

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2026 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ
на тему:
«Проектування системи електропостачання ремонтно-
механічного виробничого комплексу
Design of the power supply system for the repair and mechanical
production complex»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-22з
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Руслан ФОШКА
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет ЦЗДО

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ *Петро ПЛЕСШКОВ*

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ *Фошки Руслана Дмитровича*

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Проектування системи електропостачання*

ремонтно-механічного виробничого комплексу

Design of the power supply system for the repair and mechanical production complex

2. Керівник роботи (проекту) *Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор*

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту *02.06.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____

Вступ; Визначення електричних навантажень; Побудова картограми електричних навантажень та визначення місця встановлення ГПП; Обґрунтування вибору напруги та схеми електропостачання підприємства; Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв; Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових ТП; Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного обладнання; Аналіз аварійних режимів в системі електропостачання підприємства та розробка заходів підвищення її надійності; Висновки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>к.т.н., доцент Гарасьова Н.Ю.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	1.05.26	
2	<i>Визначення електричних навантажень</i>	5.05.26	
3	<i>Побудова картограми електричних навантажень та визначення місця встановлення ГПП</i>	8.05.26	
4	<i>Обґрунтування вибору напруги та схеми електропостачання підприємства</i>	15.05.26	
5	<i>Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв</i>	19. 05.26	
6	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових ТП</i>	22.05.26	
7	<i>Розрахунок струмів короткого замикання та вибір високовольтного обладнання</i>	25. 05.26	
8	<i>Аналіз аварійних режимів в системі електропостачання підприємства та розробка заходів підвищення її надійності</i>	27. 05.26	
9	<i>Висновки</i>	30. 05.26	
10	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	01.06.26	
11	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	02.06.26	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 79 с.; 26 рис.; 20 табл.; 8 джерел.

Фошка Р.Д. Проектування системи електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026 рік.

В кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу. Проведено розрахунок електричних навантажень силових та освітлювальних електроприймачів, здійснено вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій, виконано техніко-економічне порівняння варіантів систем електропостачання напругою 10 кВ та 35 кВ, за результатами якого обрано варіант живлення напругою 35 кВ. Розраховано баланс реактивної потужності та підібрано компенсуючі пристрої для підвищення енергоефективності системи електропостачання. Також виконано розрахунок струмів короткого замикання, здійснено вибір комутаційної апаратури, кабельних ліній і силового обладнання.

В спеціальному розділі розглянуто аварійні режими в системах електропостачання промислових підприємств, причини виникнення коротких замикань та сучасні засоби підвищення надійності електропостачання, зокрема мікропроцесорні системи релейного захисту, автоматичне введення резерву та цифрові системи моніторингу.

Ключові слова: система електропостачання, електричне навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, компенсація реактивної потужності, струми короткого замикання, релейний захист, енергоефективність, промислове підприємство.

ABSTRACT

Qualification work: 79 p.; 26 fig.; 20 tables; 8 sources.

Foshka R.D. Design of the power supply system of a repair and mechanical production complex – Manuscript.

Qualification work in the specialty 141 “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”, OPP “Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics”. – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026.

In the qualification work, the design of the power supply system of a repair and mechanical production complex was performed. The electrical loads of power and lighting electrical receivers were calculated, the number and power of transformers of shop substations were selected, a technical and economic comparison of the options for power supply systems with a voltage of 10 kV and 35 kV was performed, according to the results of which the option of power supply with a voltage of 35 kV was selected. The reactive power balance was calculated and compensating devices were selected to increase the energy efficiency of the power supply system. Short-circuit currents were also calculated, switching equipment, cable lines and power equipment were selected.

A special section considers emergency modes in power supply systems of industrial enterprises, the causes of short circuits and modern means of increasing the reliability of power supply, in particular microprocessor relay protection systems, automatic input of reserve and digital monitoring systems.

Keywords: power supply system, electrical load, transformer substation, reactive power, reactive power compensation, short-circuit currents, relay protection, energy efficiency, industrial enterprise.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1. Визначення силових електричних навантажень в електричній мережі до 1000 В.....	8
1.2. Визначення освітлювальних навантажень.....	9
1.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах понад 1000 В	10
1.4. Побудова графіків електричних навантажень підприємства	20
2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ГПП	24
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПРУГИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	26
4 РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	30
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	30
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих установок	33
5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП	34
6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	36
6.1 Розрахунок струмів короткого замикання	36
6.2 Вибір високовольтного обладнання і мереж	38
7 АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ НАДІЙНОСТІ	44
7.1 Аналіз ненормальних режимів роботи генераторів і трансформаторного обладнання	44
7.2 Причини виникнення коротких замикань у системах електропостачання	47
7.3 Вплив струмів короткого замикання на елементи систем електропостачання.....	55

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА				
Розроб	Фошка Р.Д.				Проектування системи електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Плєшков П.Г								
Н.контр.									
Затв.	Плєшков П.Г								
						ЦНТУ, зр.ЕЕ-22з			

7.4	Визначення місця короткого замикання та моніторинг повітряних ліній електропередач	62
7.5	Засоби забезпечення надійної роботи енергетичної системи	63
	ВИСНОВКИ.....	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні промислові підприємства характеризуються високим рівнем енергоємності технологічних процесів та значною концентрацією електричних навантажень. Надійність, економічність та безпека роботи виробничого обладнання значною мірою залежать від ефективності системи електропостачання, яка забезпечує передачу та розподіл електричної енергії між окремими споживачами підприємства. Особливо важливого значення це набуває для ремонтно-механічних виробничих комплексів, де одночасно працює велика кількість силових електроприймачів, вантажопідіймального обладнання, зварювальних установок, металообробних верстатів та систем освітлення.

Проектування систем електропостачання промислових об'єктів потребує комплексного врахування режимів роботи електричних мереж, характеру навантаження, вимог до надійності живлення та показників якості електроенергії. Під час створення сучасних систем електропостачання важливими є питання раціонального вибору кількості й потужності трансформаторів, визначення електричних навантажень, компенсації реактивної потужності, вибору комутаційної апаратури та забезпечення стійкої роботи електрообладнання в аварійних режимах.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення енергоефективності промислових підприємств, зниження втрат електроенергії та забезпечення надійного електропостачання виробничих споживачів. В умовах розвитку цифрових технологій, автоматизованих систем керування та Smart Grid-рішень особливої уваги потребує модернізація систем електропостачання та впровадження сучасних засобів контролю, релейного захисту і моніторингу режимів роботи мереж. Значна увага також приділяється аналізу аварійних режимів, струмів короткого замикання та засобам підвищення надійності електропостачання підприємства.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Визначення силових електричних навантажень в електричній мережі до 1000 В.

Розрахунок електричних навантажень у мережах напругою до 1000 В виконується методом впорядкованих діаграм навантаження.

Для оброблювальних CNC-центрів встановлена потужність становить:

$$P_H = 1707,38 \text{ кВт}$$

Середнє активне навантаження приймача визначається за формулою:

$$P_{зм} = P_H \cdot K_B = 1707,38 \cdot 0,15 = 256,11 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт потужності для даного електроприймача дорівнює:

$$\cos \varphi = 0,5$$

Тоді $\tan \varphi$ кута зсуву фаз становить:

$$\tan \varphi = 1,7$$

Середнє реактивне навантаження визначається за виразом:

$$Q_{см} = P_{зм} \cdot \tan \varphi = 256,11 \cdot 1,7 = 435,38 \text{ квар}$$

Для токарних верстатів з ЧПК середнє активне навантаження дорівнює:

$$P_{зм} = 3759,05 \cdot 0,4 = 1503,62 \text{ кВт}$$

Середнє реактивне навантаження токарних верстатів становить:

$$Q_{зм} = 1503,62 \cdot 1,02 = 1534,00 \text{ квар}$$

Сумарне середнє активне навантаження механоскладального комплексу визначається як сума навантажень усіх електроприймачів:

$$P_{зм.ц} = 256,11 + 1503,62 + 563,02 + 447,44 + 879,70 + 176,42 + 63,50 + 52,84 = 3942,66 \text{ кВт}$$

Сумарне середнє реактивне навантаження цеху становить:

$$Q_{зм.ц} = 435,38 + 1534,00 + 658,66 + 394,16 + 0 + 155,39 + 64,51 + 40,13 = 3282,24 \text{ квар}$$

Ефективна кількість електроприймачів:

$$n_e = 2 \cdot \frac{\sum P_H}{P_{H,max}} = 2 \cdot \frac{10323,97}{90} = 229,42$$

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для механоскладального комплексу коефіцієнт максимуму приймається $K_M=1,07$

Розрахункове активне навантаження цеху порахуємо за формулою:

$$P_p = P_{см.ц} \cdot K_M = 3942,66 \cdot 1,07 = 4218,64 \text{ кВт}$$

Оскільки $n_e > 10$, розрахункове реактивне навантаження приймається рівним середньому

$$Q_p = Q_{см.ц} = 3282,24 \text{ квар}$$

Повна розрахункова потужність механоскладального комплексу становить:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{4218,64^2 + 3282,24^2} = 5345,0 \text{ кВА}$$

Розрахунок по іншим цехам представлено в таблиці 1.1.

Отримані результати використовуються для розрахунку навантажень вище 1000 В та вибору силових трансформаторів, комутаційної апаратури, кабельних ліній системи електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу.

1.2 Визначення освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювального навантаження виконується за питомою потужністю освітлення, яка припадає на 1 м² площі приміщення.

Встановлена потужність освітлювальних електроприймачів визначається так:

$$P_B = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 27640 \cdot 15,6 \cdot 10^{-3} = 431,18 \text{ кВт}$$

де $F=27640 \text{ м}^2$ - площа механоскладального корпусу; $p_0=15,6 \text{ Вт/м}^2$ - питома потужність освітлення.

Розрахункове активне освітлювальне навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта попиту та поправочного коефіцієнта:

$$P_p = K_1 \cdot P_{вст} \cdot K_{п} = 1,12 \cdot 431,18 \cdot 0,9 = 434,63 \text{ кВт}$$

Для люмінесцентних світильників приймається коефіцієнт потужності:
 $\cos\varphi=0,5$

					Арк. 9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Тангенс кута зсуву фаз визначається за коефіцієнтом потужності:

$$\operatorname{tg} \varphi = \tan(\arccos 0,5) = 1,73$$

Розрахункове реактивне освітлювальне навантаження становить:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 434,63 \cdot 1,73 = 752,81 \text{ квар}$$

Розрахунок освітлювальних навантажень по цехам виконано в таблиці 1.2.

1.3 Розрахунок електричних навантажень в силових мережах понад 1000 В.

Розрахунок навантажень у мережах понад 1000 В виконують шляхом підсумовування силових, освітлювальних навантажень і втрат у трансформаторах.

Середнє активне силове навантаження ТП-5 визначаємо як суму навантажень корпусів:

$$P_{\text{ср.сил}} = 272,246 + 44,704 + 56,174 = 373,124 \text{ кВт}$$

Середнє реактивне силове навантаження дорівнює:

$$Q_{\text{ср.сил}} = 297,908 + 44,988 + 48,525 = 391,421 \text{ квар}$$

Ефективна кількість електроприймачів для ТП-5 становить:

$$n_e = 2 \cdot \frac{\sum P_n}{P_{n.\max}} = 2 \cdot \frac{1805,65}{65} = 55,56$$

Розрахункове активне силове навантаження визначаємо з урахуванням коефіцієнта максимуму:

$$P_{\text{р.сил}} = P_{\text{ср.сил}} \cdot K_m = 373,124 \cdot 1,2 = 447,748 \text{ кВт}$$

Оскільки $n_e > 10$, реактивне навантаження приймаємо рівним середньому:

$$Q_{\text{р.сил}} = Q_{\text{ср.сил}} = 391,421 \text{ квар}$$

Розрахункове активне освітлювальне навантаження ТП-5 знаходимо додаванням навантажень освітлення:

$$P_{\text{р.осв}} = 79,450 + 6,872 + 19,181 = 105,503 \text{ кВт}$$

Реактивна складова освітлювального навантаження дорівнює:

$$Q_{\text{р.осв}} = 137,612 + 3,328 + 9,290 = 150,230 \text{ квар}$$

Загальне активне навантаження ТП-5 без урахування втрат у трансформаторі:

					Арк. 10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$P_p = 447,748 + 105,503 = 553,252 \text{ кВт}$$

Загальне реактивне навантаження ТП-5 без урахування втрат:

$$Q_p = 391,421 + 150,230 = 541,651 \text{ квар}$$

Повна потужність ТП-5 до врахування трансформаторних втрат:

$$S_p = \sqrt{553,252^2 + 541,651^2} = 774,27 \text{ кВА}$$

Втрати активної потужності в трансформаторі ТП-5:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 15,49 \text{ кВт}$$

Втрати реактивної потужності в трансформаторі становлять:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 77,43 \text{ квар}$$

Активне навантаження на шинах 10 кВ ТП-5:

$$P_{10} = 553,252 + 15,49 = 568,742 \text{ кВт}$$

Реактивне навантаження на шинах 10 кВ ТП-5:

$$Q_{10} = 541,651 + 77,43 = 619,081 \text{ квар}$$

Повна потужність на шинах 10 кВ ТП-5:

$$S_{10} = \sqrt{568,742^2 + 619,081^2} = 840,67 \text{ кВА}$$

Потужності по решті ТП розраховані в таблиці 1.3.

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Визначення силових навантажень до 1000 В

№ п/п	Найменування обладнання	п	Рн, кВт		Кв	Cos	tg	Середнє		пe	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рсер	Qсер			Рр	Qр	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<i>Механоскладальний комплекс</i>													
1	Оброблювальні CNC-центри	165	4,5-90	1707,38	0,15	0,5	1,7	256,1	435,4					
2	Токарні верстати з ЧПК	175	20-28	3759,05	0,4	0,7	1,02	1504	1534					
3	Гідравлічні преси	68	10,5-40	1608,62	0,35	0,65	1,17	563	658,2					
4	Роботизовані конвеєрні лінії	75	11,5-40	1065,34	0,42	0,75	0,88	447,4	394,6					
5	Індукційні термічні установки	30	10,0-80	1570,9	0,56	1	0	879,7	0					
6	Системи промислової вентиляції	18	20	304,18	0,58	0,75	0,88	176,4	155,6					
7	Насосні агрегати	14	10	138,05	0,46	0,7	1,02	63,5	64,79					
8	Кран-балки	10	20	170,45	0,31	0,8	0,75	52,84	39,63					
	Всього по механоскладальному комплексу	555	4,5-90	10323,97	0,382	0,77	0,83	3943	3282	229	1,07	4219	3282	5345
	<i>Сервісно-побутовий блок</i>													
1	Автоматизовані мийні комплекси	12	15	147,93	0,27	0,7	1,02	39,94	40,75					
2	Кліматичні установки	6	2,0-10	38,38	0,57	0,8	0,75	21,88	16,41					
3	Допоміжне електрообладнання	28	1,0-15	179,64	0,26	0,6	1,33	46,71	62,28					
	Всього по сервісно-побутовому блоку	46	1,0-15	365,95	0,297	0,67	1,1	108,5	119,4	48,8	1,23	133,5	119,4	179,1
	<i>Інженерно-технічний центр</i>													
1	Вентиляційні модулі	8	10	66,34	0,49	0,8	0,75	32,51	24,38					
2	Офісно-технічне обладнання	45	1,0-5	112,7	0,21	0,7	1,02	23,67	24,15					
	Всього по інженерно-технічному центру	53	1,0-10	179,04	0,314	0,76	0,86	56,17	48,53	35,8	1,28	71,9	48,53	86,74
	<i>Діагностична лабораторія</i>													
1	Випробувальні стенди	10	1,0-15	86,19	0,17	0,65	1,17	14,65	17,13					
2	Локальні витяжні системи	5	5	21,16	0,49	0,8	0,75	10,37	7,776					
3	Контрольно-вимірювальні прилади	30	1,0-10	85,58	0,23	0,7	1,02	19,68	20,08					
	Всього по діагностичній лабораторії	45	1,0-15	192,93	0,232	0,7	1,01	44,7	44,99	25,7	1,35	60,35	44,99	75,27

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<i>Допоміжний ремонтно-інструментальний корпус</i>													
1	Універсальні ремонтні верстати з ЧПК	98	2,0-65	1178,18	0,17	0,66	1,14	200,3	228					
2	Фарбувально-сушильні пости	9	7,0-18	94,62	0,21	0,8	0,75	19,87	14,9					
3	Рольгангові транспортери	6	7,0-22	84,03	0,19	0,62	1,27	15,97	20,2					
4	Циркуляційні насосні агрегати	14	5,0-12	76,85	0,47	0,72	0,96	36,12	34,81					
Всього по допоміжному корпусу		127	2,0-65	1433,68	0,19	0,67	1,09	272,2	297,9	44,1	1,24	337,6	297,9	450,2
	<i>Сервісний транспортний бокс</i>													
1	Автоматизовані мийні пости	4	15	53,62	0,26	0,72	0,96	13,94	13,44					
2	Зарядно-підігрівальні модулі	3	10	27,42	0,45	1	0	12,34	0					
3	Стенди діагностики електроінструменту	7	1,0-10	33,29	0,21	0,7	1,02	6,991	7,132					
Всього по сервісному боксу		14	1,0-15	114,33	0,291	0,85	0,62	33,27	20,57	15,2	1,55	51,57	20,57	55,52
	<i>Склад запасних частин і матеріалів</i>													
Всього по складу запасних частин		35	0,5-19	147,64	0,29	0,82	0,7	42,82	29,89	15,5	1,41	60,37	29,89	67,36
	<i>Кафетерій персоналу №1</i>													
1	Обладнання кафетерію	26	4,0-40	493,23	0,33	0,62	1,27	162,8	206	24,7	1,24	201,8	206	288,4
	<i>Модуль теплопостачання</i>													
1	Мережеві насосні агрегати	5	40-160	375,38	0,63	0,82	0,7	236,5	165,1					
2	Димососні установки	2	55	103,16	0,63	0,82	0,7	64,99	45,36					
3	Пальникові вентилятори	2	75	77,29	0,66	0,82	0,7	51,01	35,61					
4	Паливopодаючі насоси	2	22	43,59	0,64	0,82	0,7	27,9	19,47					
5	Конденсатні насосні агрегати	2	15	20,47	0,65	0,82	0,7	13,31	9,287					
6	Автоматизовані щити керування	3	15	32,29	0,65	0,82	0,7	20,99	14,65					
Всього по модулю теплопостачання		16	1,0-160	652,18	0,636	0,82	0,7	414,7	289,5	8,15	1,2	497,6	289,5	575,7
	<i>Ремонтно-будівельна дільниця</i>													
1	Форматно-розкрійні верстати	18	2,0-15	152,31	0,32	0,7	1,02	48,74	49,72					
2	Універсальні металообробні верстати	16	1,0-22	209,71	0,24	0,62	1,27	50,33	63,69					
3	Мостові та консольні крани	3	20	41,46	0,3	0,8	0,75	12,44	9,329					
4	Будівельні розчинозмішувачі	6	10	50,32	0,36	0,72	0,96	18,12	17,46					
5	Аспіраційні вентилятори	3	10	23,84	0,55	0,76	0,86	13,11	11,21					
Всього по ремонтно-будівельній дільниці		46	1,0-22	477,64	0,299	0,69	1,06	142,7	151,4	43,4	1,16	165,6	151,4	224,4

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	4,5	5,63	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<i>Ковальсько-зварювальна діляниця з енергоблоком</i>													
1	Гідравлічні кувальні преси	11	35	345,8	0,3	0,66	1,14	103,7	118,1					
2	Штампувальні комплекси	6	22	117,83	0,33	0,7	1,02	38,88	39,67					
3	Подаючі транспортери	3	11	28	0,26	0,72	0,96	7,28	7,017					
4	Роботизовані зварювальні пости	6	14	82	0,36	0,62	1,27	29,52	37,36					
5	Вентиляційні агрегати кузні	3	10	24	0,58	0,76	0,86	13,92	11,9					
Всього по ковальсько-зварювальній ділянці		29	10,0-35	597,63	0,324	0,67	1,11	193,3	214	34,2	1,25	241,7	214	322,8
	<i>Корпус точного механічного складання</i>													
1	Роботизовані ливарні машини	80	5,0-44	2100	0,36	0,52	1,64	756	1242					
2	Ливарні автомати малої серії	62	1,0-22	910	0,15	0,52	1,64	136,5	224,2					
3	Намотувальні станції	58	5,0-60	2080	0,25	0,66	1,14	520	591,9					
4	Різьбонарізні та фрезерні центри	36	80	2880	0,15	0,66	1,14	432	491,7					
5	Складальні конвеєрні лінії	18	10,0-25	390	0,26	0,72	0,96	101,4	97,73					
6	Гальванічні ванни з автоматикою	12	1,0-280	980	0,18	0,66	1,14	176,4	200,8					
7	Автоматизовані зварювальні комплекси	26	5,0-30	510	0,34	0,62	1,27	173,4	219,4					
8	Системи припливно-витяжної вентиляції	11	5,0-10	75	0,58	0,8	0,75	43,5	32,63					
Всього по корпусу точного механічного складання		303	1,0-280	9925	0,236	0,6	1,33	2339	3100	70,9	1,16	2713	3100	4120
	<i>Кафетерій персоналу №2</i>													
1	Технологічне обладнання кафетерію	26	4,0-40	540	0,34	0,62	1,27	183,6	232,3	27	1,24	227,7	232,3	325,3
	<i>Офісно-адміністративний блок</i>													
Всього по офісно-адміністративному блоку		48	0,5-5	195	0,34	0,72	0,96	66,3	63,9	78	1,16	76,91	63,9	99,99
ВСЬОГО ПО РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНОМУ КОМПЛЕКСУ		1369	0,5-280	25638,22	0,312	0,7	1,01	8003	8101	183	1,08	8643	8101	11846

Таблиця 1.2 – Визначення освітлювальних навантажень

№	Найменування	F, м2	p0, Вт/м2	Py, кВт	Kc	K1	cos j	tg j	Pp, кВт	Qp, квар
1	Механоскладальний корпус	27640,00	15,60	431,18	0,90	1,12	0,50	1,73	434,63	752,81
2	Сервісно-побутовий блок	1315,00	17,40	22,88	0,90	1,20	0,90	0,48	24,71	11,97
3	Інженерно-технічний центр	925,00	19,20	17,76	0,90	1,20	0,90	0,48	19,18	9,29
4	Діагностична лабораторія	328,00	19,40	6,36	0,90	1,20	0,90	0,48	6,87	3,33
5	Допоміжний ремонтно-інструментальний	6520,00	13,60	88,67	0,80	1,12	0,50	1,73	79,45	137,61
6	Сервісний транспортний бокс	548,00	9,70	5,32	0,70	1,00	1,00	0,00	3,72	0,00
7	Склад запасних частин і матеріалів	742,00	5,80	4,30	0,60	1,00	1,00	0,00	2,58	0,00
8	Кафетерій персоналу №1	945,00	11,60	10,96	0,85	1,20	0,90	0,48	11,18	5,42
9	Модуль теплопостачання	792,00	7,70	6,10	0,60	1,12	0,50	1,73	4,10	7,10
10	Ремонтно-будівельна діляниця	815,00	15,40	12,55	0,80	1,12	0,50	1,73	11,25	19,48
11	Ковальсько-зварювальна діляниця з екс	552,00	13,50	7,45	0,80	1,12	0,50	1,73	6,68	11,56
12	Корпус точного механічного складання	15880,00	15,50	246,14	0,90	1,12	0,50	1,73	248,11	429,74
13	Кафетерій персоналу №2	1005,00	11,50	11,56	0,85	1,20	0,90	0,48	11,79	5,71
14	Офісно-адміністративний блок	2385,00	19,10	45,55	0,90	1,20	0,90	0,48	49,20	23,83
15	Територія заводу	252000,00	0,19	47,88	1,00	1,12	0,50	1,73	53,63	92,88
	Всього по заводу								967,07	1510,72

Таблиця 1.3 – Визначення електричних навантажень вище 1000 В

№ п/п	Найменування обладнання	n	Рн, кВт		Кв	Cos	tg	Середнє		ne	Км	Розрахункове		
			Одного	Сумарна				Рсер	Qсер			Pp	Qp	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТП 1,2,3,4														
	<i>Механоскладальний комплекс</i>													
	Силове	555	4,5-90	10324	0,3819	0,76854	0,832	3942,66	3282,24	229,4	1,07	4218,644	3282,236	
	Освітлювальне							431,184	746,833			434,6	752,8	
	Всього по комплексу							4373,8	4029,1			4653,3	4035,0	6159,1
	<i>Сервісно-побутовий блок</i>													
	Силове	46	1,0-15	365,95	0,2966	0,67251	1,1	108,524	119,431	48,79	1,23	133,4846	119,4307	
	Освітлювальне							22,881	11,0818			24,71148	11,96832	
	Всього по блоку							131,4	130,5			158,2	131,4	205,65
	<i>Сервісний транспортний бокс</i>													
	Силове	14	1,0-15	114,33	0,291	0,85057	0,618	33,27	20,57	15,24	1,55	51,6	20,6	
	Освітлювальне							5,3156	0			3,7	0,0	
	Всього по боксу							38,6	20,6			55,3	20,6	58,99
	<i>Склад запасних частин і матеріалів</i>													
	Силове	35	0,5-19	147,64	0,29	0,82	0,698	42,82	29,89	15,54	1,41	60,37	29,89	
	Освітлювальне							4,3036	0			2,6	0,0	
	Всього по складу							47,1	29,9			63,0	29,9	69,69
	<i>Кафетерій персоналу №1</i>													
	Силове	26	4,0-40	493,23	0,33	0,62	1,265	162,77	205,98	24,66	1,24	201,83	205,98	
	Освітлювальне							10,96	5,31			11,18	5,42	
	Всього по кафетерію							173,73	211,29			213,01	211,39	300,101

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Всього по ТП 1,2,3,4													
	Силове	676	1,0-90	11445	0,3748	0,76093	0,853	4290,03	3658,1	254,3	1,05	4504,536	3658,099	
	Освітлювальне							474,6	763,2			476,83	770,19	
	Всього по ТП 1,2,3,4							4764,7	4421,3			4981,365	4428,29	6665,11
	Втрати в тр-рах (8х1000 кВА)											133,3	666,5	
	Комп. Пристрої 0,4 кВ											0	-2700	
	Всього на шинах 10 кВ ТП1,2,3,4											5114,665	2394,79	5647,55
	ТП 5													
	<i>Допоміжний ремонтно-інструментальний корпус</i>													
	Силове	127	2,0-65	1433,7	0,1899	0,6746	1,094	272,2	297,9	44,11	1,24	337,6	297,9	
	Освітлювальне							88,7	153,6			79,5	137,6	
	Всього по корпусу							360,9	451,5			417,0	435,5	602,99
	<i>Діагностична лабораторія</i>													
	Силове	45	1,0-15	192,93	0,2317	0,70487	1,006	44,7	45,0	25,72	1,35	60,4	45,0	
	Освітлювальне							6,4	3,1			6,9	3,3	
	Всього по лабораторії							51,1	48,1			67,2	48,3	82,79
	<i>Інженерно-технічний центр</i>													
	Силове	53	1,0-10	179,04	0,3137	0,75675	0,864	56,17	48,53	35,81	1,28	71,90	48,53	
	Освітлювальне							17,8	8,6			19,2	9,3	
	Всього по центру							73,9	57,1			91,1	57,8	107,883
	Всього по ТП 5													
	Силове	225	1,0-65	1805,7	0,2066	0,68999	1,05	373,12	391,421	55,56	1,2	447,75	391,42	
	Освітлювальне							112,795	165,268			105,5	150,2	
	Всього по ТП 5							485,9	556,7			553,3	541,7	774,26
	Втрати в тр-рах (1х1000 кВА)											15,5	77,4	
	Комп. Пристрої 0,4 кВ												-300,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП5											568,7	319,1	652,13

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ТП 6													
	<i>Модуль теплопостачання</i>													
	Силове	16	1,0-160	652,18	0,6358	0,82	0,698	414,683	289,451	8,152	1,2	497,6	289,5	
	Освітлювальне							6,0984	10,5627			4,1	7,1	
	Всього по модулю							420,8	300,0			501,7	296,5	582,805
	<i>Ремонтно-будівельна ділянка</i>													
	Силове	46	1,0-22	477,64	0,2988	0,68593	1,061	142,735	151,418	43,42	1,16	165,6	151,4	
	Освітлювальне							12,551	21,739			11,2	19,5	
	Всього по ділянці							155,3	173,2			176,8	170,9	245,907
	<i>Ковальсько-зварювальна ділянка з енергоблоком</i>													
	Силове	29	10,0-35	597,63	0,3235	0,67033	1,107	193,3	214,0	34,15	1,25	241,7	214,0	
	Освітлювальне							7,5	12,9			6,7	11,6	
	Всього по цеху							200,8	226,9			248,4	225,6	335,523
	<i>Освітлення території</i>							47,9	82,9			53,6	92,9	107,251
	Всього по ТП 6													
	Силове	91	1,0-160	1727	0,43	0,75	0,87	750,8	654,9	22	1,19	893,4	654,9	
	Освітлювальне							73,9814	128,14			75,6	131,0	
	Всього по ТП 6							824,7	783,0			969,1	785,9	1247,69
	Втрати в тр-рах (2*1000 кВА)											25,0	124,8	
	Комп. Пристрої 0,4 кВ												-600,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП6											994,0	310,7	1041,43
	ТП 7, 8													
	<i>Корпус точного механічного складання</i>													
	Силове	303	1,0-280	9925	0,2357	0,6023	1,33	2339,2	3100,3	70,89	1,16	2713,472	3100,277	
	Освітлювальне							246,14	426,3			248,1091	429,7376	
	Всього по корпусу							2585,3	3526,6			2961,6	3530,0	4607,82

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Кафетерій персоналу №2													
	Силове	26	4,0-40	540	0,34	0,62	1,265	183,60	232,34	27	1,24	227,66	232,34	
	Освітлювальне							11,56	5,60			11,79	5,71	
	Всього по кафетерію							195,16	237,94			239,45	238,05	337,65
	Офісно-адміністративний блок													
	Силове	48	0,5-5	195	0,34	0,72	0,964	66,30	63,90	78	1,16	76,91	63,90	
	Освітлювальне							45,55	22,06			49,20	23,83	
	Всього по корпусу							111,9	86,0			126,11	87,73	153,62
	Всього по ТП 7, 8													
	Силове	377	1,0-280	10660	0,24	0,61	1,31	2589,1	3396,5	76	1,12	2899,8	3396,5	
	Освітлювальне							303,3	454,0			309,1	459,3	
	Всього по ТП 7, 8							2892,4	3850,5			3208,9	3855,8	5016,39
	Втрати в тр-рах (4*1000 кВА)											100,3	501,6	
	Комп. Пристрої 0,4 кВ												-3300,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП 7,8											3309,2	1057,4	3474,06
	ВСЬОГО ПО ЗАВОДУ													
	Силове	1369	0,5-280	25638	0,3122	0,70279	1,012	8003,02	8100,9	183,1	1,08	8643,26	8100,95	11846,2
	Освітлювальне							964,7	1510,6			967,1	1510,7	
	Всього											9610,3	9611,7	13592
	Втрати в трансформаторах (15*1000 кВА)											150,8	930,2	
	Комп. Пристрої 0,4 кВ											0,0	0,0	
	ВСЬОГО ПО ЗАВОДУ											9761,1	10541,9	14367
	Комп. Пристрої 10 кВ											0,0	0,0	
	БСК												-9100,0	
	Всього на шинах 10 кВ ГПП											9761,136	1441,9	9867

1.4 Побудова графіків електричних навантажень підприємства

Для оцінки режимів роботи системи електропостачання підприємства будують добові та річні графіки електричних навантажень. Такі графіки формуються на основі експлуатаційних даних підприємства з урахуванням сезонних особливостей роботи, а також кількості робочих і вихідних днів протягом року.

Добові графіки навантаження складаються окремо для зимового та літнього періодів. На їх основі визначають максимальні та мінімальні значення потужності, а також оцінюють допустимі режими роботи силових трансформаторів і рівні напруги в електричній мережі.

Під час розрахунків приймається така кількість днів роботи підприємства:

- в зимовий період робочих днів - 147;
- в літній період робочих днів - 105;
- вихідних днів взимку - 65;
- вихідних днів влітку - 48.

Побудову добових і річних графіків електричних навантажень виконано за допомогою програмного середовища Microsoft Excel та Grafik.exe.

Таблиця 1.4 – Погодинні значення навантажень для побудови добових та річного графіків електричних навантажень.

№	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	Р, кВт	Q, кВАр	S, кВА	Р, кВт	Q, кВАр	S, кВА	Р, кВт	Q, кВАр	S, кВА	Р, кВт	Q, кВАр	S, кВА
1	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
2	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
3	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
4	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
5	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
6	3904	649	3958	3709	865	3809	3319	552	3365	3153	735	3238
7	6833	937	6897	3709	865	3809	5808	797	5862	3153	735	3238
8	9761	1081	9821	3709	865	3809	8297	919	8348	3153	735	3238
9	9761	1442	9867	2635	721	2732	8297	1226	8387	2240	613	2322
10	9761	1442	9867	2635	721	2732	8297	1226	8387	2240	613	2322
11	8785	1081	8851	2635	721	2732	7467	919	7523	2240	613	2322
12	7809	937	7865	2635	721	2732	6638	797	6686	2240	613	2322
13	8785	1081	8851	2635	721	2732	7467	919	7523	2240	613	2322
14	8785	1081	8851	2635	721	2732	7467	919	7523	2240	613	2322
15	9761	1154	9829	2635	721	2732	8297	980	8355	2240	613	2322
16	9761	1154	9829	2635	721	2732	8297	980	8355	2240	613	2322

17	8785	1081	8851	2635	721	2732	7467	919	7523	2240	613	2322
18	7809	937	7865	3709	865	3809	6638	797	6686	3153	735	3238
19	5857	721	5901	3709	865	3809	4978	613	5016	3153	735	3238
20	5857	721	5901	3709	865	3809	4978	613	5016	3153	735	3238
21	4881	649	4924	3709	865	3809	4148	552	4185	3153	735	3238
22	4881	649	4924	3709	865	3809	4148	552	4185	3153	735	3238
23	4881	649	4924	3709	865	3809	4148	552	4185	3153	735	3238
24	3904	606	3951	3709	865	3809	3319	515	3359	3153	735	3238

Річні витрати активної енергії:

$$W_p = 46214847 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Річні витрати реактивної енергії:

$$V_p = 7091070 \text{ квар}\cdot\text{год}$$

Визначення кількості годин використання максимального навантаження визначається співвідношенням:

$$T_{max} = \frac{\sqrt{W_p^2 + Q_p^2}}{P_p} = \frac{\sqrt{46214847^2 + 7091070^2}}{9761,1} = 4738,6 \text{ год}$$

Тривалість повних втрат потужності визначають за формулою:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4738,6}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 3131,13 \text{ год}$$

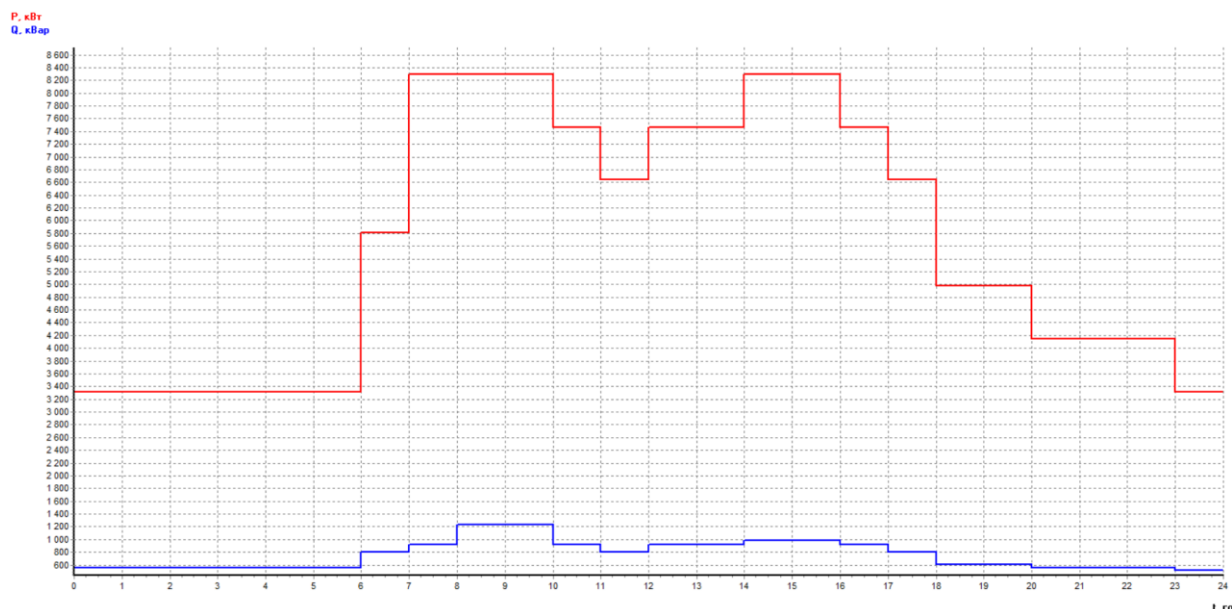


Рисунок 1.1 – Активне та реактивне навантаження літнього робочого дня

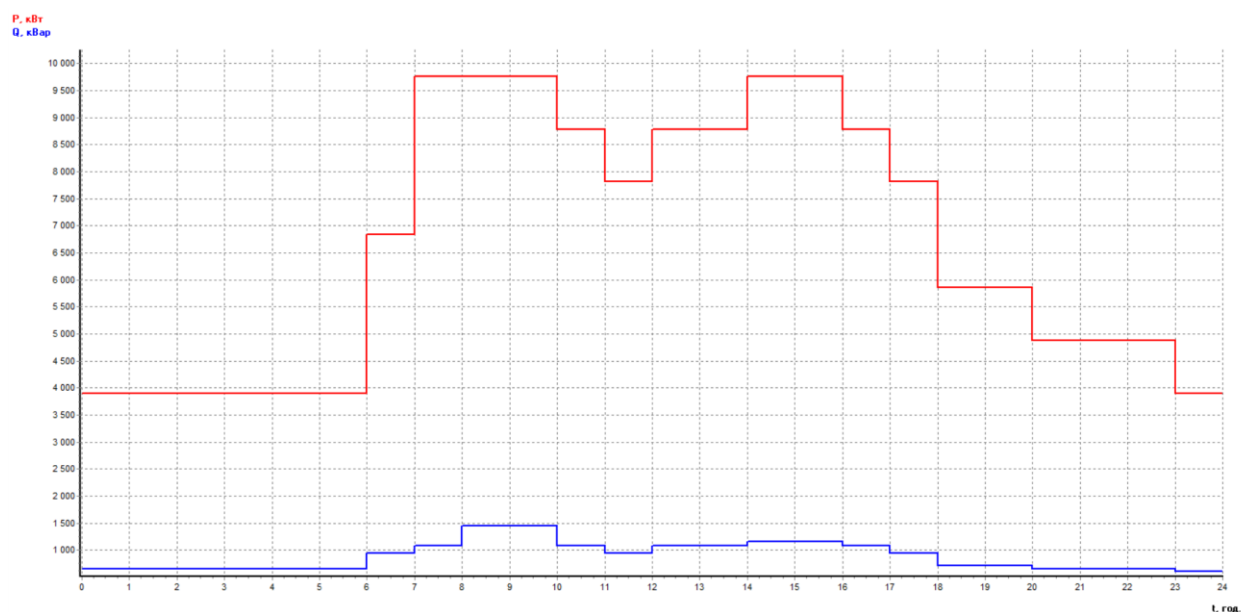


Рисунок 1.2 – Активне та реактивне навантаження зимового робочого дня

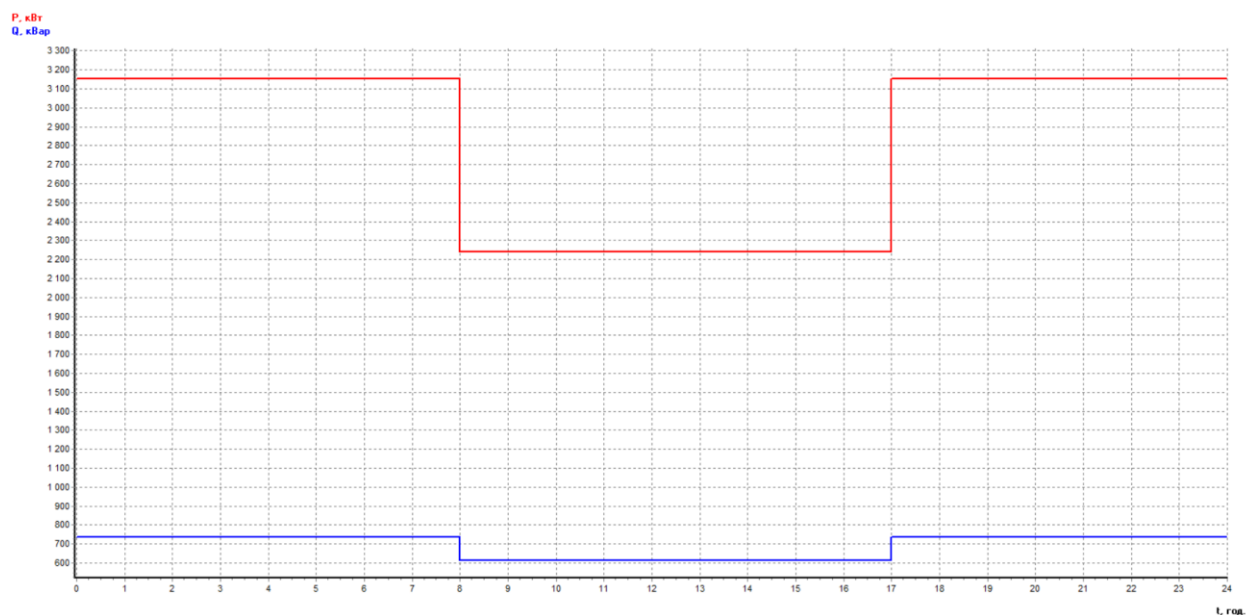


Рисунок 1.3 – Активне та реактивне навантаження літнього вихідного дня

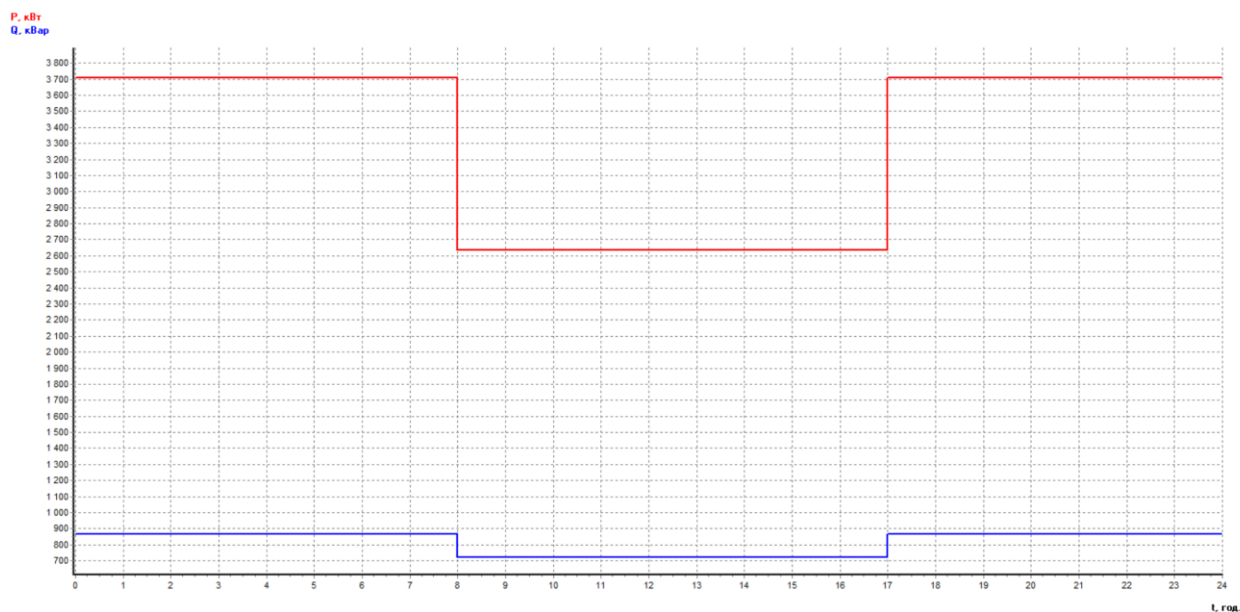


Рисунок 1.4 – Активне та реактивне навантаження зимового вихідного дня

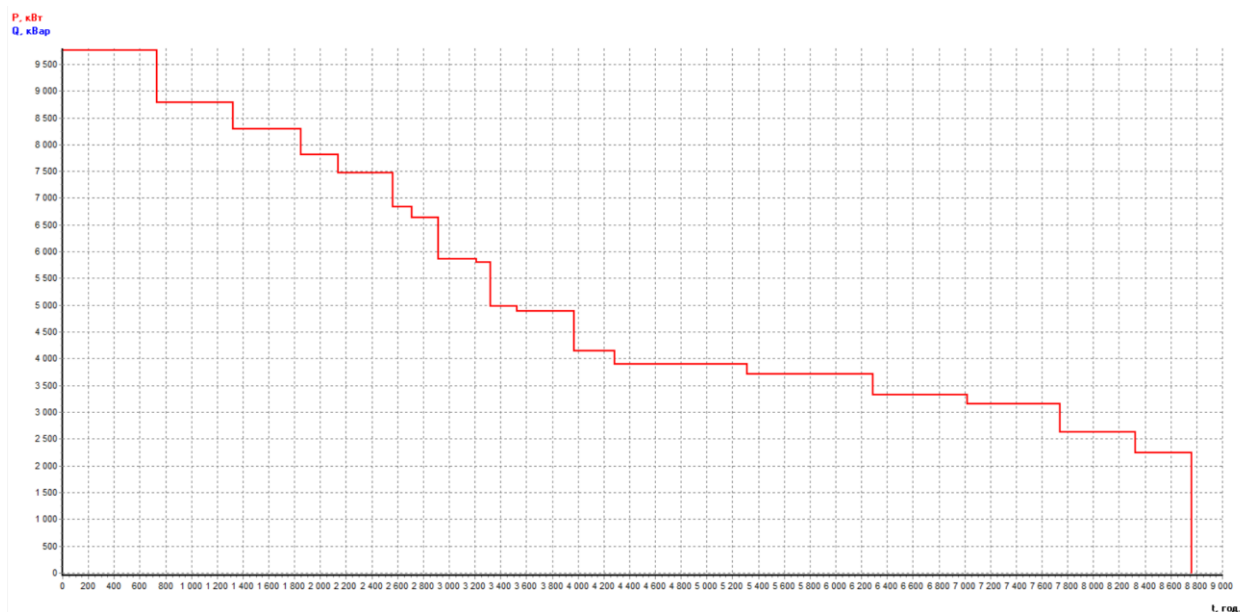


Рисунок 1.5 – Річний графік повного навантаження за тривалістю

Отримані графіки використовуються для аналізу режимів електроспоживання підприємства та перевірки роботи елементів системи електропостачання.

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ГПП

Для вибору оптимального місця розташування головної понижувальної підстанції, центрального розподільчого пункту та трансформаторних підстанцій на генеральному плані підприємства будують картограму електричних навантажень.

Картограма навантажень являє собою систему кіл, площі яких пропорційні повним розрахунковим навантаженням окремих виробничих об'єктів. Такий підхід дозволяє графічно оцінити розподіл електроспоживання по території підприємства та визначити раціональне місце встановлення ГПП.

Радіус кола картограми електричних навантажень для механоскладального корпусу визначається за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{P_{\Sigma}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{4653,28}{3,14 \cdot 20}} = 8,61 \text{ мм}$$

де $m=20 \text{ кВт/мм}^2$ - масштаб картограми навантажень.

Для відображення освітлювального навантаження на картограмі використовується сектор кола. Центральний кут сектора для механоскладального корпусу співвідношенням:

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360^\circ}{P_{\Sigma}} = \frac{434,63 \cdot 360^\circ}{4653,28} = 33,64^\circ$$

де $P_{\text{осв}}=434,63 \text{ кВт}$ - освітлювальне навантаження механоскладального комплексу;

$P_{\Sigma}=4218,64 \text{ кВт}$ - загальне силове навантаження цеху.

Для визначення координат центру електричних навантажень підприємства використовують метод приведених координат, згідно з яким навантаження кожного цеху вважається зосередженим у центрі його площі.

Розрахунок для інших цехів представлено в таблиці 2.1

					Арк. 24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 2.1 – Розрахунок картограми навантажень та центру електричних навантажень

№	Найменування цеху/об'єкта	Рсил, кВт	Qсил, квар	Росв, кВт	Qосв, квар	РΣ, кВт	QΣ, квар	SΣ, кВА	х, ум. од.	у, ум. од.	РΣ·х	РΣ·у	αосв, град	R, мм
1	Механоскладальний корпус	4218,6	3282,2	434,633	752,8	4653,28	4035,043	6159,104	61	75	283849,90	348995,78	33,63	8,61
2	Сервісно-побутовий блок	133,5	119,4	24,711	11,97	158,20	131,399	205,6494	89	74	14079,44	11706,50	56,23	1,59
3	Інженерно-технічний	71,9	48,5	19,181	9,29	91,08	57,815	107,8827	101	85	9199,38	7742,06	75,81	1,2
4	Діагностична лабораторія	60,4	45,0	6,872	3,328	67,22	48,316	82,78507	110	80	7394,53	5377,84	36,80	1,03
5	Допоміжний ремонтно-інструментальний корпус	337,6	297,9	79,45	137,6	417,04	435,52	602,9891	105	70	43788,68	29192,45	68,58	2,58
6	Сервісний транспортний	51,6	20,6	3,721	0	55,29	20,569	58,99304	49	58	2709,26	3206,88	24,23	0,94
7	Склад запасних частин і	60,4	29,9	2,582	0	62,95	29,885	69,68549	70	58	4406,64	3651,22	14,77	1
8	Кафетерій персоналу №1	201,8	206,0	11,181	5,415	213,01	211,393	300,1011	88	58	18744,97	12354,64	18,90	1,84
9	Модуль теплопостачання	497,6	289,5	4,098	7,098	501,72	296,549	582,8055	23	82	11539,51	41140,88	2,94	2,83
10	Ремонтно-будівельна дільниця	165,6	151,4	11,246	19,48	176,82	170,896	245,9066	15	66	2652,27	11669,99	22,90	1,68
11	Ковальсько-зварювальна дільниця з енергоблоком	241,7	214,0	6,677	11,57	248,36	225,598	335,523	31	63	7699,07	15646,49	9,68	1,99
12	Корпус точного механічного складання	2713,5	3100,3	248,109	429,7	2961,58	3530,015	4607,816	22	35	65154,78	103655,34	30,16	6,87
13	Кафетерій персоналу №2	227,7	232,3	11,789	5,71	239,45	238,053	337,6492	7	38	1676,17	9099,21	17,72	1,95
14	Офісно-адміністративний	76,9	63,9	49,198	23,83	126,11	87,731	153,6211	6	30	756,64	3783,18	140,45	1,42
	Разом					9972,1	9518,782	13785,86			473651,24	607222,44	32,976	

Прийнятий масштаб для р 20
Координата Х центру нава 47,4976
Координата Y центру нава 60,8921

Координата центру навантажень по осі Х визначається за формулою:

$$X_0 = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i} = \frac{356420}{7503} = 47,50$$

Координата центру навантажень по осі Y дорівнює:

$$Y_0 = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i} = \frac{456930}{7503} = 60,89$$

Отримані координати центру електричних навантажень дозволяють визначити найбільш доцільне місце розташування головної понижувальної підстанції з урахуванням мінімізації довжини кабельних ліній та зниження втрат електричної енергії в системі електропостачання підприємства.

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПРУГИ ТА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Під час проектування системи електропостачання одним із основних завдань є вибір оптимального рівня напруги живлення та структури мережі підприємства. Від прийнятого рішення залежать капітальні витрати, втрати електроенергії, експлуатаційні витрати і надійність електропостачання.

Для ремонтно-механічного виробничого комплексу розглядаються два варіанти живлення:

- 1) варіант 1 - напруга 10 кВ;
- 2) варіант 2 - напруга 35 кВ.

Порівняння виконується методом зведених річних витрат.

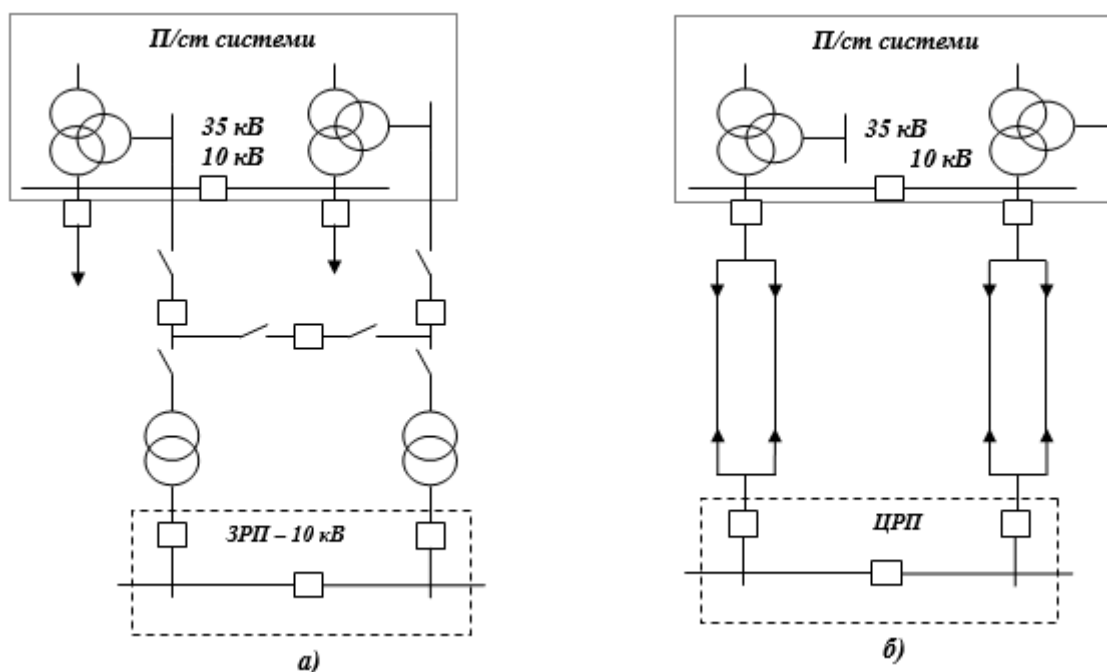


Рисунок 3.1 – Схеми електропостачання для порівняння

Варіант 1 - електропостачання напругою 10 кВ

Розрахунковий струм кабельної лінії визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{14367}{1,73 \cdot 10} = 830,5 \text{ A}$$

Для живлення підприємства приймаємо дві кабельні лінії АСБл-10 3×240 мм².

Струм одного кабелю у нормальному режимі:

$$I_{\text{норм}} = \frac{830,5}{2} = 415,25 \text{ А}$$

Допустимий струм кабелю 3×240 мм² становить 520 А, тому умова виконується.

В аварійному режимі при відключенні одного кабелю $I_{\text{ав}} = 830,5 \text{ А}$

Отже, кабель не забезпечує післяаварійний режим, тому для варіанта 10 кВ необхідно застосувати додаткове резервування або збільшення перерізу кабелю, що значно підвищує вартість системи.

Для кабельної лінії приймаємо $r_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$

Втрати активної потужності у двох кабельних лініях:

$$\Delta P = \frac{S_p^2 \cdot r_0 \cdot l}{U^2} = \frac{14367^2 \cdot 0,125 \cdot 2}{10^2 \cdot 1000} = 517,0 \text{ кВт}$$

Річні втрати електроенергії:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau = 517 \cdot 3131,13 = 1618874 \text{ кВт·год}$$

При тарифі 8 грн/кВт·год вартість втрат становить:

$$C_{\text{втр}} = 1618874 \cdot 8 = 12950,99 \text{ тис. грн}$$

Варіант 2 - живлення підприємства напругою 35 кВ

Розрахунковий струм повітряної лінії 35 кВ:

$$I_p = \frac{143671,73}{1,73 \cdot 35} = 237,1 \text{ А}$$

Оскільки лінія дволанцюгова:

$$I_l = \frac{237,1}{2} = 118,55 \text{ А}$$

Для лінії приймаємо провід АС-95/16.

Активний опір проводу $r_0 = 0,326 \text{ Ом/км}$

Втрати активної потужності у двох ланцюгах ПЛ 35 кВ:

$$\Delta P = \frac{14367^2 \cdot 0,326 \cdot 2}{35^2 \cdot 1000} = 109,9 \text{ кВт}$$

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

Річні втрати електроенергії в лінії:

$$\Delta W_{\text{л}} = 109,9 \cdot 3131,13 = 344102 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

На головній понижувальній підстанції встановлюємо два трансформатори 2×ТДН–10000/35/10

Коефіцієнт завантаження трансформаторів у нормальному режимі:

$$K_3 = \frac{14367}{2 \cdot 10000} = 0,72$$

$$\text{В аварійному режимі } K_{\text{ав}} = \frac{14367}{10000} = 1,44$$

Для трансформатора приймаємо $\Delta P_{\text{х}}=12$ кВт, $\Delta P_{\text{к}}=58$ кВт

Втрати потужності у двох трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 2 \cdot (12 + 58 \cdot 0,72^2) = 84,1 \text{ кВт}$$

Річні втрати електроенергії у трансформаторах:

$$\Delta W_{\text{тр}} = 84,1 \cdot 3131,13 = 263328 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарні річні втрати електроенергії для варіанта 35 кВ:

$$\Delta W_{\Sigma} = 344102 + 263328 = 607430 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість втрат електроенергії:

$$C_{\text{втр}} = 607430 \cdot 8 = 4859,44 \text{ тис. грн}$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок поточних витрат

№ вар.	Найменування елемента схеми	К, тис. грн	Р _а , %	С _а , тис. грн	Р _е , %	С _е , тис. грн	С, тис. грн
1	Кабельні лінії 10 кВ	18600,00	5	930,00	5	930,00	1860,00
	Комірки КРУ 10 кВ	620,00	15	93,00	5	31,00	124,00
	Всього за варіантом 1	19220,00					1984,00
2	Вимикачі 35 кВ	5200,00	15	780,00	5	260,00	1040,00
	Дволанцюгова ПЛ 35 кВ	6800,00	5	340,00	5	340,00	680,00
	ВРП 35 кВ	4200,00	15	630,00	5	210,00	840,00
	Трансформатори 2×ТДН-10000/35/10	9600,00	15	1440,00	5	480,00	1920,00
	Всього за варіантом 2	25800,00					4480,00

Таблиця 3.3 – Техніко-економічне порівняння варіантів

Показник	Варіант 1, 10 кВ	Варіант 2, 35 кВ
Капітальні вкладення К, тис. грн	19220,00	25800,00
Нормативна складова E_n К, тис. грн/рік	2306,40	3096,00
Поточні витрати С, тис. грн/рік	1984,00	4480,00
Втрати електроенергії ΔW , кВт·год/рік	1618874	607430
Вартість втрат $C_{втр}$, тис. грн/рік	12950,99	4859,44
Зведені витрати З, тис. грн/рік	17241,39	12435,44

Зведені витрати визначаються за формулою:

$$Z = E_n \cdot K + C + C_{втр}$$

де $E_n = 0,12$ - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Для варіанта 10 кВ:

$$Z_1 = 0,12 \cdot 19220 + 1984 + 12950,99 = 17241,39 \text{ тис. грн}$$

Для варіанта 35 кВ:

$$Z_2 = 0,12 \cdot 25800 + 4480 + 4859,44 = 12435,44 \text{ тис. грн}$$

Для варіанта 10 кВ через значні струми навантаження необхідне застосування дорогих кабельних ліній великого перерізу, а також додаткове резервування для забезпечення аварійного режиму.

Варіант 35 кВ характеризується:

- меншими струмами;
- меншими втратами електроенергії;
- вищою пропускною здатністю;
- кращими умовами розвитку системи електропостачання.

Незважаючи на більші початкові капітальні вкладення, варіант 35 кВ забезпечує кращі техніко-економічні показники та вищу надійність електропостачання.

Отже, за результатами техніко-економічного порівняння більш доцільним є варіант електропостачання підприємства напругою 35 кВ.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБІР КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Компенсація реактивної потужності є одним із найбільш ефективних заходів підвищення енергоефективності системи електропостачання підприємства. Установлення батарей статичних конденсаторів дозволяє знизити втрати активної потужності, підвищити пропускну здатність електричних мереж і покращити рівень напруги у споживачів.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Активне навантаження підприємства: $P_p=9761,1$ кВт

Реактивне навантаження підприємства: $Q_p=10541$ квар

З урахуванням втрат у силових трансформаторах сумарне реактивне навантаження становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_p + \Delta Q_{\text{тр}} = 10541 + 930,2 = 11471,2 \text{ квар}$$

Сумарне активне навантаження підприємства:

$$P_{\Sigma} = P_p + \Delta P_{\text{тр}} = 9761,1 + 150,8 = 9911,9 \text{ кВт}$$

Економічно допустима реактивна потужність, яка може надходити з енергосистеми:

$$Q_e = P_{\Sigma} \cdot \text{tg} \varphi_e = 9911,9 \cdot 0,15 = 1486,8 \text{ квар}$$

Необхідна потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_k = Q_{\Sigma} - Q_e = 11471,2 - 1486,8 = 9984,4 \text{ квар}$$

Для подальших розрахунків приймаємо: $Q_k=9100$ квар

Визначення кількості трансформаторів

Мінімальна кількість цехових трансформаторів визначається за формулою:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_z \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{9761,1}{0,7 \cdot 1000} = 13,94$$

Приймаємо $N=14$ трансформаторів, а також $N=15$, $N=16$

Визначення потужності компенсації на стороні 0,4 кВ

Реактивна потужність, яка може бути передана через трансформатори:

					Арк. 30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(N \cdot S_{\text{тр}} \cdot K_3)^2 - P_p^2}$$

Необхідна потужність низьковольтної компенсації:

$$Q_{\text{кн}} = Q_p - Q_{\Pi} = 10541 - 3832,6 = 6708,4 \text{ квар}$$

Приймаємо до встановлення: $Q_{\text{кн}}=6900$ квар

Визначення потужності компенсації на стороні 10 кВ

Потужність високовольтних компенсуючих пристроїв:

$$Q_{\text{кв}}=Q_{\text{к}}-Q_{\text{кн}}=9100-6900=2200 \text{ квар}$$

Приймаємо: $Q_{\text{кв}}=2200$ квар

Встановлюємо дві високовольтні батареї: 2×1100 квар

Варіант I: N=14

Реактивна потужність, яка може бути передана через трансформатори:

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(14 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 9761,1^2} = 789,3 \text{ квар}$$

Необхідна потужність компенсації на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = 10541 - 789,3 = 9751,7 \text{ квар}$$

Приймаємо: $Q_{\text{кн}}=9100$ квар

Потужність високовольтних БСК: $Q_{\text{кв}}=9100-9100=0$ квар

Втрати потужності у трансформаторах:

$$R_{\text{ек}} = \frac{8,6 \cdot 10^2}{14 \cdot 1000^2} = 61,43 \cdot 10^{-6} \text{ кОм}$$

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{789,3^2 \cdot 61,43}{10^2} = 0,38 \text{ кВт}$$

Втрати у БСК: $\Delta P_{\text{кн}} = 0,003 \cdot 9100 = 27,3 \text{ кВт}$

Сумарні витрати $З_1=1487,6$ тис. грн

Варіант II: N=15

Реактивна потужність, яка може бути передана через трансформатори:

$$Q_{\Pi} = \sqrt{(15 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 9761,1^2} = 3832,6 \text{ квар}$$

Необхідна потужність компенсації на стороні 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = 10541 - 3832,6 = 6708,4 \text{ квар}$$

Приймаємо: $Q_{\text{кн}} = 6900$ квар

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність високовольтних БСК $Q_{\text{кв}}=9100-6900=2200$ квар

Приймаємо: 2×1100 квар

Втрати у трансформаторах:

$$R_{\text{ек}} = \frac{8,6 \cdot 10^2}{15 \cdot 1000^2} = 57,3 \cdot 10^{-6} \text{ КОМ}$$

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{3832,6^2 \cdot 57,3}{10^2} = 8,42 \text{ кВт}$$

Втрати у БСК: $\Delta P_{\text{кн}} = 0,003 \cdot 6900 = 20,7 \text{ кВт}$

$$\Delta P_{\text{кв}} = 0,0045 \cdot 2200 = 9,9 \text{ кВт}$$

Сумарні витрати: $З_2=1328,4$ тис. грн

Варіант III: N=16

Реактивна потужність, яка може бути передана через трансформатори:

$$Q_{\text{п}} = \sqrt{(16 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 9761,1^2} = 5489,2 \text{ квар}$$

Необхідна потужність компенсації на стороні 0,4 кВ:

$Q_{\text{кн}}=10541-5489,2=5051,8$ квар. Приймаємо: $Q_{\text{кн}}=5100$ квар

Потужність вв БСК: $Q_{\text{кв}}=9100-5100=4000$ квар. Приймаємо: 2×2000 квар

Втрати у трансформаторах:

$$R_{\text{ек}} = \frac{8,6 \cdot 10^2}{16 \cdot 1000^2} = 53,75 \cdot 10^{-6} \text{ КОМ}$$

$$\Delta P_{\text{тп}} = \frac{5489,2^2 \cdot 53,75}{10^2} = 16,18 \text{ кВт}$$

Втрати у БСК $\Delta P_{\text{кн}} = 0,003 \cdot 5100 = 15,3 \text{ кВт}$

$$\Delta P_{\text{кв}} = 0,0045 \cdot 4000 = 18 \text{ кВт}$$

Сумарні витрати $З_3=1469,8$ тис. грн

Таблиця 4.1 – Баланс реактивної потужності

Показник	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Кількість трансформаторів	14	15	16
Потужність БСК 0,4 кВ, квар	9100	6900	5100
Потужність БСК 10 кВ, квар	0	2200	4000
Реактивна потужність енергосистеми, квар	1486,8	1486,8	1486,8
Сумарна компенсація, квар	10586,8	10586,8	10586,8
Розрахункові витрати, тис. грн	1487,6	1328,4	1469,8

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

Отже, найменші приведені витрати має варіант II при N=15.

Тому для подальшого проектування приймається варіант із 15 трансформаторами, двома високовольтними БСК та низьковольтними компенсуючими пристроями загальною потужністю 9100 квар.

4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих установок

Під час вибору компенсуючих установок необхідно забезпечити економічно ефективний режим роботи системи електропостачання при дотриманні допустимих значень напруги та струмів навантаження в усіх елементах електричної мережі.

Батареї статичних конденсаторів можуть розміщуватись як у мережах низької напруги 0,4 кВ, так і на стороні 10 кВ. Раціональний розподіл потужності між високовольтними та низьковольтними компенсуючими установками визначається техніко-економічними показниками системи.

Оптимальний варіант компенсації реактивної потужності визначається шляхом порівняння декількох можливих схем розміщення компенсуючих пристроїв із подальшим вибором рішення з мінімальними приведеними витратами.

Таблиця 4.2 – Вибір кількості та місця встановлення компенсуючих пристроїв

№ КТП	Кіль-кість трансформаторів	Стр, кВА	Тип БСК	Кіль-кість	Потужність, квар	Місце встановлення
КТП 1–4	8	1000	УКРМ-0,4-300	9	2700	0,4 кВ
КТП 5	1	1000	УКРМ-0,4-150	2	300	0,4 кВ
КТП 6	2	1000	УКРМ-0,4-300	2	600	0,4 кВ
КТП 7–8	4	1000	УКРМ-0,4-300	11	3300	0,4 кВ
ГПП	-	-	УКЛ-10-1100	2	2200	10 кВ

Разом на стороні 0,4 кВ $Q_{\text{кн}}=2700+300+600+3300=6900$ квар

Разом на стороні 10 кВ $Q_{\text{кв}}=2 \cdot 1100=2200$ квар

Загальна потужність КП $Q_{\text{к}}=6900+2200=9100$ квар

						Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЦЕХОВИХ ТП

Під час вибору цехових трансформаторних підстанцій враховують розрахункове навантаження окремих виробничих зон, категорію надійності електроприймачів, допустиме завантаження трансформаторів, умови розміщення обладнання та можливість резервування живлення на стороні 0,4 кВ. У шаблоні зазначено, що для промислових підприємств зазвичай розглядають трансформатори потужністю 630, 1000, 1600 і 2500 кВА, а вибір перевіряють за нормальним та післяаварійним режимом.

Коефіцієнт завантаження трансформаторів визначаємо за формулою:

$$K_3 = \frac{S_p}{N \cdot S_{\text{ном}}}$$

Для ТП-1,2,3,4 приймаємо 8 трансформаторів ТМ-1000/10:

$$K_3 = \frac{5647,6}{8 \cdot 1000} = 0,71$$

Коефіцієнт завантаження в аварійному режимі:

$$K_{3,\text{ав}} = 2 \cdot K_3 = 2 \cdot 0,71 = 1,42$$

Для однострансформаторної ТП-5 приймаємо трансформатор ТМ-1000/10:

$$K_3 = \frac{652,13}{1 \cdot 1000} = 0,65$$

Для ТП-6 приймаємо два трансформатори ТМ-1000/10:

$$K_3 = \frac{1041,43}{2 \cdot 1000} = 0,52$$

$$K_{3,\text{ав}} = 2 \cdot 0,52 = 1,04$$

Для ТП-7,8 при встановленні чотирьох трансформаторів ТМ-1000/10 коефіцієнт завантаження становив би:

$$K_3 = \frac{3474,06}{4 \cdot 1000} = 0,87$$

$$K_{3,\text{ав}} = 2 \cdot 0,87 = 1,74$$

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки аварійне завантаження перевищує допустиме значення, для ТП-7,8 доцільно прийняти трансформатори більшої одиничної потужності — ТМ-1600/10:

$$K_3 = \frac{3474,06}{4 \cdot 1600} = 0,54$$

$$K_{3,ав} = 2 \cdot 0,54 = 1,08$$

Таблиця 5.1 – Вибір кількості та місця розташування цехових ТП

Номер КТП	Sp, кВА	Sном, кВА	N	Марка трансформатора	Kз	Kз.ав	Категорійність приймачів	Тип КТП	Місце розташування
ТП-1,2,3,4	5647,6	1000	8	ТМ-1000/10	0,71	1,42	I, II, III	Вбудована	Головний виробничий корпус
ТП-5	652,13	1000	1	ТМ-1000/10	0,65	—	II, III	Вбудована	Корпус допоміжних цехів
ТП-6	1041,43	1000	2	ТМ-1000/10	0,52	1,04	I, II, III	Вбудована	Кузня та енергетичний блок
ТП-7,8	3474,06	1600	4	ТМ-1600/10	0,54	1,08	II, III	Вбудована	Механо-складальний корпус

Отже, для цехових трансформаторних підстанцій приймаються трансформатори типу ТМ-1000/10 для ТП-1–6 та ТМ-1600/10 для ТП-7,8, оскільки цей варіант забезпечує допустиме завантаження як у нормальному, так і в післяаварійному режимі.

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів короткого замикання

Для перевірки електрообладнання та вибору апаратів захисту складають розрахункову однолінійну схему електропостачання (Рис.6.1). У ній враховують джерело живлення, силові трансформатори, кабельні лінії та інші елементи, розміщені між джерелом і точкою короткого замикання.

На основі розрахункової схеми формується схема заміщення, у якій реальні елементи мережі замінюються активними та індуктивними опорами (Рис.6.2). Після приведення схеми до еквівалентного вигляду визначають початкове значення періодичної складової струму короткого замикання.

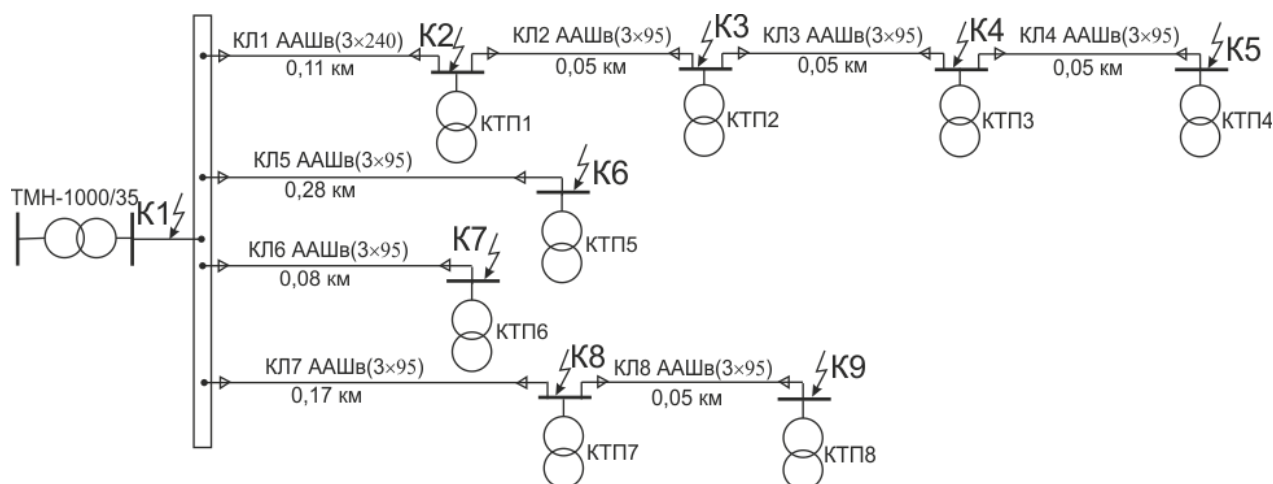


Рисунок 6.1 - Розрахункова схема для розрахунку струмів КЗ

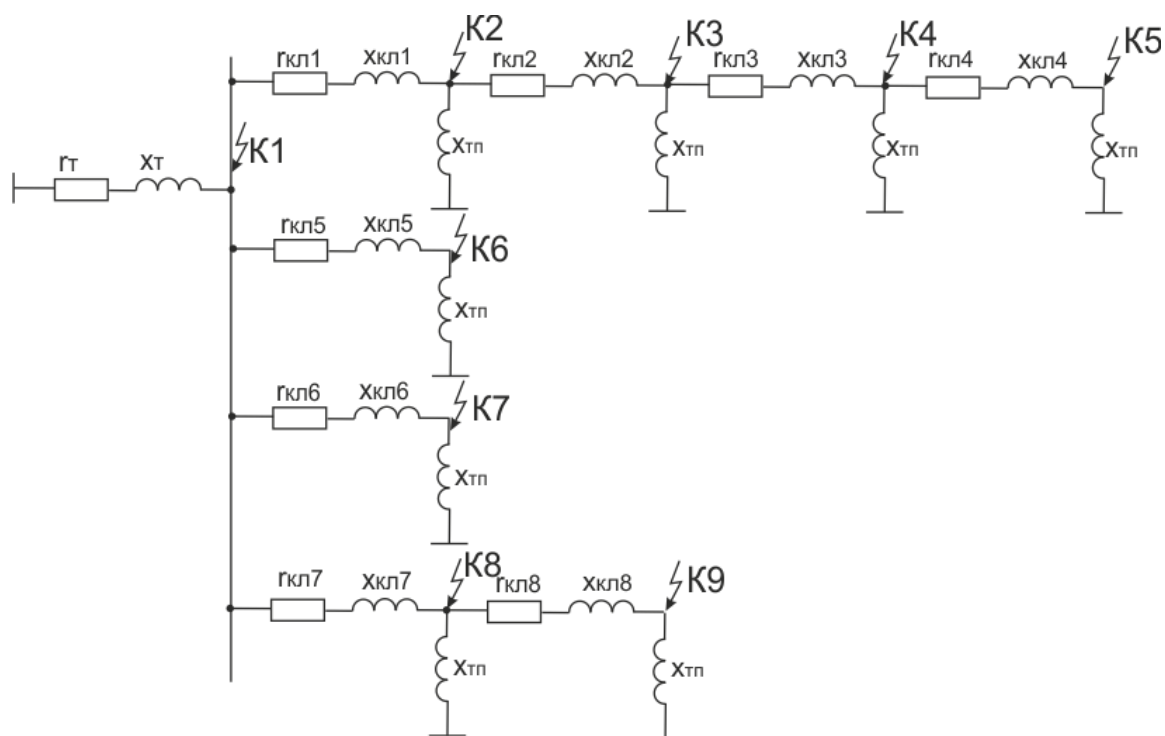


Рисунок 6.2 - Схема заміщення мережі для розрахунку струмів КЗ

Початкове значення періодичної складової струму КЗ визначається за формулою:

$$I'' = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma}}$$

Для шин 10 кВ ГПП приймаємо $U_c = 10,5$ кВ, результуючий опір $x_{\Sigma} = 0,882$ Ом, тоді:

$$I''_{K1} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,882} = 6,87 \text{ кА}$$

Ударний струм короткого замикання визначається залежністю:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I''$$

Для точки К1 при $k_y = 1,8$:

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,87 = 17,50 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс струму короткого замикання розраховується за виразом:

$$B_k = I''^2 \cdot (t_{\text{відк}} + T_a)$$

					Арк.
					37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

При $t_{\text{відк}} = 2,55 \text{ с}$ та $T_a = 0,26 \text{ с}$:

$$B_k = 6,87^2 \cdot (2,55 + 0,26) = 132,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Опір кабельної лінії визначається за формулою:

$$x_l = x_0 \cdot l$$

де $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ - питомий індуктивний опір кабельної лінії; l - довжина кабелю, км.

Таблиця 6.1 - Результати розрахунку струмів короткого замикання

Точка КЗ	x_{Σ} , Ом	I'' , кА	i_y , кА	B_k , кА ² ·с
K1	0,882	6,87	17,5	132,7
K2	0,8908	6,81	17,32	130,1
K3	0,8948	6,77	17,25	129,0
K4	0,8988	6,74	17,17	127,8
K5	0,9028	6,71	17,09	126,7
K6	0,9044	6,7	17,06	126,3
K7	0,8884	6,82	17,37	130,8
K8	0,8956	6,77	17,23	128,7
K9	0,8996	6,74	17,15	127,6

6.2 Вибір високовольтного обладнання і мереж

6.2.1 Вибір кабельних ліній 10 кВ

Переріз кабельної лінії попередньо визначається за економічною густиною струму:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_p}{j_{\text{ек}}}$$

де I_p - розрахунковий струм кабелю, А; $j_{\text{ек}} = 1,25 \text{ А/мм}^2$ - економічна густина струму для заданого режиму роботи.

Розрахунковий струм кабельної лінії визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

Для кабелю КЛ-1, що живить ТП-1,2,3,4:

					Арк. 38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$I_p = \frac{5647,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 163,0 \text{ А}$$

Струм в аварійному режимі:

$$I_{p.ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 163,0 = 326,1 \text{ А}$$

Економічний переріз кабелю:

$$F_{ек} = \frac{163,0}{1,25} = 130,4 \text{ мм}^2$$

Приймаємо кабель ААШв 3×240 мм² з допустимим тривалим струмом
 $I_{доп} = 355 \text{ А}$.

Перевірка за допустимим струмом у нормальному режимі:

$$I_p \leq k_p \cdot I_{доп}; \quad 163,0 \leq 0,92 \cdot 355 = 326,6 \text{ А}$$

Перевірка в післяаварійному режимі:

$$I_{p.ав} \leq k_{ав} \cdot k'_p \cdot I_{доп}; \quad 326,1 \leq 1,25 \cdot 1 \cdot 355 = 443,8 \text{ А}$$

Мінімальний переріз за термічною стійкістю визначається так:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k \cdot 10^6}}{C}$$

Для КЛ-1 при $B_k = 130,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ та $C = 94$:

$$F_{min} = \frac{\sqrt{130,1 \cdot 10^6}}{94} = 121 \text{ мм}^2$$

Отже, вибраний кабель ААШв 3×240 мм² задовольняє умовам економічності, нагріву, аварійного режиму та термічної стійкості.

Таблиця 6.2 - Вибір кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	Sp, кВА	n	Ip, А	Ip.ав, А	Fек, мм ²	Марка кабелю	Iдоп, А	Bk, кА ² ·с	Fmin, мм ²
КЛ-1	5647,6	2	163,0	326,1	130,4	ААШв 3×240	355	130,1	121,0
КЛ-2	4235,7	2	122,3	244,5	97,8	ААШв 3×150	275	131,6	122,0
КЛ-3	2823,8	2	81,5	163,0	65,2	ААШв 3×95	205	131,6	122,0
КЛ-4	1411,9	2	40,8	81,5	32,6	ААШв 3×95	205	131,6	122,0
КЛ-5	652,13	1	37,7	37,7	30,1	ААШв 3×95	205	126,3	120,0
КЛ-6	1041,43	2	30,1	60,1	24,1	ААШв 3×95	205	130,8	122,0
КЛ-7	3474,06	2	100,3	200,6	80,2	ААШв 3×95	205	128,7	121,0
КЛ-8	1737,03	2	50,1	100,3	40,1	ААШв 3×95	205	131,6	122,0

										Арк.
										39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

6.2.2 Вибір вимикачів 35 кВ

Вимикачі високої напруги вибирають за номінальною напругою, робочим струмом, вимикальною здатністю, електродинамічною та термічною стійкістю. Для вводу 35 кВ приймаємо вакуумний вимикач ВБ-35-25/1000 УХЛ1.

Таблиця 6.3 - Перевірка вимикача 35 кВ

Параметр	Розрахункове значення	Умова	Параметр вимикача
Напруга, кВ	35	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	40,5
Нормальний струм, А	178,4	$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}$	1000
Струм КЗ, кА	7,1	$I'' \leq I_{\text{відк.ном}}$	25
Ударний струм, кА	18,1	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	63
Тепловий імпульс, кА ² ·с	141,6	$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	1875

6.2.3 Вибір вимикачів 10 кВ

На вводах і фідерах 10 кВ приймаємо вакуумні вимикачі типу ВР1-10-20/1000 УЗ. Вони забезпечують комутацію робочих струмів та відключення струмів короткого замикання у прийнятій схемі електропостачання.

Аперіодична складова струму КЗ в момент розходження контактів визначається за формулою $i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\tau/T_a}$

При $I'' = 6,87$ кА, $\tau = 0,065$ с, $T_a = 0,045$ с:

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,87 \cdot e^{-0,065/0,045} = 2,30 \text{ кА}$$

Номінально допустима аперіодична складова $i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_n \cdot I_{\text{відк.ном}}$

$$i_{a.\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,31 \text{ кА}$$

Таблиця 6.4 - Перевірка вимикача 10 кВ

Параметр	Розрахункове значення	Умова	Параметр вимикача
Напруга, кВ	10	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10
Нормальний струм, А	624,5	$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}$	1000
Максимальний струм, А	624,5	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	1000
Струм відключення, кА	6,87	$I'' \leq I_{\text{відк.ном}}$	20
Аперіодична складова, кА	2,30	$i_{a.\tau} \leq i_{a.\text{ном}}$	11,31
Ударний струм, кА	17,50	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	52
Тепловий імпульс, кА ² ·с	132,7	$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	1200

					Арк. 40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

6.2.4 Вибір вимикачів навантаження

Вимикачі навантаження встановлюються на відгалуженнях до цехових трансформаторних підстанцій. Їх вибирають за номінальною напругою, робочим струмом, струмом включення, електродинамічною та термічною стійкістю.

Для трансформаторів потужністю 1000 кВА максимальний струм становить:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,8 \text{ А}$$

Для трансформаторів потужністю 1600 кВА:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 129,3 \text{ А}$$

Приймаємо вимикач навантаження ВНВп-10/630 УЗ.

Таблиця 6.5 - Вибір вимикачів навантаження

Параметр	Розрахункове значення	Умова	Параметр апарата
Напруга, кВ	10	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10
Максимальний струм для 1000 кВА, А	80,8	$I_{\max} \leq I_{\text{ном}}$	630
Максимальний струм для 1600 кВА, А	129,3	$I_{\max} \leq I_{\text{ном}}$	630
Струм включення, кА	6,87	$I'' \leq I_{\text{вкл}}$	20
Ударний струм, кА	17,50	$i_y \leq i_{\text{вкл}}$	52
Тепловий імпульс, кА ² ·с	132,7	$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$	1200

6.2.5 Вибір роз'єднувачів 35 кВ

Роз'єднувачі застосовують для створення видимого розриву електричного кола під час ремонтних робіт. Вони не призначені для вимикання струмів навантаження, тому їх перевіряють за номінальною напругою, тривалим струмом, електродинамічною та термічною стійкістю.

Приймаємо роз'єднувач РНДЗ-35/1000 У1.

					Арк. 41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 6.6 - Вибір роз'єднувачів 35 кВ

Параметр	Розрахункове значення	Умова	Параметр роз'єднувача
Напруга, кВ	35	$U_{вст} \leq U_{ном}$	35
Робочий струм, А	178,4	$I_{ном} \leq I_{ном}$	1000
Ударний струм, кА	18,1	$i_y \leq i_{вкл}$	80
Тепловий імпульс, кА ² ·с	141,6	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	4800

6.2.6 Вибір обмежувачів перенапруг

Для захисту обладнання від атмосферних і комутаційних перенапруг на стороні 35 кВ і 10 кВ встановлюються обмежувачі перенапруг. Для мережі 35 кВ приймаємо ОПН-35, для мережі 10 кВ - ОПН-10.

Таблиця 6.7 - Вибір обмежувачів перенапруг

Місце встановлення	Тип апарата	Номінальна напруга, кВ	Найбільша робоча напруга, кВ	Призначення
Ввід 35 кВ ГПП	ОПН-35	35	40,5	Захист трансформаторів 35/10 кВ
Секції шин 10 кВ	ОПН-10	10	12	Захист обладнання РУ-10 кВ
Вводи цехових ТП	ОПН-10	10	12	Захист трансформаторів 10/0,4 кВ

6.2.7 Вибір трансформатора власних потреб

Трансформатор власних потреб вибирається за сумарним навантаженням допоміжних споживачів підстанції. До них належать електродвигуни охолодження, обігрів апаратури, освітлення, вентиляція та кола оперативного струму.

Таблиця 6.8 - Навантаження власних потреб

№	Споживач	Потужність, кВт
1	Електродвигуни охолодження силових трансформаторів	6,0
2	Пристрої підігріву вимикачів 35 кВ	5,25
3	Обігрів комірок КРП 10 кВ	7,0
4	Освітлення та вентиляція приміщень РУ	6,0
5	Кола керування, сигналізації та оперативного струму	4,0
	Разом	28,25

Розрахункова потужність власних потреб:

$$P_{\text{в.п.}} = 28,25 \text{ кВт}$$

Потужність трансформатора власних потреб приймається з резервом:

$$S_{\text{твп}} \geq \frac{P_{\text{в.п.}}}{\cos\varphi} = \frac{28,25}{0,8} = 35,31 \text{ кВА}$$

Приймаємо трансформатор ТМ-40/10 потужністю 40 кВА.

Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = \frac{35,31}{40} = 0,88$$

За результатами розрахунку струмів короткого замикання та перевірки обладнання для системи електропостачання прийнято кабельні лінії 10 кВ типу ААШв, вакуумні вимикачі 35 кВ і 10 кВ, вимикачі навантаження на відгалуженнях до цехових ТП, роз'єднувачі 35 кВ, обмежувачі перенапруг і трансформатор власних потреб ТМ-40/10. Вибране обладнання відповідає умовам тривалої роботи, післяаварійного режиму, електродинамічної та термічної стійкості.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ НАДІЙНОСТІ

7.1 Аналіз ненормальних режимів роботи генераторів і трансформаторного обладнання

Основу сучасних систем електропостачання промислових підприємств становлять синхронні генератори та силові трансформатори, які забезпечують виробництво, перетворення і передачу електричної енергії. Саме стабільність їх функціонування визначає надійність роботи електричних мереж підприємства та безперервність технологічних процесів. У свою чергу, характер навантаження споживачів безпосередньо впливає на режими роботи генераторів і трансформаторів, що висуває підвищені вимоги до їх експлуатаційної стійкості та електромагнітної сумісності.

Експлуатаційні параметри синхронних генераторів регламентуються міжнародними та державними стандартами, які визначають допустимі межі відхилень напруги, частоти, температурних режимів і гармонічних спотворень. Для генераторів великої потужності особливе значення має забезпечення високої якості електроенергії, оскільки наявність вищих гармонік негативно впливає на роботу електроприймачів, систем автоматики та релейного захисту.

Одним із найбільш небезпечних факторів для генераторного обладнання є перевантаження по струму статора або ротора. Перевищення номінальних значень струму викликає інтенсивне нагрівання обмоток, прискорене старіння ізоляції та виникнення механічних деформацій у лобових частинах обмотки. Тривала робота в такому режимі може призвести до міжвиткових замикань та аварійного виходу машини з експлуатації. Саме тому допустимі перевантаження генераторів допускаються лише у виняткових аварійних ситуаціях.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою проблемою промислових систем електропостачання є несиметричні режими навантаження. Їх виникнення пов'язане з нерівномірним розподілом фазних струмів, використанням потужних однофазних споживачів або пошкодженнями ліній електропередачі. Особливо характерні такі режими для металургійних, машинобудівних та ремонтно-механічних підприємств, де можуть використовуватись електропечі, зварювальні установки та інше обладнання з різко змінним навантаженням.

Несиметрія струмів призводить до появи струмів зворотної послідовності, які створюють додаткові втрати потужності у роторі генератора. Це супроводжується локальним перегріванням активних частин машини, зростанням рівня вібрацій та погіршенням якості електроенергії. Крім того, у трифазних електродвигунах знижується корисна потужність і коефіцієнт корисної дії, а освітлювальні установки працюють у несприятливих режимах, що скорочує термін їх служби.

Для оцінювання допустимого рівня несиметрії застосовується коефіцієнт несиметрії струмів:

$$k_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100\%$$

де: I_2 - струм зворотної послідовності; I_1 - струм прямої послідовності.

У сучасних енергосистемах допустиме значення коефіцієнта несиметрії зазвичай не повинно перевищувати 2–4 %, а для генераторного обладнання - 8–10 % залежно від типу охолодження та потужності машини.

Додаткову небезпеку становлять вищі гармоніки струму, що виникають при роботі випрямлячів, частотних перетворювачів та тиристорних систем керування. Гармонічні складові створюють додаткові втрати в обмотках статора та ротора, викликають перегрів трансформаторів і знижують електромагнітну сумісність обладнання. У сучасних системах електропостачання для зменшення гармонічних спотворень використовуються активні та пасивні фільтри, а також багатопульсні перетворювачі.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час експлуатації синхронних генераторів можливе виникнення асинхронного режиму роботи, що найчастіше пов'язано з втратою збудження. Такий режим супроводжується збільшенням струму статора, коливанням ротора та споживанням реактивної потужності з мережі. Наслідком цього є зниження напруги в енергосистемі та погіршення стійкості роботи електропостачання підприємства.

Найбільш небезпечними аварійними процесами у системах електропостачання є короткі замикання. Вони можуть виникати:

- на шинах підстанцій;
- в кабельних і повітряних лініях;
- на виводах генераторів;
- в трансформаторному обладнанні.

При короткому замиканні струм різко зростає у декілька разів порівняно з номінальним значенням, що призводить до виникнення значних електродинамічних і теплових навантажень. Електродинамічні сили пропорційні квадрату струму:

$$F \sim I^2$$

Тому навіть короточасне протікання аварійного струму може викликати механічне пошкодження обмоток, руйнування ізоляції та деформацію струмопровідних частин.

Розрахунок струмів короткого замикання є одним із найважливіших етапів проектування систем електропостачання, оскільки він дозволяє вибрати комутаційну апаратуру; забезпечити термічну та динамічну стійкість обладнання; правильно налаштувати релейний захист; оцінити надійність електропостачання підприємства.

Для визначення ударного струму короткого замикання застосовується залежність:

$$i_{уд} = k\sqrt{2}I_{кз}$$

де $I_{кз}$ - діюче значення струму короткого замикання;

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	46

k - ударний коефіцієнт.

У силових трансформаторах аварійні струми також створюють значні механічні зусилля між витками обмоток. Особливо небезпечними є трифазні короткі замикання, при яких виникають великі аксіальні та радіальні сили, здатні пошкодити ізоляцію або деформувати обмотки трансформатора. Для зменшення струмів короткого замикання у потужних трансформаторах інколи штучно збільшують напругу короткого замикання u_k .

У сучасних промислових системах електропостачання для запобігання аварійним режимам широко використовуються:

- мікропроцесорні системи релейного захисту;
- автоматичне введення резерву (АВР);
- цифрові системи моніторингу;
- Smart Metering;
- автоматизований контроль якості електроенергії;
- системи дистанційної діагностики обладнання.

Застосування таких технологій дозволяє суттєво підвищити надійність електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу та знизити ризики виникнення аварійних ситуацій.

7.2 Причини виникнення коротких замикань у системах електропостачання

Одними з найбільш небезпечних аварійних процесів у системах електропостачання є короткі замикання, які виникають унаслідок пошкодження ізоляції або безпосереднього електричного контакту між струмовідними частинами різних фаз чи між фазою і землею. Такі аварійні режими можуть спостерігатися у генераторах, трансформаторах, кабельних та повітряних лініях електропередач, розподільчих пристроях і електроприймачах.

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 7.1 – Пошкодження турбогенератора та трансформатора через виткові кз: а) пошкодження статора турбогенератора через виткові короткі замикання; б) пошкодження обмоток трансформатора через виткові короткі замикання

Короткі замикання супроводжуються різким збільшенням струму, значними тепловими та електродинамічними навантаженнями, що негативно впливають на електрообладнання та можуть спричинити серйозні технічні й економічні наслідки. У більшості випадків аварійні струми призводять до:

- пошкодження обмоток електричних машин;
- руйнування ізоляції;
- деформації струмовідних частин;
- виникнення пожеж;
- виходу з ладу підстанційного обладнання;
- аварійного знеструмлення підприємства.

У критичних ситуаціях короткі замикання створюють небезпеку для обслуговуючого персоналу та можуть становити загрозу життю людей.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

До основних причин виникнення коротких замикань належать:

- старіння або руйнування ізоляції струмовідних елементів;
- перенапруги в електричних мережах;
- механічні пошкодження кабелів та проводів;
- атмосферні впливи (гроза, ожеледь, сильний вітер);
- помилки персоналу при комутаційних операціях;
- дефекти монтажу;
- порушення правил експлуатації електрообладнання;
- конструктивні недоліки електричних машин і апаратів.

Особливо часто аварійні режими виникають у повітряних лініях електропередач, які піддаються впливу зовнішніх природних факторів. Пошкодження ізоляторів, обриви проводів або падіння сторонніх предметів на лінії можуть спричинити міжфазні замикання або замикання на землю.



Дугове КЗ ЛЕП на землю



Дугове міжфазне КЗ ЛЕП



Множинне КЗ з пожежею на підстанції

Рисунок 7.2 – Види кз ЛЕП та на підстанції

На промислових підприємствах додатковими факторами ризику є високий рівень вібрацій; агресивне виробниче середовище; запиленість; підвищена вологість; перевантаження технологічного обладнання.

Такі умови прискорюють старіння ізоляційних матеріалів та знижують надійність роботи системи електропостачання.

Коротке замикання характеризується виникненням великого аварійного струму, який формується внаслідок замикання електрорушійної сили джерела

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

живлення через малий еквівалентний опір кола. Струм короткого замикання визначається виразом:

$$I_{\text{кз}} = \frac{E}{Z_{\text{кз}}}$$

де E - електрорушійна сила джерела живлення;

$Z_{\text{кз}}$ - повний опір кола короткого замикання.

Оскільки опір аварійного контуру є незначним, значення струму короткого замикання може у десятки разів перевищувати номінальний струм мережі.

Залежно від кількості фаз, що беруть участь в аварійному процесі, короткі замикання поділяють на трифазні, двофазні, однофазні, двофазні із замиканням на землю.

Найбільш важким аварійним режимом є трифазне коротке замикання, оскільки при ньому виникають максимальні значення струмів та електродинамічних зусиль. Однофазні замикання на землю є найпоширенішими в мережах середньої напруги.

У мережах з ізольованою нейтраллю можливі замикання в одній точці або у двох точках мережі одночасно.

Під час короткого замикання відбувається різке виділення теплової енергії:

$$Q = I^2 R t$$

де I - струм короткого замикання;

R - активний опір провідника;

t - тривалість протікання струму.

З наведеного виразу видно, що тепла дія аварійного струму пропорційна квадрату його величини, тому навіть короткочасне КЗ може спричинити значні пошкодження обладнання.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	50

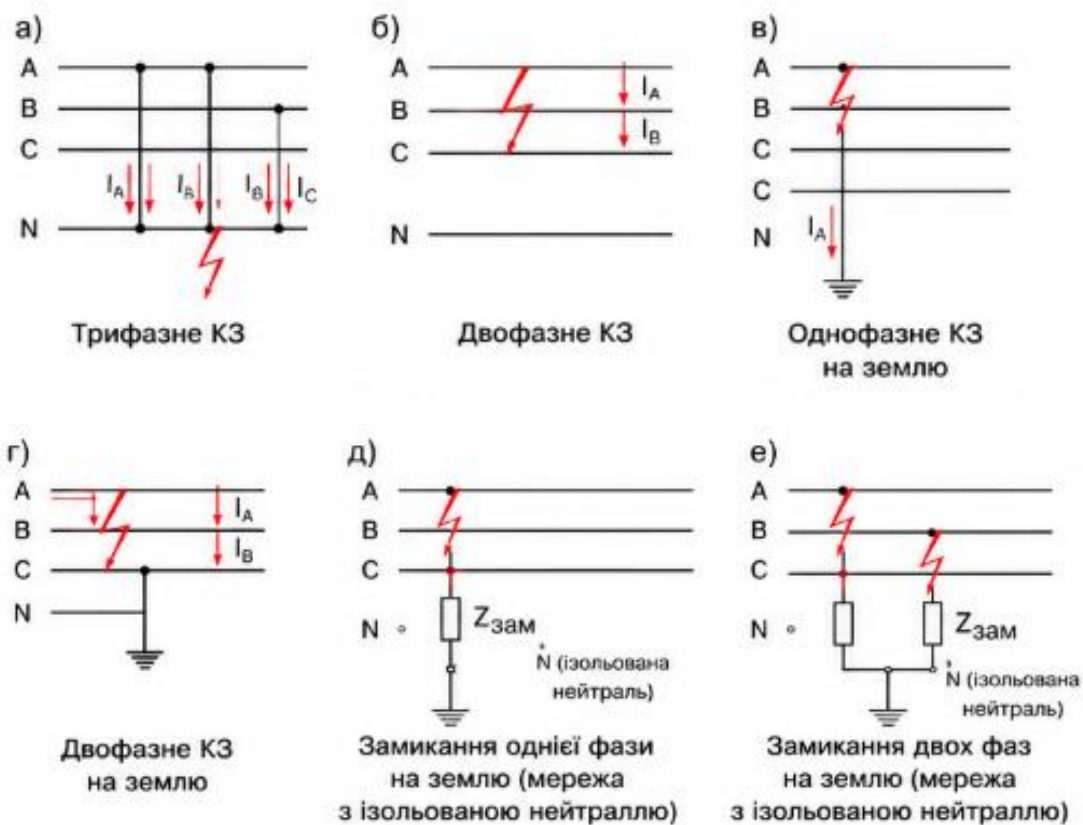


Рисунок 7.3 – Основні види коротких замикань у трифазних електричних мережах

В разі виникнення короткого замикання струм аварійного режиму різко зростає, що спричиняє збільшення падіння напруги в елементах системи електропостачання. В результаті цього спостерігається зниження рівня напруги вздовж усієї електричної мережі (Рис. 7.4). Значення напруги в будь-якій точці мережі визначається виразом:

$$U_M = E - I_K Z_M$$

де E - електрорушійна сила джерела живлення;

I_K - струм короткого замикання;

Z_M - повний комплексний опір ділянки мережі від джерела живлення до розглядуваної точки M .

Найбільше падіння напруги спостерігається безпосередньо в місці виникнення короткого замикання та на прилеглих ділянках мережі. У міру віддалення від аварійної точки вплив короткого замикання на рівень напруги

поступово зменшується. У віддалених вузлах електричної системи напруга знижується менш суттєво, особливо за наявності додаткових джерел живлення або резервних ліній електропостачання.

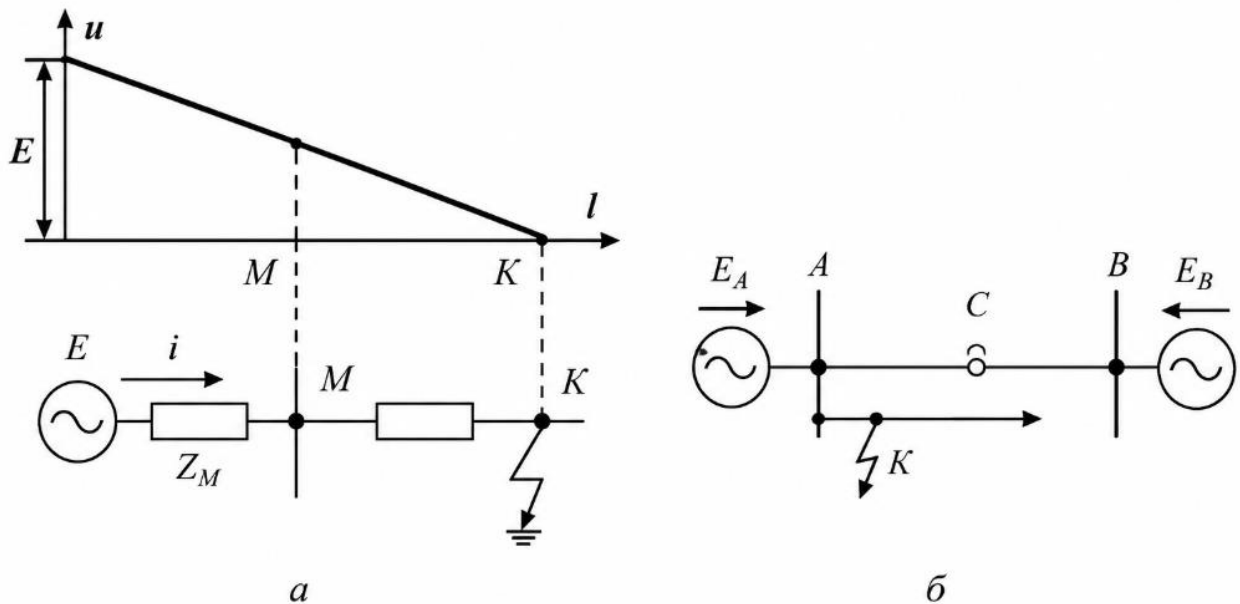


Рисунок 7.4 – Вплив кз на споживачів (а) і на систему (б).

Зростання струму короткого замикання та одночасне зниження напруги в електричній мережі під час аварійного режиму призводять до виникнення небезпечних теплових і електродинамічних процесів. Наслідки таких аварій можуть спричиняти значні пошкодження електрообладнання, порушення роботи споживачів та аварійне відключення окремих ділянок системи електропостачання.

Теплова дія струму короткого замикання визначається законом Джоуля–Ленца, відповідно до якого кількість теплоти, що виділяється у провіднику з активним опором R протягом часу t , пропорційна квадрату струму:

$$Q = I_k^2 R t$$

де Q - кількість виділеної теплоти;

I_k - струм короткого замикання;

R - активний опір електричного кола;

t - тривалість проходження аварійного струму.

У місці виникнення короткого замикання виділення значної кількості теплової енергії супроводжується утворенням електричної дуги, температура якої може досягати декількох тисяч градусів. Це призводить до руйнування ізоляції, оплавлення струмовідних частин, пошкодження обладнання та виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Ступінь пошкодження залежить від величини аварійного струму та часу його дії.

Струм короткого замикання, проходячи через непошкоджені елементи мережі, також викликає їх інтенсивне нагрівання. У разі перевищення допустимих температур можливе:

- старіння або руйнування ізоляції;
- деформація шин і контактних з'єднань;
- пошкодження кабельних ліній;
- вихід з ладу трансформаторів та електродвигунів.

Крім теплового впливу, короткі замикання спричиняють значне зниження напруги в мережі, що негативно впливає на роботу електроприймачів. Особливо чутливими до просядок напруги є електродвигуни, автоматизовані системи керування, комп'ютерне обладнання, частотні перетворювачі, системи освітлення.

При значному зниженні напруги електродвигуни можуть втрачати обертовий момент, перегріватися або повністю зупинятися, що створює небезпеку для технологічного процесу підприємства.

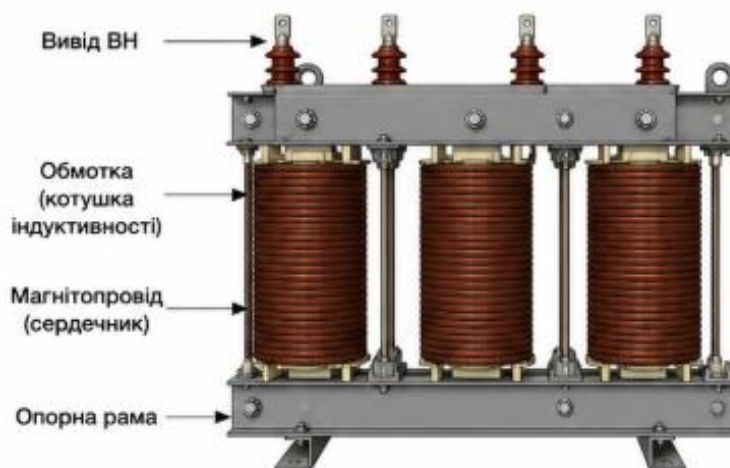


Рисунок 7. 5 – Конструкція реактора

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	53

Для обмеження струмів короткого замикання у системах електропостачання широко застосовуються струмообмежувальні реактори. Реактор являє собою індуктивний елемент з великим реактивним опором, який вмикається послідовно в електричне коло та зменшує величину аварійного струму.

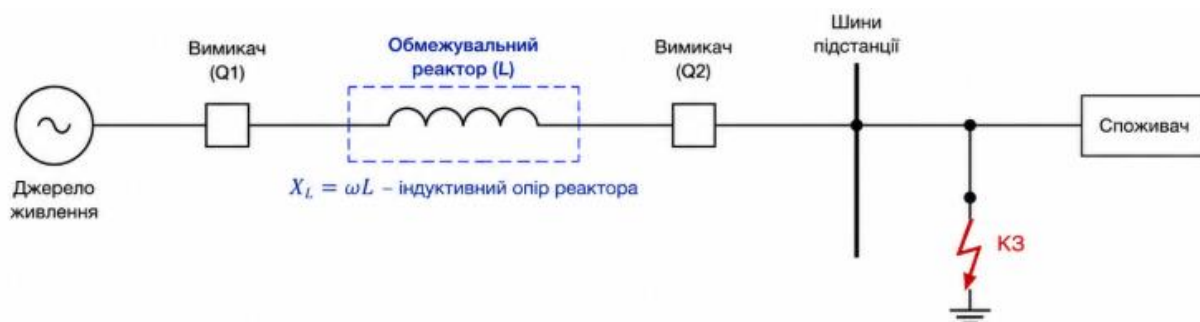


Рисунок 7.6 – Схема ввімкнення реактора в електричну мережу

Індуктивний опір реактора визначається залежністю:

$$X_L = \omega L$$

де X_L - індуктивний опір реактора;

ω - кутова частота;

L - індуктивність реактора.

Застосування реакторів дозволяє:

- 1) зменшити величину струму короткого замикання;
- 2) підвищити надійність роботи електрообладнання;
- 3) знизити електродинамічні навантаження;
- 4) покращити умови роботи комутаційної апаратури;
- 5) підвищити рівень електробезпеки системи електропостачання.

Основними споживачами електричної енергії є асинхронні двигуни. Тому при зниженні напруги момент обертання електродвигунів може виявитися меншим від моменту опору механізмів, що призводить до їх зупинки. Крім того, порушується нормальна робота освітлювальних

установок, які складають другу значну частину споживачів електричної енергії. Особливо чутливі до зниження напруги комп'ютери і керуючі машини, елементи систем автоматики і зв'язку. Найнебезпечнішим є те, що зниження напруги спричиняє порушення стійкості паралельної роботи генераторів. Це призводить до аварій в системі електропостачання підприємства і припинення живлення її споживачів.

7.3 Вплив струмів короткого замикання на елементи систем електропостачання

Під час проектування та експлуатації електроустановок промислових підприємств необхідно враховувати не лише параметри нормального режиму роботи, а й можливі аварійні режими, пов'язані з виникненням коротких замикань. Особливу увагу приділяють перевірці струмовідних частин, комутаційної апаратури, трансформаторів, кабельних і повітряних ліній на стійкість до дії аварійних струмів.

Струми короткого замикання значно перевищують робочі струми електроустановок і можуть створювати небезпечні теплові та механічні навантаження на обладнання. У процесі проходження аварійного струму у струмовідних елементах виникають значні електродинамічні сили та інтенсивне тепловиділення, які здатні призвести до пошкодження або повного руйнування елементів системи електропостачання.

Одним із найнебезпечніших наслідків короткого замикання є теплова дія струму. Унаслідок проходження великого струму температура провідників, шин, контактних з'єднань та обмоток електричних машин різко зростає. При тривалому впливі аварійного режиму можливі оплавлення контактів, уйнування ізоляції, деформація провідників, пошкодження кабельних ліній, займання електрообладнання.

Крім теплового впливу, струми короткого замикання створюють значні електродинамічні зусилля між струмовідними частинами. Особливо небезпечними є трифазні короткі замикання, при яких виникають максимальні

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення аварійних струмів. Електродинамічні сили можуть викликати вигин шин, руйнування ізоляторів, ослаблення контактів, механічні деформації обмоток трансформаторів і генераторів.

Тому при проектуванні систем електропостачання необхідно забезпечувати не лише термічну, а й динамічну стійкість обладнання до дії струмів короткого замикання.

Величина аварійного струму безпосередньо впливає на вибір:

- 1) автоматичних вимикачів;
- 2) запобіжників;
- 3) трансформаторів струму;
- 4) комутаційної апаратури;
- 5) перерізів кабелів і шин;
- 6) систем релейного захисту.

Неправильний вибір обладнання без урахування можливих струмів короткого замикання може призвести до відмови захисту та масштабних аварій у системі електропостачання підприємства.

Електродинамічна дія струмів короткого замикання є одним із найбільш небезпечних проявів аварійних режимів у системах електропостачання. Провідники, по яких проходять великі аварійні струми, створюють між собою значні електромагнітні сили, що супроводжуються виникненням механічних напружень та деформацій струмовідних частин.

Паралельно розташовані провідники при проходженні струмів взаємодіють між собою: якщо струми мають однаковий напрямок, провідники притягуються, а при протилежних напрямках - відштовхуються. Сила взаємодії між двома паралельними провідниками визначається залежністю:

$$F = k_f \cdot 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2 l}{a}$$

де k_f - коефіцієнт форми провідників; I_1, I_2 - струми у провідниках; a - відстань між провідниками; l - довжина провідників.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для провідників круглого перерізу коефіцієнт форми приймається рівним одиниці.

У трифазних електричних мережах змінного струму електродинамічні сили мають змінний характер, оскільки величина та напрямок фазних струмів безперервно змінюються у часі. У результаті цього механічні навантаження на струмовідні елементи також змінюються за величиною та напрямком, створюючи коливальні процеси.

У різні моменти часу максимальні значення струмів виникають у різних фазах трифазної системи. Відповідно до цього змінюється і характер взаємодії між провідниками. Сила, що діє на певний провідник, визначається сумарною дією електромагнітних полів струмів інших фаз.

У трифазних електроустановках змінного струму електродинамічна взаємодія між провідниками має складний змінний характер. Сили, які виникають між фазами, безперервно змінюються як за величиною, так і за напрямком, оскільки фазні струми є синусоїдальними та зміщеними один відносно одного на кут 120° . У результаті цього механічні навантаження на струмовідні частини мають коливальний характер.

На графіку струмів трифазної системи можна виділити окремі моменти часу t_1 – t_3 , у яких струми фаз А, В та С досягають своїх максимальних значень. У ці моменти електродинамічні сили між провідниками також набувають найбільших значень і змінюють свій напрямок відповідно до співвідношення миттєвих струмів у фазах.

Сила, що діє на провідник зі струмом, формується внаслідок взаємодії його магнітного поля з магнітними полями струмів інших фаз. Тому у трифазній системі кожен провідник одночасно перебуває під впливом декількох змінних електромагнітних сил.

При виникненні короткого замикання величина струмів різко зростає, а разом із цим значно збільшуються і електродинамічні навантаження на шини, кабелі, струмопроводи та обмотки електричних машин. Саме тому елементи

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систем електропостачання повинні мати достатню механічну міцність та динамічну стійкість для роботи в аварійних режимах.

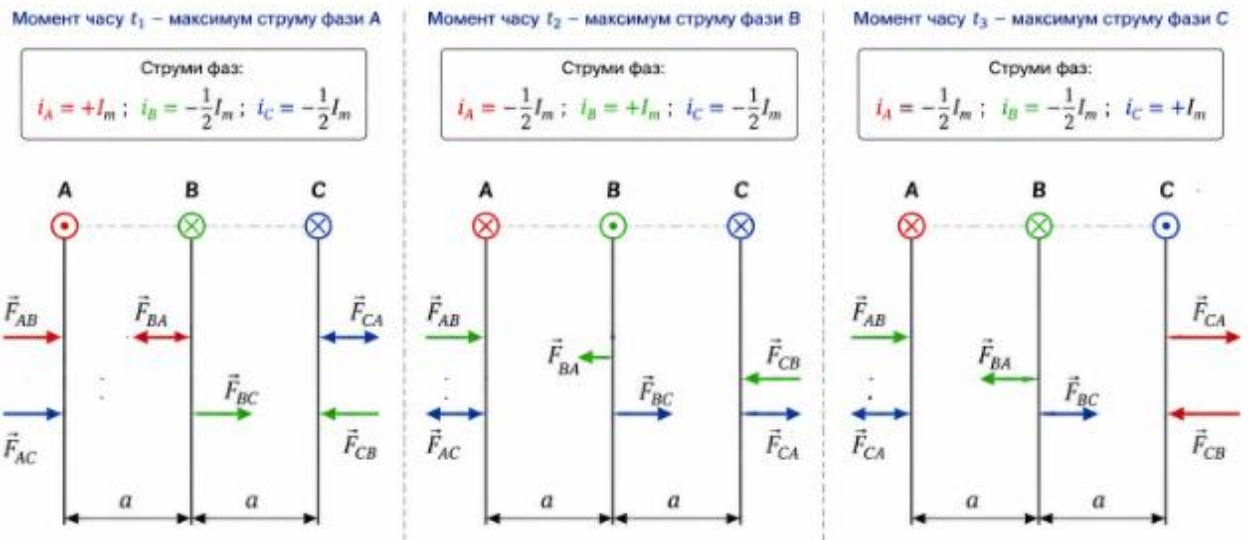


Рисунок 7. 7 – Діаграма сил у системі трифазних шинопроводів для моментів часу t_1-t_3

Найбільше значення електродинамічної сили, що діє на провідник під час проходження струму короткого замикання, визначається залежністю:

$$F_{max} = 3 \cdot 10^{-7} \frac{I_k^2 l}{a}$$

де I_k - струм короткого замикання, l - довжина провідника, a - відстань між провідниками.

У реальних електроустановках значні механічні зусилля можуть виникати не лише між окремими фазними провідниками, а й усередині однієї фази. Це характерно для випадків, коли фаза виконана кількома паралельними провідниками або коли струмовідні частини мають вигнуту форму й утворюють петлі. За таких умов електромагнітна взаємодія може спричиняти додаткові сили, здатні деформувати шини, послабити контактні з'єднання або пошкодити ізолятори.

У потужних електричних апаратах ці зусилля можуть досягати дуже великих значень, інколи близько 2000 Н. Саме тому під час вибору шин, кабелів, комутаційної апаратури та інших струмовідних елементів обов'язково

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	58

перевіряють їхню електродинамічну стійкість. Така перевірка дозволяє переконатися, що обладнання зможе витримати механічну дію аварійних струмів без руйнування або небезпечної деформації.

Електродинамічна стійкість характеризує здатність електричних апаратів і струмовідних конструкцій витримувати короточасний вплив механічних зусиль, що виникають під час проходження струмів короткого замикання, без пошкоджень та порушення нормального режиму роботи. Для кожного електричного апарата виробником задається граничне значення струму короткого замикання, при якому гарантується його безпечна робота в аварійному режимі.

Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), перевірка на електродинамічну стійкість не виконується для електричних апаратів і провідників, що захищені плавкими запобіжниками зі струмом до 60 А. Також така перевірка не є обов'язковою для апаратів і шин у колах трансформаторів, розміщених в окремих камерах.

Під час протікання струму короткого замикання провідники та струмовідні елементи додатково нагріваються понад допустиму робочу температуру. Оскільки аварійний режим триває дуже короткий час - зазвичай кілька секунд - виділене тепло практично не встигає передаватися в навколишнє середовище. Уся теплова енергія витрачається на нагрівання самого провідника.

Інтенсивне нагрівання може спричинити:

- руйнування або обвуглювання ізоляції;
- втрату механічної міцності металу;
- деформацію шин і контактів;
- плавлення струмовідних частин;
- пошкодження електричних апаратів.

Термічна дія струмів короткого замикання оцінюється за критерієм термічної стійкості, який визначається максимально допустимою температурою нагріву провідника або елемента електричного апарата.

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимі температури встановлюються з урахуванням механічної міцності металу, термостійкості ізоляційних матеріалів, умов експлуатації електрообладнання.

Для ізольованих провідників особливе значення має стійкість ізоляції до високих температур, оскільки її пошкодження може призвести до повторних коротких замикань та аварійних режимів.

Перевірка струмовідних частин на термічну стійкість є обов'язковим етапом проектування систем електропостачання промислових підприємств і дозволяє забезпечити надійну роботу електрообладнання під час аварійних режимів.

Таблиця 7.1 – Гранично допустимі температури нагрівання струмовідних елементів при коротких замиканнях

Тип провідника або струмовідної частини	Допустима температура нагрівання, °C
Кабелі з паперовою просоченою ізоляцією з мідними або алюмінієвими жилами напругою до 10 кВ	200
Кабелі з паперовою просоченою ізоляцією напругою 20–220 кВ	125
Алюмінієві шини	200
Мідні шини	300
Сталеві шини	400

Під час перевірки струмовідних елементів і електричних апаратів на термічну стійкість використовують поняття зведеного часу дії струму короткого замикання. Його визначають із умови еквівалентності теплової енергії, яка виділяється усталеним струмом короткого замикання за певний проміжок часу, та енергії, що виділяється реальним змінним у часі аварійним струмом протягом фактичного часу короткого замикання.

Зведений час дії струму короткого замикання складається з двох компонентів - періодичної та аперіодичної складових:

$$t_r = t_{rp} + t_{ra}$$

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $t_{\text{тр}}$ - зведений час періодичної складової;

$t_{\text{ра}}$ - зведений час аперіодичної складової струму короткого замикання.

Значення цих складових визначаються за емпіричними залежностями або спеціальними розрахунковими графіками залежно від тривалості аварійного режиму.

При невеликій тривалості короткого замикання, як правило менше 5 с, використовується допоміжний коефіцієнт β , який характеризує співвідношення між початковим та усталеним значеннями струму короткого замикання:

$$\beta = \frac{I_{k,\infty}}{I_{k,p,0}}$$

де $I_{k,p,0}$ - початкове значення періодичної складової струму короткого замикання; $I_{k,\infty}$ - усталене значення струму короткого замикання.

Під час розрахунків струмів короткого замикання обов'язково перевіряється термічна стійкість струмовідних частин електрообладнання. Така перевірка дозволяє оцінити здатність провідників витримувати теплову дію аварійних струмів без руйнування ізоляції та втрати механічної міцності.

Розрахунок термічної стійкості виконується за залежностями, отриманими на основі кривих нагрівання металів:

$$f(A) = J^2 t_r = f(\theta_{\text{cr}})$$

де θ_{cr} - критична температура нагріву металу;

J - густина струму;

$A = J^2 t_r$ - термічний параметр.

Після визначення допустимої температури нагріву та густини струму обчислюється мінімально допустимий переріз провідника:

$$S_{\text{min}} = \sqrt{\frac{A - A_0}{t_r}}$$

де A_0 - коефіцієнт, який залежить від початкової температури провідника; t_r - зведений час дії струму короткого замикання.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	61

Для високовольного обладнання - вимикачів, роз'єднувачів, короткозамикачів та віддільників - перевірка термічної стійкості здійснюється за тепловим імпульсом струму короткого замикання. Отримане розрахункове значення порівнюють із допустимими каталожними характеристиками обладнання, які гарантують його безпечну роботу в аварійних режимах.

7.4 Визначення місця короткого замикання та моніторинг повітряних ліній електропередач

Для забезпечення надійної роботи повітряних ліній електропередач у сучасних системах електропостачання застосовуються спеціальні системи моніторингу аварійних режимів. Такі системи дозволяють оперативно визначати місце виникнення короткого замикання, контролювати технічний стан ліній та скорочувати тривалість аварійних відключень споживачів.

Одним із поширених засобів контролю є індикатори короткого замикання типу ІКЗ, які використовуються в розподільних мережах напругою 6–35 кВ. Дані пристрої встановлюються безпосередньо на опорах або проводах повітряних ліній електропередач і забезпечують виявлення аварійних режимів у реальному часі.

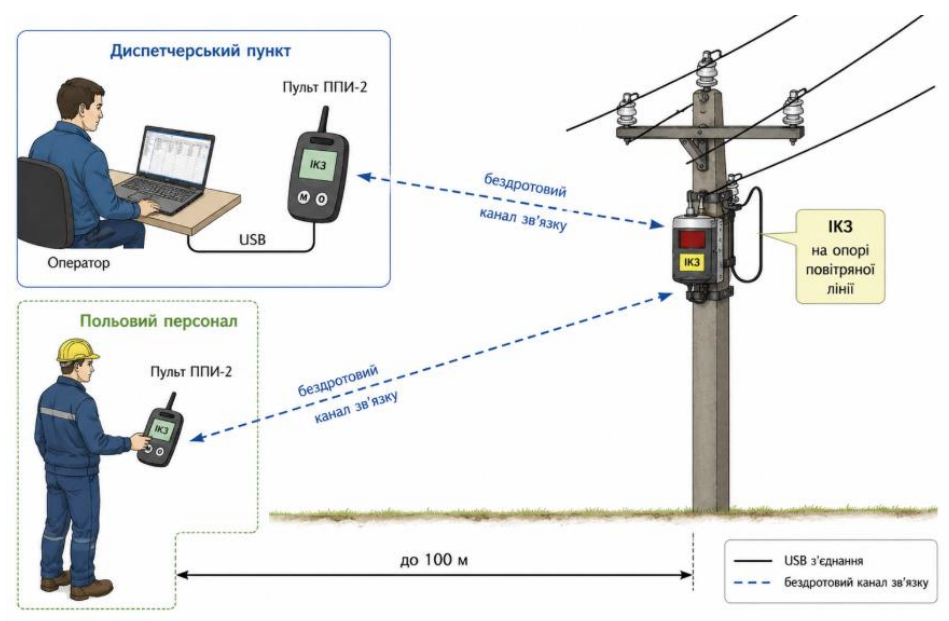


Рисунок 7.8 - Схема зняття показів приладом ІКЗ

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	62

Індикатори короткого замикання призначені для реєстрації міжфазних замикань та однофазних замикань на землю. Залежно від типу виконання вони можуть здійснювати як візуальне оповіщення про аварію, так і дистанційну передачу інформації диспетчерському персоналу.

Передача інформації від індикаторів виконується за допомогою бездротових каналів зв'язку або GPRS-технологій. Отримані дані дозволяють швидко локалізувати пошкоджену ділянку мережі та значно скоротити час відновлення електропостачання.

Усі аварійні події автоматично записуються до внутрішньої пам'яті пристрою та зберігаються у журналі аварій. Це дає можливість аналізувати причини пошкоджень, оцінювати надійність роботи мережі та проводити профілактичну діагностику обладнання.

Сучасні індикатори дозволяють змінювати параметри спрацювання залежно від режиму роботи мережі та характеристик електроустановки. Живлення пристроїв може здійснюватися як від автономної батареї, так і безпосередньо від контрольованої повітряної лінії.

Використання систем моніторингу коротких замикань є важливим елементом цифровізації систем електропостачання. У сучасних Smart Grid-мережах такі пристрої інтегруються з автоматизованими системами диспетчерського керування та забезпечують дистанційний контроль параметрів мережі, автоматичне визначення місця пошкодження і підвищення надійності електропостачання промислових підприємств.

7.5 Засоби забезпечення надійної роботи енергетичної системи

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи енергетичної системи і споживачів електричної енергії застосовуються різноманітні комутаційні та захисні пристрої. У процесі експлуатації електроустановок вони забезпечують керування режимами роботи мережі, а також захист обладнання від аварійних ситуацій, пошкоджень і ненормальних режимів.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

У сучасних системах електропостачання використовуються як ручні, так і автоматичні засоби керування та захисту. Їх застосування дозволяє своєчасно виявляти аварійні процеси, локалізувати пошкоджені ділянки мережі та запобігати розвитку аварій у системі електропостачання.

Для захисту електрообладнання від коротких замикань, перевантажень, зниження напруги та інших небезпечних режимів широко використовуються автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, контактори, теплові реле, релейний захист та інші електричні апарати.

Приклад використання поширених засобів захисту в схемі лінії електропередач та системі живлення трифазного асинхронного двигуна наведений на рис. 9.2. У таких схемах електричні апарати забезпечують комутацію електричних кіл, автоматичне відключення пошкоджених ділянок та захист електродвигуна і мережі від аварійних режимів роботи.

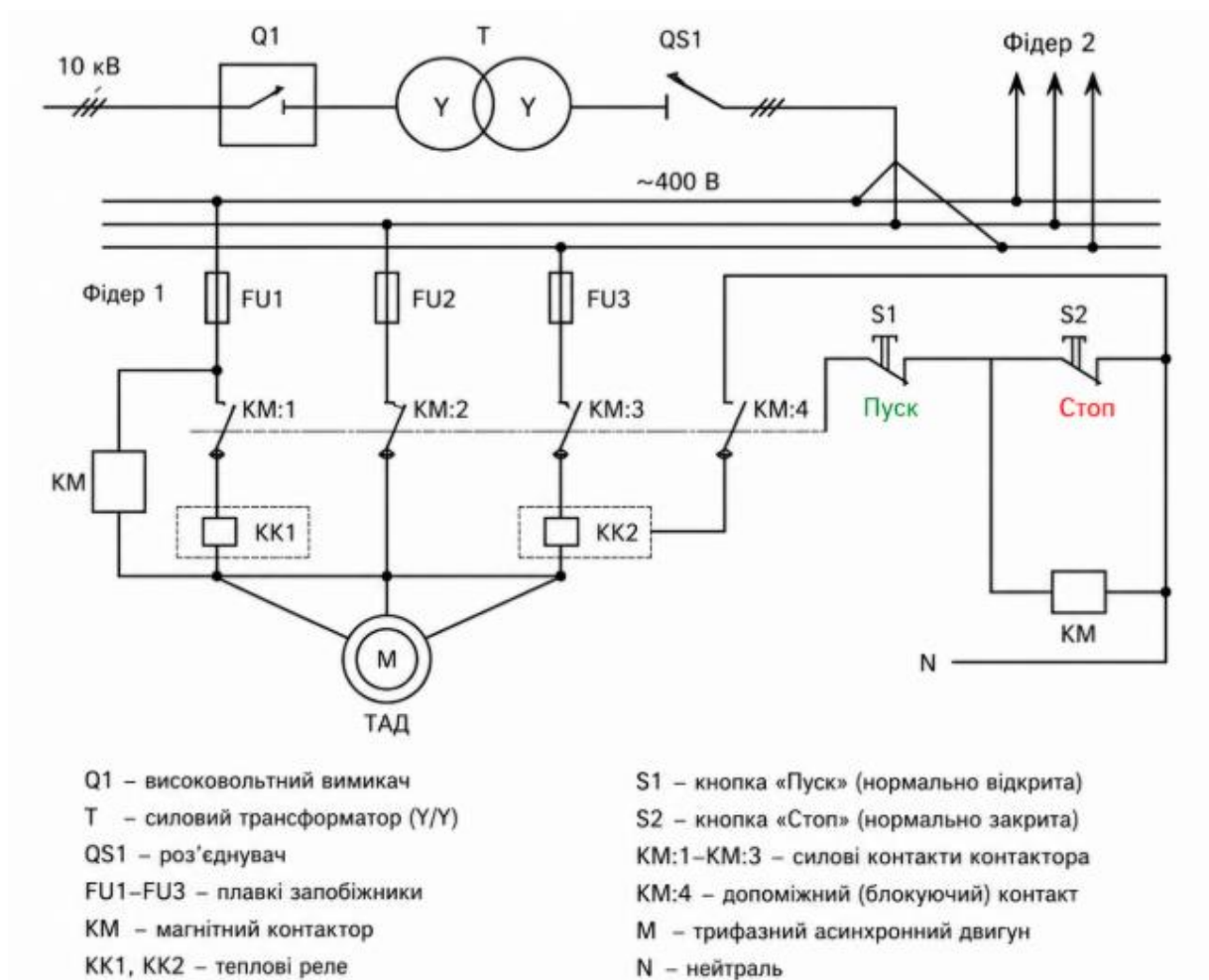


Рисунок 7.9 - Приклади використання електричних апаратів

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	64

Трансформатор T відповідно до наведеної схеми приєднується до трифазної повітряної лінії електропередач напругою 10 кВ за допомогою високовольтного масляного вимикача QI . Після трансформації напруги до рівня 400 В вторинна обмотка трансформатора через роз'єднувач QSI підключається до трифазної розподільної мережі низької напруги.

Від розподільної мережі живляться окремі споживачі через трифазні відгалуження - фідери. Одним із таких споживачів є трифазний асинхронний двигун M . Для захисту двигуна, фідера та елементів мережі від струмів короткого замикання у кожній фазі встановлено плавкі запобіжники $FU1$, $FU2$ і $FU3$.

Пуск електродвигуна здійснюється натисканням кнопки SI «Пуск». Після цього напруга подається на котушку магнітного контактора KM , внаслідок чого контактор спрацьовує та замикає головні силові контакти $KM:1$, $KM:2$ і $KM:3$. Через ці контакти трифазна напруга подається на обмотку статора асинхронного двигуна, що забезпечує його запуск.

Допоміжний контакт $KM:4$ виконує функцію самоблокування контактора. Після відпускання кнопки «Пуск» живлення котушки контактора зберігається через цей допоміжний контакт, що дозволяє двигуну продовжувати роботу без утримування кнопки у натиснутому стані.

Захист електродвигуна від тривалих перевантажень здійснюється тепловими реле $KK1$ та $KK2$. У разі перевищення допустимого значення струму протягом певного часу теплові елементи реле нагріваються та викликають спрацювання захисту. При цьому розмикаються контакти теплового реле, унаслідок чого знеструмлюється котушка контактора KM . Це призводить до розмикання головних силових контактів і відключення електродвигуна від мережі.

Для примусового зупинення двигуна використовується кнопка $S2$ «Стоп». Після її натискання коло живлення котушки контактора розмикається, контактор вимикається під дією поворотної пружини, а всі його контакти

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	65

переходять у початковий стан. У результаті подача напруги на електродвигун припиняється, і двигун зупиняється.

7.5.1 Застосування сучасних комутаційних і захисних пристроїв

Електричні апарати, які використовуються у системах електропостачання, призначені для керування режимами роботи електроустановок, комутації електричних кіл, захисту обладнання та забезпечення безпечної експлуатації електричних мереж. Залежно від рівня робочої напруги електричні апарати поділяються на апарати високої напруги та апарати низької і середньої напруги.

До високовольтих належать електричні апарати, що працюють у мережах напругою 6, 10, 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750 та 1150 кВ. Таке обладнання використовується на електростанціях, підстанціях і магістральних лініях електропередач та обслуговується виключно спеціально підготовленим персоналом, який має відповідну кваліфікацію і допуск до роботи у високовольтих електроустановках.

Апарати низької та середньої напруги застосовуються у мережах до 1000 В і широко використовуються у системах електропостачання промислових підприємств, адміністративних будівель та побутових електроустановках.

За функціональним призначенням найбільш поширеними є електричні апарати керування. Вони забезпечують запуск електротехнічного обладнання, комутацію електричних кіл, перемикання режимів роботи та автоматичний захист електроустановок у разі виникнення аварійних режимів. Такі апарати використовуються у розподільних мережах з номінальною напругою 127, 220, 380, 500, 660 та 1140 В.

До електричних апаратів керування належать автоматичні вимикачі, контактори, магнітні пускачі, реле, рубильники та інші комутаційні пристрої. Вони забезпечують як ручне, так і автоматичне керування електроприймачами та елементами системи електропостачання.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливу роль у сучасних енергетичних системах відіграють електричні апарати автоматики. Їх призначення полягає у контролі електричних і неелектричних параметрів обладнання, формуванні сигналів керування та передачі інформації до систем автоматики. Такі пристрої забезпечують автоматичний контроль режимів роботи, діагностику стану обладнання та своєчасне реагування на аварійні ситуації.

У сучасних системах електропостачання електричні апарати автоматики широко інтегруються з цифровими системами керування, Smart Grid-технологіями та автоматизованими системами диспетчерського контролю, що дозволяє підвищити надійність, ефективність та безпеку роботи електричних мереж.

Одним із основних напрямів підвищення надійності систем електропостачання є впровадження сучасних комутаційних та захисних апаратів у розподільчих електричних мережах. Використання таких пристроїв забезпечує швидке відключення пошкоджених ділянок мережі, зменшує масштаби аварійних відключень та скорочує тривалість перерв електропостачання споживачів. Це позитивно впливає на показники надійності електропостачання, зокрема SAIDI та SAIFI.

Реклоузери являють собою автоматизовані комутаційні апарати, які поєднують функції силового вимикача, пристрою автоматичного повторного вмикання та секціонування мережі. Найбільшого поширення вони набули у повітряних розподільчих мережах напругою 6–10 кВ, особливо на довгих фідерах, де існує підвищена ймовірність короткочасних пошкоджень.

У разі виникнення аварійного режиму реклоузер автоматично відключає пошкоджену ділянку мережі. Після зникнення причини аварії пристрій виконує автоматичне повторне вмикання повітряної лінії без втручання оперативного персоналу. Такий принцип роботи дозволяє значно скоротити час перерви електропостачання та зменшити кількість відключених споживачів.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 7. 10 - Реклоузер (вимикач) вакуумний

Важливою перевагою реклоузерів є можливість автоматичного секціонування електричної мережі. При цьому аварійна ділянка ізолюється, а живлення споживачів здійснюється резервним шляхом. Особливо ефективно це реалізується у кільцевих схемах електропостачання 10 кВ, де реклоузери забезпечують високу гнучкість керування режимами роботи мережі та підвищують її експлуатаційну стійкість.

Роз'єднувачі з електроприводом застосовуються для дистанційного виконання комутаційних операцій у підстанціях та повітряних лініях електропередач. Їх використання дозволяє здійснювати перемикання без безпосередньої присутності обслуговуючого персоналу біля обладнання, що підвищує безпеку експлуатації та скорочує час реагування на аварійні ситуації.

Інтеграція реклоузерів і роз'єднувачів із системами SCADA та DMS забезпечує централізований контроль стану мережі, дистанційне керування комутаційними апаратами та автоматичну фіксацію аварійних подій. Завдяки цьому диспетчерський персонал має можливість оперативно виконувати перемикання та оптимізувати режими роботи мережі, що сприяє підвищенню надійності електропостачання.

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

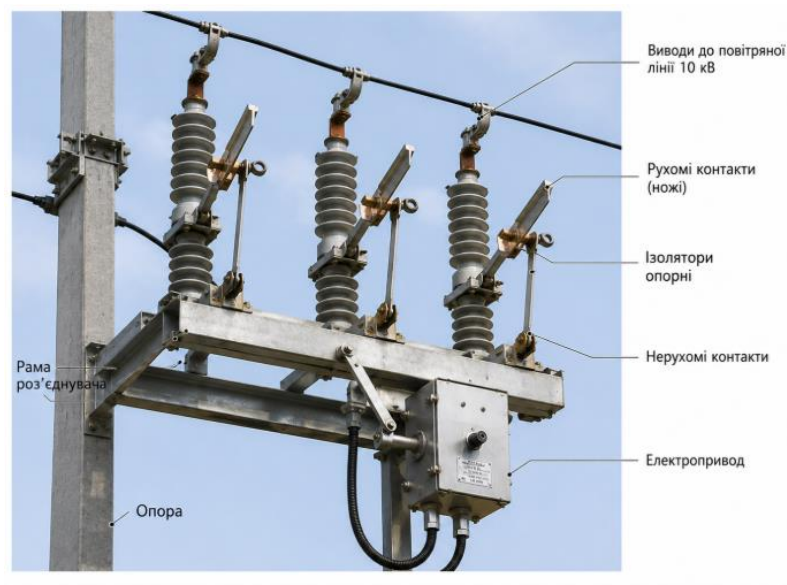


Рисунок 7.11 - Роз'єднувач РВЗ-10/400 з електроприводом

Одними з найбільш ефективних комутаційних апаратів у сучасних розподільчих мережах є вакуумні вимикачі, які широко використовуються в електроустановках напругою 6–35 кВ. Їх застосування обумовлене високою надійністю, швидкодією та тривалим терміном експлуатації.

Принцип дії вакуумного вимикача базується на гасінні електричної дуги у вакуумному середовищі. Відсутність газового або масляного середовища забезпечує швидке відновлення електричної міцності між контактами після розмикання кола. Це дозволяє ефективно відключати струми короткого замикання та знижує ймовірність повторного пробоя.

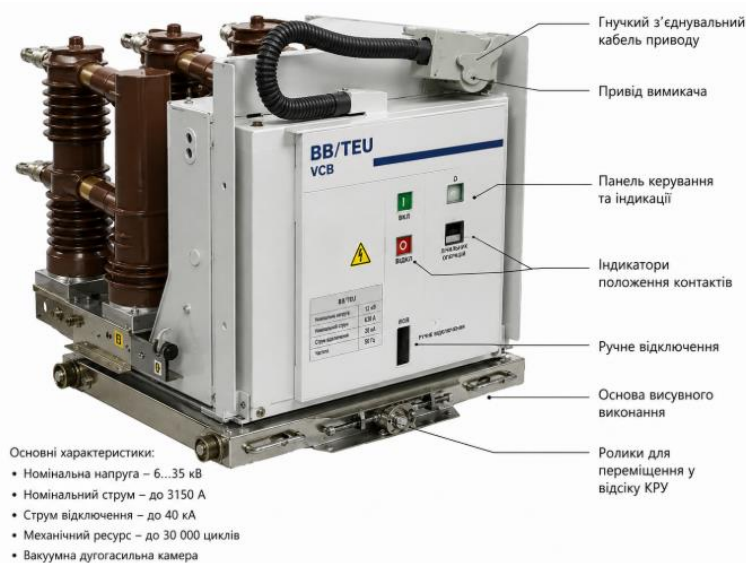


Рисунок 7.12 – Вакуумний вимикач типу VCB

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	69

У порівнянні з масляними та повітряними вимикачами вакуумні апарати характеризуються меншою потребою у технічному обслуговуванні, високою механічною зносостійкістю та відсутністю пожежонебезпечних матеріалів. Такі переваги є особливо важливими для трансформаторних підстанцій, розташованих у житлових районах або у важкодоступних місцях електричних мереж.

Широке використання вакуумних вимикачів у системах електропостачання дозволяє підвищити надійність комутаційних операцій як у нормальних, так і в аварійних режимах роботи мережі. Завдяки високій швидкодії та стабільності параметрів упродовж усього строку служби вакуумні вимикачі сприяють зменшенню кількості аварійних відмов та підвищують ефективність експлуатації електроенергетичного обладнання.

7.5.2 Основні види захисту

Для захисту електрообладнання, систем автоматики, ліній передач при аварійних і ненормальних режимах роботи використовуються різні види захисту. Основними з них є максимальний струмовий захист, диференціальний захист, дистанційний захист.

Максимальний струмовий захист є одним із основних видів релейного захисту, який реагує на збільшення струму при короткому замиканні. Його дія базується на спрацюванні реле струму при перевищенні встановленого значення струму.

Максимальний струмовий захист і струмова відсічка відрізняються способом забезпечення селективності. Для максимального струмового захисту селективність досягається за рахунок витримки часу, а для струмової відсічки - вибором струму спрацювання.

Такий захист переважно застосовується у мережах з одностороннім живленням та встановлюється на початку лінії з боку джерела живлення.

Умова спрацювання захисту визначається виразом:

$$I_k \geq I_{спр}$$

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_k - струм короткого замикання, $I_{спр}$ - струм спрацювання захисту.

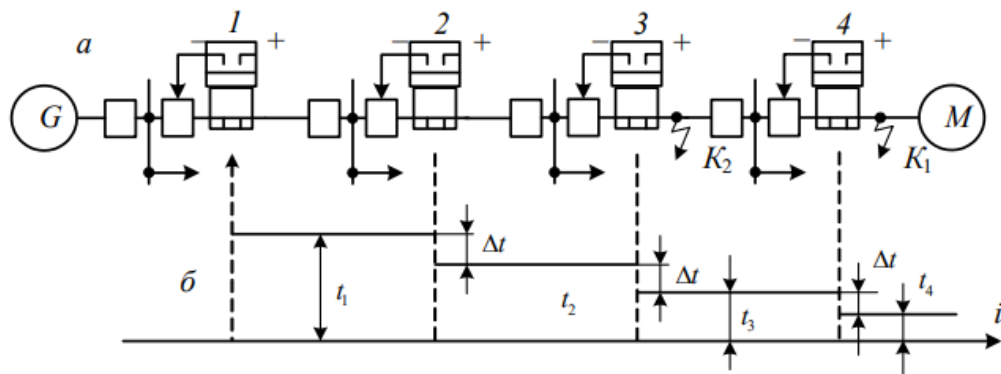


Рисунок 7.13 – Схема максимального струмового захисту в радіальній мережі з одностороннім живленням: а – розташування елементів захисту; б – часові характеристики спрацювання захисту, вибрані за ступінчастим принципом

Диференційний захист застосовується на лініях, які відходять від шин електростанцій або вузлових підстанцій промислових енергосистем. Його призначення полягає у швидкому виявленні коротких замикань у межах захищеної ділянки мережі.

Основною перевагою диференційного захисту є миттєве спрацювання без витримки часу при виникненні короткого замикання в будь-якій точці контрольованої лінії. При цьому захист не реагує на аварії, що знаходяться поза межами захищеної зони, завдяки чому забезпечується висока селективність роботи системи захисту.

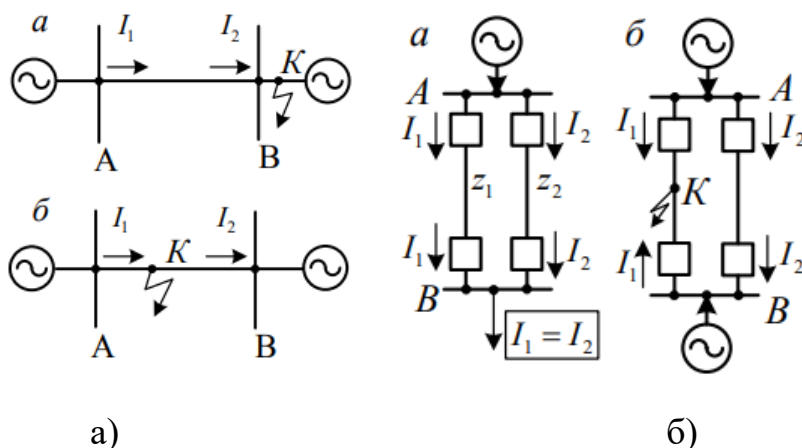


Рисунок 7.14 – Розподіл струмів у а) – продольному захисті, б) - поперечному захисті

Дистанційний захист застосовується у електричних мережах складної структури, які мають декілька джерел живлення. Його використовують у випадках, коли максимальний струмовий або направлений захист не забезпечує необхідної селективності та швидкодії при коротких замиканнях.

Принцип роботи дистанційного захисту базується на визначенні опору ділянки мережі до місця пошкодження. При виникненні короткого замикання захист оцінює відстань до аварійної точки та виконує відключення пошкодженої лінії.

У складних мережах можуть виникати ситуації, коли для різних ліній необхідна різна послідовність спрацювання захистів. Наприклад, при короткому замиканні на одній лінії один захист повинен спрацьовувати швидше за інший, а при аварії на сусідній лінії - навпаки. Такі умови важко реалізувати за допомогою максимального направленного захисту.

Дистанційний захист дозволяє забезпечити необхідну селективність і високу швидкість навіть у розгалужених мережах. При цьому струмові відсічки не завжди є ефективними, а подовжній диференційний захист зазвичай застосовується лише на коротких лініях електропередач.

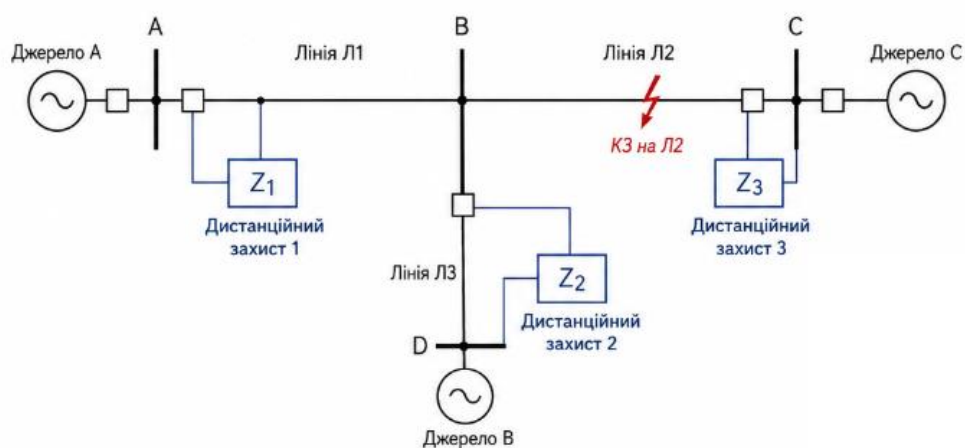


Рисунок 7.15 – Схема дистанційного релейного захисту в електричній мережі з декількома джерелами живлення

Важливим елементом забезпечення живучості розподільчих електричних мереж є використання резервних джерел живлення. Наявність резервного живлення дозволяє оперативно відновлювати електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, зокрема медичних установ, систем водопостачання, зв'язку та інших важливих споживачів, навіть у випадку пошкодження або повного виходу з ладу основних підстанцій.

У сучасних умовах особливого значення набуває підвищення стійкості електричних мереж до зовнішніх впливів та аварійних ситуацій. Для цього застосовуються інженерні заходи захисту електрообладнання, які передбачають розміщення підстанцій у захищених зонах, використання протипожежних систем, зменшення концентрації критично важливого обладнання та децентралізацію структури мережі. Такий підхід дозволяє знизити ймовірність каскадних аварій та уникнути масштабних відключень електропостачання.

Одним із найбільш ефективних способів підвищення надійності систем електропостачання є резервування та секціонування електричних мереж. Використання цих технічних рішень дає можливість обмежити зону аварійного відключення та скоротити тривалість перерв у подачі електроенергії споживачам.

Резервування мереж полягає у створенні альтернативних шляхів живлення, які забезпечують подачу електроенергії у разі пошкодження основного елемента системи. У розподільчих мережах це реалізується шляхом використання кільцевих схем електропостачання, двостороннього живлення повітряних ліній, встановлення резервних трансформаторів на підстанціях, а також можливості переключення навантаження на суміжні фідери.

Застосування резервування та секціонування дозволяє значно підвищити надійність електропостачання, покращити експлуатаційну стійкість мережі та забезпечити безперервне електроживлення відповідальних споживачів.

						Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

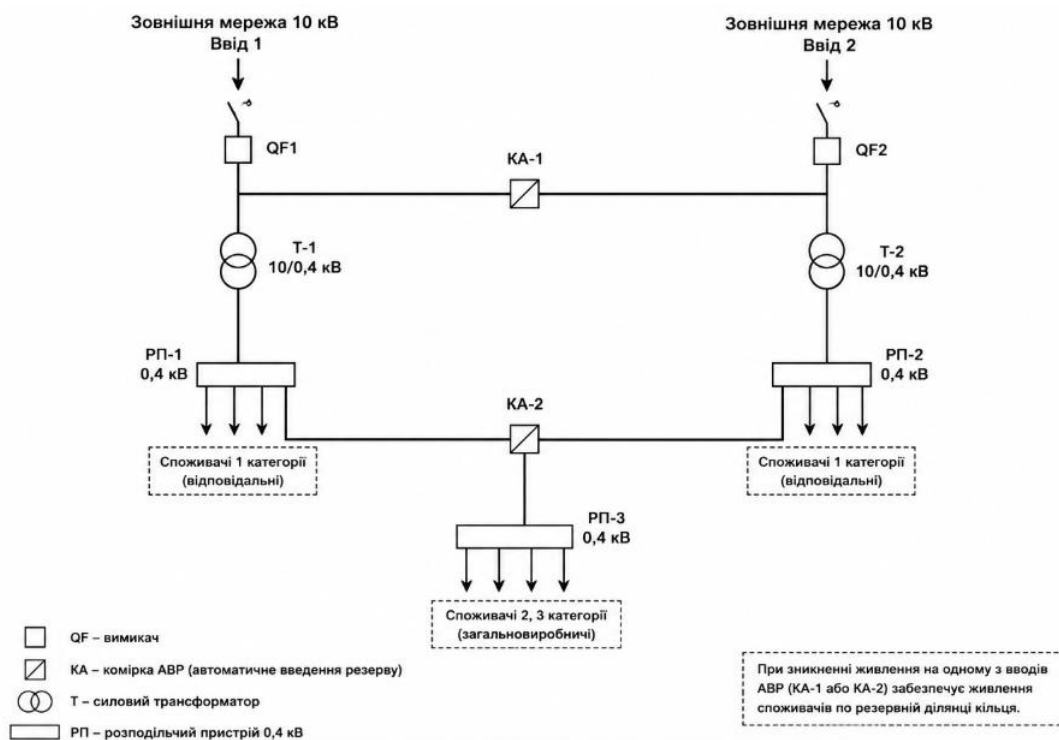


Рисунок 7.16 – Спрощена кільцева схема електропостачання підприємства

Кільцеві схеми електропостачання є одним із найефективніших способів резервування у розподільчих мережах. У нормальному режимі такі мережі зазвичай працюють у розімкнутому стані, а при виникненні аварійного пошкодження забезпечують швидке перепідключення споживачів до резервного джерела живлення. Використання кільцевих схем суттєво підвищує живучість мережі та дозволяє зменшити кількість тривалих перерв електропостачання.

Секціонування електричних мереж полягає у поділі повітряних ліній електропередач на окремі ділянки за допомогою комутаційних апаратів для локалізації аварійної зони. У мережах оператора системи розподілу для цього застосовуються вимикачі, роз'єднувачі, реклоузери та секціонуючі пункти, які встановлюються на протяжних лініях середньої напруги.

Завдяки секціонуванню при пошкодженні відключається лише аварійна ділянка мережі, тоді як інші споживачі продовжують отримувати електроенергію. Особливо важливим це є для сільських та розгалужених мереж, де одна повітряна лінія може забезпечувати живлення значної кількості

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	74

трансформаторних підстанцій і споживачів. Тому секціонування є обов’язковим технічним рішенням при проектуванні та модернізації розподільчих мереж.

Важливим напрямом підвищення надійності електропостачання є автоматизація розподільчих мереж та впровадження сучасних систем оперативного керування. Автоматизація дозволяє значно скоротити час виявлення аварійних пошкоджень, локалізувати несправні ділянки та швидко відновлювати електропостачання споживачів.

Основу автоматизації сучасних електричних мереж складають системи SCADA/DMS, пристрої дистанційного керування комутаційними апаратами, системи автоматичного повторного вмикання (АПВ) та автоматичного введення резерву (АВР). Використання таких технологій забезпечує перехід від локального ручного керування до централізованого диспетчерського контролю за режимами роботи мережі у режимі реального часу.

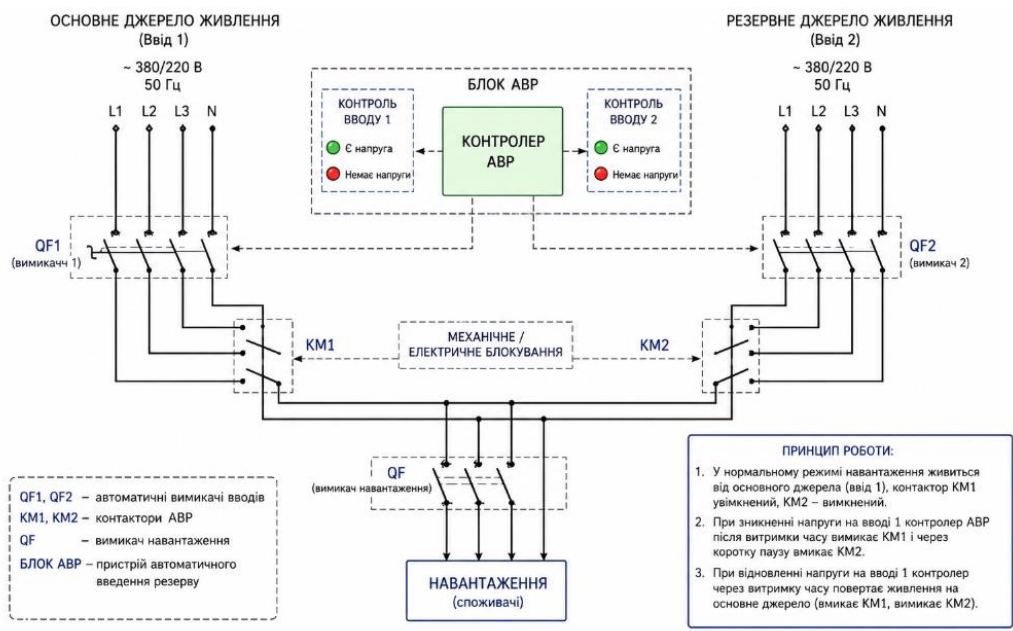


Рисунок 7.17 – Типова схема автоматичного введення резерву

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) - це автоматизована система диспетчерського контролю та збору даних, яка використовується для моніторингу, керування і діагностики технологічних процесів у системах електропостачання, промисловості та енергетиці. Основним призначенням

					Арк.
					75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

SCADA-систем є централізований контроль роботи обладнання в режимі реального часу.

У системах електропостачання SCADA забезпечує збір інформації від підстанцій, комутаційних апаратів, релейного захисту, лічильників електроенергії та інших пристроїв. Отримані дані передаються до диспетчерського пункту, де оператор може контролювати стан мережі, виконувати перемикання та оперативно реагувати на аварійні ситуації.

До основних функцій SCADA-систем належать: дистанційний контроль параметрів мережі; керування комутаційними апаратами; автоматичне виявлення аварій; архівування технологічних даних; формування аварійних повідомлень; ведення журналів подій; візуалізація режимів роботи електромережі.

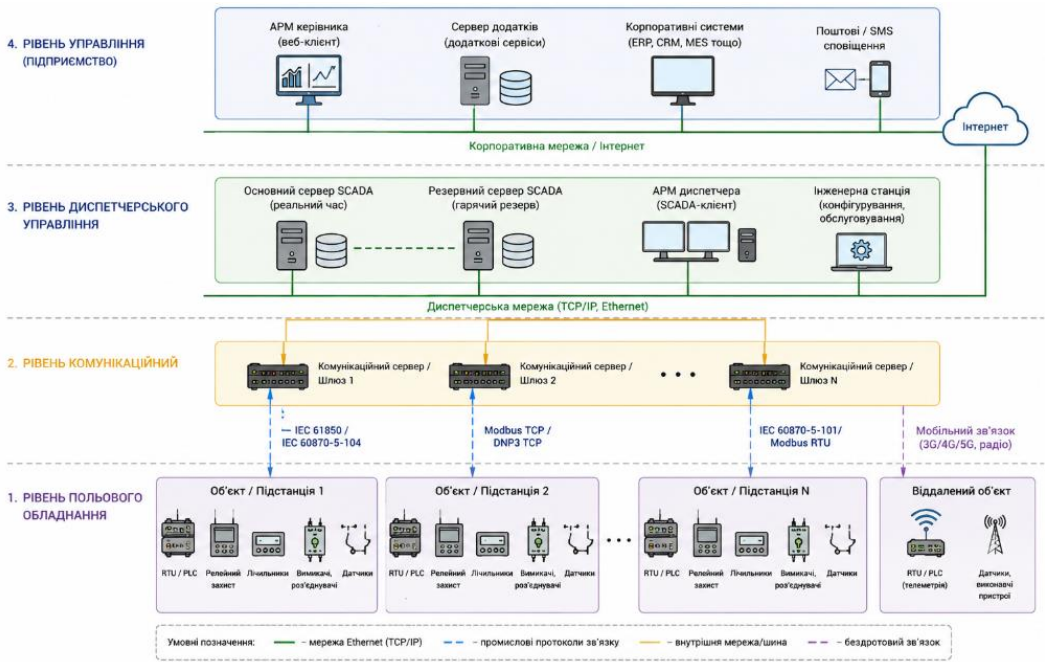


Рисунок 7.18 - Структурна схема типового застосування SCADA-системи

Сучасні SCADA-системи інтегруються з мікропроцесорними пристроями релейного захисту, системами АВР, АПВ та Smart Grid-технологіями. Це дозволяє значно підвищити надійність електропостачання, скоротити час ліквідації аварій та забезпечити ефективне диспетчерське керування розподільчими мережами.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі виконано проектування системи електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу з урахуванням сучасних вимог до надійності, енергоефективності та безпеки експлуатації електроустановок.

В процесі виконання роботи були визначені розрахункові електричні навантаження силових та освітлювальних електроприймачів підприємства, виконано розрахунок навантажень напругою до 1000 В та вище 1000 В, а також визначено загальне навантаження виробничого комплексу. На основі отриманих результатів побудовано картограму електричних навантажень та визначено центр електричних навантажень підприємства, що дозволило раціонально розмістити головну понижувальну підстанцію та цехові трансформаторні підстанції.

В роботі виконано вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій. Проведена перевірка коефіцієнтів завантаження трансформаторів у нормальному та післяаварійному режимах підтвердила правильність вибору їх потужності.

Для підвищення енергоефективності системи електропостачання виконано розрахунок балансу реактивної потужності та обрано компенсуючі пристрої загальною потужністю 9100 квар. Компенсація реактивної потужності реалізована шляхом встановлення низьковольтних і високовольтних батарей статичних конденсаторів, що дозволило знизити втрати електроенергії, покращити коефіцієнт потужності та зменшити навантаження на трансформаторне обладнання.

Виконано техніко-економічне порівняння варіантів систем електропостачання напругою 10 кВ та 35 кВ. За результатами розрахунків встановлено, що варіант із живленням на напрузі 35 кВ має менші приведені витрати та забезпечує більш економічний режим роботи системи електропостачання, тому він був прийнятий для подальшого проектування.

					Арк. 77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

В роботі проведено розрахунок струмів короткого замикання, на основі якого виконано вибір комутаційної апаратури, кабельних ліній та іншого електрообладнання. Перевірено термічну та динамічну стійкість елементів системи електропостачання до дії аварійних струмів.

В спеціальному розділі роботи проаналізовано аварійні режими в системах електропостачання промислових підприємств, розглянуто причини виникнення коротких замикань, їх теплову та електродинамічну дію на електрообладнання, а також сучасні засоби підвищення надійності електропостачання. Особливу увагу приділено використанню мікропроцесорного релейного захисту, автоматичного введення резерву, цифрових систем моніторингу та Smart Metering, що дозволяють підвищити ефективність експлуатації електричних мереж підприємства.

Отримані результати підтверджують, що спроектована система електропостачання ремонтно-механічного виробничого комплексу забезпечує необхідний рівень надійності, економічності та безпеки роботи електроустановок та може бути рекомендована до практичного впровадження.

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш, О. І. Сіріков, О. А. Козловський] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

2. Електротехнічні системи електроспоживання: [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.]; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.

3. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. –Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с.

4. Основи електропостачання сільського господарства: Навчальний посібник / О. І. Коваленко, Л. Р. Коваленко, В. О. Мунтян, І. П. Радько. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2011 – 462 с

5. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

6. Magma.com.ua. SCADA-системи для розподільчої мережі [Електронний ресурс]. URL: <https://magma.com.ua/knowhow/scada>.

7. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

8. Аввакумов, В. Г. Перехідні процеси в системах електропостачання. Елементи теорії, програми, ілюстрації: навчальний посібник / В. Г. Аввакумов, Л. Б. Терешкевич, Г. Л. Лисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 245 с.

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