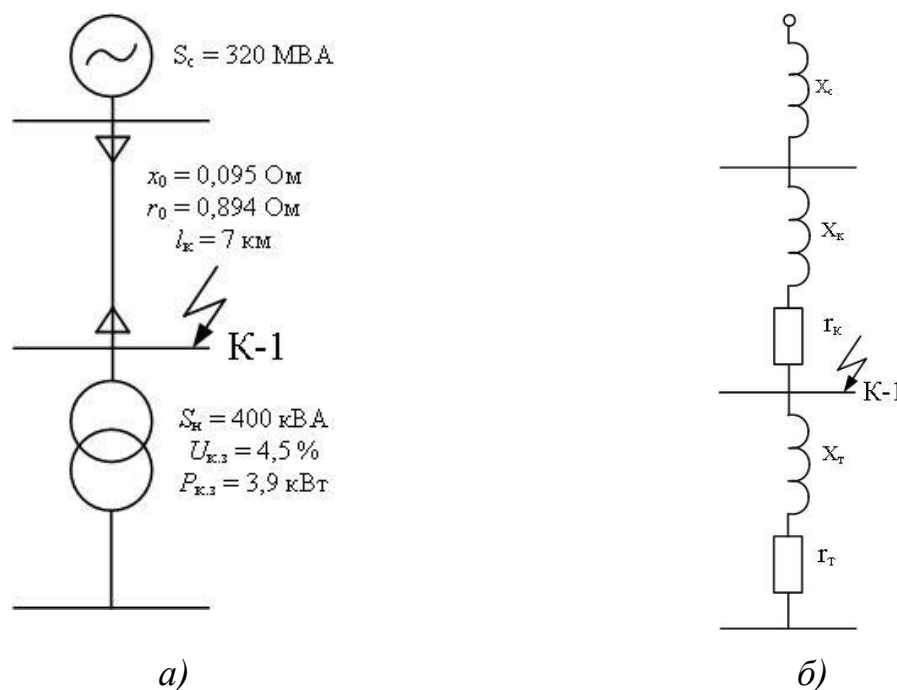


Рис. 8.1. Розрахункова та схема заміщення для визначення струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щербак М.П.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Лім.	Арк.	Аркуші
						57	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

Вихідними даними для розрахунку струмів короткого замикання на стороні напруги 10 кВ є потужність системи $S_c = 320$ МВА, номінальна потужність трансформатора $S_{н.т} = 400$ 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, $S_b = 100$ МВА.

Обчислюємо опір системи за формулою:

$$\tilde{o}_{\tilde{n}*\acute{a}} = \frac{S_{\acute{a}}}{S_{\tilde{n}}} = \frac{100}{320} = 0,3125. \quad (8.1)$$

Визначаємо реактивний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони l_1 :

$$\tilde{o}_{1*\acute{a}} = \tilde{o}_{01} \cdot l_1 \frac{S_{\acute{a}}}{U_{\acute{a}\acute{E}1}^2} = 0,095 \cdot 7 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,603, \quad (8.2)$$

де $x_{01} = 0,095$ Ом/км – питомий реактивний опір кабельної високовольної лінії.

Визначаємо активний опір кабеля, що під'єднаний до підстанції з високої сторони l_1 :

$$r_{1*\acute{a}} = r_{01} \cdot l_1 \frac{S_{\acute{a}}}{U_{\acute{a}\acute{E}1}^2} = 0,894 \cdot 7 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 5,68, \quad (8.3)$$

де $r_{01} = 0,894$ Ом/км – питомий активний опір кабельної високовольної лінії.

Обчислюємо повний реактивний опір для точки К1:

$$\tilde{o}_{\Sigma*\acute{a}\acute{E}1} = \tilde{o}_{\tilde{n}*\acute{a}} + \tilde{o}_{1*\acute{a}} = 0,3125 + 0,603 = 0,916. \quad (8.4)$$

Знаходимо повний опір у точки К1:

$$z_{\Sigma*\acute{a}\acute{E}1} = \sqrt{\tilde{o}_{\Sigma*\acute{a}\acute{E}1}^2 + r_{1*\acute{a}}^2} = \sqrt{0,916^2 + 5,68^2} = 5,75. \quad (8.5)$$

Обчислюємо базисний струм у точці К1 за формулою:

$$I_{\acute{a}\acute{E}1}^2 = \frac{S_{\acute{a}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\acute{a}\acute{E}1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,496 \text{ êÀ}. \quad (8.6)$$

Знаходимо струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$I_{\Sigma}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Sigma}^{(1)}} = \frac{5,496}{5,75} = 0,96 \text{ кА.} \quad (8.7)$$

Обчислюємо ударний струм короткого замикання у точці К1 за формулою:

$$i_{\phi}^{(1)} = I_{\Sigma}^{(1)} \cdot U_{\phi} \cdot \sqrt{2} = 0,96 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 1,87 \text{ кА,} \quad (8.8)$$

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

Обчислюємо потужність короткого замикання у точці К1:

$$S_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot I_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 = 16,63 \text{ МВА.} \quad (8.9)$$

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

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_K}, \quad (8.10)$$

де U_{ϕ} – лінійна напруга в точці короткого замикання, кВ;

Z_K – повний опір до точки короткого замикання, Ом.

б) 2-фазного КЗ, кА

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)} = 0,87 \cdot I^{(3)}. \quad (8.11)$$

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

в) 1-фазного КЗ, кА

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_\pi + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{ кА}, \quad (8.12)$$

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:

$$K_y = f\left(\frac{R_k}{X_k}\right), \quad (8.13)$$

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:

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

Активний R_π і реактивний X_π опори кабельних ліній, визначаються по формулах:

$$R_\pi = r_o \cdot L; \quad (8.16)$$

$$X_\pi = x_o \cdot L, \quad (8.17)$$

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 цеху (№ 8 за планом – Пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ).

					ДП 2025 141	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

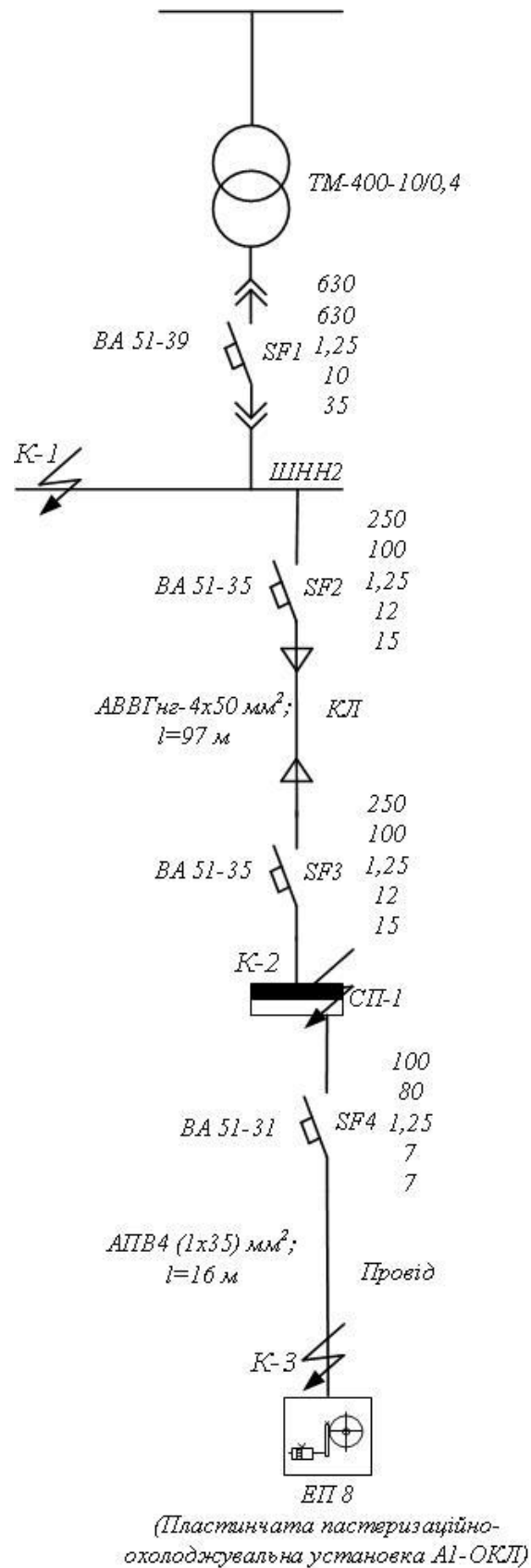


Рис. 8.2. Розрахункова схема для обчислення трифазного струму короткого замикання на стороні 0,4 кВ

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

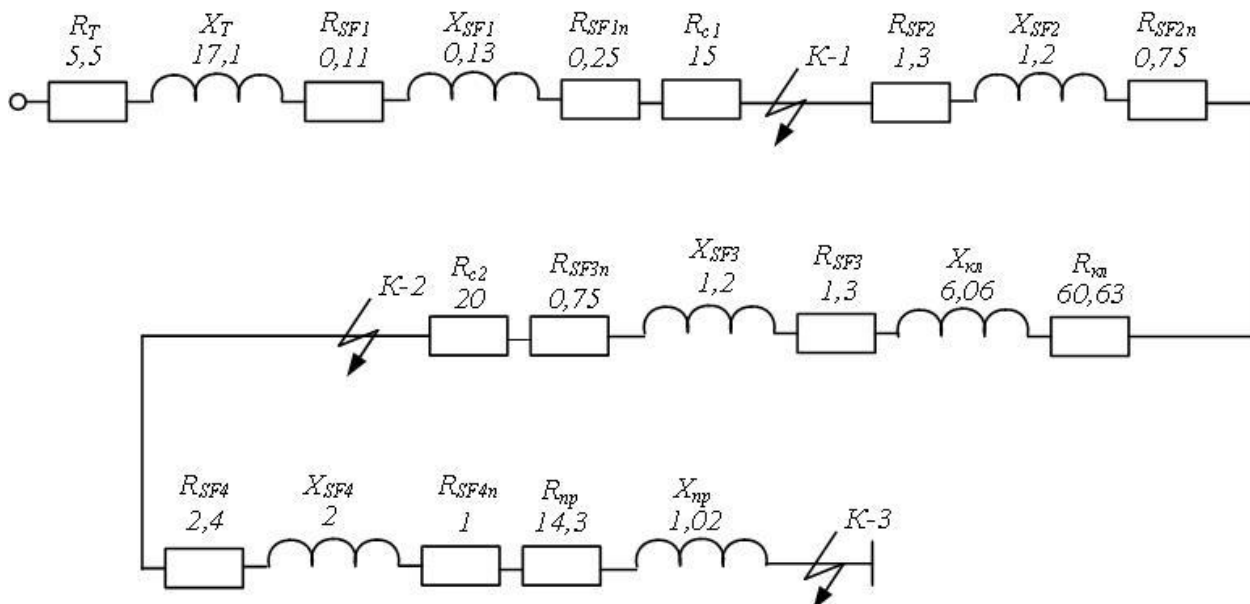


Рис. 8.3. Схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

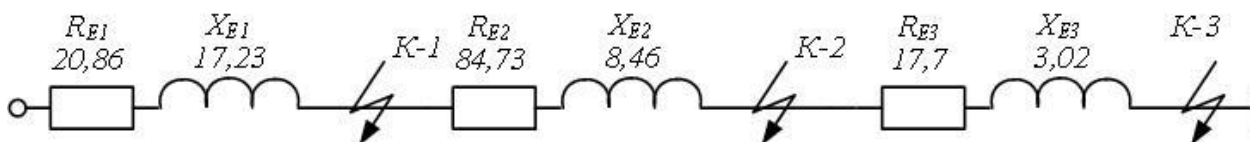


Рис. 8.4. Перетворена схема заміщення для розрахунку трифазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

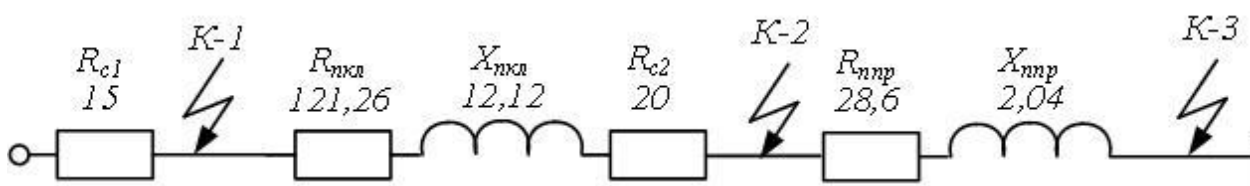


Рис. 8.5. Схема заміщення для розрахунку однофазного струму короткого замикання на стороні напруги 0,4 кВ

Обчислимо значення струмів короткого замикання для точки К1

Обчислюємо опори до точки К1.

Опір трансформатора ТМ-400-10/0,4

$$R_T = 5,5 \text{ мОм};$$

$$X_T = 17,1 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм.}$$

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

Для вимикача ВА 51-39 з номінальним струмом $I_{ном} = 630 \text{ А.}$

$$R_{SF1} = 0,11 \text{ мОм;}$$

$$X_{SF1} = 0,13 \text{ мОм;}$$

$$R_{SF1n} = 0,25 \text{ мОм.}$$

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

Знаходять значення повного опору схеми заміщення до точки К1

$$R_{E1} = R_T + R_{SF1} + R_{SF1n} + R_{C1} = 5,5 + 0,11 + 0,25 + 15 = 20,86 \text{ мОм.}$$

$$X_{E1} = X_T + X_{SF1} = 17,1 + 0,13 = 17,23 \text{ мОм}$$

$$Z_{E1} = \sqrt{20,86^2 + 17,23^2} = 27 \text{ мОм.}$$

$$K_{y1} = F \left(\frac{\sum R_1}{\sum X_1} \right) = F(1,2) = 1,1.$$

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

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z} = 380 / (1,73 \cdot 27) = 8,14 \text{ кА;}$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^{(3)} \cdot K_{y1} = 8,14 \cdot 1,1 = 8,95 \text{ кА;}$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,86 \cdot 8,14 = 7 \text{ кА;}$$

Знаходять значення повного опору схеми заміщення 1-фазних струмів КЗ до точки К1

$$Z_{n1} = R_{C1} = 15 \text{ мОм;}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\Phi}{Z_{n1} + \frac{Z_T^{(1)}}{3}} = 220 / (15 + 195/3) = 2,75 \text{ кА.}$$

Для інших точок короткого замикання розрахунок аналогічний з додаванням відповідних опорів наступних елементів схеми. Результати розрахунку струмів КЗ представлені в табл. 8.1.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 8.1

Зведена таблиця струмів короткого замикання на низькій стороні

№ п/п	R_K , мОм	X_K , мОм	Z_K , мОм	$Z_{KП}$, мОм	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I^{(1)}$, кА
K1	20,86	17,23	27	15	8,14	7	2,95
K2	105,59	25,69	108,9	156,7	2,02	1,73	0,99
K3	123,29	28,71	126,6	185,4	1,73	1,49	0,88

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

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 високовольних 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:

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

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

$j_{\text{дв}}$ – 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 2025 141							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Щербак М.П.			9. Вибір провідників та основного електрообладнання на напругу 10 кВ і перевірка їх до дії струмів короткого замикання			Лім.	Арк.	Аркуші		
Перевір.		Шпак В.В.								65		
Реценз.		Якимчук М.В.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3				
Н. Контр.												
Затверд.		Балюта С.М.										

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 вигоряння 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.

Визначаємо номінальний та максимальний струм на високій стороні:

					ДП 2025 141	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{доп}} = \frac{S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{дод}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{м.д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м}}} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,3 \text{ А}.$$

Економічно вигідний переріз кабельної лінії:

$$S_{\text{дод}} = \frac{23,1}{1,4} = 16,5 \text{ мм}^2.$$

Відповідно до обчисленого перерізу кабельної лінії приймаємо найближчий стандартний переріз $S_{\text{ст}} = 35 \text{ мм}^2$ (трижильний кабель АПвЕгаПу-10 3х35/25 з номінальним перерізом жили 35 мм^2 , $I_{\text{доп}} = 134 \text{ А}$ при прокладанні його в землі.

Розшифровка силового кабелю АПвЕгаПу-10 3х35/25:

А – алюмінієва струмопровідна жила;

Пв – ізоляція із зшитого поліетилену;

Е – екран мідних дротів і спірально накладеної мідної стрічки;

га – герметизований від поздовжнього і поперечного поширення вологи водонабухаючими стрічками і алюмополімерною стрічкою;

Пу – оболонка з поліетилену, посилена;

10 – номінальна напруга, кВ;

3 – кількість жил;

35 – переріз жили;

25 – переріз екрану.

Загальний вигляд кабелю АПвЕгаПу-10 3х35/25 показано на рис. 9.1.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67



Рис. 9.1. Загальний вигляд кабелю АПвЕгаПу-10 3х35/25

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

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

де тепловий імпульс визначається за формулою:

$$\hat{A}_{\hat{e}} = (\hat{I}_{\hat{e}1})^2 \cdot (\tau_{\hat{e}C} + \hat{O}_{\hat{a}}) = 0,96^2 \cdot (0,6 + 0,01) = 0,562 \text{ } \hat{A}^2 \cdot \text{ñ}. \quad (9.5)$$

Отже,

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{0,562 \cdot 10^6}}{90} = 8,3 \text{ мм}^2.$$

Остаточно, приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10 3х35/25 з номінальним перерізом жили 35 мм² та I_{доп} = 134 А.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

9.2. Вибір і перевірка високовольтних шин

Високовольтні шини вибираються за такої умови:

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

де I_p – 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 3х25 мм, з алюмінію марки АДО,
 $\sigma_{\text{доп}} = 49 \text{ МПа}$ з $I_{\text{доп.}} = 265 \text{ А}$.

$$265 \text{ А} \geq 23,1 \text{ А};$$

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

Перевірка на електродинамічну стійкість проводиться за такою умовою:

$$\dot{g}_{\text{доп}} \geq \dot{g}_{\text{розр}} \quad (9.7)$$

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:

$$\dot{g}_{\text{розр}} = M / w, \quad (9.8)$$

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:

$$M = (f \cdot l) / 10, \quad (9.9)$$

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:

$$w = (b \cdot h^2) / 6 = (0,3 \cdot 2,5^2) / 6 = 0,3 \text{ см}^3, \quad (9.10)$$

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

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

$$f = \sqrt{3} \cdot l / a \cdot i_y^2 \cdot 10^{-1} = \sqrt{3} \cdot 1 / 0,4 \cdot 1,87^2 \cdot 10^{-1} = 1,51 \text{ Н}, \quad (9.11)$$

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

					ДП 2025 141	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

i_y – ударний струм короткого замикання, кА;

Тоді,

$$M = (1,51 \cdot 1) / 10 = 0,151 \text{ Н};$$

$$\dot{g}_{\text{розр}} = 0,151 / 0,3 = 0,5 \text{ МПа.}$$

Отже, умова (9.7) виконується, оскільки:

$$49 \text{ МПа} > 0,5 \text{ МПа};$$

Перевіримо шини на термічну стійкість за умовою:

$$f_{\text{ш}} \geq f_{\text{мін}}, \quad (9.12)$$

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 (9.12) виконується, оскільки

$$f_{\text{ш}} = 75 \text{ мм}^2 > f_{\text{мін}} = 8,3 \text{ мм}^2.$$

9.3. Вибір і перевірка опорних ізоляторів

Опорні ізолятори вибираються за умовою

$$f_{\text{доп}} \geq f_{\text{розр}}, \quad (9.13)$$

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 (9.13) виконується, оскільки

$$f_{\text{доп}} = 15000 \text{ Н} > f_{\text{розр}} = 1,51 \text{ Н}.$$

					ДП 2025 141	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9.4. Вибір і перевірка високовольного вимикача на стороні низької напруги ГПП

Для захисту кабельної лінії напругою 10 кВ і ТП на стороні низької напруги ГПП вибираємо високовольний вимикач типу ВВ/TEL 10-12.5-630-044.

Вакуумні вимикачі серії TEL (ВВ/TEL) (рис. 9.2) являються комутаційними апаратами нового покоління. Випускають на номінальну напругу 10, 24 кВ, номінальний струм – 630, 800, 1000 А. Призначені для встановлення в комірках КРП. В основі принципу дії керування вимикачем покладено використання пофазних електромагнітних приводів з “магнітною заціпкою”, механічно зв’язаних спільним валом. Вимикач складається з трьох полюсів із вбудованими електромагнітними приводами, розташованих в спільній основі. Якір електромагнітів механічно зв’язаний із загальним валом, на якому встановлений постійний магніт, що керує при повороті валу загерметизованими контактами для зовнішніх допоміжних кіл. Контакти перемикаючогося типу для зовнішніх допоміжних кіл встановлені на двох монтажних платах, розташованих між полюсами вимикача.

Вибір високовольного вимикача наведений в табл. 9.1.

					ДП 2025 141	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови вибору високовольтного вимикача

Паспортні дані вимикача	Умова вибору	Розрахункова величина
$U_{\text{ім}}^{\text{АА}} = 12 \text{ кВ}$	$>$	$U_{\text{ім}}^{\text{іадо}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ім}} = 630 \text{ А}$	$>$	$I_{\text{іаен}} = 32,3 \text{ А}$
$I_{\text{ім.азае}} = 12,5 \text{ кА}$	$>$	$I_{0,0} = 0,96 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{ім.азае}} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 21,2 \text{ кА}$	$>$	$\sqrt{2} \cdot I_{0,0} \cdot \beta_a = \sqrt{2} \cdot 0,96 \cdot 0,35 = 0,46 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$>$	$i_{\text{уд}} = 1,87 \text{ кА}$
$I_{\tau}^2 \cdot \tau = 12,5^2 \cdot 3 = 469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$>$	$B_{\text{к}} = 0,562 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$



Рис. 9.2. Загальний вигляд високовольтного вимикача
BB/TEL 10-12.5-630-044

9.5. Вибір і перевірка вимикача навантаження та запобіжника

Трансформатори ТМ-400-10/0,4 на КТП з високої сторони комплектуємо вимикачем навантаження типу ВНП-17 і для захисту від струмів короткого замикання – запобіжником ПК-10/50.

Зробимо перевірку вибраних апаратів на дію до струмів КЗ.

Номінальні дані запобіжника	Умова вибору	Розрахункові дані для запобіжника
$U_i = 10 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{i\delta\delta} = 10 \text{ кВ}$
$I_i = 50 \text{ А}$	$\geq$	$I_{\delta} = 23,1 \text{ А}$
$I_{i\delta\delta} = 50 \text{ А}$	$\geq$	$I_{i\delta\delta} = 32,3 \text{ А}$

Оскільки, всі умови виконуються то запобіжник вибрано вірно.

Для комутації в колі високої напруги, для створення видимого розриву кола та відключення трансформатора, вибираємо вимикач навантаження типу ВНП-17 технічні дані якого наступні:

Номінальні дані	Умова вибору	Розрахункові дані
$U_i = 10 \text{ кВ}$	$\geq$	$U_{i\delta\delta} = 10 \text{ кВ}$
$I_i = 400 \text{ А}$	$\geq$	$I_{i\delta\delta} = 32,3 \text{ А}$
$i_{\delta\delta} = 25 \text{ кА}$	$\geq$	$i_{\delta\delta} = 1,87 \text{ кА}$
$S_{\delta\delta} = 200 \text{ кВА}$	$\geq$	$S_{\delta\delta} = 16,63 \text{ кВА}$

Вимикачі навантаження ВН-16, ВНП-16, ВНП-17 відносяться до автогазових вимикачів. Їх використовують в установках невеликої потужності, замість дорогих вакуумних вимикачів. Вимикачі навантаження ВН-16 виготовлені на базі триполюсних розмикачів РВ-10/400 та призначені для внутрішньої установки. Так само, як і роз'єднувачі, вони забезпечують видимий розрив кола. Проте, роз'єднувачі не можуть вимикати струми навантаження, і цим вони відрізняються від вимикачів навантаження.

Вимикачі типу ВН на 10 кВ забезпечують комутування струму холостого ходу та номінального струму навантаження силових трансформаторів потужністю від 160 до 1600 кВА. Гасіння електричної дуги, що виникає між контактами

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

вимикача при відключенні струму навантаження, здійснюється в дугогасній камері, що має вкладиші з органічного скла. Під дією високої температури електричної дуги органічне скло горить, виділяючи при цьому велику кількість газу який має хорошу дугогасну здатність (за складом виділений газ містить 60...70% водню). При виділенні газу в дугогасній камері значно підвищується тиск, який створює поздовжнє дуття газу, під дією якого з дугогасної камери видувається іонізований газ і призводить до згасання дуги та розриву кола.

Дугогасні камери виконують із термостійкої пластмаси. Вони мають дугоподібну форму, тому рухомі дугогасні контакти легко входять у камери. При включенні вимикача спочатку замикаються дугогасні контакти, потім – головні контакти. Процес вимкнення проходить навпаки – спочатку розмикаються головні, а потім дугогасні контакти. У вимкненому положенні рухомий дугоподібний контакт утворює видимий розрив з дугогасною камерою.

Якщо до вимикача навантаження ВН підключити силові високовольтні запобіжники типу ПК, то використовувати такий вимикач можна значно ширше. Вимикач навантаження, конструктивно доповнений трьома запобіжниками, утворює апарат типу ВНП. Його функціональні властивості при цьому розширюються: він здатний відключати струми перенавантаження та струми короткого замикання в силових колах. При цьому комутування робочих струмів здійснюється за допомогою вимикача, а відключення струмів короткого замикання – плавкою вставкою запобіжників ПК.

Вимикач ВНП–17 являє собою конструктивний варіант вимикача ВНП–16 і відрізняється від нього тим, що має механізм автоматичного відключення при спрацюванні запобіжників.

Для виконання заземлення установки при відключеннях, вимикачі навантаження можуть бути обладнані ножами заземлення, що приварюються до окремого валу. У такому виконанні вимикачі навантаження позначаються ВНПз–16 або ВНПз–17. Ножі заземлення встановлюються зверху або знизу вимикача навантаження. Вали ножів заземлення і вимикача зв'язані блокуванням, завдяки якому не можна включити ножі заземлення при включеному вимикачі. Операції із

					ДП 2025 141	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заземлюючими ножами можна виконувати тільки при цілком відключеному вимикачі навантаження.

Керування ножами заземлення здійснюється окремими ручними приводами ПР-1 або ПР-2, а керування вимикачем навантаження – приводами ПР-17 або приводами ПРА-12 чи ПРА-17 з дистанційним (автоматичним) відключенням (обладнані електромагнітами відключення).

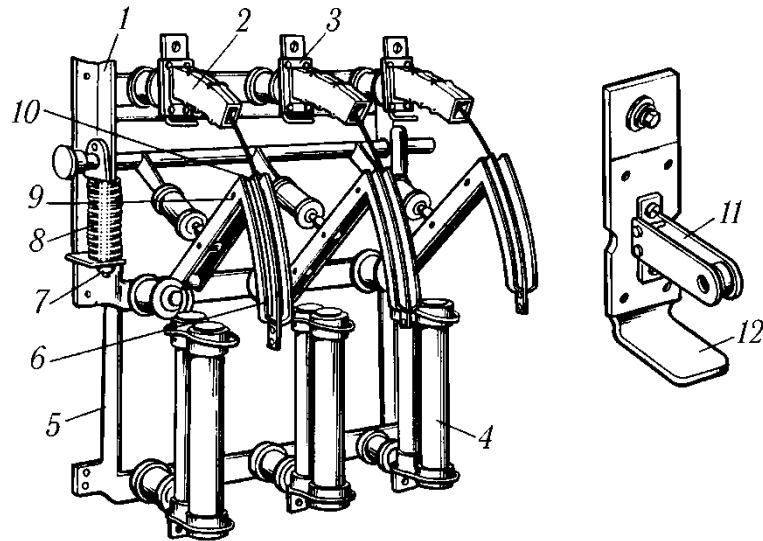


Рис. 9.3. Вимикач навантаження типу ВНП-17 із запобіжниками ПК-10:
 а – загальний вигляд; б – вузол нерухомого контакту; 1, 5 – рами вимикача та запобіжників; 2 – дугогасильна камера; 3 – нерухомий контакт;
 4 – високовольтний запобіжник; 6 – скоби кріплення дугогасильного ножа;
 7 – буферні гумові шайби; 8 – пружина відключення; 9 – ніж рухомого контакту; 10 – дугогасний ніж; 11 – півсферичний наконечник; 12 – стійка основного контакту

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 $0,6 \cdot U_{\text{ном}}$.

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	10. Релейний захист та автоматика		
Розроб.		Щербак М.П.					
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.			Літ. Арк. Аркуші		
					76		
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулового ЕЛ-4-3		

- 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.

Основним захистом системи електроспоживання цеху з виробництва морозива є автоматичні вимикачі.

					ДП 2025 141	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10.1. Релейний захист трансформатора

Основними видами пошкодження у трансформаторі є: замикання між фазами всередині кожуха трансформатора та на зовнішніх висновках обмоток; замикання в обмотках між витками однієї фази (виткові замикання); замикання на землю обмоток або їх зовнішніх виводів, пошкодження магнітопроводу трансформатора, що призводять до появи місцевого нагріву та пожежі сталі.

Для трансформаторів з вищою напругою 10 кВ повинні бути передбачені пристрої релейного захисту від наступних видів пошкоджень та ненормальних режимів роботи:

1) міжфазних коротких замикань в обмотках та на виводах (струмова відсікання без витримки часу);

2) струмів в обмотках, обумовлених зовнішніми КЗ (максимальний струмовий захист);

3) струмів в обмотках, обумовлених перевантаженням (максимальний струмовий захист від навантаження).

Максимальний захист трансформатора та струмова відсічка виконано із застосуванням пристрою мікропроцесорного захисту «SEPAM T-20».

SEPAM серії 20 є терміналом для використання в простих захистах одного приєднання, заснованих на вимірюванні струмів або напруг. Наприклад: захист повітряних ліній із вбудованим АПВ; захист вводів та фідерів підстанції від міжфазних КЗ та замикань на землю; захист трансформаторів 10 кВ малої потужності від перевантажень (у тому числі тепловий захист з урахуванням температури навколишнього середовища та двома групами уставок для різних режимів обдування); захист двигунів від внутрішніх пошкоджень та пошкоджень, що залежать від навантаження з контролем режиму пуску, включаючи захист від перевантажень (у тому числі термічний захист з урахуванням температури навколишнього середовища та кривої холодного стану, яку можна відрегулювати відповідно до характеристик двигуна).

					ДП 2025 141	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цифрових терміналів SEPAM уставки розраховуються та задаються у первинних величинах або у відсотках від номінальних значень.

Максимальний струмовий захист трансформатора встановлюється з боку введів 10 кВ і одночасно є захистом вводу робочого живлення 0,4 кВ. На реакційних лініях 10 кВ МСЗ є єдиним захистом від міжфазних КЗ, оскільки при захисті цих ліній швидкодіючі захисти не застосовуються. МСЗ виконує функцію резервного захисту струмових захистів трансформатора при їх відмові або виведенні з дії. Вибір уставок спрацьовування МСЗ здійснюється за умови неспрацьовування захисту при самозапуску електродвигунів. Причому значення струмів самозапуску можуть значно перевищувати номінальні значення струмів трансформатора. При використанні як захисту цифрових терміналів SEPAM захист виконується із застосуванням трансформаторів струму у трьох фазах.

Захист повинен бути відбудований від максимально можливого струму навантаження, з урахуванням струмів самозапуску електродвигунів:

$$I_{\text{іаа.іаеñ}}^{\text{max}} = \frac{S_{\text{іаа.іаеñ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{м.Аі}}}; \quad (10.1)$$

$$I_{\text{н.с.}} = \frac{k_{\text{і}} \cdot k_{\text{нсі}}}{k_{\text{а}}} \cdot I_{\text{іаа.іаеñ}}, \quad (10.2)$$

де $k_{\text{сп}}$ – коефіцієнт самозапуску електродвигунів, приймається равним 1,3÷1,5;

$I_{\text{наг.макс.}}$ – максимальний струм навантаження, А.

Для цифрових терміналів SEPAM значення $k_{\text{н}}$ приймають рівним 1,1, а $k_{\text{в}}$ приймають 0,935. Максимальне навантаження приймаємо рівним сумарному розрахунковому навантаженню цеху з урахуванням компенсації реактивної потужності, тобто $\Sigma S_{\text{розр}} = 460 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

$$I_{\text{іаа.Аі}}^{\text{max}} = \frac{460}{\sqrt{3} \cdot 10} = 26,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{н.с.}} = \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 26,6 = 40,6 \text{ А}.$$

Чутливість МСЗ перевіряється за коефіцієнтом чутливості зі сторони 0,4 кВ:

$$k_{\text{с}} = \frac{I_{\text{іі}}^{(2)}}{I_{\text{н.с.}}} \geq 1,5, \quad (10.3)$$

					ДП 2025 141	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{\text{н}}^{(2)}$ – струм двофазного КЗ на виводах трансформатора зі сторони 0,4 кВ.

$$k_{\div} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right) \cdot 10^3}{40,6} = 5,97.$$

Захист чутливий.

Час спрацювання МСЗ визначимо за формулою:

$$t_{\text{інс}} = t_{\text{сп.попер.}} + \Delta t, \quad (10.4)$$

де $t_{\text{сп.попер.}}$ – час спрацювання попереднього захисту, с, у нашому випадку автоматичний вимикач встановлений на стороні 0,4 кВ. За рекомендаціями на термінали SEPAM застосовується тимчасова ступінь селективності $\Delta t = 0,3$ с.

$$t_{\text{інс}} = 0,03 + 0,3 = 0,33 \text{ с.}$$

Витримка часу МСЗ трансформатора приймається $t_{\text{н.а.}} = 0,33$ с.

Розрахунок захисту від симетричних навантажень.

Захист від симетричних перевантажень на стороні 10 кВ призначений для виявлення режиму симетричних перевантажень трансформатора, що захищається. Захист від симетричних навантажень діє на сигнал. Цей захист, як правило, виконується за допомогою одного з ступенів МСЗ SEPAM. Захист від симетричних навантажень не встановлюється на реакційних лініях напругою 10,5 кВ. Струм спрацьовування захисту від навантаження визначається з виразу:

$$I_{\text{нсі}} = \frac{k_{\text{інс}}}{k_{\text{а}}} \cdot I_{\text{н.а.}}; \quad (10.5)$$

$$I_{\text{нсі}} = \frac{1,1}{0,935} \cdot 23,1 = 27,2 \text{ А.}$$

Час спрацювання захисту від симетричних перевантажень має перевищувати час спрацювання основних захистів трансформатора.

$$t_{\text{іад}} = t_{\text{інс}} + \Delta t;$$

$t_{\text{іад}} = 0,33 + 0,3 = 0,63$ с. Оскільки, захист від перевантаження діє на сигнал, то перевіряти чутливість нема необхідності. Витримка часу приймається $t_{\text{н.а.}} = 0,63$.

					ДП 2025 141	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10.2. Перевірка спрацювання автоматичних вимикачів до струмів короткого замикання

Автоматичні вимикачі перевіряють за двох умов:

1. Надійність спрацювання:

$$I_k^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р}, \quad (10.6)$$

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:

$$I_{відкл} > \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)} \cdot K_c, \quad (10.7)$$

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 цеху, що зображена на рис. 8.2 кваліфікаційної роботи.

Автоматичний вимикач SF1

Для вимикача SF1 ВА 51-39 (приєднання КТП-ШНН2):

$I_{н.р} = 630$ А; $I_{відкл} = 35$ кА.

Умова (10.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ А} = 1,89 \text{ кА};$$

$$I_{к1}^{(1)} = 2,95 \text{ кА (табл. 8.1).}$$

Оскільки, $2,95 \text{ кА} \geq 1,89 \text{ кА}$ то умова виконується.

Умова (10.7)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 8,14 \cdot 1,4 = 16,1 \text{ кА.}$$

Оскільки, $35 \text{ кА} > 16,1 \text{ кА}$ то умова виконується.

Автоматичні вимикачі SF2 та SF3

Для вимикача SF2 ВА 51-35 (ШНН2-СП-1):

					ДП 2025 141	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{н.р} = 100 \text{ А}; I_{відкл} = 15 \text{ кА}.$$

Умова (10.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 100 = 300 \text{ А} = 0,3 \text{ кА}; I_{к2}^{(1)} = 0,99 \text{ кА (табл. 8.1)}.$$

Оскільки, $0,99 \text{ кА} > 0,3 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова (10.7)

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

Оскільки, $15 \text{ кА} > 4 \text{ кА}$, то умова виконується.

Автоматичний вимикач SF4

Для вимикача SF4 ВА 51-31 (СП-1-ЕП8):

$$I_{н.р} = 80 \text{ А}; I_{відкл} = 7 \text{ кА}.$$

Умова (10.6)

$$3 \cdot I_{н.р} = 3 \cdot 80 = 240 \text{ А} = 0,24 \text{ кА}; I_{к3}^{(1)} = 0,88 \text{ кА (табл. 8.1)}.$$

Оскільки, $0,88 \text{ кА} > 0,24 \text{ кА}$, то умова виконується.

Умова (10.7)

$$\sqrt{2} \cdot I_{к3}^{(3)} \cdot K_c = 1,41 \cdot 1,73 \cdot 1,4 = 3,4 \text{ кА}.$$

Оскільки, $7 \text{ кА} > 3,4 \text{ кА}$, то умова виконується.

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

					ДП 2025 141	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ОБЛІК ТА ВИМІРЮВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

11.1. Обґрунтування систем комерційного та технічного обліку і контролю електроспоживання

Розміщення приладів обліку електроенергії повинна здійснюватися відповідно до вимог ПУЕ.

На промислових підприємствах здійснюється розрахунковий облік активної електроенергії отриманої від енергопостачальної організації для фінансових розрахунків за неї і технічний облік для контролю за її використанням всередині підприємства.

Лічильники для розрахунку споживача електроенергії з електропостачальною організацією рекомендується встановлювати на межі розподілу по балансовій належності мережі електропостачальної організації і споживача.

Розрахункові лічильники активної електроенергії на підстанції, що належить споживачеві, повинні встановлюватися:

1. На вводі (приймальному кінці) лінії електропередачі в підстанції споживача при відсутності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми чи іншого споживача на живлячій напрузі.

2. На стороні вищої напруги трансформаторів підстанції споживача при наявності електричного зв'язку з іншою підстанцією енергосистеми при наявності іншого споживача на живлячій напрузі.

3. Допускається встановлення лічильників на стороні нижчої напруги трансформаторів у випадках, коли трансформатори струму, вибрані за струмом КЗ чи по характеристиках диференційного захисту шин, не забезпечують потрібної точності обліку електроенергії, а також коли у вмонтованих трансформаторах струму відсутня обмотка класу точності 0,5.

					ДП 2025 141				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	11. Облік та вимірювання режимних параметрів системи електроспоживання	Лім.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		Щербак М.П.							
Перевір.		Шпак В.В.					83		
Реценз.		Якимчук М.В.				ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			
Н. Контр.									
Затверд.		Балюта С.М.							

4. У випадку, коли встановлення додаткових комплектів трансформаторів струму зі сторони низької напруги силових трансформаторів для вмикання розрахункових лічильників неможливе (КРУ, КРУН) допускається організація обліку на лініях, що відходять 6 - 10 кВ.

5. Для підприємства, що розраховується з електропостачальною організацією по максимуму заявленої потужності, слід передбачити встановлення лічильника з показником максимуму навантаження при наявності одного пункту обліку, при наявності двох чи більше пунктів обліку – застосування автоматизованої системи обліку електроенергії.

6. На стороні середньої і низької напруги силових трансформаторів, якщо на стороні високої напруги застосування вимірювальних трансформаторів на потрібне для інших цілей.

7. На трансформаторах ВП, якщо електроенергія, що відпущена на власні потреби, не враховується іншими лічильниками; при цьому лічильники рекомендується встановлювати зі сторони низької напруги.

8. На межі розподілу основного споживача і стороннього споживача (субабонента), якщо від лінії чи трансформаторів споживачів живиться ще сторонній споживач, що знаходиться на самостійному балансі.

Для споживачів кожної тарифікаційної групи слід встановлювати окремі розрахункові лічильники.

Лічильники реактивної енергії повинні встановлюватися:

1. На тих елементах схеми, на яких встановлені лічильники активної енергії для споживачів, що розраховуються за електроенергію з врахуванням дозволеної для використання реактивної потужності.

2. На приєднаннях джерел реактивної потужності споживачів, якщо по них здійснюється розрахунок за електроенергію, видану в мережу енергосистеми, чи здійснюється контроль заданого режиму роботи.

Якщо зі сторони підприємства зі згоди енергосистеми здійснюється видача реактивної електроенергії в мережу енергосистеми, необхідно встановлювати два лічильники реактивної електроенергії зі стопорами в тих елементах схеми, де

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

встановлений розрахунковий лічильник активної електроенергії. У всіх інших випадках повинен встановлюватися один лічильник реактивної електроенергії зі стопором.

Для підприємства, що розраховується з енергопостачальною організацією по максимуму дозволеної реактивної потужності, слід передбачати встановлення лічильника з показником максимуму навантаження, при наявності двох чи більше пунктів обліку – застосування автоматизованої системи обліку електроенергії.

Установка стаціонарних лічильників або застосування інвентарних переносних лічильників технічного обліку повинна здійснюватися таким чином, щоб забезпечувалася можливість враховувати спожиту електроенергію по структурних підрозділах підприємств, енергоємних електроустановок, забезпечувалася можливість складання балансів електроенергії по підприємству і в окремих вузлах і можливість визначення втрат електроенергії за елементами електричної мережі і енергоємними електроустановками, для визначення витрати електроенергії на одиницю продукції чи напівфабрикату.

Допускається встановлення лічильників технічного обліку на вводі підприємства, якщо розрахунковий облік з цим підприємством ведеться за лічильниками, що встановлені на підстанціях чи електростанціях енергосистем.

На встановлення і зняття лічильників технічного обліку на підприємствах дозвіл енергопостачальної організації не потрібний.

Прилади технічного обліку на підприємствах (лічильники і вимірювальні трансформатори) повинні перебувати у віданні самих споживачів.

Клас точності трансформаторів струму і напруги для приєднання розрахункових лічильників електроенергії повинен бути не більше 0,5. Допускається використання трансформаторів напруги класу точності 1,0 для вмикання розрахункових лічильників класу точності 2,0.

Для приєднання лічильників технічного обліку допускається використання трансформаторів струму класу точності 1,0, а також вмонтованих трансформаторів струму класу точності нижче 1,0, якщо для отримання класу

					ДП 2025 141	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точності 1,0 потрібне встановлення додаткових комплектів трансформаторів струму.

Трансформатори напруги, що використовуються для приєднання лічильників технічного обліку, можуть мати клас точності нижче 1,0.

Допускається застосування трансформаторів струму з завищеним коефіцієнтом трансформації (за умовами електродинамічної і термічної стійкості чи захисту шин), якщо при максимальному навантаженні приєднання струму у вторинній обмотці трансформатора струму буде складати не менше 40% номінального струму лічильника, а при мінімальному робочому навантаженні – не менше 5%.

Приєднання струмових обмоток лічильників до вторинних обмоток трансформаторів струму слід проводити, як правило, окремо від кіл захисту і спільно з електровимірювальними приладами.

Допускається здійснювати спільне приєднання струмових кіл, якщо роздільне їх приєднання потребує встановлення додаткових трансформаторів струму, а спільне приєднання не приводить до зниження класу точності і надійності кіл трансформаторів струму, що служать для обліку, і забезпечує необхідні характеристики пристроїв релейного захисту.

Використання проміжних трансформаторів струму для вмикання розрахункових лічильників забороняється.

Навантаження вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів, до яких приєднуються лічильники, не повинне перевищувати номінальних значень.

Переріз і довжина проводів і кабелів в колах напруги розрахункових лічильників повинні вибиратися такими, щоб втрати напруги в цих колах складала не більше 0,25 % номінальної напруги при живленні від трансформаторів напруги класу точності 1,0. Для забезпечення цієї вимоги допускається застосування окремих кабелів від трансформаторів напруги до лічильників.

Втрати напруги від трансформаторів напруги до лічильників технічного обліку повинні складати не більше 1,5% від номінальної напруги.

					ДП 2025 141	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живлення кіл лічильників можуть застосовуватися як однофазні, так і трифазні трансформатори напруги, в тому числі чотири- і п'ятистержневі, що застосовуються для контролю ізоляції.

Лічильники повинні встановлюватися в шафах, камерах комплектних розподільчих пристроїв (КРУ, КРУН), на панелях, щитах, в нішах, на стінах, що мають тверду конструкцію.

Допускається кріплення лічильників на дерев'яних, пластмасових або металічних щитках.

Висота від підлоги до коробки затискачів лічильників повинна бути в межах 0,8-1,7 м. Допускається висота менша 0,8 м, але не менше 0,4 м.

11.2. Лічильники електричної енергії

Для обліку електроенергії використовують різні лічильники, що відрізняються за принципом роботи, призначенням й способами включення. Це індукційні й статичні пристрої, які дозволяють здійснювати облік активної й реактивно електроенергії щодо однофазних або трифазних споживачів при безпосередньому або трансформаторному включенні.

В якості лічильників для комерційного обліку електроенергії вибираємо лічильники типу СЕ304 концерну «Енергоміра».

Лічильник СЕ304 (рис. 11.1) є трифазним універсальним приладом трансформаторного або безпосереднього включення (залежно від варіанта виконання) і призначений для виміру активної й реактивної електричної енергії, активної, реактивної й повної потужності, енергії втрат, частоти напруги, кута зсуву фаз, середньоквадратичного значення напруги й сили струму, коефіцієнтів перекручування синусоїдальності кривих напруги, коефіцієнтів n -х гармонійних складових напруги, коефіцієнта несиметрії напруг по зворотній послідовності, коефіцієнта несиметрії напруг по нульовій послідовності по трьох фазах в трифазних чотирипровідних колах змінного струму та організації багатотарифного обліку електроенергії. Вид вимірюваної енергії й потужності визначається конфігурацією лічильника.

					ДП 2025 141	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

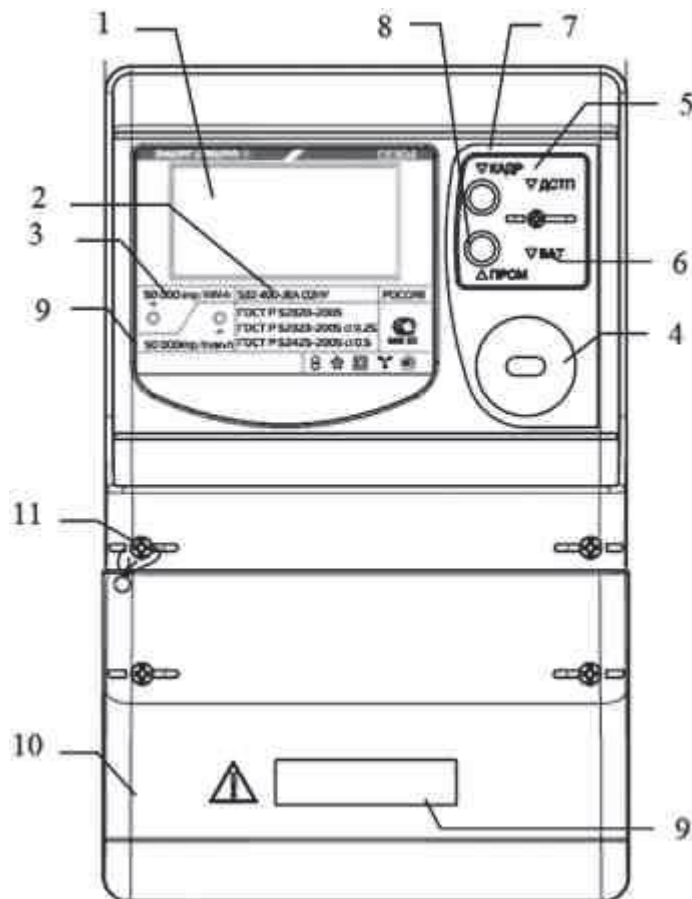


Рис. 11.1. Загальний вигляд лічильників CE304:

1 – РКІ; 2 – світловий індикатор кількості реактивної енергії;
 3 – світловий індикатор кількості активної енергії; 4 – елементи
 оптичного порту (IrDA 1.0); 5 – кнопка ДСТП; 6 – літієва батарея; 7 –
 кнопка КАДР; 8 – кнопка ПРСМ; 9 – панель із написами; 10 – кришка
 затискної колодки; 11 – місце пломбування

Лічильник може використатися в автоматизованих інформаційно-вимірювальних системах комерційного обліку електроенергії (АІВС КОЕ) для передачі обмірюваних або обчислених параметрів на диспетчерський пункт по контролю, обліку й розподілу електричної енергії. Для побудови систем АІВС КОЕ можуть використатися відповідні інтерфейси.

Результати вимірів виходять шляхом обробки й обчислення вхідних сигналів струму й напруги мікропроцесорною схемою основної плати лічильника. Установка додаткових плат, залежно від модифікації, дозволяє розширити

можливості лічильника. Обмірювані дані й інша інформація відображаються на рідкокристалічному індикаторі (РКІ).

Функціональні можливості

Лічильник дозволяє вимірювати 12 типів енергій (потужностей) роздільно по кожній фазі:

- активну енергію (потужність) обох напрямків (A_i , A_e);
- реактивну енергію (потужність) по чотирьох квадрантах (R1–R4);
- енергію (потужність) втрат обох напрямків (L_i , L_e);
- значення фізичних величин зовнішніх вимірників по чотирьох імпульсних входах (I_1 – I_4).

Лічильник вимірює й розраховує енергії (потужності) по шести каналах обчислення. Тип енергії (потужності) кожного каналу обчислення визначається конфігурацією каналу.

Енергія (потужність) каналу обчислення є сумою кількості (величини) енергії (потужності) всіх типів енергій (потужностей) певних конфігурацією каналу обчислення.

Нагромадження енергії по тарифах і сумарно (наростаючим підсумком, за місяць, за добу), фіксація максимальних потужностей, визначення перевищення ліміту потужності, запис профілів навантаження здійснюється по всім шести каналах обчислення.

Основні технічні характеристики наведені в табл. 11.1.

Устрій і робота лічильника. Конструкція лічильника

Лічильник виконаний у пластмасовому корпусі. Корпус лічильника в цілому складається з верхніх і нижньої частин, що сполучають по периметру, прозорого вікна й знімної кришки затискної колодки. На лицьовій панелі лічильника розташовані:

- рідкокристалічному індикатор;
- два світлових індикатори кількості активної й реактивної енергії;
- елементи оптичного порту;
- літієва батарея й кнопка ДСТП (під додатковою кришкою);

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

- кнопки КАДР і ПРСМ;
- панель із написами.

Таблиця 11.1

Технічні характеристики лічильника СЕ304

Найменування характеристики	Значення характеристики		Примітка
1	2		3
Номінальні (максимальні) струми	1 (1,5); 5 (7,5) А		Залежно від модифікації
Базові (максимальні) струми	5 (50); 10 (100) А		
Номінальна фазна напруга	57,7; 220 В		
Номінальна частота мережі	50 ± 2,5 Гц		
Коефіцієнт несинусоїдальності напруги й струми вимірювальної мережі, %, не більше	8		
Поріг чутливості	Безпосеред- не включення	Трансформа- торне включення	Активна/реактивна енергія
	-0,001I _{ном}		0,2S; 0,5S/0,5
	0,004I _б ; 0,002I _{ном}		1/1
	0,005I _б ; 0,003I _{ном}		2/2
Повна потужність, споживана кожним ланцюгом струму, не більше	0,1 В·А		При номінальному (базовому) струмі
Повна (активна) потужність, споживана кожним ланцюгом напруги, не більше	4,0 В·А (2,0 Вт)		При номінальних напругах 57,7 В
	8,0 В·А (2,0 Вт)		220 В
Межа основної абсолютної похибки ходу годинника	± 0,5 с/доба		
Додаткова похибка ходу годинника при нормальній температурі й при відключеному живленні	±1 с /доба		
Ручна корекція ходу годинника, один раз у добу	± 29 с		Не більше 29 с на добу
Межа додаткової температурної похибки за часом	± 0,15 с /°С на добу		Від мінус 10 до 45 °С
	±0,2 с /°С на добу		Від мінус 40 до 60 °С
Тривалість зберігання інформації при відключенні живленні	30 років		
Кількість тарифів	до 4		
Кількість тарифних зон	до 15		У добі
Кількість сезонів	до 12		
Кількість виняткових днів	до 32		
Кількість графіків тарифікації	до 36		Добові розклади перемикачів тарифів
Глибина зберігання каналів обліку накопичених по тарифах за місяць	до 13 місяців		
Глибина зберігання каналів обліку накопичених по тарифах за добу	до 46 діб		

1	2	3
Кількість профілів навантаження	до 16	Індивідуальний час усереднення для кожного
Глибина зберігання кожного профілю	до 330 діб	При часі усереднення 30 хв
Кількість реле керування навантаженням	до 2	Імпульсні виходи ТМ5 і ТМ6
Напруга резервного джерела живлення постійного струму	від 9 до 15 В	Навантажувальна здатність не менш 500 мА
Номінальна (припустима) напруга електричних імпульсних виходів, не більше	10 (24) В	Напруга постійного струму
Номінальне (припустиме) значення струму електричних імпульсних виходів, не більше	10 (30) мА	Напруга постійного струму
Номінальне (припустиме) значення струму електричних імпульсних виходів, не більше	10 (30) мА	Напруга постійного струму
Номінальна (припустима) комутована напруга на контактах реле керування навантаженням, не більше	220 В (265 В)	Напруга змінного струму
Номінальне значення струму, що комутується, на контактах реле керування навантаженням, не більше	1 А	Напруга змінного струму
Тривалість вихідних імпульсів	від 1 до 120 мс або меандр	Задається при програмуванні
Тривалість вхідних імпульсів (мінімальна)	від 1 до 255 мс	
Максимальна ємність кожного рахункового механізму імпульсних входів	99 999 999 імп.	
Швидкість обміну по інтерфейсах	від 300 до 115 200 Бод	
Швидкість обміну через оптичний порт	від 300 до 57 600 Бод	
Час інтервалу усереднення (період усереднення вибирається користувачем з ряду)	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 15; 20 30, 60 хв.	
Час відновлення всіх показань лічильника	1 с	
Час читання будь-якого параметра лічильника по інтерфейсі або оптичному порту	від 0,06 до 1000 с (при швидкості 9600 Бод)	Залежить від типу параметра
Початковий запуск, не більше	5 с	З моменту подачі напруги
Маса лічильника, не більше	2,0 кг	

1	2	3
Габаритні розміри (довжина; ширина; висота), не більше	278; 173; 90 мм	
Середній наробіток до відмови	120 000 год.	
Середній термін служби	30 років	
Захист від несанкціонованого доступу	Пароль лічильника Апаратне блокування	

Щоб одержати доступ до кнопки ДСТП (дозвіл програмування), необхідно видалити пломбу енергопостачальної організації, що встановила лічильник і відкрити додаткову кришку.

Затиски для приєднання лічильника до мережі, до джерела резервного живлення, до інтерфейсних ліній, до імпульсних входів і виходів, закриваються пластмасовою кришкою (рис. 11.1).

У корпусі розташовуються:

- плата лічильника (основна плата лічильника);
- модуль живлення;
- модуль імпульсних виходів;
- модуль імпульсних входів (при наявності, залежно від модифікації);
- один або два інтерфейсних модулі (залежно від модифікації);
- три вимірювальних трансформатори струму.

На рис. 11.2 наведене маркування колодки затискачів лічильників трансформаторного включення.

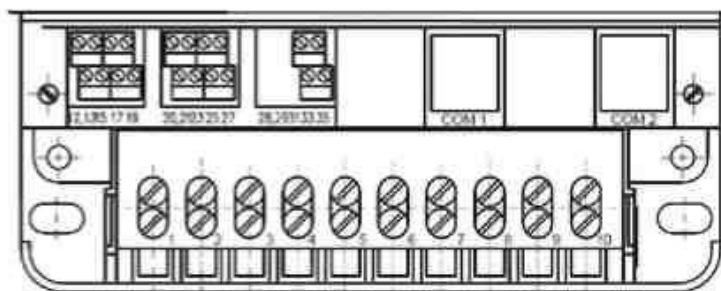


Рис. 11.2. Зображення колодки затискачів лічильників трансформаторного включення

На рис. 11.3 зображена схема підключення лічильника трансформаторного включення СЕ304.

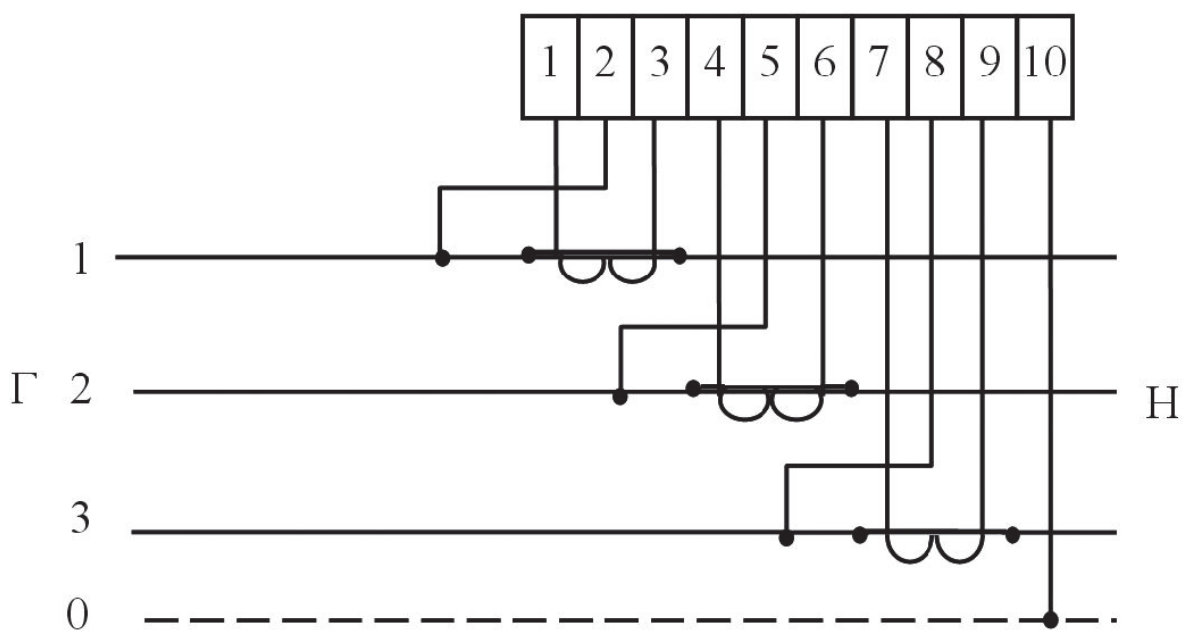


Рис. 11.3. Схема підключення лічильника трансформаторного включення СЕ304

12. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЦЕХУ

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. До таких приймачів відносяться: вентильні перетворювачі, установки

					ДП 2025 141		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щербак М.П.			12. Якість електроенергії в системі електроспоживання цеху		
Перевір.		Шпак В.В.					
Реценз.		Якимчук М.В.					
Н. Контр.							
Затверд.		Балюта С.М.					
					Літ.	Арк.	Аркуші
						94	
					ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3		

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 вентильних 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 припустимих 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 засобами живильної мережі або застосуванням відповідного додаткового

					ДП 2025 141	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

В якості приладу для контролю показників якості електричної енергії вибираємо прилад Fluke 1773.

Вимірювач показників якості електричної енергії «Fluke 1773» призначений для вимірювання характеристик напруги, включаючи основні показники якості електричної енергії (ПKE), а також характеристик струму, потужності та енергії

					ДП 2025 141	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінного трифазного та однофазного струму, при роботі як в автономному режимі, так і у складі інформаційно-вимірювальних систем.

Область застосування: вимірювання показників якості, організація обліку кількості електроенергії на підприємствах промисловості та в енергосистемах, обстеження електромереж підприємств (енергоаудит), облік потоків потужності в енергосистемах, міжсистемних перетікань, вироблення та використання електроенергії.

Загальний вигляд приладу наведено на рис. 12.1.



Рис. 12.1. Загальний вигляд приладу Fluke 1773

Вимірювані характеристики

- показники якості електроенергії:
 - відхилення напруги, що встановилося;
 - відхилення частоти;
 - коефіцієнти несиметрії за нульовою та зворотною послідовністю;
 - коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги;
 - коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги;
 - тривалість та глибина провалу;

- тривалість та коефіцієнт тимчасового перенапруги;
- короткочасна та тривала дози флікера;
- чинне значення напруги симетричних складових;
- параметри струму:
 - чинне значення фазного струму;
 - чинне значення струму симетричних складових;
 - коефіцієнт спотворення синусоїдальності струму;
 - коефіцієнт n-ої гармонійної складової струму;
- кут фазового зсуву між струмом та напругою:
 - основний частоти;
 - n-х гармонійних складових;
 - симетричних складових;
- потужність, енергія:
 - активна прямого та зворотного напрямку;
 - реактивна індуктивного та ємнісного характеру;
 - повна.

12.2. Розрахунок втрат напруги на ділянці мережі цеху

Обчислимо втрати напруги на затискачах найбільш потужного і електрично віддаленого споживача електричної енергії цеху (див. рис. 8.2 кваліфікаційної роботи).

Наведений фрагмент електричної мережі складається з двох основних ділянок, це ШНН2-СП-1 і СП-1-ЕП8 (пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ).

Втрати напруги на цих ділянках знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + \tilde{x}_0 \cdot \sin \varphi), \text{ В}, \quad (12.1)$$

де I_p – розрахунковий струм лінії живлення;

l – довжина лінії;

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

Ділянка ШНН2-СП-1

					ДП 2025 141	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$I_p = 77,5$ А (див. табл. 2.1 кваліфікаційної роботи); $l = 97$ м (згідно плану цеху); для кабелю марки АВВГ_{НГ-LS} 4х50 активний і реактивний опір $r_0 = 0,625$ Ом/км, $x_0 = 0,0625$ Ом/км; $\cos\varphi$, $\sin\varphi$ знаходимо за $\tan\varphi$:

$$\tan\varphi = \frac{\sum Q_{\tilde{m}}}{\sum P_{\tilde{m}}} = \frac{27,62}{36,83} = 0,75.$$

Відповідно $\varphi = 37^\circ$; $\cos\varphi = 0,8$; $\sin\varphi = 0,6$.

Тоді, за (12.1) отримаємо

$$\Delta U_{\text{off } 2-\tilde{N} \tilde{I} -1} = \sqrt{3} \cdot 77,5 \cdot 0,097 \cdot (0,625 \cdot 0,8 + 0,0625 \cdot 0,6) = 7 \text{ В},$$

Ділянка СП-1-ЕП8 (пластинчата пастеризаційно-охолоджувальна установка А1-ОКЛ)

$I_{\text{III} \tilde{O} \tilde{m}} = 66,5$ А; $l = 16$ м (згідно плану цеху); для проводу марки АПВ4 (1х35) активний і реактивний опір $r_0 = 0,894$ Ом/км, $x_0 = 0,0637$ Ом/км; $\cos\varphi = 0,8$; $\sin\varphi = 0,6$.

$$\Delta U_{\tilde{N} \tilde{I} -1-\tilde{A} \tilde{I} 8} = \sqrt{3} \cdot 66,5 \cdot 0,016 \cdot (0,894 \cdot 0,8 + 0,0637 \cdot 0,6) = 1,4 \text{ В}.$$

Сумарні втрати напруги на ділянці складуть

$$\Delta U = \Delta U_{\text{off } 2-\tilde{N} \tilde{I} -1} + \Delta U_{\tilde{N} \tilde{I} -1-\tilde{A} \tilde{I} 8} = 7 + 1,4 = 8,4 \text{ В}.$$

Або

$$\frac{\Delta U}{U_i} \cdot 100\% = \frac{8,4}{380} \cdot 100 = 2,2 \% , \text{ що не перевищує } 5 \% .$$

					ДП 2025 141	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. ОХОРОНА ПРАЦІ

13.1. Фактори, які визначають небезпеку ураження людини електричним струмом

Індивідуальні особливості людей значною мірою визначають наслідок ураження. Струм, який викликає лише слабкі відчуття в однієї людини, може бути таким, що не відпускає, для іншої. Характер дії при одному і тому ж значенні струму залежить від стану нервової системи й всього організму загалом. Важливим фактором, що визначає ступінь дії електричного струму на людину, є також її вага та фізичний розвиток.

Для жінок порогове значення струму в 1,5 рази нижче ніж для чоловіків. Це пояснюється слабшим фізичним розвитком жінок.

Тривалість дії струму на органам людини – один із основних факторів. Чим вона менша, тим слабші наслідки (менша небезпека).

Якщо струм такий, що не відпускає, але ще не порушує дихання і роботу серця, швидке вимкнення його рятує потерпілого. При довгій дії струму опір людини зменшується і струм збільшується до значень, що можуть викликати параліч дихання і навіть фібриляцію серця.

Зупинка дихання настає не миттєво, а через декілька секунд. Причому час зменшується зі збільшенням струму, що протікає через органи людини. Ймовірність настання фібриляції, а також параліч серця теж залежить від тривалості дії струму. Нормально серце скорочується від 60 до 80 разів на хвилину, тобто тривалість циклу скорочення-розширення дорівнює приблизно 1 с. У кожному циклі протягом часу 0,15-0,2 с м'язи серця розслаблені й тоді серце найчутливіше до дії електричного струму.

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Щербак М.П.			13. Охорона праці	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Сірик А.О.						
Реценз.		Якимчук М.В.					100	
Н. Контр.						ННІТІ ім. акад. І.С.Гулоого ЕЛ-4-3		
Затверд.		Балюта С.М.						

13.2. Причини електротравматизму

Основними можливими причинами електротравматизму в цеху з виробництва морозива потужністю 6,5 т готового продукту на добу є:

- недостатня навченість, несвоєчасна перевірка знань та присвоєння груп кваліфікації за технікою безпеки персоналу, який обслуговує електроустановки;
- порушення правил влаштування, технічної експлуатації та техніки безпеки електроустановок;
- неправильна організація праці;
- неправильне розташування пускової апаратури та розподільчих пристроїв, захащеність підходів до них;
- порушення правил виконання робіт в охоронних зонах ЛЕП, електричних кабелів та ліній зв'язку;
- несправність ізоляції, через що металеві не струмопровідні частини обладнання виявляються під напругою;
- обрив заземлювального провідника;
- використання електрозахисних пристроїв, які не відповідають умовам виконання робіт;
- виконання електромонтажних та ремонтних робіт під напругою;
- застосування проводів та кабелів, які не відповідають умовам виробництва та використовуваних напруг;
- низька якість з'єднань та ремонту;
- недооцінка небезпеки струму, який проходить через тіло людини та напруги, впливу якої підлягає людина, коли її ноги знаходяться на ділянці з точками різного потенціалу („крокова напруга”);
- ремонт обірваного нульового провідника повітряної лінії при невимкненій мережі і приєднаному однофазному навантаженні;
- живлення декількох споживачів від загального пускового пристрою з захистом запобіжниками, розрахованими на вимкнення найбільш потужного з них або від однієї групи розподільчої шафи;

					ДП 2025 141	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- недооцінка необхідності вимкнення електроустановки (зняття напруги) в неробочі періоди;
- виконання робіт без індивідуальних засобів електрозахисту або використання захисних засобів, які не пройшли своєчасного випробування;
- невиконання періодичних випробувань, зокрема перевірок опору ізоляції (електромереж, обмоток електродвигунів, котушок комутаційної апаратури, реле) та опорів заземлювальних пристроїв;
- користування електроустановками, опір ізоляції яких не перевищує нормативних значень;
- використання електроустановок кустарного виготовлення, виготовлених з порушенням вимог правил електробезпеки (зокрема, розподільчими та пусковими пристроями, електропечами);
- некваліфікований інструктаж робітників, які використовують ручні електричні машини;
- відсутність контролю за діями працівників з боку виконавців робіт;
- відсутність маркування, запобіжних плакатів, блокувань, тимчасових огорожень місць електротехнічних робіт.

Зазначені причини можна згрупувати за наступними чинниками:

- дотик до струмоведучих частин під напругою внаслідок недотримання правил техніки безпеки, дефектів конструкції та монтажу електрообладнання;
- дотик до неструмопровідних частин, які опинились під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, перехресування проводів;
- помилкове подання напруги в установку, де працюють люди;
- відсутність надійних захисних пристроїв.

13.3. Заходи щодо забезпечення безпеки при обслуговуванні комплектної трансформаторної підстанції

Цех з виробництва морозива живиться за радіальною схемою електропостачання, рід струму – змінний. На комплектній трансформаторній

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

підстанції (КТП), що живить цех встановлено два трансформатори потужність 400 кВА, з напругою на низькій стороні 380 В.

Одним з найважливіших заходів щодо забезпечення безпеки персоналу є перевірка загального стану КТП, що має проводитися кожні шість місяців.

При огляді електроустановок необхідно керуватися діючими «Правилами улаштування електроустановок», «Правилами технічної експлуатації електричних станцій і мереж», «Міжгалузевми правилами по охороні праці при експлуатації електроустановок».

Огляд електроустановок трансформаторних підстанцій і розподільчих пунктів може виконувати один працівник підприємства з III групою по електробезпеці із складу оперативних й оперативно-виробничих працівників, або працівник з V групою по електробезпеці із складу керівників і фахівців комбінату з дозволу особи, у керуванні якої перебуває електроустановка.

Список осіб, що мають право одноособового огляду устаткування трансформаторних підстанцій, затверджується головним інженером підприємства.

Періодичний огляд електроустаткування трансформаторних підстанцій електромонтерами, а також інженерний огляд працівниками із складу керівників і фахівців проводиться по графіках, які затверджуються головним інженером підприємства або його заступником.

Під час огляду виконувати будь-які роботи забороняється.

При огляді електроустановок забороняється наближатися до струмопровідних частин, що перебувають під напругою на відстань: при напрузі до 1000 В – не нормується (без дотику); при напрузі 6-10 кВ – 0,6 метра.

При огляді електроустановок напругою понад 1000 В забороняється відкривати двері приміщень, комірок, не обладнаних сітчастими огороженнями або бар'єрами.

В електроустановках напругою до 1000 В при огляді дозволяється відкривати двері щитів, зборок, пультів керування й інших пристроїв.

При огляді має бути перевірено:

					ДП 2025 141	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стан прилеглої до КТП території щодо забезпеченості проїзду автотранспорту, наявності відмостки, відсутності сміття та інших сторонніх предметів, а в зимовий період – снігу в місцях проїздів і під'їздів до КТП, чи забезпечено відведення зливних вод від будівлі;

- цілісність штукатурки стін, відсутності течій води через перекриття, відсутність отворів у підлозі, стінах, через які можуть проникати тварини й птахи, справність дверей приміщень розподільчих пристроїв (РП) і трансформаторів, їхнє фарбування. Підлоги в приміщенні повинні бути рівними, не мати порогів й уступів і виключати утворення цементного пилу;

- вводи заземлювальних провідників у будівлю через стіни має виконуватися в трубах або інших твердих обрамленнях. У місці їх вводів повинні бути передбачені розпізнавальні знаки;

- двері трансформаторних підстанцій повинні бути неспаленими або важкозгораємыми й відкриватися назовні. Вони повинні бути замкнені на замок. На входних дверях РУ-0,4-10 кВ і камери трансформатора повинні бути вивішені плакати "Стій напруга" і номер КТП;

- наявність і справність жалюзі або сіток з коміркою розміром 15х15 мм на вентиляційних прорізах;

- при відкритті дверей у камеру трансформатора, наявність у входу бар'єра, що перешкоджає доступу у камери із плакатом "Стій напруга". Бар'єри повинні бути встановлені на висоті 1,2 м;

- наявність на стінах навпроти виводів трансформатора написів, що вказують величину напруги виводів трансформатора (0,4 кВ, 10 кВ);

- відсутність у камері трансформаторів зайвих предметів;

- наявність і стан протипожежних засобів;

- наявність і стан запорів на дверях;

- стан кабельних вводів.

При огляді електричної частини комплектної трансформаторної підстанції має бути перевірено:

					ДП 2025 141	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стан опорних і прохідних ізоляторів – відсутність пилу, тріщин і сколів, а також слідів перекриття;
- справність освітлення. Освітлювальна арматура повинна бути встановлена таким чином, щоб було забезпечено її безпечне обслуговування (заміна ламп, чистка тощо);
- відсутність сторонніх шумів у трансформаторі, відсутність розрядів, потріскування на виводах трансформатора, забруднення;
- заземлення бака й кришки трансформатора, стан контуру захисного заземлення – місця стиків;
- стан контактів на шинах трансформатора по їхньому зовнішньому вигляду, наявність термоіндикаторів, їхній стан;
- якість фарбування трансформатора, двері камери із внутрішньої сторони;
- наявність написів на кожній камері й всередині камери РП (диспетчерське найменування), над приводами апаратів повинні бути написи, що вказують призначення апарату – найменування приєднання й положення "Включено", "Відключено";
- наявність місця для накладання переносних захисних заземлень на струмоведучі частини. Місця, призначені для накладання переносних заземлень, не зафарбовуються, а зачищаються й змазуються технічним вазеліном. Обидві сторони місця для накладання заземлення відзначаються чорною смужкою;
- наявність контуру захисного заземлення, приєднання заземлення до комірок;
- комірки мають бути закриті на замки;
- наявність пристосування для запирання приводів комутаційних апаратів у відключеному положенні, цілісність автоматів, відсутність слідів перекриття, нагрівання контактних з'єднань, шунтування автоматів;
- двері РП-10 кВ можуть закриватися самозамикальними або звичайними замками. Ключі РП-10 кВ не повинні підходити до замків РП-0,4 кВ.

					ДП 2025 141	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повинні бути написи на низьковольтних щитах про найменування приєднань. Написи наносяться біля автоматичних вимикачів і повинні відповідати назві приєднання. Позначено положення автомата "Включено", "Відключено";

- перевірити правильність фарбування збірних шин;
- у РП не повинно бути необгороджених струмоведучих частин, розташованих на висоті, доступної для помилкового дотику.

13.4. Основні заходи з пожежної безпеки

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

- визначені місця й допустима кількість одноразового перебування у приміщеннях сировини, напівфабрикатів і готової продукції;
- визначені й обладнані місця для паління;
- дії працівників при виявленні пожежі;
- установлений порядок збирання горючих відходів і пилу, зберігання промасленого спецодягу;
- визначений порядок знеструмлення електроустаткування по закінченні робочого дня й у випадку пожежі;
- визначений порядок і строки проходження протипожежного інструктажу й пожежно-технічного мінімуму, а також призначені особи, відповідальні за їхнє проведення.

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

Добровільна пожежна охорона утворюється відповідно статті 63 Кодексу цивільного захисту, постанови Кабінету Міністрів України від 17.07.2013 № 564 «Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони» та

					ДП 2025 141	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Правил пожежної безпеки в Україні з метою проведення заходів із запобігання виникнення пожеж та організації їх гасіння.

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

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

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

На випадок виникнення пожежі у першу чергу потрібно евакуювати людей з цеху. Для цього встановлена система оповіщення, що вказує на рух до евакуаційних виходів. Оповіщення супроводжується одночасним включенням світлових і звукових сигналів. У будівлі цеху з виробництва морозива є схема евакуації робочого персоналу, вивішена біля входів і виходів. Є основні й аварійні виходи з будівлі цеху на випадок виникнення пожежі, всі виходи позначені спеціальними табличками.

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

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

					ДП 2025 141	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13.5. Розрахунок контуру захисного заземлення

Розрахуємо захисне заземлення розподільчого пристрою (РП) 10 кВ суміщеного із двотрансформаторною підстанцією КТП 2х400/10/0,4кВ. Грунт у місці спорудження суглинок, природні заземлювачі не використовуються. Вертикальні електроди розташуємо по периметру будівлі зовнішньої сторони. Як вертикальні заземлювачі приймаємо сталеві стержні діаметром 15 мм і довжиною 2 м, які занурюються в ґрунт методом вкручування. Верхні кінці електродів розташовуємо на глибині 0,7 м від поверхні землі. До них приварюють горизонтальні електроди стержневого типу з тієї ж сталі, що і вертикальні електроди.

Розрахунковий струм замикання на землю визначимо за формулою:

$$I_p = \frac{U_\phi}{R_0 + R_K},$$

де U_ϕ – фазна напруга, $U_\phi = 220$ В; R_0 – опір замикання нейтралі, $R_0 = 4$ Ом; опір корпусу електроустановки, $R_K = 4$ Ом.

Тоді,

$$I_p = \frac{U_\phi}{R_0 + R_K} = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ А.}$$

Для напруги 10 кВ відповідно до ПУЕ опір заземлювального пристрою визначаємо за формулою:

$$R_\phi = \frac{U_p}{I_p},$$

де U_p – напруга замикання на землю, $U_p = 125$ В, оскільки заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок до та понад 1 кВ.

$$R_\phi = \frac{U_p}{I_p} = \frac{125}{27,5} = 4,55 \text{ Ом}.$$

Опір заземлювального пристрою для електроустановок напругою до 1 кВ не повинен бути більшим за 4 Ом, тому за розрахунковий опір приймаємо $R_3 = 4$ Ом.

Попередньо, з урахуванням площі, що займає об'єкт, намічаємо розташування заземлювачів – по периметру з відстанню між вертикальними електродами 4 м.

					ДП 2025 141	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір штучного заземлювача за відсутності природних заземлювачів приймаємо рівним допустимому опору заземлювального пристрою $R_{шт} = R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Визначимо розрахункові питомі опори ґрунту для горизонтальних та вертикальних заземлювачів за формулами:

$$\rho_{\delta, \hat{a}} = \rho_{\text{г}} \cdot \hat{E}_{\hat{I}, \hat{A}}, \quad \hat{h} \cdot \hat{i},$$

$$\rho_{\delta, \hat{a}} = \rho_{\text{г}} \cdot \hat{E}_{\hat{I}, \hat{A}}, \quad \hat{h} \cdot \hat{i},$$

де $\rho_{\text{г}}$ – питомий опір ґрунту (суглинок), $\rho_{\text{г}} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $K_{П,Г}$ – та $K_{П,В}$ – підвищувальні коефіцієнти для горизонтальних та вертикальних електродів,

$$K_{П,Г} = 2, \quad K_{П,В} = 1,4.$$

Тоді:

$$\rho_{\delta, \hat{a}} = 100 \cdot 2 = 200 \hat{h} \cdot \hat{i},$$

$$\rho_{\delta, \hat{a}} = 100 \cdot 1,4 = 140 \hat{h} \cdot \hat{i}.$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода стержневого типу визначимо за формулою:

$$R_{\hat{I}, \hat{A}, \hat{A}} = \frac{\rho_{\delta, \hat{a}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot l + l}{4 \cdot l - l} \right), \quad \hat{h}$$

$$R_{\hat{I}, \hat{A}, \hat{A}} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 64,92 \hat{h}.$$

Визначаємо приблизну кількість вертикальних заземлювачів за формулою:

$$N = \frac{R_{\hat{I}, \hat{A}, \hat{A}}}{\hat{E}_{\hat{A}, \hat{A}} \cdot R_{\emptyset \emptyset}},$$

де K_B – коефіцієнт використання, приймаємо за довідниковими даними 0,64.

Тоді,

$$N = \frac{64,92}{0,64 \cdot 4} = 26.$$

Визначаємо розрахунковий опір розтіканню горизонтальних електродів за формулою:

$$R_{\hat{I}, \hat{A}, \hat{A}} = \frac{\rho_{\delta, \hat{a}}}{\hat{E}_{\hat{A}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad \hat{h}$$

$$R_{\hat{I}, \hat{A}, \hat{A}} = \frac{200}{0,31 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{60^2}{0,016 \cdot 0,708} = 21,66 \hat{h}.$$

					ДП 2025 141	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Уточнюємо необхідний опір вертикальних електродів, Ом:

$$R_{\hat{A},\hat{A}} = \frac{R_{\delta,\hat{a},\hat{a}} \cdot R_{\emptyset\emptyset}}{R_{\delta,\hat{a},\hat{a}} - R_{\emptyset\emptyset}} = \frac{21,66 \cdot 4}{21,66 - 4} = 4,9.$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів при коефіцієнті використання $K_{B,B,V} = 0,61$, прийнятому за довідниковими даними, за формулою:

$$N = \frac{R_{\hat{I},\hat{A},\hat{A}}}{K_{\hat{A},\hat{A},\emptyset} \cdot R_{\hat{A},\hat{A}}} = \frac{64,92}{0,61 \cdot 4,9} = 21,7.$$

Остаточно приймаємо до встановлення 22 вертикальних електрода, розташованих по контуру РП.

					ДП 2025 141	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВВІМКНЕННЯ (АПВ) В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

14.1. Призначення АПВ

Більшість коротких замикань (КЗ) на повітряних лініях електропередач (ЛЕП), спричинених порушенням ізоляції, перехрещенням проводів тощо, зазвичай усуваються самостійно після оперативного спрацювання релейного захисту. Такі пошкодження класифікують як *нестійкі*. За результатами статистичних досліджень, їх частка може коливатися від 50 до 90%.

У рідкісніших випадках на лініях виникають серйозніші несправності, такі як обриви проводів, тросів або ізоляторних гірлянд, а також падіння чи руйнування опор. Ці види ушкоджень не можуть бути ліквідовані без втручання, тому їх відносять до *стійких*.

Оскільки визначення місця пошкодження на лінії електропередачі шляхом її візуального огляду є досить тривалим процесом, а багато несправностей мають нестійкий характер, у разі аварійної ситуації оперативний персонал зазвичай проводить перевірку лінії, подаючи на неї напругу. Така дія, коли лінію, що була вимкнена, повторно підключають до мережі, має назву *повторного включення* (рис. 14.1) [18, с. 16].

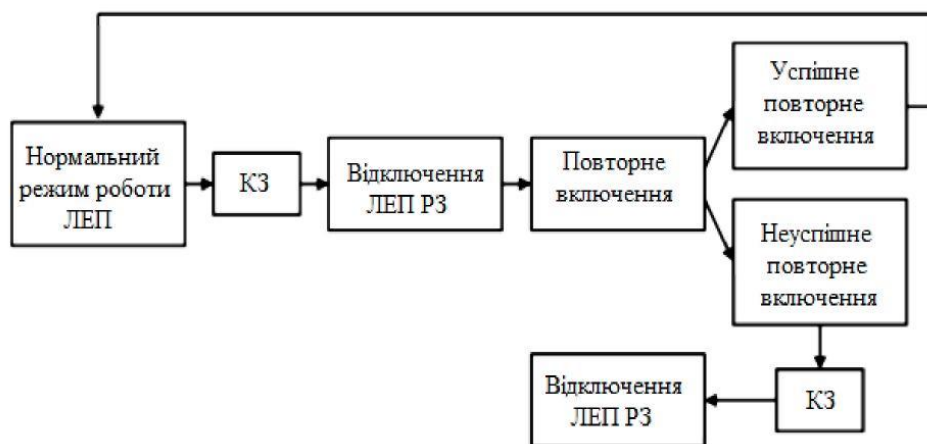


Рис. 14.1. Основні дії механізму повторного включення

					ДП 2025 141			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Щербак М.П.			11. Індивідуальне завдання. Автоматичне повторне ввімкнення (АПВ) в системах електропостачання			
Перевір.		Шпак В.В.						
Реценз.		Якимчук М.В.						
Н. Контр.								
Затверд.		Балюта С.М.						
					Літ.	Арк.	Аркуші	
							111	
					ННІП ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3			

У разі нестійкого пошкодження лінії електропередачі її повторне включення, як правило, дозволяє повернути лінію в роботу. Такі повторні включення вважаються *успішними*. Якщо ж на лінії має місце стійке пошкодження, наприклад коротке замикання, то після повторного включення лінія знову автоматично відключається захисними пристроями. У цьому випадку таке ввімкнення називають *неуспішним*.

На підстанціях, де постійно присутній оперативний персонал або є можливість дистанційного керування, повторне ручне включення зазвичай виконується протягом кількох хвилин. Проте на об'єктах без телемеханізації або без персоналу цей процес може займати від 30–60 хвилин і більше. Щоб мінімізувати тривалість перерв у електропостачанні, активно застосовуються пристрої *автоматичного повторного включення (АПВ)*. Такі пристрої діють протягом декількох секунд і дозволяють швидко відновити подачу напруги споживачам, що неможливо забезпечити лише зусиллями персоналу.

Застосування АПВ

Відповідно до вимог «**Правил будови електроустановок (ПБЕ)**», пристрої «автоматичного повторного включення» (АПВ) обов'язково повинні встановлюватися на всіх **повітряних та комбінованих** (повітряно-кабельних) **лініях електропередачі з напругою 1000 В і вище**. Система АПВ дозволяє не лише відновити роботу лінії після короточасних пошкоджень, але й повернути схему електропостачання до нормального стану в ситуаціях, коли вимикач був відключений помилково – через неправильні дії *персоналу* чи спрацювання *релейного захисту* без фактичного пошкодження.

Найвищу ефективність автоматичне повторне включення демонструє на **лініях з одностороннім живленням**, оскільки кожне вдале спрацювання АПВ у таких випадках дозволяє швидко відновити електропостачання споживачам і запобігти подальшому розвитку аварійної ситуації.

У замкнених електричних мережах навіть після вимкнення однієї з ліній електропередачі подача електроенергії до споживачів, як правило, не припиняється. Проте, використання автоматичного повторного включення у таких

					ДП 2025 141	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах також є виправданим. Це дозволяє швидше усунути аварійну ситуацію та оперативно повернутися до штатної схеми роботи мережі, яка гарантує оптимальну надійність та економічність енергопостачання.

Автоматичне повторне включення застосовується також на **кабельних лініях з напругою 6–10 кВ**. Хоча пошкодження в кабелях найчастіше мають стійкий характер, ефективність АПВ досягає 40–60%. Такий показник зумовлений тим, що система АПВ здатна поновити живлення споживачів у випадках нестійких пошкоджень на шинах, перевантаженнях, а також при хибних або неселективних спрацюваннях релейного захисту.

Нестійкі короткі замикання нерідко трапляються й на шинах підстанцій, тому для таких шин, обладнаних **швидкодійним захистом**, передбачено використання автоматичного повторного включення.

Пристрої АПВ (ПАПВ) також встановлюються на окремі трансформатори потужністю від 1000 кВА і більше, а також на менш потужні трансформатори, якщо вони забезпечують живлення важливих споживачів. Система АПВ трансформатора активується лише тоді, коли його було відключено захистом від перевищення струму. Якщо ж трансформатор був вимкнений через спрацювання захисту від внутрішніх несправностей, повторне включення не здійснюється. Успішність роботи АПВ на шинах і трансформаторах становить від 70 до 90 %. Використання АПВ спрощує реалізацію схем релейного захисту та дозволяє оперативніше усувати короткі замикання, що є суттєвою перевагою цієї автоматичної системи.

14.2. Різновиди автоматичного повторного включення та базові вимоги до його реалізації

Класифікація автоматичного повторного включення

Залежно від характеру впливу на електромережу, автоматичне повторне включення поділяється на три типи: трифазне, однофазне та комбіноване, як показано на (рис. 14.2) [18, с. 18].

ТАПВ (трифазне автоматичне повторне включення) – передбачає увімкнення усіх трьох фаз вимикача після його відключення релейним захистом.

					ДП 2025 141	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОАПВ (однофазне АПВ) – активує лише одну фазу вимикача, яка була відключена через однофазне коротке замикання.

КАПВ (комбіноване АПВ) – виконує повторне включення або всіх трьох фаз при міжфазному пошкодженні, або лише однієї фази при однофазному короткому замиканні.

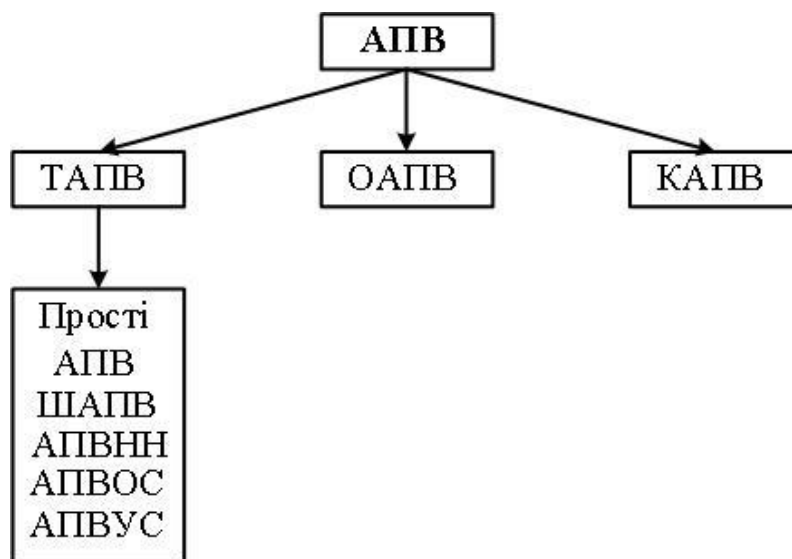


Рис. 14.2. Різновиди АПВ

Найширше застосування отримали трифазні пристрої автоматичного повторного включення, які поділяються на такі типи:

- Базові (прості) АПВ – найпростіший варіант виконання без додаткових умов увімкнення;
- ШАПВ – швидкодіючі АПВ, що спрацьовують у максимально короткий час;
- АПВНН – системи, що активуються лише за умови наявності напруги в мережі;
- АПВОС – модифікації з функцією очікування синхронізації перед включенням;
- АПВУС – пристрої, які здійснюють включення тільки після фіксації моменту синхронізму.

Залежно від типу обладнання, до якого повторно подається напруга за допомогою АПВ, розрізняють такі види (рис. 14.3) [18, с. 19]:

- АПВ повітряних ліній електропередачі (ЛЕП),
- АПВ шин,
- АПВ трансформаторів.



Рис. 14.3. Різновиди АПВ за типом електротехнічного обладнання, на яке подається напруга після автоматичного повторного вмикання

За кількістю можливих спроб включення АПВ поділяють на (рис. 14.4) [18, с. 19]:

- одноразові – спрацьовують лише один раз,
- багаторазові – допускають декілька повторних увімкнень.

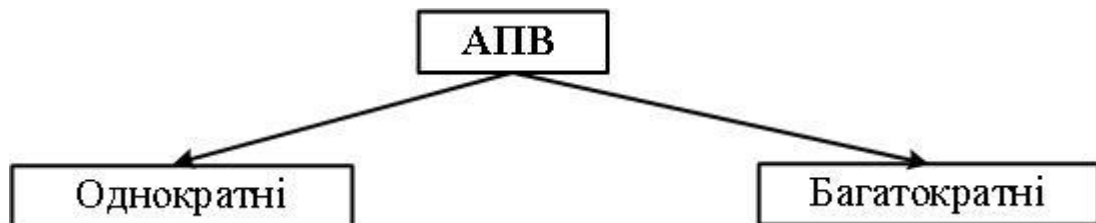


Рис. 14.4. Види АПВ за кількістю можливих спроб включення

Залежно від конструктивного виконання пристрої АПВ поділяються на (рис. 14.5) [18, с. 19]:

- електричні АПВ – це пристрої, побудовані на основі спеціальних релейних схем, що забезпечують автоматичне повторне вмикання вимикача після його спрацювання,

– механічні АПВ – це пристрої, інтегровані безпосередньо в приводні механізми вимикачів, зокрема у вантажні або пружинні приводи, які реалізують функцію повторного вмикання за рахунок механіки.

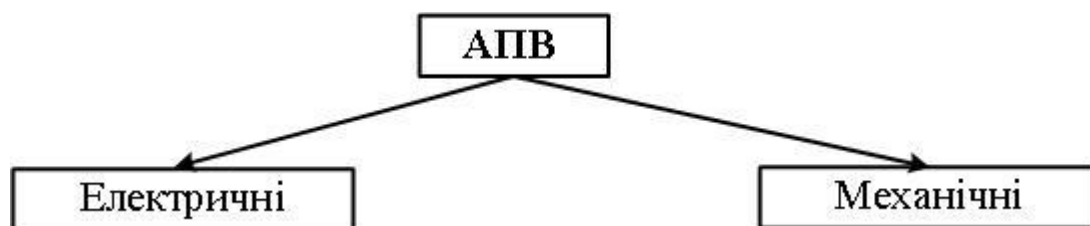


Рис. 14.5. Різновиди АПВ за способом реалізації

Ключові критерії, яким повинні відповідати схеми автоматичного повторного включення

1) Схеми автоматичного повторного включення повинні активуватися у випадку аварійного відключення вимикача (або кількох вимикачів), які були у роботі. В окремих ситуаціях до схем АПВ можуть висуватися додаткові умови, за яких допускається їх спрацювання – наприклад, наявність або відсутність напруги, синхронізація фаз, стабілізація частоти тощо.

2) Схеми АПВ не повинні спрацьовувати при штатному, тобто оперативному, відключенні вимикачів персоналом, а також у випадках, коли вимикач знову вмикається вручну й одразу ж відключається захистом (наприклад, підключення на наявне коротке замикання), оскільки це зазвичай свідчить про стійке пошкодження. Конструкція схем повинна передбачати можливість блокування дії АПВ у разі спрацювання певних типів захисту. Наприклад, зазвичай забороняється запуск АПВ трансформаторів при виявленні внутрішніх пошкоджень (у випадку дії газового або диференційного захисту). У деяких випадках також блокується робота АПВ на лініях при спрацюванні шинного диференційного захисту.

3) Системи АПВ повинні мати здатність здійснювати повторні включення у заздалегідь визначеній кількості. Зазвичай передбачаються варіанти з дворазовим або, у деяких випадках, триразовим автоматичним включенням.

4) Час спрацювання АПВ має бути якомога коротшим, щоб якнайшвидше відновити нормальний режим роботи мережі. Наприклад, мінімальна витримка часу для АПВ на лініях з одностороннім живленням зазвичай становить 0,3–0,5 секунди. Проте в умовах, де існує підвищена ймовірність коротких замикань, викликаних, наприклад, зіткненням із проводами техніки або інших зовнішніх впливів, доцільно передбачати більші витримки часу задля підвищення ймовірності успішного повторного включення.

5) АПВ повинні бути сконструйовані так, щоб після відновлення роботи вимикача система автоматично поверталась у вихідний стан і була готова до наступного спрацювання.

14.3. Одноразове електричне автоматичне повторне включення

Електричне АПВ одноразової дії з автоматичним відновленням – найбільш поширений тип автоматичного повторного включення.

Цей тип АПВ зазвичай реалізується за допомогою комплектного пристрою типу РПВ-58.

Схема реалізації АПВ для лінії з масляним вимикачем наведена на рис. 14.6 та базується на інформації з [18, с. 21].

До складу пристрою РПВ-58 входять:

- реле часу KT типу ЕВ-133 з додатковим резистором $R1$, який забезпечує його термічну стабільність;
- проміжне реле $KL1$, що має паралельну та послідовну обмотки;
- конденсатор C (ємністю 20 мкФ), який гарантує одноразову дію пристрою;
- зарядний резистор $R2$ (1,1 МОм);
- розрядний резистор $R3$ (510 Ом).

У поданій схемі також передбачені наступні елементи: контактор KM , який керує електромагнітом включення вимикача YAC , електромагніт для його відключення YAT , реле положення "Відключено" (KQT) та "Включено" (KQC), а також проміжне реле KBS , яке перешкоджає багаторазовому вмиканню вимикача

у разі стійкого короткого замикання. Крім того, у схемі застосовуються допоміжні блок-контакти вимикача $SQ.1$ і $SQ.2$.

Дистанційне керування вимикачем здійснюється за допомогою ключа управління SA , який фіксує останню виконану операцію: після команди на включення він залишається у положенні "*Включити*" ($B2$), а після команди на відключення – у положенні "*Відключити*" ($O2$).

Початковий стан схеми (рис. 14.6) відповідає ситуації, коли вимикач Q вимкнений, а ключ управління SA перебуває у положенні "*Відключити*" ($O2$). У цьому випадку живлення отримує реле положення "*Відключено*" (KQT).

Коли потрібно **увімкнути вимикач Q** , ключ SA переводиться в положення "*Включити*" ($B2$ через $B1$). Контактор KM активується через ланцюг SA . (5-7)- $BS.1-SQ.1-KM$, що призводить до замикання вимикача Q . Оперативний струм для АПВ подається через SA . (1-3) на конденсатор C , який починає заряджатися через зарядний резистор $R2$. Після завершення заряду конденсатора (через 20–25 секунд) схема АПВ переходить у **режим очікування**. Після вмикання вимикача Q , реле KQT , яке контролює справність кола увімкнення, знеструмлюється, оскільки контакт $SQ.1$, який розмикається, перериває його живлення. У результаті контакт $KQT.1$ у пусковому ланцюгу схеми АПВ також розмикається.

Схема автоматичного повторного включення активується тоді, коли вимикач Q відключається релейним захистом, але положення ключа управління SA залишається незмінним. Це створює розбіжність між фактичним станом вимикача та командою ключа, що є типовим сигналом для запуску АПВ.

У результаті цієї розбіжності – коли контакт 1-3 ключа SA продовжує подавати позитивну напругу на схему АПВ, а допоміжний контакт $SQ.1$ вимикача перемикається в положення "*замкнуто*", – формується замкнене коло для живлення обмотки реле KQT . Після спрацювання це реле своїм контактом $KQT.1$ підключає мінус до обмотки реле часу KT , тим самим активуючи його.

					ДП 2025 141	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

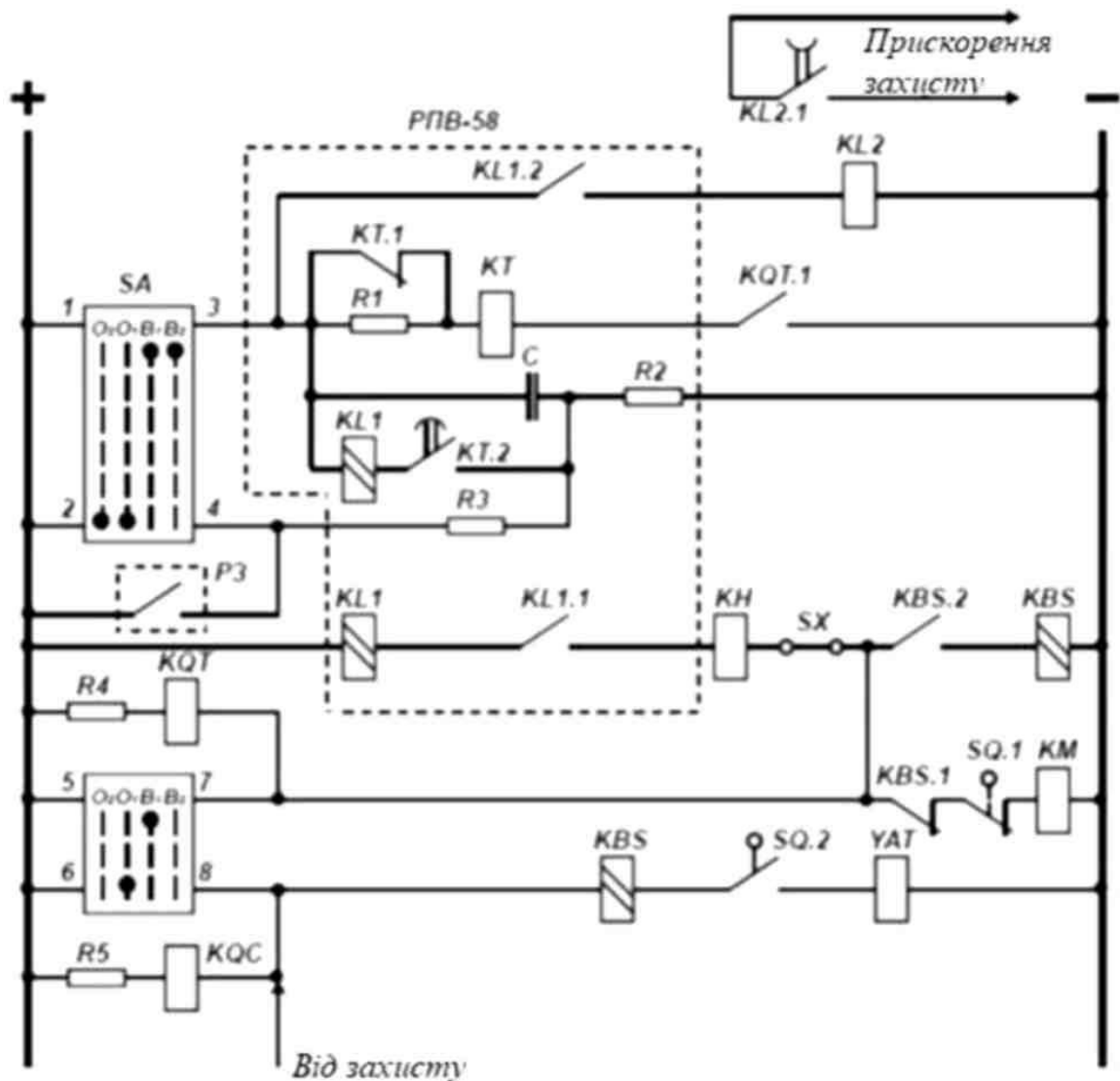


Рис. 14.6. Схема електричного АПВ одноразової дії для повітряної лінії з масляним вимикачем

Коли спрацьовує реле часу, його миттєвий розмикаючий контакт $KT.1$ роз'єднує коло, вводячи в нього додатковий опір – резистор $R1$. Це знижує струм в обмотці реле, що дозволяє підтримувати його термічну стійкість при тривалому проходженні струму.

Після завершення заданої витримки часу контакт $KT.2$ замикається, підключаючи паралельну обмотку реле $KL1$ до конденсатора C . Реле $KL1$ спрацьовує під дією струму, що виникає під час розряду конденсатора, і, завдяки самоутриманню через свою послідовну обмотку (яка підключена послідовно з обмоткою контактора KM), подає команду на повторне ввімкнення вимикача.

Саме використання послідовної обмотки забезпечує необхідну тривалість імпульсу для надійної роботи вимикача, оскільки струм через паралельну обмотку протікає лише короткий час. Після включення вимикача розмикається допоміжний контакт $SQ.1$, і реле KQT , KT та $KL1$ повертаються у початковий стан.

Якщо пошкодження на лінії електропередачі було **нестійким**, вона залишиться в робочому стані. Після розмикання контакту реле часу $KT.2$ розпочинається процес заряджання конденсатора C через зарядний резистор $R2$. Його опір підібраний так, щоб повний заряд конденсатора відбувався за **20–25 секунд**. Таким чином, після закінчення цього часу схема АПВ знову буде готова до повторної дії.

У випадку **стійкого** пошкодження лінії, вимикач, що був увімкнений через схему АПВ, знову буде вимкнений релейним захистом. Реле KQT і KT спрацюють повторно, але реле $KL1$ вже не активується, оскільки конденсатор C , що був розряджений під час першої дії АПВ, ще не встиг зарядитися. Це означає, що дана схема забезпечує лише **одноразове** автоматичне повторне включення при наявності стійкого короткого замикання на лінії.

У випадку **оперативного відключення** вимикача за допомогою ключа управління SA не виникає ситуації невідповідності між положенням ключа і вимикача, тому схема АПВ не активується. Це пояснюється тим, що під час подачі команди на вимкнення вимикача контактами 6-8 SA одночасно розмикаються контакти 1-3, внаслідок чого припиняється подача позитивного оперативного струму до схеми АПВ. У результаті спрацьовує лише реле положення "Відключено" (KQT), а реле часу KT і реле $KL1$ залишаються неактивними. Одночасно з цим замикаються контакти 2-4 SA , через які конденсатор C розряджається через резистор $R3$.

Після **оперативного включення** вимикача ключем SA схема АПВ знову стає готовою до роботи лише після завершення процесу заряджання конденсатора, який триває 20–25 секунд. У випадках, коли відключення лінії викликане спрацюванням релейного захисту, але запуск АПВ не передбачений, розряд конденсатора також здійснюється через резистор $R3$.

					ДП 2025 141	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб уникнути повторного включення вимикача на стійке коротке замикання, яке могло б виникнути у випадку залипання контактів реле *KL1* в замкненому положенні, в схемі управління передбачено встановлення проміжного реле *KBS*. Це реле оснащено двома обмотками: послідовною робочою та паралельною утримуючою. Реле **KBS** активується під час проходження струму через котушку відключення вимикача і залишається у ввімкненому стані (замикаючи ланцюг *KL1-KL1.1-KBS.2-KBS*), доки не буде знята команда на включення. При цьому контакт *KBS.1* розриває ланцюг обмотки контактора *KM*, що унеможлиблює повторне включення вимикача.

14.4. Типи цифрових пристроїв АПВ, що застосовуються для ліній

На одиночних лініях з живленням з обох боків повинно використовуватися одне з таких рішень АПВ (або їх поєднання):

- НАПВ – автоматичне повторне включення без урахування синхронності джерел живлення;
- ШАПВ – високошвидкісне автоматичне повторне включення для мінімізації перерв у подачі напруги;
- АПВКС – автоматичне повторне включення з перевіркою синхронізму між джерелами перед подачею напруги.

Несинхронне автоматичне повторне включення (НАПВ) допускається для застосування на лініях напругою 110–220 кВ за умови дотримання наступних вимог:

а) Електромагнітні моменти, що виникають у синхронних генераторах і компенсаторах під час несинхронного включення, повинні бути меншими (з запасом) за момент, який розвивається при трифазному короткому замиканні на їхніх виводах. Як практичний критерій оцінки доцільності НАПВ слід використовувати розрахункові значення початкової періодичної складової струму статора при куті включення 180°;

б) Максимальний струм, який проходить через трансформатор або автотрансформатор при включенні під кутом 180°, не повинен перевищувати

					ДП 2025 141	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струм трифазного КЗ на його виводах при живленні від шин з нескінченною потужністю;

в) Після спрацювання НАПВ повинна швидко відновлюватися синхронна робота системи.

У випадках, коли після дії несинхронного автоматичного повторного включення існує ймовірність виникнення тривалого асинхронного режиму, необхідно передбачити спеціальні технічні заходи для його недопущення або швидкого припинення.

На рис. 14.7 наведено варіанти реалізації несинхронного автоматичного повторного включення (НАПВ) для ліній з двостороннім живленням, як це розглянуто у [19, с. 75]. Серед варіантів:

- НАПВ на вимикачі Q1: реалізується з контролем **відсутності напруги (КВН)** у лінії. Для цього використовується вимірювання напруги за допомогою вольтметра Вм.Н, який фіксує, що напруга в лінії відсутня перед подачею команди на повторне включення.

- НАПВ на вимикачі Q2: виконується з контролем **наявності напруги (КНН)** у лінії, знову ж за допомогою вимірювання Вм.Н. У цьому випадку схема АПВ спрацьовує лише при наявності певного рівня напруги в лінії, що гарантує можливість повторного включення.

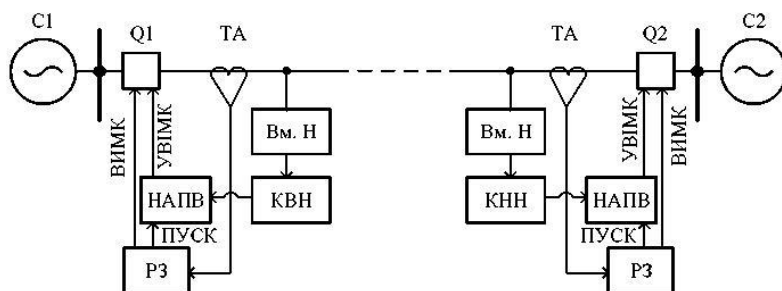


Рис. 14.7. Схематичне зображення реалізації несинхронного автоматичного повторного включення

Швидкодіюче автоматичне повторне ввімкнення (ШАПВ) (рис. 14.8) [19, с. 75] передбачає одночасне замикання вимикачів на обох кінцях лінії з мінімальною затримкою. Цей тип АПВ доцільно використовувати, коли кутова різниця між векторами ЕРС приєднуваних енергосистем за час дії ШАПВ залишається

незначною, а також коли струми, що виникають при несинхронному включенні генераторів, залишаються в допустимих межах. Водночас важливо, щоб максимальні електромагнітні моменти, які виникають під час такого включення, не перевищували моменти, що виникають при трифазному короткому замиканні на виводах генераторів або компенсаторів.

У процесі оцінювання доцільності використання ШАПВ доцільно орієнтуватися на початкові розрахункові значення періодичних складових струмів статора при куті вмикання 180° .

Застосування ШАПВ можливе лише за умови наявності вимикачів, конструктивно придатних для цього режиму, а також за умови збереження синхронної паралельної роботи енергосистем після повторного вмикання. Активізація ШАПВ має здійснюватися через швидкодіючі релейні захисти (ШРЗ), при цьому його запуск слід блокувати у випадку спрацювання резервних захистів або під час функціонування пристрою резервування відмови вимикача (ПРВВ).

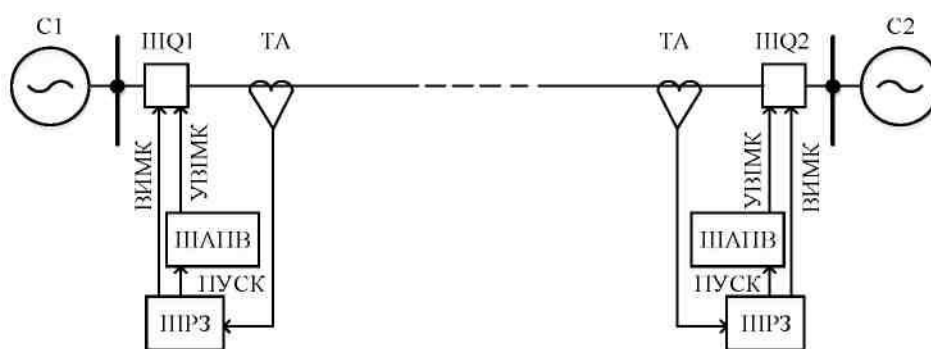


Рис. 14.8. Структура схема роботи швидкодіючого АПВ

АПВКС (рис. 14.9) [19, с. 76] використовується для повторного ввімкнення лінії в умовах значних частотних ковзань (до 4 %), з обов'язковим контролем допустимого кута фазового відхилення між векторами ЕРС систем, що з'єднуються (кута випередження).

На кінці лінії, який вмикається першим, встановлюється прискорене автоматичне повторне вмикання, яке активується швидкодіючим захистом і діє на всю довжину лінії без врахування напруги, або ж застосовується АПВ із

перевіркою відсутності напруги на лінії – АПВКВН (як зображено на рис. 14.7 для Q2). На протилежному кінці лінії монтується АПВ із контролем синхронізації – АПВКС.

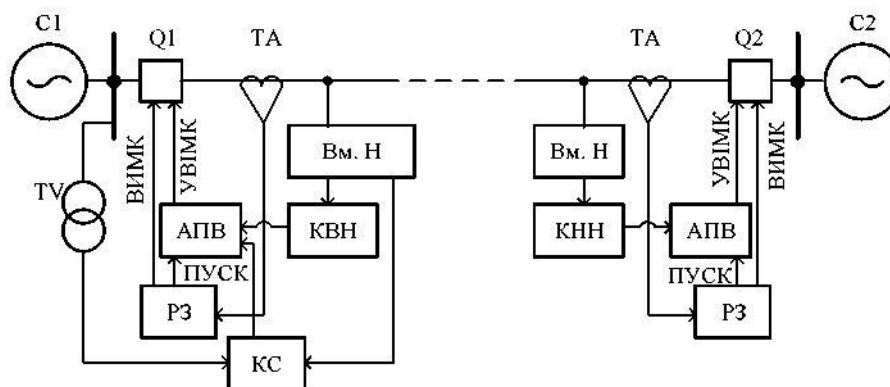


Рис. 14.9. Схема АПВ із функцією контролю синхронізму

Цю операцію здійснюють лише за умови успішного ввімкнення першого кінця лінії, що може бути підтверджено, наприклад, шляхом контролю наявності напруги за допомогою АПВКНН. Для реалізації контролю синхронізації доцільно використовувати пристрої, які функціонують за принципом синхронізатора з фіксованим кутом випередження. Конструкція пристроїв АПВ має передбачати можливість змінювати послідовність увімкнення вимикачів на обох кінцях лінії. При впровадженні системи АПВКС важливо забезпечити її працездатність навіть за значних частотних розбіжностей між системами. Під час визначення максимально допустимого кута ввімкнення при використанні АПВКС необхідно враховувати, що пускові електромагнітні моменти синхронних генераторів і компенсаторів при підключенні не повинні перевищувати, з відповідним запасом, електромагнітний момент, який утворюється під час трифазного короткого замикання на виводах генераторів. Схеми пристроїв АПВКС мають бути однаковими на обох кінцях лінії з урахуванням можливості зміни послідовності вмикання вимикачів у процесі автоматичного повторного вмикання.

14.5. Система АПВ для шин напругою 6 кВ

Автоматичне повторне вмикання для шинної системи 6 кВ (рис. 14.10), що описана в [19, с. 73], активується в разі спрацювання максимального струмового

					ДП 2025 141	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисту, що призводить до вимкнення вимикача 6 кВ. Реалізація функції АПВ передбачає виконання одного циклу повторного вмикання.

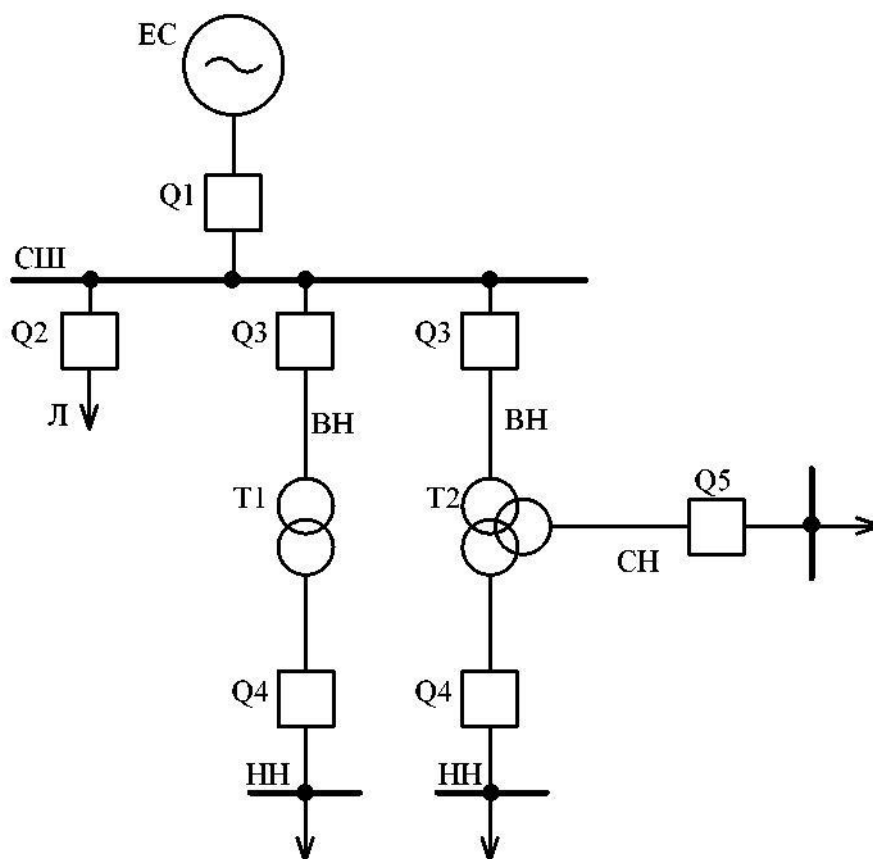


Рис. 14.10. Застосування АПВ до окремих вимикачів

АПВ блокується за таких умов:

- якщо спрацює пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ) 6 кВ для I або II системи шин;
- у разі ручного відключення вимикача через ключ управління;
- при ручному включенні з обмеженням за часом;
- за наявності несправності вимикача.

Функціональні схеми автоматичного повторного вмикання для шин 6 кВ подано на рис. 14.11–14.12 [19].

Початковий стан функціональної схеми АПВ шинної системи 6 кВ (рис. 14.11) [19, с. 78] передбачає, що вимикач Q4 перебуває у ввімкненому положенні. Цей стан фіксується за допомогою елемента статичної пам'яті першого типу (SRE) і позначається як «Вимикач увімкнено».

Для контролю кіл керування високовольтного вимикача застосовують два зовнішні допоміжні реле:

- реле стану «Увімкнено» (KQC), яке здійснює контроль за колами відключення вимикача;
- реле положення «Вимкнено» (KQT), що відповідає за колом увімкнення вимикача.

Таким чином, у момент, коли вимикач перебуває у увімкненому стані, сигнал про його положення «Увімкнено» подається на логічний елемент «I», після чого передається до першого елемента статичної пам'яті (SRE), а звідти – на перший вхід вихідного логічного елемента «I».

У разі відключення вимикача, сигнал про його стан «Вимкнено» подається у вигляді дискретного імпульсу на інверсний вхід логічного елемента «I», що призводить до блокування попередньої логічної операції та, як наслідок, унеможлиблює роботу АПВ.

Активація автоматичного повторного включення відбувається після дії захисту від перевищення струму, який зупиняє процес вимикання вимикача Q4. Поточний стан у такому разі фіксується другою коміркою статичної пам'яті.

Максимальний струмовий захист, встановлений на вимикачі Q4, виконує функцію резервного захисту у разі зовнішніх коротких замикань на приєднаннях до системи шин 6 кВ (наприклад, шини власних потреб електростанцій). Якщо первинні захисні пристрої не ліквідують пошкодження, то захист на Q4 активується з урахуванням визначеної витримки часу, дотримуючись принципів селективності.

					ДП 2025 141	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

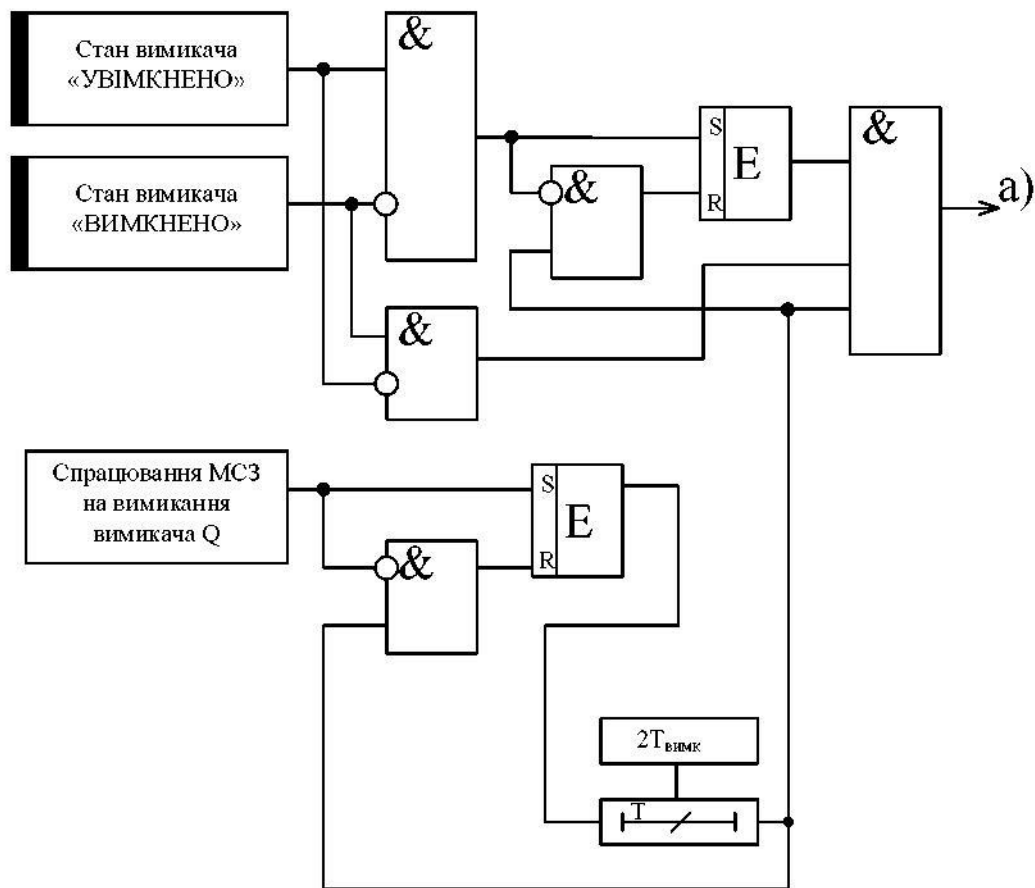


Рис. 14.11. Схема пуску автоматичного повторного вмикання для шин 6 кВ

Після активації максимального струмового захисту (МСЗ) через блок пам'яті SRE формується команда на вимкнення вимикача Q4, при цьому сигнал передається з затримкою, яка дорівнює подвоєному номінальному часу відключення вимикача ($2 T_{\text{ВІМК}}$).

Паралельно цей сигнал надходить на кілька вузлів:

- на другу статичну пам'ять SRE для її скидання після відновлення нормального стану максимального струмового захисту на вимикачі Q4;
- на другий вхід вихідного логічного елемента «І» через проміжний логічний елемент «І», що підтверджує відключення вимикача Q4 сигналом «Стан вимикача «Вимкнено»»;
- а також на третій вхід того ж вихідного логічного елемента «І».

Коли усі три сигнали одночасно надходять на входи вихідного логічного елемента «І», формується керуючий сигнал, який ініціює подальші дії з повторного вмикання.

На рис. 14.12 подано функціональну схему реалізації автоматичного повторного вмикання (АПВ) для шинної системи з напругою 6 кВ [19, с. 80].

Умови блокування роботи АПВ у шинній системі 6 кВ:

– Зовнішній дискретний сигнал від схеми управління вимикачем — «Команда КУ “Увімкнути” вимикач Q». Цей сигнал проходить через статичну пам'ять SRE та блок формування імпульсу з фіксованою тривалістю (по передньому фронту сигналу), що призводить до створення сигналу «Час блокування АПВ при увімкненні вимикача». Цей сигнал подається на перший вхід логічного елемента «І». Після завершення встановленої затримки пам'ять SRE скидається.

– Зовнішній дискретний сигнал «Команда КУ “Вимкнути” вимикач Q» також надходить від схеми керування. Його подача блокує запуск АПВ у випадках, коли оператор вручну вмикає вимикач за допомогою ключа управління.

– Внутрішній логічний сигнал «Спрацювання основних захистів», який генерується пристроєм релейного захисту та автоматики. Основними захистами шинної системи є логічний захист, диференційний захист і струмова відсічка.

– Внутрішній логічний сигнал «Спрацювання дугового захисту», який активується при виникненні дуги в комірках вимикачів на всіх приєднаннях шинної системи. Цей сигнал пришвидшує реакцію максимального струмового захисту вимикача Q4.

– Внутрішній логічний сигнал «Працює пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ)». ПРВВ виконує функції резервного захисту при збої вмикання на приєднаннях шин. У таких ситуаціях автоматичне повторне вмикання є недоцільним і має бути заблоковане.

Вихідні сигнали, сформовані схемою на рис. 14.11, передаються до схеми, зображеної на рис. 14.13, через з'єднувальні ланцюги b), c) та d). Формування

					ДП 2025 141	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

команди на автоматичне вмикання вимикача в схемі (рис. 14.13) здійснюється за допомогою вихідного логічного елемента типу «І».

Проаналізуємо роботу функціональної схеми АПВ, зображеної на рис. 14.13 [19, с. 82].

Зовнішній дискретний сигнал від схеми управління, що відповідає стану вимикача «Увімкнено», забезпечує блокування роботи автоматики під час увімкненого стану вимикача.

Натомість сигнал «Стан вимикача «Вимкнено», який також надходить від схеми управління, дозволяє роботу автоматики, коли вимикач перебуває у відключеному стані.

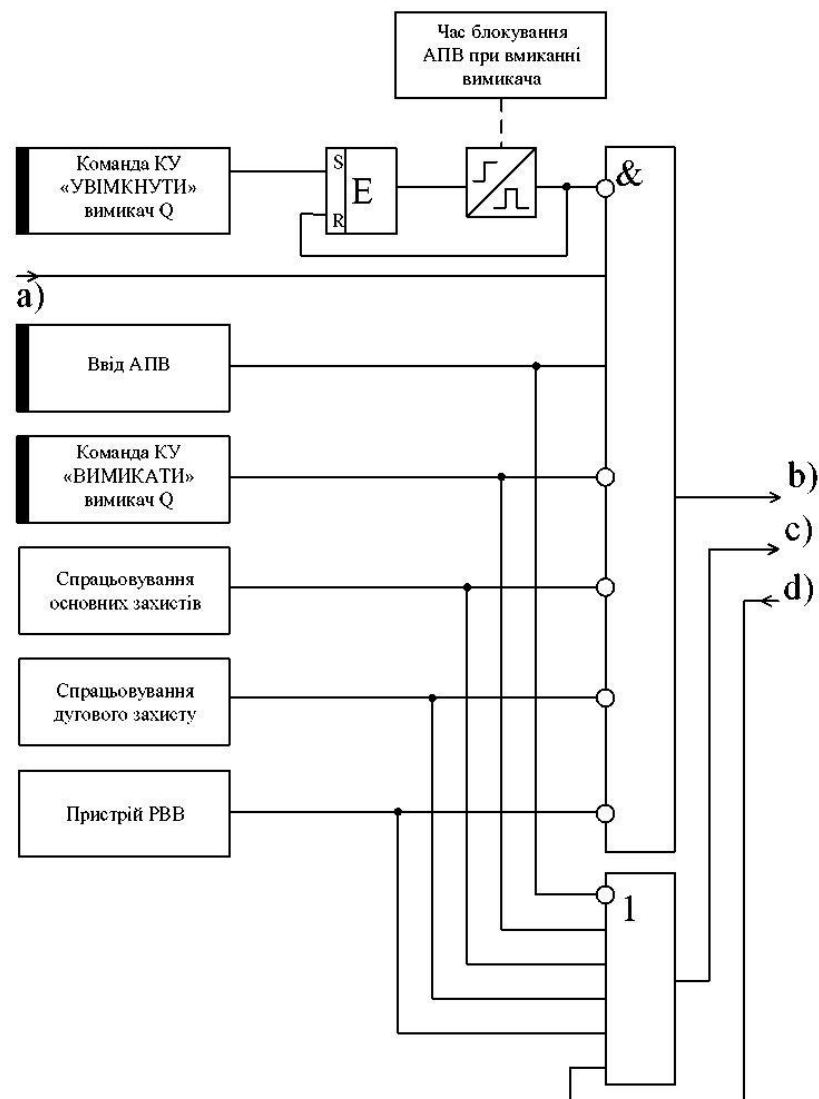


Рис. 14.12. Умови, за яких блокується АПВ для шинної системи 6 кВ

Сигнал b), проходячи через статичну пам'ять SRE та активовану накладку «УВІМК. АПВ», потрапляє до блоку налаштування затримки з визначеним параметром «Час дії АПВ». Після цього сигнал передається на третій вхід вихідного логічного елемента «І» в схемі.

Тривалість команди для автоматичного вмикання вимикача Q4 («Робота АПВ вимикач Q») та відповідної сигналізації («Сигналізація “Робота АПВ”») визначається за допомогою короткочасного імпульсу. Цей імпульс формується за допомогою блоку, що формує вихідний сигнал, який реагує на передній фронт вхідного сигналу « $2T_{\text{УВІМК, Q}}$ », що відповідає подвоєному паспортному часу включення вимикача Q4.

Сигнал c) застосовується для скидання статичної пам'яті SRE, що викликає завершення процесу «автоматичного повторного вмикання».

Сигнал d) забезпечує відновлення схеми після спрацювання блоку затримки «Час дії АПВ» шляхом скидання пам'яті SRE.

Скидання статичної пам'яті SRE (сигнал c) також може здійснюватися через логічний елемент «АБО» при надходженні будь-якого з таких сигналів на його вхід:

- «Команда КУ “Увімкнути” вимикач Q»;
- «Спрацювання основних захистів»;
- «Спрацювання дугового захисту»;
- «Спрацювання пристрою резервування відмови вимикача (ПРВВ)».

Сигнал c) припиняється, якщо на інверсний вхід логічного елемента «АБО» надходить сигнал від зовнішнього дискретного пристрою «Ввід АПВ».

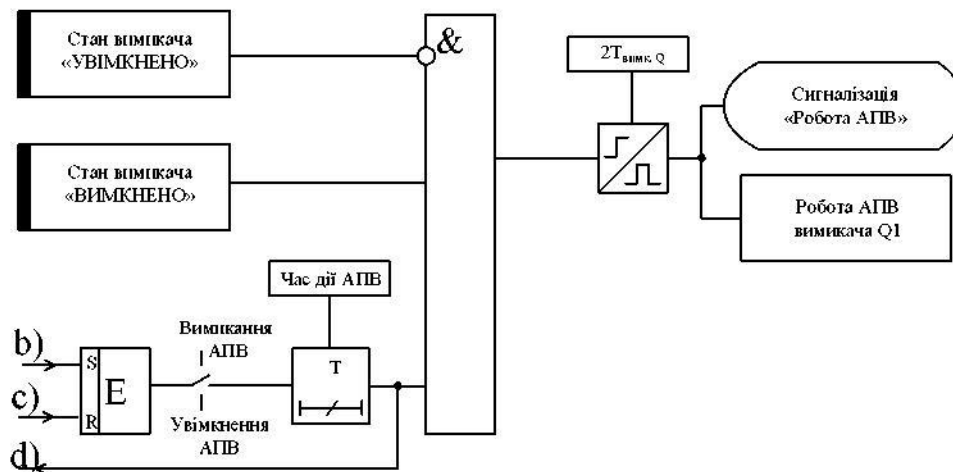


Рис.14.13. Схема генерації сигналу для автоматичного вмикання вимикача

14.6. Реалізація АПВ у разі спрацювання захисту при однофазному замиканні на землю

Розглядається «автоматичне повторне вмикання», яке застосовується для повторного підключення електричної установки до електричної мережі після її відключення через спрацювання захисту від однофазного замикання на землю.

У випадку, якщо під час дії захисту від ОЗЗ і вимкнення вимикача несправність ліквідується самостійно, повторне автоматичне включення вимикача відбудеться успішно. Такий підхід дозволяє підвищити надійність та безперебійність електропостачання особливо важливих споживачів.

АПВ у цьому випадку ініціюється після відключення високовольтного вимикача захистом від однофазного замикання на землю (рис. 14.14) [19, с. 84].

Функція автоматичного повторного вмикання реалізована з одним циклом роботи (одноразова дія). Послідовність дій АПВ виглядає наступним чином.

На першому логічному елементі «І», при наявності інверсного вхідного сигналу, виконується операція кон'юнкції (AND). Це двомісна логічна операція, яка дає результат «істина» лише в разі, якщо всі операнди мають значення «істина».

Це відбувається при одночасному виконанні таких умов:

- спрацювання захисту від однофазного замикання на землю (ОЗЗ);

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		131

- зовнішній дозвіл на активацію АПВ.

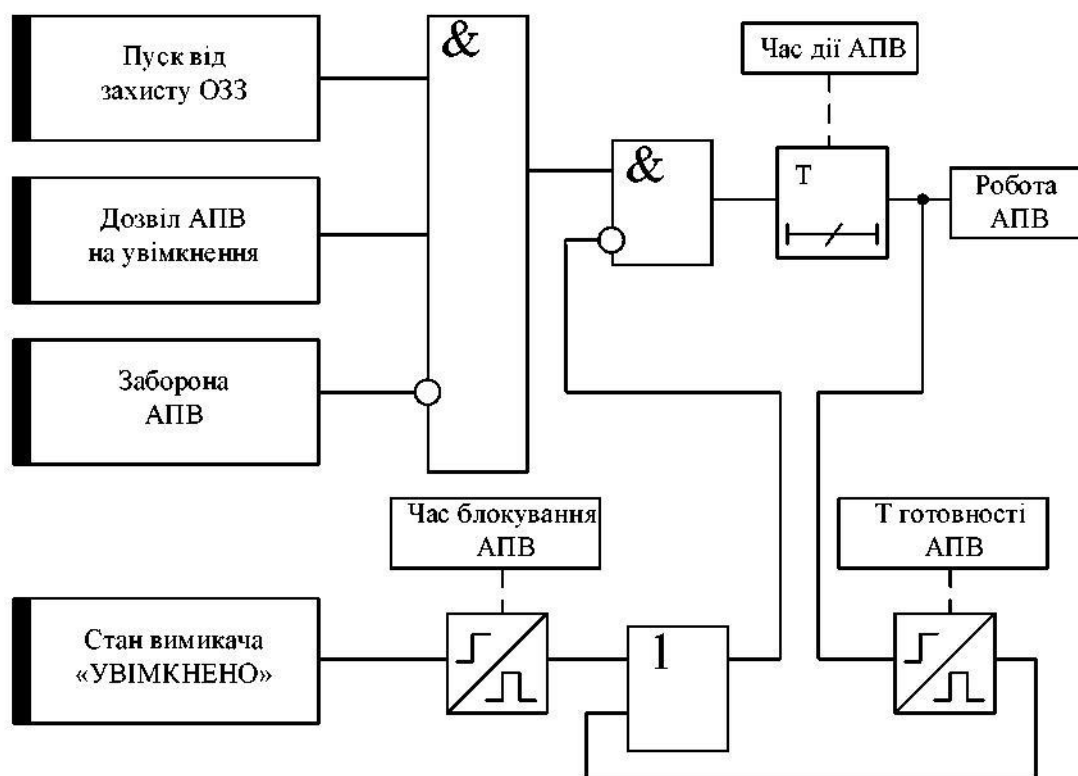


Рис. 14.14. Схема роботи АПВ у випадку однофазного замикання на землю

Якщо на інверсному вході не надходить сигнал про заборону АПВ від інших зовнішніх пристроїв релейного захисту та автоматики електроустановки, то на виході першого логічного елемента «І» генерується сигнал для другого логічного елемента «І».

Другий елемент спрацює лише в тому випадку, якщо на його інверсному вході відсутній сигнал блокування АПВ.

Умови для блокування АПВ формуються через логічний елемент «АБО» – диз'юнкцію (OR). Це двомісна логічна операція, яка повертає значення «істина», якщо хоча б один із операндів має значення «істина». Умови блокування включають:

- стан вимикача «Увімкнена» (еквівалентно реле положення вимикача РПВ «Включено»), щоб уникнути увімкнення вимикача при міжфазному короткому замиканні;

- після увімкнення вимикача від АПВ, для забезпечення одноразової дії АПВ, формуються умови через «Т готовності АПВ», що передбачає вихідний сигнал з тривалістю Т, яка повинна бути більшою за час спрацювання захисту від однофазного замикання на землю (ОЗЗ) плюс час відключення високовольтного вимикача.

Після активації другого логічного елемента «І» та відсутності сигналу блокування АПВ на його інверсному вході, встановлюється затримка для початку передачі сигналу «Час дії АПВ». Цей сигнал ініціює процес «Робота АПВ», який передається до електромагніту увімкнення високовольтного вимикача (ЕВм).

14.7. Автоматичне повторне вмикання трансформатора

Розглядається автоматичне вмикання трансформатора Т2 з боку високої напруги через вимикач Q3 (рис. 14.10).

Запуск автоматичного повторного вмикання трансформатора здійснюється після відключення вимикача Q3, яке може бути викликане спрацюванням максимального струмового захисту (МСЗ) на стороні вищої напруги або самовільним відключенням самого вимикача.

Функція АПВ реалізована як одноразова дія без контролю параметрів (так зване «сліпе» АПВ).

Автоматичне повторне вмикання блокується у таких випадках:

- при спрацюванні пристрою резервування відмови вимикача (ПРВВ);
- під час ручного вимкнення вимикача за допомогою ключа управління;
- при ручному увімкненні з фіксованою затримкою;
- за наявності зовнішнього дискретного сигналу «Заборона АПВ вимикача Q3»;
- у разі виявлення несправності вимикача.

					ДП 2025 141	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		133

Початковим (вихідним) станом функціональної схеми АПВ трансформатора (рис. 14.15) [19, с. 86] є стан, коли вимикач Q3 знаходиться у положенні «Увімкнено». Цей стан фіксується першою статичною пам'яттю (SRE).

Для здійснення контролю за колами керування високовольтного вимикача застосовуються два зовнішніх проміжних реле:

- реле стану вимикача «Увімкнена» (KQC), яке контролює кола його вимикання;
- реле положення «Вимкнена» (KQT), що відповідає за контроль кіл увімкнення вимикача.

Таким чином, коли вимикач перебуває у увімкненому стані, інформація про це – сигнал «Стан вимикача «Увімкнена» – передається у вигляді дискретного сигналу через логічний елемент «І» на першу статичну пам'ять (SRE), а з неї – на перший вхід вихідного логічного елемента «І».

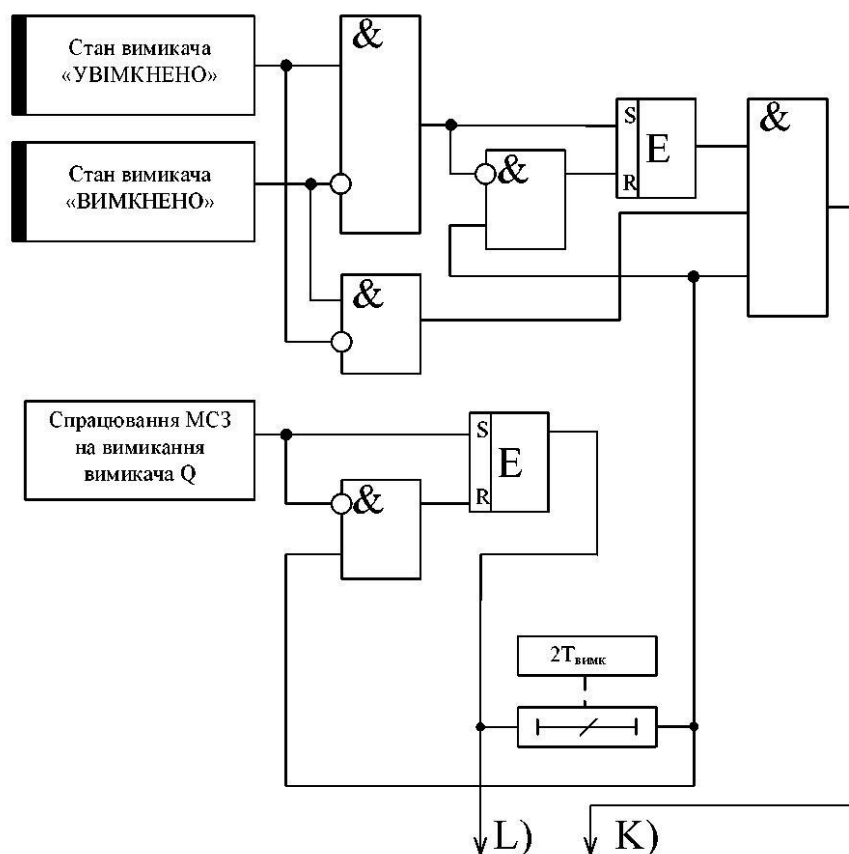


Рис.14.15. Активація АПВ трансформатора за сигналом від захисту

Якщо вимикач знаходиться у вимкненому стані, сигнал «Стан вимикача «Вимкнено»» подається як дискретний сигнал на інверсний вхід логічного елемента «І». Це блокує попередню логічну операцію та, відповідно, запобігає запуску АПВ.

Запуск пристрою автоматичного повторного вмикання відбувається після спрацювання МСЗ, що призводить до вимкнення вимикача Q3. Цей факт фіксується другою статичною пам'яттю (рис. 14.15).

Максимальний струмовий захист, що встановлений на вимикачі Q3, забезпечує резервування від зовнішніх пошкоджень на стороні низької напруги трансформатора (наприклад, на його низьковольтному приєднанні). Якщо захисти приєднання не спрацювали, МСЗ на Q3 активується з урахуванням селективності після встановленої витримки часу.

Коли спрацює МСЗ, через статичну пам'ять SRE генерується команда для вимкнення вимикача Q3, з затримкою, яка дорівнює подвоєному паспортному часу його вимикання («2 T_{ВМК.}»).

Цей сигнал одночасно надходить на:

- друга статична пам'ять SRE – для скидання після завершення дії МСЗ;
- другий вхід вихідного логічного елемента «І» – через додатковий логічний елемент «І», що підтверджує вимкнення вимикача Q3 за допомогою МСЗ («Стан вимикача «Вимкнено»»);
- третій вхід того ж вихідного логічного елемента «І».

Коли всі три сигнали одночасно надходять на входи вихідного логічного елемента «І», формуються сигнали К) та L), які ініціюють подальші дії функціональної схеми АПВ трансформатора (рис. 14.16–14.17) [19, с. 88-89].

Пуск «автоматичного повторного вмикання» трансформатора при самовільному відключенні вимикача Q3 можливий за умови виконання таких критеріїв:

- наявність сигналу з внутрішнього пристрою «Дозвіл на АПВ після самовільного відключення»;

					ДП 2025 141	Арк.
						135
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- збереження у статичній пам'яті SRE сигналу «Стан вимикача «Увімкнена»», отриманого від системи керування вимикачем;
- відсутність сигналу про «Спрацювання основних захистів трансформатора»;
- відсутність команди «Вимкнути» від ключа управління;
- відсутність сигналу про спрацювання МСЗ, який ініціює вимкнення вимикача.

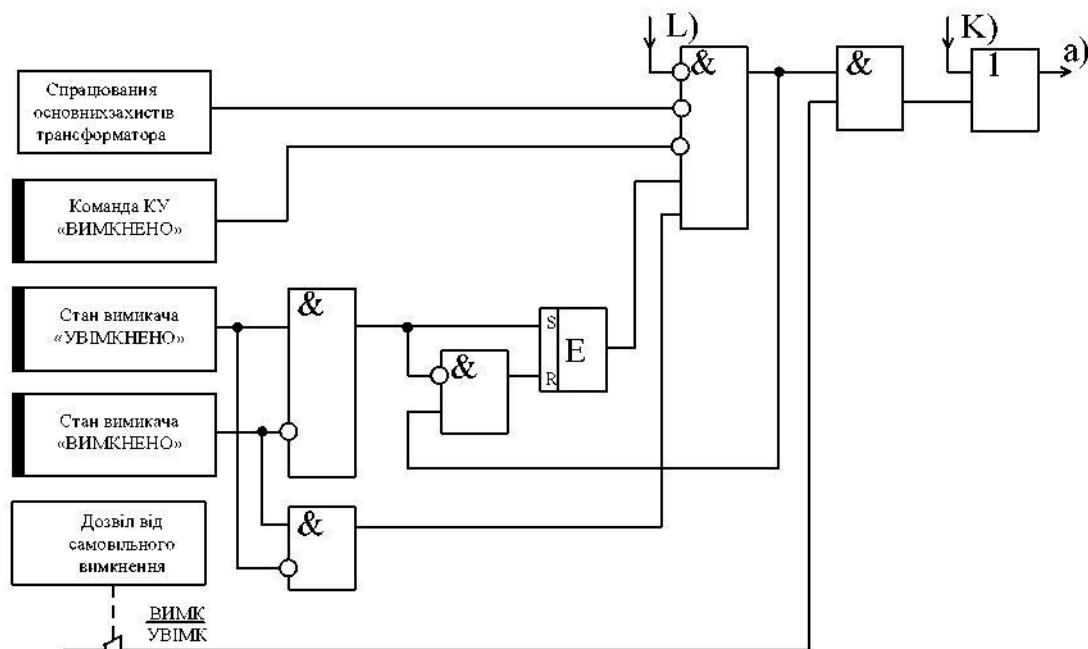


Рис.14.16. Умова дозволу на АПВ трансформатора при самовільному відключенні вимикача

Умови, за яких блокується дія АПВ трансформатора:

- Зовнішній дискретний сигнал від схеми керування вимикачем, зокрема «Команда КУ «Увімкнути» вимикач Q3», разом із записом у статичній пам'яті SRE, передається через елемент формування сигналу з фіксованою тривалістю (по передньому фронту сигналу) на перший вхід вихідного логічного елемента «І». Таймер «Час блокування АПВ при увімкненні вимикача» обмежує дію автоматичного повторного вмикання. Після завершення цього таймеру статична пам'ять SRE скидається.

– Зовнішній дискретний сигнал від схеми управління – «Команда КУ «Вимкнути» вимикач Q3». Цей сигнал перешкоджає роботі АПВ під час ручного вмикання вимикача оператором за допомогою ключа управління.

– Внутрішній логічний сигнал пристрою релейного захисту й автоматики – «Спрацювання основних захистів», таких як газовий захист, диференційний захист, а також струмова відсічка.

– Вхідний логічний сигнал від пристрою резервування відмови вимикача ПРВВ високої напруги (ВН). Такий захист виконує функцію резервного відключення у разі неспрацювання вимикачів на вводах системи шин. У таких випадках використання АПВ вважається недоцільним.

– Вхідний логічний сигнал від пристрою ПРВВ нижчої напруги (НН). Цей пристрій також реалізує резервне вимкнення у разі відмови вимикачів на стороні приєднання шин. Аналогічно, за такої ситуації застосування АПВ недоцільне.

					ДП 2025 141	Арк.
						137
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

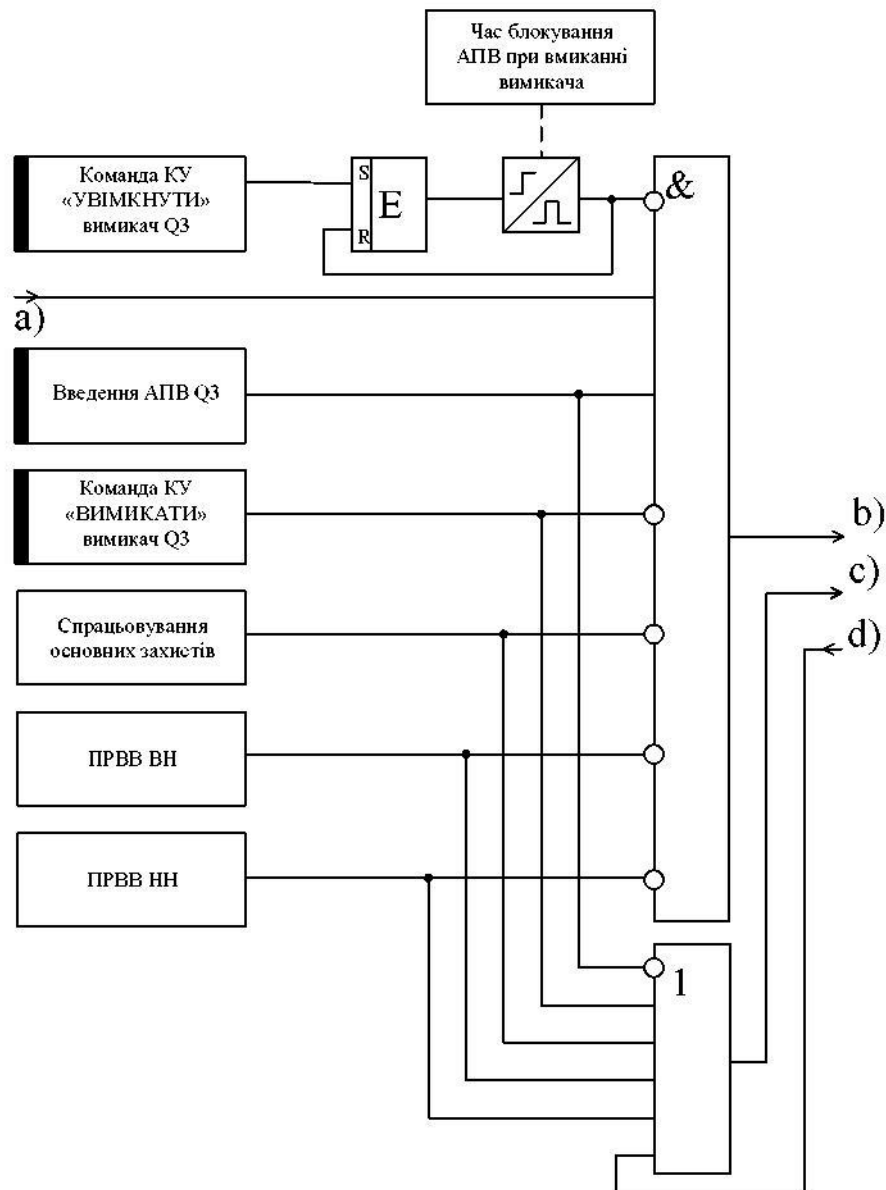


Рис. 14.17. Логіка блокування автоматичного повторного вмикання трансформатора

Вихідні сигнали схеми на рис. 14.17 пов'язані з елементами схеми на рис. 14.18 через кола b), c) і d). Формування сигналу для автоматичного вмикання вимикача (рис. 14.18) виконується вихідним логічним елементом «І».

Розглянемо роботу схеми «автоматичного повторного вмикання» трансформатора, зображеної на рис. 14.18 [19, с. 91].

Зовнішній дискретний сигнал від схеми керування вимикачем, що вказує на «Стан вимикача – увімкнено», запобігає активації автоматичних дій, коли вимикач знаходиться в увімкненому стані. Натомість, сигнал, що інформує про

«Стан вимикача – вимкнено», активує автоматичні дії лише тоді, коли вимикач знаходиться в вимкненому стані.

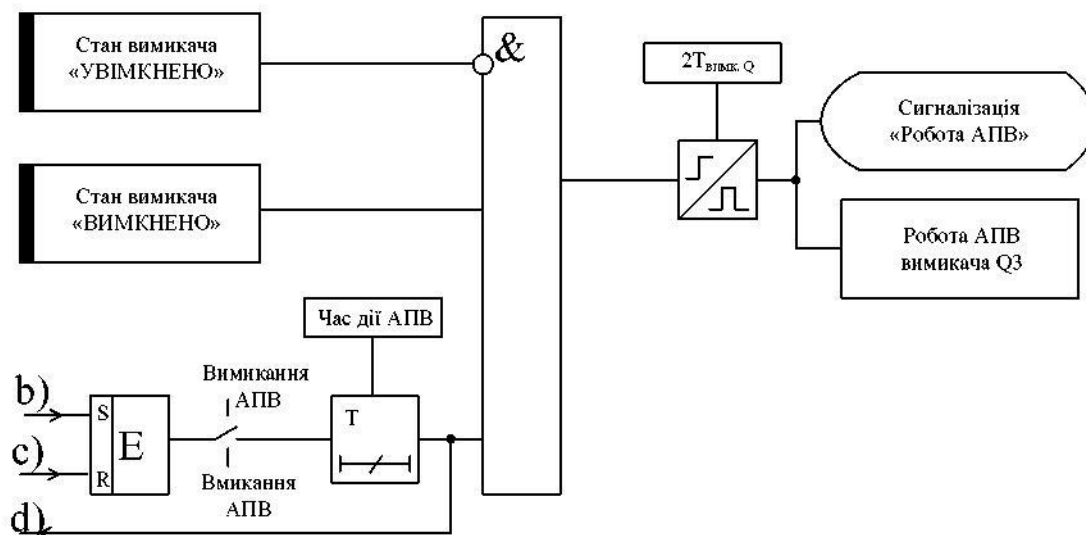


Рис. 14.18. Схема формування сигналу для автоматичного вмикання вимикача трансформатора

Сигнал b), пройшовши через статичну пам'ять SRE та активовану накладку «УВІМК. АПВ», надходить на елемент налаштування, який збільшує тривалість передачі сигналу, що позначений як «Час дії АПВ». Далі цей сигнал передається на третій вхід вихідного логічного елемента «І» у схемі. Тривалість команди для автоматичного увімкнення вимикача Q3, позначена як «Робота АПВ вимикача Q3», а також сигналізація «Сигналізація «Робота АПВ», забезпечується короткочасним сигналом, сформованим елементом вихідного сигналу за переднім фронтом вхідного сигналу $2T_{\text{вмк. Q}}$, що відповідає подвоєному паспортному часу увімкнення вимикача Q3.

Сигнал c) використовується для скидання статичної пам'яті SRE, що призводить до припинення дії АПВ.

Сигнал d) відповідає за повернення схеми до початкового стану після завершення дії елемента «Час дії АПВ» та скидання статичної пам'яті SRE.

Також скидання статичної пам'яті SRE (сигнал c) може відбутися через сигнали, що надходять на вхід логічного елемента «АБО» від різних джерел:

- «Команда КУ «Вимкнути» вимикач Q3»;
- «Спрацювання основних захистів»;
- «Спрацювання дугового захисту»;
- «ПРВВ ВН»;
- «ПРВВ НН».

Дія сигналу с) завершується, коли на інверсний вхід логічного елемента «АБО» подається сигнал від зовнішнього дискретного пристрою «Вхід АПВ Q3».

					ДП 2025 141	Арк.
						140
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електрозабезпечення: Підручник (Модернізований). [Електронний ресурс]. – К.: НУХТ, 2022. – 335 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. Самойленко О. М., Краснов В. В., Січкарьов С. М. Електропостачання промислових об'єктів: навч. посібник. – К: "Каравела", 2020. – 352 с.
4. Бондаренко В.П., Коновалова О.Ю., Семенюк А.М. Електротехнічне забезпечення промислових підприємств: навч. посібник. К: Видавничий центр КНУБА, 2018. – 344 с.
5. Панкратова Н.І., Мельниченко В.П., Коваленко В.В. Електротехнічне забезпечення промислових підприємств: підручник. – Київ: "Слово", 2017. – 376 с.
6. Демченко І.В., Степурко О.І., Буценко Л.В. Енергозбереження на промислових підприємствах: підручник. – Київ: Видавничий центр КНУБА, 2019. – 288 стор.
7. Лисюк О. П., Москаленко В. І., Харитонova Н. М. Енергозбереження на промислових підприємствах: навч. посібник. – К: Видавництво НТУУ "КПІ", 2018. – 312 стор.
8. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 р. № 476.
9. ДБН В .2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К. – Мінрегіон України, 2018 р.
10. «Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. /Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 332 с.

					<i>ДП 2025 141</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Література</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Щербак М.П.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Шпак В.В.</i>					
<i>Реценз.</i>		<i>Якимчук М.В.</i>					
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		<i>Балюта С.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
						141	
					<i>ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого ЕЛ-4-3</i>		

11. Кисельов В.М., Єгоров О.В. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики. – К.: Ліра-К, 2021. – 320 с.
12. Іванов О.О. Мікропроцесорний релейний захист електричних мереж. – Харків: Техніка, 2020. – 290 с.
13. Сафронов П.В. Сучасні методи релейного захисту і автоматики. – Львів: Енергетика, 2022. – 350 с.
14. Технічна колекція Schneider Electric. Випуск №3 – Методика розрахунку захисту Sepam.
15. ГОСТ 13109-97 Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
16. Ковальчук А.О., Гончаров В.С., Кравчук Л.В. Охорона праці на виробництві: навч. посібник. – К: "Каравела", 2020. – 360 с.
17. Білоус Л.І., Красовський П.В., Попов В.І. Охорона праці на виробництві: підручник. – К: "Сфера", 2019. – 416 с.
18. Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем: Підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка /Є.І. Сокол, Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб та ін. – Харків: ФОП Бровін О.В., 2020. – 216 с.
19. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем: Навчальний посібник /В.М. Баженов, М.М. Одегов. – Харків: Планета-Прінт, 2022. – 186 с.
20. https://videx.ua/calculator_lighting.

					ДП 2025 141	Арк.
						142
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		