

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

_____ Петро ПЛІШКОВ

«__-__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-21-ЗСК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Євген ШЕВЦОВ

«__-__» _____ 2024 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Валентин СОЛДАТЕНКО

«__-__» _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Шевцова Євгена Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту

Development of a power supply system for a metalworking tool manufacturing plant

2. Керівник роботи Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук, доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>08.04-19.04</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.04-23.04</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05-20.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>21.05-26.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>27.05-30.05</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

Євген ШЕВЦОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 72 с.; 9 рис.; 29 табл.; 7 джерел

Шевцов Є. О. Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Робота присвячена проектуванню системи електропостачання м'ясопереробного підприємства. В роботі вирішувались питання розрахунку: електричних навантажень, розрахунку режимів реактивної потужності, визначення струмів коротких замикань, обґрунтування та вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання а також вибір високовольтного обладнання системи електропостачання.

У роботі розглядаються питання вибору, розрахунку та експлуатації акумуляторних систем накопичення енергії у складі фотоелектричних установок. Обґрунтовано вибір типу акумуляторів та розраховано їх необхідну кількість і сумарну ємність з урахуванням режимів роботи. Описано вимоги до безпечної експлуатації акумуляторних систем, фактори, що впливають на термін їх служби, а також особливості послідовного та паралельного з'єднання окремих акумуляторів в єдиний банк. Проаналізовано основні характеристики фотоелектричних систем та зовнішні чинники, які визначають їх продуктивність.

Ключові слова: розрахункові навантаження, електрична мережа, акумуляторна батарея, система резервного живлення

ABSTRACT

Qualification work: 72 p.; 9 Fig.; 29 tables; 7 sources

Shevtsov Y. Development of a power supply system for a metalworking tool manufacturing plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The work is devoted to the development of the power supply system for a meat processing enterprise. The work dealt with the calculation of: electrical loads, calculation of reactive power modes, determination of short-circuit currents, substantiation and selection of external and internal power supply schemes, as well as selection of high-voltage equipment of the power supply system.

The work deals with the selection, calculation and operation of battery energy storage systems as part of photovoltaic installations. The choice of the type of batteries is substantiated and their required number and total capacity is calculated, taking into account the operating modes. The requirements for the safe operation of battery systems, the factors affecting their service life, as well as the features of serial and parallel connection of individual batteries into a single bank are described. The main characteristics of photovoltaic systems and external factors that determine their performance are analyzed.

Keywords: calculated loads, electrical network, battery, backup power system

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Електричні навантаження в мережі напругою нижче 1 кВ	9
1.2 Освітлювальні навантаження	11
1.3 Електричні навантаження в мережах понад 1000 В.....	11
1.4 Графіки електричних навантажень підприємства	14
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	23
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	25
3.1 Оцінка схем зовнішнього електропостачання підприємства	25
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання підприємства	29
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	31
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	32
4.2 Вибір числа, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв.....	33
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	41
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	43
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	44
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	49
6. Вибір електричних апаратів високої напруги	50
6.4 Вибір трансформаторів власних потреб та вимірювальних трансформаторів.	52
РОЗДІЛ 7. ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ БАТАРЕЇ.....	55
7.1 Загальна характеристика фотоелектричної системи та фотомодулів	56
7.2 Типи акумуляторів для систем резервного живлення	60
7.3 Фактори правильної експлуатації акумуляторних батарей.....	64
7.4 Схемні рішення при акумуляторних банків для резервного живлення	67
7.5 Обрання числа та ємності акумуляторної батареї	69
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Шевцов Є.О.				Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту Development of a power supply system for a metalworking tool manufacturing plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Солдатенко В.П.						6	72
Н. контр.	Солдатенко В.П.					ЦНТУ зр. ЕЕ-21-3СК		
Затвер.	Плещков П.Г.							

ВСТУП

Стабільне та надійне електропостачання є ключовим фактором для безперебійної роботи промислових підприємств. Комбінат з виробництва металообробного інструменту, як і багато інших виробничих об'єктів, потребує ретельно спроектованої системи електропостачання, яка б забезпечувала живлення всього технологічного обладнання та допоміжних систем.

Сучасне металообробне виробництво характеризується наявністю потужних електродвигунів з частим пуском та зупинкою, великою кількістю зварювального та термічного обладнання, використанням електричних печей та інших енергоємних пристроїв. Це накладає підвищені вимоги до стабільності напруги, надійності електропостачання та можливості компенсації реактивних навантажень.

Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту є комплексною задачею, яка потребує ретельного аналізу технологічних процесів, розрахунку електричних навантажень, вибору оптимальних схем живлення, визначення необхідного резервування та засобів компенсації реактивної потужності. Крім того, необхідно врахувати перспективи розвитку підприємства та можливість подальшого нарощування виробничих потужностей.

У даній роботі буде розглянуто питання проектування системи електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту. Розроблена схема має забезпечити належну якість та безперебійність електроживлення, відповідати вимогам енергоефективності та економічності. Особлива увага буде приділена вибору оптимального варіанту живлення виробничих цехів, компенсації реактивної потужності та резервуванню критично важливих споживачів.

						7

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок електричних навантажень є ключовим етапом при проектуванні систем електропостачання. Він здійснюється як для мереж до 1000 В, так і для мереж вище 1000 В. Опишемо більш детально процес розрахунку навантажень.

Основні етапи розрахунку силових навантажень в мережі до 1000 В такі:

- складається список усіх силових електроприймачів (електродвигуни, нагрівальні прилади, зварювальне обладнання тощо) з їх номінальними потужностями;
- для кожного приймача визначається коефіцієнт використання та розраховується розрахункове навантаження як добуток номінального та коефіцієнту використання;
- до суми розрахункових навантажень вводиться коефіцієнт одночасності, який враховує імовірність одночасної роботи всіх приймачів;
- отримане повне розрахункове навантаження є підставою для вибору кабелів, автоматичних вимикачів та іншого обладнання.

Основні етапи розрахунку освітлювальних навантажень в мережі до 1000 В:

- визначаються площі приміщень та необхідні рівні освітленості згідно з нормативами;
- підбираються типи світильників та їх кількість для забезпечення заданих рівнів освітленості;
- розраховується сумарне освітлювальне навантаження як добуток кількості світильників та їх потужностей.
- до навантаження може вводиться коефіцієнт одночасності для обліку можливості неповного ввімкнення освітлення.

Основні етапи розрахунку силових навантажень в мережі вище 1000 В такі:

- визначаються потужні силові споживачі (електродвигуни, електропечі, зварювальні трансформатори тощо);

						8

- для груп споживачів (підрозділів) розраховуються максимальні розрахункові навантаження з урахуванням коефіцієнтів використання, одночасності та резерву потужності;

- до повного силового навантаження додають навантаження низьковольтних приймачів, які отримують живлення від трансформаторних підстанцій.

1.1 Електричні навантаження в мережі напругою нижче 1 кВ

Для розрахунку використано методику, яка наведено в літературі [1].

Проілюструємо виконання розрахунку на прикладі механічної дільниці.

Відношення потужностей споживачів m :

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мін}} = \frac{125}{2,5} = 50$$

Середня потужність:

$$P_{зм} = P_{сум} K_v = 1853 \cdot 0,301528 = 558,73 \text{ кВт}$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \operatorname{tg} \varphi = 558,73 \cdot 1,41 = 788,83 \text{ кВар}$$

Ефективна кількість споживачів у групі

$$n_e = \frac{2 \sum P_{сум}}{P_{н.маx}} = \frac{2 \cdot 1853}{125} = 29,65 \approx 30$$

За даними [1] визначаємо $K_p = 1,33$.

Розрахункові навантаження групи електроприймачів, відповідно активне, реактивне, повне:

$$P_p = P_{зм} K_p = 558,73 \cdot 1,33 = 740,34 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{зм} = 788,83 \text{ кВар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{740,34^2 + 788,83^2} = 1081,83 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

У подібний спосіб виконані розрахунки для інших ділянок підприємства, а результати зведені в табл. 1.1

						9

Таблиця 1.1 Силлові електричні навантаження до 1 кВ ділянок підприємства

№	Назва ділянки	Кількі.	$P_{\text{одн.}}$, кВт		$P_{\text{сум.}}$, кВт	m	K_v	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Середні потужності		$n_{\text{эф}}$	K_M	Розрахункові потужності		
			мін.	мак.						$P_{\text{зм.}}$, кВт	$Q_{\text{зм.}}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	Ділянка заготівлі	91	2,5	155	2390	62	0,19	0,66	1,14	454,1	516,89	31	1,45	656,88	516,89	835,86
2	Ділянка циліндричних свердел	51	1	88	2081	88	0,21	0,67	1,11	437,01	484,21	47	1,33	581,07	484,21	756,37
3	Ділянка конічних свердел	51	2,5	385	3978	154	0,21	0,66	1,14	835,38	950,9	21	1,52	1270,77	950,9	1587,16
4	Ділянка формувачів внутрішньої різьби	51	2,75	53	2862,75	19,3	0,21	0,66	1,14	601,18	684,31	51	1,31	790,47	684,31	1045,53
5	Ділянка формувачів зовнішньої різьби	61	2,75	32,5	1162,75	11,8	0,21	0,66	1,14	244,18	277,95	61	1,28	313,73	277,95	419,15
6	Ділянка підготовки розгортки	61	2,75	53	1012,75	19,3	0,21	0,66	1,14	212,68	242,09	38	1,37	291,71	242,09	379,08
7	Збирально-інструментальна ділянка	102	4,5	42	1860,5	9,3	0,21	0,66	1,14	390,7	444,73	89	1,23	480,85	444,73	654,98
8	Ділянка головок різьбонарізних	41	2,5	14,5	502,5	5,8	0,21	0,66	1,14	105,52	120,11	41	1,36	143,08	120,11	186,81
9	Ділянка нестандартних виробів	27	4,5	14,5	274,5	3,2	0,21	0,66	1,14	57,64	65,61	27	1,45	83,64	65,61	106,3
10	Ділянка дрібних інструментів	51	2,5	33	442,5	13,2	0,21	0,66	1,14	92,92	105,77	27	1,45	134,84	105,77	171,37
11	Ділянка термообробки	91	7,5	112	1687,5	14,9	0,69	0,86	0,59	1164,37	690,9	30	1,11	1293,02	690,9	1466,03
12	Ділянка для зварювання	51	2,75	325	702,75	118,2	0,36	0,71	0,99	252,99	250,92	4	1,97	499,57	276,01	570,75
13	Ковальська ділянка №1	28	1,25	44,5	201,25	35,6	0,41	0,66	1,14	82,51	93,92	9	1,5	123,99	103,31	161,39
14	Механічна ділянка	145	2,5	125	1853	50	0,301528	0,578	1,41	558,73	788,83	30	1,33	740,34	788,83	1081,83
15	Ремонтно-механічна ділянка	31	1,75	27,5	415,75	15,7	0,21	0,66	1,14	87,31	99,38	30	1,42	124,4	99,38	159,22
16	Електроремонтна ділянка	11	5,5	11	81,5	2	0,31	0,71	0,99	25,27	25,06	11	1,57	39,7	25,06	46,95
17	Деревопереробна ділянка	25	5,5	17,5	165,5	3,2	0,2	0,61	1,3	33,1	43	19	1,57	52,01	43	67,48
18	Ковальська ділянка №2	53	4,55	118	2018	25,9	0,39	0,66	1,14	787,02	895,85	34	1,24	977,56	895,85	1325,96
19	Ділянка лиття	19	5	37	107	7,4	0,61	0,79	0,78	65,27	50,66	6	1,39	90,47	55,73	106,26
	Всього по підприємству	1041	1	385	23799,5	385	0,272606	0,689	1,05	6487,88	6831,09	124	1,16	7518,5	6831,09	10158,33

1.2 Освітлювальні навантаження

Зважаючи на значну кількість ділянок підприємства та їх значну площу з метою спрощення розрахунків освітлювальних навантажень буде виконано з використанням методу питомої потужності, рекомендованому в [1].

Приведемо приклад розрахунку для ділянки заготівлі Вихідними даними для розрахунку є площа підрозділу $B = 1672 \text{ м}^2$, питома потужність освітлювальних пристроїв $p_0 = 11,9 \text{ Вт/м}^2$, коефіцієнти попиту $K_{\pi} = 0,94$, потужності $\cos \varphi = 0,91$.

Нижче наведено розрахунок потужності:

$$P_{\text{вст}} = B \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 1672 \cdot 11,9 \cdot 10^{-3} = 19,36 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_{\pi} K_l P_{\text{вст}} = 0,94 \cdot 1,2 \cdot 19,36 = 21,84 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi = 21,84 \cdot 0,456 = 9,96 \text{ кВар}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{21,84^2 + 9,96^2} = 24 \text{ кВА}$$

Для інших підрозділів виконується такий же розрахунок, результати якого приведені в табл. 1.2.

1.3 Електричні навантаження в мережах понад 1000 В

Силові електричні навантаження в мережі напругою понад 1 кВ розраховуються згідно методу коефіцієнта розрахункової потужності наведеного [1]. Результати розрахунку оформлено у формі табл. 1.3.

						11

Таблиця 1.2. Результати визначення освітлювальних навантажень

№	Назва ділянки	B , м ²	P_0 , Вт/м	$P_{\text{вст}}$, кВт	$K_{\text{п}}$	K_1	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р}}$,кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА
1	Ділянка заготівлі	1627	11,9	19,36	0,94	1,2	0,91	0,456	21,84	9,96	24
2	Ділянка циліндричних свердел	1162	13,9	16,15	0,96	1,2	0,91	0,456	18,6	8,48	20,44
3	Ділянка конічних свердле	1271	13,9	17,67	0,96	1,2	0,91	0,456	20,36	9,28	22,38
4	Ділянка формувачів внутрішньої різьби	782	13,9	10,87	0,96	1,2	0,91	0,456	12,52	5,71	13,76
5	Ділянка формувачів зовнішньої різьби	713	13,9	9,91	0,96	1,2	0,91	0,456	11,42	5,21	12,55
6	Ділянка підготовки розгортки	1862	13,9	25,88	0,96	1,2	0,91	0,456	29,81	13,59	32,76
7	Збирально-інструментальна ділянка	1737	13,9	24,14	0,96	1,2	0,91	0,456	27,81	12,68	30,56
8	Ділянка головок різьбонарізних	1434	13,9	19,93	0,96	1,2	0,91	0,456	22,96	10,47	25,23
9	Ділянка нестандартних виробів	651	13,9	9,05	0,96	1,2	0,91	0,456	10,43	4,76	11,46
10	Ділянка дрібних інструментів	1278	15,9	20,32	0,96	1,2	0,91	0,456	23,41	10,67	25,73
11	Ділянка термообробки	1608	11,9	19,14	0,96	1,2	0,91	0,456	22,05	10,05	24,23
12	Ділянка для зварювання	428	13,9	5,95	0,96	1,2	0,91	0,456	6,85	3,12	7,53
13	Ковальська дільниця №1	206	13,9	2,86	0,96	1,2	0,91	0,456	3,29	1,5	3,62
14	Механічна дільниця	781	13,9	10,86	0,96	1,2	0,91	0,456	12,51	5,7	13,75
15	Ремонтно-механічна дільниця	1141	13,9	15,86	0,96	1,2	0,91	0,456	18,27	8,33	20,08
16	Електроремонтна ділянка	227	13,9	3,16	0,96	1,2	0,91	0,456	3,64	1,66	4
17	Деревопереробна ділянка	875	13,9	12,16	0,96	1,2	0,91	0,456	14,01	6,39	15,4
18	Ковальська ділянка №2	1257	13,9	17,47	0,96	1,2	0,91	0,456	20,13	9,18	22,12
19	Ділянка лиття	1257	10,2	12,82	0,96	1,2	0,91	0,456	14,77	6,74	16,24
20	Територія підприємства	80280	0,11	8,83	1	1,12	0,8	0,75	9,89	7,42	12,36
	Всього по підприємству			282,39					324,57	150,9	357,93

Таблиця 1.3. Результати визначення електричних навантажень вище 1 кВ

Назва ділянки	Кільк.	Р одн., кВт		Рсум.	т	K _в	cosφ	tgφ	Середні потужності		n _{еф}	K _м	Розрахункові потужності		
		мін.	мах						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Підстанц. 1,2															
Ділянка заготівлі															
силове:	91	2,5	155	2390	62	0,19	0,66	1,14	454,1	516,89	31	1,45	656,88	516,89	835,86
освітлювальне:									19,36				21,84	9,96	
Всього:									473,46	516,89			678,72	526,85	859,2
Ділянка формувачів внутрішньої різьби															
силове:	51	2,75	53	2862,75	19,3	0,21	0,66	1,14	601,18	684,31	51	1,31	790,47	684,31	1045,53
освітлювальне:									10,87				12,52	5,71	
Всього:									612,05	684,31			802,99	690,02	1058,74
Ділянка для зварювання															
силове:	51	2,75	325	702,75	118,2	0,36	0,71	0,99	252,99	250,92	4	1,97	499,57	276,01	570,75
освітлювальне:									5,95				6,85	3,12	
Всього:									258,94	250,92			506,42	279,13	578,25
Всього по Підстанц. 1,2:															
силове:	193	2,5	325	5955,5	130	0,22	0,67	1,11	1308,27	1452,12	37	1,37	1786,5	1452,12	2302,22
освітлювальне:									36,18				41,21	18,79	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 1,2:									1344,45	1452,12			1827,71	1470,91	2346,08
Втрати в трансформаторах:													19,6	103,24	
Кількість трансформ.: 3*1000															
Kз = 0,61															
Всього по 10 кВ Підстанц. 1,2:													1847,31	1574,15	2427,04
Підстанц. 3															
Ділянка циліндричних свердел															
силове:	51	1	88	2081	88	0,21	0,67	1,11	437,01	484,21	47	1,33	581,07	484,21	756,37
освітлювальне:									16,15				18,6	8,48	
Всього:									453,16	484,21			599,67	492,69	776,11

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ділянка формувачів зовнішньої різьби															
силове:	61	2,75	32,5	1162,75	11,8	0,21	0,66	1,14	244,18	277,95	61	1,28	313,73	277,95	419,15
освітлювальне:									9,91				11,42	5,21	
Всього:									254,09	277,95			325,15	283,16	431,16
Збирально-інструментальна ділянка															
силове:	102	4,5	42	1860,5	9,3	0,21	0,66	1,14	390,7	444,73	89	1,23	480,85	444,73	654,98
освітлювальне:									24,14				27,81	12,68	
Всього:									414,84	444,73			508,66	457,41	684,08
Ділянка головок різьбонарізних															
силове:	41	2,5	14,5	502,5	5,8	0,21	0,66	1,14	105,52	120,11	41	1,36	143,08	120,11	186,81
освітлювальне:									19,93				22,96	10,47	
Всього:									125,45	120,11			166,04	130,58	211,24
Всього по Підстанц. 3:															
силове:	255	1	88	5606,75	88	0,21	0,66	1,13	1177,41	1327	127	1,19	1400,4	1327	1929,26
освітлювальне:									70,13				80,79	36,84	
Всього по 0,4 кВ Підстанц. 3:									1247,54	1327			1481,19	1363,84	2013,45
Втрати в трансформаторах:													16,97	88,33	
Кількість трансформ.: 2*1000															
$K_3 = 0,74$															
Всього по 10 кВ Підстанц. 3:													1498,16	1452,17	2086,45
Підстанц. 4															
Ділянка дрібних інструментів															
силове:	51	2,5	33	442,5	13,2	0,21	0,66	1,14	92,92	105,77	27	1,45	134,84	105,77	171,37
освітлювальне:									20,32				23,41	10,67	
Всього:									113,24	105,77			158,25	116,44	196,47
Ковальська ділянка №1															
силове:	28	1,25	44,5	201,25	35,6	0,41	0,66	1,14	82,51	93,92	9	1,5	123,99	103,31	161,39
освітлювальне:									2,86				3,29	1,5	
Всього:									85,37	93,92			127,28	104,81	164,88

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Механічна ділянка															
силове:	145	2,5	125	1853	50	0,3	0,58	1,41	558,73	788,83	30	1,33	740,34	788,83	1081,83
освітлювальне:									10,86				12,51	5,7	
Всього:									569,59	788,83			752,85	794,53	1094,56
Ремонтно-механічна ділянка															
силове:	31	1,75	27,5	415,75	15,7	0,21	0,66	1,14	87,31	99,38	30	1,42	124,4	99,38	159,22
освітлювальне:									15,86				18,27	8,33	
Всього:									103,17	99,38			142,67	107,71	178,76
Електроремонтна ділянка															
силове:	11	5,5	11	81,5	2	0,31	0,71	0,99	25,27	25,06	11	1,57	39,7	25,06	46,95
освітлювальне:									3,16				3,64	1,66	
Всього:									28,43	25,06			43,34	26,72	50,91
Всього по Підстанц. 4:															
силове:	266	1,25	125	2994	100	0,28	0,61	1,31	846,74	1112,96	48	1,26	1068,7	1112,96	1542,98
освітлювальне:									53,06				61,12	27,86	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 4:									899,8	1112,96			1129,82	1140,82	1605,6
Втрати в трансформаторах:													11,92	63,1	
Кількість трансформ.: 2*1000															
$K_3 = 0,56$															
Всього по 10 кВ Підстанц. 4:													1141,74	1203,92	1659,22
Підстанц. 5															
Деревопереробна ділянка															
силове:	25	5,5	17,5	165,5	3,2	0,2	0,61	1,3	33,1	43	19	1,57	52,01	43	67,48
освітлювальне:									12,16				14,01	6,39	
Всього:									45,26	43			66,02	49,39	82,45
Ковальська ділянка №2															
силове:	53	4,55	118	2018	25,9	0,39	0,66	1,14	787,02	895,85	34	1,24	977,56	895,85	1325,96
освітлювальне:									17,47				20,13	9,18	
Всього:									804,49	895,85			997,69	905,03	1347,02

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ділянка лиття															
силове:	19	5	37	107	7,4	0,61	0,79	0,78	65,27	50,66	6	1,39	90,47	55,73	106,26
освітлювальне:									12,82				14,77	6,74	
Всього:									78,09	50,66			105,24	62,47	122,38
Територія підприємства															
освітлювальне:									8,83				9,89	7,42	
Всього:									8,83	0			9,89	7,42	12,36
Всього по Підстанц. 5:															
силове:	97	4,55	118	2290,5	25,9	0,39	0,67	1,12	885,39	989,51	39	1,23	1085,43	989,51	1468,77
освітлювальне:									51,28				58,8	29,73	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 5:									936,67	989,51			1144,23	1019,24	1532,36
Втрати в трансформаторах:													12,1	64	
Кількість трансформ.: 2*1000															
$K_z = 0,57$															
Всього по 10 кВ Підстанц. 5:													1156,33	1083,24	1584,46
Підстанц. 6, 7															
Ділянка конічних свердел															
силове:	51	2,5	385	3978	154	0,21	0,66	1,14	835,38	950,9	21	1,52	1270,77	950,9	1587,16
освітлювальне:									17,67				20,36	9,28	
Всього:									853,05	950,9			1291,13	960,18	1609,03
Ділянка підготовки розгортки															
силове:	61	2,75	53	1012,75	19,3	0,21	0,66	1,14	212,68	242,09	38	1,37	291,71	242,09	379,08
освітлювальне:									25,88				29,81	13,59	
Всього:									238,56	242,09			321,52	255,68	410,79
Ділянка нестандартних виробів															
силове:	27	4,5	14,5	274,5	3,2	0,21	0,66	1,14	57,64	65,61	27	1,45	83,64	65,61	106,3
освітлювальне:									9,05				10,43	4,76	
Всього:									66,69	65,61			94,07	70,37	117,48

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ділянка термообробки															
силове:	91	7,5	112	1687,5	14,9	0,69	0,86	0,59	1164,37	690,9	30	1,11	1293,02	690,9	1466,03
освітлювальне:									19,14				22,05	10,05	
Всього:									1183,51	690,9			1315,07	700,95	1490,21
Всього по Підстанц. 6, 7:															
силове:	230	2,5	385	6952,75	154	0,33	0,76	0,86	2270,07	1949,5	36	1,27	2893,47	1949,5	3488,94
освітлювальне:									71,74				82,65	37,68	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 6, 7:									2341,81	1949,5			2976,12	1987,18	3578,57
Втрати в трансформаторах:													34,16	177,79	
Кількість трансформ.: 4*1000															
$K_z = 0,74$															
Всього по 10 кВ Підстанц. 6, 7:													3010,28	2164,97	3707,95
Всього по об'єкту															
силове:	1041	1	385	23799,5	385	0,27	0,69	1,05	6487,88	6831,09	124	1,16	7518,5	6831,09	10158,33
освітлювальне:									282,39				324,57	150,9	
Всього:									6770,27	6831,09			7843,07	6981,99	10500,57
Втрати в трансформаторах:													94,74	496,47	
Всього по об'єкту:													7937,81	7478,46	10905,79
Всього по об'єкту 10 кВ:													7937,81	7478,46	10905,79
$\text{tgf} = 0,94$															
Попереднє значення $Q'_{\text{кп}}$														-6287,8	
Всього з урахуванням попередн. комп.													7937,81	1190,67	8026,62

1.4 Графіки електричних навантажень підприємства

На стадії проектування електропостачання промислового підприємства важливим етапом є побудова графіків електронавантажень. Такі графіки полегшують аналіз режимів споживання електроенергії, планування режимів роботи енергетичного господарства, дозволяють прогнозувати майбутні навантаження. Графіки максимальних навантажень використовуються для визначення потужності трансформаторів, генераторів, ліній електропередач, що дозволяє запобігти перевантаженню обладнання.

Аналіз графіків сприяє зниженню втрат енергії та перетоків реактивної потужності, тим самим зменшується витрата на паливо та оплату електроенергії.

Таким чином, побудова та аналіз графіків електричних навантажень є необхідною умовою для забезпечення надійного та економічного функціонування енергосистем.

В роботі було проведені необхідні розрахунки для побудови графіків електричних навантажень та визначення їх розрахункових параметрів згідно рекомендацій [1]. Розрахунки наведено в табл. 1.4 – 1.6, графіки на рис. 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.4. Заданий графік зміни навантаження у відносних величинах

№ з/п	Робоч. дні		Вихідні дні		№ з/п	Робоч. дні		Вихідні дні	
	Р, %	Q, %	Р, %	Q, %		Р, %	Q, %	Р, %	Q, %
1	77	92	31	51	13	83	92	22	45
2	62	82	31	51	14	94	97	22	45
3	47	69	31	51	15	100	100	22	45
4	47	69	31	51	16	82	91	22	45
5	42	64	31	51	17	62	81	22	45
6	52	70	31	51	18	77	87	22	45
7	47	69	31	51	19	80	88	22	51
8	82	88	31	51	20	80	88	31	51
9	87	94	22	45	21	77	87	31	51
10	100	84	22	45	22	80	88	31	51
11	84	92	22	45	23	85	90	31	51
12	80	88	22	45	24	79	88	31	51

Таблиця 1.5. Розрахунок погодинних значень графіків електричних навантажень

№ з/п	Зимовий період						Літній період					
	Будні дні			Вихідні дні			Будні дні			Вихідні дні		
	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА
1	6112	1095	6209	2461	607	2535	5195	931	5278	2092	516	2155
2	4921	976	5017	2461	607	2535	4183	830	4265	2092	516	2155
3	3731	822	3820	2461	607	2535	3171	698	3247	2092	516	2155
4	3731	822	3820	2461	607	2535	3171	698	3247	2092	516	2155
5	3334	762	3420	2461	607	2535	2834	648	2907	2092	516	2155
6	4128	833	4211	2461	607	2535	3509	708	3580	2092	516	2155
7	3731	822	3820	2461	607	2535	3171	698	3247	2092	516	2155
8	6509	1048	6593	2461	607	2535	5533	891	5604	2092	516	2155
9	6906	1119	6996	1746	536	1826	5870	951	5947	1484	455	1552
10	7938	1000	8001	1746	536	1826	6747	850	6800	1484	455	1552
11	6668	1095	6757	1746	536	1826	5668	931	5744	1484	455	1552
12	6350	1048	6436	1746	536	1826	5398	891	5471	1484	455	1552
13	6588	1095	6678	1746	536	1826	5600	931	5677	1484	455	1552
14	7462	1155	7551	1746	536	1826	6342	982	6418	1484	455	1552
15	7938	1191	8027	1746	536	1826	6747	1012	6822	1484	455	1552
16	6509	1084	6599	1746	536	1826	5533	921	5609	1484	455	1552
17	4921	964	5015	1746	536	1826	4183	820	4263	1484	455	1552
18	6112	1036	6199	1746	536	1826	5195	881	5269	1484	455	1552
19	6350	1048	6436	1746	607	1849	5398	891	5471	1484	516	1571
20	6350	1048	6436	2461	607	2535	5398	891	5471	2092	516	2155
21	6112	1036	6199	2461	607	2535	5195	881	5269	2092	516	2155
22	6350	1048	6436	2461	607	2535	5398	891	5471	2092	516	2155
23	6747	1072	6832	2461	607	2535	5735	911	5807	2092	516	2155
24	6271	1048	6358	2461	607	2535	5330	891	5404	2092	516	2155

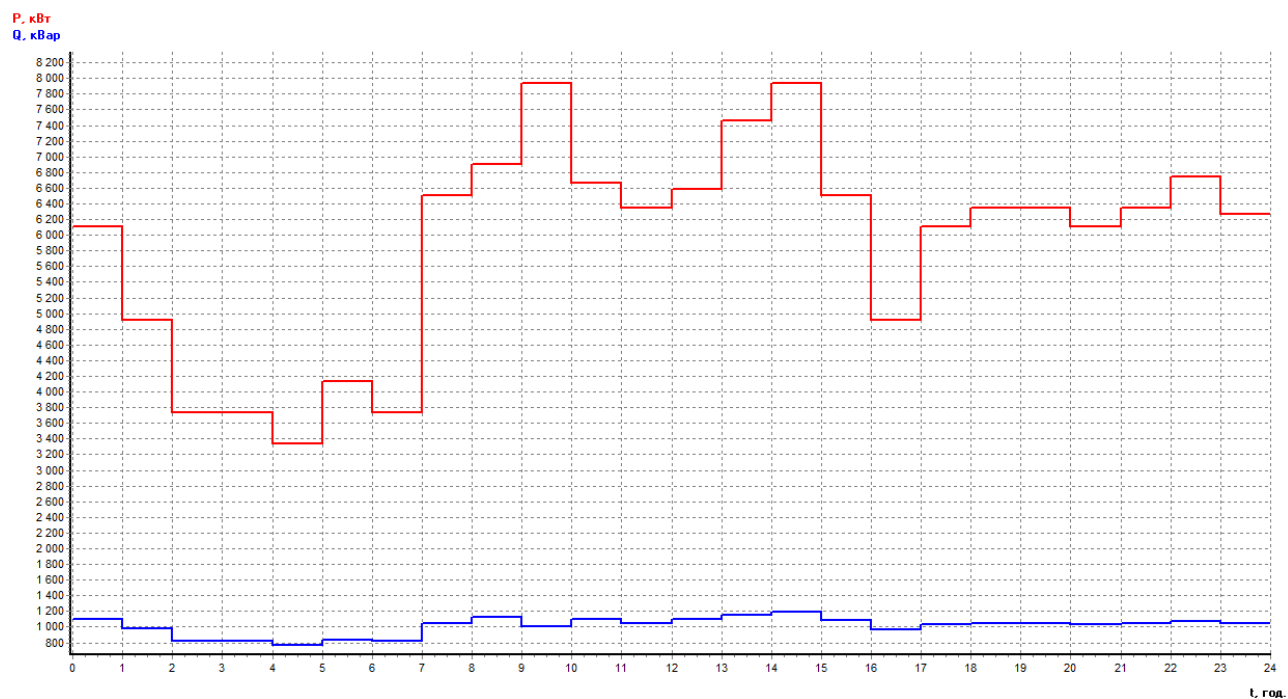


Рис. 1.1. Добові графіки P , Q для зимових будніх днів

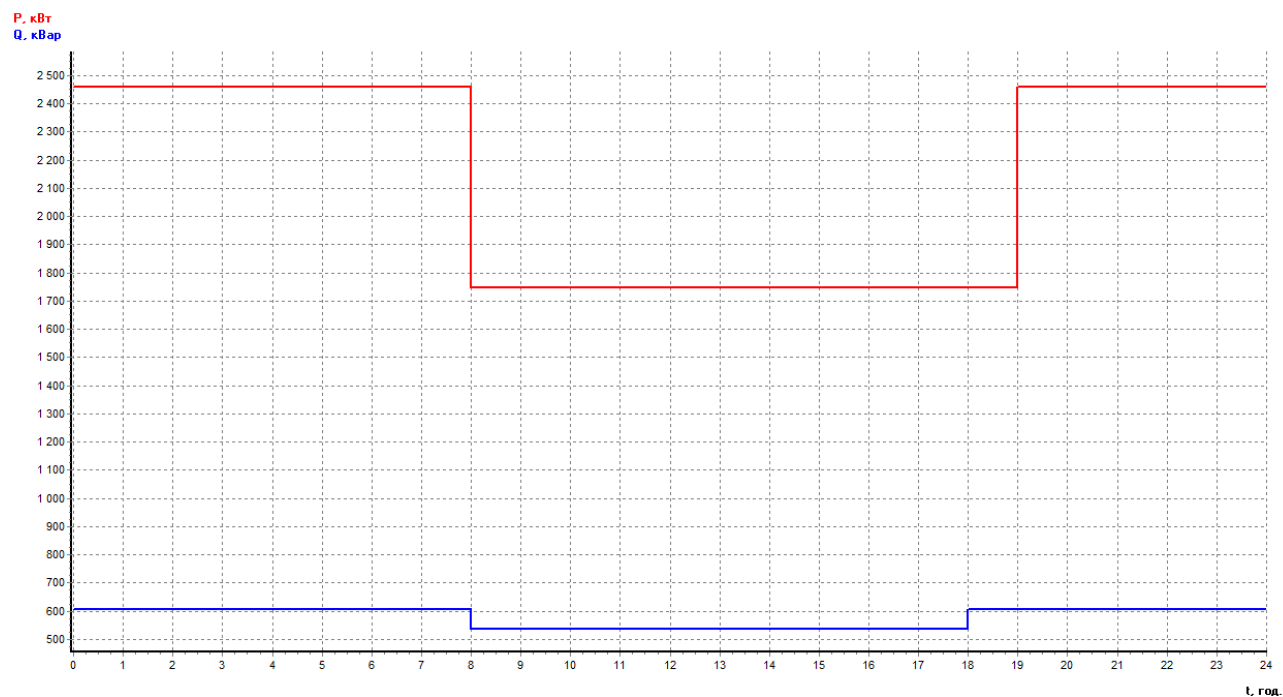


Рис. 1.2. Добові графіки P , Q для зимових вихідних днів

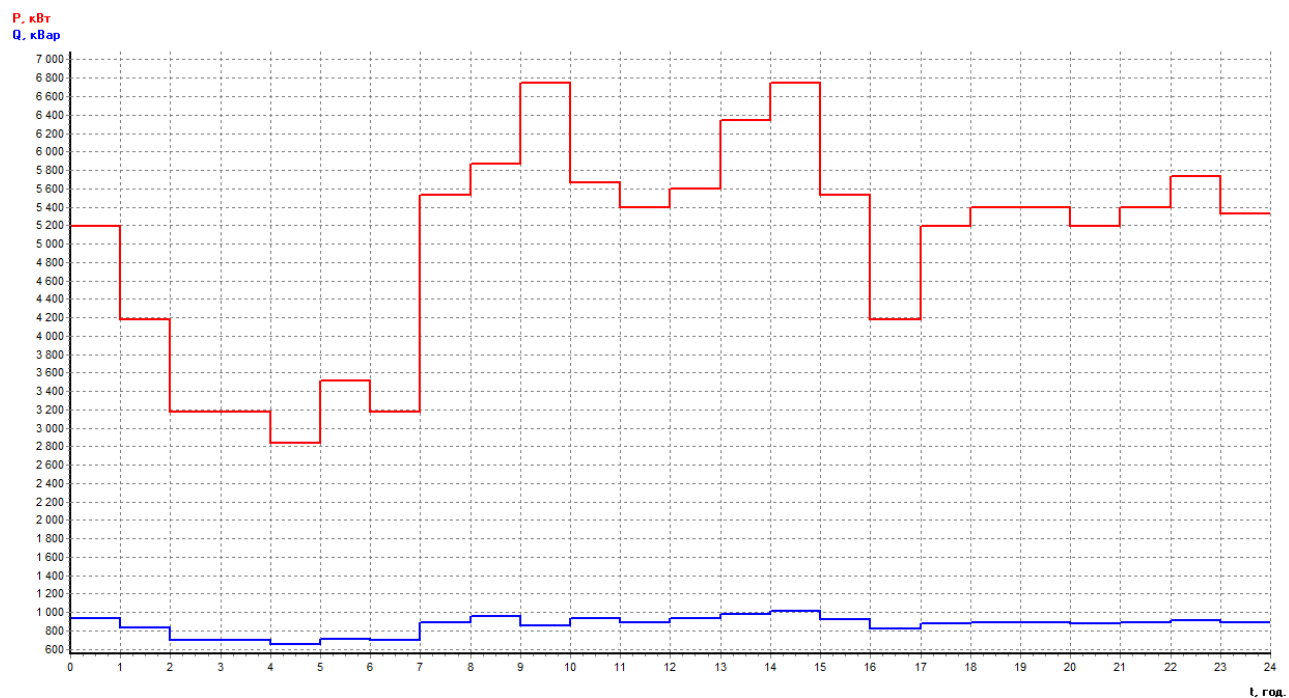


Рис. 1.3. Добові графіки P , Q для літніх будніх днів

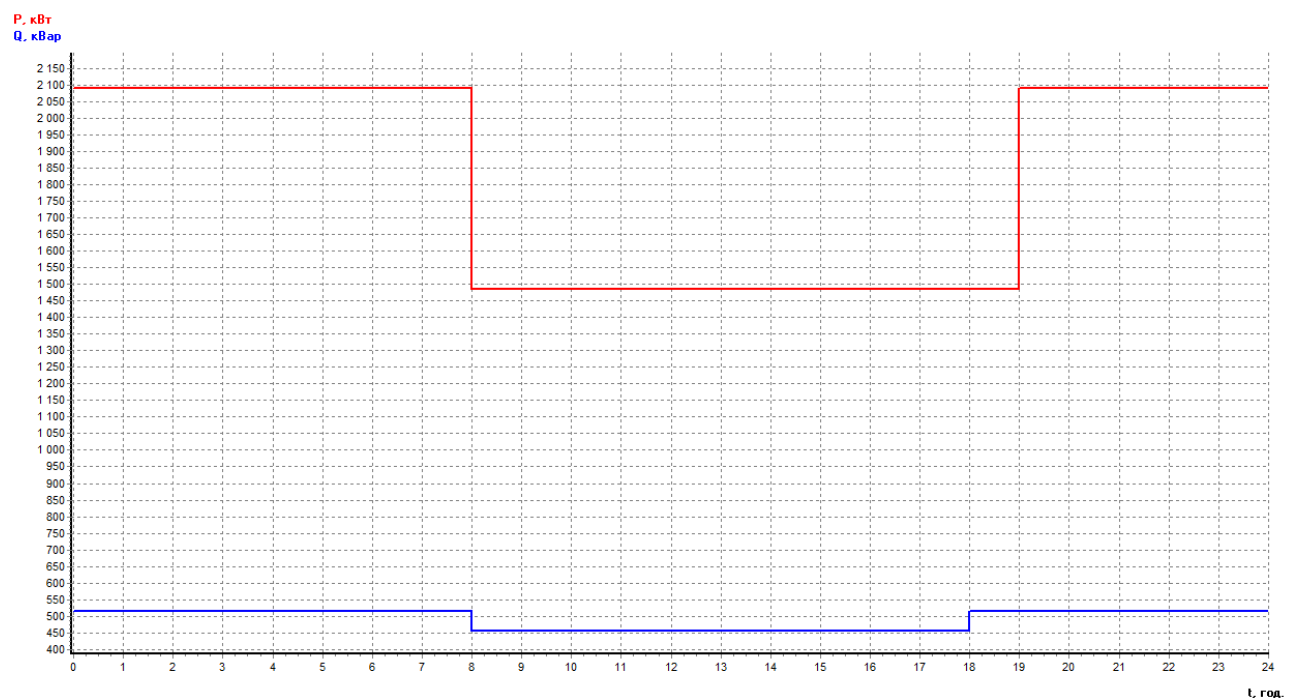


Рис. 1.4. Добові графіки P , Q для літніх вихідних днів

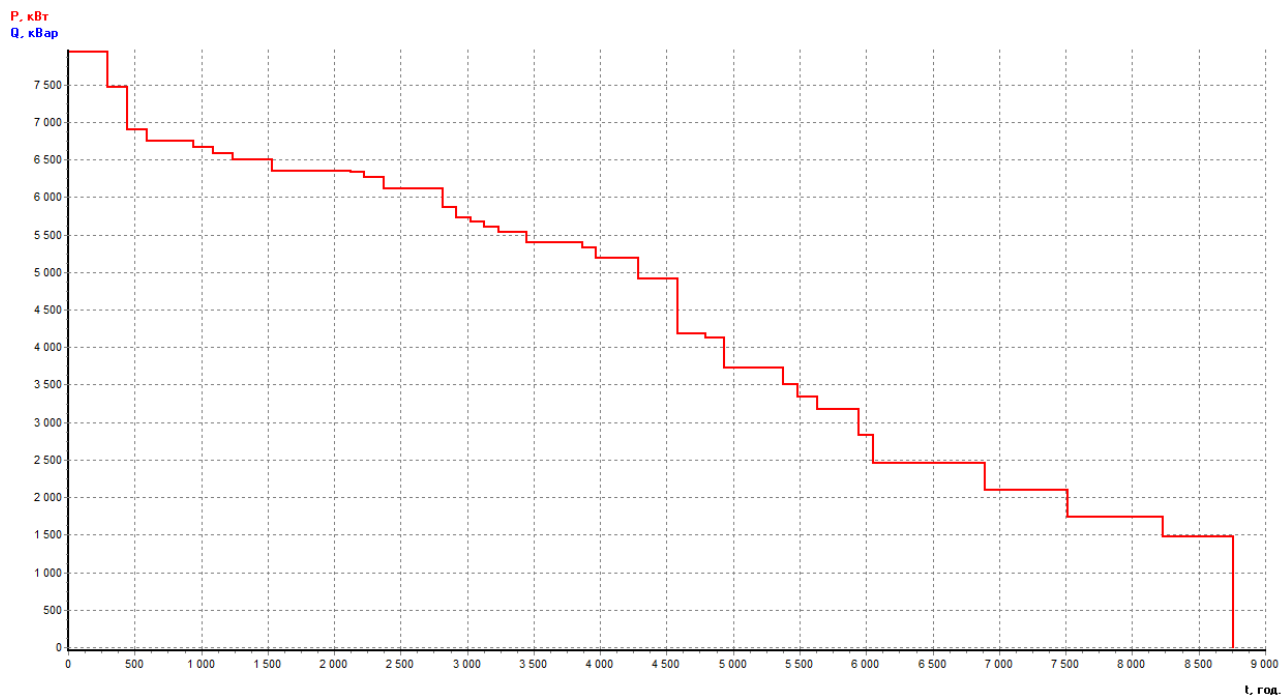


Рис. 1.5. Річний графік по тривалості активного навантаження P

Таблиця 1.6 Розрахункові величини визначені за графіками навантажень

№ з/п	Величина	Значення
1	S_p	8026,61 МВА
2	$W_{з.р.}$	20840043 кВт·год
3	$V_{з.р.}$	3567249 квар·год
4	$W_{з.в.}$	3327935 кВт·год
5	$V_{з.в.}$	900770 квар·год
6	$W_{л.р.}$	12652920 кВт·год
7	$V_{л.р.}$	2165940 квар·год
8	$W_{л.в.}$	2088960 кВт·год
9	$V_{л.в.}$	565152 квар·год
10	W_p	38909858 кВт·год
11	V_p	7199111 квар·год
12	T_m	4929,88 год
13	τ_m	3334,706 год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми електричних навантажень необхідний для планування розвитку енергосистеми, адже картограма наочно показує концентрацію навантажень на території підприємства. Це дозволяє визначити місця для оптимального розташування пунктів розподілу енергії, прокладання ліній електропередачі. Таким чином, картограма електричних навантажень є важливим інструментом для візуального аналізу просторового розподілу споживачів електроенергії, що лежить в основі прийняття обґрунтованих технічних рішень при проектуванні та експлуатації енергетичного господарства.

Розрахунок проведено за методикою [1].

Проілюструємо розрахунки картограми для ділянки заготівлі:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.осв}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{656,88 + 21,84}{3,14 \cdot 0,2}} = 32,87 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{P_{\text{р.1}}} = \frac{21,84 \cdot 360}{678,72} = 11,6^\circ.$$

Для інших ділянок підприємства аналогічно визначено і зведено в табл. 2.1.

Визначимо положення центру електричних навантажень:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1689559,33}{9012,67} = 187,46 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{929071,66}{9012,67} = 103,09 \text{ м}.$$

Визначені координати центру електричного навантаження свідчать, що положення ЦЕН ($X = 187,46 \text{ м}$, $Y = 103,09 \text{ м}$) співпадає з робочою зоною підприємства, тому його слід змістити в сторону живлення.

						23

Таблиця 2.1. Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№	Ділянки підприємства	$P_{P, \text{сил}},$ кВт	$P_{P, \text{осв}},$ кВт	$P_P,$ кВт	m	$R,$ мм	$\alpha, ^\circ$	$X,$ м	$Y,$ м	$P \cdot X,$ кВт · м	$P \cdot Y,$ кВт · м
1	Ділянка заготівлі	656,88	21,84	678,72	0,2	32,87	11,6	20	71	13574,4	48189,1
2	Ділянка циліндричних свердел	581,07	18,60	599,67	0,2	30,89	11,2	150	39	89950,5	23387,1
3	Ділянка конічних свердел	1270,77	20,36	1291,13	0,2	45,33	5,7	245	41	316326,9	52936,3
4	Ділянка формувачів внутрішньої різьби	790,47	12,52	802,99	0,2	35,75	5,6	66	44	52997,3	35331,6
5	Ділянка формувачів зовнішньої різьби	313,73	11,42	325,15	0,2	22,75	12,6	121	123	39343,2	39993,5
6	Ділянка підготовки розгортки	291,71	29,81	321,52	0,2	22,62	33,4	245	86	78772,4	27650,7
7	Збирально-інструментальна ділянка	480,85	27,81	508,66	0,2	28,45	19,7	140	78	71212,4	39675,5
8	Ділянка головок різьбонарізних	143,08	22,96	166,04	0,2	16,26	49,8	164	120	27230,6	19924,8
9	Ділянка нестандартних виробів	83,64	10,43	94,07	0,2	12,24	39,9	257	74	24176,0	6961,2
10	Ділянка дрібних інструментів	134,84	23,41	158,25	0,2	15,87	53,3	288	201	45576,0	31808,3
11	Ділянка термообробки	1293,02	22,05	1315,07	0,2	45,75	6,0	215	61	282740,1	80219,3
12	Ділянка для зварювання	499,57	6,85	506,42	0,2	28,39	4,9	62	119	31398,0	60264,0
13	Ковальська дільниця №1	123,99	3,29	127,28	0,2	14,23	9,3	174	183	22146,7	23292,2
14	Механічна дільниця	740,34	12,51	752,85	0,2	34,61	6,0	198	195	149064,3	146805,8
15	Ремонтно-механічна дільниця	124,40	18,27	142,67	0,2	15,07	46,1	207	177	29532,7	25252,6
16	Електроремонтна ділянка	39,70	3,64	43,34	0,2	8,31	30,2	174	171	7541,2	7411,1
17	Деревопереробна ділянка	52,01	14,01	66,02	0,2	10,25	76,4	354	130	23371,1	8582,6
18	Ковальська ділянка №2	977,56	20,13	997,69	0,2	39,85	7,3	347	231	346198,4	230466,4
19	Ділянка лиття	90,47	14,77	105,24	0,2	12,94	50,5	347	186	36518,3	19574,6
20	Територія підприємства	0,00	9,89	9,89	0,2	3,97	360	191	136	1889,0	1345,0
	Всього по підприємству	8688,10	324,57	9012,67						1689559,33	929071,66

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Обґрунтування вибору схеми за техніко-економічними показниками електропостачання комбінату з виробництва металообробного інструменту є важливим етапом проектування, який дозволяє визначити найбільш оптимальний варіант схеми з точки зору надійності, економічності та безпеки. Аналізуються різні варіанти кількості джерел живлення та способів їх резервування для забезпечення необхідної надійності. Техніко-економічні розрахунки для кожного варіанта можливої схеми включає: визначення капітальних витрат на спорудження електричних мереж та підстанцій; оцінка експлуатаційних витрат та втрат електроенергії в мережах; розрахунок показників надійності електропостачання. Порівняння варіантів проводиться за критерієм мінімуму приведених витрат з урахуванням надійності, капітальних та експлуатаційних витрат, втрат енергії. На остаточний вибір оптимального варіанту схеми внутрішнього електропостачання впливають міркування перспектив розвитку виробництва.

Правильний вибір схеми на основі техніко-економічного обґрунтування забезпечить безперебійну подачу електроенергії для всіх технологічних процесів комбінату з дотриманням вимог надійності при мінімальних капітальних та експлуатаційних витратах.

3.1 Оцінка схем зовнішнього електропостачання підприємства

Підприємство може отримувати живлення од електропідстанції системи номінальною напругою 35/10 кВ. Вона розташована на відстані 15,2 км. Отже, варто розглянути два варіанти електропостачання:

- а) лініями напругою 10 кВ (кабельними);
- б) лініями напругою 35 кВ (повітряними) з побудовою ГЗП 35/10 кВ.

Схеми варіантів електропостачання нарисовані на рис. 3.1.

						25

За варіанту електропостачання №1 живлення здійснюється кабельними лініями напруго 10 кВ (рис. 3.1 а).

Визначимо розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{8027}{\sqrt{3} \cdot 10} = 463,44 \text{ А}$$

Відповідно до значення розрахункового струму приймаємо тип кабелю АСБ-10(3х95), що має такі номінальні характеристики: значення допустимого струму $I_{\text{доп}} = 192 \text{ А}$, питомі втрати потужності $\Delta P_{1\text{км}} = 16,0 \text{ кВт/км}$, питома вартість $K_{\text{кл}} = 120 \text{ тис. грн./км}$.

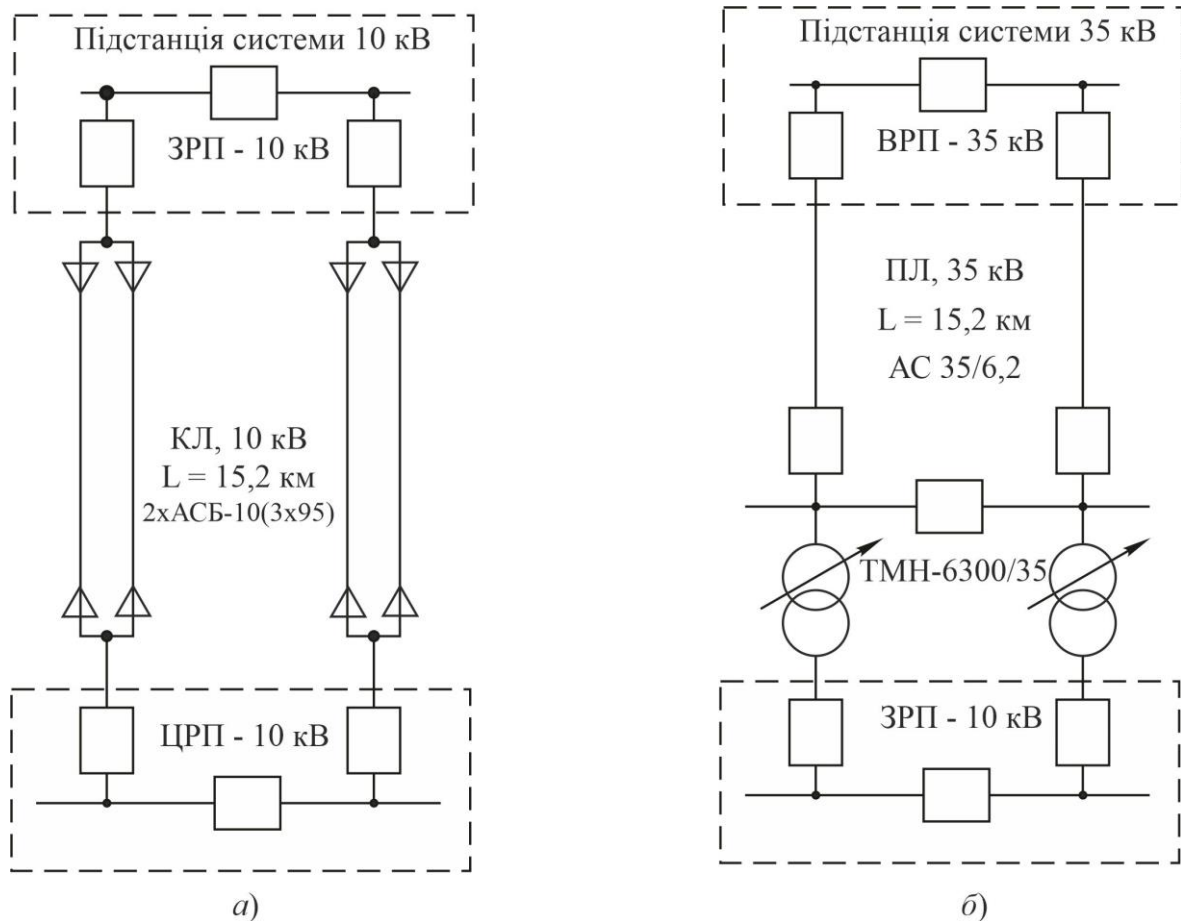


Рис. 3.1. Схеми варіантів зовнішнього електропостачання

Обраний тип кабелю необхідно перевірити за умовами теплового режиму (нагріву) в нормальному та аварійному режимах:

$$I_p = 115,86 \text{ А} \leq K_n I_{\text{доп}} = 0,84 \cdot 192 = 161,28 \text{ А}$$

З метою оцінки збитків у разі перерв електропостачання внаслідок аварій або планових ремонтів буде виконано відповідні імовірнісні розрахунки. Схема для розрахунку включає один ланцюг живлення в складі вимикач 10 кВ, кабельної лінії КЛ результуючою довжиною $l_{кл\Sigma} = 2 \cdot 15,2 = 30,4$ км, для яких прийнято наступні надійності:

- вимикач 10 кВ: $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік, $T_v = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$;

- кабельна лінія: $\lambda_a = 1,312$ 1/рік, $T_v = 1,148 \cdot 10^{-3}$ рік, $K_n = 0,1476 \cdot 10^{-3}$.

Розрахуємо величину потоку відмов ланцюга живлення, середнє значення часу відновлення роботи одного ланцюга відповідно:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 2,432 = 2,436 \text{ 1/рік}$$

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 2,432 \cdot 0,002128)}{2,436} = 0,00212524 \text{ рік}$$

Розрахуємо коефіцієнти простою (планового, аварійного, аварійного під час фактичного планового простою, аварійного обох ланцюгів) відповідно та середньорічне значення аварійного простою відповідно:

$$K_n = 1,2 K_{n\max} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

$$K_a = \lambda T_{\epsilon} = 2,436 \cdot 0,00212524466338259 = 0,005177096$$

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 2,436 \cdot 0,00000576 = 0,00000701568$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00002680232299 + 2 \cdot 0,00000701568 = 0,0000408337$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000408337 \cdot 8760 = 0,3577$$

Таким чином можливий імовірний збиток внаслідок аварійного недовідпуску електроенергії складе, тис. грн.:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 40 \cdot 4,47 \cdot 0,3577 = 63,96$$

Зведені витрати для першого варіанту, тис. грн./рік:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{втр.i} + Y_i = \\ &= 0,12 \cdot 7643,2 + 767,12 + 6092,9 + 63,96 = 7841,16 \text{ тис.грн./рік} \end{aligned}$$

						28

Використовуючи той самий під було визначено вартісні показники реалізації варіанту електропостачання по варіанту №2 напругою 35 кВ. У табл. 3.3 приведені результати розрахунку показників для обох варіантів електропостачання.

Таблиця 3.3. Показники варіантів електропостачання за техніко-економічними складовими

<i>Показники</i>	<i>Варіанти</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>
Капітальні вкладення в елементи, тис. грн.	7643,2	8402,13
Поточні витрати на обслуговування, тис. грн.	767,12	1585,21
Вартість втрат електричної енергії в елементах, тис. грн.	6092,9	2845,00
Збиток внаслідок порушень електропостачання, тис. грн.	63,96	14,72
<i>Підсумкові зведені витрати, тис. грн.</i>	<i>7841,16</i>	<i>5453,19</i>

З останньої таблиці видно, що меншими приведеними витратами володіє другий варіант 35 кВ, який і буде прийнято для подальшого розгляду.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання підприємства

Вибір оптимальної схеми внутрішнього електропостачання промислового підприємства є важливим завданням на етапі проектування. Належний вибір схеми забезпечує надійне та ефективне енергопостачання всіх виробничих ділянок. Основні кроки вибору схеми: визначення категорій надійності електропостачання різних цехів та ділянок підприємства згідно з вимогами технологічних процесів, розрахунок повних розрахункових електричних навантажень цехів з урахуванням одночасності роботи обладнання та перспектив розвитку виробництва, вибір кількості та потужності цехових трансформаторних підстанцій для живлення розподільних мереж цехів і розгляд варіантів резервування живлення, розробка варіантів схем розподільних мереж напругою 6-10 кВ для живлення цехових трансформаторних підстанцій (радіальні,

магістральні, змішані), вибір схем розподільних та магістральних мереж 0,4 кВ всередині цехів - радіальні, магістральні, з шинопроводами, техніко-економічне порівняння варіантів схем за капітальними, експлуатаційними витратами, втратами електроенергії, надійністю електропостачання, зручністю експлуатації, остаточний вибір оптимальної схеми внутрішнього електропостачання з урахуванням перспективи розвитку підприємства.

Типовими схемами є радіальні, магістральні, радіально-магістральні. Для великих підприємств доцільним є застосування системи шинопроводів. Критерієм вибору, як правило, є мінімум приведених витрат при дотриманні вимог надійності живлення.

Для внутрішнього електропостачання прийнято радіальна схема живлення кабельними лініями 10 кВ. Такий вибір був обумовлений високим рівнем надійності радіальної схеми порівняно із магістральною чи змішаною, а також короткими відтинками між підрозділами підприємства та до головного розподільчого пункту.

						30

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Компенсація реактивної потужності на промисловому підприємстві є необхідною з кількох причин, зокрема це призводить до зниження втрат активної потужності в лініях електропередачі та трансформаторах, передача реактивної потужності призводить до зростання струмів і, як наслідок, збільшення втрат в мережах тоді як компенсація дозволяє зменшити ці втрати. Зменшення перетоків реактивної потужності запобігає перевантаженню ліній та трансформаторів, збільшуючи їх пропускну здатність для передачі активної потужності. Споживання реактивної потужності призводить до зниження напруги у вузлах навантаження, а у разі компенсації можна тримати напругу в допустимих межах.

Енергопостачальні компанії встановлюють тарифи за споживання реактивної енергії з мереж, тому її компенсація дозволяє скоротити витрати.

Вибір раціонального співвідношення між кількістю трансформаторів та пристроїв компенсації для оптимального їх завантаження здійснюється за таким планом: визначається необхідна потужність компенсуючих пристроїв виходячи з розрахунків балансів реактивної потужності для високовольтної та низьковольтної сторін трансформаторів при різних режимах роботи; частина реактивного навантаження компенсується на стороні вищої напруги за допомогою батарей конденсаторів або інших пристроїв компенсації, що сприяє розвантаженню трансформаторів. Лишок реактивної потужності компенсується на стороні низької напруги, що зменшує втрати в цехових мережах та забезпечує належні рівні напруги. Співвідношення потужностей компенсуючих пристроїв вибирається таким чином, щоб максимально розвантажити трансформатори від передачі реактивної потужності та не допустити їх перевантаження через занадто великі зарядні струми.

Вибір потужності і місця встановлення пристроїв компенсації виконується по методиці приведеній в [1].

						31

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Для підрахунку балансу реактивної потужності вихідними даними є активне та реактивне споживання і втрати потужності трансформаторів: $P_n = 8559$ кВт; $Q_n = 6982$ квар; $\Delta P_T = 95$ кВт; $\Delta Q_T = 496$ квар.

Визначимо результуюче активне і реактивне споживання потужності, можливу реактивну потужність від енергосистеми та необхідну потужність компенсаторів:

$$P_p = P_n + \Delta P_m = 8559 + 95 = 8654 \text{ квар}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_T = 6982 + 496 = 7478 \text{ квар}$$

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 8654 \cdot 0,15 = 1298,1 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KП} = Q_p - Q_e = 7478 - 1298,1 = 6179,9 \text{ кВАр}$$

Визначимо найменшу кількість трансформаторів підприємства:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{8559}{0,7 \cdot 1000} = 12,23 \approx 13 \text{ шт.}$$

Для вибору найкращого варіанту компенсації варто розглянути випадки з кількістю трансформаторів: 13, $13 + 1 = 14$, $13 + 2 = 15$.

Для першого варіанту компенсації (13 трансформаторів) проведемо розрахунок балансу реактивної потужності. Зокрема визначається потужність яка передається з мережі 10 кВ у мережу 0,4 кВ, потужність компенсуючих пристроїв у мережах низької та високої напруги,

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_n + \Delta P_m)^2} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 8654^2} = 2813,94 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KH} = (Q_n + \Delta Q_m) - Q_1 = 7478 - 2813,94 = 4664,06 \text{ кВАр}$$

$$Q_{KB} = Q_{KП} - Q_{KH} = 6179,9 - 4664,06 = 1515,84 \text{ кВАр}$$

Аналогічно проводиться розрахунок балансу потужності для числа трансформаторів 14 і 15. Результати відповідно зведено до табл. 4.1

						32

Таблиця 4.1. Розрахунок складових балансу варіантів компенсації

Варіант компенсації	Число трансформ.	квар		
		Q_1	Q_{KH}	Q_{KB}
1	13	2813,94	4664,06	1515,84
2	14	4598,73	2879,27	3300,63
3	15	5946,28	1531,72	4648,18

4.2 Вибір числа, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв

Вибір конкретного типу та потужності конденсаторних батарей приведені в табл. 4.2-4.4 для числа цехових трансформаторів 13, 14 і 15 відповідно.

Таблиця 4.2. Вибір типу та потужності батарей при числі трансформаторів 13

$ТП$	n_T	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$Q_{np},$ квар	$Q_{кп},$ кВАр	Число i потужн. батареї, шт. квар	$Q_{БК},$ квар	$Q_{кп-}$ $Q_{БК},$ квар	K_3	$S_p,$ кВА
1,2	3	1827,71	1470,91	1034,15	436,76	1*133; 2*150;	433	3,76	0,7	2101,85
3	2	1481,19	1363,84	0	1363,84	1*133; 1*150; 2*536;	1355	8,84	0,74	1481,22
4	2	1129,82	1140,82	826,74	314,08	2*150;	300	14,08	0,7	1408,36
5	2	1144,23	1019,24	806,68	212,56	1*100; 1*112,5	212,5	0,06	0,7	1400,03
6,7	4	2976,12	1987,18	0	1987,18	1*50; 1*100; 2*112,5; 4*402;	1983	4,18	0,74	2976,12

На 0,4 кВ $Q_{KH} = 4283,5$ квар, на 10 кВ $Q_{KB} = 1*900+1*1350 = 2250$ квар.

Таблиця 4.3. Вибір типу та потужності батарей при числі трансформаторів 14

$ТП$	n_T	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$Q_{np},$ квар	$Q_{кп},$ кВАр	Число i потужн. батареї, шт. ·квар	$Q_{БК},$ квар	$\frac{Q_{кп-}}{Q_{БК}},$ квар	K_3	$S_p,$ кВА
1,2	3	1827,71	1470,91	1034,15	436,76	1*133; 2*150	433	3,76	0,7	2101,85
3	2	1481,19	1363,84	0	1363,84	1*133; 1*150; 2*536	1355	8,84	0,74	1481,22
4	2	1129,82	1140,82	826,74	314,08	2*150	300	14,08	0,7	1408,36
5	2	1144,23	1019,24	806,68	212,56	1*100; 1*112,5	212,5	0,06	0,7	1400,03
6,7	5	2976,12	1987,18	1841,93	145,25	3*50	150	-4,75	0,7	3497,5

На 0,4 кВ $Q_{KH} = 2450,5$ квар, на 10 кВ $Q_{KB} = 1*1800 + 1*2250 = 4050$ квар.

Таблиця 4.4. Вибір типу та потужності батарей при числі трансформаторів 15

ТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	$Q_{кп}$, кВАр	Число і потужн. батарей, шт. · квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{кп-}$ $Q_{БК}$, квар	K_3	S_p , кВА
1,2	3	1827,71	1470,91	1034,15	436,76	1*133; 2*150	433	3,76	0,7	2101,85
3	3	1481,19	1363,84	1488,65	0	-	0	0	0,67	2013,45
4	2	1129,82	1140,82	826,74	314,08	2*150	300	14,08	0,7	1408,36
5	2	1144,23	1019,24	806,68	212,56	2*100	200	12,56	0,7	1407,27
6,7	5	2976,12	1987,18	1841,93	145,25	3*50	150	-4,75	0,7	3497,5

На 0,4 кВ $Q_{кн} = 1083$ квар, на 10 кВ $Q_{кв} = 2 \cdot 2700 = 5400$ квар.

Проведемо розрахунок приведених витрат на варіанти встановлення компенсуючих пристроїв. Для цього визначаються втрати потужності у низько- та високовольтних батареях, цехових трансформаторах:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,005 \cdot 4283,5 = 21,42 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,0035 \cdot 2250 = 7,88 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{8559^2 + 2813,94^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 0,001 = 56,82 \text{ кВт}$$

де $R_{екв}$ – еквівалентний активний опір цехових ТП:

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{13 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,07 \text{ Ом}$$

Проведемо підрахунок грошової вартості батарей напругою 0,4 кВ, 10 кВ та комплектних трансформаторних підстанцій:

$$K_{KH} = \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} =$$

$$= 1 \cdot 6,26 + 2 \cdot 6,99 + 3 \cdot 7,44 + 2 \cdot 7,82 + 5 \cdot 8,98 + 4 \cdot 15,61 + 2 \cdot 19,52 = 204,58 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 1 \cdot 26,968 + 1 \cdot 37,393 = 64,36 \text{ тис.грн.}$$

$$K_{КТП} = N_{КТП(2)} \cdot K_{КТП(2)} + N_{КТП(1)} \cdot K_{КТП(1)} =$$

$$= 6 \cdot 5580 + 1 \cdot 2850 = 36330 \text{ тис.грн.}$$

Визначені показники дозволяють розрахувати приведені витрати на розглядуваний варіант компенсації (при числі цехових трансформаторів 13):

$$\begin{aligned} 3 &= E_{\text{H}} (K_{\text{KH}} + K_{\text{KB}} + K_{\text{TH}}) + c_0 \tau (\Delta P_{\text{KH}} + \Delta P_{\text{KB}} + \Delta P_{\text{TH}}) = \\ &= 0,12 \cdot (204,58 + 64,36 + 36330) + 4,009 \cdot 3335 \cdot (21,42 + 7,88 + 56,82) \cdot 10^{-3} = \\ &= 5543,3 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

Два інших варіанти при кількості трансформаторів 14 і 15 розраховуються аналогічно, результати приведені у формі табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Показники приведених витрат по варіантам компенсації

№ вар.	$Q_{\text{кн}}$, квар	$\Delta P_{\text{кн}}$, кВт	$Q_{\text{кв}}$, квар	$\Delta P_{\text{кв}}$, кВт	$N_{\text{тр}}$, шт.	$R_{\text{екв}}$, Ом	$S_{\text{пр}}$, кВА	$\Delta P_{\text{тп}}$, кВт	$K_{\text{кн}}$, тис. грн.	$K_{\text{кв}}$, тис. грн.	$K_{\text{тп}}$, тис. грн.	З, тис. грн.
1	4284	21,4	2250	7,88	13	0,07	9009,7	56,82	204,58	64,361	36330	5543
2	2451	12,3	4050	14,2	14	0,06	9716,2	56,64	132,79	94,088	39180	5839
3	1083	5,42	5400	18,9	15	0,06	10422	65,17	76,5	133,47	42030	6265

Як очевидно з табл. 4.5 мінімальні приведені затрати складають 5543 тис. грн. для варіанту компенсації з найменшим кількістю трансформаторів (13), тому приймаємо до подальшого розгляду цей варіант.

Згідно обраного варіанту компенсації був виконаний перерахунок електричних навантажень, результати якого приведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Результати розрахунку електричних навантажень вище 1 кВ

Назва ділянки	Кількість	Р одн., кВт		Рсум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середні потужності		n _{еф}	K _м	Розрахункові потужності		
		мін.	мах						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Підстанц. 1,2															
Ділянка заготівлі															
силове:	91	2,5	155	2390	62	0,19	0,66	1,14	454,1	516,89	31	1,45	656,88	516,89	835,86
освітлювальне:									19,36				21,84	9,96	
Всього:									473,46	516,89			678,72	526,85	859,2
Ділянка формувачів внутрішньої різьби															
силове:	51	2,75	53	2862,75	19,3	0,21	0,66	1,14	601,18	684,31	51	1,31	790,47	684,31	1045,53
освітлювальне:									10,87				12,52	5,71	
Всього:									612,05	684,31			802,99	690,02	1058,74
Ділянка для зварювання															
силове:	51	2,75	325	702,75	118,2	0,36	0,71	0,99	252,99	250,92	4	1,97	499,57	276,01	570,75
освітлювальне:									5,95				6,85	3,12	
Всього:									258,94	250,92			506,42	279,13	578,25
Всього по Підстанц. 1,2:															
силове:	193	2,5	325	5955,5	130	0,22	0,67	1,11	1308,27	1452,1	37	1,37	1786,5	1452,12	2302,22
освітлювальне:									36,18				41,21	18,79	
БК 0,4 кВ										-433				-433	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 1,2:									1344,45	1019,1			1827,71	1037,91	2101,85
Втрати в трансформаторах:													23,55	122,99	
Кількість трансформ.: 3*1000															
K _з = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанц. 1,2:													1851,26	1160,9	2185,14
Підстанц. 3															
Ділянка циліндричних свердел															
силове:	51	1	88	2081	88	0,21	0,67	1,11	437,01	484,21	47	1,33	581,07	484,21	756,37
освітлювальне:									16,15				18,6	8,48	
Всього:									453,16	484,21			599,67	492,69	776,11

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ділянка формувачів зовнішньої різьби															
силове:	61	2,75	32,5	1162,75	11,8	0,21	0,66	1,14	244,18	277,95	61	1,28	313,73	277,95	419,15
освітлювальне:									9,91				11,42	5,21	
Всього:									254,09	277,95			325,15	283,16	431,16
Збирально-інструментальна ділянка															
силове:	102	4,5	42	1860,5	9,3	0,21	0,66	1,14	390,7	444,73	89	1,23	480,85	444,73	654,98
освітлювальне:									24,14				27,81	12,68	
Всього:									414,84	444,73			508,66	457,41	684,08
Ділянка головок різьбонарізних															
силове:	41	2,5	14,5	502,5	5,8	0,21	0,66	1,14	105,52	120,11	41	1,36	143,08	120,11	186,81
освітлювальне:									19,93				22,96	10,47	
Всього:									125,45	120,11			166,04	130,58	211,24
Всього по Підстанц. 3:															
силове:	255	1	88	5606,75	88	0,21	0,66	1,13	1177,41	1327	127	1,19	1400,4	1327	1929,26
освітлювальне:									70,13				80,79	36,84	
БК 0,4 кВ										-1355				-1355	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 3:									1247,54	-28			1481,19	8,84	1481,22
Втрати в трансформаторах:													16,97	88,34	
Кількість трансформ.: 2*1000															
$K_3 = 0,74$															
Всього по 10 кВ Підстанц. 3:													1498,16	97,18	1501,31
Підстанц. 4															
Ділянка дрібних інструментів															
силове:	51	2,5	33	442,5	13,2	0,21	0,66	1,14	92,92	105,77	27	1,45	134,84	105,77	171,37
освітлювальне:									20,32				23,41	10,67	
Всього:									113,24	105,77			158,25	116,44	196,47

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ковальська ділянка №1															
силове:	28	1,25	44,5	201,25	35,6	0,41	0,66	1,14	82,51	93,92	9	1,5	123,99	103,31	161,39
освітлювальне:									2,86				3,29	1,5	
Всього:									85,37	93,92			127,28	104,81	164,88
Механічна ділянка															
силове:	145	2,5	125	1853	50	0,3	0,58	1,41	558,73	788,83	30	1,33	740,34	788,83	1081,83
освітлювальне:									10,86				12,51	5,7	
Всього:									569,59	788,83			752,85	794,53	1094,56
Ремонтно-механічна ділянка															
силове:	31	1,75	27,5	415,75	15,7	0,21	0,66	1,14	87,31	99,38	30	1,42	124,4	99,38	159,22
освітлювальне:									15,86				18,27	8,33	
Всього:									103,17	99,38			142,67	107,71	178,76
Електроремонтна ділянка															
силове:	11	5,5	11	81,5	2	0,31	0,71	0,99	25,27	25,06	11	1,57	39,7	25,06	46,95
освітлювальне:									3,16				3,64	1,66	
Всього:									28,43	25,06			43,34	26,72	50,91
Всього по Підстанц. 4:															
силове:	266	1,25	125	2994	100	0,28	0,61	1,31	846,74	1113	48	1,26	1068,7	1112,96	1542,98
освітлювальне:									53,06				61,12	27,86	
БК 0,4 кВ										-300				-300	
Всього по 0.4 кВ Підстанц. 4:									899,8	812,96			1129,82	840,82	1408,36
Втрати в трансформаторах:													15,81	82,55	
Кількість трансформ.: 2*1000															
Kз = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанц. 4:													1145,63	923,37	1471,42
Підстанц. 5															
Деревопереробна ділянка															
силове:	25	5,5	17,5	165,5	3,2	0,2	0,61	1,3	33,1	43	19	1,57	52,01	43	67,48
освітлювальне:									12,16				14,01	6,39	
Всього:									45,26	43			66,02	49,39	82,45

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ковальська ділянка №2															
силове:	53	4,55	118	2018	25,9	0,39	0,66	1,14	787,02	895,85	34	1,24	977,56	895,85	1325,96
освітлювальне:									17,47				20,13	9,18	
Всього:									804,49	895,85			997,69	905,03	1347,02
Ділянка лиття															
силове:	19	5	37	107	7,4	0,61	0,79	0,78	65,27	50,66	6	1,39	90,47	55,73	106,26
освітлювальне:									12,82				14,77	6,74	
Всього:									78,09	50,66			105,24	62,47	122,38
Територія підприємства															
освітлювальне:									8,83				9,89	7,42	
Всього:									8,83	0			9,89	7,42	12,36
Всього по Підстанц. 5:															
силове:	97	4,55	118	2290,5	25,9	0,39	0,67	1,12	885,39	989,51	39	1,23	1085,43	989,51	1468,77
освітлювальне:									51,28				58,8	29,73	
БК 0,4 кВ										-212,5				-212,5	
Всього по 0,4 кВ Підстанц. 5:									936,67	777,01			1144,23	806,74	1400,03
Втрати в трансформаторах:													15,68	81,9	
Кількість трансформ.: 2*1000															
Кз = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанц. 5:													1159,91	888,64	1461,19
Підстанц. 6, 7															
Ділянка конічних свердел															
силове:	51	2,5	385	3978	154	0,21	0,66	1,14	835,38	950,9	21	1,52	1270,77	950,9	1587,16
освітлювальне:									17,67				20,36	9,28	
Всього:									853,05	950,9			1291,13	960,18	1609,03
Ділянка підготовки розгортки															
силове:	61	2,75	53	1012,75	19,3	0,21	0,66	1,14	212,68	242,09	38	1,37	291,71	242,09	379,08
освітлювальне:									25,88				29,81	13,59	
Всього:									238,56	242,09			321,52	255,68	410,79

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	16
Ділянка нестандартних виробів															
силове:	27	4,5	14,5	274,5	3,2	0,21	0,66	1,14	57,64	65,61	27	1,45	83,64	65,61	106,3
освітлювальне:									9,05				10,43	4,76	
Всього:									66,69	65,61			94,07	70,37	117,48
Ділянка термообробки															
силове:	91	7,5	112	1687,5	14,9	0,69	0,86	0,59	1164,37	690,9	30	1,11	1293,02	690,9	1466,03
освітлювальне:									19,14				22,05	10,05	
Всього:									1183,51	690,9			1315,07	700,95	1490,21
Всього по Підстанц. 6, 7:															
силове:	230	2,5	385	6952,75	154	0,33	0,76	0,86	2270,07	1949,5	36	1,27	2893,47	1949,5	3488,94
освітлювальне:									71,74				82,65	37,68	
БК 0,4 кВ										-1983				-1983	
Всього по 0,4 кВ Підстанц. 6, 7:									2341,81	-33,5			2976,12	4,18	2976,12
Втрати в трансформаторах:													34,16	177,79	
Кількість трансформ.: 4*1000															
Kз = 0,74															
Всього по 10 кВ Підстанц. 6, 7:													3010,28	181,97	3015,77
Всього по об'єкту															
силове:	1041	1	385	23799,5	385	0,27	0,93	0,39	6487,88	2547,6	124	1,16	7518,5	2547,59	7938,39
освітлювальне:									282,39				324,57	150,9	
Всього:									6770,27	2547,6			7843,07	2698,49	8294,31
Потужність КП 0,4 кВ:										-4283,5				-4283,5	
Втрати в трансформаторах:													106,16	553,56	
Всього по об'єкту:													7949,23	3252,05	8588,72
Всього по об'єкту 10 кВ:													7949,23	3252,05	8588,72
КП 10 кВ:														-2250	
Всього 10 кВ з КП:													7949,23	1002,05	8012,14
tgf = 0,126															

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Для головної знизувальної підстанції розрахуємо потужність трансформаторів за методикою [1].

$$S_{\text{НОМТ}} = \frac{K_{1,2} S_{\text{max}}}{1,4(n_T - 1)} = \frac{8027 \cdot 0,77}{1,4(2 - 1)} = 4414,85 \text{ кВА.}$$

Обираємо тип трансформатора ТМН 6300/35, що має наступні параметри потужності холостого ходу, короткого замикання та напруги короткого замикання: $\Delta P_{\text{xx}} = 9,25 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{кз}} = 46,5 \text{ кВт}$, $u_{\text{к}},\% = 7,5 \%$.

В плановому режимі роботи завантаженість трансформаторів складає:

$$K_3 = \frac{S_{\text{max}}}{n_T S_{\text{НОМТ}}} = \frac{8027}{2 \cdot 6300} = 0,637.$$

Визначений коефіцієнт задовольняє умовам вибору.

До встановлення в цехових трансформаторних підстанціях планується тип трансформаторів ТМ-1000/10/0,4. Перевіримо відповідність їх потужності умовам роботи за аварійними та систематичними перевантаженнями. Розрахунок буде виконано на прикладі ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_T S_{\text{НОМТ}}} = \frac{1534,67}{2 \cdot 1000} = 0,77,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1534,67}{1,08} = 1421,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1534,67}{1,4} = 1096 \approx 1000.$$

Як можна бачити обраний тип та потужність трансформатора повністю задовольняє умовам вибору. Для інших ТП було проведено аналогічні розрахунки з представленням їх у формі табл. 5.1.

						41

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Розрахунок струмів короткого замикання є важливим етапом при проектуванні систем електропостачання підприємств. Це необхідно для:

- вибору електрообладнання, адже вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори струму та напруги повинні бути розраховані на термічну та електродинамічну стійкість до максимальних струмів К.З;
- перевірки провідників на термічну стійкість, так як струми К.З. нагрівають провідники, тому необхідно перевіряти їх на допустимі перегріву;
- налаштування захистів, бо максимальний струмовий захист та захист від замикань на землю налаштовуються згідно з розрахованими струмами К.З.;
- аналізу режимів роботи мережі, в силу того, що величини струмів К.З. вказують на жорсткість режимів та рівні електродинамічних зусиль в мережі.

Основні етапи розрахунку наступні:

- складається розрахункова схема заміщення з урахуванням всіх джерел живлення;
- визначаються опори елементів схеми заміщення;
- обчислюються струми К.З. в характерних точках мережі;
- визначаються ударні струми К.З. для оцінки електродинамічної стійкості;
- виконується вибір обладнання та налаштування захистів згідно з розрахунками.

Для складних систем електропостачання застосовуються спеціалізовані програми розрахунку режимів К.З. Точний розрахунок струмів К.З. забезпечує надійну роботу електрообладнання та належну чутливість систем захисту.

Розрахунок проводиться за викладеною в [1] в якості рекомендацій методикою.

						43

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

На рис. 6.1 зображена розрахункова схема системи електропостачання, а їй відповідна схема заміщення – на рис. 6.2.

Визначимо опори елементів системи електропостачання (системи живлення, повітряної лінії 35 кВ, силового трансформатора ГЗП (приведене до 10 кВ)):

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{37^2}{47500} = 0,03 \text{ Ом} \quad , \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,03}{25} = 0 \text{ Ом}$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,85 \cdot 15,2 = 12,92 \text{ Ом} \quad , \quad X_l = x_0 \cdot l = 0,438 \cdot 15,2 = 6,66 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{47 \cdot 10,5^2}{6300^2} \cdot 10^3 = 0,13 \text{ Ом} \quad ,$$

$$X_m = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{7,5 \cdot 10,5^2}{6300} \cdot 10 = 1,31 \text{ Ом}$$

Сумарні опори до розрахункової точки К₀:

$$R_{K0} = R_c + R_l = 0 + 12,92 = 12,92 \text{ Ом} \quad , \quad X_{K0} = X_c + X_l = 0,03 + 6,66 = 6,69 \text{ Ом} \quad ,$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{12,92^2 + 6,69^2} = 14,55 \text{ Ом}$$

Розрахункові параметри короткого замикання (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт та ударний струм) в розрахунковій точці К₀:

$$I_{K0}'' = \frac{U_{cp.ном}}{\sqrt{3} Z_{K0}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 14,55} = 1,47 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega \cdot R_{K0}} = \frac{6,69}{314 \cdot 12,92} = 0,0016 \text{ с} \quad , \quad k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0016}} = 1,002$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K0}'' = \sqrt{2} \cdot 1,002 \cdot 1,47 = 2,08 \text{ кА}$$

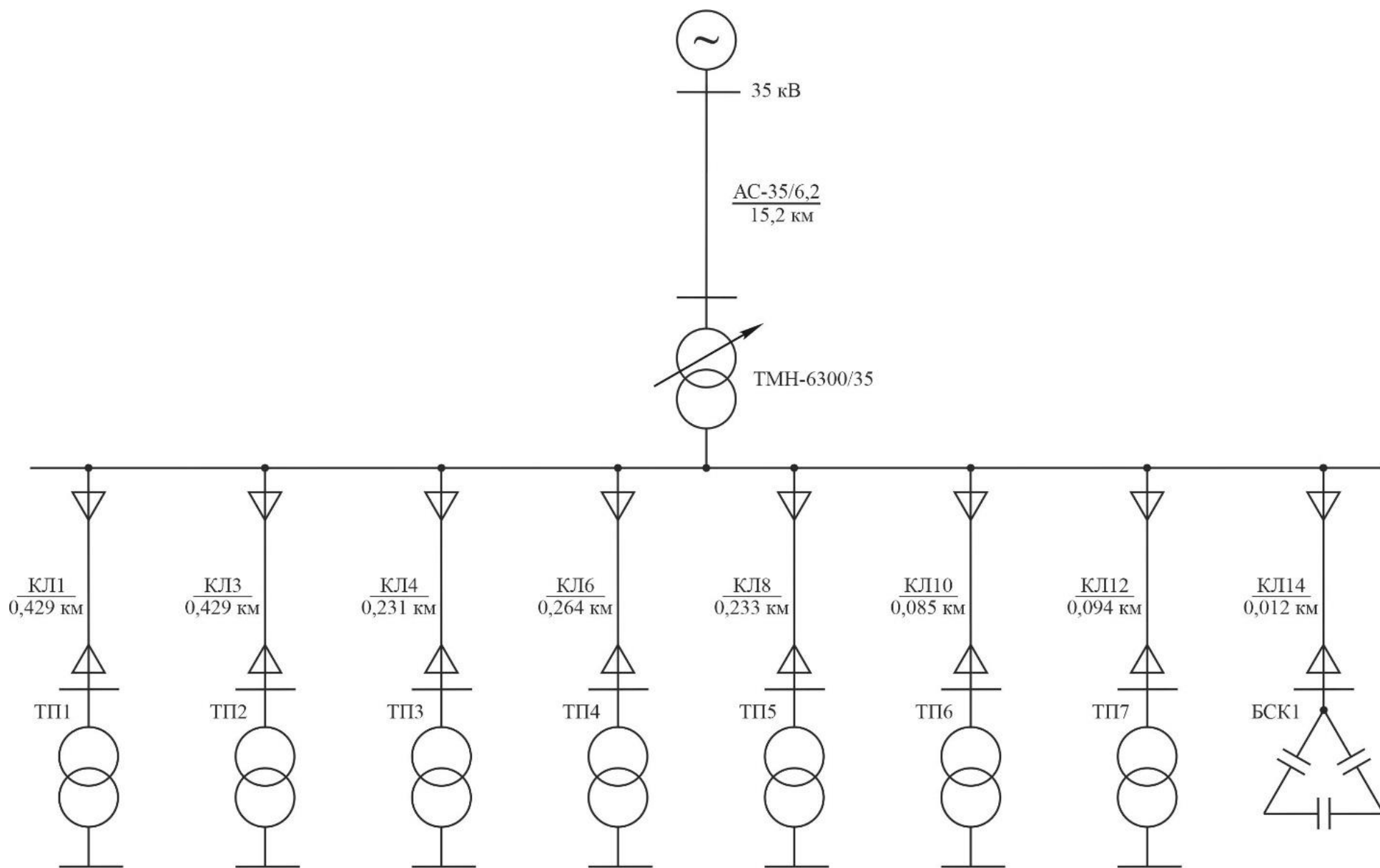


Рис. 6.1. Розрахункова схема для визначення струмів коротких замикань

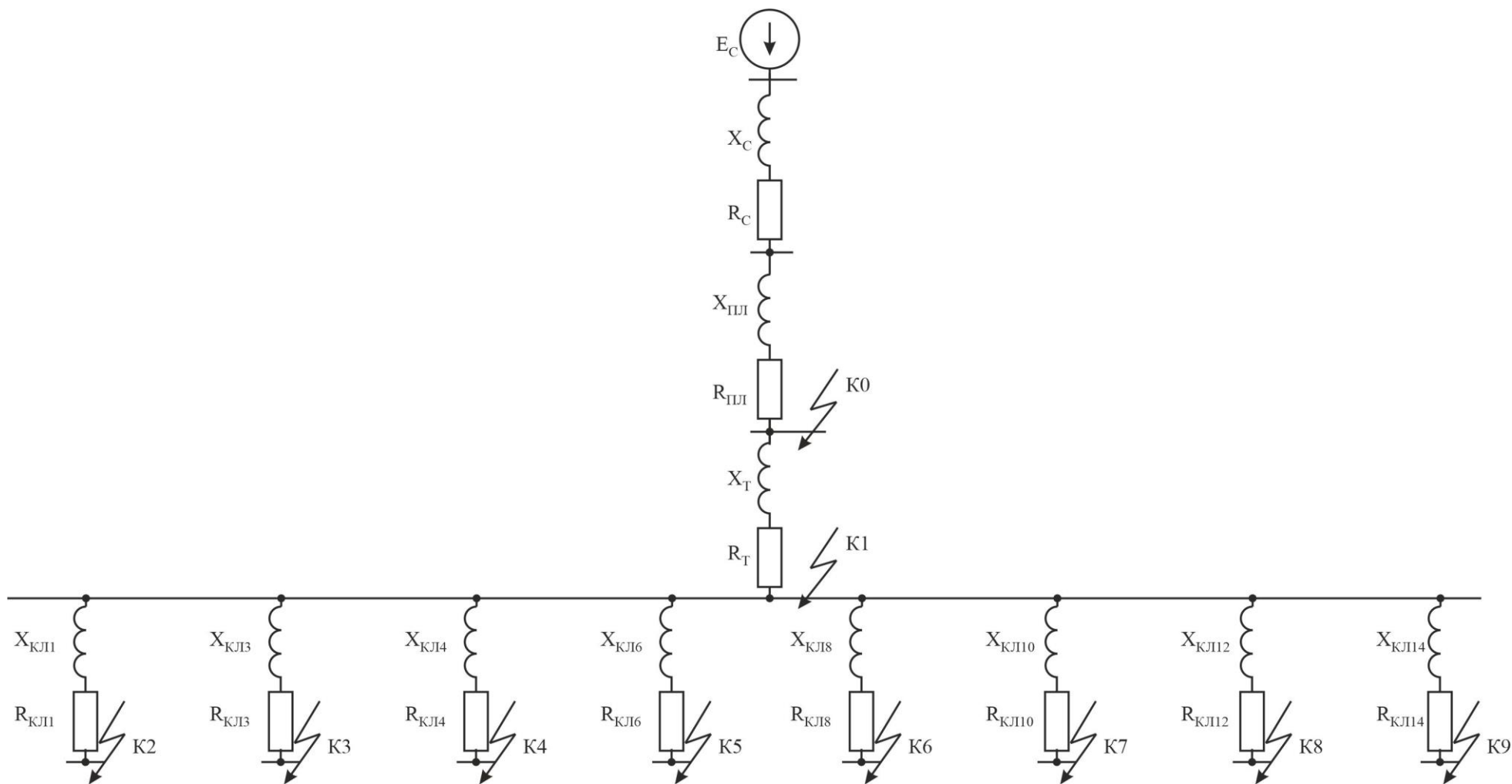


Рис. 6.2. Розрахункова схема системи електропостачання

Виконаємо приведення розрахункових опорів в точці точки K_0 схеми рис. 6.1 до напруги 10 кВ та обчислимо сумарні опори до розрахункової точки K_1 :

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 12,92 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 1,04 \text{ Ом}$$

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 6,69 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 0,539 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 14,55 \cdot \left(\frac{10,5}{37} \right)^2 = 1,172 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 1,04 + 0,13 = 1,17 \text{ Ом}, \quad X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,539 + 1,31 = 1,849 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{1,17^2 + 1,849^2} = 2,188 \text{ Ом}$$

Розрахункові параметри короткого замикання (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт та ударний струм) в розрахунковій точці K_1 :

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,188} = 2,77 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega \cdot R_{K1}} = \frac{1,849}{314 \cdot 1,17} = 0,005 \text{ с}, \quad k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,005}} = 1,135$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,135 \cdot 2,77 = 4,45 \text{ кА}$$

З метою подальшого виконання розрахунку необхідно знати тип та параметри кабельних ліній розрахункової схеми рис. 6.1. Тому виконаємо вибір кабельних провідників для живлення цехових ТП підприємства.

Проілюструємо для лінії КЛ1 розрахунок необхідних для вибору кабеля характеристик (робочий струм, тепловий імпульс, мінімальний тепловий переріз):

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1456,76}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 40,05 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 2,77^2 (0,525 + 0,005) = 4,07 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{4,07} \cdot 10^3 = 21,46 \text{ мм}^2$$

За визначеними параметрами необхідно обрати кабель ААШв-10(3 х 35), який має параметри: $r_0 = 0,89 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,095 \text{ Ом/км}$, $I_{\text{доп}} = 80 \text{ А}$.

Проілюструємо розрахунок опорів для КЛ1, для інших зводимо до табл. 6.1.

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,89 \cdot 0,429 = 0,382 \text{ Ом}, \quad X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,095 \cdot 0,429 = 0,041 \text{ Ом}.$$

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	$l, \text{ км}$	$r_0, \text{ Ом/км}$	$R, \text{ Ом}$	$x_0, \text{ Ом/км}$	$X, \text{ Ом}$
1, 2	0,429	0,89	0,382	0,095	0,041
3	0,429	0,89	0,382	0,095	0,041
4, 5	0,231	0,89	0,206	0,095	0,022
6, 7	0,264	0,89	0,235	0,095	0,025
8, 9	0,233	0,89	0,207	0,095	0,022
10, 11	0,094	0,89	0,084	0,095	0,009
12, 13	0,094	0,89	0,084	0,095	0,009
14, 15	0,012	0,443	0,005	0,086	0,001

Аналогічним чином визначаються опори та розрахункові величини короткого замикання для розрахункової точки K_2 :

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{\text{кл}} = 1,17 + 0,382 = 1,552 \text{ Ом},$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{\text{кл}} = 1,849 + 0,041 = 1,89 \text{ Ом},$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,552^2 + 1,89^2} = 2,446 \text{ Ом}.$$

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,446} = 2,48 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,89}{314 \cdot 1,552} = 0,0039 \text{ с}, \quad k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0039}} = 1,077$$

Таблиця 6.5. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Умови вибору	Параметр вимикача	Розрахунок
$U_{уст} \leq U_{ном}$	напруга робоча	$10,5 \leq 11$
$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	струм робочий	$484,97 \leq 630$
	здатність відключення:	
$I_{к0}'' \leq I_{дин.ст.}$	- симетричного струму	$2,77 \leq 20$
$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	- аперіодичного струму	$0 \leq 11,31$
$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	- повного струму	$1,41 \cdot 2,77 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $3,92 \leq 39,6$
	Динамічна стійкість:	
$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	- по симетричному струму	$2,77 \leq 52$
$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	- по ударному струму	$4,45 \leq 132,37$
$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$	Термічна стійкість	$11,87 \leq 1200$

Де розрахункові параметри для визначення теплового імпульсу:

$$\tau = t_{pz.min} + t_{c.в} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 2,77 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,005}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 2,77^2 (0,042 + 1,5 + 0,005) = 11,87 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо до встановлення на вводах, секціонуючій перемичці та відхідних лініях вимикач вакуумного типу ВР1-10-20/630.

З метою захиста обладнання від перенапруг приймаємо для використання обмежувачі перенапруг типу ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір трансформаторів власних потреб та вимірювальних трансформаторів

Для постачання електричної енергії споживачам власного споживання організовується схема живлення споживачів власних потреб, як на рис. 6.3.

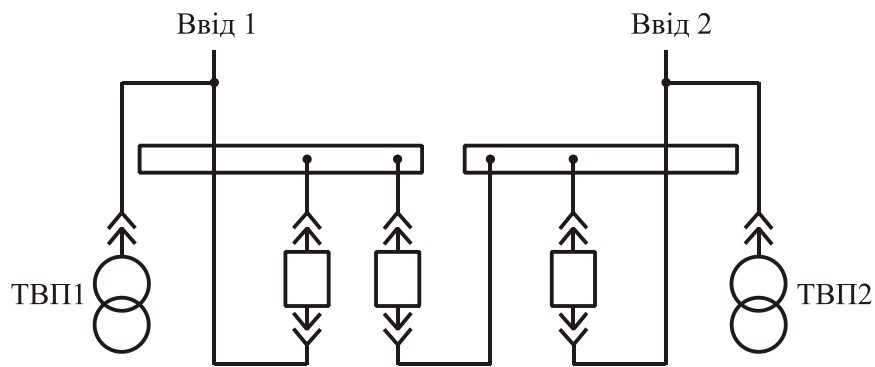


Рис. 6.3. Схема організації живлення власних потреб

Для визначення необхідної потужності трансформатора в табл. 6.6.

Таблиця 6.6. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/п	Споживачі	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{\text{сум}},$ кВт	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$	$P_{\text{уст}},$ кВт	$Q_{\text{уст}},$ квар
1	Вентилятори обдуву силових тр-рів. 6,3 МВА	7	4	28	0,81	0,72	28	20
2	Обігрівання вимикач. 35 кВ	1,15	3	3,45	0,96	0,29	3,45	1
3	Обігрівання комірок комплектного розподільного пристрою	0,6	24	14,4	0,96	0,29	14,4	4
4	Електрозабезпечення будівлі оперативного персоналу	6	3	18	0,96	0,29	18	5
5	Освітлення ГЗП	4,5	4	18	0,96	0,29	18	5
6	Електроспоживання оперативних ланцюгів	4,5	4	18	0,96	0,29	18	5
Всього							99,9	40

Встановлене та розрахункове навантаження ТВП таким чином складає:

$$S_{\text{ycm}} = \sqrt{P_{\text{ycm}}^2 + Q_{\text{ycm}}^2} = \sqrt{99,9^2 + 40^2} = 107,61 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{\text{ycm}} = 0,8 \cdot 107,61 = 86,09 \text{ кВА}$$

Приймаємо два трансформатори типу ТМ-63/10 для власних потреб, що працюватимуть із завантаженням.

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{86,09}{2 \cdot 63} = 0,68$$

Для організації вимірювання струму та роботи кіл захисту приймаємо до застосування трансформатори струму ТЛК-10/600 У1 на вводах 10 кВ та секційній перемичці, а відхідних лініях – ТЛК-10/75 У1.

Для організації вимірювання напруги та роботи кіло захисту і обліку приймаємо до застосування трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-У3.

						54

РОЗДІЛ 7

ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ БАТАРЕЇ

Системи резервного живлення відіграють ключову роль для забезпечення безперебійної роботи відповідальних споживачів електроенергії. Важливість таких систем обумовлена описаними нижче факторами:

1. Забезпечення надійності та безпеки критично важливих систем. Для багатьох об'єктів, таких як лікарні, центри управління повітряним рухом, серверні центри, раптове припинення електропостачання може мати катастрофічні наслідки. Системи резервного живлення гарантують безперервну роботу життєво важливого обладнання.

2. Запобігання фінансовим та виробничим втратам. Переривання енергопостачання на промислових підприємствах, в фінансових установах, телекомунікаційних центрах може призвести до великих збитків через простій виробництва, втрату даних, псування продукції. Резервні джерела живлення дозволяють уникнути таких втрат.

3. Захист чутливого електронного обладнання. Сучасні комп'ютерні системи, прецизійні вимірювальні прилади, системи автоматизації вкрай чутливі до різких коливань та перепадів напруги в мережі. Резервне живлення забезпечує плавний перехід та фільтрацію струму.

4. Продовження критично важливих процесів. Для низки виробничих процесів, наприклад в металургії, хімічній промисловості, раптова зупинка технологічного циклу може призвести до браку продукції або навіть аварійних ситуацій. Резервні джерела дозволяють безпечно завершити цикл.

Системи резервного живлення можуть включати різноманітні компоненти: дизельні та бензинові електростанції, акумуляторні батареї, системи безперебійного живлення, інвертори, стабілізатори напруги. Їх вибір залежить від потреб конкретного споживача та категорії надійності електропостачання об'єкта. Тому використання резервних систем електроживлення є критично важливим для

						55

безпечної та стабільної роботи відповідальних споживачів, запобігання аварійним ситуаціям і втрат фінансів.

7.1 Загальна характеристика фотоелектричної системи та фотомодулів

Сонячне проміння є джерелом енергії для фотоелектричних систем, які перетворюють його в електричну енергію. Ключовим елементом таких систем виступають фотоелектричні комірки. Дані комірки можуть об'єднуватись у панелі чи модулі для підвищення загальної вихідної потужності. Великі фотоелектричні установки формуються шляхом групування окремих панелей у так звані масиви.

Термін "масив" використовується для позначення будь-якого фотоелектричного пристрою, сформованого із сукупності базових елементів. Зазвичай такі масиви містять панелі з фотоелементами, електрично з'єднаними послідовно та / або паралельно для досягнення потрібних робочих параметрів.

Вихідна електроенергія фотоелектричного масиву спроможна безпосередньо живити малі навантаження, наприклад системи освітлення чи двигуни постійного струму. Проте для більшості практичних пристроїв потрібні перетворювачі для видозміни енергії. Їх завданням є регулювання напруги, струму, контроль потоку потужності в мережевих системах, а головне – відстеження точки максимальної потужності пристрою.

Фотоелектричні перетворювачі характеризуються нелінійною вольт-амперною характеристикою з низкою параметрів, які необхідно коригувати відповідно до експериментальних даних реальних пристроїв. Математичні моделі фотоелектричних батарей є корисними інструментами для динамічного аналізу перетворювачів, вивчення алгоритмів відстеження максимальної точки потужності, а також для комплексного моделювання фотосистеми і її складників за допомогою відповідних симуляторів схемотехніки.

Кожен сонячний елемент має унікальну вольт-амперну характеристику, приклад якої показано на рис. 7.1 для типового фотоелектричного елемента. Одна з кривих відображає залежність струму від напруги, інша – залежність потужності від напруги, отриману за формулою $P = I \cdot U$.

						56

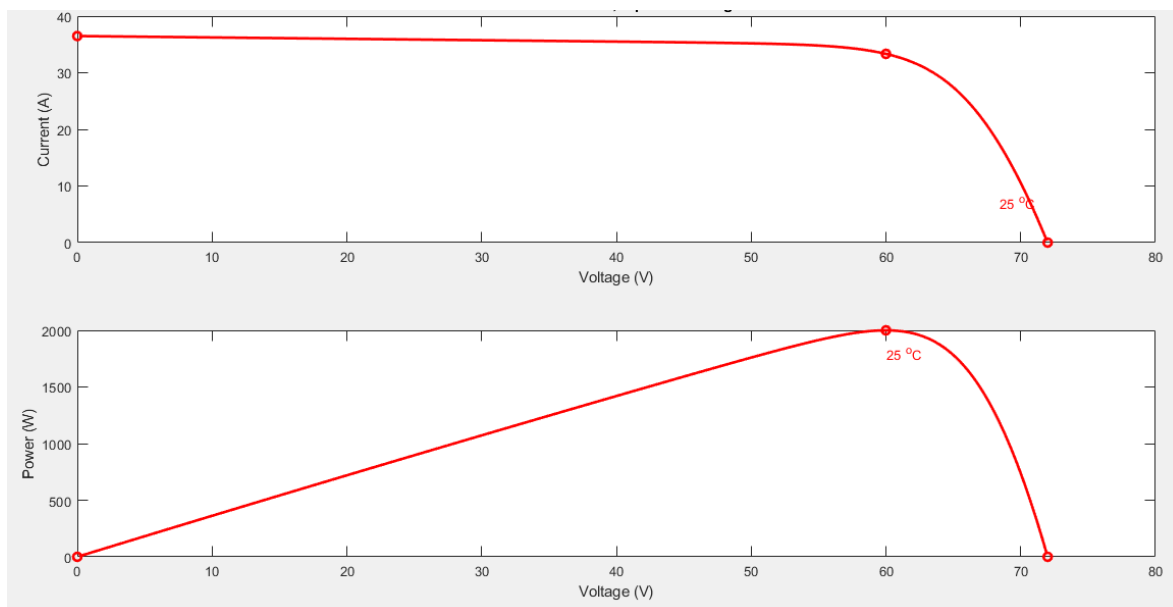


Рис. 7.1 Вольт-амперна залежність фотопанелі і залежність потужності

На кривій $P-U$ кожного модуля існує єдина точка максимуму потужності, в якій сонячна панель працює з найвищою ефективністю. Ця пікова потужність відповідає певним значенням струму та напруги. Для її отримання необхідно, щоб панель працювала в точці максимуму $U-I$ характеристики.

Однак положення робочої точки змінюється весь час внаслідок мінливих умов зовнішнього середовища, такі як рівень освітлення чи температура. Тому виникає потреба у системі безперервного відстеження кривої $P-U$ для утримання робочої точки максимально близько до піку потужності.

Нелінійність $U-I$ характеристики ускладнює забезпечення максимальної вихідної потужності. Для її подолання розробляються спеціальні алгоритми відстеження точки найбільшої потужності (MPPT). Вони аналізують поточні значення струму та напруги та динамічно підлаштовують параметри навантаження для досягнення максимуму потужності. Ефективність відстеження MPPT залежить від здатності швидко реагувати на зміни умов освітлення та температури. Чим точніше система відстежуватиме максимум потужності, тим більше енергії зможе видобути фотоелектрична установка за різних робочих режимів.

Дія сонячного опромінення. Ефективність сонячної панелі визначається кількістю енергії, яку вона може виробляти. Ця продуктивність значно варіюється

через залежність від мінливих умов навколишнього середовища. Освітленість – один з найважливіших факторів, що впливають на вихідну потужність фотомодулів. Вона характеризує щільність сонячного випромінювання, що падає на поверхню панелі. Ідеальним умовам відповідає отримання сонячною панеллю опромінення 1000 Вт/м^2 . Однак реальні значення сильно відрізняються через географічне розташування, кут падіння сонця, хмарність тощо. Зміна рівня освітленості безпосередньо впливає на вихідну потужність фотомодулів, як показано на рис. 7.2.

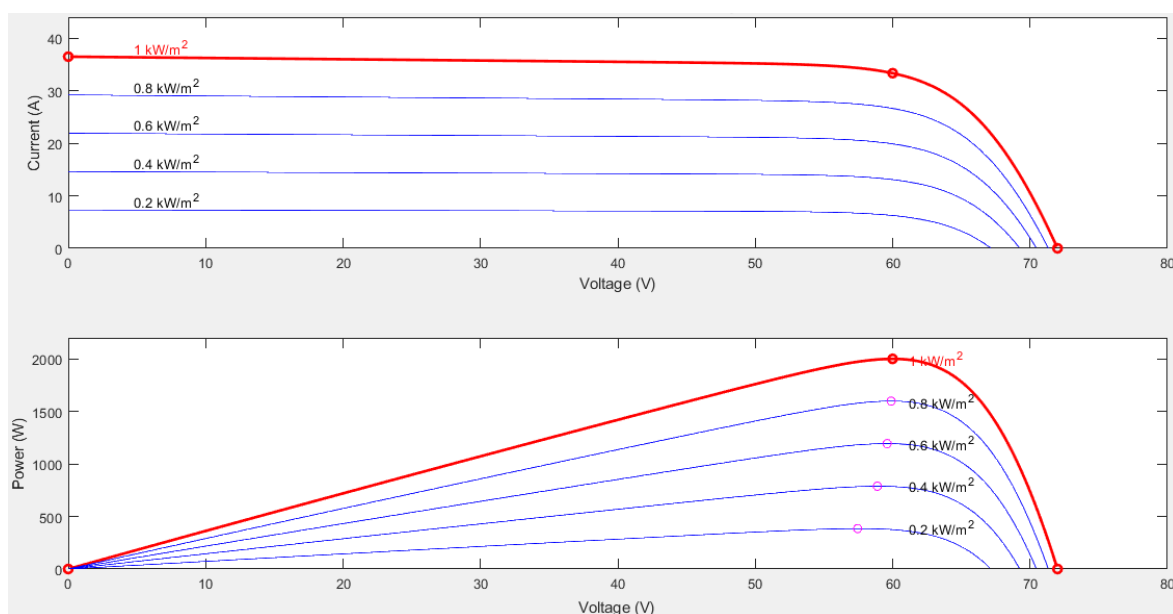


Рис. 7.2 Вплив зміни освітленості на характеристики I-U та P-U фотопанелі

Менша освітленість призводить до зниження потужності. Зменшення вихідного струму панелі при низькій освітленості пов'язане зі зменшенням потоку фотонів всередині комірки. Напруга холостого ходу та робоча напруга не зазнають значних змін при варіюванні освітленості. Зміни напруги через опромінення часто вважаються незначними. Для максимальної ефективності важливо відстежувати точку максимальної потужності (MPPT) з урахуванням поточного рівня освітленості. Тому моніторинг та адаптація до мінливих умов освітлення є критично важливими для забезпечення оптимальної продуктивності фотоелектричних систем у реальних умовах експлуатації.

Вплив температури. Хоча температура не є таким критичним фактором як рівень сонячного опромінення, вона все ж значно впливає на ефективність фотомодулів. При збільшенні температури спостерігається зниження вихідної потужності фотоелектричних модулів. Для типових кремнієвих фотомодулів підвищення температури на кожен градус Цельсія призводить до зниження ефективності приблизно на 0,5 %. Фотомодулі зазвичай розраховані на робочу температуру близько 45°C, що на 20°C вище за температуру оточуючого повітря. Наприклад, при температурі повітря 50°C вихідна потужність модуля знизиться приблизно на 12,5%. На рис. 7.3 проілюстровано, що підвищення температури модуля призводить до зниження його вихідної напруги.

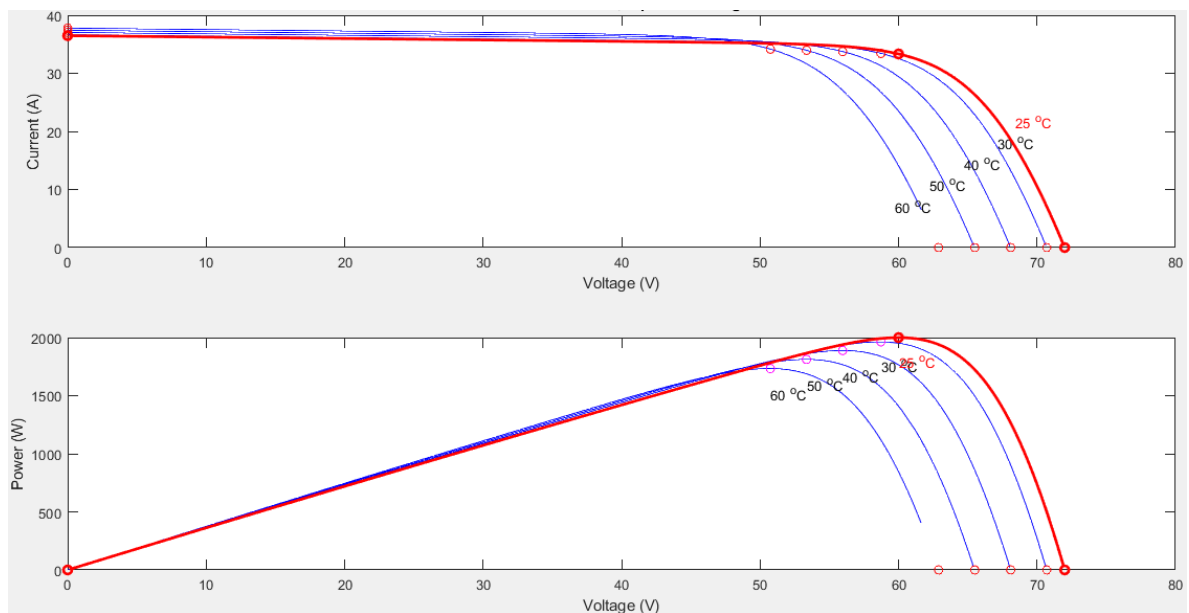


Рис. 7.3 Дія підвищеної температури на зміщення кривих I-U та потужність ФБ

Водночас ефект зміни температури не має такого значного впливу на вихідний струм фотомодуля. Тому температурний режим є важливим фактором, який необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації фотоелектричних систем. Підвищені температури можуть істотно знижувати продуктивність сонячних панелей. Для максимальної ефективності необхідно передбачати заходи з відведення тепла та охолодження фотомодулів в жарких кліматичних умовах.

7.2 Типи акумуляторів для систем резервного живлення

Нині виготовляється величезна кількість різноманітних видів акумуляторних батарей. Кожен тип має свою особливу конструкцію, технічні характеристики та сфери застосування, для яких він найбільш підходить. Жодна модель не є ідеальною для всіх випадків – у кожної є свої переваги та недоліки. У фотоелектричних системах найпоширенішими залишаються свинцево-кислотні та літій-іонні акумулятори. Причиною їх популярності є широка доступність різних розмірів, відносно невисока ціна та добре вивчені експлуатаційні властивості. Однак для спеціальних низькотемпературних застосувань інколи використовуються нікель-кадмієві елементи живлення. Їх перевага – стійкість до морозів, але висока початкова вартість обмежує поширення в більшості фотоелектричних установок.

Загалом, акумулятори поділяються на дві великі групи: *первинні* (не підлягають перезарядці) та *вторинні* (багатократного використання). Крім того, важливою характеристикою є електрохімічні реакції, що відбуваються всередині і визначають експлуатаційні показники. Більшість сучасних акумуляторів належать до одного з основних типів: свинцево-кислотні, нікель-кадмієві, нікель-металгідридні, літій-іонні, літій-полімерні. Кожен має специфічні властивості, переваги та сфери застосування. Тривають дослідження для розробки інноваційних акумуляторів з покращеними параметрами ємності, безпеки, вартості і т.д.

Свинцево-кислотні акумулятори на часі в Україні у фотоелектричних системах застосовується досить широко. Кожна модель має унікальну конструкцію та експлуатаційні характеристики та, попри численні варіації дизайну та параметрів, зазвичай класифікують за трьома основними категоріями.

1. Акумулятори SLI. Одна з основних категорій – акумулятори для системи пуску, освітлювання та запалювання (SLI - Start, Lighting, Ignition). Вони розроблені здебільшого для роботи в режимі малих циклів розряду-заряду і найчастіше слугують для живлення автомобільних стартерів.

Конструкція SLI-акумуляторів передбачає наявність у кожному елементі декількох тонких «плюсових» і «мінусових» пластин. Це забезпечує велику сумарну площу активної поверхні пластин на одиницю об'єму. Така будова дозволяє батареї видавати високі пускові струми за короткі проміжки часу.

Хоча первісно SLI-акумулятори не призначалися для роботи в глибокому циклічному режимі, їх інколи застосовують у фотоелектричних системах країн, де відсутня альтернатива місцевого виробництва. При дотриманні обмежень, такі батареї можуть служити до 2 років в невеликих автономних сонячних установках при середньодобовій глибині розряду 10-20% і максимальній 40-60% ємності.

Однак, для більшості фотоелектричних систем використання SLI-акумуляторів не рекомендується через їх невисоку циклічну витривалість. Краще віддати перевагу спеціалізованим тяговим або резервним моделям свинцево-кислотних батарей.

2. Силкові або тягові акумулятори. Друга основна категорія – силкові або тягові батареї, загальний зовнішній вигляд та елементи конструкції яких зображено на рис. 7.4. Вони розраховані на роботу в режимі глибоких циклів розряду-заряду і зазвичай застосовуються на електричному транспорті та обладнанні (гольф-кари, навантажувачі, підлогомети тощо).

На відміну від SLI-акумуляторів, в елементах тягових моделей менша кількість пластин, але вони значно товщі та мають більш міцну і витривалу конструкцію. Для підвищення циклічної стійкості використовуються свинцево-сурм'яні решітки із високим вмістом свинцю.

Така будова забезпечує тяговим акумуляторам здатність витримувати глибокі розряди без шкоди для ресурсу. Вони популярні для фотоелектричних систем завдяки високій циклічній витривалості, тривалому терміну експлуатації та міцності конструкції елементів. Однак, слід пам'ятати, що тягові батареї розраховані на специфічний режим роботи з регулярними циклами і не підходять для тривалого постійного розряду чи зберігання в розрядженому стані.

3. Стаціонарні батареї. Ця категорія акумуляторів переважно застосовується в системах резервного безперебійного живлення (ДБЖ). Їх призначення – забезпечувати енергією критично важливе обладнання, таке як

						61

The image displays a Trojan J150 12V battery and a detailed diagram of its internal AGM (Absorbed Glass Mat) plate assembly. The battery is a large, dark red unit with a label indicating it is a 12 VOLT J150 DEEP CYCLE battery. The diagram on the right illustrates the internal components, including the positive and negative plates, the AGM separator, and the safety valve. Labels in Ukrainian identify the following parts:

- напівблок позитивних пластин (Positive plate half-block)
- позитивна решітка (Positive grid)
- позитивна пластина (Positive plate)
- блок пластин в зборі (Plate assembly block)
- напівблок негативних пластин (Negative plate half-block)
- негативна пластина (Negative plate)
- негативна решітка (Negative grid)
- AGM сепаратор (AGM separator)
- захисний клапан (Safety valve)

Стаціонарні батареї не призначені для глибоких чи тривалих розрядів, проте можуть бути ефективним резервним джерелом для фотоелектричних систем у поєднанні з контролером заряду, налаштованим на відповідний режим циклів.

Принцип дії літій-іонних батарей базується на реакції літієвого електроду з електролітом з утворенням пасиваційної плівки під час циклів заряду-розряду.

Для компенсації використовуються потужні товсті електроди, що збільшує вартість виробництва порівняно з нікель-кадмієвими аналогами.

Літій-іонні акумулятори мають такі основні переваги: висока питома енергія в компактному корпусі; тривалий термін служби - 2000-8000 циклів.

Недоліки: вища вартість порівняно з іншими типами; підвищені вимоги до систем захисту та безпеки через ризик перегріву чи займання при неналежній експлуатації; вразливість до перезарядки, що скорочує ресурс.



Рис. 7.5 Зовнішній вигляд літій-іонного акумулятора із елементів по 3,7 В та платою керування BMS

Для фотоелектричних систем літій-іонні акумулятори можуть бути гарною альтернативою завдяки високій ємності при малій вазі та габаритах. Але їх експлуатація вимагає ретельного дотримання вимог виробника задля забезпечення безпеки та максимального ресурсу.

Нікель-кадмієві батареї мають низку переваг у порівнянні зі свинцево-кислотними, що робить їх привабливим варіантом для автономних фотоелектричних систем: тривалий термін служби; низькі експлуатаційні витрати; стійкість до глибоких розрядів; відмінне збереження ємності при низьких температурах; нечутливість до коливань напруги заряджання.

Основними недоліками Ni-Cd акумуляторів є висока початкова вартість та гірша доступність у порівнянні зі свинцево-кислотними аналогами.

Завдяки наведеним перевагам, насамперед морозостійкості, Ni-Cd акумулятори можуть бути корисним варіантом для фотоелектричних систем, які експлуатуються в холодному кліматі. Проте висока ціна часто стає стримуючим фактором для їх широкого впровадження.

Корозія. З часом в акумуляторних батареях можуть відбуватися незворотні процеси, що призводять до погіршення характеристик та передчасного виходу

[illegible]

акумуляторів з ладу: внутрішня корозія елементів та з'єднань; поступове перетворення активних речовин на неактивні сполуки.

Для мінімізації саморозряду та подовження терміну експлуатації акумуляторів фотоелектричних систем слід дотримуватися рекомендацій виробника щодо умов зберігання, регулярного підзаряджання чи своєчасної заміни зношених екземплярів. Також доцільно враховувати ефект саморозряду при розрахунках ємності акумуляторного банку для безперебійності роботи.

Фізичні зміни компонентів. З кожним циклом заряджання-розряджання відбувається певне погіршення стану акумулятора (деградація). Причиною вказаного явища є хімічні зміни складу активних матеріалів на електродах, фізичні зміни об'єму активних мас, що призводить до відшарування від електродів, міграція електроліту. Більшість нікелевих акумуляторів частково розряджені при купівлі і потребують зарядки перед першим використанням. Новіші нікель-металогідридні – вже в робочому стані і втрачають лише 15% ємності за рік.

Кількість циклів заряджання до критичного зниження ємності становить:

- Ni-MH малої ємності (1700-2000 мА*год) - близько 1000 циклів;
- Ni-MH великої ємності (>2500 мА*год) - близько 500 циклів;
- Ni-Cd - близько 1000 циклів до неприпустимого зростання внутрішнього опору;
- Li-ion - від 2500 до 6000, деякі до 8000 циклів;

Отже, незважаючи на високі початкові характеристики, всі акумулятори мають обмежений ресурс циклічної зносостійкості, що залежить від їх хімічного складу та конструкції. Це необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації фотоелектричних систем з акумуляторними банками.

Швидкість заряджання / розряджання. Окрім числа циклів, істотний вплив на деградацію акумуляторів має режим заряд / розряд. Швидка зарядка з підвищеними струмами призводить до прискореного зношування внутрішніх компонентів і, як наслідок, скорочує загальний термін служби. Аналогічно, глибокі розряди високими розрядними струмами також шкідливі для більшості типів акумуляторів. Для максимізації ресурсу циклів рекомендують

						65

дотримуватись визначених діапазонів струмів зарядки / розрядки та глибини розряду.

Таким чином, для акумуляторних банків фотоелектричних систем, крім правильного вибору типу та ємності батарей, важливо забезпечити оптимальні режими їх експлуатації відповідно до вказівок виробника. Це дозволить максимізувати строк служби та уникнути передчасного старіння.

Перезарядка. Окремої уваги потребує запобігання перезарядженню акумуляторів. Якщо зарядний пристрій не може точно визначити момент повного заряду батареї, це може призвести до її перезарядження та пошкодження.

Особливо небезпечною перезарядка є для літій-іонних акумуляторів. Через їх високу питому енергію це може спричинити перегрів, загорання, вибух.

Тому під час проектування систем акумуляторного живлення, зокрема для фотоелектричних установок, необхідно передбачати надійні засоби контролю та обмеження максимального заряду відповідно до специфікацій виробника акумуляторів. Окрім апаратних обмежувачів зарядки, доцільно впроваджувати системи моніторингу стану акумуляторного банку.

Умови навколишнього середовища. Умови навколишнього середовища є критичним фактором, який визначає ресурс акумуляторних батарей. Автомобільні стартерні свинцево-кислотні акумулятори повинні витримувати значні навантаження від вібрацій, ударів і перепадів температур. Через це, а також через процес сульфатації свинцевих пластин, термін їх служби при регулярній експлуатації рідко перевищує 6 років. Для максимізації пускових струмів автомобільні батареї мають багато тонких пластин. Загалом, чим товщі пластини, тим більша циклічна витривалість акумулятора. Стартерні батареї зазнають лише неглибоких розрядів перед черговим підзарядженням. Свинцево-кислотні акумулятори для роботи в режимі глибокого циклу, наприклад на електромобілях чи гольф-карах, мають набагато товстіші пластини для підвищення ресурсу. Їхніми основними перевагами є низька вартість, але недоліками – великі габарити і вага. Для всіх свинцевих батарей критично важливо не допускати розряду нижче 20% ємності, бо це призводить до зростання внутрішнього опору і перегріву.

						66

Таким чином, вибір типу і конструкції акумуляторів для фотоелектричних систем має враховувати умови їх подальшої експлуатації – навантаження, діапазон температур, глибину розрядів тощо. Це підвищить строк безпечної роботи.

7.4 Схемні рішення при акумуляторних банків для резервного живлення

При паралельному з'єднанні (рис. 7.6) декількох акумуляторних батарей їхня сумарна ємність (струмовіддача) дорівнює сумі ємностей окремих батарей. Напруга при цьому залишається такою ж, як у кожної окремої батареї. Обов'язковою умовою є використання акумуляторів з однаковими номінальними параметрами напруги та струму, інакше різниця параметрів може призвести до перезаряджання чи передчасного виходу з ладу частини батарей.

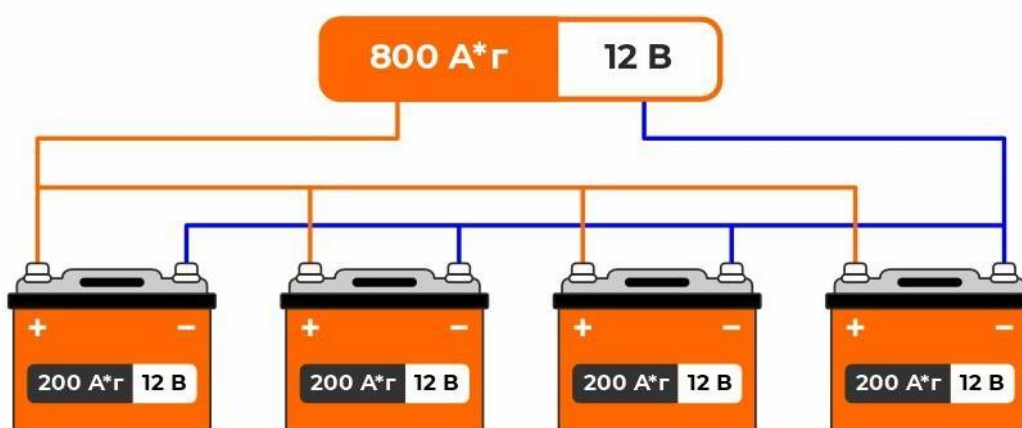


Рис. 7.6 Схema паралельного сполучення акумуляторів у батареї

Оскільки ємність паралельної групи зростає, то для її повного заряджання знадобиться пропорційно більше часу. Саме тому паралельне з'єднання акумуляторів популярне в автомобільній та човновій аудіотехніці, електричних тролінгових двигунах тощо – для збільшення часу автономної роботи без необхідності переходу на більш дорогі та важкі моделі акумуляторів.

Ємність акумуляторів може вимірюватись в одиницях ампер-годин (А*год) або холодного пускового струму (ССА). В обох випадках для правильного

паралельного з'єднання критично важливо використовувати акумулятори з однаковими номінальними ємностями та струмами, інакше різниця параметрів призведе до передчасного виходу з ладу частини батарей через перезаряд.

При проектуванні акумуляторних банків для фотоелектричних систем з паралельними групами, необхідно ретельно підбирати акумулятори за їх параметрами, щоб забезпечити збалансовану та безпечну роботу всієї системи.

При послідовному з'єднанні (рис. 7.7) декількох акумуляторних батарей їхні напруги додаються, а загальна вихідна напруга дорівнює сумі напруг окремих батарей. Наприклад, при послідовному з'єднанні чотирьох 12 В автомобільних акумуляторів отримуємо загальну напругу 48 В. Струмівіддача ж залишається такою ж, як в одній батареї.

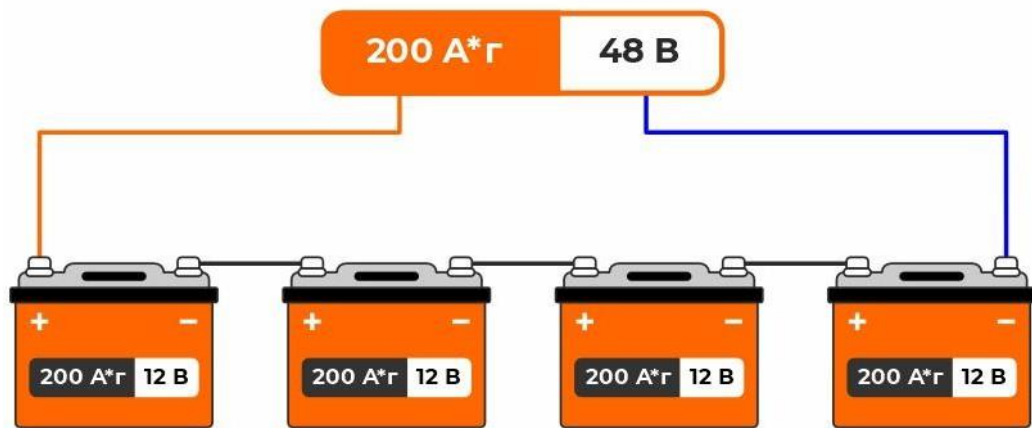


Рис. 7.6 Схема послідовного сполучення акумуляторів у батареї

Оскільки потужність рівна результату добутку напруги і струму ($P = U \cdot I$), то при подвоєнні напруги до 48 В при незмінному струмі, загальна потужність системи зросте у 4 рази у порівнянні з однією батареєю.

Важливо пам'ятати, що при послідовному з'єднанні необхідно використовувати абсолютно ідентичні акумулятори з однаковими параметрами ємності, напруги, стану зарядженості тощо. Інакше різниця параметрів призведе до перезаряду та передчасного виходу з ладу частини батарей.

В процесі проектування акумуляторних банків для фотоелектричних систем можна використовувати як паралельні, так і послідовні з'єднання груп акумуляторів для отримання необхідних параметрів напруги та ємності. Але дуже важливо ретельно підбирати акумулятори за їх характеристиками для забезпечення безпечної та збалансованої роботи всієї системи.

7.5 Обрання числа та ємності акумуляторної батареї

Підбір ємності акумуляторного пристрою невіддільне від вибору вірного типу батареї. Основним завданням є оцінка нижнього порогу ємності акумуляторної батареї, яка б забезпечила щодобове споживання електроенергії:

$$Q = \frac{W_{\text{доби}} \cdot A_{\text{днів}}}{d \cdot E_k \cdot U_{\text{АКБ}}} \quad (7.1)$$

де Q – найменша ємність акумулятора, необхідна для резервування, А*год,
 $W_{\text{доби}}$ – середня за добу необхідність забезпечення електроенергією, Вт*год і рахується на основі виконання аналізу споживачів електроенергії кожного дня (за даними номінального споживання пристроїв і часу їх роботи),

$A_{\text{днів}}$ – число днів забезпечення роботи в автономному режимі, приймається на основі аналізу важливості безперебійної роботи певних приладів і в практичних розрахунках, як правило, приймається 3-5 днів.

d – глибина розряду, яка припустима для визначеного типу акумулятора та обраного режиму його використання (для свинцево-кислотних АКБ на практиці приймають $d = 80\%$, однак при $d = 50\%$ забезпечиться довший термін роботи),

E_k – втрати електроенергії в лініях сполучення від акумуляторів до контролеру заряду, а також від батареї до навантаження.

$U_{\text{АКБ}}$ – номінальна напруга акумуляторної батареї (блоку, банки) і на практиці складає 12 В, 24 В або 48 В.

Для вихідних розрахунків акумуляторної батареї приймемо об'єкт, для якого необхідно гарантувати живлення у випадку відмови основних джерел живлення, а складові виразу (7.1) відповідно були визначені як: $W_{доби} = 33 \text{ кВт*год}$; $A_{дни} = 7 \text{ днів}$; $d = 50\%$; $E_k = 0,93$; 5. $U_{АКБ} = 48 \text{ В}$.

Відповідно до виразу (7.1) визначимо необхідну ємність батареї:

$$Q = \frac{W_{доби} \cdot A_{дни}}{d \cdot E_k \cdot U_{АКБ}} = \frac{33 \cdot 7}{0,5 \cdot 0,93 \cdot 48} = 10,34 \text{ кА*год}.$$

Після визначення мінімальної потрібної ємності АКБ необхідно обрати тип батареї та підрахувати кількість послідовно і кількість паралельно сполучених батарей для забезпечення розрахованої ємності.

Для установки приймемо заливні свинцево-кислотні акумулятори марки FLA з номінальною напругою $U = 12 \text{ В}$ та ємністю штуки $Q_0 = 450 \text{ А*год}$.

Для забезпечення напруги 48 В необхідно сполучити чотири батареї на 12 В послідовно, для забезпечення необхідної ємності 10,34 кА*год необхідно сполучити паралельно мінімум 23 батареї одиничною ємністю 450 А*год. Таким чином загальна кількість акумуляторів в батареї має скласти 92 одиниці.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішувалось питання розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції.

Проведені розрахунки електричних навантажень, графіків навантаження, режимів споживання та генерації реактивної потужності та режимів к.з. мережі дозволив зробити вибір елементів електричної мережі високої напруги підприємства. Спроектована так система електропостачання відповідає стосовно основних вимог, як то надійності, гнучкості, ремонтпридатності, економічності.

В спеціальному розділі роботи виконано обґрунтування та вибір типу акумуляторів, розраховано їх кількість та ємність. Описано вимоги до експлуатації акумуляторних систем накопичення електроенергії. Зазначено особливості їх послідовного та паралельного з'єднання. Розглянуто основні характеристики фотоелектричних систем, а також зовнішні фактори, що впливають на їх продуктивність - інтенсивність сонячного випромінювання, температура, тощо. Виконано обґрунтований вибір типу акумуляторів для накопичення енергії у складі фотоелектричної системи. Розраховано необхідну кількість і сумарну ємність акумуляторного банку з урахуванням режимів розрядки, циклічності роботи та інших експлуатаційних параметрів. Описано основні вимоги до безпечної та ефективної експлуатації акумуляторних систем накопичення у складі фотоелектричних установок. Визначено фактори, що впливають на термін служби та деградацію акумуляторів. Наведено особливості паралельного і послідовного з'єднання окремих акумуляторів в єдиний банк для забезпечення необхідних параметрів напруги та ємності. Підкреслено важливість використання ідентичних акумуляторів з однаковими характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
3. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: СДУ, 2019. – 521 с.
4. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2007. – 280 с.
5. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.
7. Plieshkov, P., Soldatenko, V., Zinzura, V., Plieshkov, S. (2020). Determining weight coefficients for an optimal system of control over electric energy generation in a combined electric power system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 103, No 1/2020. – P. 77 – 82.