

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:

«Проектування системи електропостачання м'ясопереробного підприємства»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-21-ЗСК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Василь ПОЛЯКОВ

«____» _____ 2024 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Валентин СОЛДАТЕНКО

«____» _____ 2024 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

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

Полякова Василя Валентиновича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання м'ясопереробного підприємства

Design of a power supply system for a meat processing enterprise

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 проектування системи електропостачання м'ясопереробного підприємства. 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 _____

Василь ПОЛЯКОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 67 с.; 17 рис.; 24 табл.; 7 джерел

**Поляков В. В. Проектування системи електропостачання
м'ясопереробного підприємства. – 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.

Спеціальний розділ присвячено моделюванню та аналізу фотоелектричної системи потужністю до 2 кВт в середовищі MATLAB/Simulink. Створено модель системи в цілому. Проведено імітаційне моделювання для резистивного навантаження. Результати моделювання показали працездатність системи для живлення активних, а також можливість її використання у періоди відключення електроенергії. Робота демонструє ефективність застосування MATLAB при проектуванні систем відновлюваної енергетики.

Ключові слова: система електропостачання, вибір схеми живлення, моделювання фотоелектричної системи

ABSTRACT

Qualification work: 67 p.; 17 Fig.; 24 tables; 7 sources

Poliakov V. Design of a power supply system for a meat processing enterprise. – 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.

A special section is devoted to the modeling and analysis of a photovoltaic system with a capacity of up to 2 kW in the MATLAB/Simulink environment. A model of the system as a whole has been created. Simulation modeling for resistive load was carried out. The simulation results showed the system's performance for powering the active, as well as the possibility of its use during periods of power outages. The work demonstrates the effectiveness of using MATLAB in the design of renewable energy systems.

Keywords: power supply system, selection of a power supply scheme, modeling of a photovoltaic system

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Силові електричні навантаження в мережі напругою до 1 кВ.....	9
1.2 Освітлювальні навантаження	9
1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ	12
1.4 Графіки електричних навантажень	18
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	23
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	25
3.1 Схеми зовнішнього електропостачання підприємства	25
3.2 Схема внутрішнього електропостачання м'ясопереробного підприємства	29
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	30
4.1 Баланс реактивної потужності.....	30
4.2 Вибір кількості, потужності, місця розміщення компенсуючих пристроїв	32
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	43
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	51
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	52
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	54
РОЗДІЛ 7. МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ В SIMULINK	56
7.1 Використання інструменту SIMULINK із пакету MATLAB для моделювання сонячної фотосистеми	56
7.2 Моделювання роботи фотоелектричної панелі з блоком MPPT.....	59
7.3 Моделювання інверторної частини установки в MATLAB Simulink	61
7.4 Моделювання роботи системи при зміні резистивного навантаження.....	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Поляков В.В.				Проектування системи електропостачання м'ясопереробного підприємства Design of a power supply system for a meat processing enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Солдатенко В.П.						6	67
Н. контр.	Солдатенко В.П.					ЦНТУ зр. ЕЕ-21-3СК		
Затвер.	Плешков П.Г.							

ВСТУП

Однією з провідних галузей харчової промисловості в Україні є м'ясопереробна. Підприємства даної сфери виконують важливу роль у забезпеченні населення високоякісною м'ясною та ковбасною продукцією. Водночас виробництво м'ясних виробів вимагає значних витрат енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії. Тому питання проектування ефективних та надійних систем електропостачання для м'ясопереробних підприємств набуває великої актуальності.

Вимоги до електропостачання такого роду підприємств визначаються специфікою виробничих процесів, наявністю потужного електроспоживаючого обладнання, необхідністю забезпечення високої якості електричної енергії та безперебійності електропостачання. Це вимагає ретельного проектування систем електропостачання з урахуванням режимів роботи та характеру електричних навантажень, дотриманням норм електро- та пожежобезпеки, оптимізацією схемних рішень та елементного складу.

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування надійної, енергоефективної та безпечної системи електропостачання для м'ясопереробного підприємства із застосуванням сучасних технічних рішень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань, зокрема: проаналізувати специфіку електроспоживання м'ясопереробних виробництв, виконати розрахунок електричних навантажень та вибрати оптимальні схеми електропостачання, розробити проектні рішення щодо силових та освітлювальних електричних мереж, вибрати обладнання та пристрої компенсації реактивної потужності, запроєктувати систему заземлення, розрахувати показники надійності та економічної ефективності проекту.

Успішна реалізація даного проекту з дотриманням основних принципів та нормативних вимог забезпечить надійне та економічне електропостачання м'ясопереробного підприємства, сприятиме підвищенню ефективності виробництва та якості продукції.

						7

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок електричних навантажень є важливим етапом при проектуванні електричних систем. Його правильне виконання багато в чому забезпечує надійну та безпечну роботу електрообладнання.

Для розрахунку силового навантаження складається список всіх електроприймачів (двигуни, нагрівачі, трансформатори тощо) з вказанням їхньої потужності, визначається коефіцієнт використання для кожного електроприймача (частка часу, коли він працює на повну потужність), розраховується розрахункове навантаження шляхом підсумовування добутків номінальної потужності на коефіцієнт використання для кожного приймача, враховуються коефіцієнти одночасності (частка електроприймачів, що можуть працювати одночасно)

Для розрахунок освітлювального навантаження вихідними даними є площа приміщень, які потрібно освітлити. Далі визначається необхідна освітленість для різних зон згідно з галузевими нормами. Після підбору типу світильників з урахуванням їх світлового потоку та потужності за питомою потужністю на освітлення визначається кількість світильників для досягнення освітленості.

При розрахунку високовольтного навантаження беруться до уваги високовольтні споживачі (потужні двигуни, печі тощо), розраховується повне навантаження високовольтних споживачів з урахуванням їх потужності та режимів роботи, враховуються можливі піки навантаження та резерви потужності.

Після розрахунку всіх навантажень визначається загальне розрахункове навантаження системи, що буде слугувати основою для вибору кабелів вимикачів та інших елементів електричної системи для забезпечення надійної та безпечної експлуатації.

Далі виконано розрахунок для силового, освітлювального та високовольтного навантаження.

						8

1.1 Силові електричні навантаження в мережі напругою до 1 кВ

Даля наведено розрахунок силового електричного навантаження механічної дільниці в мережі до 1 кВ.

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{56,8}{4,5} = 12,6 \approx 13$$

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma \text{ сум}} K_{\Sigma} = 1886,6 \cdot 0,3828 = 722,14 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = P_{\Sigma} \operatorname{tg} \varphi = 722,14 \cdot 1,18 = 849,12 \text{ квар.}$$

$$n_e = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 1886,6}{56,8} = 66,43 \approx 66.$$

Відповідно до джерела [1] визначаємо $K_p = 1,17$.

Розрахункове активне та реактивне навантаження сукупності приймачів:

$$P_p = P_{\Sigma} K_p = 722,14 \cdot 1,17 = 844,71 \text{ кВт}, \quad Q_p = Q_{\Sigma} = 849,12 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{844,71^2 + 849,12^2} = 1197,72$$

Подібним підходом користуючись були визначені силові електричні навантаження і для інших груп приймачів та механічної дільниці в цілому зі зведенням результатів до табл. 1.1., а для інших підрозділів – до табл. 1.2.

1.2 Освітлювальні навантаження

Нижче зроблений для цеху ковбаси розрахунок освітлювальних навантажень за такими даними: $A = 4125 \text{ м}^2$, $p_0 = 12,1 \text{ Вт/м}^2$, $K_{\Pi} = 0,96$, $K_1 = 1,2$, $\cos \varphi = 0,89$, $\operatorname{tg} \varphi = 0,512$).

Встановлена потужність:

$$P_{\text{вст}} = A \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 4125 \cdot 12,1 \cdot 10^{-3} = 49,91 \text{ кВт},$$

$$P_p = K_{\Pi} K_1 P_{\text{вст}} = 0,96 \cdot 1,2 \cdot 49,91 = 57,5 \text{ кВт}, \quad Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 57,5 \cdot 0,512 = 29,44 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{57,5^2 + 29,44^2} = 64,6 \text{ кВА}.$$

Для інших підрозділів аналогічний розрахунок приведено в табл. 1.3.

						9

Таблиця 1.1. Силлові електричні навантаження до 1 кВ механічної дільниці

№	Споживачі за групами	Число споживачів	$P_{\text{один.}}, \text{кВт}$		$P_{\text{встан.}}, \text{кВт}$	m	K_B	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Навантаження сер.-змінне		$n_{\text{ефект}}$	K_M	Розрах. навантаження		
			min	max						$P_{\text{змін.}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{змін.}}, \text{квар}$			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
1	Верстати для обрізки	95	4,5	35	1168	7,8	0,27	0,61	1,3	315,36	409,66					
2	Вентилятори витяжні	8	12	18	130	1,5	0,88	0,81	0,72	114,4	82,82					
3	Насоси циркуляційні	3	7	7,5	21,5	1,1	0,89	0,81	0,72	19,14	13,86					
4	Лінія для обвалювання	5	30	50	180	1,7	0,6	0,86	0,59	108	64,08					
5	Лінія для валяння №1	7	22,5	45	122,5	2	0,45	0,51	1,69	55,12	92,97					
6	Лінія для валяння №2	4	56,8	56,8	227,2	1	0,46	0,51	1,69	104,51	176,27					
7	Механізм транспортування	4	9,35	9,35	37,4	1	0,15	0,51	1,69	5,61	9,46					
	Всього по механічн. дільниці	126	4,5	56,8	1886,6	12,6	0,382773	0,648	1,18	722,14	849,12	66	1,17	844,71	849,12	1197,72

Таблиця 1.2. Силлові електричні навантаження до 1 кВ підрозділів підприємства

№	Споживачі за підрозділами	Число споживачів	$P_{\text{один.}}, \text{кВт}$		$P_{\text{встан.}}, \text{кВт}$	m	K_B	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Навантаження сер.-змінне		$n_{\text{ефект}}$	K_M	Розрах. навантаження		
			min	max						$P_{\text{змін.}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{змін.}}, \text{квар}$			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Цех ковбаси	101	4,5	55	2804,5	12,2	0,60	0,8	0,75	1682,7	1262,03	101	1,08	1811,61	1262,03	2207,86
2	Цех гофротари	21	1,5	18,5	351,5	12,3	0,30	0,7	1,02	105,45	107,58	21	1,4	147,67	107,58	182,7
3	Холодильник №1	29	10	200	2390	20	0,80	0,8	0,75	1912	1434	24	1	1912	1434	2390
4	Цех первинної обробки	101	11	250	2892	22,7	0,60	0,8	0,75	1735,2	1301,4	23	1,18	2040,9	1301,4	2420,52
5	Склад №1	21	5	18,5	105	3,7	0,50	0,8	0,75	52,5	39,37	11	1,36	71,22	39,37	81,38
6	Цех технічного фабрику	51	10	200	2980	20	0,60	0,8	0,75	1788	1341	30	1,15	2058,6	1341	2456,85
7	Цех сироватки	30	3	75	1503	25	0,60	0,8	0,75	901,8	676,35	30	1,15	1038,28	676,35	1239,14

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
8	Холод. Установка №2	29	7,5	30	588,5	4	0,80	0,8	0,75	470,8	353,1	29	1	470,8	353,1	588,5
9	Конденсаторна	31	7,5	15	357,5	2	0,60	0,7	1,02	214,5	218,83	31	1,15	246,36	218,83	329,51
10	Заводоуправління	51	1,75	15	421,5	8,6	0,70	0,8	0,75	295,05	221,29	51	1,08	318,18	221,29	387,57
11	Станція очистки	27	3	15	228	5	0,60	0,7	1,02	136,8	139,56	27	1,16	158,79	139,56	211,4
12	Електроцех	19	5	15	145	3	0,30	0,7	1,02	43,5	44,38	19	1,42	61,95	44,38	76,21
13	Холодильник №3	53	7,5	100	517,5	13,3	0,80	0,8	0,75	414	310,5	10	1	414	341,55	536,71
14	Механічна дільниця	126	4,5	56,8	1886,6	12,6	0,382773	0,648	1,18	722,14	848,78	66	1,17	844,71	848,78	1197,48
15	Теплоцех	51	5	25	1205	5	0,50	0,7	1,02	602,5	614,67	51	1,15	691,13	614,67	924,92
16	Механічна майстерня	31	11	27	198	2,5	0,20	0,65	1,17	39,6	46,3	31	1,43	56,68	46,3	73,19
17	Пральня	9	5	41	185	8,2	0,70	0,85	0,62	129,5	80,26	9	1,21	157,32	88,29	180,4
18	Автобаза	11	5	27	107	5,4	0,30	0,65	1,17	32,1	37,53	8	1,71	54,99	41,28	68,76
19	Лабораторія №1	31	5	18	282	3,6	0,50	0,7	1,02	141	143,85	31	1,19	168,47	143,85	221,53
20	Лабораторія №2	19	1,5	7,5	51,5	5	0,50	0,7	1,02	25,75	26,27	14	1,31	33,7	26,27	42,73
21	Склад №2	17	2,5	5	52,5	2	0,70	0,8	0,75	36,75	27,56	17	1,15	42,14	27,56	50,35
22	Сировинна база №1	27	3	7,5	48	2,5	0,80	0,8	0,75	38,4	28,8	27	1	38,4	28,8	48
	Всього по заводу	886	1,5	250	19299,6	166,7	0,596906	0,778	0,81	11520,04	9303,41	154	1,06	12224,99	9303,41	15362,42

Таблиця 1.3. Розрахунок освітлювальних навантажень

Поз.	Споживачі за підрозділами	$A, \text{ м}^2$	$P_0, \text{ Вт/м}$	$P_{\text{вст}}, \text{ кВт}$	$K_{\text{п}}$	K_1	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{р}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{р}}, \text{ квар}$	$S_{\text{р}}, \text{ кВА}$
1	Цех ковбаси	4125	12,1	49,91	0,96	1,20	0,89	0,512	57,5	29,44	64,6
2	Цех гофротари	1718	12,1	20,79	0,96	1,20	0,89	0,512	23,95	12,26	26,91
3	Холодильник №1	2994	10,1	30,24	0,61	1,20	0,89	0,512	22,14	11,34	24,88
4	Цех первинної обробки	895	12,1	10,83	0,94	1,20	0,89	0,512	12,22	6,26	13,73
5	Склад №1	1178	6,1	7,19	0,59	1,20	0,89	0,512	5,09	2,61	5,72
6	Цех технічного фабрикату	1086	12,1	13,14	0,95	1,20	0,89	0,512	14,98	7,67	16,83
7	Цех сироватки	1718	10,1	17,35	0,95	1,20	0,89	0,512	19,78	10,13	22,22
8	Холод. установка №2	912	6,1	5,56	0,6	1,20	0,89	0,512	4	2,05	4,49
9	Конденсаторна	728	8,1	5,9	0,95	1,20	0,89	0,512	6,73	3,45	7,56
10	Заводоуправління	2387	18,1	43,2	0,8	1,20	0,89	0,512	41,47	21,23	46,59
11	Станція очистки	758	10,1	7,66	0,95	1,20	0,89	0,512	8,73	4,47	9,81
12	Електроцех	1285	12,1	15,55	0,85	1,20	0,89	0,512	15,86	8,12	17,82
13	Холодильник №3	688	10,1	6,95	0,6	1,20	0,89	0,512	5	2,56	5,62
14	Механічна діляниця	687	10,1	6,94	0,95	1,20	0,89	0,512	7,91	4,05	8,89
15	Теплоцех	765	8,1	6,2	0,95	1,20	0,89	0,512	7,07	3,62	7,94
16	Механічна майстерня	764	12,1	9,24	0,85	1,20	0,89	0,512	9,42	4,82	10,58
17	Пральня	417	10,1	4,21	0,85	1,20	0,89	0,512	4,29	2,2	4,82
18	Автобаза	3868	0,48	1,86	1	1,12	0,51	1,687	2,08	3,51	4,08
19	Лабораторія №1	769	18,1	13,92	0,8	1,20	0,89	0,512	13,36	6,84	15,01
20	Лабораторія №2	1116	18,1	20,2	0,8	1,20	0,89	0,512	19,39	9,93	21,78
21	Склад №2	771	6,1	4,7	0,6	1,20	0,89	0,512	3,38	1,73	3,8
22	Сировинна база №1	2591	8,1	20,99	0,95	1,20	0,89	0,512	23,93	12,25	26,88
23	Сировинна база №2	2578	8,1	20,88	0,6	1,20	0,89	0,512	15,03	7,7	16,89
24	Територія підприємства	204700	0,21	42,99	1	1,12	0,51	1,687	48,15	81,23	94,43
	Всього по підприємству			386,4					391,46	259,47	469,64

1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ

Наступним кроком було визначено всі навантаження в мережі понад 1 кВ, а результати розрахунку приведені в табл. 1.4. Під час розрахунку були враховані втрати потужності в трансформаторах, і попередня потужність компенсації.

Таблиця 1.4. Результати розрахунку електричних навантажень вище 1 кВ

Споживачі за підрозділами	К- сть ЕС	Р _{один.} , кВт		Р _{встан.} , кВт	m	K _B	cosφ	tgφ	Навантаження сер.-змінне		n _{ефек}	K _м	Розрах. навантаження		
		min	max						Р _{змін.} , кВт	Q _{змін.} , квар			Р _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Підстанції 1, 2, 3															
Цех ковбаси															
силове:	101	4,5	55	2804,5	12,2	0,60	0,8	0,75	1682,7	1262,03	101	1,08	1811,61	1262,03	2207,86
освітлювальне:									49,91				57,5	29,44	
Всього:									1732,61	1262,03			1869,11	1291,47	2271,89
Холодильник №1															
силове:	29	10	200	2390	20	0,80	0,8	0,750	1912	1434	24	1	1912	1434	2390
освітлювальне:									30,24				22,14	11,34	
Всього:									1942,24	1434			1934,14	1445,34	2414,52
Холодильна установка №2															
силове:	29	7,5	30	588,5	4	0,80	0,8	0,750	470,8	353,1	29	1	470,8	353,1	588,5
освітлювальне:									5,56				4	2,05	
Всього:									476,36	353,1			474,8	355,15	592,93
Всього по Підстанції 1, 2, 3:															
силове:	159	4,5	200	5783	44,4	0,70	0,8	0,750	4065,5	3049,13	58	1,07	4358,08	3049,13	5318,84
освітлювальне:									85,71				83,64	42,83	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 1, 2, 3:									4151,21	3049,13			4441,72	3091,96	5411,94
Втрати в трансформатор.:													50,87	264,85	
Кільк. трансформатор.: 6 (1000 кВА)															
Коефіцієн. завантажен.: Kз = 0,74															
Всього по 10 кВ Підстанції 1, 2, 3:													4492,59	3356,81	5608,17
Підстанції 4, 5, 6															
Цех гофротари															
силове:	21	1,5	18,5	351,5	12,3	0,30	0,7	1,020	105,45	107,58	21	1,4	147,67	107,58	182,7
освітлювальне:									20,79				23,95	12,26	
Всього:									126,24	107,58			171,62	119,84	209,32

Продовження табл. 1.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Цех первинної обробки															
силове:	101	11	250	2892	22,7	0,60	0,8	0,750	1735,2	1301,4	23	1,18	2040,9	1301,4	2420,52
освітлювальне:									10,83				12,22	6,26	
Всього:									1746,03	1301,4			2053,12	1307,66	2434,19
Склад №1															
силове:	21	5	18,5	105	3,7	0,50	0,8	0,750	52,5	39,37	11	1,36	71,22	39,37	81,38
освітлювальне:									7,19				5,09	2,61	
Всього:									59,69	39,37			76,31	41,98	87,09
Цех технічного фабрику															
силове:	51	10	200	2980	20	0,60	0,8	0,750	1788	1341	30	1,15	2058,6	1341	2456,85
освітлювальне:									13,14				14,98	7,67	
Всього:									1801,14	1341			2073,58	1348,67	2473,59
Всього по Підстанції 4, 5, 6:															
силове:	194	1,5	250	6328,5	166,7	0,580	0,8	0,760	3681,15	2789,35	51	1,12	4116,76	2789,35	4972,74
освітлювальне:									51,95				56,24	28,8	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 4, 5, 6:									3733,1	2789,35			4173	2818,15	5035,46
Втрати в трансформатор.:													46,63	243,63	
Кільк. трансформатор.: 6 (1000 кВА)															
Коефіцієн. завантажен.: $K_z = 0,7$															
Всього по 10 кВ Підстанції 4, 5, 6:													4219,63	3061,78	5213,42
Підстанції 7, 8															
Цех сироватки															
силове:	30	3	75	1503	25	0,60	0,8	0,750	901,8	676,35	30	1,15	1038,28	676,35	1239,14
освітлювальне:									17,35				19,78	10,13	
Всього:									919,15	676,35			1058,06	686,48	1261,25
Конденсаторна															
силове:	31	7,5	15	357,5	2	0,60	0,7	1,020	214,5	218,83	31	1,15	246,36	218,83	329,51
освітлювальне:									5,9				6,73	3,45	
Всього:									220,4	218,83			253,09	222,28	336,84

Продовження табл. 1.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Електроцех															
силове:	19	5	15	145	3	0,30	0,7	1,020	43,5	44,38	19	1,42	61,95	44,38	76,21
освітлювальне:									15,55				15,86	8,12	
Всього:									59,05	44,38			77,81	52,5	93,87
Холодильник №3															
силове:	53	7,5	100	517,5	13,3	0,80	0,8	0,750	414	310,5	10	1	414	341,55	536,71
освітлювальне:									6,95				5	2,56	
Всього:									420,95	310,5			419	344,11	542,19
Механічна дільниця															
силове:	126	4,5	56,8	1886,6	12,6	0,38	0,65	1,180	722,14	848,78	66	1,17	844,71	848,78	1197,48
освітлювальне:									6,94				7,91	4,05	
Всього:									729,08	848,78			852,62	852,83	1205,94
Всього по Підстанції 7, 8:															
силове:	259	3	100	4409,6	33,3	0,52	0,74	0,910	2295,94	2098,84	88	1,1	2532,21	2098,84	3288,95
освітлювальне:									52,69				55,28	28,31	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 7, 8:									2348,63	2098,84			2587,49	2127,15	3349,61
Втрати в трансформатор.:													28,21	148,06	
Кільк. трансформатор.: 4(1000 кВА)															
Коефіцієн. завантажен.: Кз = 0,65															
Всього по 10 кВ Підстанції 7, 8:													2615,7	2275,21	3466,77
Підстанції 9, 10															
Заводоуправління															
силове:	51	1,75	15	421,5	8,6	0,70	0,8	0,750	295,05	221,29	51	1,08	318,18	221,29	387,57
освітлювальне:									43,2				41,47	21,23	
Всього:									338,25	221,29			359,65	242,52	433,78
Станція очистки															
силове:	27	3	15	228	5	0,60	0,7	1,020	136,8	139,56	27	1,16	158,79	139,56	211,4
освітлювальне:									7,66				8,73	4,47	
Всього:									144,46	139,56			167,52	144,03	220,92

Продовження табл. 1.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Теплоцех															
силове:	51	5	25	1205	5	0,50	0,7	1,020	602,5	614,67	51	1,15	691,13	614,67	924,92
освітлювальне:									6,2				7,07	3,62	
Всього:									608,7	614,67			698,2	618,29	932,61
Механічна майстерня															
силове:	31	11	27	198	2,5	0,20	0,65	1,170	39,6	46,3	31	1,43	56,68	46,3	73,19
освітлювальне:									9,24				9,42	4,82	
Всього:									48,84	46,3			66,1	51,12	83,56
Пральня															
силове:	9	5	41	185	8,2	0,70	0,85	0,620	129,5	80,26	9	1,21	157,32	88,29	180,4
освітлювальне:									4,21				4,29	2,2	
Всього:									133,71	80,26			161,61	90,49	185,22
Автобаза															
силове:	11	5	27	107	5,4	0,30	0,65	1,170	32,1	37,53	8	1,71	54,99	41,28	68,76
освітлювальне:									1,86				2,08	3,51	
Всього:									33,96	37,53			57,07	44,79	72,55
Лабораторія №1															
силове:	31	5	18	282	3,6	0,50	0,7	1,020	141	143,85	31	1,19	168,47	143,85	221,53
освітлювальне:									13,92				13,36	6,84	
Всього:									154,92	143,85			181,83	150,69	236,16
Лабораторія №2															
силове:	19	1,5	7,5	51,5	5	0,50	0,7	1,020	25,75	26,27	14	1,31	33,7	26,27	42,73
освітлювальне:									20,2				19,39	9,93	
Всього:									45,95	26,27			53,09	36,2	64,26
Склад №2															
силове:	17	2,5	5	52,5	2	0,70	0,8	0,750	36,75	27,56	17	1,15	42,14	27,56	50,35
освітлювальне:									4,7				3,38	1,73	
Всього:									41,45	27,56			45,52	29,29	54,13

Продовження табл. 1.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Сировинна база №1															
силове:	27	3	7,5	48	2,5	0,80	0,8	0,750	38,4	28,8	27	1	38,4	28,8	48
освітлювальне:									20,99				23,93	12,25	
Всього:									59,39	28,8			62,33	41,05	74,63
Сировинна база №2															
освітлювальне:									20,88				15,03	7,7	
Всього:									20,88	0			15,03	7,7	16,89
Територія підприємства															
освітлювальне:									42,99				48,15	81,23	
Всього:									42,99	0			48,15	81,23	94,43
Всього по Підстанції 9, 10:															
силове:	274	1,5	41	2778,5	27,3	0,53	0,73	0,920	1477,45	1366,09	136	1,08	1593,47	1366,09	2098,89
освітлювальне:									196,05				196,3	159,53	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 9, 10:									1673,5	1366,09			1789,77	1525,62	2351,76
Втрати в трансформатор.:													19,1	100,73	
Кільк. трансформатор.: 3 (1000 кВА)															
Коефіцієнт. завантажен.: $K_z = 0,6$															
Всього по 10 кВ Підстанції 9, 10:													1808,87	1626,35	2432,49
Всього по об'єкту															
силове:	886	1,5	250	19299,6	166,7	0,60	0,78	0,810	11520,04	9303,41	154	1,06	12224,99	9303,41	15362,42
освітлювальне:									386,4				391,46	259,47	
Всього:									11906,44	9303,41			12616,45	9562,88	15831,09
Втрати в трансформаторахр.:													144,8	757,26	
Всього по об'єкту:													12761,25	10320,14	16412,03
двигуни синхронні (10 кВ)	2	750	750	1500		0,69	0,91	0,460	1035	-471,56			1035	-471,56	1137,36
Всього по об'єкту 10 кВ:													13796,25	9848,58	16950,84
$\text{tgf} = 0,71$															
Попереднє значення $Q'_{\text{кп}}$														-7779,1	
Всього з компенс.(попередньо)													13796,25	2069,44	13950,6

1.4 Графіки електричних навантажень

Графіки електричних навантажень відображають зміну споживання електроенергії в часі. Вони можуть стосуватись окремих електроприймачів, цехів, підприємств. Основні види графіків: добовий графік показує коливання навантаження протягом доби, має характерні піки вранці та ввечері через збільшення споживання в побутовому секторі; тижневий графік демонструє зміни в навантаженні протягом тижня, причому робочі дні мають вищі навантаження порівняно з вихідними; річний графік відображає сезонні коливання, пов'язані зі змінами температури, тривалістю світлового дня тощо, влітку навантаження зазвичай нижче через менші потреби в опаленні; графік максимальних навантажень показує найбільші значення навантажень протягом певних проміжків часу (місяць, рік).

Аналіз графіків дозволяє оптимізувати режими роботи енергосистем, зменшувати втрати, планувати ремонти та здійснювати прогнозування попиту на електроенергію. Правильне врахування характеру навантажень є важливим для надійного та економічного функціонування електроенергетичного комплексу.

Було виконано необхідні розрахунки та побудовані графіки електричних навантажень. Результати проілюстровано в табл. 1.5 – 1.7, рис. 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.5. Відсоткові значення погодинного споживання потужності

№ з/п	Робоч. дні		Вихідні дні		№ з/п	Робоч. дні		Вихідні дні	
	P, %	Q, %	P, %	Q, %		P, %	Q, %	P, %	Q, %
1	75	89	27	54	13	80	89	22	49
2	59	79	27	54	14	91	94	22	49
3	44	66	27	54	15	99	99	22	49
4	44	66	27	54	16	79	88	22	49
5	39	61	27	54	17	59	78	22	49
6	49	67	27	54	18	74	84	22	49
7	44	66	27	54	19	77	84	22	51
8	79	85	27	54	20	77	85	22	51
9	84	91	22	49	21	74	84	27	54
10	97	81	22	49	22	77	85	27	54
11	81	89	22	49	23	81	87	27	54
12	77	85	22	49	24	74	87	27	54

Таблиця 1.6. Показники потужності навантаження відповідно до добових графіків електричних навантажень

№ з/п	Дні зимового періоду						Дні літнього періоду					
	робочі			вихідні			робочі			вихідні		
	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА
1	10347	1842	10510	3725	1117	3889	8795	1566	8933	3166	950	3305
2	8140	1635	8303	3725	1117	3889	6919	1390	7057	3166	950	3305
3	6070	1366	6222	3725	1117	3889	5160	1161	5289	3166	950	3305
4	6070	1366	6222	3725	1117	3889	5160	1161	5289	3166	950	3305
5	5381	1262	5527	3725	1117	3889	4573	1073	4697	3166	950	3305
6	6760	1387	6901	3725	1117	3889	5746	1179	5866	3166	950	3305
7	6070	1366	6222	3725	1117	3889	5160	1161	5289	3166	950	3305
8	10899	1759	11040	3725	1117	3889	9264	1495	9384	3166	950	3305
9	11589	1883	11741	3035	1014	3200	9851	1601	9980	2580	862	2720
10	13382	1676	13487	3035	1014	3200	11375	1425	11464	2580	862	2720
11	11175	1842	11326	3035	1014	3200	9499	1566	9627	2580	862	2720
12	10623	1759	10768	3035	1014	3200	9030	1495	9153	2580	862	2720
13	11037	1842	11190	3035	1014	3200	9381	1566	9511	2580	862	2720
14	12555	1945	12705	3035	1014	3200	10671	1653	10798	2580	862	2720
15	13658	2049	13811	3035	1014	3200	11610	1741	11740	2580	862	2720
16	10899	1821	11050	3035	1014	3200	9264	1548	9392	2580	862	2720
17	8140	1614	8298	3035	1014	3200	6919	1372	7054	2580	862	2720
18	10209	1738	10356	3035	1014	3200	8678	1478	8803	2580	862	2720
19	10623	1738	10764	3035	1055	3213	9030	1478	9150	2580	897	2731
20	10623	1759	10768	3035	1055	3213	9030	1495	9153	2580	897	2731
21	10209	1738	10356	3725	1117	3889	8678	1478	8803	3166	950	3305
22	10623	1759	10768	3725	1117	3889	9030	1495	9153	3166	950	3305
23	11175	1800	11319	3725	1117	3889	9499	1530	9621	3166	950	3305
24	10209	1800	10366	3725	1117	3889	8678	1530	8812	3166	950	3305

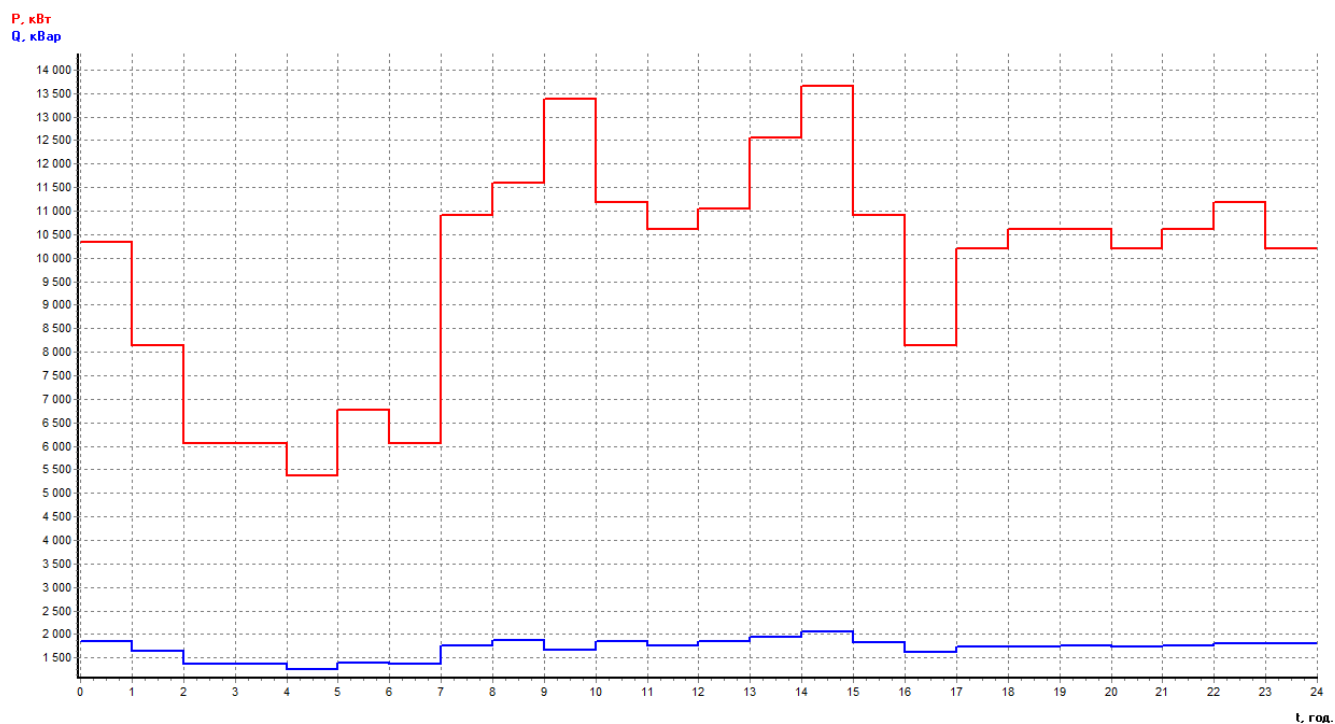


Рис. 1.1. Графік добового навантаження P , Q (зимові робочі дні)

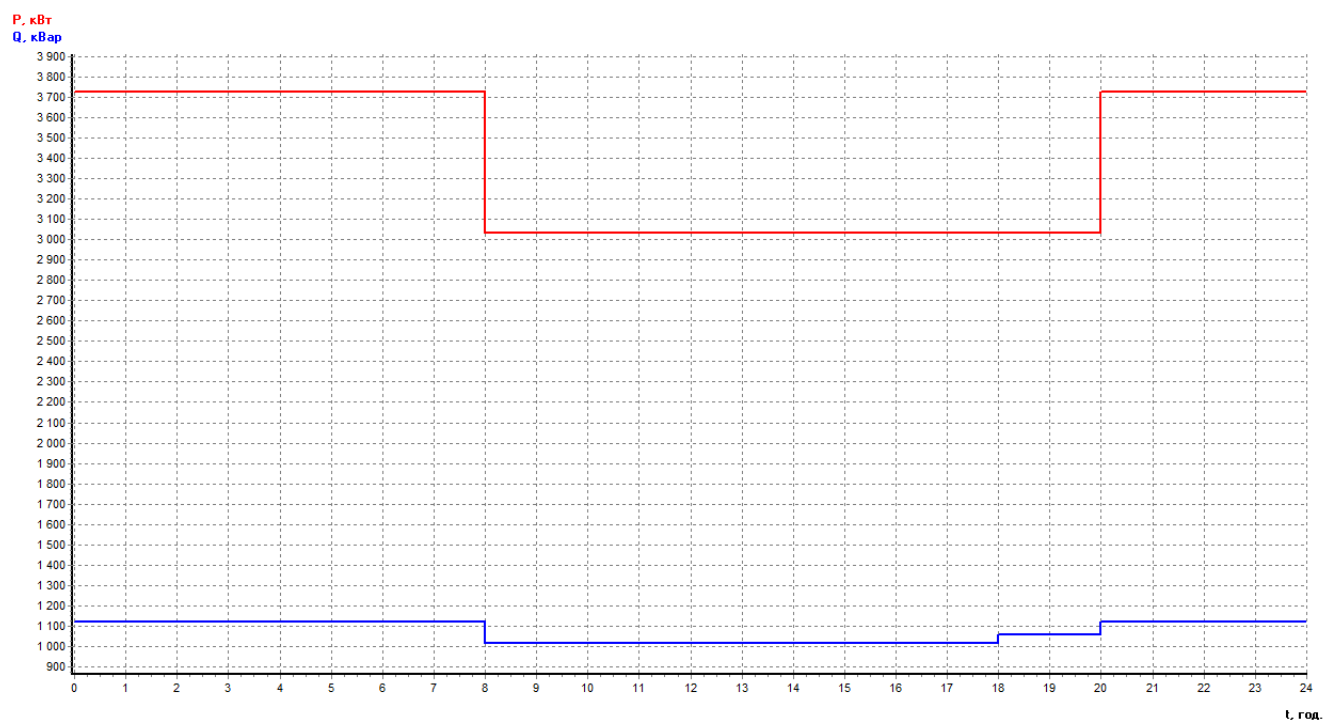


Рис. 1.2. Графік добового навантаження P, Q (зимові вихідні дні)

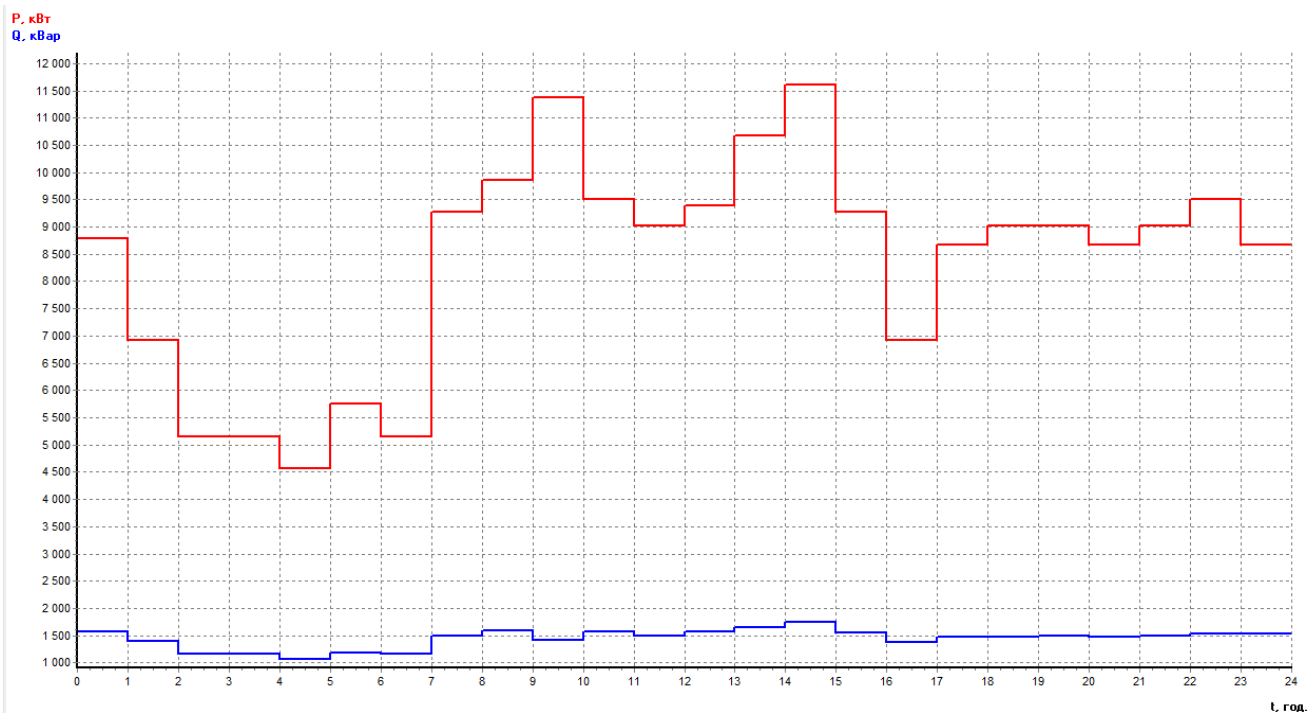


Рис. 1.3. Графік добового навантаження P , Q (літні робочі дні)

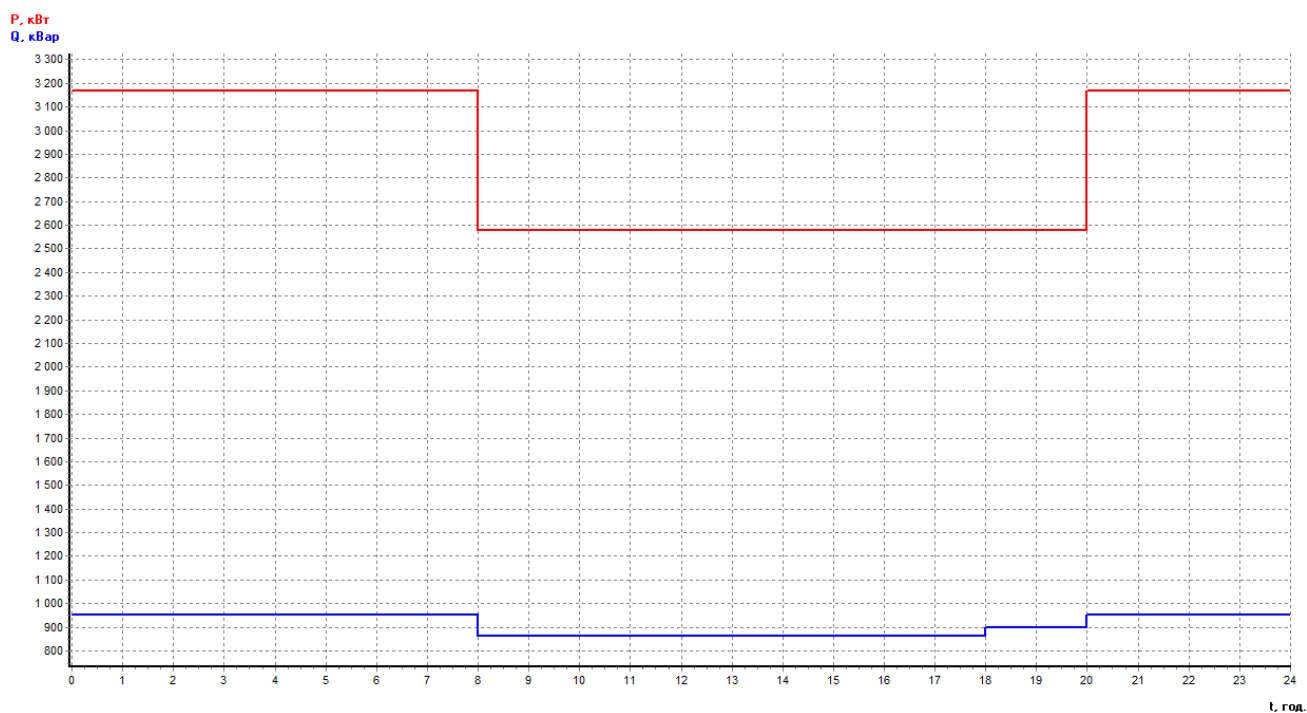


Рис. 1.4. Графік добового навантаження P , Q (літні вихідні дні)

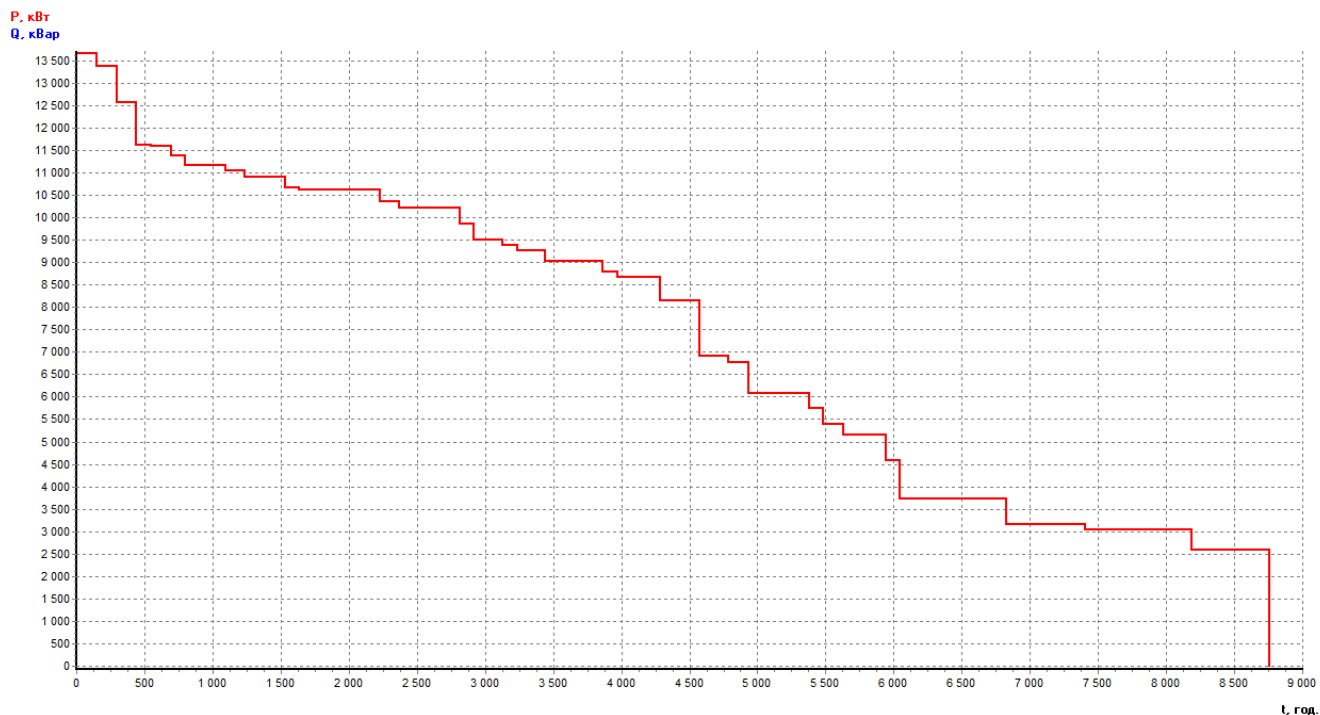


Рис. 1.5. Графік річного активного навантаження за тривалістю

Таблиця 1.7 Розрахункові величини графіків електронавантаження

№	Величина	Значення	Одиниця виміру
1	S_p	13950,59	МВА
2	$W_{з.р.}$	34760502	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	5989662	квар·год
4	$W_{з.в.}$	5272800	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	1667510	квар·год
6	$W_{л.р.}$	21105000	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	3636885	квар·год
8	$W_{л.в.}$	3309696	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	1047072	квар·год
10	W_p	64447998	кВт·год
11	V_p	12341129	квар·год
12	T_M	4703,668	год
13	τ_M	3094,661	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Картограма електричних навантажень - це графічне зображення розподілу електричних навантажень на території підприємства. Вона відображає густину навантаження, дозволяє наочно оцінити концентрацію споживачів електроенергії, тим самим полегшує планування розвитку енергогосподарства, оптимального розміщення підстанцій, прокладання ліній електропередачі

Розрахунок проводився згідно описаного в джерелі [1] підходу.

Проілюструємо побудову картограми на прикладі цеху ковбаси:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{p.1}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.сил.1} + P_{p.осв.1}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1811,61 + 57,5}{3,14 \cdot 0,7}} = 29,15 \text{ м},$$
$$\alpha_1 = \frac{P_{p.осв.1} \cdot 360^\circ}{P_{p.1}} = \frac{57,5 \cdot 360^\circ}{1869,11} = 11,07^\circ.$$

Розрахунок по іншим підрозділам приведено у табл. 2.1.

Цент електричних навантажень має координати:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{4048230,06}{14264,36} = 283,8 \text{ м},$$
$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1837057,17}{14264,36} = 128,8 \text{ м}.$$

Таким чином визначено координати центру електричних навантажень ($X = 284 \text{ м}$, $Y = 129 \text{ м}$) попали в розташування одного із підрозділів. Саме тому прийнято рішення стосовно зміщення розподільного енергетичного пункту в сторону живлення.

Таблиця 2.1. Розрахунок картограми електричних навантажень

№ п/п	Підрозділ	$P_{P, \text{сил}},$ кВт	$P_{P, \text{осв}},$ кВт	$P_P,$ кВт	m	$R,$ мм	$\alpha, ^\circ$	$X,$ м	$Y,$ м	$P^*X,$ кВт*м	$P^*Y,$ кВт*м
1	Цех ковбаси	1811,61	57,5	1869,11	0,7	29,15	11,07	204	76	381298,44	142052,36
2	Цех гофротари	147,67	23,95	171,62	0,7	8,83	50,24	465	117	79803,30	20079,54
3	Холодильник №1	1912	22,14	1934,14	0,7	29,66	4,12	256	71	495139,84	137323,94
4	Цех первинної переробки	2040,9	12,22	2053,12	0,7	30,56	2,14	343	77	704220,16	158090,24
5	Склад №1	71,22	5,09	76,31	0,7	5,89	24,01	415	39	31668,65	2976,09
6	Цех технічного фабрику	2058,6	14,98	2073,58	0,7	30,71	2,60	413	85	856388,54	176254,30
7	Цех сироватки	1038,28	19,78	1058,06	0,7	21,93	6,73	429	173	453907,74	183044,38
8	Холодильн. установка №2										
	0,38 кВ	470,8	4	474,80	0,7	14,69	3,03	215	148	102082,00	70270,40
	СД (10 кВ)	1035	0	1035,00	0,7	21,69	0,00	197	143	203895,00	148005,00
9	Конденсаторна	246,36	6,73	253,09	0,7	10,73	9,57	353	226	89340,77	57198,34
10	Заводоуправління	318,18	41,47	359,65	0,7	12,79	41,51	115	360	41359,75	129474,00
11	Станція очистки	158,79	8,73	167,52	0,7	8,73	18,76	115	246	19264,80	41209,92
12	Електроцех	61,95	15,86	77,81	0,7	5,95	73,38	309	165	24043,29	12838,65
13	Холодильник №3	414	5	419,00	0,7	13,80	4,30	350	177	146650,00	74163,00
14	Механічна дільниця	844,71	7,91	852,62	0,7	19,69	3,34	350	153	298417,00	130450,86
15	Теплоцех	691,13	7,07	698,20	0,7	17,82	3,65	53	270	37004,60	188514,00
16	Механічна майстерня	56,68	9,42	66,10	0,7	5,48	51,30	53	246	3503,30	16260,60
17	Пральня	157,32	4,29	161,61	0,7	8,57	9,56	69	190	11151,09	30705,90
18	Автобаза	54,99	2,08	57,07	0,7	5,09	13,12	220	341	12555,40	19460,87
19	Лабораторія №1	168,47	13,36	181,83	0,7	9,09	26,45	115	270	20910,45	49094,10
20	Лабораторія №2	33,7	19,39	53,09	0,7	4,91	131,48	117	215	6211,53	11414,35
21	Склад №2	42,14	3,38	45,52	0,7	4,55	26,73	53	222	2412,56	10105,44
22	Сировинна база №1	38,4	23,93	62,33	0,7	5,32	138,21	181	239	11281,73	14896,87
23	Сированна база №2	-	15,03	15,03	0,7	2,61	360,00	229	239	3441,87	3592,17
24	Територія підприємства	-	48,15	48,15	0,7	4,68	360,00	255	199	12278,25	9581,85
	Всього по підприємству	13872,90	391,46	14264,36						4048230,06	1837057,17

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання є важливим етапом при проектуванні систем енергопостачання. Воно дозволяє визначити найбільш оптимальний варіант схеми з точки зору надійності, економічності та безпеки. Даний процес передбачає кілька основних етапів:

- *аналіз навантаження та режимів роботи споживачів*: визначаються категорії надійності електропостачання для різних груп споживачів, розраховуються електричні навантаження та їх графіки;

- *розгляд можливих схемних рішень електропостачання*: розглядаються різні варіанти живлення від енергосистеми, кількість та потужність джерел живлення, способи резервування, конфігурації розподільних мереж;

- *техніко-економічні розрахунки для кожного варіанту*: оцінюються капітальні та експлуатаційні витрати, втрати електроенергії в мережах, надійність електропостачання, вимоги до компенсації реактивної потужності тощо;

- *вибір оптимального варіанту*: на основі проведених розрахунків обирається схема, яка забезпечує задані рівні надійності при мінімальних приведених витратах на спорудження та експлуатацію.

- *оцінка чутливості*: аналізується, як зміняться показники ефективності при певному відхиленні вихідних даних, що дозволяє врахувати можливі ризики.

Правильний вибір схеми електропостачання забезпечує безперебійне та якісне енергопостачання споживачів, дозволяє мінімізувати загальну вартість системи та втрати електроенергії і є обов'язковим етапом проектування.

3.1 Схеми зовнішнього електропостачання підприємства

Заживлення підприємства може бути від підстанції системи 110/10 кВ, що розполяглася на відстані 13,543 км.

Виконаємо оцінку двох варіантів:

						25

- прокладання кабельних ліній 10 кВ.

- прокладання повітряних ліній 110 кВ побудова ГЗП 110/10 кВ.

Відповідні варіантам схеми наведені на рис. 3.1.

Варіант перший. Електропостачання напруго 10 кВ (рис. 3.1 а).

Струм розрахункового навантаження:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{13951}{\sqrt{3} \cdot 10} = 805,46 \text{ А}$$

Обираємо до прокладки шість кабелів типу АСБ-10 з трьома жилами по 150 мм², технічні дані: $I_{доп} = 246 \text{ А}$, $\Delta P_{1км} = 20 \text{ Вт/м}$, вартість 128,7 тис. грн./км.

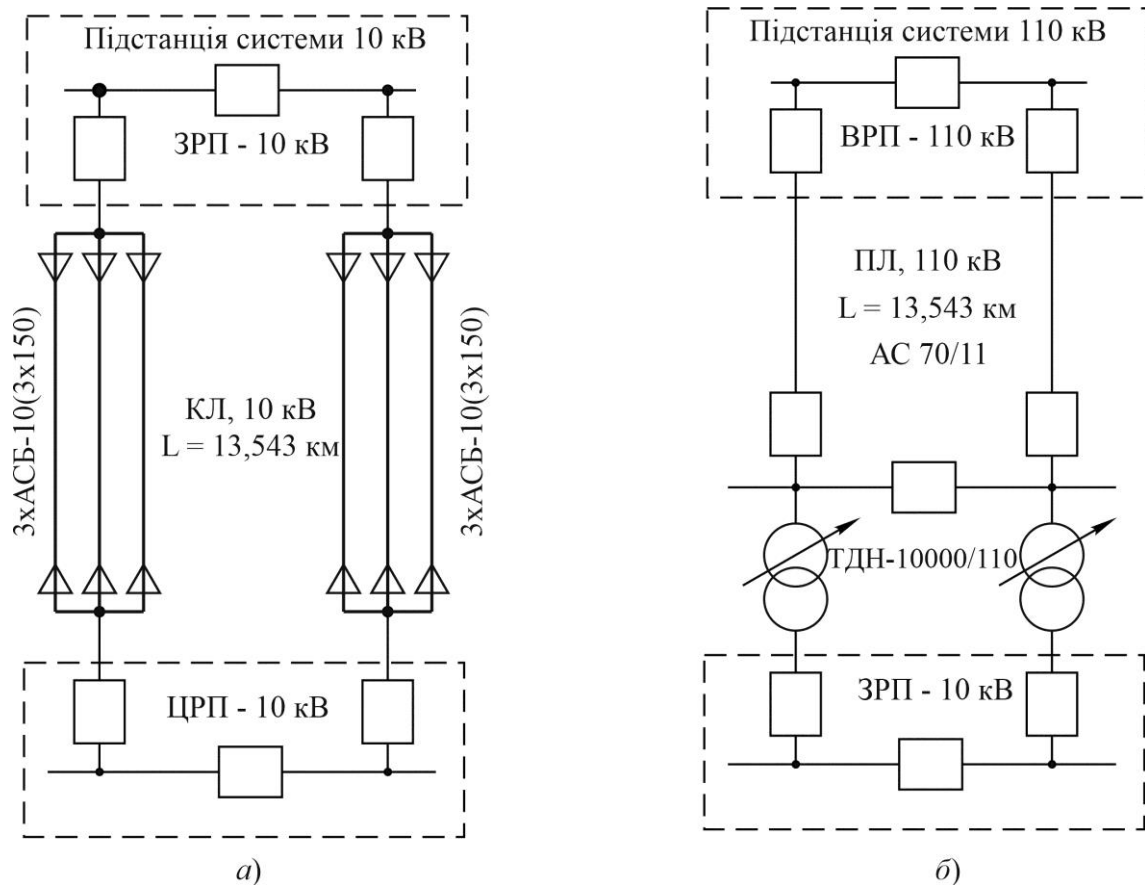


Рис. 3.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання

Перевірка ліній за умовою нагріву (нормальний режим):

$$I_p = 134,24 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,81 \cdot 246 = 199,26 \text{ А}$$

Перевірка ліній за умовою нагріву (аварійний режим):

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 134,24 = 268,48 \text{ А} \leq K_{ан} K_n' I_{дон} = 1,25 \cdot 0,92 \cdot 246 = 282,9 \text{ А}$$

Обрані кабелі задовольняють умовам перевірки.

Нормальне завантаження кабелів:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{134,24}{246} = 0,55$$

Втрати потужності, електроенергії та її грошова вартість:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} I_{\Sigma}^2 K_3^2 = 20 \cdot 81,258 \cdot 0,3025 = 491,61 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 491,61 \cdot 3095,01 = 1521537,87 \text{ кВт·год.}$$

$$C_{стр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 1521537,87 \cdot 5,217 \cdot 0,001 = 7937,86 \text{ тис.грн}$$

Розрахунок капітальних витрат по варіанту зведено до табл. 3.1, поточних витрат – до табл. 3.2.

Таблиця 3.1. Капіталовкладення по схемі електропостачання варіанту № 1

№ вар.	Складова схеми	Од. вимір.	Кількість	Вартість, т.грн.	Всього, т.грн
1	Лінія 10 кВ (кабелі)	км	81,258	187,402	15227,936
	Кабельна траншея	км.	13,543	20,821	281,976
	Комірки КРП серії КУ-10Ц	штук	2	15,579	31,158
Всього					15541,071

Таблиця 3.2. Поточні витрати по схемі електропостачання варіанту № 1

№ вар	Складова схеми	K _j , т.грн.	P _{аj} , %	C _{аj} , т.грн.	P _{еj} , %	C _{аj} , т.грн.	C _j , т.грн.
1	Лінія 10 кВ (кабелі)	15227,936	5	761,397	5	761,397	1522,794
	Кабельна траншея	281,976	5	14,099	5	14,099	28,198
	Комірки КРП серії КУ-10Ц	31,158	15	4,674	5	1,558	6,232
Всього							1557,223

Виконаємо розрахунок збитку од перерв електропостачання по варіанту №1.

Схема розрахункового ланцюга включає вимикач 10 кВ, КЛ довжиною $l_{\text{КЛ}\Sigma} = 3 \cdot 13,543 = 40,629$ км. Параметри надійності елементів:

- вимикачі: $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/р., $T_b = 0,45 \cdot 10^{-3}$ р., $K_n = 2 \cdot 10^{-3}$;

- кабельна лінія: $\lambda_a = 3,12$ 1/р., $T_b = 2,73 \cdot 10^{-3}$ р., $K_n = 0,351 \cdot 10^{-3}$.

Виконуємо деталізований розрахунок:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 3,25032 = 3,25432 \text{ 1/рік}$$

$$T_{\epsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\epsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 3,25032 \cdot 0,00284405)}{3,25432} = 0,00284109 \text{ рік}$$

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

$$K_a = \lambda T_{\epsilon} = 3,25432 \cdot 0,00284108741291575 = 0,0092458075896$$

$$K_{an} = 0,5 \lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 3,25432 \cdot 0,00000576 = 0,0000093724416$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00008548495798 + 2 \cdot 0,0000093724416 = 0,0001042298$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0001042298 \cdot 8760 = 0,91305$$

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 38,637 \cdot 7,41 \cdot 0,91305 = 261,41$$

У підсумку результуючі зведені витрати для варіанту № 1 складають:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{\text{втр},i} + Y_i = \\ &= 0,12 \cdot 15541,071 + 1557,223 + 7937,86 + 261,41 = 11621,421 \text{ тис.грн./рік} \end{aligned}$$

Розрахунок для варіанту 110 кВ проводиться аналогічно. Порівняння показників варіантів електропостачання виконано у вигляді табл. 3.3. Із останньої таблиці видно, що більш оптимальним є варіант прокладання ліній 110 кВ з побудовою на підприємстві ГЗП 110/10 кВ.

						28

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники варіантів електропостачання

Показник	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення	15541,071	6859,481
Поточні витрати	1557,223	1139,366
Вартість втрат електроенергії	7937,860	2617,700
Збиток	261,410	21,190
Зведені витрати	11621,421	4601,393

3.2 Схема внутрішнього електропостачання м'ясопереробного підприємства

Обрання схеми внутрішнього електропостачання підприємства залежить від багатьох факторів і має велике техніко-економічне значення. Основні етапи вибору схеми такі: визначення категорій надійності електропостачання для різних цехів і ділянок підприємства відповідно до вимог технологічного процесу; розрахунок електричних навантажень цехів з урахуванням одночасності роботи обладнання та перспективи розвитку виробництва, вибір числа і потужності цехових трансформаторних підстанцій для живлення розподільних мереж цехів та оцінка варіантів резервування; порівняння варіантів схем електропостачання за капітальними, експлуатаційними витратами та втратами електроенергії; остаточний вибір оптимальної схеми з урахуванням надійності, економічності, зручності експлуатації та перспектив розвитку підприємства.

Типовими варіантами схем є: радіальна, магістральна, змішана. Широко застосовується система шинопроводів на підприємствах з мережами до 10 кВ.

Для внутрішньозаводського електропостачання обрано радіальну схему живлення кабелями 10 кВ з таких розмірвань:

- радіальна схема електропостачання надає більший рівень надійності електропостачання, якщо порівнювати зі змішаною чи магістральною;
- між підрозділами підприємства з трансформаторними підстанціями 10/0,4 кВ відстані порівняно невеликі, втрати в кабельних лініях 10 кВ не значні.

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання будь-якого промислового підприємства є необхідним з огляду на описані причин.

Споживання реактивної потужності навантаженнями призводить до падіння напруги в електричних мережах. Розрахунок режимів дозволяє визначити заходи (компенсація, регулювання) для підтримки напруги в допустимих межах відповідно до вимог.

Передача реактивної потужності пов'язана зі збільшенням струмів і втрат в лініях електропередач. Оптимізація потоків реактивної енергії дозволяє мінімізувати ці втрати.

Зменшення перетоків реактивної потужності запобігає перевантаженню ліній і трансформаторів, збільшуючи їх передавану активну потужність.

Розрахунки дозволяють визначити потужності і місця встановлення батарей конденсаторів, синхронних компенсаторів для оптимальної компенсації реактивного навантаження.

Підвищення ефективності використання електроенергії за рахунок оптимізації реактивних режимів призводить до значної економії витрат на паливо та оплату електроенергії.

Таким чином, розрахунок режимів реактивної потужності є обов'язковим для забезпечення надійної, економічної та якісної роботи системи електропостачання промислового підприємства.

4.1 Баланс реактивної потужності

Для розрахунку балансу реакт. потужності візьмемо в якості вихідних даних такі: $P_H = 12992$ кВт; $Q_H = 9563$ квар; $\Delta P_T = 144$ кВт; $\Delta Q_T = 757$ квар; $P_B = 0$, $Q_B = 0$.

						30

Виконаємо розрахунок максимального значення реактивної потужності, яке може бути згенероване синхронним двигуном\:

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{сд} = 750 \cdot 0,455613 = 341,71 \text{ кВАр}$$

$$P_{сд} = N_{сд} P_{ном} K_{вук} = 2 \cdot 750 \cdot 0,69 = 1035 \text{ кВт}$$

$$Q_{номсд} = n_{сд} \frac{P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_{н}}{\eta} = 2 \cdot \frac{750 \cdot 0,455613}{0,948} = 720,91 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\max сд} = n_{сд} \frac{\alpha_M P_{ном} \operatorname{tg} \phi_{н}}{\eta} = 2 \cdot \frac{1,33 \cdot 750 \cdot 0,455613}{0,948} = 958,81 \text{ кВАр}$$

Визначимо баланс реактивної потужності за методикою [1]:

$$P_p = P_{н} + \Delta P_m + P_{\epsilon} + P_{сд} = 12992 + 145 + 0 + 1035 = 14172 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_{н} + \Delta Q_m + Q_{\epsilon} - Q_{сд} = 9563 + 757 + 0 - 720,91 = 9599,1 \text{ кВАр}$$

$$Q_{\epsilon} = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 14172 \cdot 0,15 = 2125,8 \text{ кВАр}$$

$$Q_{кп} = Q_p - Q_{\epsilon} = 9599,09 - 2125,8 = 7473,29 \text{ кВАр}$$

Щоб передати з мережі 10 кВ в мережу 0,38 кВ розрахованої реактивної потужності потрібно встановити не менш як наступне число трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_{н}}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{12992}{0,7 \cdot 1000} = 18,56 = 19 \text{ шт.}$$

Для оцінки варіантів компенсації розрахуємо варіанти з числом цехових тр-рів, що ріане: $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Для варіанту 1. з кількістю $N = N_0 = 19$ шт.

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_{н}^2} = \sqrt{(19 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 12992^2} = 2845,69 \text{ кВАр}$$

$$Q_{кн} = Q_{н} - Q_1 = 9563 - 2845,69 = 6717,31 \text{ кВАр}$$

$$Q_{кв} = Q_p - Q_{кн} - Q_{\epsilon} = 9599,09 - 6717,31 - 2125,8 = 755,98 \text{ кВАр}$$

Розрахунок для двох інших варіантів виконано так само, результати зведено до табл. 4.1.

						31

Таблиця 4.1. Потужності компенсуючих пристроїв розраховані по варіантам

Варіант компенсації	Кільк. тр-рів	Q_1 , квар	Q_{KH} , квар	Q_{KB} , квар
1	19	2845,69	6717,31	755,98
2	20	5216,12	4346,88	3126,41
3	21	6877,35	2685,65	4787,64

4.2 Вибір кількості, потужності, місця розміщення компенсуючих пристроїв

Вибір БСК на низьку та високу напругу для варіантів з числом трансформаторів $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$ наведені в табл. 4.2 – 4.4.

Таблиця 4.2. Вибір типу та потужності БК при $N_T = N_0 = 19$

Номер КТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	Q_{kp} , кВАр	Число і потужність БК, шт. квар	Сума Q_{BK} , квар	$Q_{kp} - Q_{bk}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3	6	4441,7	3092,0	0	3092,0	1·402; 5·536;	3082	10,0	0,74	4441,7
4, 5, 6	6	4173,0	2818,2	475,4	2342,8	1·337,5; 5·402;	2347,5	-4,7	0,7	4199,5
7, 8	4	2587,5	2127,2	1070,0	1057,2	4·268;	1072	-14,8	0,7	2794,4
9, 10	3	1789,8	1525,6	1098,5	427,1	1·133; 2·150;	433	-5,9	0,7	2096,9

По стороні 0,38 кВ $Q_{KH} = 6934,5$ квар, по 10 кВ $Q_{KB} = 2 \times 450 = 900$ квар.

Таблиця 4.3. Вибір типу та потужності БК при $N_T = N_0 + 1 = 20$

Номер КТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	Q_{kp} , кВАр	Число та потужність БК, шт. квар	Сума Q_{BK} , квар	$Q_{kp} - Q_{bk}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3, 4	7	4441,7	3092,0	2069,1	1022,9	7·150;	1050	-27,1	0,7	4888,6
5, 6, 7	6	4173,0	2818,2	475,4	2342,8	1·337,5; 5·402;	2347,5	-4,7	0,7	4199,5
8, 9	4	2587,5	2127,2	1070,0	1057,2	4·268;	1072	-14,8	0,7	2794,4
10, 11	3	1789,8	1525,6	1098,5	427,1	3·150;	450	-22,9	0,7	2088,1

По стороні 0,38 кВ $Q_{KH} = 4919,5$ квар, по 10 кВ $Q_{KB} = 2 \cdot 1350 = 2700$ квар.

Таблиця 4.4. Вибір типу та потужності БК при $N_T = N_0 + 2 = 21$

№ КТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	$Q_{кп}$, кВАр	К-сть та потужність БК, шт.·квар	Сума $Q_{БК}$, квар	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3, 4	7	4441,7	3092,0	2069,1	1022,9	7·150;	1050	-27,1	0,7	4888,6
5, 6, 7, 8	7	4173,0	2818,2	2568,3	249,9	5·50;	250	-0,1	0,7	4899,9
9, 10	4	2587,5	2127,2	1070,0	1057,2	4·268;	1072	-14,8	0,7	2794,4
11, 12	3	1789,8	1525,6	1098,5	427,1	3·150;	450	-22,9	0,7	2088,1

По стороні 0,38 кВ $Q_{кн} = 2822$ квар, по стороні 10 кВ $Q_{кв} = 1 \times 2700 + 1 \times 2250 = 4950$ квар.

Проведемо визначення для варіанту $N_T = N_0$ приведених витрат на компенсацію.

Втрати активної складової потужності в елементах мережі:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 6934,5 = 31,21 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{KB} = P_{ПИТ}^{KB} \cdot Q_{KB} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{12992^2 + 2845,69^2}{10^2} \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 88,45 \text{ кВт}$$

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

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{19 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,05 \text{ Ом}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{сд} &= Q_{\max сд} \left(\frac{D_1}{Q_{ном сд}} + \frac{2D_2 Q_{\max сд}}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} \right) + Q_{\max сд}^2 \frac{D_2}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} = \\ &= 805,4 \cdot \left(\frac{0,8}{287} + \frac{2 \cdot 0,749 \cdot 805,4}{287,04^2 \cdot 2} \right) + 805,4^2 \cdot \frac{0,749}{287,04^2} = 11,23 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Вартість пристроїв для компенсації по стороні 0,4 кВ, 10 кВ, КТП, тис. грн.:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 1 \cdot 8,2 + 2 \cdot 9,42 + 4 \cdot 12,28 + 1 \cdot 14,58 + 6 \cdot 16,36 + 5 \cdot 20,46 = 291,2 \end{aligned}$$

Таблиця 4.6. Уточнений розрахунки електричних навантажень вище 1 кВ з урахуванням компенсації

Споживачі за підрозділами	К- сть ЕС	Р _{один.} , кВт		Р _{встан.} , кВт	m	K _B	cosφ	tgφ	Навантаження сер.-змінне		n _{ефек}	K _м	Розрах. навантаження		
		min	max						Р _{змін.} , кВт	Q _{змін.} , квар			Р _p , кВт	Q _p , квар	S _p , кВА
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Підстанції 1, 2, 3															
Цех ковбаси															
силове:	101	4,5	55	2804,5	12,2	0,60	0,8	0,75	1682,7	1262,03	101	1,1	1811,61	1262,03	2207,86
освітлювальне:									49,91				57,5	29,44	
Всього:									1732,61	1262,03			1869,11	1291,47	2271,89
Холодильник №1															
силове:	29	10	200	2390	20	0,80	0,8	0,75	1912	1434	24	1	1912	1434	2390
освітлювальне:									30,24				22,14	11,34	
Всього:									1942,24	1434			1934,14	1445,34	2414,52
Холодильна установка №2															
силове:	29	7,5	30	588,5	4	0,80	0,8	0,75	470,8	353,1	29	1	470,8	353,1	588,5
освітлювальне:									5,56				4	2,05	
Всього:									476,36	353,1			474,8	355,15	592,93
Всього по Підстанції 1, 2, 3:															
силове:	159	4,5	200	5783	44,4	0,70	0,8	0,75	4065,5	3049,13	58	1,1	4358,08	3049,13	5318,84
освітлювальне:									85,71				83,64	42,83	
БК 0,4 кВ										-3082				-3082	
Всього по 0,4 кВ Підстанції 1, 2, 3:									4151,21	-32,87			4441,72	9,96	4441,73
Втрат. в трансформатор.:													50,87	264,85	
Кільк. Трансформатор.: 6 (1000 кВА)															
Коефіцієн. Завантажен.: Kз = 0,74															
Всього по 10 кВ Підстанції 1, 2, 3:													4492,59	274,81	4500,99

Продовження табл. 4.6

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Підстанції 4, 5, 6															
Цех гофротари															
силове:	21	1,5	19	351,5	12,3	0,30	0,7	1,02	105,45	107,58	21	1,4	147,67	107,58	182,7
освітлювальне:									20,79				23,95	12,26	
Всього:									126,24	107,58			171,62	119,84	209,32
Цех первинної обробки															
силове:	101	11	250	2892	22,7	0,60	0,8	0,75	1735,2	1301,4	23	1,2	2040,9	1301,4	2420,52
освітлювальне:									10,83				12,22	6,26	
Всього:									1746,03	1301,4			2053,12	1307,66	2434,19
Склад №1															
силове:	21	5	19	105	3,7	0,50	0,8	0,75	52,5	39,37	11	1,4	71,22	39,37	81,38
освітлювальне:									7,19				5,09	2,61	
Всього:									59,69	39,37			76,31	41,98	87,09
Цех технічного фабрику															
силове:	51	10	200	2980	20	0,60	0,8	0,75	1788	1341	30	1,2	2058,6	1341	2456,85
освітлювальне:									13,14				14,98	7,67	
Всього:									1801,14	1341			2073,58	1348,67	2473,59
Всього по Підстанції 4, 5, 6:															
силове:	194	1,5	250	6328,5	166,7	0,58	0,8	0,76	3681,15	2789,35	51	1,1	4116,76	2789,35	4972,74
освітлювальне:									51,95				56,24	28,8	
БК 0,4 кВ										-2347,5				-2347,5	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 4, 5, 6:									3733,1	441,85			4173	470,65	4199,46
Втрат. в трансформатор.:													47,03	245,66	
Кільк. Трансформатор.: 6 (1000 кВА)															
Коефіцієн. Завантажен.: Кз = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанції 4, 5, 6:													4220,03	716,31	4280,39

Продовження табл. 4.6

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Підстанції 7, 8															
Цех сироватки															
силове:	30	3	75	1503	25	0,60	0,8	0,75	901,8	676,35	30	1,2	1038,28	676,35	1239,14
освітлювальне:									17,35				19,78	10,13	
Всього:									919,15	676,35			1058,06	686,48	1261,25
Конденсаторна															
силове:	31	7,5	15	357,5	2	0,60	0,7	1,02	214,5	218,83	31	1,2	246,36	218,83	329,51
освітлювальне:									5,9				6,73	3,45	
Всього:									220,4	218,83			253,09	222,28	336,84
Електроцех															
силове:	19	5	15	145	3	0,30	0,7	1,02	43,5	44,38	19	1,4	61,95	44,38	76,21
освітлювальне:									15,55				15,86	8,12	
Всього:									59,05	44,38			77,81	52,5	93,87
Холодильник №3															
силове:	53	7,5	100	517,5	13,3	0,80	0,8	0,75	414	310,5	10	1	414	341,55	536,71
освітлювальне:									6,95				5	2,56	
Всього:									420,95	310,5			419	344,11	542,19
Механічна дільниця															
силове:	126	4,5	57	1886,6	12,6	0,38	0,65	1,18	722,14	848,78	66	1,2	844,71	848,78	1197,48
освітлювальне:									6,94				7,91	4,05	
Всього:									729,08	848,78			852,62	852,83	1205,94
Всього по Підстанції 7, 8:															
силове:	259	3	100	4409,6	33,3	0,52	0,74	0,91	2295,94	2098,84	88	1,1	2532,21	2098,84	3288,95
освітлювальне:									52,69				55,28	28,31	
БК 0,4 кВ										-1072				-1072	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 7, 8:									2348,63	1026,84			2587,49	1055,15	2794,36
Втрат. в трансформатор.:													31,27	163,37	
Кільк. Трансформатор.: 4 (1000 кВА)															
Коефіцієн. Завантажен.: Кз = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанції 7, 8:													2618,76	1218,52	2888,37

Продовження табл. 4.6

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Підстанції 9, 10															
Заводоуправління															
силове:	51	1,8	15	421,5	8,6	0,70	0,8	0,75	295,05	221,29	51	1,1	318,18	221,29	387,57
освітлювальне:									43,2				41,47	21,23	
Всього:									338,25	221,29			359,65	242,52	433,78
Станція очистки															
силове:	27	3	15	228	5	0,60	0,7	1,02	136,8	139,56	27	1,2	158,79	139,56	211,4
освітлювальне:									7,66				8,73	4,47	
Всього:									144,46	139,56			167,52	144,03	220,92
Теплоцех															
силове:	51	5	25	1205	5	0,50	0,7	1,02	602,5	614,67	51	1,2	691,13	614,67	924,92
освітлювальне:									6,2				7,07	3,62	
Всього:									608,7	614,67			698,2	618,29	932,61
Механічна майстерня															
силове:	31	11	27	198	2,5	0,20	0,65	1,17	39,6	46,3	31	1,4	56,68	46,3	73,19
освітлювальне:									9,24				9,42	4,82	
Всього:									48,84	46,3			66,1	51,12	83,56
Пральня															
силове:	9	5	41	185	8,2	0,70	0,85	0,62	129,5	80,26	9	1,2	157,32	88,29	180,4
освітлювальне:									4,21				4,29	2,2	
Всього:									133,71	80,26			161,61	90,49	185,22
Автобаза															
силове:	11	5	27	107	5,4	0,30	0,65	1,17	32,1	37,53	8	1,7	54,99	41,28	68,76
освітлювальне:									1,86				2,08	3,51	
Всього:									33,96	37,53			57,07	44,79	72,55
Лабораторія №1															
силове:	31	5	18	282	3,6	0,50	0,7	1,02	141	143,85	31	1,2	168,47	143,85	221,53
освітлювальне:									13,92				13,36	6,84	
Всього:									154,92	143,85			181,83	150,69	236,16

Продовження табл. 6.6

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Лабораторія №2															
силове:	19	1,5	7,5	51,5	5	0,50	0,7	1,02	25,75	26,27	14	1,3	33,7	26,27	42,73
освітлювальне:									20,2				19,39	9,93	
Всього:									45,95	26,27			53,09	36,2	64,26
Склад №2															
силове:	17	2,5	5	52,5	2	0,70	0,8	0,75	36,75	27,56	17	1,2	42,14	27,56	50,35
освітлювальне:									4,7				3,38	1,73	
Всього:									41,45	27,56			45,52	29,29	54,13
Сировинна база №1															
силове:	27	3	7,5	48	2,5	0,80	0,8	0,75	38,4	28,8	27	1	38,4	28,8	48
освітлювальне:									20,99				23,93	12,25	
Всього:									59,39	28,8			62,33	41,05	74,63
Сировинна база №2															
освітлювальне:									20,88				15,03	7,7	
Всього:									20,88	0			15,03	7,7	16,89
Територія підприємства															
освітлювальне:									42,99				48,15	81,23	
Всього:									42,99	0			48,15	81,23	94,43
Всього по Підстанції 9, 10:															
силове:	274	1,5	41	2778,5	27,3	0,53	0,73	0,92	1477,45	1366,09	136	1,1	1593,47	1366,09	2098,89
освітлювальне:									196,05				196,3	159,53	
БК 0,4 кВ										-433				-433	
Всього по 0.4 кВ Підстанції 9, 10:									1673,5	933,09			1789,77	1092,62	2096,93
Втрат. в трансформатор.:													23,47	122,61	
Кільк. трансформатор.: 3 (1000 кВА)															
Коефіцієн. Завантажен.: Кз = 0,7															
Всього по 10 кВ Підстанції 9, 10:													1813,24	1215,23	2182,81

Продовження табл. 4.6

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Всього по об'єкту															
силове:	886	1,5	250	19299,6	166,7	0,60	0,98	0,21	11520,04	2368,91	154	1,1	12224,99	2368,91	12452,39
освітлювальне:									386,4				391,46	259,47	
Всього:									11906,44	2368,91			12616,45	2628,38	12887,33
Потужність КП 0,4 кВ:										-6934,5				-6934,5	
Втрат. в трансформаторах.:													152,65	796,49	
Всього по об'єкту:													12769,1	3424,87	13220,42
Високовольтне навантаження															
Синхронні двигуни	2	750	750	1500		0,69	0,91	0,46	1035	-471,56			1035	-471,56	1137,36
Всього високовольтного навантаження:													1035	-471,56	1137,36
Всього по об'єкту 10 кВ:													13804,1	2953,31	14116,48
КП 10 кВ:														-900	
Всього 10 кВ з компенсацією:													13804,1	2053,31	13955,97
tgf = 0,149															

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Потужність трансформатора для головної знижувальної підстанції:

$$S_{\text{НОМТ}} = \frac{K_{1,2} S_{\text{max}}}{1,4(n_t - 1)} = \frac{0,79 \cdot 13,996}{1,4(2 - 1)} = 7,898 \text{ кВА}.$$

Виберемо ТДН 10000/110 з даними: $\Delta P_{\text{xx}} = 14 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{кз}} = 60 \text{ кВт}$, $u_{\text{к}}, \% = 10,5\%$.

В звичайному режимі коефіцієнт завантаження:

$$K_s = \frac{S_{\text{max}}}{n_t S_{\text{НОМТ}}} = \frac{13996}{2 \cdot 10000} = 0,6998.$$

Коефіцієнт завантаження прийнятний.

Номінальну потужність для цехових ТП оберемо 1000 кВа та перевіримо:

$$K_s = \frac{S_p}{n_t S_{\text{НОМТ}}} = \frac{1500,33}{2 \cdot 1000} = 0,75$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1500,33}{1,08} = 1389,19$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1500,33}{1,4} = 1071,66 \approx 1000$$

Трансформатор ТМ-1000/10/04 задовольняє умовам вибору.

Перевірка для інших ТП проводиться таким самим чином та зводяться результати в табл. 5.1.

						41

Таблиця 5.1. Порівняння за умовами вибору цехових ТП

№ ТП	К- сть	$S_{роз},$ кВА	$S_{ном},$ кВА	K_3	$S_{ном} >$ S_p/K_1	$S_{ном} > S_p/K_2$
ТП-1	2	1500,33	2*1000	0,75	1389,19	1071,66
ТП-2	2	1500,33	2*1000	0,75	1389,19	1071,66
ТП-3	2	1500,33	2*1000	0,75	1389,19	1071,66
ТП-4	2	1426,80	2*1000	0,71	1321,11	1019,14
ТП-5	2	1426,80	2*1000	0,71	1321,11	1019,14
ТП-6	2	1426,80	2*1000	0,71	1321,11	1019,14
ТП-7	2	1444,19	2*1000	0,72	1337,21	1031,56
ТП-8	2	1444,19	2*1000	0,72	1337,21	1031,56
ТП-9	2	1455,21	2*1000	0,73	1347,41	1039,43
ТП-10	1	727,60	2*1000	0,73	673,71	519,72

РОЗДІЛ 6

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

За методикою з джерела [1] проведемо визначення струмів короткого замикання та на основі цих даних обираються високовольтні апарати.

Розрахункова схема мережі приведена на рис. 6.1, а схема заміщення відповідна їй – на рис. 6.2.

Активні та реактивні опори складових елементів системи:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{K3}} = \frac{115^2}{45000} = 0,29 \text{ OM}$$

$$R_g = r_0 \cdot l = 0,422 \cdot 13,543 = 5,7151 \text{ OM}$$

$$X_g = x_0 \cdot l = 0,444 \cdot 13,543 = 6,01 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{60 \cdot 10,5^2}{10000^2} \cdot 10^3 = 0,07 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{к, \%} U_{cp, ном}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 10,5^2}{10000} \cdot 10 = 1,16 \text{ Ом}$$

Результуючі величини для точки K_0 розрахункової схеми:

$$X_{K0} = X_c + X_a = 0,29 + 6,01 = 6,3 \text{ OM}$$

$$R_{K0} = R_c + R_a = 0,01 + 5,7151 = 5,7251 \text{ OM}$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{.7251^2 + 6.3^2} = 8.51 \text{ OM}$$

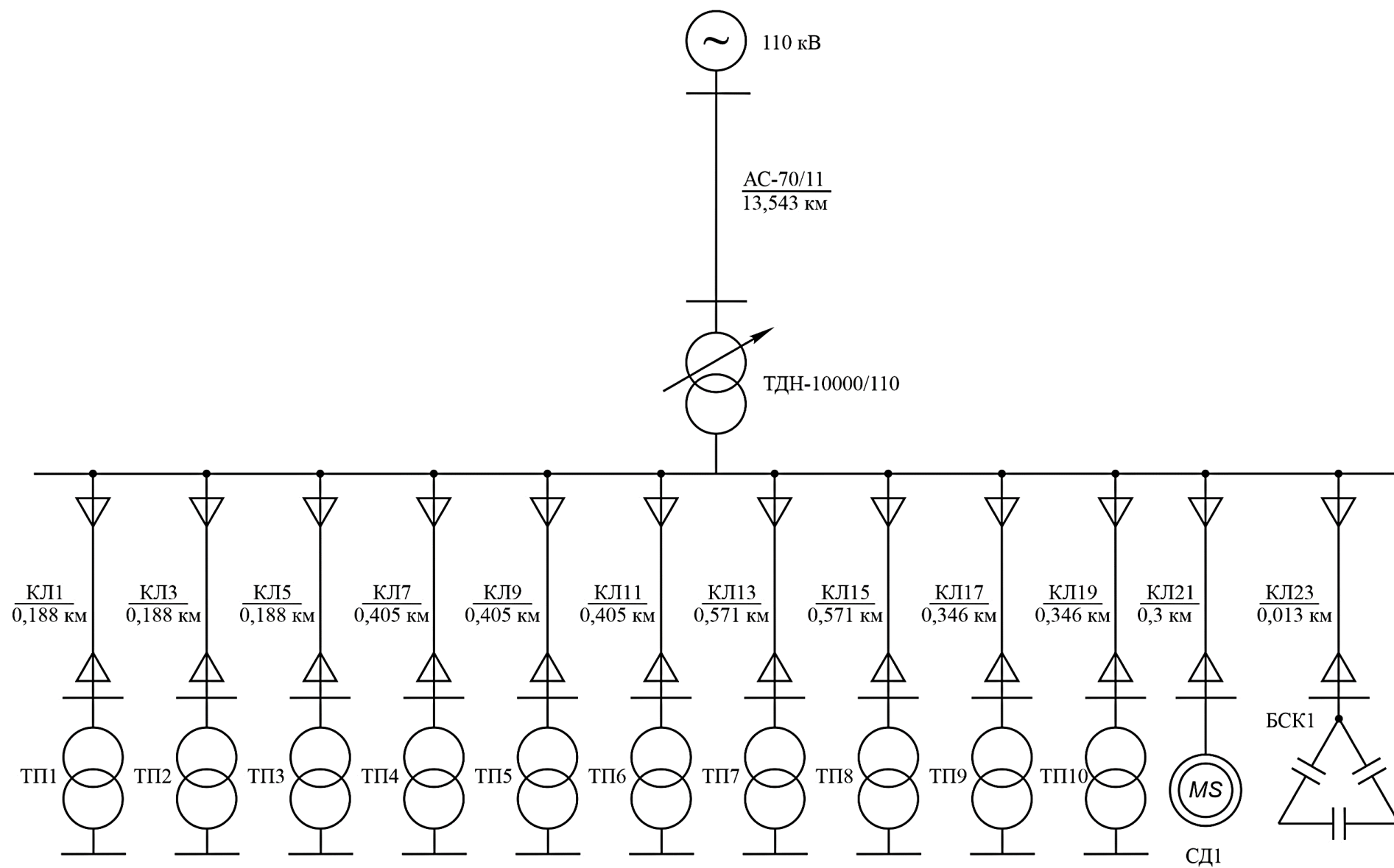


Рис. 6.1. Розрахункова схема системи електропостачання

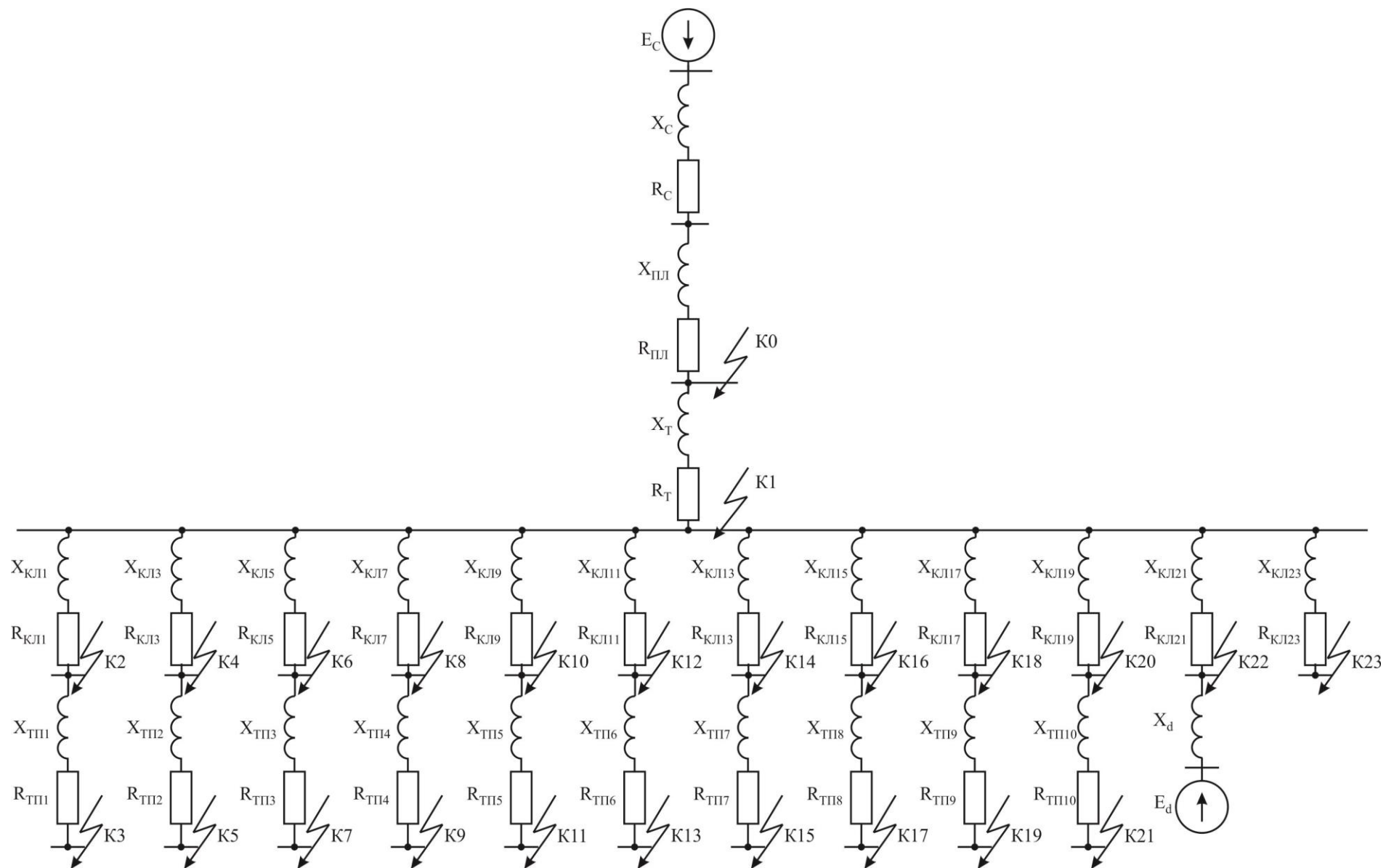


Рис. 6.2. Схема заміщення системи електропостачання

Розрахункові величини короткого замикання для точки К₀:

$$I''_{K0} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 8,51} = 7,8 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{6,3}{314 \cdot 5,7251} = 0,0035 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0035}} = 1,057$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K0} = \sqrt{2} \cdot 1,057 \cdot 7,8 = 11,66 \text{ кА}$$

Приведені до напруги 10 кВ опори струмові короткого замикання в т. К₀:

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 6,3 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,053 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 5,7251 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,048 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = 8,51 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,071 \text{ Ом}$$

За тою ж методикою визначаємо результуючі опори до точки К₁:

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,053 + 1,16 = 1,213 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,048 + 0,07 = 0,118 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,118^2 + 1,213^2} = 1,219 \text{ Ом}$$

Розрахункові величини короткого замикання для точки К₁ від системи:

$$I'_{K1(c)} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,219} = 4,97 \text{ кА} \quad T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,213}{314 \cdot 0,118} = 0,0327 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0327}} = 1,737$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,737 \cdot 4,97 = 12,21 \text{ кА}$$

Додатково в точці K₁ відбувається підживлення місця короткого замикання від синхронних двигунів 10 кВ. Визначимо складові підживлення від СД:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,75}{0,91 \cdot 0,949} = 0,868 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}} = \frac{0,868}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,048 \text{ кА}$$

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,195} \cdot 0,048 = 0,542 \text{ кА}$$

$$T_{aСД} = \frac{X_{СД}}{\omega R_{СД}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}$$

$$k_{y\partial(СД)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(СД)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

$$i_{y\partial 1(СД)} = \sqrt{2} k_{y\partial(СД)} I''_{K1(СД)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,542 = 1,39 \text{ кА}$$

Сумарний вплив енергетичної системи та синхронного двигуна:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(СД)} = 4,97 + 0,542 = 5,51 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(СД)} = 12,21 + 1,39 = 13,6 \text{ кА}$$

З метою подальших розрахунків струмів к. з. для інших місць в розрахунковій схемі потрібно обрати перетини кабельних ліній. Для цього нижче проводиться розрахунок необхідних для вибору кабельних ліній величин:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{cp, ном}} = \frac{1500,33}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 41,25 \text{ А}$$

$$B_k = I''_{K1}^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 5,51^2 (0,525 + 0,0327) = 16,93 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{16,93} \cdot 10^3 = 43,77 \text{ мм}^2$$

Приймаємо для прокладки ААШв-10(3 х 50) з параметрами: $r_{\text{окл1}} = 0,62$ Ом/км, $x_{\text{окл1}} = 0,09$ Ом/км, $I_{\text{доп кл}} = 105$ А.

Приведемо розрахунок опорів лінії КЛ1 за погонними параметрами:

$$R_{KL} = r_0 \cdot l_{KL} = 0,62 \cdot 0,188 = 0,117 \text{ OM}$$

$$X_{kl} = x_0 \cdot l_{kl} = 0,09 \cdot 0,188 = 0,017 \text{ OM}$$

Для інших кабелів розрахунки подано у вигляді табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній 10 кВ

<i>N</i> _э К/Л	<i>l</i> , км	<i>r</i> ₀ , Ом/км	<i>R</i> , Ом	<i>x</i> ₀ , Ом/км	<i>X</i> , Ом
1, 2	0,188	0,62	0,117	0,09	0,017
3, 4	0,188	0,62	0,117	0,09	0,017
5, 6	0,188	0,62	0,117	0,09	0,017
7, 8	0,405	0,62	0,251	0,09	0,036
9, 10	0,405	0,62	0,251	0,09	0,036
11, 12	0,405	0,62	0,251	0,09	0,036
13, 14	0,571	0,62	0,354	0,09	0,051
15, 16	0,571	0,62	0,354	0,09	0,051
17, 18	0,346	0,62	0,215	0,09	0,031
19	0,346	0,62	0,215	0,09	0,031
20, 21	0,3	0,62	0,186	0,09	0,027
22, 23	0,013	0,62	0,008	0,09	0,001

Опори до до точки K_2 :

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{K3} = 1,213 + 0,017 = 1,23 \text{ OM}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{K3} = 0,118 + 0,117 = 0,235 \text{ OM}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0.235^2 + 1.23^2} = 1.252 \text{ O}_M$$

Розрахункові величини для точк. К₂:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,252} = 4,84 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,23}{314 \cdot 0,235} = 0,0167 \text{ c} \quad k_{y\phi 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0167}} = 1,549$$

$$i_{\text{в}2} = \sqrt{2} k_{\text{в}} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,549 \cdot 4,84 = 10,6 \text{ кА}$$

Визначимо опори до точки K_3 (приведені до сторони 0,4 кВ):

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp, ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{KH}}{U_{KH}} \right)^2 = (1,23 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ OM}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{EH}} \right)^2 = (0,235 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0017 \text{ OM}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0.0017^2 + 0.0106^2} = 0.0107 \text{ O}_M$$

Показники короткого замикання для точк. К₃:

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0107} = 21,58 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0017} = 0,0199 \text{ c} \quad k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0199}} = 1,605$$

$$i_{\text{в}03} = \sqrt{2} k_{\text{в}0} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,605 \cdot 21,58 = 48,98 \text{ кА}$$

Подібним чином визначаються розрахункові величини короткого замикання для інших точок з наступним оформленням у вигляді табл. 6.2.

Таблиця 6.2 Розрахунок струмів к. з. в системі електропостачання

<i>№ точки к.з.</i>	<i>R, Ом</i>	<i>X, Ом</i>	<i>I_к'', А</i>	<i>T_а, с</i>	<i>k_{уд}</i>	<i>i_{уд}, кА</i>
0	5,7251	6,3000	7800	0,0035	1,057	11,66
1	0,1180	1,2130	5510	0,0327	1,737	13,60
2	0,2350	1,2300	4840	0,0167	1,549	10,60
3	0,0017	0,0106	21580	0,020	1,605	48,98
4	0,2350	1,2300	4840	0,0167	1,549	10,60
5	0,0017	0,0106	21580	0,020	1,605	48,98
6	0,2350	1,2300	4840	0,0167	1,549	10,60
7	0,0017	0,0106	21580	0,020	1,605	48,98
8	0,3690	1,2490	4650	0,0108	1,396	9,18
9	0,0019	0,0106	21380	0,0178	1,569	47,47
10	0,3690	1,2490	4650	0,0108	1,396	9,18
11	0,0019	0,0106	21380	0,0178	1,569	47,47
12	0,3690	1,2490	4650	0,0108	1,396	9,18
13	0,0019	0,0106	21380	0,0178	1,569	47,47
14	0,4720	1,2640	4490	0,0085	1,308	8,31
15	0,0021	0,0106	21380	0,0161	1,537	46,47
16	0,4720	1,2640	4490	0,0085	1,308	8,31
17	0,0021	0,0106	21380	0,0161	1,537	46,47
18	0,3330	1,2440	4710	0,012	1,432	9,54
19	0,0019	0,0106	21380	0,0178	1,569	47,47
20	0,3330	1,2440	4710	0,0119	1,432	9,54
21	0,0019	0,0106	21380	0,0178	1,569	47,47
22	0,3040	1,2400	4750	0,0130	1,463	9,83
23	0,1260	1,2140	4970	0,0307	1,722	12,10

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Значення розрахункового струму в лінії КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1500,33}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 41,25 \text{ A}$$

Обираємо ААШВ-10(3х50) і здійснюємо перевірку за умовами вибору в нормальному та аварійному режимах:

$$I_p = 41,25 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,92 \cdot 105 = 96,6 \text{ A}$$

$$I_{ас} = 82,5 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 105 = 131,25 \text{ A}$$

$$B_k = I_{КЛ}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 4,84^2 (0,525 + 0,0327) = 16,93 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{16,93 \cdot 10^3} = 43,77 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 приведено аналогічні розрахунки для інших ліній.

Таблица. 6.3. Результаты расчетов из выбора кабельных линий напругою 10 кВ

№ КЛ	n, шт	S _p , МВА	I _p , А	I _{p.ав.} , А	B _k , кА ² с	F _{min} , мм ²	Марка кабелю	I _{дон} , А	K _n I _{дон} , А	K _{ан} K'_n I _{дон} , А
1, 2	2	1500,33	41,25	82,5	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
3, 4	2	1500,33	41,25	82,5	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
5, 6	2	1500,33	41,25	82,5	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
7, 8	2	1426,797	39,23	78,46	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
9, 10	2	1426,797	39,23	78,46	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
11, 12	2	1426,797	39,23	78,46	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
13, 14	2	1444,185	39,7	79,4	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
15, 16	2	1444,185	39,7	79,4	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
17, 18	2	1455,207	40,01	80,02	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	131,25
19	1	727,6033	40,01	-	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	105	-
20, 21	2	750	20,62	-	16,93	43,77	ААШВ-10 (3 х 50)	105	96,6	-
22,23	2	450	12,37	-	16,93	43,77	ААШВ-10(3 х 50)	105	96,6	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

На основі розрахованих параметрів коротких замкнень за методикою з джерела [1] було проведено обрання вимикачів високої напруги (табл. 6.4) і низької напруги (табл. 6.5).

Таблиця 6.4. Результати вибору ввідного вимикача напругою 110 кВ

Параметр вимикача	Розрахунок	Умови вибору
Тривала напруга	$110 \leq 110$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
Тривалий струм	$102,55 \leq 3150$	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$
Здатність до відключення:		
- симетричного струму	$7,8 \leq 40$	$I_{К0}'' \leq I_{дин.ст}$
- аперіодичної складової	$0 \leq 19,8$	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$
- повного струму	$1,41 \cdot 7,8 + 0 < 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $11,03 \leq 76,37$	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$
Динамічна тривкість:		
- симетричного струму	$7,8 \leq 52$	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$
- ударного струму	$11,66 \leq 132,37$	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$
Теплова тривкість	$63,61 \leq 1200$	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$

Мінімальний час до від початку к. з. до моменту розходження контактів:

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,02 + 0,022 = 0,042 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 7,8 \cdot e^{\frac{-0,042}{0,0035}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 7,8^2 (0,022 + 1,02 + 0,0035) = 63,61 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо тип вимикача LTB-145D1/В (елегазовий) для встановлення на вводах та секційної перемички 110 кВ. Для ВРП також обираємо роз'єднувачі РНДЗ.2-110/1000 У1, для захисту від блискавки розрядники РВС-110МУ1

Таблиця 6.5. Результати вибору ввідного вимикача напругою 10 кВ

Параметр вимикача	Розрахунок	Умови вибору
Тривала напруга	$10,5 \leq 11$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
Тривалий струм	$1074,33 \leq 1600$	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$
Здатність до відключення:		
- симетричного струму	$4,4497 \leq 20$	$I_{к0}'' \leq I_{дин.ст}$
- аперіодичної складової	$0 \leq 9,9$	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$
- повного струму	$1,41 \cdot 4,4497 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,35)$ $6,29 \leq 38,18$	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$
Динамічна тривкість:		
- симетричного струму	$4,4497 \leq 52$	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$
- ударного струму	$10,93 \leq 132,37$	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$
Теплова тривкість	$16,49 \leq 1200$	$B_k \leq I_{тн}^2 t_{тн}$

Найменший час од початку к. з. до початку розходження контактів:

$$\tau = t_{пз.min} + t_{с.в} = 0,7 + 0,05 = 0,75 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму кор. зам. для моменту розходження контактів:

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,49 \cdot e^{\frac{-0,75}{0,0332}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс від струму к. з.:

$$B_k = I''^2 (t_{с.в} + t_{пз.max} + T_a) = 4,4497^2 (0,05 + 0,75 + 0,0327) = 16,49 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Для використання в якості ввідних передбачуємо вакуумний вимикач типу ВР2-10-20/1600, секційного - ВР1-10-20/1000, відхідних фідерів - ВР1-10-20/630.

У фідерних комірках для захисту від перенапруг будуть встановлені обмежувачів перенапруги ОПН-10/420/12-УХЛ1

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Підключення трансформаторів для власного споживання зображений на рис. 6.3. для змінного оперативного струму

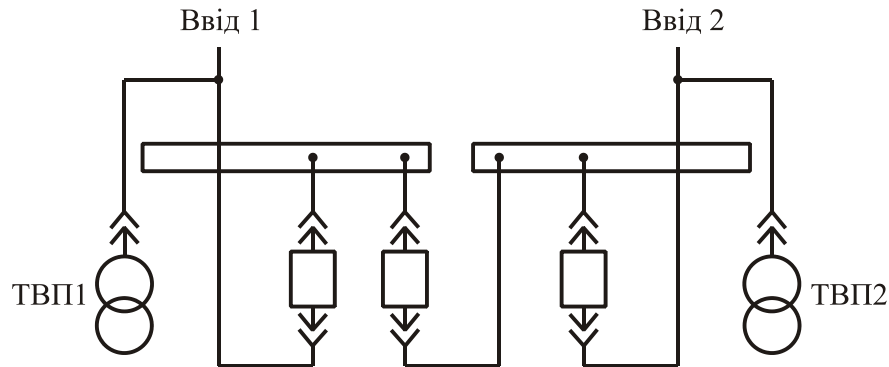


Рис. 6.3. Схема комутації ТВП на ГЗП

Електронавантаження ТВП порашовані в табл. 6.6.

Таблиця 6.6. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ з/п	Споживачі	$P_{\text{ном}},$ кВт	$P_{\text{сум}},$ кВт	$\cos\varphi$	$P_{\text{уст}},$ кВт	$Q_{\text{уст}},$ квар
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів 10 МВА (4 шт)	14	56	0,8	56	42
2	Пристрої підігріву вимикачів 110 кВ (3 шт)	1,75	5,25	0,97	5,25	1
3	Пристрої підігріву комірок КРП (32 шт)	0,6	19,2	0,97	19,2	5
4	Опалення та освітлення приміщення оперативного персоналу (3 шт)	6	18	0,97	18	5
5	Зовнішнє освітлення (4 тчк)	4,5	18	0,97	18	5
6	Споживання оперативними колами (4 пристрої)	4,5	18	0,97	18	5
Всього					135	63

Сумарне встановлене навантаження ТВП:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{134,5^2 + 63^2} = 148,52 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{ycm} = 0,8 \cdot 148,52 = 118,82 \text{ кВА}$$

Обираємо два ТМ-100/10, що працюватимуть із завантаженням:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ROM}} = \frac{118,82}{2 \cdot 100} = 0,59$$

В якості вимірювальних трансформаторів струму на вводі 10 кВ та секційній перемичці встановлено ТЛК-10/1500, на відхідних фідерах ТЛК-10/75, вимірювальних трансформаторів напруги – двох штук типу НАМИ-10-66.

РОЗДІЛ 7

МОДЕЛЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ В SIMULINK

7.1 Використання інструменту SIMULINK із пакету MATLAB для моделювання сонячної фотосистеми

До безперечних переваг середовища MATLAB слід віднести можливість робити абсолютні числові розрахунки, на відміну від програм комп'ютерної алгебри, які працюють з складними інформаційними структурами та синтаксисом. В основі системи лежить єдина інформаційна структура - числове поле або матриця, на якій базуються всі операції програми. Використання матриць як основної структури даних робить MATLAB потужним і зручним інструментом для чисельних обчислень, оскільки багато математичних операцій та алгоритмів природно виражаються через матричні перетворення. Простіший синтаксис та орієнтація на матричні обчислення роблять MATLAB більш доступним для стандартних користувачів, на відміну від складних структур програм комп'ютерної алгебри. Ця центральна ідея матриць як основного типу даних забезпечує MATLAB перевагу у сфері числових обчислень, моделювання та обробки сигналів і даних, де матричні операції відіграють ключову роль. Це робить його корисним інструментом для інженерів, науковців та студентів у різних галузях.

Натомість середовище SIMULINK є інструментом для моделювання динамічних систем, інтегрованим в середовище MATLAB. Він забезпечує графічний інтерфейс користувача для створення моделей систем із бібліотеки блоків, що містить велику кількість блоків різного типу (лінійні, нелінійні, неперервні, дискретні) для моделювання різних компонентів систем.

SIMULINK є потужним графічним інструментом, який дозволяє створювати моделі динамічних систем різного ступеня складності із взаємопов'язаних блоків, а потім аналізувати їх поведінку за допомогою можливостей MATLAB. Він широко застосовується в різних галузях, таких як автоматичне управління, обробка сигналів, системи живлення та багато інших.

						56

Для моделювання було обрано систему електрогенерації на основі фотоелектричних модулів загальною потужністю 2 кВт, схема їх сполучення приведена на нис. 7.1

Кожна фотопанель має наступні технічно-паспортні характеристики: потужність 250 Вт, напруга в режимі холостого ходу 36 В, струм в режимі короткого замикання 9,16 А, вихідна максимальна напруга 30 В, вихідний максимальний струм 8,33 А. Всі вказані величини виходячи із стандартних умов освітленості 1000 Вт / м² і температурного режиму 25 °С

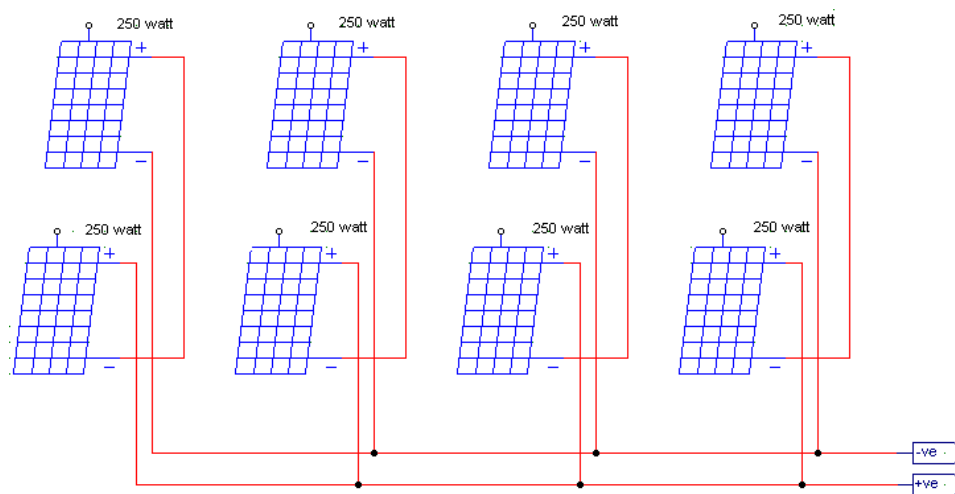


Рисунок 7.1 Схема сполучення фотоелектричних панелей в установці

Таке комбіноване послідовно-паралельне з'єднання сонячних панелей дозволяє отримати необхідні рівні напруги і струму для живлення навантаження. Спочатку послідовне з'єднання підвищує напругу, а потім паралельне - збільшує струм. При такій схемі з'єднання сонячних панелей вихідна напруга та струм схеми складають відповідно 60 В та 33,32 А, а потужність 2000 Вт.

Це типовий спосіб конфігурування фотоелектричних масивів для досягнення потрібних електричних характеристик системи в залежності від вимог навантаження та специфікацій панелей.

7.2 Моделювання роботи фотоелектричної панелі з блоком MPPT

Одним з найбільш ефективних алгоритмів відстеження точки максимальної потужності (MPPT) для фотоелектричних систем є метод інкременту провідності (Incremental Conductance) – IC MPPT. Його принцип роботи базується на аналізі похідної потужності відносно напруги на сонячній панелі. Алгоритм працює наступним чином. Система вимірює поточні значення напруги (U) та струму (I) на виході сонячної панелі, обчислюється поточна потужність ($P = U * I$), обчислюється інкремент провідності ($\Delta I / \Delta U$), який є відношенням приросту струму до приросту напруги. Інкремент провідності порівнюється з негативним значенням провідності (I / U):

- якщо $\Delta I / \Delta U = -I / U$, система знаходиться в точці MPP;
- якщо $\Delta I / \Delta U > -I / U$, потужність зростає зі збільшенням напруги, тому напругу необхідно збільшувати;
- якщо $\Delta I / \Delta U < -I / U$, потужність зменшується зі збільшенням напруги, тому напругу необхідно зменшувати.

Відповідно до результату порівняння, система регулює напругу навантаження сонячної панелі для досягнення точки максимальної потужності.

Кроки описаного алгоритму повторюються циклічно (з певною частотою) для постійного відстеження MPP в умовах, що змінюються.

Перевагами методу інкременту провідності є:

- висока точність відстеження MPP;
- можливість відстежувати MPP при швидких змінах освітлення;
- відсутність коливань навколо точки MPP.

Недоліками методу інкременту провідності є:

- більша обчислювальна складність у порівнянні з іншими методами;
- чутливість до шумів вимірювань.

Цей алгоритм широко використовується в контролерах фотоелектричних систем завдяки своїй високій продуктивності та здатності ефективно відстежувати точку максимальної потужності в різних умовах освітлення.

На рис. 7.2 приведена модель блоку реалізації MPPT-трекінгу на основі застосування алгоритму IC MPPT, в якій закладені параметри відповідні описаній вище системі.

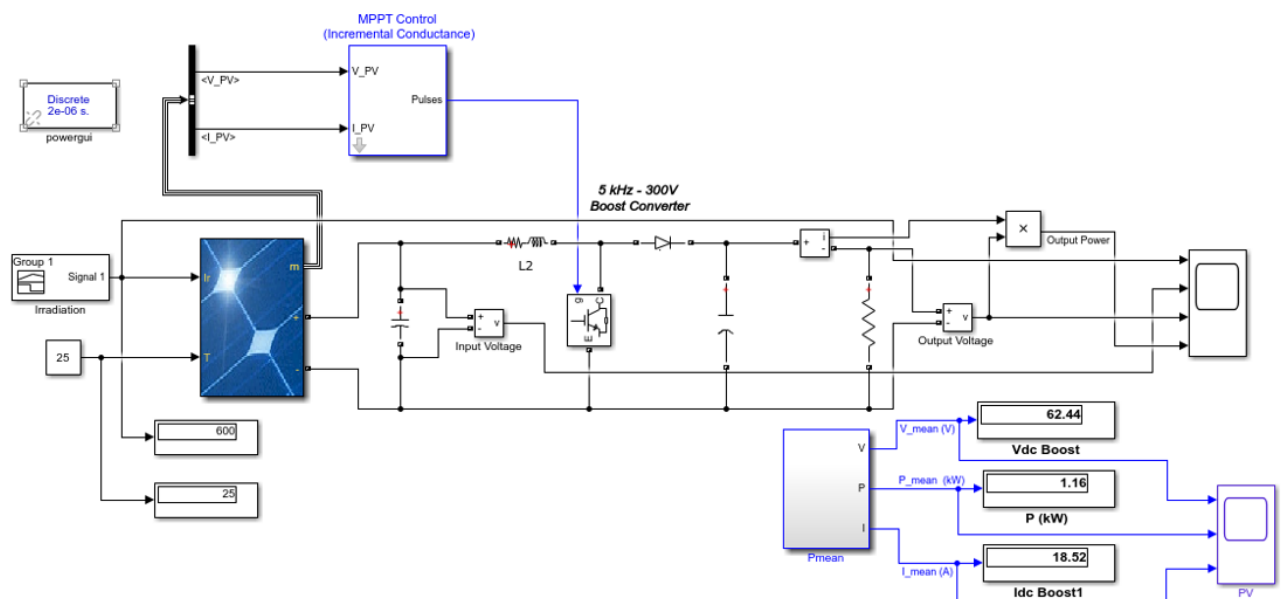
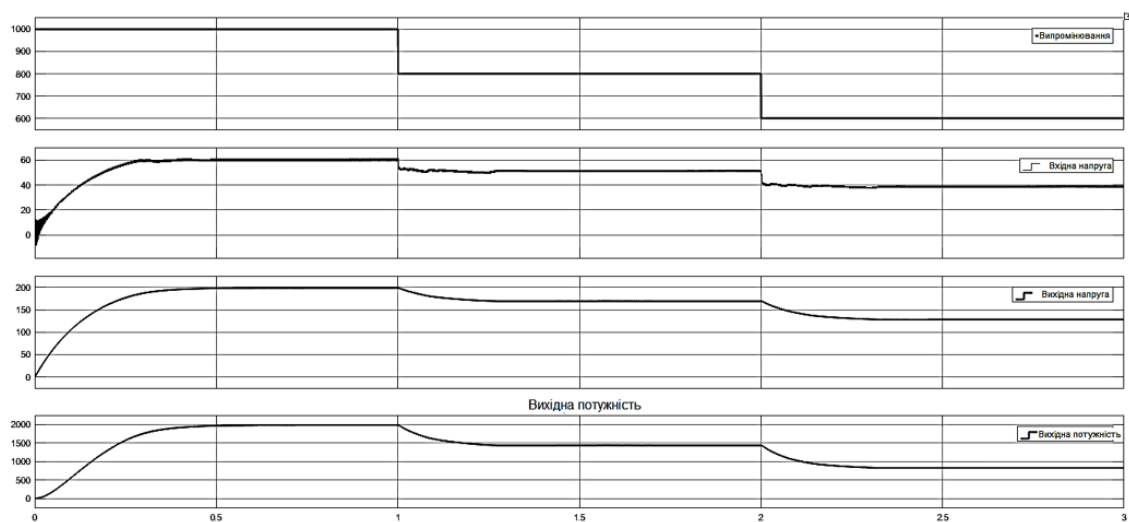
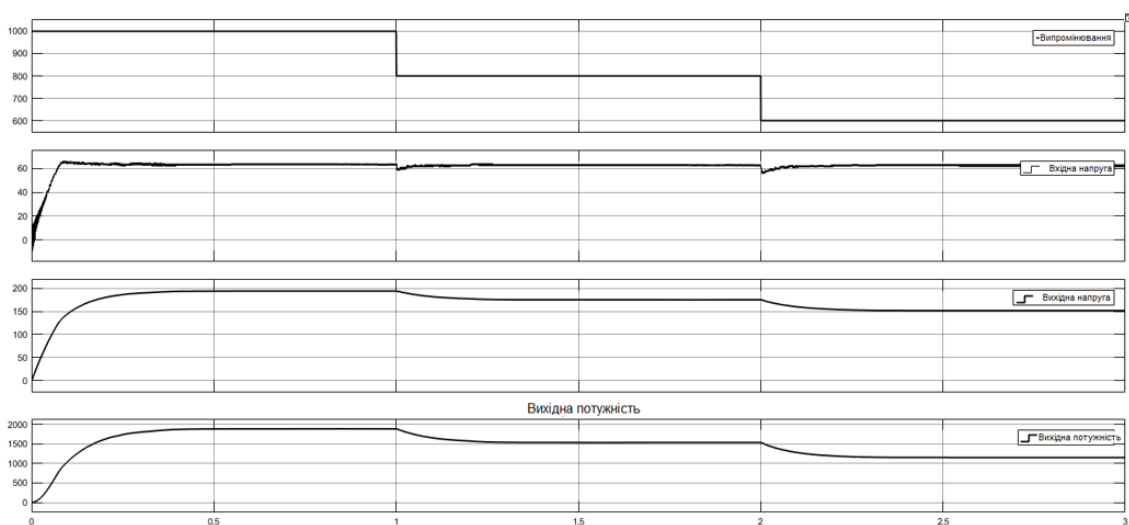


Рисунок 7.2 SIMULINK-реалізація MPPT-трекінгу за алгоритмом IC MPPT

Під час проведення досліджень проведено моделювання роботи фотоелектричної системи при різних рівнях опромінення промінням Сонця: 600-800-1000 Вт/м². Результати моделювання приведені у вигляді графіків. На рис. 7.3, а показана залежність вихідної напруги та потужності від часу без використання алгоритму MPPT на основі приросту провідності. В даній конфігурації застосовувався фіксований робочий цикл і частота перемикавання 5 кГц. На рис. 7.3, б показані аналогічні залежності вихідної напруги та потужності від часу, але з використанням алгоритму MPPT на основі приросту провідності. Порівняння цих двох графіків демонструє вплив застосування MPPT алгоритму на вихідні характеристики фотоелектричної системи при різних рівнях освітленості.



a)



б)

Рисунок 7.3 Часові залежності освітленості, напруги і потужності для випадку з без застосування MPPT (а) та з реалізацією IC MPPT (б)

7.3 Моделювання інверторної частини установки в MATLAB Simulink

Блок формування синусоїди. Завдання інвертора полягає видозміненні вхідної напруги постійного типу в змінну вихідну напругу, до якої висуваються вимоги симетричності, певної величини (рівня) та параметри частоти коливань (може бути постійна або мінлива частота). Модель, що реалізовує формування синусоїдальності вихідної напруги інвертора приведена на рис. 7.4.

Для повноцінної роботи системи з фотоелектричними перетворювачами та наступним інвертуванням отриманої енергії у змінний струм вкрай необхідним є можливість регулювання вихідної напруги інверторів, що є необхідним для:

- компенсації коливань вхідної напруги постійного струму;
- регулювання самої вихідної напруги інверторів;
- забезпечення стабільних значень вихідної напруги та частоти.

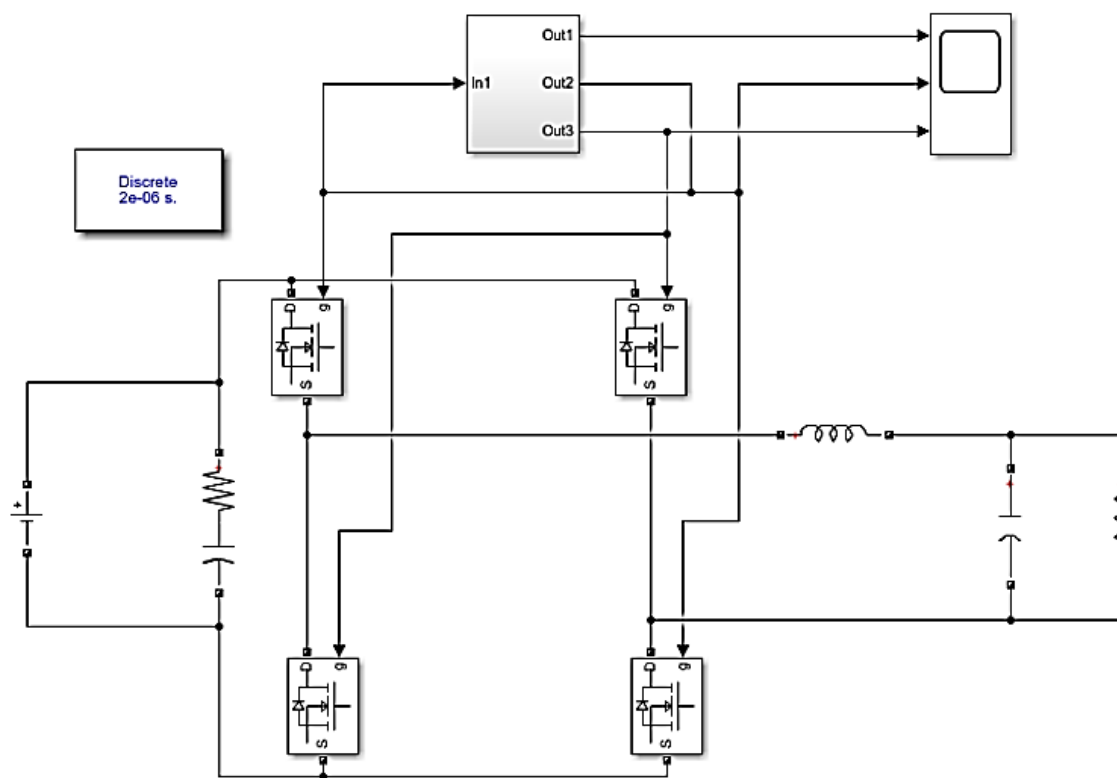


Рисунок 7.4 – Модель блоку реалізації синусоїди на виході інвертора

Кращим методом управління коефіцієнтом підсилення, вихідною напругою інверторів є використання широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Найпоширенішими методами ШІМ є: 1) одноімпульсна ШІМ; 2) багатоімпульсна ШІМ; 3) синусоїдальна ШІМ; 4) модифікована синусоїдальна ШІМ; 5) керування фазовим зсувом.

Варто зазначити, що кожен метод ШІМ має свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного методу залежить від вимог системи, бажаної якості вихідної напруги та прийнятного рівня складності реалізації.

Синусоїдальна ШІМ є одним з найпоширеніших методів керування інверторами, оскільки дозволяє отримати синусоїдальну вихідну напругу з низьким рівнем гармонік. Порівняння модулюючого синусоїдального сигналу з трикутною несучою дозволяє сформувати імпульси керування транзисторами інвертора. В роботі для подальших досліджень буде використано метод синусоїдальної ШІМ, оскільки бажана вихідна напруга інвертора є синусоїдальною. При синусоїдальній ШІМ в якості опорного сигналу використовується синусоїда, як показано на рис. 7.5., де також приведені результати моделювання роботи інвертора.

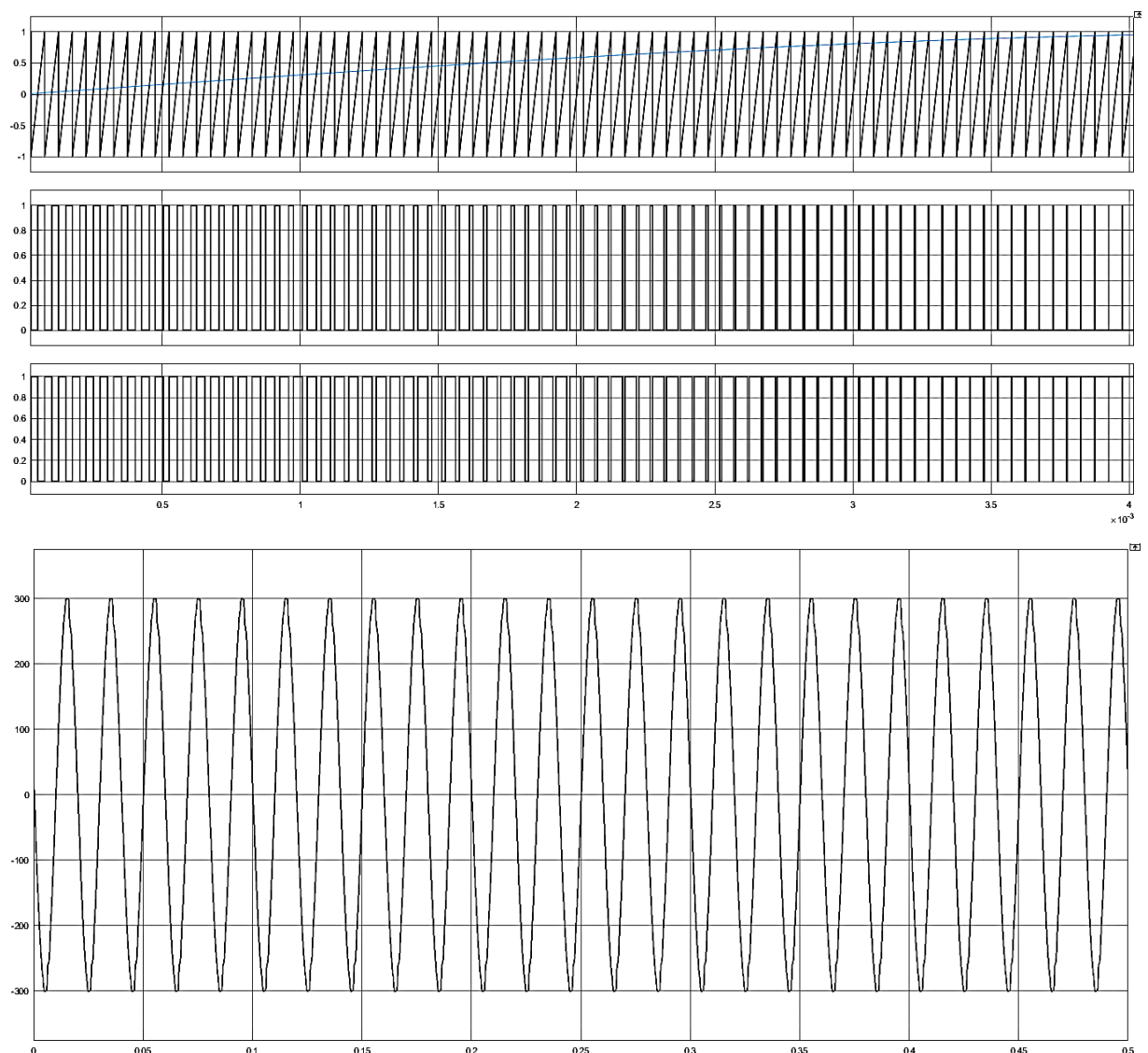


Рисунок 7.5 Часові діаграми моделювання роботи блоку формування вихідної напруги на основі ШІМ та напруга на виході інвертора

7.4 Моделювання роботи системи при зміні резистивного навантаження

Для моделювання роботи фотоелектричної установки в режимі живлення резистивного навантаження було використано схему, що приведена на рис. 7.6. Навантаження являє собою активний опір R сполучений зі споживачем величиною постійної потужності 1000 Вт. Результати моделювання представлені на рис. 7.7, де приведено часова діаграма зміни напруги і струму при зміні навантаження від 1000 Вт до 2000 Вт.

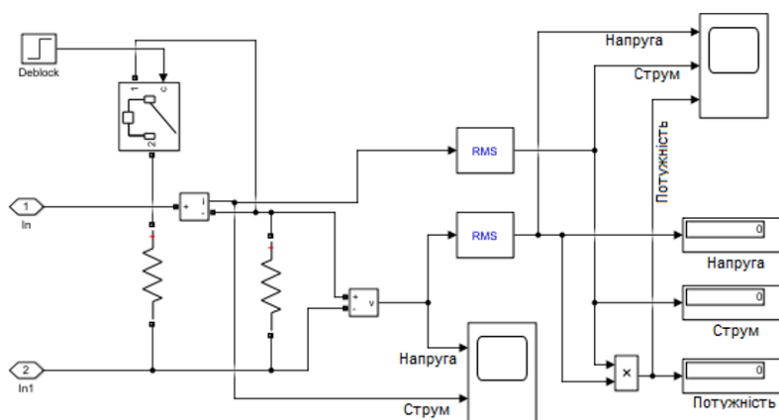


Рисунок 7.6 Блок моделювання резистивного навантаження фотоустановки

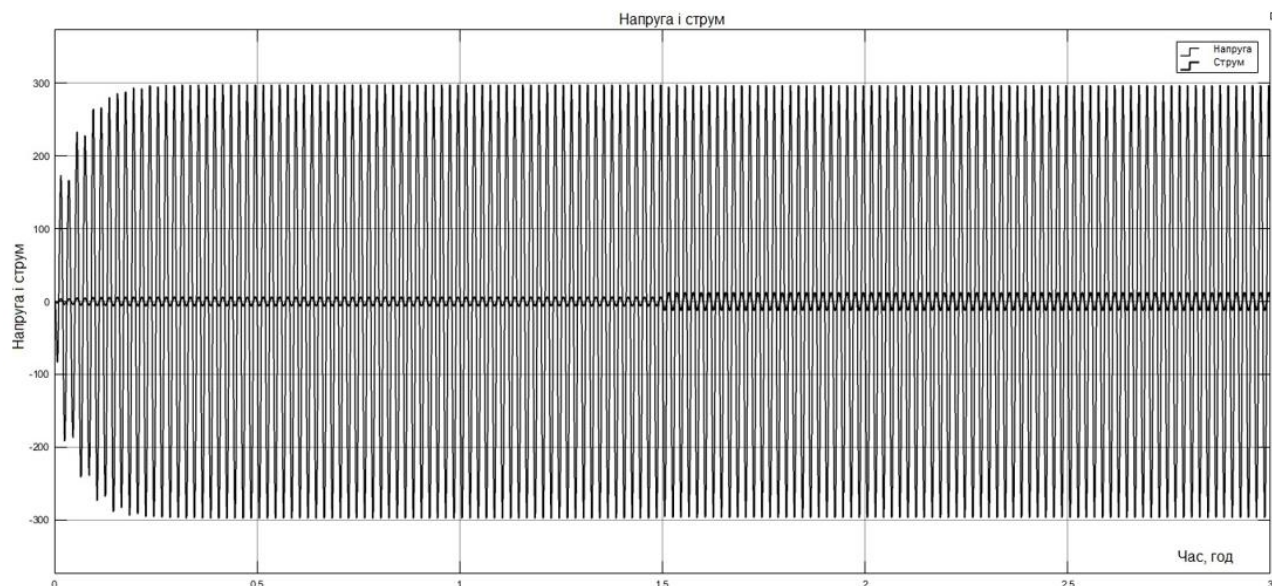


Рисунок 7.7 Графіки напруги і струму при зміні навантаження

На рис. 7.8 показані результати розрахунку середньоквадратичних значень вихідних напруги, струму і потужності в процесі зміни резистивного навантаження.

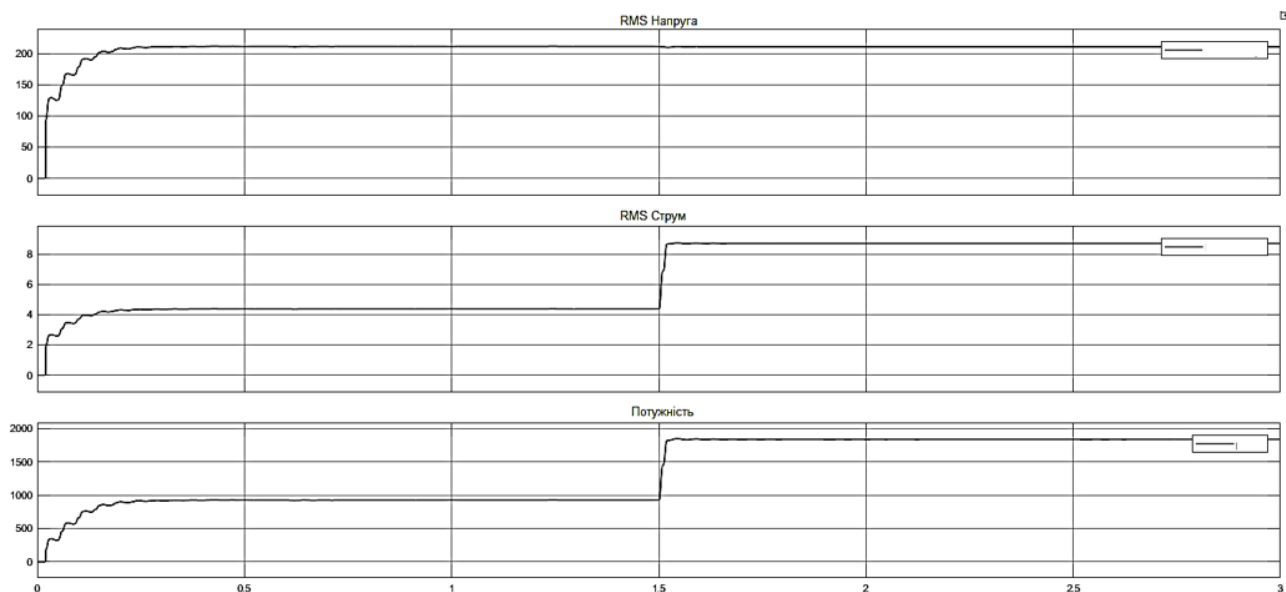


Рисунок 7.8 Графіки зміни вихідних напруги, струму, потужності

Як видно з графіків, приведених на рис. 7.8 в процесі зміни величини навантаження система забезпечує регулювання величини напруги та струму таким чином, що б задовольнити необхідну потребу потужності споживачу.

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. Спроектowana так система електропостачання відповідає стосовно основних вимог, як то надійності, гнучкості, ремонтпридатності, економічності.

Спеціальний розділ роботи присвячено моделюванню та аналізу фотоелектричної системи потужністю до 2 кВт в середовищі MATLAB/Simulink. Створено модель системи в цілому. Проведено імітаційне моделювання для резистивного навантаження. Результати моделювання показали працездатність системи для живлення активних, а також можливість її використання у періоди відключення електроенергії. Робота демонструє ефективність застосування MATLAB при проектуванні систем відновлюваної енергетики.

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. Визначення оптимальної точки приєднання сонячної електростанції до електричної мережі методом комп'ютерного імітаційного моделювання / П.Г. Плешков, В.В. Зінзура, С.П. Плешков, В.П. Солдатенко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. –Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – Вип. 8(39), ч.ІІ – С. 48 – 57.
5. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2007. – 280 с.
6. 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.
7. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.