

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 ПЛЄШКОВ

«__-__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ-21-ЗСК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Данило ОРШЛЕТТ

«__-__» _____ 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

Орилетта Данила Олександровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції

Development of a power supply system for a paper products 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 розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції. 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 _____

Данило ОРШЛЕТТ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 74 с.; 18 рис.; 24 табл.; 6 джерел

Оршлетт Д. О. Розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції. – Рукопис.

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

Робота присвячена розробленню системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції. 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.

В спеціальному розділі роботи побудовані математичні моделі для дослідження роботи гібридної системи електропостачання на основі вітрової установки, які дають можливість вивчати вплив таких ключових факторів, як вітровий потенціал і навантаження, на стійкість та режими роботи комбінованої вітро-дизельної системи електропостачання. Це дає можливість проаналізувати поведінку системи в різних умовах експлуатації.

Ключові слова: розрахункове навантаження, електричні мережі, гібридна система електропостачання

ABSTRACT

Qualification work: 74 p.; 18 Fig.; 24 tables; 6 sources

Orshlett D. Development of a power supply system for a paper products 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 paper products 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.

In a special section of the work, mathematical models are built for researching the operation of a hybrid power supply system based on a wind turbine, which make it possible to study the influence of such key factors as wind potential and load on the stability and modes of operation of a combined wind-diesel power supply system. This makes it possible to analyze the behavior of the system in different operating conditions.

Keywords: calculated load, electrical networks, hybrid power supply system

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ	9
1.2 Розрахунок освітлювальних електричних навантажень	12
1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ	13
1.4 Графіки електричних навантажень паперового підприємства.....	20
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	25
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	27
3.1 Схема зовнішнього електропостачання підприємства.....	27
3.2 Схема внутрішнього електропостачання паперового підприємства.....	31
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	32
4.1 Баланс реактивної потужності.....	33
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	34
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	43
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	45
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	45
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	53
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	55
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	56
РОЗДІЛ 7. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ	58
7.1 Імітаційне моделювання вітроенергетичної установки	58
7.2 Імітаційне моделювання дизельного електрогенератора	62
7.3 Імітаційне моделювання акумуляторної батареї	74
7.4 Імітаційне моделювання ланок заряду та розряду акумуляторів	67
ВИСНОВКИ	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Орилетт Д.О.			Розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції Development of a power supply system for a paper products processing enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перев.		Солдатенко В.П.					6	74	
Н. контр.		Солдатенко В.П.				ЦНТУ гр. ЕЕ-21-3СК			
Затвер.		Плешков П.Г.							

ВСТУП

Кваліфікаційна робота присвячена питанню розроблення системи електропостачання підприємства з переробки паперової продукції.

Питання розроблення сучасної системи електропостачання для підприємств з переробки паперової продукції є дуже актуальним на сьогоднішній день зважаючи на високе енергоспоживання виробництва, необхідність модернізації застарілих систем електропостачання.

Технологічні процеси переробки та вторинної переробки паперу є досить енергоємними і потребують забезпечення значних обсягів електричної та теплової енергії. Відповідно важливою є оптимізація систем електропостачання підприємств для підвищення їх ефективності та зниження енерговитрат, впровадження енергоефективних технологій, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, автоматизація та інтелектуалізація систем керування.

Багато підприємств даної галузі були введені в експлуатацію ще в минулому сторіччі і зараз мають застаріле обладнання, низький рівень автоматизації та значні втрати електроенергії. Розробка та впровадження сучасних систем дозволить підвищити надійність та економічність енергопостачання.

Одним з важливих завдань є зниження енергоємності виробничих процесів на папероробних підприємствах. Це можна досягти шляхом комплексної модернізації систем електропостачання з використанням більш ефективного обладнання та ощадного енерговикористання.

В контексті політики розбудови зеленої енергетики актуальним є питанням включення відновлюваних джерел (сонячних, вітрових та ін.) до систем енергозабезпечення таких підприємств для зменшення споживання традиційних викопних ресурсів.

Отже, актуальне значення питання розроблення сучасних систем електропостачання пов'язане з необхідністю підвищення ефективності, надійності та екологічності енергопостачання підприємств паперової промисловості.

						Арк.
						7

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок електричних навантажень є надзвичайно важливим етапом при проектуванні та модернізації систем електропостачання будь-яких підприємств.

Точний розрахунок активних і реактивних складових електричних навантажень різних споживачів (електродвигунів, освітлювальних установок, технологічного обладнання тощо) є основою для вибору відповідних параметрів елементів системи електропостачання - кабелів, трансформаторів, комутаційної апаратури, пристроїв захисту і т.д.

Адекватна оцінка стартових струмів, пікових і циклічних навантажень дозволяє спроектувати систему електропостачання з оптимальними запасами потужності для безперебійної роботи підприємства у всіх режимах.

Завищені або занижені розрахунки навантажень призводять до перевитрат енергії або недостатньої потужності, що негативно впливає на показники енергоефективності.

Детальне знання графіків та характеристик навантажень є базою для впровадження систем автоматизованого керування електроспоживанням для зниження витрат.

Правильний розрахунок реактивних навантажень визначає необхідність та потужність пристроїв компенсації реактивної потужності.

Визначення струмів КЗ в різних вузлах системи потрібне для налаштування захисту та вибору комутаційного обладнання.

Таким чином, точні розрахунки електричних навантажень лежать в основі проектування надійних, економічних та безпечних систем електропостачання промислових і цивільних об'єктів.

Тому перший розділ кваліфікаційної роботи був присвячений питанню розрахунків електричних навантажень підприємства паперової продукції.

						Арк.
						8

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ

Для прикладу наведено розрахунок електричних навантажень пресового цеху в електричній мережі напругою до 1 кВ:

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{106,2}{4,5} \approx 24,$$

$$P_{зм} = P_{сум} K_B = 1940 \cdot 0,656186 = 1273 \text{ кВт},$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \operatorname{tg} \varphi = 1273 \cdot 0,72 = 922,06 \text{ квар},$$

$$n_e = \frac{2 \sum P_{н}}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 1940}{106,2} = 36,53 \approx 37.$$

Згідно [1] визначаємо $K_p = 1,11$.

Розрахункові активне та реактивне навантаження електроприймачів:

$$P_p = P_{зм} K_p = 1273 \cdot 1,11 = 1415,42 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{зм} = 922,06 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1415,42^2 + 922,06^2} = 1689,26 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Детальні результати для пресового цеху приведено в таблиці 1.1. Подібний підход застосовується для розрахунку навантажень інших підрозділів та зводиться в таблицю 1.2. Подібним чином виконують розрахунок навантажень до 1 кВ для других підрозділів та наводяться результати у вигляді таблиці 1.2. приведеної нижче.

						Арк.
						9

Таблиця 1.1. Силові електричні навантаження до 1 кВ для пресового цеху

№	Споживачі	Кількість	Р _{одиниці} , кВт		Р _{сумарне} , кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмін. навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахунков. навантаження		
			мін	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Машини для пресування	15	12	40	402	3,3	0,70	0,80	0,75	281,4	211,05	15	1,16	325,83	211,05	388,21
2	Машини для сушіння	8	70,8	106,2	706	1,5	0,70	0,80	0,75	494,2	370,65	8	1,23	608,45	407,72	732,43
3	Приводи вентиляторів	11	7,6	21	176	2,8	0,90	0,80	0,75	158,4	118,8	11	1	158,4	118,8	198
4	Приводи насосів	10	4,5	11	77	2,4	0,90	0,80	0,75	69,3	51,97	10	1	69,3	57,17	89,84
5	Пічні пристрої	21	45	60	535	1,3	0,50	0,85	0,62	267,5	165,78	21	1,24	332,64	165,78	371,66
6	Кран (5 т.)	4	11	11	44	1	0,05	0,50	1,73	2,2	3,81	4	4,71	10,36	4,19	11,18
	Всього по пресовому цеху	69	4,5	106,2	1940	23,6	0,656186	0,81	0,72	1273	922,06	37	1,11	1415,42	922,06	1689,26

Таблиця 1.2. Силові електричні навантаження до 1 кВ для підрозділів підприємства

№	Підрозділи	Кількість	Р _{одиниці} , кВт		Р _{сумарне} , кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмін. навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахунков. навантаження		
			мін	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
1	Паперова машина №1	91	3	55	2703	18,3	0,65	0,85	0,62	1756,95	1088,86	91	1,07	1878,34	1088,86	2171,12
2	Паперова машина №2	91	3	55	2697	18,3	0,65	0,85	0,62	1753,05	1086,44	91	1,07	1874,17	1086,44	2166,3
3	Паперова машина №3	103	5	140	3205	28	0,60	0,85	0,62	1923	1191,77	46	1,12	2151,56	1191,77	2459,58
4	Паперова машина №4	51	5	55	1505	11	0,60	0,85	0,62	903	559,63	51	1,11	1004,28	559,63	1149,68
5	Паперов. машини №5, 6, 7	101	5	55	2105	11	0,60	0,85	0,62	1263	782,74	77	1,09	1375,52	782,74	1582,64

Продовження таблиці 1.2

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
6	Кислотний цех	10	30	120	600	4	0,51	0,80	0,8	306	229,5	10	1,4	418,71	252,45	488,93
7	Сировинне відділення	16	5	10	155	2	0,24	0,50	1,7	37,2	64,43	16	1,6	57,86	64,43	86,6
8	Відділення для варіння №1	26	5	30	305	6	0,34	0,70	1	103,7	105,8	20	1,4	142,2	105,8	177,24
9	Відбілювальний відділ	16	5	22	252	4,4	0,6	0,70	1	151,2	154,25	16	1,2	184,08	154,25	240,16
10	Відділення для варіння №2	25	11	18	402	1,6	0,35	0,70	1	140,7	143,54	25	1,3	185,5	143,54	234,55
11	Киснева станція	21	11	55	405	5	0,6	0,70	1	243	247,91	15	1,2	297,89	247,91	387,55
12	Пресовий цех	69	4,5	106	1940	24	0,65619	0,81	0,7	1273	921,64	37	1,1	1415,42	921,64	1689,03
13	Цех паперу	53	2,5	50	602,5	20	0,6	0,80	0,8	361,5	271,12	24	1,2	423,65	271,12	502,98
14	Склад №1	16	4,5	18	249	4	0,5	0,80	0,8	124,5	93,37	16	1,3	160,01	93,37	185,26
15	Насосна	12	3	18	153	6	0,6	0,70	1	91,8	93,65	12	1,3	115,48	93,65	148,68
16	Компресорна	12	112	250	1512	2,2	0,6	0,70	1	907,2	925,53	12	1,3	1141,2	925,53	1469,33
17	Склад №2	13	2,5	7,5	52,5	3	0,5	0,80	0,8	26,25	19,69	13	1,3	34,72	19,69	39,91
18	Склад №3	15	2,5	11	61	4,4	0,5	0,80	0,8	30,5	22,87	11	1,4	41,37	22,87	47,27
19	Склад №4	9	2,5	15	42,5	6	0,5	0,80	0,8	21,25	15,94	6	1,5	32,34	17,53	36,79
	Всього по паперовому підприємству	750	2,5	250	18947	100	0,60258	0,82	0,7	11417	8018,7	152	1,1	12108,7	8018,7	14523,1

1.2 Розрахунок освітлювальних електричних навантажень

Далі наведено розрахунок освітлювального навантаження для підрозділу, де розміщена паперова машина №1 ($F_{\text{п}}=1971 \text{ м}^2$, $p_0=20 \text{ Вт/м}^2$, $K_{\text{п}}=0,94$, $K_1=1,21$, $\cos \varphi=0,9$, $\text{tg } \varphi=0,484$):

$$P_{\text{БСТ}} = F_{\Pi} \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 1971 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 39,42 \text{ кВт},$$

$$P_p = K_{\Pi} K_I P_{\text{всТ}} = 0,94 \cdot 1,21 \cdot 39,42 = 44,84 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 44,84 \cdot 0,484 = 21,7 \text{ кВар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{44,84^2 + 21,7^2} = 49,81 \text{ кВА.}$$

Для інших підрозділів виконується аналогічний розрахунок, який виконаний у вигляді таблиці 1.3, що наведена нижче.

Таблиця 1.3. Освітлювальні навантаження підрозділів паперового підприємства

№ з/п	Підрозділ	$F_{\text{п}},$ 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
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
1	Паперова машина №1	1971	20	39,42	0,94	1,21	0,9	0,48	44,84	21,7	49,81
2	Паперова машина №2	2422	20	48,44	0,94	1,21	0,9	0,48	55,1	26,7	61,22
3	Паперова машина №3	453	20	9,06	0,94	1,21	0,9	0,48	10,3	4,99	11,45
4	Паперова машина №4	2314	20	46,28	0,94	1,21	0,9	0,48	52,64	25,5	58,48
5	Паперов. машина №5, 6, 7	1335	20	26,7	0,94	1,21	0,9	0,48	30,37	14,7	33,74
6	Кислотний цех	922	14	12,91	0,78	1,21	0,9	0,48	12,18	5,9	13,53
7	Сировинне відділення	367	20	7,34	0,94	1,21	0,9	0,48	8,35	4,04	9,28
8	Відділення для варіння №1	1457	18	26,23	0,79	1,21	0,9	0,48	25,07	12,1	27,85

Продовження таблиці 1.3

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
9	Відбілювальний відділ	1093	16	17,49	0,94	1,21	0,9	0,48	19,89	9,63	22,1
10	Відділення для варіння №2	2035	18	36,63	0,79	1,21	0,9	0,48	35,01	16,9	38,89
11	Киснева станція	767	14	10,74	0,94	1,21	0,9	0,48	12,22	5,91	13,57
12	Пресовий цех	685	18	12,33	0,94	1,21	0,9	0,48	14,02	6,79	15,58
13	Цех паперу	1142	18	20,56	0,94	1,21	0,9	0,48	23,38	11,3	25,98
14	Склад №1	2270	10	22,7	0,62	1,21	0,9	0,48	17,03	8,24	18,92
15	Насосна	465	12	5,58	0,94	1,21	0,9	0,48	6,35	3,07	7,05
16	Компресорна	1234	12	14,81	0,86	1,21	0,9	0,48	15,41	7,46	17,12
17	Склад №2	815	10	8,15	0,61	1,21	0,9	0,48	6,02	2,91	6,69
18	Склад №3	1287	10	12,87	0,61	1,21	0,5	1,73	9,5	16,5	19
19	Склад №4	928	10	9,28	0,62	1,21	0,9	0,48	6,96	3,37	7,73
20	Територія підприємства	141023	0	28,2	1,00	1,12	0,5	1,73	31,58	54,7	63,16
	Всього по паперовому підприємству			415,72					436,22	262,4	509,06

1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ

Розрахунки силового електричного навантаження в мережі напругою вище 1 кВ виконано згідно [1], а результати наведено у таблиці 1.4, що приведена нижче.

Таблиця 1.4. Електричні навантаження вище 1 кВ з попередньою компенсацією

Підрозділи	Кіль- кість	$P_{\text{одиниці, кВт}}$		$P_{\text{сумарне, кВт}}$	m	$K_{\text{в}}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Середньозмін. навантаження		$n_{\text{еф}}$	$K_{\text{м}}$	Розрахунков. навантаження		
		мін	max						$P_{\text{зм, кВт}}$	$Q_{\text{зм, квар}}$			$P_{\text{р, кВт}}$	$Q_{\text{р, квар}}$	$S_{\text{р, кВА}}$
а	б	с	д	е	ф	г	h	і	j	к	l	м	п	о	р
ТП 1, 2, 3	-														
Паперова машина №1	-														
силове:	91	3	55	2703	18,3	0,650	0,85	0,62	1756,95	1088,86	91	1,07	1878,34	1088,9	2171,12
освітлювальне:									39,42				44,84	21,7	
Всього:									1796,37	1088,86			1923,18	1110,6	2220,8
Паперова машина №2															
силове:	91	3	55	2697	18,3	0,65	0,85	0,62	1753,05	1086,44	91	1,07	1874,17	1086,4	2166,3
освітлювальне:									48,44				55,1	26,67	
Всього:									1801,49	1086,44			1929,27	1113,1	2227,35
Сировинне відділення															
силове:	16	5	10	155	2	0,24	0,50	1,73	37,2	64,43	16	1,56	57,86	64,43	86,6
освітлювальне:									7,34				8,35	4,04	
Всього:									44,54	64,43			66,21	68,47	95,25
Відділення для варіння №1															
силове:	26	5	30	305	6	0,34	0,70	1,02	103,7	105,8	20	1,37	142,2	105,8	177,24
освітлювальне:									26,23				25,07	12,13	
Всього:									129,93	105,8			167,27	117,93	204,66
Відбілювальний відділ															
силове:	16	5	22	252	4,4	0,6	0,70	1,02	151,2	154,25	16	1,22	184,08	154,25	240,16
освітлювальне:									17,49				19,89	9,63	
Всього:									168,69	154,25			203,97	163,88	261,65
Відділення для варіння №2															
силове:	25	11	18	402	1,6	0,35	0,70	1,02	140,7	143,54	25	1,32	185,5	143,54	234,55
освітлювальне:									36,63				35,01	16,94	
Всього:									177,33	143,54			220,51	160,48	272,72

Продовження таблиці 1.4

а	б	в	г	д	е	ф	г	h	i	j	к	l	м	п	о	р
Всього по ТП 1, 2, 3:																
силове:	265	3	55	6514	18,3	0,61	0,83	0,67		3942,8	2643,32	237	1	3942,8	2643,3	4746,87
освітлювальне:										175,55				188,26	91,11	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1, 2, 3:										4118,35	2643,32			4131,06	2734,4	4954,07
Втрати в трансформаторах:														45,99	240,44	
Кільк. трансформаторів: 6																
Номинальн. потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,69																
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2, 3:														4177,05	2974,9	5128,11
ТП 4, 5, 6																
Паперова машина №3																
силове:	103	5	140	3205	28	0,60	0,85	0,62		1923	1191,77	46	1,12	2151,56	1191,8	2459,58
освітлювальне:										9,06				10,3	4,99	
Всього:										1932,06	1191,77			2161,86	1196,8	2471,01
Паперові машини №5, 6, 7																
силове:	101	5	55	2105	11	0,60	0,85	0,62		1263	782,74	77	1,09	1375,52	782,74	1582,64
освітлювальне:										26,7				30,37	14,7	
Всього:										1289,7	782,74			1405,89	797,44	1616,3
Цех паперу																
силове:	53	2,5	50	602,5	20	0,60	0,8	0,75		361,5	271,12	24	1,17	423,65	271,12	502,98
освітлювальне:										20,56				23,38	11,32	
Всього:										382,06	271,12			447,03	282,44	528,78
Склад №4																
силове:	9	2,5	15	42,5	6	0,50	0,8	0,75		21,25	15,94	6	1,52	32,34	17,53	36,79
освітлювальне:										9,28				6,96	3,37	
Всього:										30,53	15,94			39,3	20,9	44,51
Територія паперового підприємства																
освітлювальне:										28,2				31,58	54,7	
Всього:										28,2	0			31,58	54,7	63,16

Продовження таблиці 1.4

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Всього по ТП 4, 5, 6:															
силове:	266	2,5	140	5955	56	0,60	0,84	0,63	3568,75	2261,57	85	1,08	3870,31	2261,6	4482,63
освітлювальне:									93,8				102,59	89,08	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4, 5, 6:									3662,55	2261,57			3972,9	2350,7	4616,22
Втрати в трансформаторах:													43,64	228,69	
Кільк. трансформаторів: 6															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,66															
Всього на шинах 10 кВ ТП 4, 5, 6:													4016,54	2579,3	4773,42
ТП 7															
Пресовий цех															
силове:	69	4,5	106	1940	23,6	0,66	0,81	0,72	1273	921,64	37	1,11	1415,42	921,64	1689,03
освітлювальне:									12,33				14,02	6,79	
Всього:									1285,33	921,64			1429,44	928,43	1704,49
Всього по ТП 7:															
силове:	69	4,5	106	1940	23,6	0,66	0,81	0,72	1273	921,64	37	1,11	1415,42	921,64	1689,03
освітлювальне:									12,33				14,02	6,79	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 7:									1285,33	921,64			1429,44	928,43	1704,49
Втрати в трансформаторах:													16,14	84,19	
Кільк. трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,71															
Всього на шинах 10 кВ ТП 7:													1445,58	1012,6	1764,96
ТП 8															
Насосна															
силове:	12	3	18	153	6	0,6	0,7	1,02	91,8	93,65	12	1,26	115,48	93,65	148,68
освітлювальне:									5,58				6,35	3,07	
Всього:									97,38	93,65			121,83	96,72	155,55

Продовження таблиці 1.4

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Компресорна															
силове:	12	112	250	1512	2,2	0,6	0,7	1,02	907,2	925,53	12	1,26	1141,2	925,53	1469,33
освітлювальне:									14,81				15,41	7,46	
Всього:									922,01	925,53			1156,61	932,99	1486,01
Всього по ТП 8:															
силове:	24	3	250	1665	83,3	0,6	0,7	1,02	999	1019,18	13	1,25	1244,64	1019,2	1608,68
освітлювальне:									20,39				21,76	10,53	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 8:									1019,39	1019,18			1266,4	1029,7	1632,2
Втрати в трансформаторах:													13,72	72,1	
Кільк. трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,63															
Всього на шинах 10 кВ ТП 8:													1280,12	1101,8	1688,99
ТП 9, 10															
Паперова машина №4															
силове:	51	5	55	1505	11	0,6	0,85	0,62	903	559,63	51	1,11	1004,28	559,63	1149,68
освітлювальне:									46,28				52,64	25,48	
Всього:									949,28	559,63			1056,92	585,11	1208,07
Кислотний цех															
силове:	10	30	120	600	4	0,51	0,8	0,75	306	229,5	10	1,37	418,71	252,45	488,93
освітлювальне:									12,91				12,18	5,9	
Всього:									318,91	229,5			430,89	258,35	502,41
Киснева станція															
силове:	21	11	55	405	5	0,6	0,7	1,02	243	247,91	15	1,23	297,89	247,91	387,55
освітлювальне:									10,74				12,22	5,91	
Всього:									253,74	247,91			310,11	253,82	400,74

Продовження таблиці 1.4

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Склад №1															
силове:	16	4,5	18	249	4	0,5	0,8	0,75	124,5	93,37	16	1,29	160,01	93,37	185,26
освітлювальне:									22,7				17,03	8,24	
Всього:									147,2	93,37			177,04	101,61	204,13
Склад №2															
силове:	13	2,5	7,5	52,5	3	0,5	0,8	0,75	26,25	19,69	13	1,32	34,72	19,69	39,91
освітлювальне:									8,15				6,02	2,91	
Всього:									34,4	19,69			40,74	22,6	46,59
Склад №3															
силове:	15	2,5	11	61	4,4	0,5	0,8	0,75	30,5	22,87	11	1,36	41,37	22,87	47,27
освітлювальне:									12,87				9,5	16,45	
Всього:									43,37	22,87			50,87	39,32	64,29
Всього по ТП 9, 10:															
силове:	126	2,5	120	2872,5	48	0,57	0,81	0,72	1633,25	1172,97	48	1,13	1840,74	1173	2182,7
освітлювальне:									113,65				109,59	64,89	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 9, 10:									1746,9	1172,97			1950,33	1237,9	2310
Втрати в трансформаторах:													21,3	111,74	
Кільк. трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,65															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10:													1971,63	1349,6	2389,29
Всього по об'єкту															
силове:	750	2,5	250	18947	100	0,6	0,82	0,7	11416,8	8018,68	152	1,06	12108,7	8018,7	14523,1
освітлювальне:									415,72				436,22	262,4	
Всього:									11832,52	8018,68			12544,9	8281,1	15031,7
Втрати в трансформаторах:													140,78	737,15	
Всього по об'єкту:													12685,7	9018,2	15564,5

Продовження таблиці 1.4

а	б	с	д	е	ф	г	h	і	j	к	l	м	п	о	р
Високовольтне навантаження															
Синхронні двигуни	2	630	630	1260		0,69	0,91	0,46	869,4	396,11			869,4	-396,11	955,38
Всього високовольтного навантаження:													869,4	-396,11	955,38
Всього по об'єкту 10 кВ:													13555,1	8622,1	16064,9
$\text{tg}\phi = 0,64$															
Попереднє значення $Q'_{\text{кп}}$														-6588,9	
Всього з урахуванням попередн. комп.													13555,1	2033,3	13706,7
$\text{tg}\phi = 0,15$															

1.4 Графіки електричних навантажень паперового підприємства

Проведено розрахунки по графікам електричних навантажень а також їхнім параметрам згідно методики з [1], а результати наведено в таблицях 1.5 – 1.7 та на рисунках 1.1 – 1.5 що приведені нижче.

Таблиця 1.5. Дані для розрахунку графіків навантажень

№ з/п	Будні дні		Вихідні дні	
	<i>P, %</i>	<i>Q, %</i>	<i>P, %</i>	<i>Q, %</i>
1	76	91	29	56
2	61	81	29	56
3	46	68	29	56
4	46	68	29	56
5	41	63	29	56
6	51	69	29	56
7	46	68	29	56
8	81	87	29	56
9	86	93	26	51
10	99	83	26	51
11	83	91	26	51
12	79	87	26	51
13	82	91	26	51
14	93	96	26	51
15	100	100	26	51
16	81	90	26	51
17	61	80	26	51
18	76	86	27	51
19	79	87	27	53
20	79	87	27	53
21	76	86	29	56
22	79	87	29	56
23	83	89	29	56
24	76	89	29	56

Таблиця 1.6. Розрахунок 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	10302	1850	10467	3931	1138	4092	8757	1573	8897	3341	968	3478
2	8269	1647	8431	3931	1138	4092	7028	1400	7166	3341	968	3478
3	6235	1382	6386	3931	1138	4092	5300	1175	5429	3341	968	3478
4	6235	1382	6386	3931	1138	4092	5300	1175	5429	3341	968	3478
5	5558	1281	5704	3931	1138	4092	4724	1089	4848	3341	968	3478
6	6913	1403	7054	3931	1138	4092	5876	1192	5996	3341	968	3478
7	6235	1382	6386	3931	1138	4092	5300	1175	5429	3341	968	3478
8	10980	1769	11122	3931	1138	4092	9333	1503	9453	3341	968	3478
9	11657	1891	11809	3524	1037	3673	9909	1607	10038	2996	881	3123
10	13419	1687	13525	3524	1037	3673	11407	1434	11497	2996	881	3123
11	11251	1850	11402	3524	1037	3673	9563	1573	9692	2996	881	3123
12	10708	1769	10853	3524	1037	3673	9102	1503	9225	2996	881	3123
13	11115	1850	11268	3524	1037	3673	9448	1573	9578	2996	881	3123
14	12606	1952	12756	3524	1037	3673	10715	1659	10843	2996	881	3123
15	13555	2033	13707	3524	1037	3673	11522	1728	11651	2996	881	3123
16	10980	1830	11131	3524	1037	3673	9333	1555	9462	2996	881	3123
17	8269	1626	8427	3524	1037	3673	7028	1382	7163	2996	881	3123
18	10302	1748	10449	3660	1037	3804	8757	1486	8882	3111	881	3233
19	10708	1769	10853	3660	1077	3815	9102	1503	9225	3111	916	3243
20	10708	1769	10853	3660	1077	3815	9102	1503	9225	3111	916	3243
21	10302	1748	10449	3931	1138	4092	8757	1486	8882	3341	968	3478
22	10708	1769	10853	3931	1138	4092	9102	1503	9225	3341	968	3478
23	11251	1809	11396	3931	1138	4092	9563	1538	9686	3341	968	3478
24	10302	1809	10460	3931	1138	4092	8757	1538	8891	3341	968	3478

Р, кВт
Q, кВар

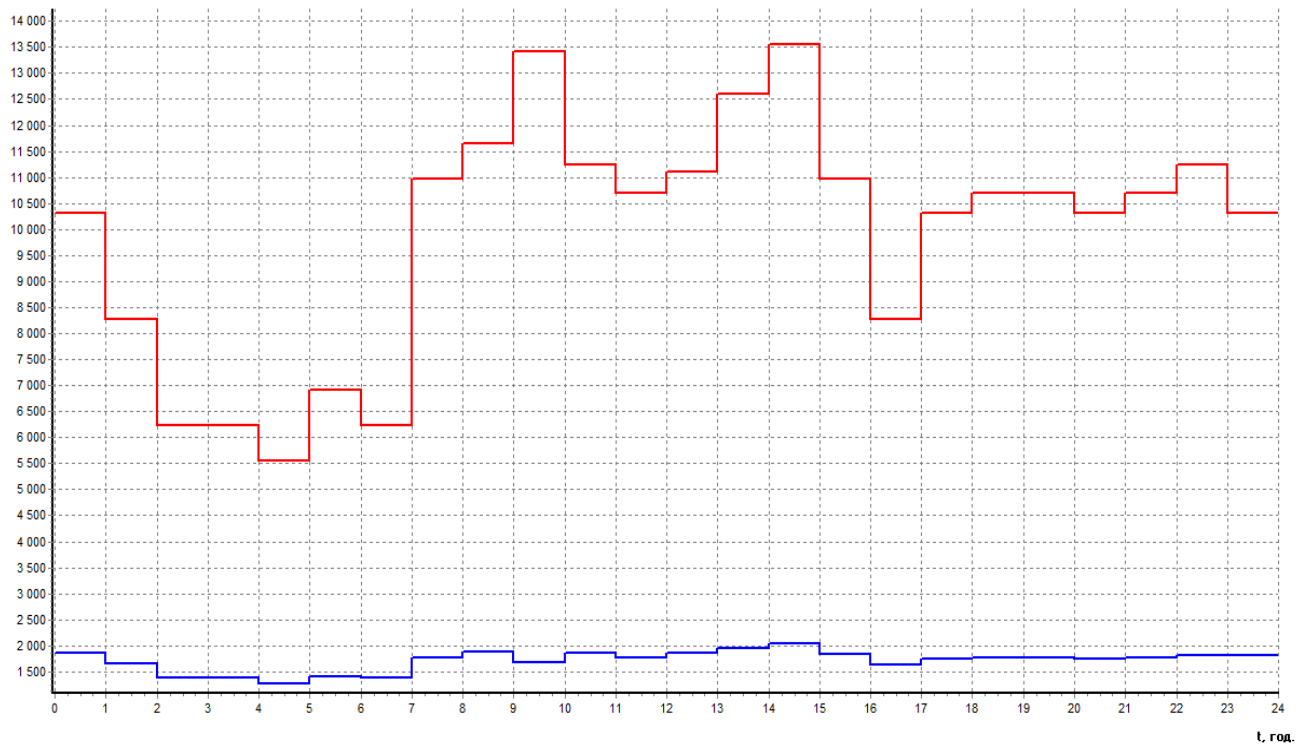


Рисунок 1.1. Добові графіки P , Q (зимові будні дні)

Р, кВт
Q, кВар

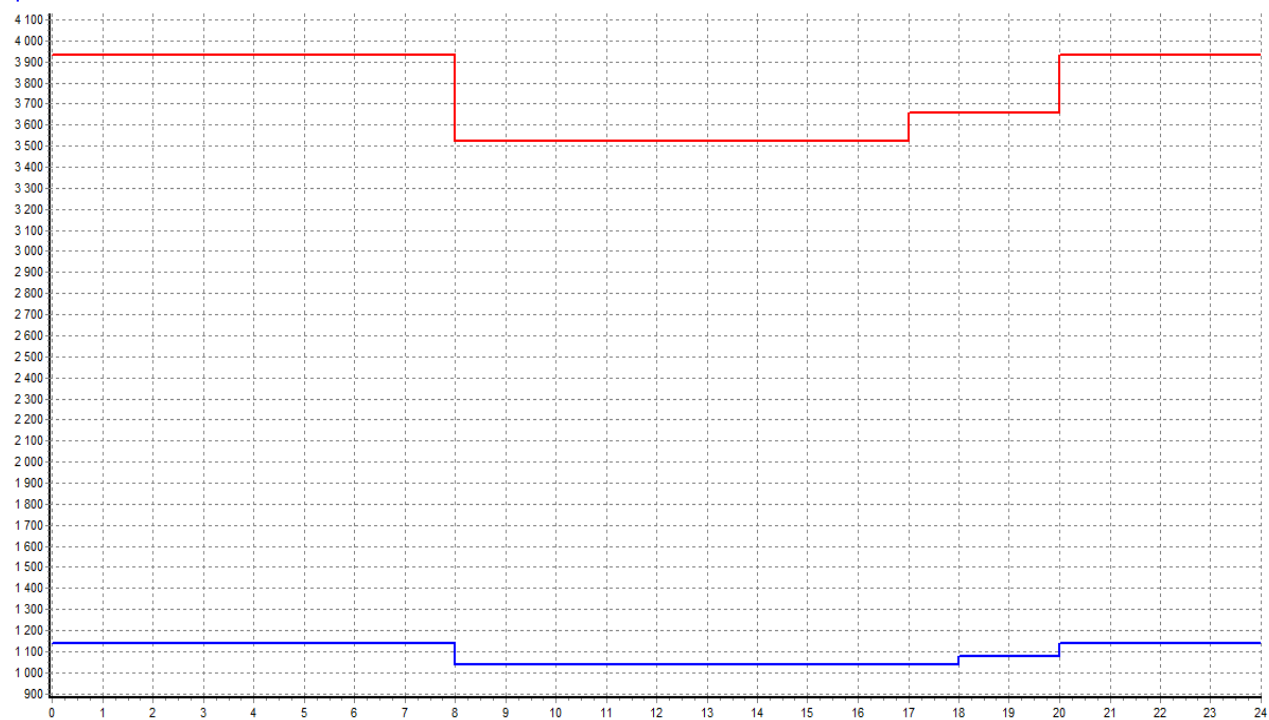


Рисунок 1.2. Добові графіки P , Q (зимові вихідні дні)

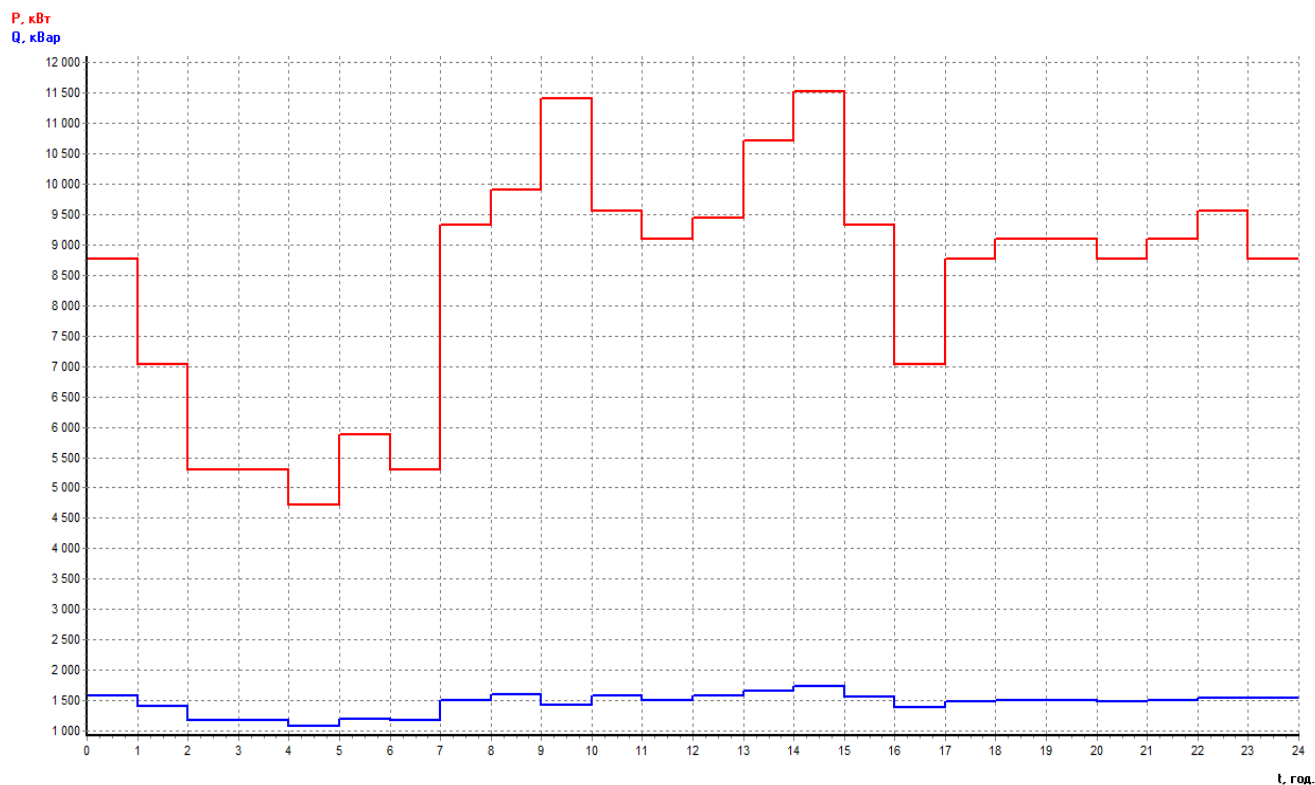


Рисунок 1.3. Добові графіки P , Q (літні будні дні)

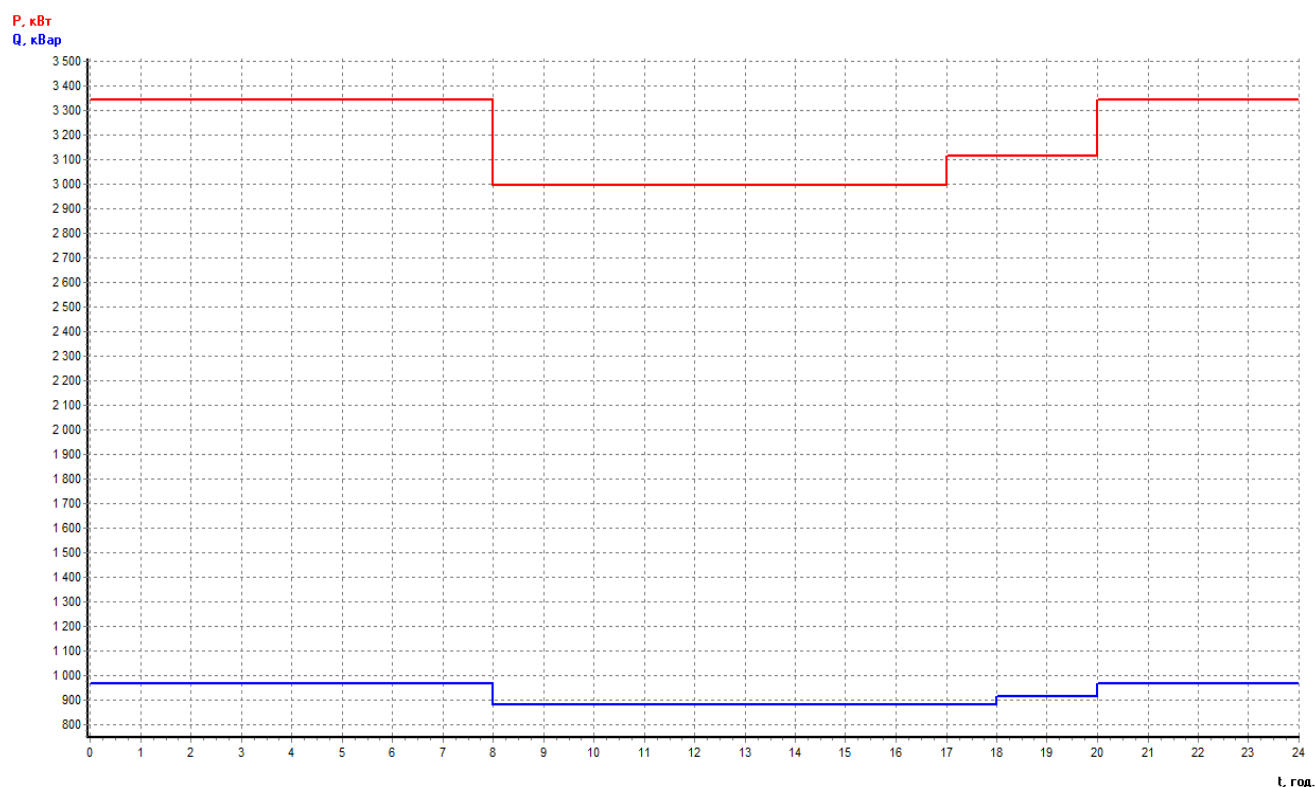


Рисунок 1.4. Добові графіки P , Q (літні вихідні дні)

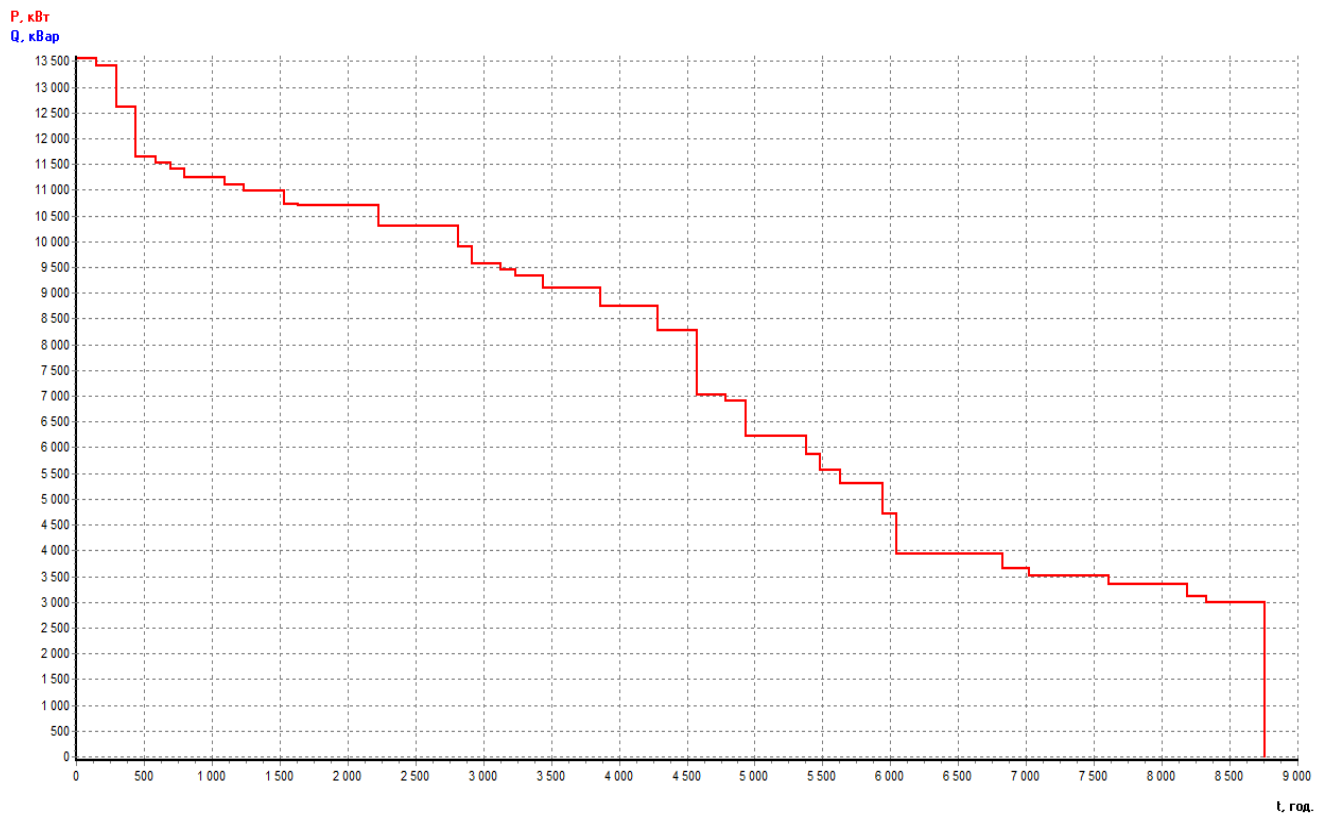


Рисунок 1.5. Річний графік P за тривалістю

Таблиця 1.7 Розрахункові величини графіків навантаження

№ з/п	Величина	Значення	Одиниця виміру
1	S_p	13706,61	МВА
2	$W_{з.р.}$	35069496	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	6027735	квар·год
4	$W_{з.в.}$	5841420	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	1701700	квар·год
6	$W_{л.р.}$	21292425	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	3659565	квар·год
8	$W_{л.в.}$	3666672	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	1068384	квар·год
10	W_p	65870013	кВт·год
11	V_p	12457384	квар·год
12	T_m	4890,899	год
13	τ_m	3292,702	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Картограма електричних навантажень - це наочне графічне зображення розподілу електричних навантажень на плані або схемі досліджуваного об'єкта (цеху, підприємства, мікрорайону і т.д.). На картограмі кожне електричне навантаження (силове, освітлювальне, технологічне обладнання тощо) представлене у вигляді кола, розмір якого пропорційний величині навантаження.

Картограми дозволяють наочно візуалізувати місця розташування основних електроприймачів та центрів електричних навантажень, розподіл активних та реактивних складових навантажень, можливі шляхи живлення навантажень від джерел електропостачання, приблизні перетини кабельних чи повітряних ліній і необхідні перерізи.

Картограми є зручним інструментом для аналізу навантажень та вибору оптимальної конфігурації системи електропостачання на стадії проектування чи реконструкції. Їх використання дозволяє мінімізувати витрати на прокладку кабельних трас, знизити втрати потужності та вирішити інші питання оптимізації електропостачання.

Картограми роблять зручним багатоваріантний аналіз різних схем живлення навантажень, порівняння альтернативних варіантів трасування кабельних ліній, вибір потужності трансформаторів тощо.

Приклад побудови картограми приведено для паперової машини №1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{p.1}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.сил.1} + P_{p.осв.1}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1878,34 + 44,84}{3,14 \cdot 0,50}} = 34,99 \text{ мм},$$
$$\alpha_1 = \frac{P_{p.осв.1} \cdot 360^\circ}{P_{p.1}} = \frac{44,84 \cdot 360^\circ}{1878,34} = 8,39^\circ.$$

Розрахунок для інших підрозділів наведено у вигляді таблиці 2.1.

						Арк.
						25

Таблиця 2.1. Картограма електричних навантажень

№ п/п	Найменування	кВт				мм	градус	м		кВт · м	
		$P_{P, \text{сил}}$	$P_{P, \text{осв}}$	P_P	m	R	α	X	Y	$P \cdot X$	$P \cdot Y$
1	Паперова машина №1	1878,34	44,84	1923,18	0,50	34,99	8,39	204,8	76,8	393867	147700
2	Паперова машина №2	1874,17	55,10	1929,27	0,50	35,05	10,28	465,6	117,6	898268	226882
3	Паперова машина №3	2151,56	10,30	2161,86	0,50	37,10	1,72	257,2	72,0	556030	155654
4	Паперова машина №4	1004,28	52,64	1056,92	0,50	25,94	17,93	344,0	78,4	363580	82863
5	Паперов. машина №5, 6, 7	1375,52	30,37	1405,89	0,50	29,92	7,78	416,0	40,0	584850	56236
6	Кислотний цех	418,71	12,18	430,89	0,50	16,56	10,18	413,6	85,6	178216	36884
7	Сировинне відділення	57,86	8,35	66,21	0,50	6,49	45,40	430,4	173,6	28497	11494
8	Відділення для варіння №1	142,20	25,07	167,27	0,50	10,32	53,96	353,6	227,2	59147	38004
9	Відбілювальний відділ	184,08	19,89	203,97	0,50	11,40	35,11	116,0	360,8	23661	73592
10	Відділення для варіння №2	185,50	35,01	220,51	0,50	11,85	57,16	116,0	247,2	25579	54510
11	Киснева станція	297,89	12,22	310,11	0,50	14,05	14,19	310,4	166,4	96258	51602
12	Пресувальний цех	1415,42	14,02	1429,44	0,50	30,17	3,53	351,2	178,4	502019	255012
13	Цех паперу	423,65	23,38	447,03	0,50	16,87	18,83	351,2	154,4	156997	69021
14	Склад №1	160,01	17,03	177,04	0,50	10,62	34,63	54,4	271,2	9631	48013
15	Насосна	115,48	6,35	121,83	0,50	8,81	18,76	54,4	247,2	6628	30116
16	Компресорна	1141,20	15,41	1156,61	0,50	27,14	4,80	69,6	191,2	80500	221144
17	Склад №2	34,72	6,02	40,74	0,50	5,09	53,20	220,8	341,6	8995	13917
18	Склад №3	41,37	9,50	50,87	0,50	5,69	67,23	116,0	271,2	5901	13796
19	Склад №4	32,34	6,96	39,30	0,50	5,00	63,76	117,6	216,0	4622	8489
20	Територія заводу	0,00	31,58	31,58	0,50	4,48	360,00	54,4	223,2	1718	7049,0
21	Синхронні двигуни 10,5 кВ в будівлі насосної	869,40	0,00	869,40	0,50	23,53	0,00	182,4	240,0	158579	208656
	Всього по паперовому підприємству	13803,7	436,2	14239,9						4143543,2	1810634,3

Центр електричних навантажень розміщений за наступними координатами:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{4143543,2}{14239,9} = 290,98 \text{ M}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1810634,3}{14239,9} = 127,15 \text{ M}.$$

Таким чином координати центру електричних навантажень $X = 290,98$ м, $Y = 127,15$ м співпадають з розташуванням групи цехів підприємства. Тому розташування центру живлення слід змістити в напрямку зовнішнього живлення для запобігання зворотних перетоків енергії. Відповідне розміщення визначене на генплані.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання підприємства є важливим етапом при проектуванні чи модернізації системи енергопостачання. Воно включає комплексний аналіз та порівняння декількох можливих варіантів побудови електричних мереж за такими ключовими аспектами, як надійність електропостачання, забезпечення необхідної якості електроенергії, можливість подальшого розвитку та модернізації мереж, простота експлуатації та обслуговування, капітальні витрати на спорудження системи, експлуатаційні витрати (на обслуговування, ремонти, втрати), термін окупності інвестицій, загальна вартість володіння системою, рівень електробезпеки, пожежної безпеки та екологічні аспекти експлуатації.

На основі комплексного техніко-економічного аналізу визначається оптимальна схема електропостачання шляхом зіставлення переваг та недоліків кожного варіанту. Критеріями вибору можуть бути мінімум приведених витрат, максимум чистого дисконтованого доходу або інші показники економічної ефективності. Обґрунтований вибір схеми електропостачання дозволяє забезпечити надійну та безпечну роботу електромереж підприємства при одночасній мінімізації капітальних та експлуатаційних витрат на енергопостачання.

3.1 Схема зовнішнього електропостачання підприємства

Паперове підприємство може житися від підстанції системи напругою 110/10 кВ, яка знаходиться на відстані 8,543 км. Розглянемо два варіанти зовнішнього електропостачання:

- від кабелів напругою 10 кВ;
- від повітряних ліній напругою 110 кВ із побудовою підстанції 110/10 кВ.

						Арк.
						27

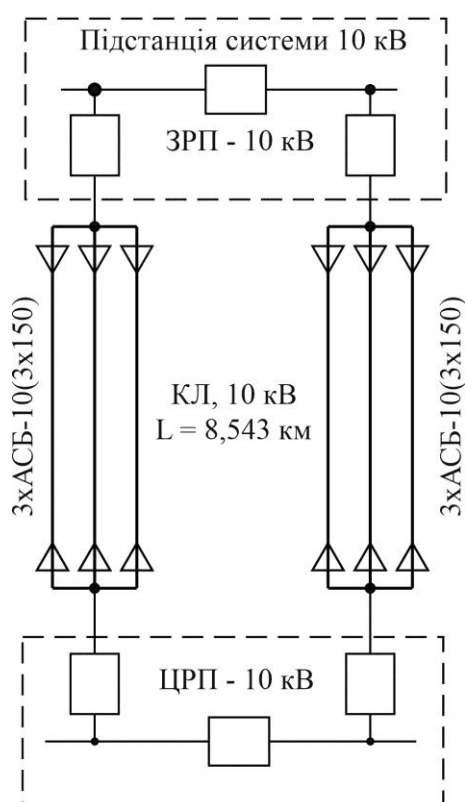
Схеми відповідних варіантів проілюстровані на рис. 3.1. далі.

Варіант 1. Електропостачання від кабельних ліній 10 кВ (рис. 3.1, а).

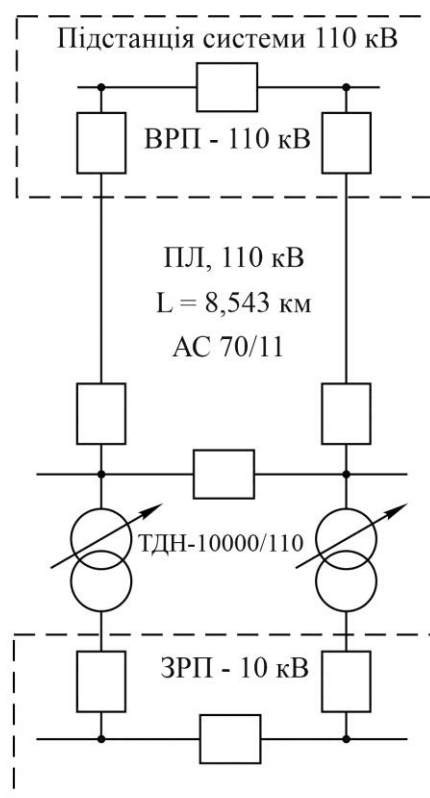
Струм відповідно розрахункової потужності:

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{13707}{\sqrt{3} \cdot 10} = 791,36 \text{ А}$$

Прийmemo шість кабелів АСБ-10(3х150), які мають наступні характеристики: $I_{доп} = 246 \text{ А}$, $\Delta P_{1\text{км}} = 20 \text{ Вт/м}$, $K_{кл} = 128,71 \text{ тис. грн./км}$.



а)



б)

Рисунок 3.1. Варіанти організації зовнішнього електропостачання

Перевірка вибраних КЛ для режиму нормального навантаження:

$$I_p = 131,89 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,81 \cdot 246 = 199,26 \text{ А}$$

Перевірка вибраних КЛ для режиму аварійного навантаження:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 131,89 = 263,78 \text{ А} \leq K_{ав} K_n' I_{доп} = 1,25 \cdot 0,92 \cdot 246 = 282,9 \text{ А}$$

Умови вибору дотримані.

Коефіцієнт завантаження для нормального режиму:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{\partial on}} = \frac{131,9}{246} = 0,54$$

В кабельній лінії величина втрат потужності складе:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{1KM} l_{\Sigma} K_3^2 = 20 \cdot 51,258 \cdot 0,2916 = 298,94 \text{ кВ}.$$

В кабельній лінії величина втрат електроенергії складе:

$$\Delta W_{\tau} = \Delta P_{\tau} \tau = 298,94 \cdot 3292,7 = 984319,74 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Грошова вартість втраченої електроенергії за варіантом живлення:

$$C_{emp} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 984319,74 \cdot 5,217 \cdot 0,001 = 5135,2 \text{ тис.грн}$$

Розрахунок капіталовкладень і витрат по варіанту 1 наведено в табл. 3.1-3.2

Таблиця 3.1. Капітальні вкладення для варіанту № 1 схеми електропостачання

<i>Варіант</i>	<i>Елемент</i>	<i>Один иця</i>	<i>Кількість</i>	<i>Ціна одиниці, тис. грн.</i>	<i>Вартість, тис. грн.</i>
1	Кабельна лінія 10 кВ	км	51,258	187,4023	9605,867
	Траншея під каб. лінію	км.	8,543	20,8208	177,8721
	Шафи комплектні розподільчих пристроїв КРП серії типу КУ-10Ц	шт.	2	15,5792	31,1584
<i>Всього</i>					9814,898

Таблиця 3.2. Поточні витрати для варіанту № 1 схеми електропостачання

Варіант	Елемент	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{аж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	Кабельна лінія 10 кВ	9605,87	5	480,293	5	480,293	960,587
	Траншея під кабельну лінію	177,872	5	8,8936	5	8,8936	17,7872
	Шафи комплектні розподільчих пристроїв КРП серії типу КУ-10Ц	31,1584	15	4,67376	5	1,55792	6,23168
Всього							984,606

Нижче наведено розрахунок збитку, який виникає внаслідок аварійних відключень електропостачання внаслідок виходу з ладу елементів живлення.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 2,05032 = 2,05432 \text{ 1/рік}$$

$$T_{\varepsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{\varepsilon i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 2,05032 \cdot 0,001794)}{2,05432} = 0,00179141 \text{ рік}$$

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

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

$$K_a = \lambda T_{\varepsilon} = 2,05432 \cdot 0,00179141301725145 = 0,0036801355896$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00001354339796 + 2 \cdot 0,0000059164416 = 0,0000253763$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000253763 \cdot 8760 = 0,2223$$

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 38,637 \cdot 7,57 \cdot 0,2223 = 65,02$$

Зведені витрати по схемі варіанту № 1 електропостачання складають:

$$\begin{aligned} Z_i &= E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.}i} + Y_i = \\ &= 0,12 \cdot 9814,9 + 984,61 + 5135,2 + 65,02 = 7362,61 \text{ тис.грн./рік} \end{aligned}$$

За таким самим підходом виконується розрахунок і для варіанту №2 схеми електропостачання, а порівняння виконано у вигляді таблиці 3.3

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники варіантів схеми електропостачання

Найменування	Варіант схеми	
	1	2
Капітальн. вкладення, тис. грн./рік	9814,90	6000,99
Поточн. витрати, тис. грн./рік	984,61	1053,52
Вартіст. втрат ел.енергії, тис. грн./рік	5135,20	2298,03
Збитки, тис. грн./рік	65,02	14,34
Зведен. витрати, тис. грн./рік	7362,61	4086,01

З таблиці 3.3 очевидно, що варто віддати перевагу другому варіанту, адже він має менші приведені витрати на реалізацію.

						Арк.
						30

3.2 Схема внутрішнього електропостачання паперового підприємства

При виборі системи розподільних електричних мереж для внутрішнього електропостачання промислових об'єктів зазвичай розглядають кілька основних варіантів.

Радіальна система - найпростіша схема, при якій кожен електроприймач живиться по окремій радіальній лінії від розподільного пункту або підстанції. Переваги: простота монтажу та експлуатації, низька вартість. Недоліки: низька надійність, оскільки вихід з ладу лінії призводить до відключення навантаження.

Магістральна система передбачає наявність магістральної лінії, від якої відгалужуються лінії до навантажень. Має кілька джерел живлення. Переваги: підвищена надійність за рахунок резервування, можливість секціонування при аваріях. Недоліки: висока вартість магістралей, складність компенсації реактивної потужності.

Змішана система являє собою поєднання радіальних та магістральних ділянок. Магістралі об'єднують групи радіально підключених навантажень. Переваги: висока надійність, гнучкість конфігурації. Недоліки: значна протяжність кабельних мереж, складність керування.

Петльова система – це замкнена магістральна мережа із за кільцьованими лініями. Переваги: найвища надійність завдяки резервуванню, можливість секціонування. Недоліки: складність керування, висока вартість.

Для внутрішнього електропостачання підприємства було обрано радіальну схему як більш надійну та зважаючи на не значні відстані від ГЗП до ТП. Напруга розподільної мережі рівна 10 кВ

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Компенсація реактивної потужності є важливим заходом для підвищення енергоефективності систем електропостачання промислових підприємств та інших об'єктів. Вона полягає у згладжуванні коливань реактивного навантаження шляхом підключення спеціальних компенсуючих пристроїв.

Необхідність компенсації реактивної потужності пов'язана з тим, що більшість електроприймачів (асинхронні двигуни, зварювальні трансформатори, освітлювальні прилади тощо) є джерелами реактивного навантаження. Це призводить до зростання струмів та втрат напруги в лініях електропередачі, додаткових втрат активної потужності.

Основні переваги компенсації реактивної потужності такі:

- зменшення втрат активної потужності в лініях живлення (до 30-40%);
- підвищення рівня напруги у вузлах навантаження, якості електроенергії;
- збільшення пропускної спроможності електричних мереж, запобігання перевантаженням;
- зменшення втрат у трансформаторах, подовження їх ресурсу;
- економія на транспортуванні реактивної енергії, зменшення плати за реактивну електроенергію.

Компенсація реактивних навантажень здійснюється батареями конденсаторів, синхронними двигунами, статичними тиристорними компенсаторами. Їх вмикають паралельно навантаженню на підстанціях, розподільних пунктах, безпосередньо біля потужних реактивних приймачів. Оптимальне місце встановлення компенсуючих пристроїв визначається розрахунками.

Таким чином, компенсація реактивної потужності дозволяє суттєво підвищити енергоефективність систем електропостачання і зекономити значні кошти.

4.1 Баланс реактивної потужності

Необхідні дані про електроспоживання для складання балансу реактивної потужності: $P_H = 12750$ кВт; $Q_H = 8281$ квар; $\Delta P_T = 141$ кВт; $\Delta Q_T = 737$ квар; ($P_B = 0$, $Q_B = 0$).

Визначимо максимальну реактивну потужність, що її може генерувати синхронний двигун.

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{сд} = 630 \cdot 0,455613 = 287,04 \text{ квар}$$

$$P_{сд} = N_{сд} P_{ном} K_{вук} = 2 \cdot 630 \cdot 0,69 = 869,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{номсд} = n_{сд} \frac{P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_H}{\eta} = 2 \cdot \frac{630 \cdot 0,455613}{0,957} = 599,87 \text{ квар}$$

$$Q_{\max сд} = n_{сд} \frac{\alpha_M P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_H}{\eta} = 2 \cdot \frac{1,27 \cdot 630 \cdot 0,455613}{0,957} = 761,83 \text{ квар}$$

Виконаємо розрахунок балансу реактивної потужності згідно наведеної в [1] методики:

$$P_p = P_H + \Delta P_m + P_\epsilon + P_{сд} = 12750 + 141 + 0 + 869,4 = 13760,4 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_H + \Delta Q_m + Q_\epsilon - Q_{сд} = 8281 + 737 + 0 - 599,87 = 8418,1 \text{ квар}$$

$$Q_\epsilon = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 13760,4 \cdot 0,15 = 2064,06 \text{ квар}$$

$$Q_{кп} = Q_p - Q_\epsilon = 8418,13 - 2064,06 = 6354,07 \text{ квар}$$

Для передачі в мережу 0,4 кВ визначеної реактивної потужності необхідно встановити мінімально трансформаторів у кількості:

$$N_0 = \frac{P_H}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{12750}{0,7 \cdot 1000} = 18,21 = 19 \text{ шт.}$$

Для варіанту компенсації №1 з числом трансформаторів $N = N_0 = 19$ проведемо розрахунок розподілу потужності компенсуючих пристроїв:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_H^2} = \sqrt{(19 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 12750^2} = 3785,17 \text{ квар.}$$

						Арк.
						33

$$Q_{KH} = Q_N - Q_1 = 8281 - 3785,17 = 4495,83 \text{ квар.}$$

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 8418,13 - 4495,83 - 2064,06 = 1858,24 \text{ квар.}$$

Аналогічним чином виконується розрахунок потужності КП при $N_T = N_0 + 1 = 20$, $N_T = N_0 + 2 = 21$ із зведенням результатів до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Розрахунки потужності компенсуючих пристроїв по напругах

Варіант	N_T	квар		
		Q_1	Q_{KH}	Q_{KB}
1	19	3785,17	4495,83	1858,24
2	20	5782,52	2498,48	3855,59
3	21	7316,25	964,75	5389,32

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Нижче в таблицях 4.2-4.4 приведений результат вибору КП 0,4 кВ та їх розподіл по ТП для варіантів $N_T = 19$, $N_T = 20$, $N_T = 21$.

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

№ ТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість і потужність БК, шт. · квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{кп} - Q_{БК}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3	6	4131,1	2734,4	757,85	1976,6	3·335; 3·337,5;	2017,5	-40,9	0,7	4192,8
4, 5, 6	6	3972,9	2350,7	1362,4	988,3	6·166;	996	-7,7	0,7	4197,5
7	2	1429,4	928,4	0,0	928,4	1·50; 1·67; 2·402;	921	7,4	0,71	1429,5
8	2	1266,4	1029,7	596,9	432,9	2·225;	450	-17,1	0,7	1392,8
9, 10	3	1950,34	1237,8 6	778,57	459,29	3·150;	450	9,29	0,7	2103,46

На стороні 0,4 кВ $Q_{KH} = 4834,5$ квар, 10 кВ – $Q_{KB} = 2 \times 900 = 1800$ квар.

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

№ КТП	n_T	P_p , кВт	Q_p , квар	Q_{np} , квар	Q_{kn} , кВАр	Кількість і потужність БК, шт. · квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{кп-}$ $Q_{бк}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3	7	4131,1	2734,4	2635,2	99,2	1·50;	50	49,2	0,7	4926,6
4, 5, 6	6	3972,9	2350,7	1362,4	988,3	2·150; 4·166;	964	24,3	0,7	4207,9
7	2	1429,4	928,4	0,0	928,4	2·50; 2·402;	904	24,4	0,71	1429,6
8	2	1266,4	1029,7	596,9	432,9	2·200;	400	32,9	0,71	1414,3
9, 10	3	1950,34	1237,86	778,57	459,29	3·150;	450	9,29	0,7	2103,46

На стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 2768$ квар, 10 кВ – $Q_{кв} = 2 \times 1800 = 3600$ 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_{kn} , кВАр	Кількість і потужність БК, шт. · квар	$Q_{БК}$, квар	$Q_{кп-}$ $Q_{бк}$, квар	K_3	S_p , кВА
1, 2, 3	7	4131,1	2734,4	2635,2	99,2		0	99,2	0,71	4954,1
4, 5, 6	7	3972,9	2350,7	2868,1	0,0		0	0,0	0,66	4616,2
7	2	1429,4	928,4	0,0	928,4	2·402;	804	124,4	0,72	1434,8
8	2	1266,4	1029,7	596,9	432,9	2·100;	200	232,9	0,76	1514,0
9, 10	3	1950,34	1237,86	778,57	459,29		0	459,29	0,77	2310,01

На стороні 0,4 кВ $Q_{кн} = 1004$ квар, 10 кВ – $Q_{кв} = 2 \times 2700 = 5400$ квар.

Визначимо приведені витрат на компенсацію для випадку $N_T = N_0 = 19$.

Втрати активної потужності в елементах для варіанту компенсації №1:

$$\Delta P_{кн} = P_{пит}^{кн} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 4834,5 = 21,76 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{кв} = P_{пит}^{кв} \cdot Q_{кв} = 0,003 \cdot 1800 = 5,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{лп} = \frac{P_{нн}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{12750^2 + 3785,17^2}{10^2} \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 88,45 \text{ кВт}$$

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

де

Таблиця 4.6. Електричні навантаження вище 1 кВ з урахуванням розстановки КП

Підрозділи	Кіль- кість	$P_{\text{одиниці, кВт}}$		$P_{\text{сумарне, кВт}}$	m	K_v	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Середньозмін. навантаження		$n_{\text{еф}}$	K_m	Розрахунков. навантаження		
		Мін	max						$P_{\text{зм, кВт}}$	$Q_{\text{зм, квар}}$			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
ТП 1, 2, 3															
Паперова машина №1															
силове:	91	3	55	2703	18	0,65	0,85	0,62	1757	1088,86	91	1,07	1878,34	1088,86	2171,12
освітлювальне:									39,42				44,84	21,7	
Всього:									1796,4	1088,86			1923,18	1110,56	2220,8
Паперова машина №2															
силове:	91	3	55	2697	18	0,65	0,85	0,62	1753,1	1086,44	91	1,07	1874,17	1086,44	2166,3
освітлювальне:									48,44				55,1	26,67	
Всього:									1801,5	1086,44			1929,27	1113,11	2227,35
Сировинне відділення															
силове:	16	5	10	155	2	0,24	0,5	1,73	37,2	64,43	16	1,56	57,86	64,43	86,6
освітлювальне:									7,34				8,35	4,04	
Всього:									44,54	64,43			66,21	68,47	95,25
Відділення для варіння №1															
силове:	26	5	30	305	6	0,34	0,7	1,02	103,7	105,8	20	1,37	142,2	105,8	177,24
освітлювальне:									26,23				25,07	12,13	
Всього:									129,93	105,8			167,27	117,93	204,66
Відбілювальний відділ															
силове:	16	5	22	252	4	0,6	0,7	1,02	151,2	154,25	16	1,22	184,08	154,25	240,16
освітлювальне:									17,49				19,89	9,63	
Всього:									168,69	154,25			203,97	163,88	261,65
Відділення для варіння №2															
силове:	25	11	18	402	2	0,35	0,7	1,02	140,7	143,54	25	1,32	185,5	143,54	234,55
освітлювальне:									36,63				35,01	16,94	
Всього:									177,33	143,54			220,51	160,48	272,72

Продовження табл. 4.6

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Всього по ТП 1, 2, 3:															
силове:	265	3	55	6514	18	0,61	0,83	0,67	3942,8	2643,32	237	1	3942,8	2643,32	4746,87
освітлювальне:									175,55				188,26	91,11	
БК 0,4 кВ										-2017,5				-2017,5	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1, 2, 3:									4118,4	625,82			4131,06	716,93	4192,81
Втрати в трансформаторах:													46,93	245,15	
Кільк. трансформаторів: 6															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2, 3:													4177,99	962,08	4287,33
ТП 4, 5, 6															
Паперова машина №3															
силове:	103	5	140	3205	28	0,60	0,85	0,62	1923	1191,77	46	1,12	2151,56	1191,77	2459,58
освітлювальне:									9,06				10,3	4,99	
Всього:									1932,1	1191,77			2161,86	1196,76	2471,01
Паперові машини №5, 6, 7															
силове:	101	5	55	2105	11	0,60	0,85	0,62	1263	782,74	77	1,09	1375,52	782,74	1582,64
освітлювальне:									26,7				30,37	14,7	
Всього:									1289,7	782,74			1405,89	797,44	1616,3
Цех паперу															
силове:	53	2,5	50	602,5	20	0,60	0,80	0,75	361,5	271,12	24	1,17	423,65	271,12	502,98
освітлювальне:									20,56				23,38	11,32	
Всього:									382,06	271,12			447,03	282,44	528,78
Склад №4															
силове:	9	2,5	15	42,5	6	0,50	0,80	0,75	21,25	15,94	6	1,52	32,34	17,53	36,79
освітлювальне:									9,28				6,96	3,37	
Всього:									30,53	15,94			39,3	20,9	44,51
Територія підприємства															
освітлювальне:									28,2				31,58	54,7	
Всього:									28,2	0			31,58	54,7	63,16

Продовження табл. 4.6

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Всього по ТП 4, 5, 6:															
силове:	266	2,5	140	5955	56	0,60	0,84	0,63	3568,8	2261,57	85	1,08	3870,31	2261,57	4482,63
освітлювальне:									93,8				102,59	89,08	
БК 0,4 кВ										-996				-996	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4, 5, 6:									3662,6	1265,57			3972,9	1354,65	4197,5
Втрати в трансформаторах:													47	245,51	
Кільк. трансформаторів: 6															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 4, 5, 6:													4019,9	1600,16	4326,67
ТП 7															
Пресовий цех															
силове:	69	4,5	106	1940	24	0,66	0,81	0,72	1273	921,64	37	1,11	1415,42	921,64	1689,03
освітлювальне:									12,33				14,02	6,79	
Всього:									1285,3	921,64			1429,44	928,43	1704,49
Всього по ТП 7:															
силове:	69	4,5	106	1940	24	0,66	0,81	0,72	1273	921,64	37	1,11	1415,42	921,64	1689,03
освітлювальне:									12,33				14,02	6,79	
БК 0,4 кВ										-921				-921	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 7:									1285,3	0,64			1429,44	7,43	1429,46
Втрати в трансформаторах:													16,14	84,19	
Кільк. трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,71															
Всього на шинах 10 кВ ТП 7:													1445,58	91,62	1448,48

Продовження табл. 4.6

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
ТП 8															
Насосна															
силове:	12	3	18	153	6	0,6	0,7	1,02	91,8	93,65	12	1,26	115,48	93,65	148,68
освітлювальне:									5,58				6,35	3,07	
Всього:									97,38	93,65			121,83	96,72	155,55
Компресорна															
силове:	12	112	250	1512	2	0,6	0,7	1,02	907,2	925,53	12	1,26	1141,2	925,53	1469,33
освітлювальне:									14,81				15,41	7,46	
Всього:									922,01	925,53			1156,61	932,99	1486,01
Всього по ТП 8:															
силове:	24	3	250	1665	83	0,6	0,7	1,02	999	1019,18	13	1,25	1244,64	1019,18	1608,68
освітлювальне:									20,39				21,76	10,53	
БК 0,4 кВ										-450				-450	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 8:									1019,4	569,18			1266,4	579,71	1392,78
Втрати в трансформаторах:													15,57	81,35	
Кільк. трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: $K_3 = 0,7$															
Всього на шинах 10 кВ ТП 8:													1281,97	661,06	1442,37
ТП 9, 10															
Паперова машина №4															
силове:	51	5	55	1505	11	0,6	0,85	0,62	903	559,63	51	1,11	1004,28	559,63	1149,68
освітлювальне:									46,28				52,64	25,48	
Всього:									949,28	559,63			1056,92	585,11	1208,07
Кислотний цех															
силове:	10	30	120	600	4	0,51	0,8	0,75	306	229,5	10	1,37	418,71	252,45	488,93
освітлювальне:									12,91				12,18	5,9	
Всього:									318,91	229,5			430,89	258,35	502,41

Продовження табл. 4.6

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Киснева станція															
силове:	21	11	55	405	5	0,6	0,7	1,02	243	247,91	15	1,23	297,89	247,91	387,55
освітлювальне:									10,74				12,22	5,91	
Всього:									253,74	247,91			310,11	253,82	400,74
Склад №1															
силове:	16	4,5	18	249	4	0,5	0,8	0,75	124,5	93,37	16	1,29	160,01	93,37	185,26
освітлювальне:									22,7				17,03	8,24	
Всього:									147,2	93,37			177,04	101,61	204,13
Склад №2															
силове:	13	2,5	7,5	52,5	3	0,5	0,8	0,75	26,25	19,69	13	1,32	34,72	19,69	39,91
освітлювальне:									8,15				6,02	2,91	
Всього:									34,4	19,69			40,74	22,6	46,59
Склад №3															
силове:	15	2,5	11	61	4	0,5	0,8	0,75	30,5	22,87	11	1,36	41,37	22,87	47,27
освітлювальне:									12,87				9,5	16,45	
Всього:									43,37	22,87			50,87	39,32	64,29
Всього по ТП 9, 10:															
силове:	126	2,5	120	2872,5	48	0,57	0,81	0,72	1633,3	1172,97	48	1,13	1840,74	1172,97	2182,7
освітлювальне:									113,65				109,59	64,89	
БК 0,4 кВ										-450				-450	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 9, 10:									1746,9	722,97			1950,33	787,86	2103,45
Втрати в трансформаторах:													23,57	123,12	
Кільк. трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантажен.: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10:													1973,9	910,98	2173,98

Продовження табл. 4.6

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
Всього по об'єкту															
силове:	750	2,5	250	18947	100	0,6	0,96	0,28	11417	3184,18	152	1,06	12108,7	3184,18	12520,34
освітлювальне:									415,72				436,22	262,4	
Всього:									11833	3184,18			12544,9	3446,58	13009,73
Потужність КП 0,4 кВ:										-4834,5				-4834,5	
Втрати в трансформаторах:													149,21	779,31	
Всього по об'єкту:													12694,1	4225,89	13379,03
Високовольтне навантаження															
Синхронні двигуни	2	630	630	1260		0,69	0,91	0,46	869,4	-396,11			869,4	-396,11	955,38
Всього високовольтного навантаження:													869,4	-396,11	955,38
Всього по об'єкту 10 кВ:													13563,5	3829,78	14093,82
КП 10 кВ:														-1800	
Всього 10 кВ з КП:													13563,5	2029,78	13714,54
tgf = 0,15															

ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

Трансформатори ТП-1000/10/04 умовам вибору задовільняють. Дані про перевірку для інших ТП приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Перевірка цихових ТП за умовами вибору\

№ ТП	К-сть	$S_{роз}, \text{кВА}$	K_3	$S_{ном} > S_p/K_1$	$S_{ном} > S_p/K_2$
ТП-1	2	1397,60	0,699	1294,1	998,3
ТП-2	2	1397,60	0,699	1294,1	998,3
ТП-3	2	1397,60	0,699	1294,1	998,3
ТП-4	2	1399,17	0,700	1295,5	999,4
ТП-5	2	1399,17	0,700	1295,5	999,4
ТП-6	2	1399,17	0,700	1295,5	999,4
ТП-7	2	1429,46	0,715	1323,6	1021,0
ТП-8	2	1392,78	0,696	1289,6	994,8
ТП-9	2	1402,31	0,701	1298,4	1001,7
ТП-10	1	701,15	0,701	649,2	500,8

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Згідно приведеної в [1] методики проведемо розрахунок струмів коротких замкнень відповідно до розрахункової схеми рис. 6.1 та її відповідній схемі заміщення рис. 6.2.

Визначимо активні та індуктивні опори елементів системи

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{115^2}{96000} = 0,138 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,138}{25} = 0,006 \text{ Ом}$$

$$R_{\pi} = r_0 \cdot l = 0,422 \cdot 8,543 = 3,6051 \text{ Ом}, \quad X_{\pi} = x_0 \cdot l = 0,444 \cdot 8,543 = 3,79 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{60 \cdot 10,5^2}{10000^2} \cdot 10^3 = 0,066 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp,ном}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 10,5^2}{10000} \cdot 10 = 1,158 \text{ Ом}$$

$$X_{K0} = X_c + X_{\pi} = 0,138 + 3,79 = 3,928 \text{ Ом}$$

$$R_{K0} = R_c + R_{\pi} = 0,006 + 3,6051 = 3,6111 \text{ Ом}$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{3,6111^2 + 3,928^2} = 5,336 \text{ Ом}$$

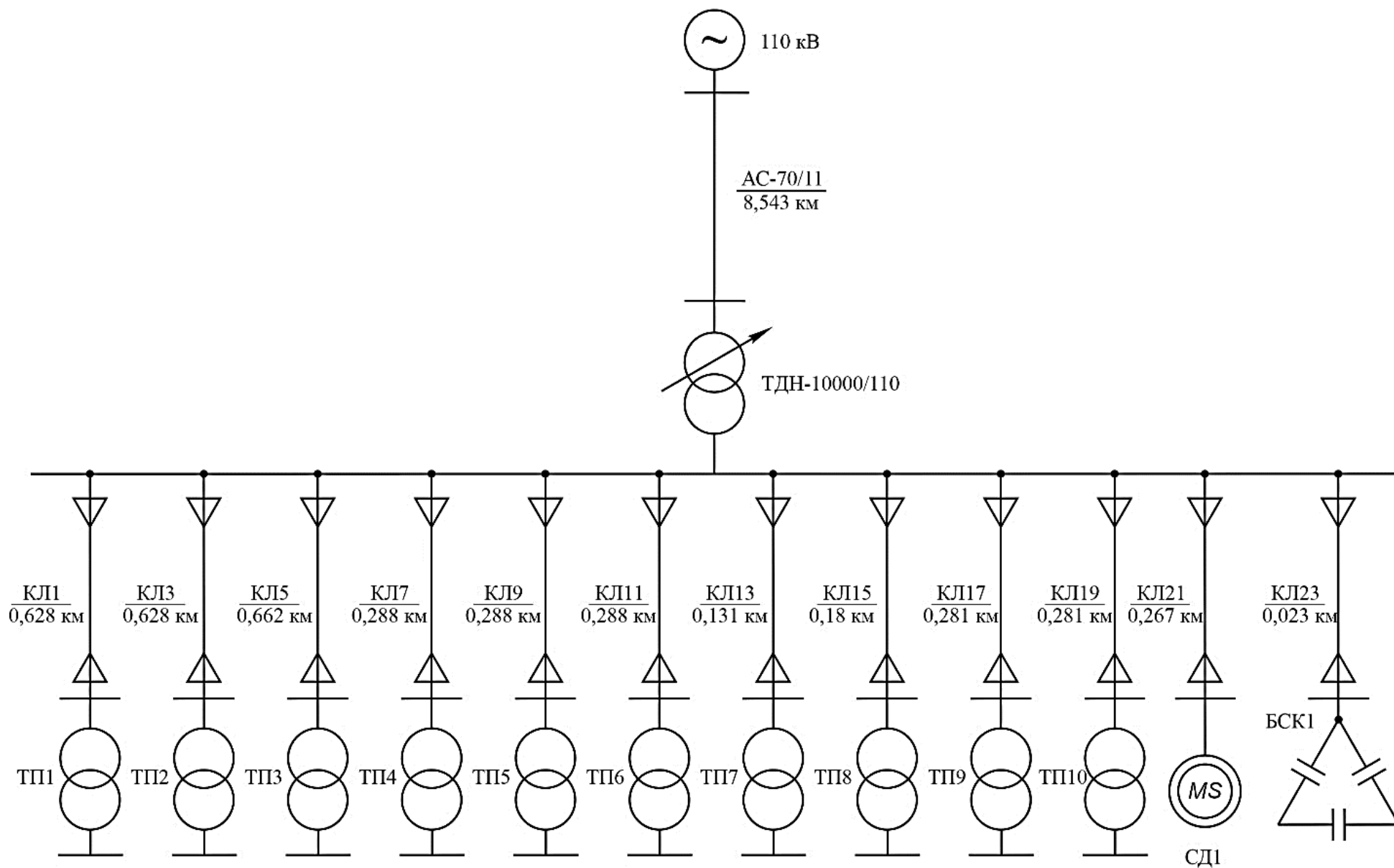


Рисунок 6.1. Розрахункова схема системи електропостачан.

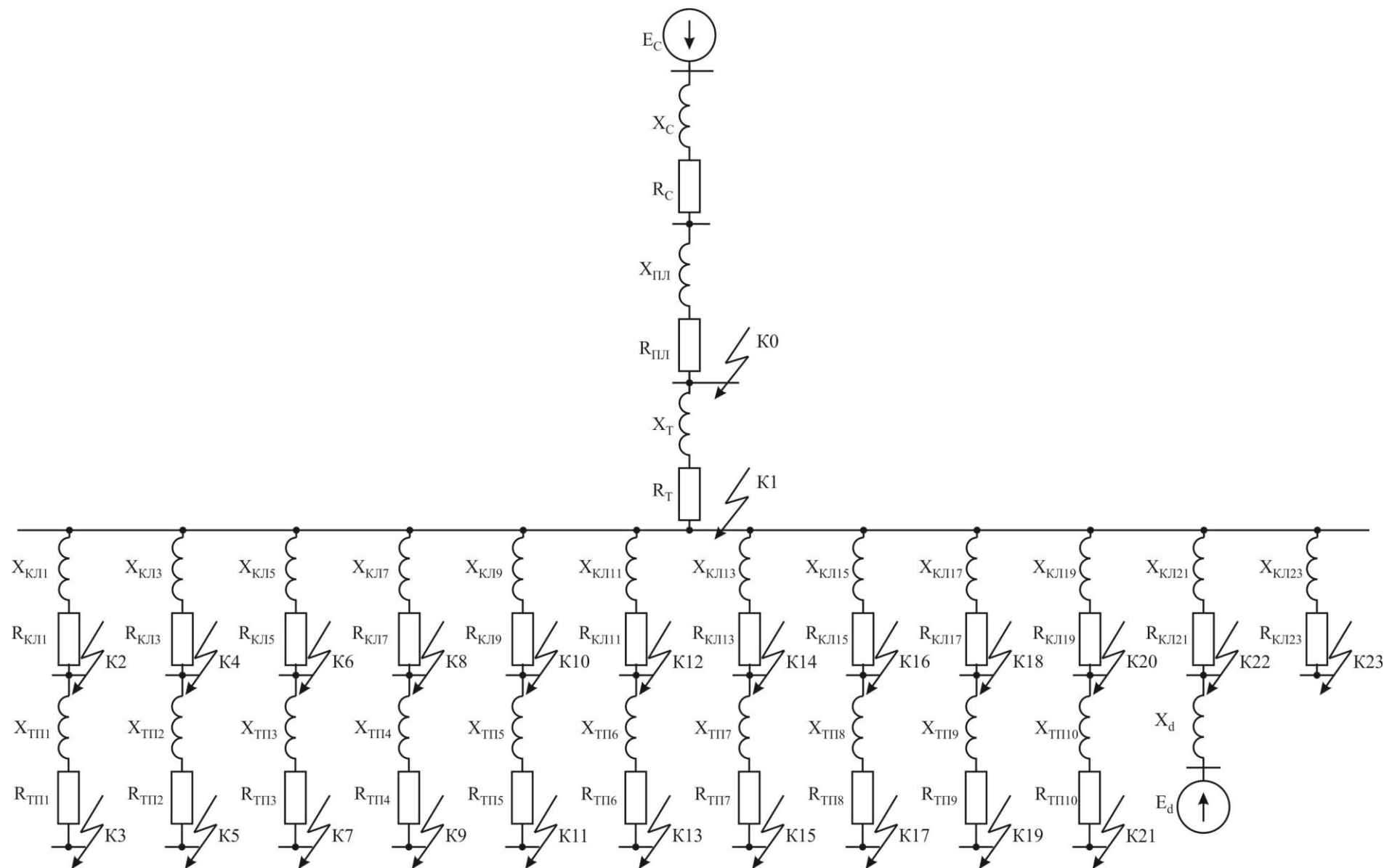


Рисунок 6.2. Схема заміщення системи електропостачан.

Таким чином для місця K_0 визначимо показники короткого замикання:

$$I''_{K0} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 5,336} = 12,443 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{3,928}{314 \cdot 3,6111} = 0,0035 \text{ с}$$

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

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K0} = \sqrt{2} \cdot 1,057 \cdot 12,443 = 18,6 \text{ кА}$$

Опори в точці K_0 приведені до сторони 10 кВ ГЗП:

$$X'_{K0} = X_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 3,928 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,033 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 3,6111 \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,03 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = 5,336 \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,044 \text{ Ом}$$

Опори для точки K_1 :

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,033 + 1,158 = 1,191 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,03 + 0,066 = 0,096 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,096^2 + 1,191^2} = 1,195 \text{ Ом}$$

Показники короткого замикання для точки K_1 :

$$I'_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,195} = 5,073 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,191}{314 \cdot 0,096} = 0,0395 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0395}} = 1,776$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,776 \cdot 5,073 = 12,742 \text{ кА}$$

Визначимо дію від підживлення синхронних двигунів 10 кВ.

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,63}{0,91 \cdot 0,957} = 0,723 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}} = \frac{0,723}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,04 \text{ кА}$$

$$I''_{K1(сд)} = n_{сд} \frac{E_*}{x_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,151} \cdot 0,04 = 0,583 \text{ кА}$$

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

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

$$i_{y\partial 1(сд)} = \sqrt{2} k_{y\partial(сд)} I''_{K1(сд)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,583 = 1,493 \text{ кА}$$

Сумарний характеристики короткого замикання від дії системи і СД:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(сд)} = 5,073 + 0,583 = 5,656 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(сд)} = 12,742 + 1,493 = 14,235 \text{ кА}$$

Визначимо необхідні параметри для вибору кабелів:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{cp, ном}} = \frac{1397,6}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,42 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 5,656^2 (1,025 + 0,0395) = 34,05 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{34,05} \cdot 10^3 = 62,08 \text{ мм}^2$$

Для виконання мережі використаємо ААШв-10(3 х 70).

						Арк.
						49

Опори кабелю лінії КЛ1 розраховані нижче, для інших зведено в табл. 6.1.:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,628 = 0,278 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,628 = 0,054 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	l, км	r ₀ , Ом/км	R, Ом	x ₀ , Ом/км	X, Ом
1, 2	0,628	0,443	0,278	0,086	0,054
3, 4	0,628	0,443	0,278	0,086	0,054
5, 6	0,662	0,443	0,293	0,086	0,057
7, 8	0,288	0,443	0,128	0,086	0,025
9, 10	0,288	0,443	0,128	0,086	0,025
11, 12	0,288	0,443	0,128	0,086	0,025
13, 14	0,131	0,443	0,058	0,086	0,011
15, 16	0,18	0,443	0,08	0,086	0,015
17, 18	0,281	0,443	0,124	0,086	0,024
19	0,281	0,443	0,124	0,086	0,024
20, 21	0,267	0,443	0,118	0,086	0,023
22, 23	0,023	0,443	0,01	0,086	0,002

Опори до точки К₂:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,191 + 0,054 = 1,245 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,096 + 0,278 = 0,374 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,374^2 + 1,245^2} = 1,3 \text{ Ом}$$

Показники короткого замикання в точці К₂:

$$I''_{K2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,3} = 4,663 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,245}{314 \cdot 0,374} = 0,0106 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0.0106}} = 1,389$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,389 \cdot 4,663 = 9,16 \text{ кА}$$

Опори до точки К3

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

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

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,245 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,374 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0019 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0019^2 + 0,0106^2} = 0,0108 \text{ Ом}$$

Показники короткого замикання в точці К3:

$$I''_{K3} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0108} = 21,383 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0019} = 0,0178 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0.01}{0.0178}} = 1,57$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,57 \cdot 21,383 = 47,477 \text{ кА}$$

Аналогічно розраховуються показники короткого замикання для інших точок, а результати приведені в табл. 6.2.

						Арк.
						51

Таблиця 6.2. Струмів короткого замикання в точках розрахункової схеми

№ точки к.з.	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$	$I_k'', \text{А}$	$T_a, \text{с}$	k_{yd}	$i_{yd}, \text{кА}$
0	3,611	3,928	12443	0,0035	1,057	18,600
1	0,096	1,191	5656	0,0395	1,776	14,235
2	0,374	1,245	4660	0,0106	1,389	9,150
3	0,002	0,011	21380	0,0178	1,570	47,470
4	0,374	1,245	4660	0,0106	1,389	9,150
5	0,002	0,011	21380	0,0178	1,570	47,470
6	0,389	1,248	4640	0,0102	1,375	9,020
7	0,002	0,011	21380	0,0178	1,570	47,470
8	0,224	1,216	4900	0,0173	1,561	10,820
9	0,002	0,011	21580	0,0199	1,605	48,980
10	0,224	1,216	4900	0,0173	1,561	10,820
11	0,002	0,011	21580	0,0199	1,605	48,980
12	0,224	1,216	4900	0,0173	1,561	10,820
13	0,002	0,011	21580	0,0199	1,605	48,980
14	0,154	1,202	5000	0,0249	1,669	11,800
15	0,002	0,011	21790	0,0209	1,620	49,920
16	0,176	1,206	4970	0,0218	1,632	11,470
17	0,002	0,011	21580	0,0211	1,623	49,530
18	0,220	1,215	4910	0,0176	1,567	10,880
19	0,002	0,011	21580	0,0199	1,605	48,980
20	0,220	1,215	4910	0,0176	1,567	10,880
21	0,002	0,011	21580	0,0199	1,605	48,980
22	0,214	1,214	4920	0,0181	1,576	10,970
23	0,214	1,214	4920	0,0181	1,576	10,970

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Для вибору кабелів 10 кВ визначимо розрахунковий струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{ср.ном}} = \frac{1397,6}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,42 \text{ А}$$

Обираємо ААШВ-10(3х70) та виконуємо перевірку за умовами вибору:

$$I_p = 38,42 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,92 \cdot 130 = 119,6 \text{ А}$$

$$I_{ас} = 76,84 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{дон} = 1,25 \cdot 1 \cdot 130 = 162,5 \text{ А}$$

$$B_k = I_{КЛ}^2 (t_{п.з.мин} + T_a) = 4,66^2 (1,025 + 0,0395) = 34,05 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{34,05 \cdot 10^3} = 62,08 \text{ мм}^2$$

Результати розрахунків із вибору інших КЛ наведено в табл. 6.3.

						Арк.
						53

Таблиця. 6.3. Вибір та перевірка кабельних ліній напругою 10 кВ

<i>№ КЛ</i>	<i>n, шт</i>	<i>S_p, МВА</i>	<i>I_p, А</i>	<i>I_{p.ав.}, А</i>	<i>B_к, кА²с</i>	<i>F_{min}, мм²</i>	<i>Марка кабелю</i>	<i>I_{доп}, А</i>	<i>K_n</i>	<i>K_nI_{доп}, А</i>	<i>K_{ан}</i>	<i>K_n</i>	<i>K_{ан}K_nI_{доп}, А</i>
1, 2	2	1397,6	38,42	76,84	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
3, 4	2	1397,6	38,42	76,84	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
5, 6	2	1397,6	38,42	76,84	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
7, 8	2	1399,17	38,47	76,94	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
9, 10	2	1399,17	38,47	76,94	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
11, 12	2	1399,17	38,47	76,94	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
13, 14	2	1429,46	39,3	78,6	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
15, 16	2	1392,78	38,29	76,58	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
17, 18	2	1402,31	38,55	77,1	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
19	1	701,15	38,55	-	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	1	130	-	-	-
20	1	477,69	26,27	-	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	1	130	-	-	-
21	1	477,69	26,27	-	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	1	130	-	-	-
22	1	900	49,49	-	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	1	130	-	-	-
23	1	900	49,49	-	34,05	62,08	ААШВ-10 (3 * 70)	130	1	130	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Був здійснений вибір ввідних вимикачів 110 кВ та 10 кВ, результати приведені в табл. 6.4 та табл. 6.5.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 110 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
по напрузі	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
по струму	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$73,48 \leq 3150$
по здатності до відключення:		
- симетричної складової	$I_{K0}'' \leq I_{дин.ст.}$	$12,443 \leq 40$
- аперіодичної складової	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$0 \leq 19,8$
- повної складової	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.}(1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 12,443 + 0 < < 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $17,6 \leq 76,37$
по динамічній стійкості:		
- симетричної складової	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$12,443 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$18,61 \leq 132,37$
по тепловій стійкості	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$161,87 \leq 1200$

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

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 41 \cdot 12,443 \cdot e^{\frac{-0,042}{0,0035}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз.мах} + T_a) = 2,443^2 (0,022 + 1,02 + 0,0035) = 161,87 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо елегазовий вимикач типу LTB-145D1/В для встановлення на ввіді ВН та в якості секційного.

Таблиця 6.5. Результати вибору ввідного вимикача 10 кВ

Параметр вимикача	Умови вибору	Розрахунок
по напрузі	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,5 \leq 11$
по струму	$I_{роб.форс.} \leq I_{ном}$	$769,8 \leq 1000$
по здатності до відключення:		
- симетричної складової	$I_{K0}'' \leq I_{дин.ст.}$	$5,073 \leq 20$
- аперіодичної складової	$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$	$1,32 \leq 11,31$
- повної складової	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл.} (1 + \beta_n)$	$1,41 \cdot 5,073 + 1,32 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $8,49 \leq 39,6$
по динамічній стійкості:		
- симетричної складової	$I_{пт} \leq I_{дин.ст.}$	$5,073 \leq 52$
- ударний струм	$i_{уд} \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст.}$	$12,74 \leq 132,37$
по тепловій стійкості	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$40,7 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,025 + 0,042 = 0,067 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,073 \cdot e^{\frac{-0,067}{0,0395}} = 1,32 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 5,073^2 (0,042 + 1,5 + 0,0395) = 40,7 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо вакуумний вимикач типу ВР2-10-20/1600 на вводах НН, в якості секційного - ВР1-10-20/1000, на відхідних лініях - ВР1-10-20/630. На 110 кВ встановлюються роз'єднувачі РНДЗ.2-110/1000 У1 та розрядники РВС-110МУ1. На 10 кВ встановлюються ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Для змінного оперативного струму схема підключення трансформаторів власних потреб наведена на рис. 6.3.

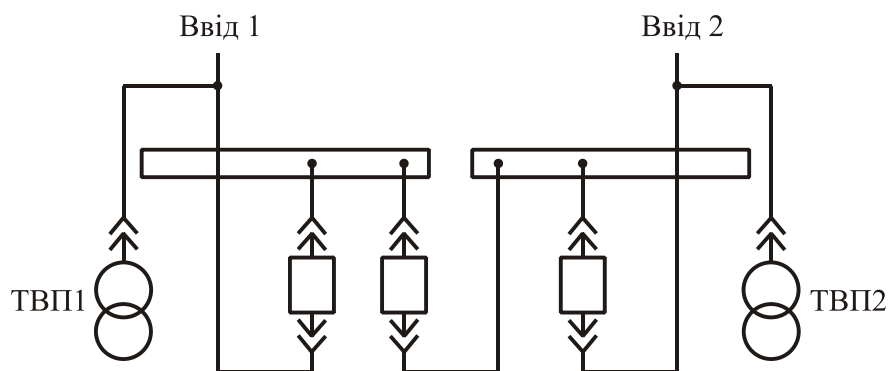


Рисунок 6.3. Під'єднання ТВП на ГЗП

В табл. 6.6 виконаний розрахунок необхідної потужності ТВП.

Таблиця 6.6. Розрахунок електричних навантажень ТВП

№ з/п	Споживачі	$P_{\text{ном}},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{\text{сум}},$ кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{уст}},$ кВт	$Q_{\text{уст}},$ квар
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів 10 МВА	7	4	28	0,85	0,62	28	17
2	Пристрої підігріву вимикачів 110 кВ	1,75	3	5,25	0,96	0,29	5,25	2
3	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	32	19,2	0,96	0,29	19,2	6
4	Опалення та освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,95	0,33	18	6
5	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,95	0,33	18	6
6	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,95	0,33	18	6
Всього							107	43

Сумарне навантаження ТВП:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{106,5^2 + 43^2} = 114,85 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 114,85 = 91,88 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення два ТМ-63/10, які будуть завантажені на

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{91,88}{2 \cdot 63} = 0,73$$

РОЗДІЛ 7

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Для оцінки ефективності побудованої гібридної системи енергопостачання необхідно провести перевірку на математичній моделі. Математична модель створюється за допомогою програмного забезпечення MatLab Simulink.

Simulink є графічним середовищем, призначеним для імітаційного моделювання. Воно дозволяє будувати динамічні моделі з нелінійними та неперіодичними системами на основі блок-діаграм у вигляді орієнтованих графів.

Інтерактивне середовище Simulink надає користувачам доступ до вбудованих бібліотек блоків для моделювання електроенергетичних, механічних та гідравлічних систем. Крім того, воно забезпечує розвинений модельно-орієнтований підхід під час розробки систем керування, засобів зв'язку та пристроїв реального часу.

Simulink є потужним інструментом для моделювання та аналізу різноманітних систем, включаючи системи енергопостачання. Він пропонує широкий набір бібліотек блоків, що дозволяє створювати детальні та точні моделі для різних галузей застосування. Користувачі можуть візуально конструювати моделі, підключати вхідні та вихідні сигнали, налаштовувати параметри блоків та проводити симуляції для оцінки продуктивності моделі.

7.1 Імітаційне моделювання вітроенергетичної установки

Для подальшого аналізу було обрано гібридну систему електропостачання з вітроелектричною установкою. Розрахункове пікове навантаження модельованого об'єкта складає 11000 Вт. Для забезпечення потреб у електричній енергії передбачається установка вітроелектричної установки номінальною потужністю 8000 Вт, дизельний генератор потужністю 6000 Вт, акумуляторна батарея ємністю

450 Агод, інвертор потужністю 15000 Вт.

Для метою аналізу показників ефективності роботи гібридної системи електропостачання, яка включає вітроенергетичну установку (ВЕУ), на основі вхідних параметрів, запропонована модель ВЕУ малої потужності із варіацією швидкості обертання ротора. Схема імітаційної моделі приведена на рис. 7.1

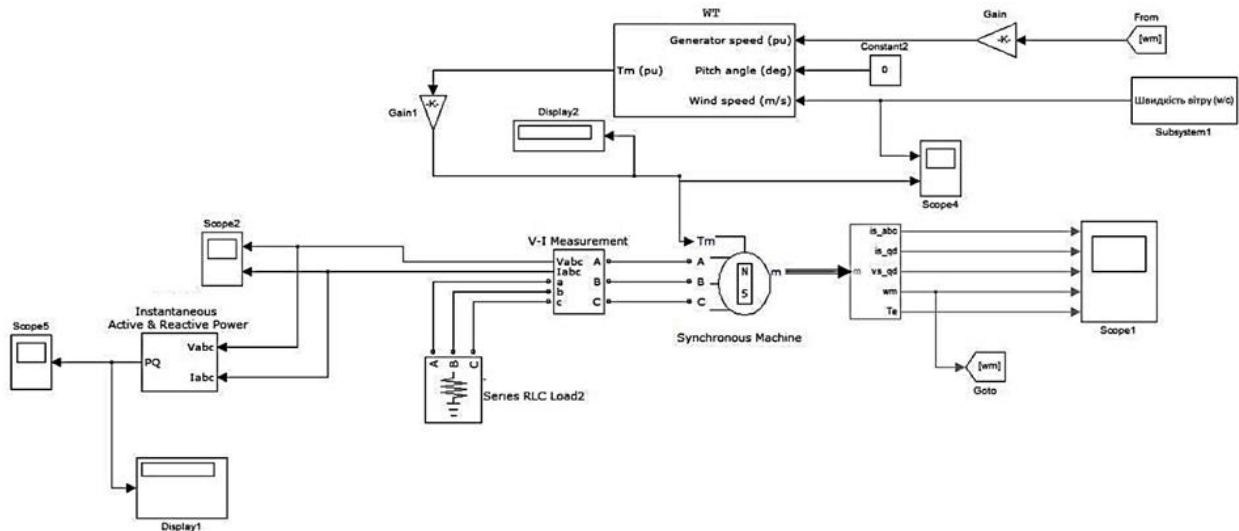


Рисунок 7.1. Схема імітаційної моделі ВЕУ в Matlab-середовищі

Враховуючи складність нелінійного об'єкта, яким є ВЕУ, слід створити комплексну математичну модель, яка включала б більш дрібні підсистеми, зручні для аналізу. Саме тому створена модель ВЕУ включає моделі вітрової турбіни та генератора електричної енергії синхронного типу на основі постійних магнітів. В моделі реалізоване перетворення енергії вітрових потоків за допомогою вітрового колеса, яке обертає ротор електричного генератора. Генератор наступною ланкою крізь перетворювач заживлює навантаження або накопичує енергію в акумуляторних батареях (АКБ).

На вхід блоку WT (вітрова турбіна), значення якого подано у відносних одиницях (в.о.), задається швидкість вітру в метрах за секунду (м/с). Вітровий рушій (колесо) видає механічний момент двигуна відповідно до механічної характеристики, яка проілюстрована на рис. 7.2. Перерахунок у відносні одиниці здійснюється за допомогою коефіцієнтів T_m (номінальне значення моменту) та w_n (номінальне значення роторної швидкості). Із розгляду механічної

характеристики можна помітити, що за певних значень швидкості вітру та частоти обертання може бути розвинута максимальна механічна потужність.

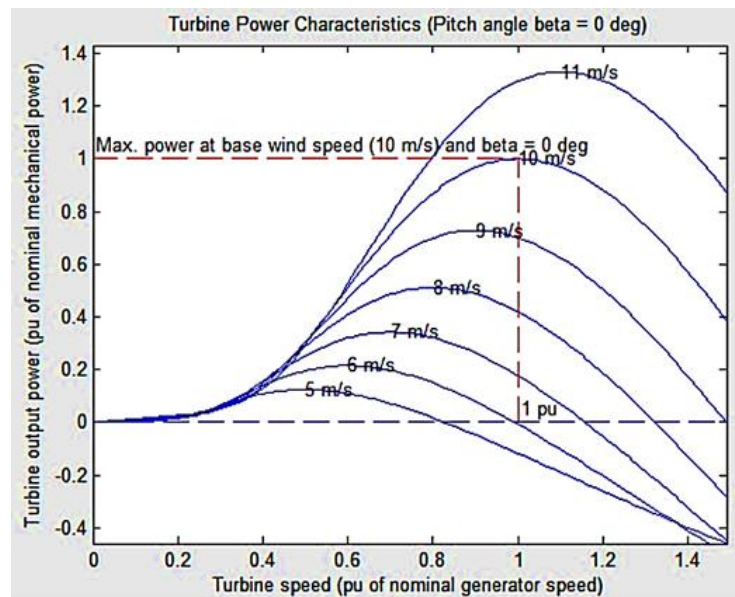
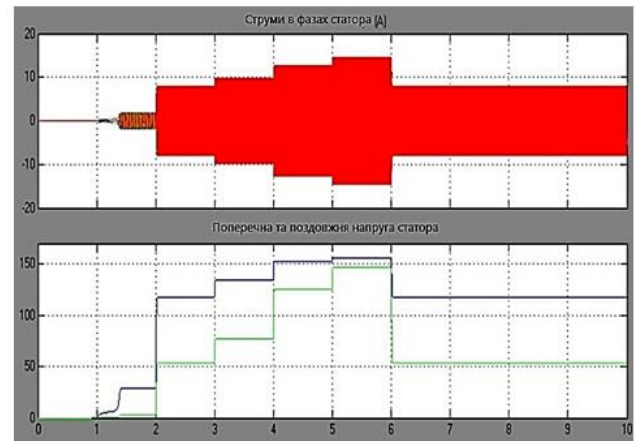
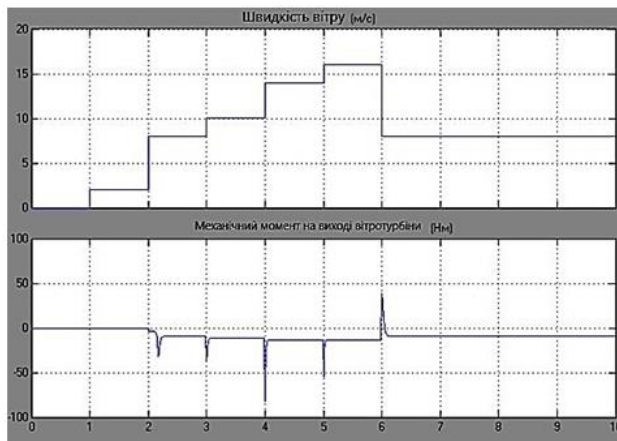


Рисунок 7.2. Механічна характеристика ВЕУ.

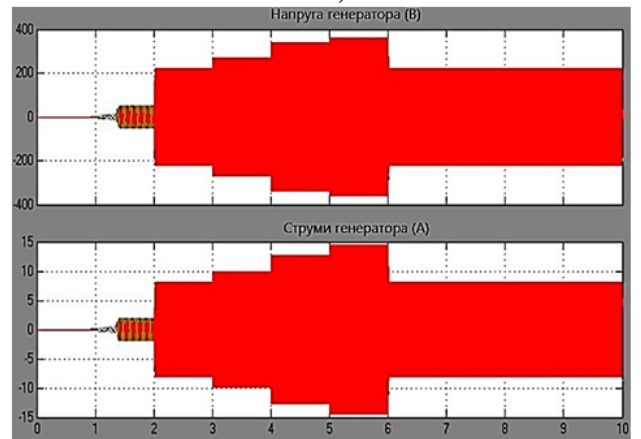
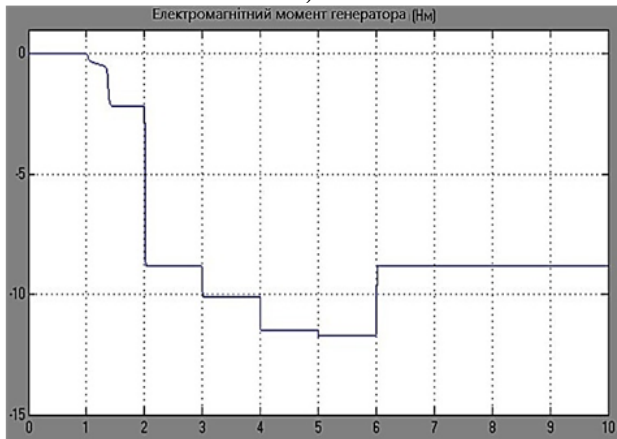
Генератор, залежно від поточного значення навантаження, нарощує (за малих навантажень) або обмежує (при великих навантаженнях) швидкість обертання ротора. При варіюванні швидкості ротора змінним є і момент вітрового колеса. Так реалізується керування навантаженням генератора, а ВЕУ стає можливим переводити в різні точки роботи на механічній характеристиці для досягнення максимальної їх ефективності.

Результати імітаційного моделювання основних електромагнітних параметрів представлено на рис. 7.3. З графіків рис. 7.3, отриманих в результаті імітаційного моделювання, можна побачити, що в першу секунду швидкість вітру збільшується до значення 2 м/с, і починається розгін генератора. Однак, зауважуючи низьку швидкість вітрового потоку та з урахуванням механічної характеристики ВЕУ, електрична потужність на виході незначна. У момент часу 2,0 с спостерігається ріст швидкості вітру до значення 8 м/с, внаслідок чого ротор генератора прискорюється та віддає більшу потужність в мережу. Аналогічно відбувається і в наступні моменти часу.



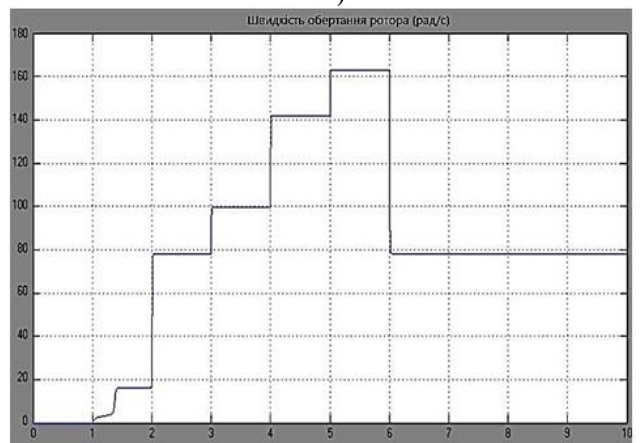
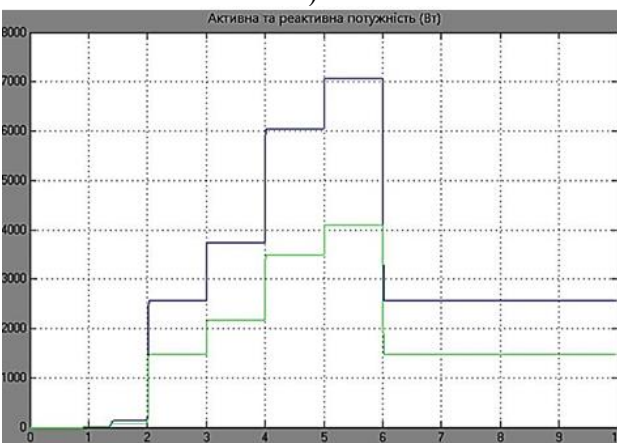
а)

б)



в)

г)



д)

е)

а – швидкість вітру та вихідний механічний момент ВЕУ; б – фазні струми статора, поперечна та поздовжня напруги статора; в – електромагнітний момент генератора; г – лінійні значення напруги та струму генератора; д – потужності генератора (активна та реактивна); е – кутова швидкість ротора

Рисунок 7.3 Графічні результати імітаційного моделювання основних параметрів

У момент часу, що відповідає п'ятій секунді моделювання спостерігається чергове ступінчасте зростання швидкості вітру до значення 14 м/с., яка є

номінальною швидкістю для модельованого типу ВЕУ та відповідає видачі номінальної потужності в електричну мережу споживача або переходом на зарядження акумуляторних батарей (АКБ) через некерований випрямляч.

Слід зазначити, що в реальних умовах швидкість вітру не змінюється ступінчасто, а має плавні коливання та пориви. Тому для більш точного моделювання потрібно використовувати дані про профіль швидкості вітру для конкретної місцевості, отримані з метеорологічних спостережень.

7.2 Імітаційне моделювання дизельного електрогенератора

Для імітаційного моделювання роботи дизельного електрогенератора було прийнято спрощення, яке передбачає роботу генератора з постійною потужністю, для чого використано модель синхронного генератора, що зображено на рис. 7.4.

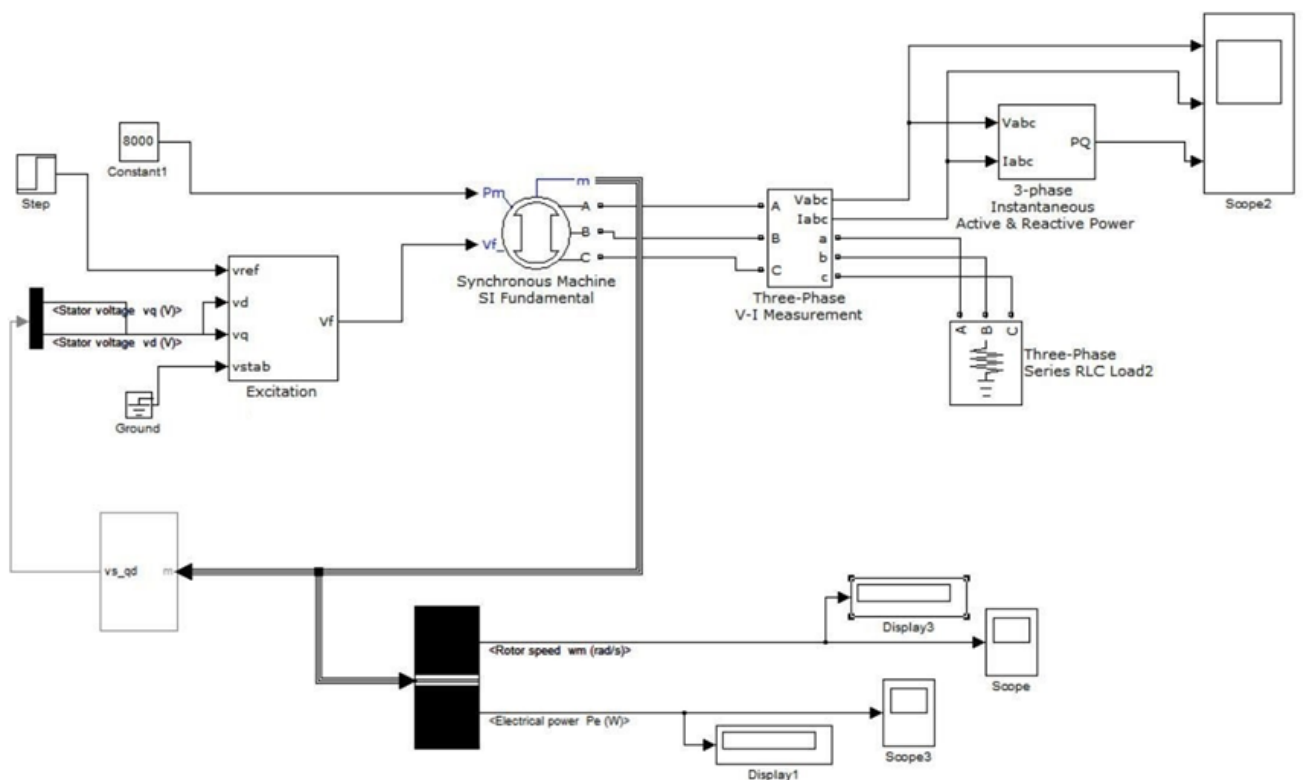


Рисунок 7.4 Імітаційна модель дизель-генератора в Matlab.

Головною складовою моделі дизельного генератора виступає підсистема «Excitation», схема якого зображена на рис. 7.5. Цей блок моделює роботу системи збудження синхронної машини в режимі генератора.

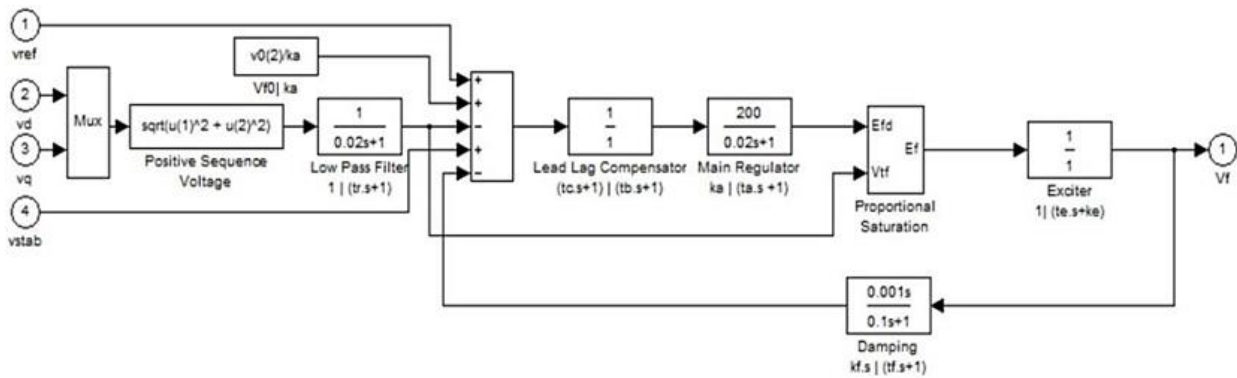
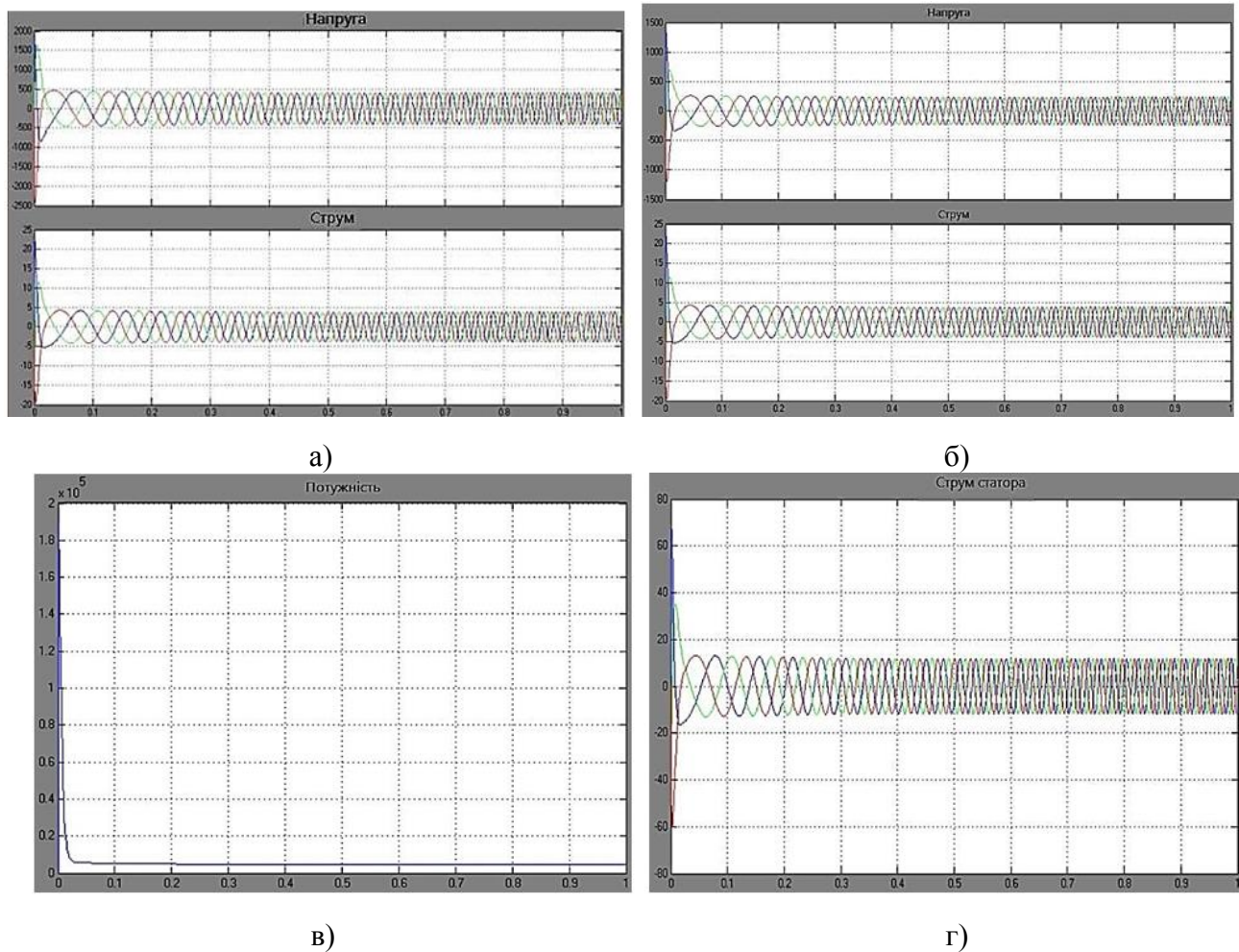


Рисунок 7.5 Імітаційна модель підсистеми збудження «Excitation»

Головними складовими частинами підсистеми збудження є збуджувача та регулятор напруги. На вхід v_{ref} надходить необхідна величина напруги статора. На входи v_d та v_q подаються діючі значення проекцій складових напруги за поперечною (d) та поздовжньою (q) осями. Четвертий вхід, як правило, використовується з метою утворення контуру керування для стабілізації потужності генератора. Всі параметри на вході та на виході мають розмірність відносних одиниць (в.о.).

Система збудження відіграє важливу роль у роботі синхронної машини в режимі генератора. Регулятор напруги порівнює задане значення напруги (v_{ref}) з фактичними значеннями напруги на статорі (v_d та v_q) і формує сигнал збудження для збуджувача. Збуджувач, в свою чергу, забезпечує необхідний струм збудження в обмотці ротора синхронної машини. Це дозволяє підтримувати необхідний рівень напруги на виході генератора та забезпечувати стабільну роботу системи. В реальних системах генераторів часто використовуються додаткові контури регулювання, такі як контур стабілізації потужності, який може бути реалізований через четвертий вхід блоку «Excitation». Цей контур допомагає підтримувати баланс між активною потужністю, що генерується синхронною машиною, та навантаженням, забезпечуючи стабільну роботу системи в різних режимах.

На рис. 7.6 наведені графіки перехідних режимів в системі генератора.



а – графіки перехідних процесів лінійних значень напруги та струму;

б – перехідні процеси фазних значень напруги та струму;

в – графік зміни потужності генератора; г – перехідний процес для струму статора

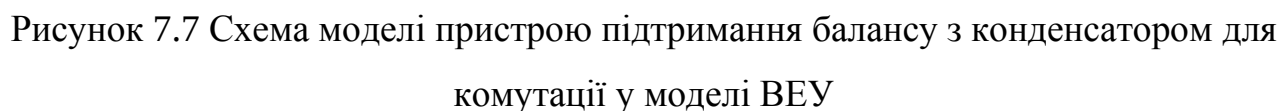
Рисунок 7.6 Графічні результати імітаційного моделювання режимів у генераторі

7.3 Імітаційне моделювання акумуляторної батареї

В роботі було реалізоване імітаційне моделювання батареї акумуляторів з чотирьох блоків ємністю, що відповідає потужності вітроенергетичної установки.

Розглядається модель пристрою підтримання балансу з конденсатором для комутації у моделі ВЕУ, що представлена на рис. 7.7.

Конденсаторний пристрій балансування напруги включає послідовно з'єднані батареї акумуляторів, де кожна пара підключається через блок «переносу заряду» з допомогою комутуючих ключів з конденсатором. Структурна схема пристрою балансування показана на рис. 7.8.



Якщо врахувати, що блоки «переносу заряду» (B2...B4) пов'язані із сусідніми ланками спарених акумуляторних батарей (див. схему на рис. 7.8), то заряд можна передавати через усю послідовну ланку спарених акумуляторів АКБ.

Такий підхід балансування акумуляторів забезпечує рівномірний розподіл заряду між окремими елементами батареї, що дозволяє ефективно використовувати всю ємність акумуляторів та продовжити термін їх служби. Це особливо важливо в гібридних системах електропостачання, де акумуляторна батарея відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійного живлення та зберіганні надлишкової енергії від відновлюваних джерел.

Моделювання пристрою балансування в середовищі ВЕУ дозволяє проаналізувати процеси вирівнювання зарядів між акумуляторами, оцінити ефективність такого підходу та оптимізувати роботу системи управління акумуляторною батареєю в цілому.

До недоліків схеми слід віднести наступне:

- значні відтинки часу, за які реалізується пошук «мінімального значення заряду» в послідовному ланцюжку акумуляторів;
- для роботи схеми потрібна значна кількість ключів, тим більша чим більша кількість акумуляторів у ланцюжку: $4 \cdot (m - 1)$, де m – число акумуляторів.

Розміри установки при цьому не значні. Кожна пара акумуляторів має керуючий контур, ключі для виконання комутації та конденсатор, що включені в окремий модуль при акумуляторах, для яких виконується зрівноваження зарядів. У разі потреби встановлення додаткових акумуляторів послідовно з існуючими акумуляторами інтегрують додаткові блоки для переносу заряду.

Моделювання було виконано для випадку чотирьох акумуляторних батарей літій-іонного типу (для цього застосований стандартний блок моделювання в MatLab) номінальною напругою 12 В та ємністю 480 А·год .

Приймаємо такі значення рівня заряду для акумуляторів: Batt_1 = 90 %; Batt_2 = 85 %; Batt_3 = 80 %; Batt_4 = 75%.

Заряджання акумуляторних батарей виконується струмом заряду 3,0 А до досягнення напруги на одному із акумуляторів рівня 13,8 В. Струм розряджання досягає рівня 20,0 А, розряд здійснюється до досягнення напруги рівня 10,5 В, при цьому моделювання зупиняється.

7.4. Імітаційне моделювання ланок заряду та розряду акумуляторів

Опишемо детально процес заряджання та розряджання акумуляторної батареї в моделі, а також розглянемо підсистеми схеми, зображеної на рис. 7.7.

Заряджання АКБ виконується від джерела постійної напруги у випадку відкритого ключа *Switch Z*. Розряджання АКБ відбувається при підключенні до навантаження за допомогою відкриття ключа *Switch R*. Блоки невикористаних ключів подаються на «заглушки» – *Terminator*.

Виконаємо детальніший огляд складових схеми на рис. 7.7.

A. Блок *Signal Distributor* забезпечує передачу інформаційних сигналів від акумуляторів про поточне значення напруги [U, V] та ступінь заряду [%] зі входів на осцилограф та на блоки *Change/Discharge Control* і *Control Equalizer* використовуючи інформаційні виходи про напругу на акумуляторах.

Підсистема *Signal Distributor* відіграє важливу роль в моделі, забезпечуючи розподіл та передачу інформації про стан акумуляторів (напругу та ступінь заряду) до інших підсистем, таких як *Change/Discharge Control* та *Control Equalizer*. Ця інформація необхідна для керування процесами заряджання/розряджання АКБ та балансування їх ступенів заряду.

Виведення максимальної різниці між ступенями поточного заряду окремих акумуляторів на вихід *Out 7* дозволяє контролювати рівномірність розподілу заряду між елементами батареї та, за необхідності, ініціювати процес балансування для вирівнювання їх ступенів заряду.

Моделювання таких підсистем, як *Signal Distributor*, дає можливість детально проаналізувати процеси управління акумуляторною батареєю, оптимізувати алгоритми її заряджання/розряджання та балансування, а також забезпечити ефективну та тривалу роботу акумуляторів в складі гібридної системи електропостачання.

B. Блок управління зарядом/розрядом АКБ (*Change / Discharge Control*), здійснює регулювання процесів заряджання та розряджання акумуляторних батарей шляхом комутації перемикачами *Z* та *R* в залежності від стану

акумулятора (закритий / відкритий при заряді / розряді відповідно).

Принцип роботи даного блоку базується на вимірюванні напруги акумуляторів відповідно до встановлених умов моделювання:

- при нормальному режимі роботи на виводах *Out1* та *Out2* блока присутні сигнали логічної одиниці «1» та логічного нуля «0» відповідно;

- якщо під час заряджання напруга на будь-якому акумуляторі перевищить допустимий рівень визначений як 13,80 В, то блок здійснить відключення АКБ від джерела живлення та під'єднає навантаження, змінивши стан виходів *Out1* та *Out2* на логічний нуль «0» та логічну одиницю «1» відповідно;

- у разі, якщо під час розряджання напруга на акумуляторі знизиться нижче граничного рівня визначеного як 10,5 В, то процес моделювання буде примусово зупиненим для запобігання критичного розряду батареї.

Варто зазначити, що максимальні та мінімальні допустимі рівні напруги АКБ можуть відрізнятися в залежності від типу акумуляторів та умов експлуатації. Тому ці граничні значення потрібно уточнювати відповідно до специфікації обладнання.

С. Для забезпечення рівномірного балансування заряду акумуляторних батарей використовуються три ідентичні підсистеми *Equalizer1* - *Equalizer3* (рис. 7.9). Розглянемо принцип роботи підсистеми *Equalizer1*.

У даній конфігурації конденсатор *C1* по чергово під'єднується за допомогою портів *Port1* - *Port3* до акумуляторів *Batt_1* та *Batt_2* (до *Batt_1* через *Port1* і *Port2*; до *Batt_2* через *Port2* і *Port3*). Комутація конденсатора між батареями здійснюється за допомогою ключів *Switch1* - *Switch4*, керованих *D*-тригером *Flip-Flop1* із зворотним зв'язком. Частота перемикання ключів задається генератором імпульсів *Pulse Generator*.

Таким чином, в процесі балансування конденсатор *C1* циклічно заряджається від акумулятора з більш високим зарядом та розряджається в акумулятор з меншим зарядом, вирівнюючи напругу між *Batt_1* та *Batt_2*. Аналогічним способом працюють підсистеми *Equalizer2* і *Equalizer3* для решти акумуляторів в батареї.

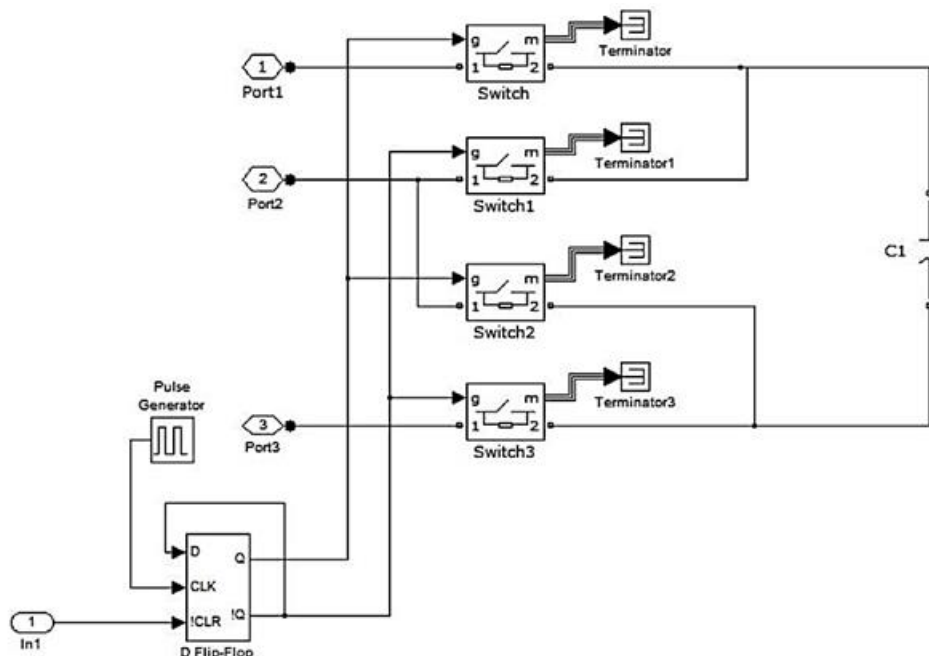


Рисунок 7.9 Схема блоку типу *Equalizer1*

Слід зазначити, що швидкість процесу балансування залежить від ємності конденсаторів C1-C3 та частоти комутації ключів. Для прискорення балансування можна або збільшити ємність конденсаторів, або підвищити частоту генератора імпульсів у межах допустимих значень. Проте через неминучі втрати енергії цей процес не може тривати нескінченно довго.

D. Схема блоку *Control Equalizer* відповідає за моніторинг та регулювання процесу балансування акумуляторних батарей. Вона калькулює різницю максимального та мінімального значення напруги на основі вхідних сигналів від акумуляторів та порівнює її з заданим граничним значенням визначеним 0,10 В.

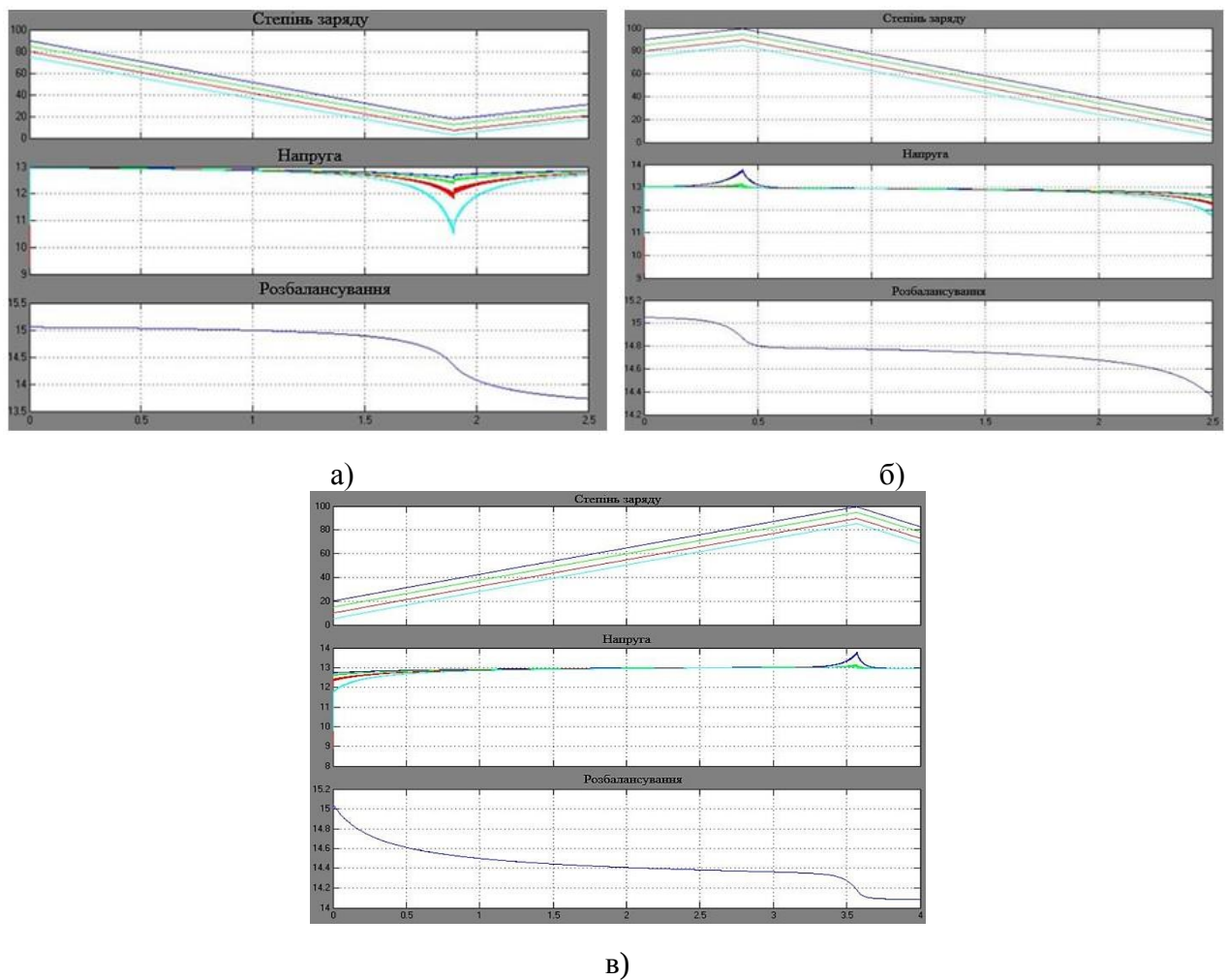
Якщо різниця напруг менша за задану межу, то блок *Control Equalizer* вимикає підсистеми *Equalizer1 - Equalizer3* через відповідний вихідний сигнал. Це дозволяє припинити процес балансування, коли розбіжність між зарядами акумуляторів стає незначною.

Проте, робота схеми балансування ініціюється лише за вхідними сигналами від блоків *Change / Discharge Control* в моменти часу завершення заряду або розряду АКБ. Це пов'язано з нелінійною залежністю напруги акумуляторів від ступеня їх заряду - балансування доцільно проводити лише тоді, коли всі батареї досягли максимального заряду.

Таким чином, *Control Equalizer* забезпечує ввімкнення або вимкнення підсистем *Equalizer1* - *Equalizer3* тільки в певні критичні моменти, коли акумулятори повністю заряджені або розряджені, і балансування є необхідним.

Слід зазначити, що граничне значення різниці напруги 0,1 В є прикладом і може варіюватися залежно від вимог до точності балансування та специфікацій акумуляторів.

Графічні результати моделювання процесу заряду/розряду акумуляторів приведені у вигляді графіків на рис. 7.10.



а – графіки розряду акумуляторів; б, в – графіки заряду акумуляторів

Рис. 7.10 Графічні результати імітаційного моделювання роботи акумуляторів

На основі графіків рис. 7.10, а, можна зробити такі висновки:

- загальний час розрядження акумуляторної батареї до такого моменту, що

рівень напруги на одному з акумуляторів (Batt_4) сягне граничного значення 10,5 В, становив 5,28 годин;

- протягом цього періоду розрядження величина розбалансування між акумуляторами зменшилася з початкових 15% до 14,3%.

Це демонструє, що система балансування акумуляторів продовжувала працювати під час розрядження і змогла частково зменшити розбіжність між рівнями заряду окремих елементів батареї.

Втім, зниження розбалансування на 0,7% за 5,27 годин є відносно повільним процесом. Швидкість балансування може бути обмежена низкою факторів:

- ємність балансувальних конденсаторів C1-C3 в підсистемах Equalizer1-3;
- частота комутації ключів Switch1-4, задана генератором імпульсів;
- внутрішній опір та властивості самих акумуляторів.

Для прискорення балансування можна розглянути варіанти збільшення ємності конденсаторів або підвищення частоти перемикання ключів до оптимальних значень з урахуванням специфікацій компонентів.

Також варто відзначити, що навіть за відносно повільного балансування, система допомагає продовжити термін служби акумуляторної батареї шляхом вирівнювання зарядів окремих елементів.

На основі графіків, що приведені на рис. 7.10, б можна зробити наступні спостереження:

- час, необхідний для заряджання акумуляторної батареї до того моменту, що рівень напруги на одному з акумуляторів (Batt_1) сягне граничного значення 13,8 В, становив 1,21 години;

- протягом цього періоду заряджання величина розбалансування між акумуляторами зменшилася з початкових 15% до 14,3%.

Порівнюючи ці дані з результатами розрядження (рис. 7.10, а), можна помітити, що процес балансування відбувається значно швидше під час заряджання, ніж під час розрядження.

Можливі причини кращої ефективності балансування при заряджанні:

- вища напруга на акумуляторах під час заряджання може сприяти більш

інтенсивному перенесенню заряду через балансувальні конденсатори С1-С3.

- менший внутрішній опір акумуляторів у заряджених станах може знижувати втрати енергії при балансуванні.

- наявність зовнішнього джерела живлення може забезпечувати додаткову потужність для процесу балансування порівняно з розрядженням, коли єдиним джерелом є самі акумулятори.

Зниження розбалансування на 0,7% за 1,21 години є більш помітним прогресом порівняно з 5,27 годинами розрядження. Проте все одно залишається відносно повільним процесом.

Для додаткового прискорення балансування під час заряджання можна розглянути можливість збільшення потужності зарядного пристрою та оптимізації параметрів балансувальної системи (ємності конденсаторів, частоти комутації).

На основі графіків, що приведені на рис. 7.13, видно, що час повного заряджання повністю розряджених акумуляторних батарей становив 9,92 години. Протягом цього тривалого періоду заряджання величина розбалансування між акумуляторами зменшилася з початкових 15% лише до 14,05%. Зниження розбалансування на 0,95% за майже 10 годин свідчить про дуже повільний процес балансування в даному режимі роботи. Це може бути пов'язано з кількома факторами, як то: низька початкова напруга повністю розряджених акумуляторів може обмежувати інтенсивність перенесення заряду через балансувальні конденсатори; на початкових етапах заряджання струм може бути обмежений для запобігання пошкодженню акумуляторів, що також сповільнює балансування; параметри балансувальної системи (ємність конденсаторів, частота комутації) можуть бути недостатньо оптимізовані для такого режиму роботи.

Для прискорення балансування в цьому випадку можна збільшити потужність зарядного пристрою, що дозволить підвищити струм заряджання на пізніших етапах, коли це безпечно для акумуляторів; оптимізувати параметри балансувальної системи, збільшивши ємність конденсаторів та/або частоту комутації ключів; розглянути можливість застосування більш просунутих алгоритмів балансування, які можуть бути ефективнішими в цьому режимі.

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 побудовані математичні моделі для дослідження роботи комбінованої системи електропостачання на основі вітрової установки, які дають можливість вивчати вплив таких ключових факторів, як вітровий потенціал і навантаження, на стійкість та режими роботи комбінованої вітро-дизельної системи електропостачання. Це дає можливість проаналізувати поведінку системи в різних умовах експлуатації.

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.