

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ  
канд. техн. наук, професор  
\_\_\_\_\_ Петро ПЛЄШКОВ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**

**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

### **«Проектування системи електропостачання заводу хімічної продукції»**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ЕЕ-21ПЗ,  
ОПП «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Олександр НІКОЛАЄВ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи  
доцент, канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ Валентин СОЛДАТЕНКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет центр заочної та дистанційної освіти

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

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Ніколаєва Олександра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання заводу хімічної продукції

Design of the power supply system for a chemical products plant

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

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

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є проектування системи електропостачання заводу хімічної 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
<i>1</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>03.02-19.02</i>	
<i>2</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.02-28.02</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>01.03-12.03</i>	
<i>4</i>	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.03-01.04</i>	
<i>5</i>	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>02.04-12.04</i>	
<i>6</i>	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>13.05-01.05</i>	
<i>7</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>02.05-20.05</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>21.05-26.05</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>27.05-30.05</i>	

Дата видачі завдання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

Олександр НІКОЛАЄВ

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 90 с.; 29 рис.; 21 табл.; 5 джерел

**Ніколаєв О. А. Проектування системи електропостачання заводу хімічної продукції. – Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

У кваліфікаційній роботі вирішувалося завдання щодо проектування електропостачальної системи для заводу хімічної промисловості.

Проведено аналіз особливостей функціонування хімічного виробництва, визначено структуру електричних навантажень та побудовано добові графіки споживання електроенергії, визначені силові та освітлювальні навантаження у мережах до і вище 1000 В.

Виконано розрахунки режимів реактивної потужності, що дозволило оптимізувати вибір компенсуючих пристроїв для забезпечення зменшення втрат енергії, підвищення коефіцієнта потужності та стабілізацію напруги на шинах.

На основі навантажень і характеристик споживачів здійснено вибір кількості та номінальної потужності силових трансформаторів із врахуванням резервування, коефіцієнтів навантаження та надійності. Розраховано струми короткого замикання у вузлових точках мережі, що дало змогу здійснити обґрунтований вибір високовольтного комутаційного обладнання з урахуванням вимог електродинамічної та термічної стійкості.

Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне функціонування хімічного виробництва у штатних та аварійних режимах роботи, мінімізуючи ризики перерв у подачі електроенергії та технічні втрати.

**Ключові слова:** електричні навантаження, система електропостачання, високовольтна електромережа, реактивна потужність, короткі замикання

## ABSTRACT

Qualification work: 90 p.; 29 Fig.; 21 tables; 5 sources

### **Nikolaiev O. Design of the power supply system for a chemical products plant. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The qualification work solved the problem of designing a power supply system for a chemical products plant.

The features of the functioning of chemical production were analyzed, the structure of electrical loads was determined and daily electricity consumption schedules were built, power and lighting loads in networks up to and above 1000 V were determined.

Calculations of reactive power modes were performed, which allowed optimizing the selection of compensating devices to ensure reduction of energy losses, increase of power factor and stabilization of voltage on the buses.

Based on the loads and characteristics of consumers, the number and nominal power of power transformers were selected, taking into account redundancy, load factors and reliability. Short-circuit currents were calculated at the nodal points of the network, which made it possible to make a reasonable selection of high-voltage switching equipment taking into account the requirements of electrodynamic and thermal stability.

The proposed technical solutions ensure reliable operation of chemical production in normal and emergency operating modes, minimizing the risks of power outages and technical losses.

**Keywords:** electrical loads, power supply system, high-voltage power grid, reactive power, short circuits

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА</b> .....	8
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ.....	9
1.2 Розрахунок освітлювальних електричних навантажень .....	10
1.3 Електричні навантаження в силових мережах понад 1 кВ.....	11
1.4 Графіки електричних навантажень хімічного підприємства .....	17
<b>РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА</b> .....	22
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b> .....	25
3.1 Схема зовнішнього електропостачання хімічного підприємства.....	26
3.2 Схема внутрішнього електропостачання хімічного підприємства.....	29
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА</b> .....	31
4.1 Визначення балансів реактивної потужності хімічного підприємства .....	32
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв на підстанціях хімічного підприємства.....	33
<b>РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА</b> .....	37
<b>РОЗДІЛ 6. ПІДРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> .....	39
6.1 Визначення струмів коротких замкнень в системі.....	40
6.2 Обрання кабельних ліній напругою 10 кВ .....	48
6.3 Обрання високовольтних електричних апаратів .....	50
6.4 Обрання потужності і схем живлення трансформаторів власних потреб .....	51
<b>РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ</b> .....	53
7.1 Значення та позиція сектора фотовольтаїчної генерації в сучасній енергетичній системі.....	53
7.2 Автономна фотоелектрична система та її типова структурна організація .....	56
7.3 Методи пошуку найкращого режиму функціонування сонячних фотоелектричних модулів.....	62
7.4 Симуляція функціонування системи керування потужністю сонячної батареї із застосуванням методу поетапного екстремального регулювання .....	70
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	89
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	90

					<b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ</b>					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування системи електропостачання заводу хімічної продукції  Design of the power supply system for a chemical products plant			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Ніколаєв О.А.							6	90	
Перев.	Солдатенко В.П.									
Н. контр.	Солдатенко В.П.									
Затвер.	Плешков П.Г.									
					<b>ЦНТУ</b> гр. ЕЕ-21ПЗ      6					











Таблиця 1.3. Силові навантаження вище 1 кВ

Назва	N спож шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K <sub>v</sub>	cosφ	tgφ	Сер. зм. нав.		n <sub>эф</sub>	K <sub>p</sub>	Розрах. навантаж.		
		мін, кВт	мак, кВт						P <sub>зм</sub> , кВт	Q <sub>зм</sub> , квар			P <sub>розр</sub> , кВт	Q <sub>розр</sub> , квар	S <sub>розр</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП-1, ТП-2, ТП-3															
Будівля підйомних машин №1															
силове:	97	4,5	47,5	2750	10,6	0,60	0,80	0,75	1650	1237,5	97	1,08	1779,28	1237,5	2167,31
освітлювальне:									50,06				57,07	27,62	
Всього:									1700,06	1237,5			1836,35	1265,12	2229,96
Будівля підйомних машин №2															
силове:	27	11	210	2300	19,1	0,75	0,80	0,75	1725	1293,75	22	1,10	1891,37	1293,75	2291,52
освітлювальне:									23,5				16,92	8,19	
Всього:									1748,5	1293,75			1908,29	1301,94	2310,11
Пожежне депо, насосна															
силове:	32	5,75	33	600	5,7	0,75	0,80	0,75	450	337,5	32	1,08	485,03	337,5	590,9
освітлювальне:									5,67				4,08	1,97	
Всього:									455,67	337,5			489,11	339,47	595,37
Всього по ТП-1, ТП-2, ТП-3:															
силове:	156	4,5	210	5650	46,7	0,68	0,80	0,75	3825	2868,75	54	1,08	4144,87	2868,75	5040,8
освітлювальне:									79,23				78,07	37,78	
БК 0,4 кВ										-3087				-3087	
Всього на шини 0,4 кВ ТП-1, ТП-2, ТП-3:									3904,23	-218,25			4222,94	-180,47	4226,79
Врати в трансформаторах													47,45	247,77	
Кількість трансформаторів: 6															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,7															
Всього на шини 10 кВ ТП-1, ТП-2, ТП-3:													4270,39	67,3	4270,92
ТП-4, ТП-5, ТП-6															
Естакада пункту розвантаж. карноліту															
силове:	21	1,5	18,5	330	12,3	0,30	0,70	1,02	99	101	21	1,40	138,64	101	171,53
освітлювальне:									21				23,94	11,59	
Всього:									120	101			162,58	112,59	197,76
Головний корпус															

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
силове:	98	11,8	245	2800	20,8	0,60	0,80	0,75	1680	1260	23	1,18	1975,98	1260	2343,52
освітлювальне:									11,4				13	6,29	
Всього:									1691,4	1260			1988,98	1266,29	2357,87
Естакада пункту розвантаж. сирові солі															
силове:	22	7,5	18,5	115	2,5	0,50	0,80	0,75	57,5	43,12	22	1,24	71,13	43,12	83,18
освітлювальне:									7,2				5,18	2,51	
Всього:									64,7	43,12			76,31	45,63	88,91
Будівля вентиляторів															
силове:	48	5,2	195	2890	37,5	0,60	0,80	0,75	1734	1300,5	30	1,15	1996,43	1300,5	2382,65
освітлювальне:									13,8				15,73	7,61	
Всього:									1747,8	1300,5			2012,16	1308,11	2399,99
Всього по ТП-4, ТП-5, ТП-6:															
силове:	189	1,5	245	6135	163,3	0,58	0,80	0,76	3570,5	2704,62	50	1,12	3997,36	2704,62	4826,37
освітлювальне:									53,4				57,85	28	
БК 0,4 кВ										-2365				-2365	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-4, ТП-5, ТП-6:									3623,9	339,62			4055,21	367,62	4071,84
Втрати в трансформаторах													45,1	235,98	
Кількість трансформаторів: 6															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП-4, ТП-5, ТП-6:													4100,31	603,6	4144,5
ТП-7, ТП-8															
Механічний цех															
силове:	29	1,8	70	1400	38,9	0,60	0,80	0,75	840	630	29	1,15	969,61	630	1156,31
освітлювальне:									17,5				19,95	9,66	
Всього:									857,5	630			989,56	639,66	1178,3
Надшахтна будівля шахти №1															
силове:	35	2,5	22,5	375	9,0	0,60	0,70	1,02	225	229,55	33	1,14	257,26	229,55	344,78
освітлювальне:									6,06				6,91	3,34	
Всього:									231,06	229,55			264,17	232,89	352,17
Хімічна лабораторія															
силове:	21	3,75	15,5	175	4,1	0,35	0,70	1,02	61,25	62,49	21	1,35	82,81	62,49	103,74

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
освітлювальне:									15				15,3	7,41	
Всього:									76,25	62,49			98,11	69,9	120,46
Електроремонтний цех															
силове:	48	5,75	98,5	510	17,1	0,75	0,80	0,75	382,5	286,87	10	1,15	441,29	315,56	542,51
освітлювальне:									7,05				5,08	2,46	
Всього:									389,55	286,87			446,37	318,02	548,07
Ковальсько-зварювальний цех															
силове:	104	4,8	102	2050	21,2	0,30	0,62	1,28	615	784,41	40	1,28	785,53	784,41	1110,12
освітлювальне:									7,11				8,11	3,93	
Всього:									622,11	784,41			793,64	788,34	1118,64
Всього по ТП-7, ТП-8:															
силове:	237	1,8	102	4510	56,7	0,47	0,73	0,94	2123,75	1993,32	88	1,12	2371,43	1993,32	3097,9
освітлювальне:									52,72	-950			55,35	26,8	
БК 0,4 кВ														-950	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-7, ТП-8:									2176,47	1043,32			2426,78	1070,12	2652,25
Втраги в трансформаторах													29,14	152,72	
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,66															
Всього на шинах 10 кВ ТП-7, ТП-8:													2455,92	1222,84	2743,52
ТП-9, ТП-10															
Адміністративна будівля															
силове:	37	0,75	27	435	36,0	0,70	0,80	0,75	304,5	228,37	32	1,10	335,55	228,37	405,89
освітлювальне:									43,38				41,64	20,15	
Всього:									347,88	228,37			377,19	248,52	451,7
Естакада подачі сировини до складу															
силове:	23	1,85	22,5	250	12,2	0,55	0,7	1,02	137,5	140,28	22	1,21	166,13	140,28	217,43
освітлювальне:									7,85				8,95	4,33	
Всього:									145,35	140,28			175,08	144,61	227,08
Цех зневоднення															
силове:	75	2,5	35	1100	14	0,5	0,7	1,02	550	561,11	63	1,13	621,88	561,11	837,6
освітлювальне:									6,28				7,16	3,47	
Всього:									556,28	561,11			629,04	564,58	845,25
Відділення сушки															

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
силове:	27	7,5	33	210	4,4	0,2	0,65	1,17	42	49,1	13	1,71	71,98	49,1	87,13
освітлювальне:									9,3				9,49	4,59	
Всього:									51,3	49,1			81,47	53,69	97,57
Склад сирого млина															
силове:	12	5,3	41	210	7,7	0,6	0,85	0,62	126	78,09	10	1,29	162,29	85,9	183,62
освітлювальне:									4,45				4,54	2,2	
Всього:									130,45	78,09			166,83	88,1	188,66
Автобаза і гараж															
силове:	12	2,5	25	95	10,0	0,30	0,65	1,17	28,5	33,32	8	1,71	48,83	36,65	61,05
освітлювальне:									1,9				2,13	3,69	
Всього:									30,4	33,32			50,96	40,34	64,99
Естакада подачі відходів на зневоднення															
силове:	23	4,15	17,5	254	4,2	0,50	0,70	1,02	127	129,57	23	1,23	156,34	129,57	203,05
освітлювальне:									13,32				12,79	6,19	
Всього:									140,32	129,57			169,13	135,76	216,88
Склад будівельних матеріалів															
силове:	12	2,7	7,5	55	2,8	0,50	0,70	1,02	27,5	28,06	12	1,34	36,8	28,06	46,28
освітлювальне:									20,34				19,53	9,45	
Всього:									47,84	28,06			56,33	37,51	67,68
Естакада транспортерів №7															
силове:	12	5	25	75	5,0	0,50	0,80	0,75	37,5	28,12	6	1,52	57,07	30,93	64,91
освітлювальне:									4,65				3,35	1,62	
Всього:									42,15	28,12			60,42	32,55	68,63
Склад сировини															
силове:	21	2,7	5,5	55	2,0	0,75	0,80	0,75	41,25	30,94	21	1,10	45,34	30,94	54,89
освітлювальне:									2,2				2,51	1,21	
Всього:									43,45	30,94			47,85	32,15	57,65
Буферний склад															
освітлювальне:									20,6				14,83	7,18	
Всього:									20,6	0			14,83	7,18	16,48
Територія підприємства															
освітлювальне:									41				45,92	79,53	

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього:									41	0			45,92	79,53	91,84
Всього по ТП-9, ТП-10:															
силове:	254	0,75	41	2739	54,7	0,52	0,74	0,92	1421,75	1306,96	134	1,08	1538,07	1306,96	2018,37
освітлювальне:									175,27				172,84	143,61	
БК 0,4 кВ										-416				-416	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-9, ТП-10:									1597,02	890,96			1710,91	1034,57	1999,39
Втрати в трансформаторах:													22,01	115,29	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,67															
Всього на шинах 10 кВ ТП-9, ТП-10:													1732,92	1149,86	2079,71
Всього по об'єкту															
силове:	836	0,75	245	19034	326,7	0,57	0,98	0,19	10941	2055,65	155	1,06	11652,11	2055,65	11832,05
освітлювальне:									360,62				364,11	236,19	
Всього:									11301,62	2055,65			12016,22	2291,84	12232,83
Потужність КП 0,4 кВ:										-6818				-6818	
Втрати в трансформаторах:													143,7	751,76	
Всього по об'єкту:													12159,92	3043,6	12535,04
Високовольтне навантаження															
СД-1, СД-2	2	750	750	1500		0,65	0,842	0,64	975	624,69			975	-624,69	1157,96
Всього високовольтного навантаження:													975	-624,69	1157,96
Всього по об'єкту 10 кВ:													13134,92	2418,91	13355,8
КП 10 кВ:														-900	
Всього 10 кВ з КП:													13134,92	1518,91	13222,45
tgφ = 0,116															



Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

№	Зим. дні						Літн. дні					
	Роб. дні			Вих. і дні			Роб. дні			Вих. і дні		
	$P_{дп}$ кВт	$Q_{дп}$ квар	$S_{дп}$ кВА	$P_{дп}$ кВт	$Q_{дп}$ квар	$S_{дп}$ кВА	$P_{дп}$ кВт	$Q_{дп}$ квар	$S_{дп}$ кВА	$P_{дп}$ кВт	$Q_{дп}$ квар	$S_{дп}$ кВА
1	9189	1449	9303	3151	803	3252	7811	1232	7908	2678	683	2764
2	8402	1181	8485	3151	803	3252	7141	1004	7211	2678	683	2764
3	5907	992	5990	3151	803	3252	5021	844	5091	2678	683	2764
4	6432	1134	6531	3151	803	3252	5468	964	5552	2678	683	2764
5	5514	1024	5608	3151	803	3252	4687	870	4767	2678	683	2764
6	6301	977	6376	3151	803	3252	5356	830	5420	2678	683	2764
7	5645	1040	5740	3151	803	3252	4798	884	4879	2678	683	2764
8	11290	1307	11365	3151	803	3252	9596	1111	9660	2678	683	2764
9	11027	1497	11128	2626	693	2716	9373	1272	9459	2232	589	2308
10	13128	1276	13190	2626	693	2716	11158	1085	11211	2232	589	2308
11	10502	1355	10589	2626	693	2716	8927	1152	9001	2232	589	2308
12	9452	1307	9542	2626	693	2716	8034	1111	8110	2232	589	2308
13	10502	1497	10608	2626	693	2716	8927	1272	9017	2232	589	2308
14	11683	1544	11785	2626	693	2716	9931	1312	10017	2232	589	2308
15	13128	1481	13211	2626	693	2716	11158	1259	11229	2232	589	2308
16	11158	1434	11250	2626	693	2716	9485	1218	9563	2232	589	2308
17	8139	1276	8238	2626	693	2716	6918	1085	7003	2232	589	2308
18	9452	1260	9536	2626	693	2716	8034	1071	8105	2232	589	2308
19	10633	1276	10709	3151	803	3252	9038	1085	9103	2678	683	2764
20	10108	1307	10192	3151	803	3252	8592	1111	8664	2678	683	2764
21	10371	1276	10449	3151	803	3252	8815	1085	8882	2678	683	2764
22	9714	1276	9797	3151	803	3252	8257	1085	8328	2678	683	2764
23	10502	1386	10593	3151	803	3252	8927	1178	9004	2678	683	2764
24	10502	1276	10579	3151	803	3252	8927	1085	8993	2678	683	2764

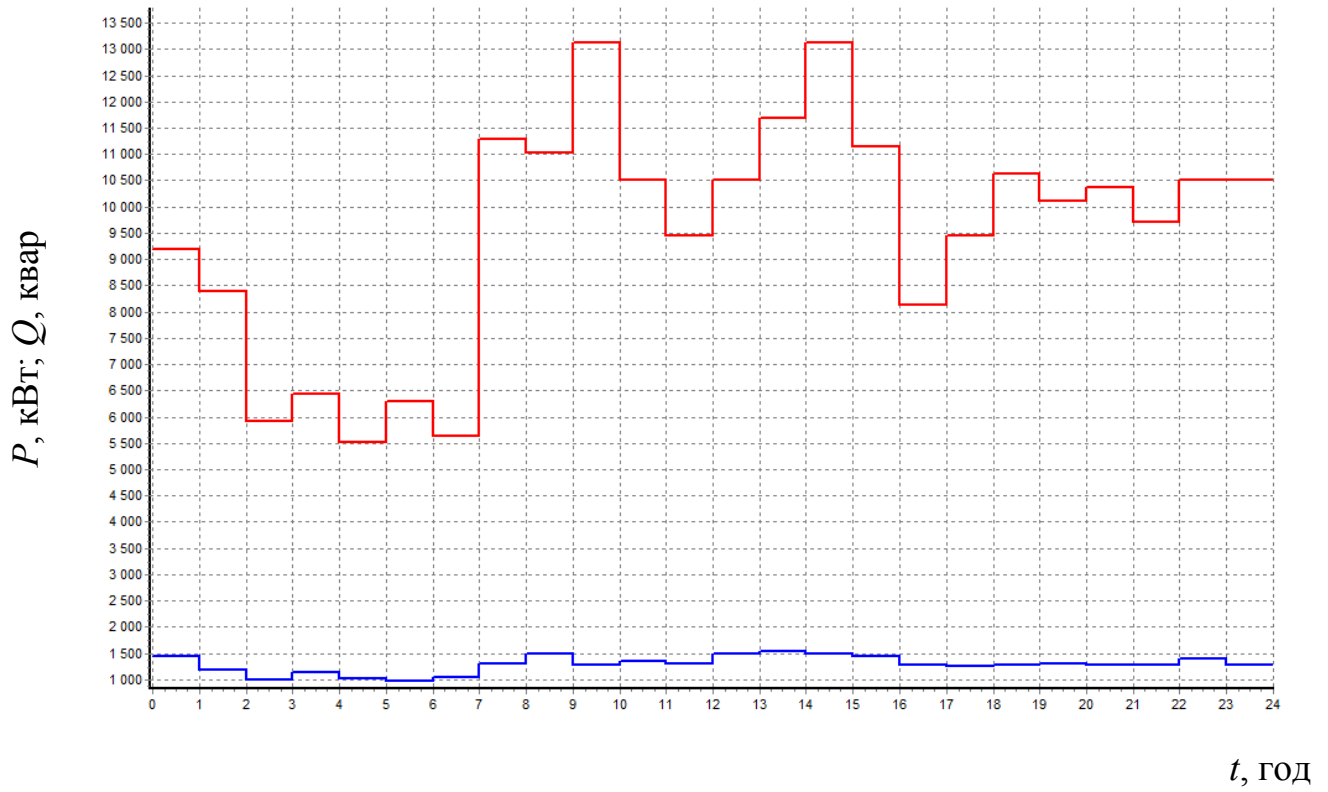


Рис. 1.1. Добові графіки (взимку, дні робочі)

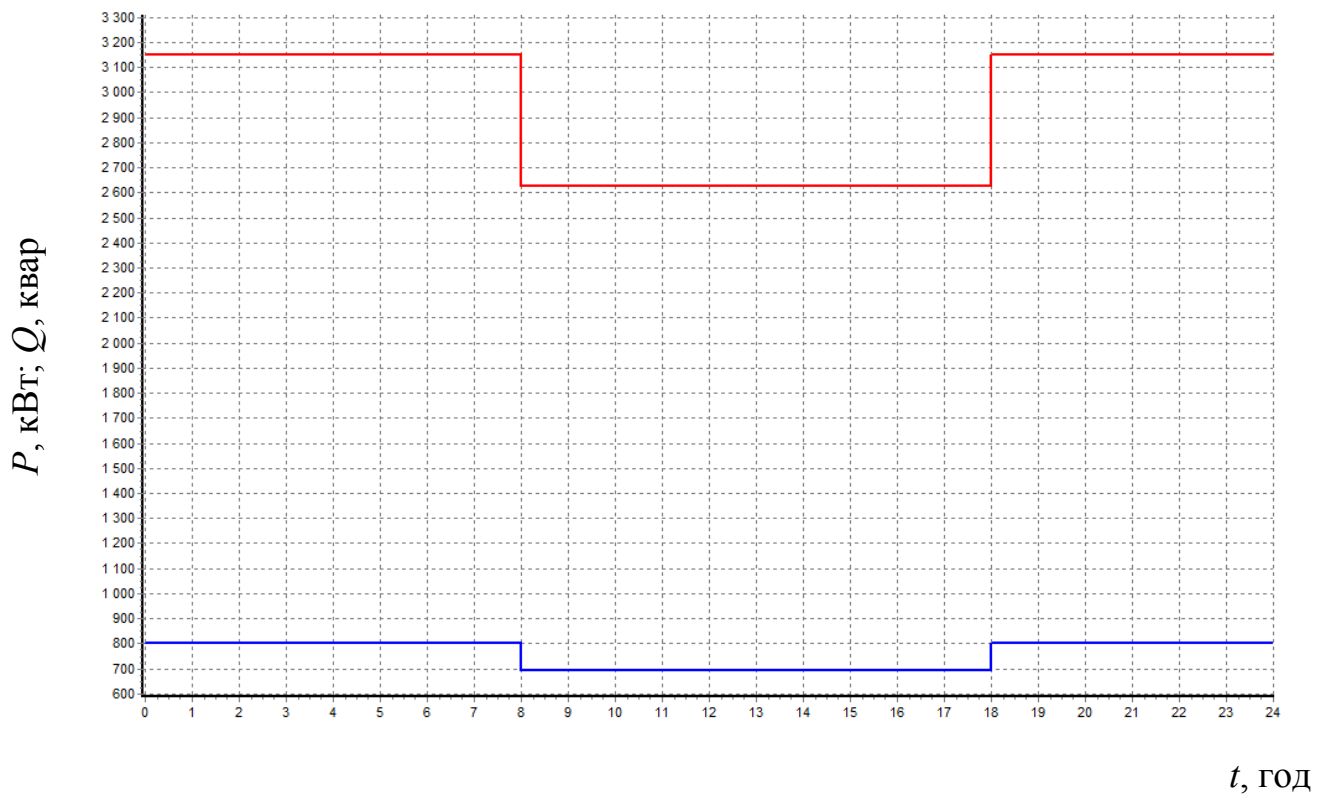


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (взимку, дні вихідні)

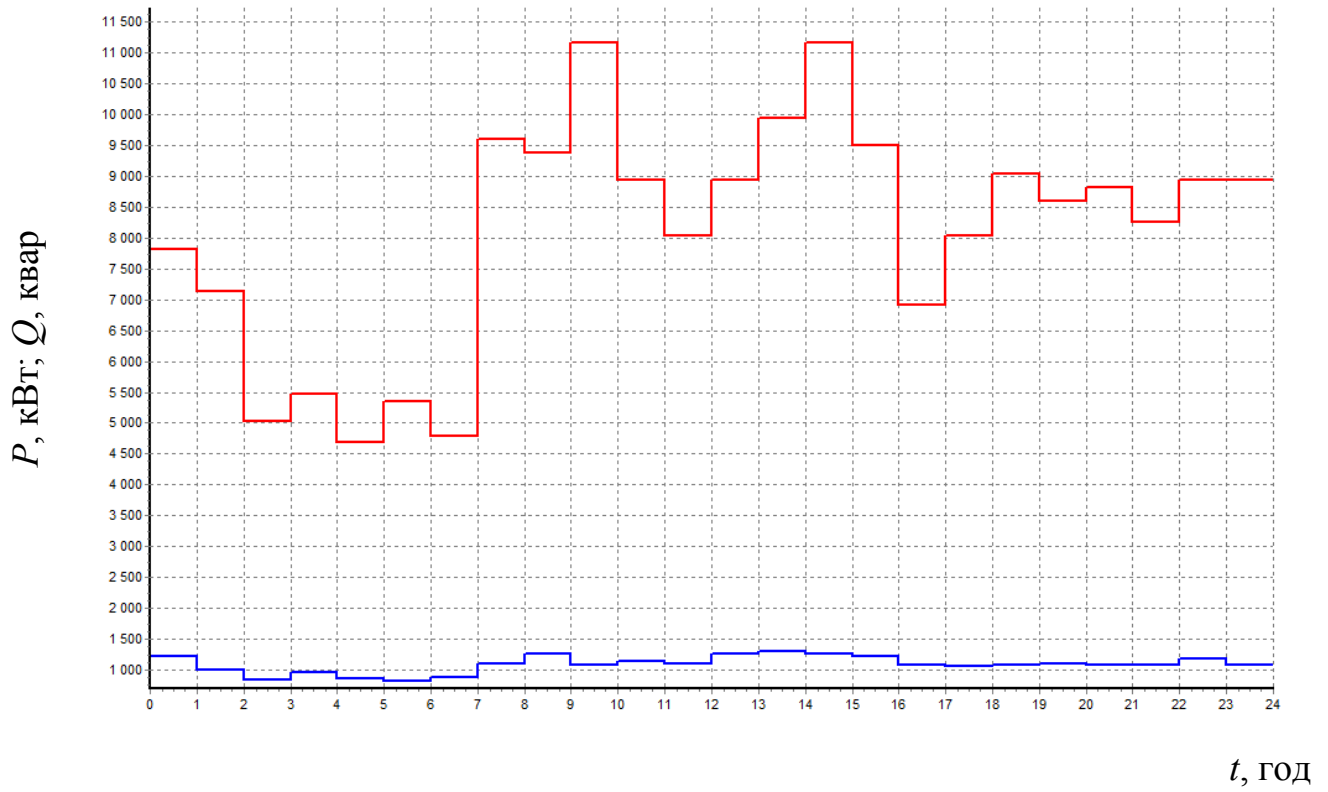



Рис. 1.3. Добові графіки (влітку, дні робочі)

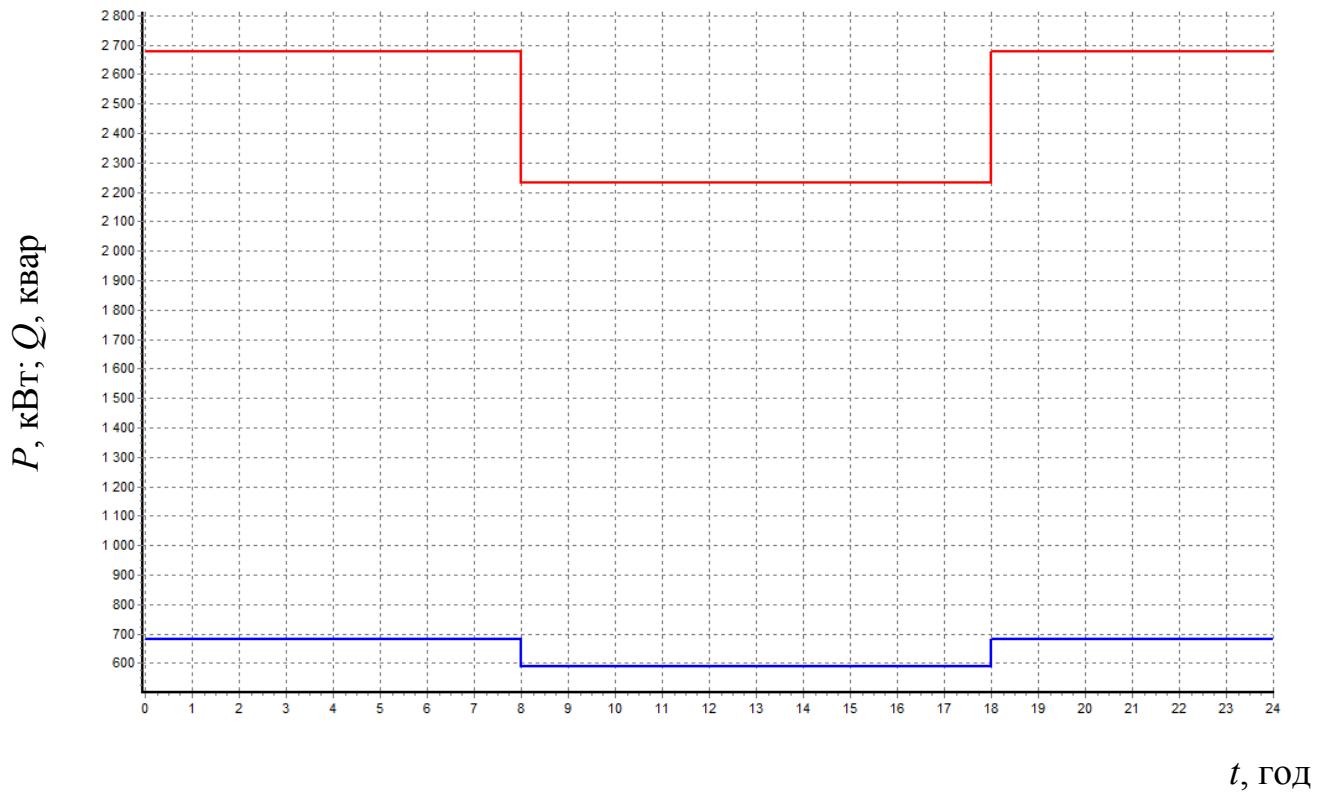


Рис. 1.4 Добові графіки (влітку, дні вихідні)

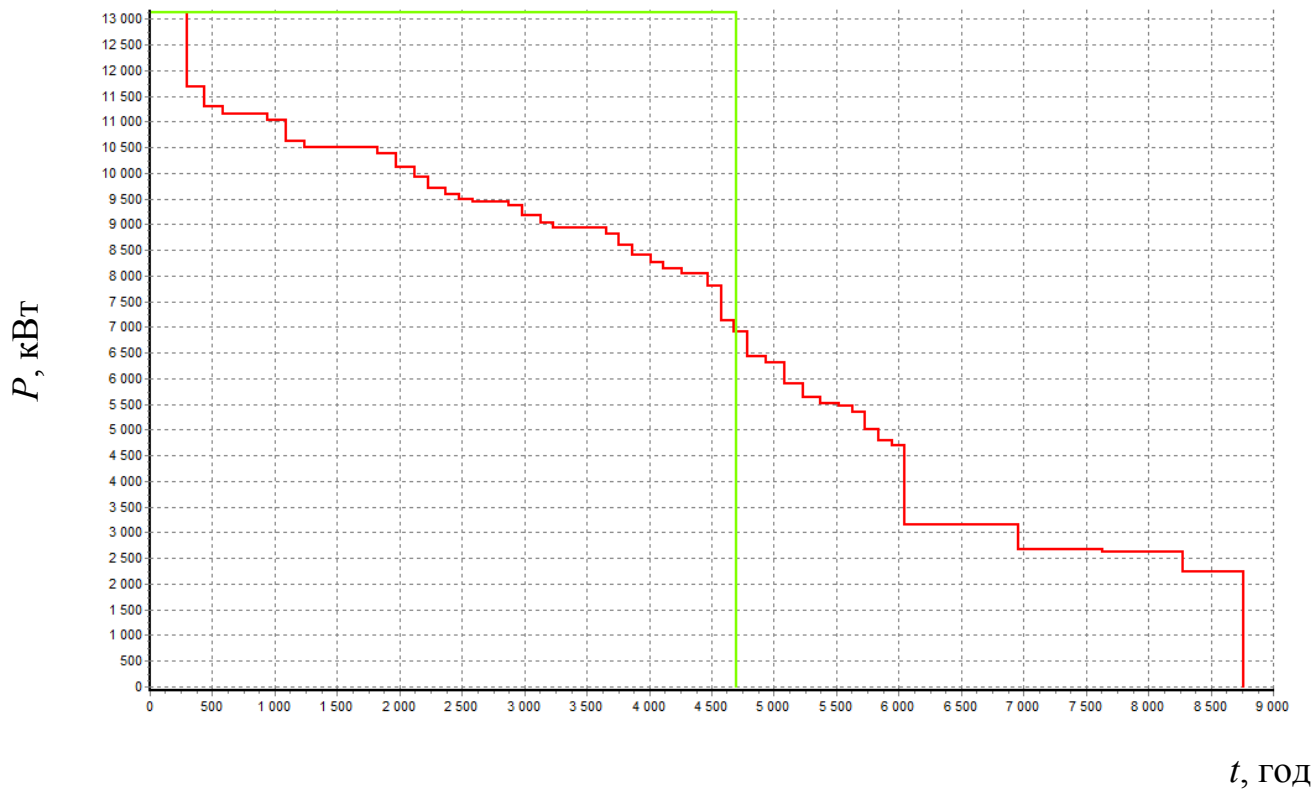



Рис. 1.5. Річний графік потужності (активна  $P$ ) за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрах. параметрів графіків

№	Назва параметру	Знач.	Од. вим.
1	$S_{розр}$	13222	МВА
2	$W_{з.р.}$	33616107	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	4531716	квар·год
4	$W_{з.в.}$	4574310	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	1181180	квар·год
6	$W_{л.р.}$	20409795	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	2751525	квар·год
8	$W_{л.в.}$	2870976	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	741696	квар·год
10	$W_{річн.}$	61471188	кВт·год
11	$V_{річн.}$	9206117	квар·год
12	$T_M$	4701	год
13	$\tau_M$	3092	год





Таблиця 2.1. Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№ п/п	Найменування	$P_{P, \text{сир}}$ кВт	$P_{P, \text{осв}}$ кВт	$P_P$ , кВт	$t$	$R$ , мм	$a$	$x$ , м	$y$ , м	$P \cdot x$ , кВт · м	$P \cdot y$ , кВт · м
1	Будівля підйомних машин №1	1779,28	57,07	1836,35	0,7	28,90	11,19	208	80	381960,80	146908,00
2	Естакада пункту розвантаж. карноліпу	138,64	23,94	162,58	0,7	8,60	53,01	466	116	75762,28	18859,28
3	Будівля підйомних машин №2	1891,37	16,92	1908,29	0,7	29,46	3,19	257	73	490430,53	139305,17
4	Головний корпус	1975,98	13	1988,98	0,7	30,07	2,35	341	75	678242,18	149173,50
5	Естакада пункту розвантаж. сиріої солі	71,13	5,18	76,31	0,7	5,89	24,44	414	37	31592,34	2823,47
6	Будівля вентиляторів	1996,43	15,73	2012,16	0,7	30,25	2,81	412	89	829009,92	179082,24
7	Механічний цех	969,61	19,95	989,56	0,7	21,21	7,26	432	177	427489,92	175152,12
8	Пожежне депо, насосна			0,00							
	- 0,38 кВ	485,03	4,08	489,11	0,7	14,91	3,00	213	152	104180,43	74344,72
	- СД 10 кВ	975	0	975,00	0,7	21,06	0,00	201	147	195975,00	143325,00
9	Надшахтна будівля шахти №1	257,26	6,91	264,17	0,7	10,96	9,42	351	230	92723,67	60759,10
10	Адміністративна будівля	335,55	41,64	377,19	0,7	13,10	39,74	117	362	44131,23	136542,78
11	Естакада подачі сировини до складу	166,13	8,95	175,08	0,7	8,92	18,40	117	248	20484,36	43419,84
12	Хімічна лабораторія	82,81	15,3	98,11	0,7	6,68	56,14	311	168	30512,21	16482,48
13	Електроремонтний цех	441,29	5,08	446,37	0,7	14,25	4,10	354	178	158014,98	79453,86
14	Ковальсько-зварювальний цех	785,53	8,11	793,64	0,7	19,00	3,68	354	157	280948,56	124601,48
15	Цех зневоднення	621,88	7,16	629,04	0,7	16,91	4,10	51	274	32081,04	172356,96
16	Відділення сушки	71,98	9,49	81,47	0,7	6,09	41,93	56	248	4562,32	20204,56
17	Склад сирого млина	162,29	4,54	166,83	0,7	8,71	9,80	70	188	11678,10	31364,04
18	Автобаза і гараж	48,83	2,13	50,96	0,7	4,81	15,05	218	339	11109,28	17275,44
19	Естакада подачі відходів на зневоднення	156,34	12,79	169,13	0,7	8,77	27,22	119	269	20126,47	45495,97
20	Склад будівельних матеріалів	36,8	19,53	56,33	0,7	5,06	124,81	118	216	6646,94	12167,28
21	Естакада транспортерів №7	57,07	3,35	60,42	0,7	5,24	19,96	55	220	3323,10	13292,40
22	Склад сировини	45,34	2,51	47,85	0,7	4,66	18,88	180	239	8613,00	11436,15
23	Буферний склад	0	14,83	14,83	0,7	2,60	360,00	231	241	3425,73	3574,03
24	Територія підприємства	0	45,92	45,92	0,7	4,57	360,00	257	203	11801,44	9321,76
	<b>Всього по заводу</b>	<b>13551,57</b>	<b>364,11</b>	<b>13915,68</b>						<b>3954825,83</b>	<b>1826721,63</b>



### 3.1 Схема зовнішнього електропостачання хімічного підприємства

Електричне живлення можливо реалізувати од підстанції 110/10 кВ, на відстані 17,5 км. Розглянемо дві варіанта:

Перший – використання кабелю 10 кВ (див рис. 3.1 а).

Другий – це повітряна лінія 110 кВ (див рис. 3.1 б).

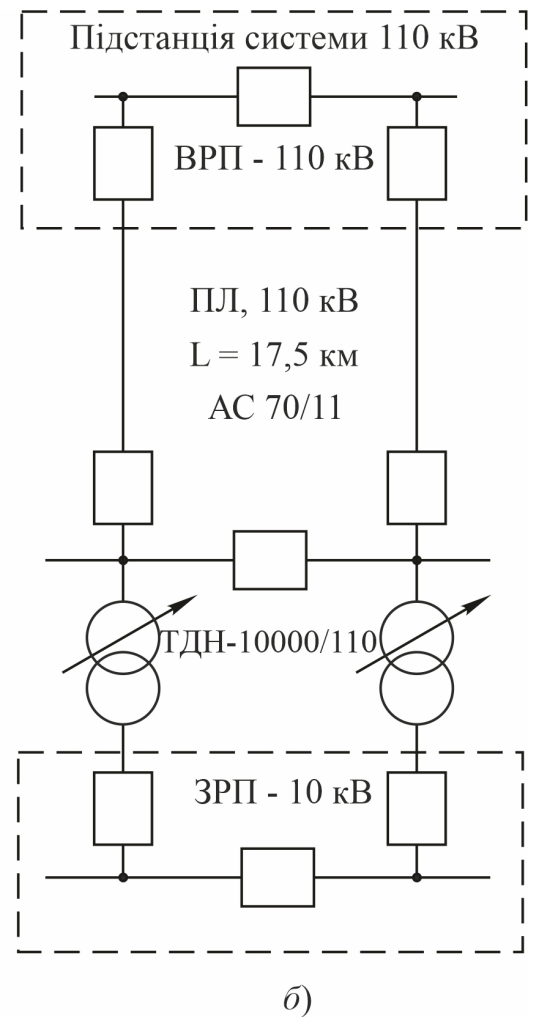
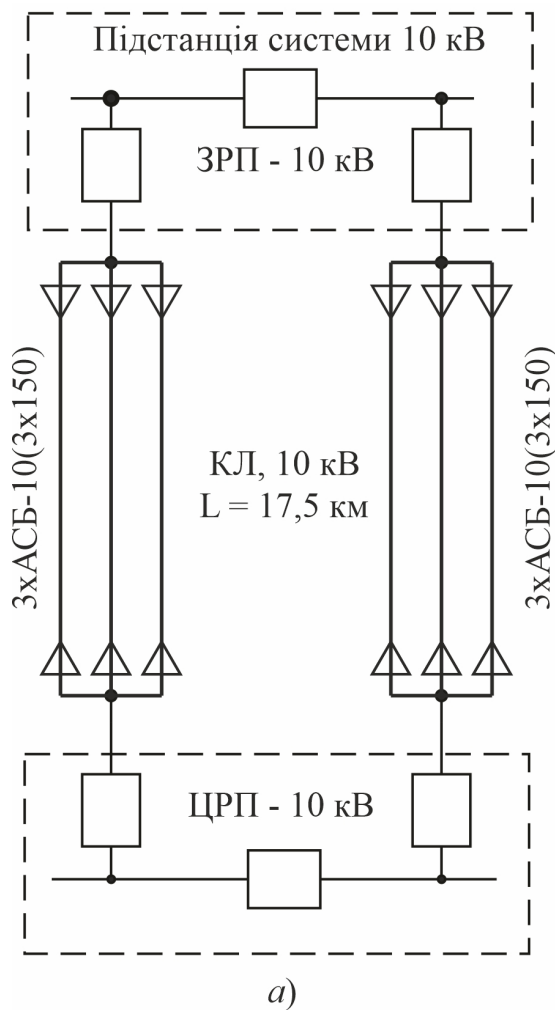


Рис. 3.1. Схеми електропостачання від підстанції системи для порівняння

**Варіант перший, прокладання КЛ напругою 10 кВ.**

Розрах. струм КЛ:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{13222}{\sqrt{3} \cdot 10} = 763,37 \text{ A}$$



Таблиця 3.2. Поточні витрати

№ вар	Назва елемента схеми	$K_j$ , тис.грн.	$P_{aj}$ , %	$C_{aj}$ , тис.грн.	$P_{эj}$ , %	$C_{aj}$ , тис.грн.	$C_j$ , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	9282	5	464,1	5	464,1	928,2
	Траншея	250,25	5	12,5125	5	12,5125	25,025
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							957,505

Розрахунок збитку від переривання процесу електропостачання електроенергії наведено нижче.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 4,2 = 4,204 \text{ 1/рік}$$

$$T_e = \frac{\sum \lambda_i T_{ei}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 4,2 \cdot 0,003675)}{4,204} = 0,00367193 \text{ рік}$$

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

$$K_a = \lambda T_e = 4,204 \cdot 0,00367193149381541 = 0,0154368$$

$$K_{an} = 0,5\lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 4,204 \cdot 0,00000576 = 0,00001210752$$

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00023829479424 + 2 \cdot 0,00001210752 = 0,0002625098$$

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0002625098 \cdot 8760 = 2,29959$$

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 26,61 \cdot 7,05 \cdot 2,29959 = 431,4$$







#### 4.1 Визначення балансів реактивної потужності хімічного підприємства

Розрахунки балансу РП згідно [1] наведено нижче.

$$P_n = \sum P_{ТП} = 12941 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 9152 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 136 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 715 \text{ кВАр}$$

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CD} = 750 \cdot 0,4 = 300 \text{ кВАр}$$

$$P_{CD} = N_{CD} P_{ном} K_{вук} = 2 \cdot 750 \cdot 0,65 = 975 \text{ кВт}$$

$$Q_{ном\ cд} = n_{cд} \frac{P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 2 \cdot \frac{750 \cdot 0,4}{0,96} = 625 \text{ кВАр}$$

$$Q_{max\ cд} = n_{cд} \frac{\alpha_M P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 2 \cdot \frac{1,21 \cdot 750 \cdot 0,4}{0,96} = 756,25 \text{ кВАр}$$

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_{\epsilon} + P_{cд} = 12941 + 136 + 0 + 975 = 14052 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_{\epsilon} - Q_{CD} = 9152 + 715 + 0 - 625 = 9242 \text{ кВАр}$$

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 14052 \cdot 0,12 = 1686,24 \text{ кВАр}$$

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 9242 - 1686,24 = 7555,76 \text{ кВАр}$$











$$S_{P.T.} = \frac{S_{\max} \cdot K_{1.2}}{1.4(n-1)} = \frac{13,222 \cdot 0,8}{1,4 \cdot (2-1)} = 7,6 \text{ кВА.}$$

Обираємо ТДН 10000/110, що має паспортні дані:  $\Delta P_{xx} = 13,5$  кВт,  
 $\Delta P_{кз} = 70$  кВт,  $u_{к, \%} = 8$  %.

Навантаження трансформатора ГЗП при нормальному режимі складає:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{13,22}{2 \cdot 10} = 0,66 .$$

Умови вибору задовільняють необхідні умови.

Передбачено трансформатори в цехових ТП. Передбачається використання комплектних ТП з числом трансформаторів 1 та 2 та типом трансформаторів ТМ-1000/10/0,4.

Вибір силового трансформатора для підстанції ТП-1:

$$K_{зав} = \frac{S_{розр}}{n_{тр} S_{номтр}} = \frac{1408,93}{2 \cdot 1000} = 0,7 ,$$

$$S_{номтр} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_{розр}}{K_1} = \frac{1408,93}{1,08} = 1304,56 ,$$

$$S_{номтр} = 1000 \geq \frac{S_{розр}}{K_2} = \frac{1408,93}{1,4} \approx 1000 .$$

Таблиця 5.1. Результати розрахунків по вибору цехових трансформаторів

№	К-сть тр.	$S_{розр}$ , кВА	$K_{зав}$	$\frac{S_{ном} > S_{розр}/K_1}$	$S_{ном} > S_{розр}/K_2$
ТП-1	2	1408,93	0,70	1304,56	1006,38
ТП-2	2	1408,93	0,70	1304,56	1006,38
ТП-3	2	1408,93	0,70	1304,56	1006,38
ТП-4	2	1357,28	0,68	1256,74	969,49
ТП-5	2	1357,28	0,68	1256,74	969,49
ТП-6	2	1357,28	0,68	1256,74	969,49
ТП-7	2	1326,13	0,66	1227,89	947,23
ТП-8	2	1326,13	0,66	1227,89	947,23
ТП-9	2	1332,93	0,67	1234,19	952,09
ТП-10	1	666,46	0,67	617,10	476,05



## 6.1 Визначення струмів коротких замкнень в системі

Схеми розрахункова та заміщення мережі наведені на рис. 6.1, 6.2.

Значення опорів елементів мережі до шин напругою 110 кВ ГЗП (тчк. К0):

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{115^2}{45000} = 0,29 \text{ Ом} \quad , \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,29}{25} = 0,01 \text{ Ом}$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,422 \cdot 17,5 = 7,385 \text{ Ом} \quad , \quad X_l = x_0 \cdot l = 0,444 \cdot 17,5 = 7,77 \text{ Ом}$$

$$X_{K0} = X_c + X_l = 0,29 + 7,77 = 8,06 \text{ Ом} \quad , \quad R_{K0} = R_c + R_l = 0,01 + 7,385 = 7,395 \text{ Ом}$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{7,395^2 + 8,06^2} = 10,94 \text{ Ом}$$

Визначаємо параметри струму к.з. в т. К0 (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт, ударний струму):

$$I_{K0}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 10,94} = 6,07 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{8,06}{314 \cdot 7,395} = 0,0035 \text{ с} \quad , \quad k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0035}} = 1,057$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial}I_{K0}'' = \sqrt{2} \cdot 1,057 \cdot 6,07 = 9,07 \text{ кА}$$



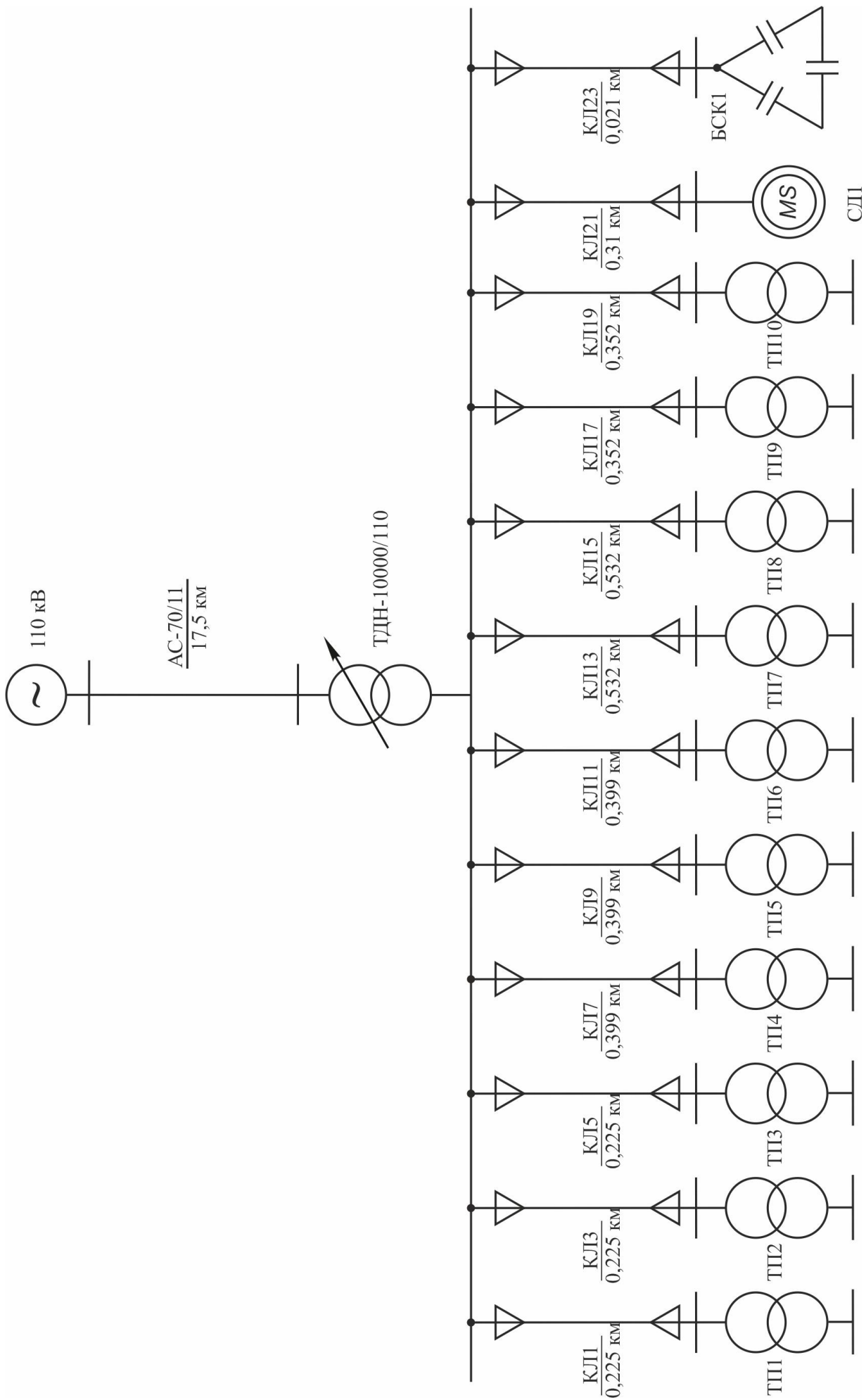


Рис. 6.1. Розрахункова схема

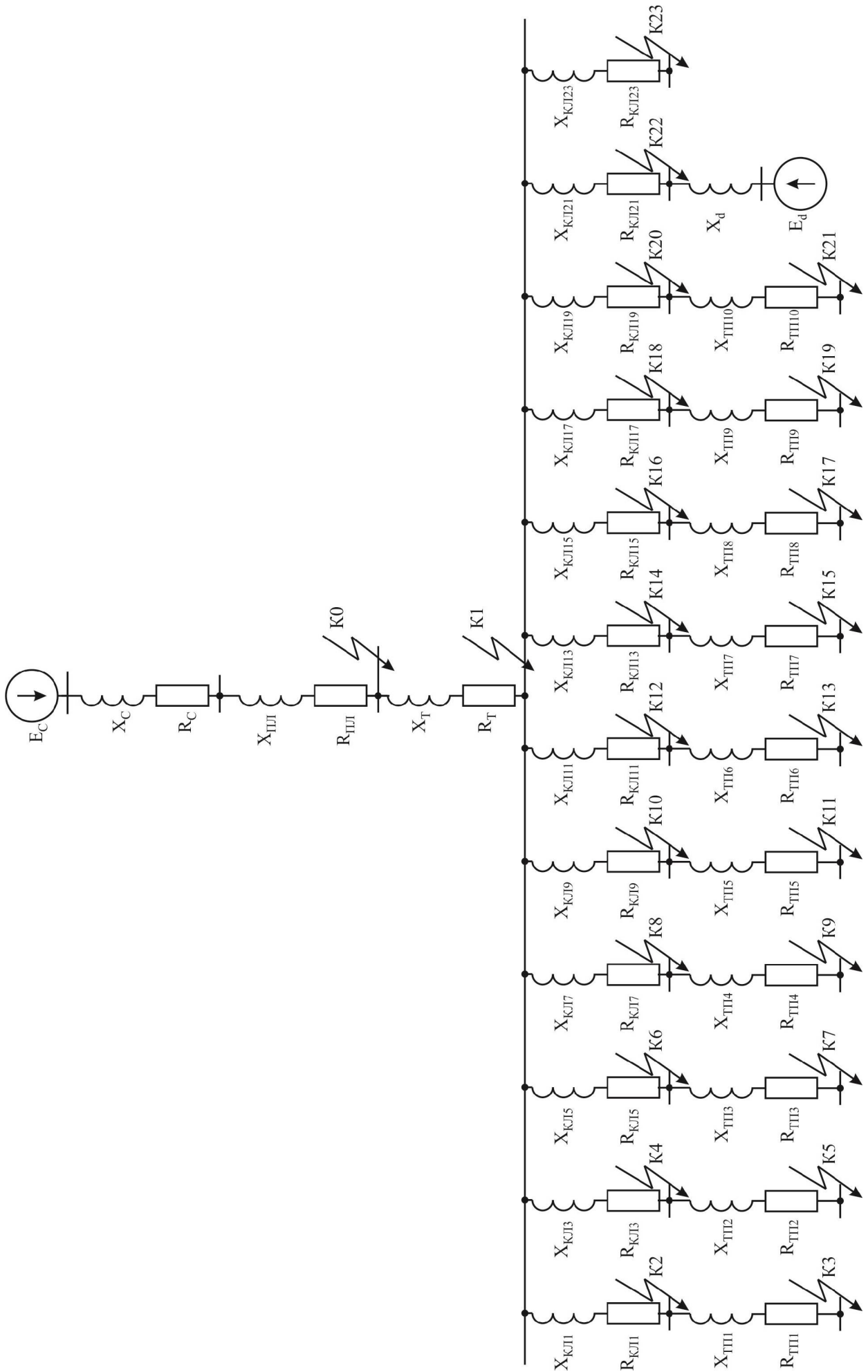


Рис. 6.2. Схема заміщення


Підраховуємо параметри струму к.з. в т. К1 (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт, ударний струму) визначаємо як результат дії двох складових – від енергосистеми та від високовольтного синхронного двигуна:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,234} = 4,91 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,227}{314 \cdot 0,132} = 0,0296 \text{ с}, \quad k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0296}} = 1,713$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,713 \cdot 4,91 = 11,89 \text{ кА}$$

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,75}{0,93 \cdot 0,96} = 0,84 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,84}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,046 \text{ кА}$$

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,046 = 0,506 \text{ кА}$$

$$T_{aСД} = \frac{X_{СД}}{\omega R_{СД}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}, \quad k_{y\partial(СД)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(СД)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

$$i_{y\partial 1(СД)} = \sqrt{2}k_{y\partial(СД)}I''_{K1(СД)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,506 = 1,3 \text{ кА}$$

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(СД)} = 4,91 + 0,506 = 5,42 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(СД)} = 11,89 + 1,3 = 13,19 \text{ кА}$$

Проведемо визначення параметрів для вибору КЛІ:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1423,64}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 39,14 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,42^2 (0,525 + 0,0296) = 16,29 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{16,29 \cdot 10^3} = 42,94 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 50) та проводимо розрахунок опорів КЛІ:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,62 \cdot 0,225 = 0,14 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,09 \cdot 0,225 = 0,02 \text{ Ом}$$

Опори інших ліній наведено в табл. 6.1.

Параметри загального опору та струму к.з. в т. К2 по схемі заміщення:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,227 + 0,02 = 1,247 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,132 + 0,14 = 0,272 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,272^2 + 1,247^2} = 1,276 \text{ Ом}$$

$$I_{K2}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,276} = 4,75 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,247}{314 \cdot 0,272} = 0,0146 \text{ с}, \quad k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0146}} = 1,504$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,504 \cdot 4,75 = 10,1 \text{ кА}$$

Опір трансформатора ТМ-1000/10:

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

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

Таблиця 6.1. Визначення опорів ліній КЛ

№ КЛ	$l$ , км	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$R$ , Ом	$X$ , Ом
1, 2	0,225	0,62	0,09	0,14	0,02
3, 4	0,225	0,62	0,09	0,14	0,02
5, 6	0,225	0,62	0,09	0,14	0,02
7, 8	0,399	0,62	0,09	0,247	0,036
9, 10	0,399	0,62	0,09	0,247	0,036
11, 12	0,399	0,62	0,09	0,247	0,036
13, 14	0,532	0,62	0,09	0,33	0,048
15, 16	0,532	0,62	0,09	0,33	0,048
17, 18	0,352	0,62	0,09	0,218	0,032
19	0,352	0,62	0,09	0,218	0,032
20, 21	0,31	0,62	0,09	0,192	0,028
22, 23	0,021	0,62	0,09	0,013	0,002

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,247 + 6,064) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,272 + 0,948) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0018 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0018^2 + 0,0106^2} = 0,0108 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0108} = 21,38 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0018} = 0,0188 \text{ с}, \quad k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0188}} = 1,587$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,587 \cdot 21,38 = 47,98 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів к.з. в інших точках наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	$I_K''$ , кА	$T_a$ , с	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$ , кА
0	7,3950	8,0600	6,07	0,0035	1,057	9,07
1	0,1320	1,2270	5,42	0,0296	1,713	13,19
2	0,2720	1,2470	4,75	0,0146	1,504	10,10
3	0,0018	0,0106	21,38	0,0188	1,587	47,98
4	0,2720	1,2470	4,75	0,0146	1,504	10,10
5	0,0018	0,0106	21,38	0,0188	1,587	47,98
6	0,2720	1,2470	4,75	0,0146	1,504	10,10
7	0,0018	0,0106	21,38	0,0188	1,587	47,98
8	0,3790	1,2630	4,60	0,0106	1,389	9,04
9	0,0019	0,0106	21,38	0,0178	1,570	47,47
10	0,3790	1,2630	4,60	0,0106	1,389	9,04
11	0,0019	0,0106	21,38	0,0178	1,570	47,47
12	0,3790	1,2630	4,60	0,0106	1,389	9,04
13	0,0019	0,0106	21,38	0,0178	1,570	47,47
14	0,4620	1,2750	4,47	0,0088	1,321	8,35
15	0,0020	0,0107	21,19	0,0170	1,555	46,60
16	0,4620	1,2750	4,47	0,0088	1,321	8,35
17	0,0020	0,0107	21,19	0,0170	1,555	46,60
18	0,3500	1,2590	4,64	0,0115	1,419	9,31
19	0,0019	0,0106	21,38	0,0178	1,570	47,47
20	0,3500	1,2590	4,64	0,0115	1,419	9,31
21	0,0019	0,0106	21,38	0,0178	1,570	47,47
22	0,3240	1,2550	4,68	0,0123	1,444	9,56
23	0,1450	1,2290	4,90	0,0270	1,690	11,71



Таблиця .6.3. Вибір КЛ

№ КЛ	n, шт	S <sub>p</sub> , МВА	I <sub>p</sub> , А	I <sub>p.ав.</sub> , А	F <sub>ек</sub> , мм <sup>2</sup>	B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> ·с	F <sub>min</sub> , мм <sup>2</sup>	Марка кабелю	I <sub>дон</sub> , А	K <sub>n</sub>	K <sub>n</sub> I <sub>дон</sub> , А	K <sub>ан</sub>	K' <sub>n</sub>	K <sub>ан</sub> K' <sub>n</sub> I <sub>дон</sub> , А
1, 2	2	1423,64	39,14	78,28	27,96	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
3, 4	2	1423,64	39,14	78,28	27,96	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
5, 6	2	1423,64	39,14	78,28	27,96	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
7, 8	2	1381,5	37,98	75,96	27,13	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
9, 10	2	1381,5	37,98	75,96	27,13	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
11, 12	2	1381,5	37,98	75,96	27,13	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
13, 14	2	1371,76	37,71	75,42	26,94	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
15, 16	2	1371,76	37,71	75,42	26,94	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
17, 18	2	1386,47	38,12	76,24	27,23	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	1,25	1	131,25
19	1	693,237	38,12	-	27,23	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	1	105	-	-	-
20, 21	2	579	15,92	-	11,37	16,29	42,94	ААШВ-10 (3 x 50)	105	0,92	96,6	-	-	-
22, 23	2	450	12,37	-	8,84	16,29	42,94	ААШВ-10(3 x 50)	105	0,92	96,6	-	-	-

### 6.3 Обрання високовольтних електричних апаратів

Розрахункові параметри вибору ввідних вимикачів наведені в табл. 6.4-6.5.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 110 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$97,16 \leq 3150$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$6,07 \leq 40$ $0 \leq 19,8$ $1,41 \cdot 6,07 + 0 < < 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $8,58 \leq 76,37$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$6,07 \leq 52$ $9,08 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$38,52 \leq 1200$

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

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 13,32 \cdot e^{\frac{-0,042}{0,0035}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{пз.маx} + T_a) = 6,07^2 (0,022 + 1,02 + 0,0035) = 38,52 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо LTB-145D1/B.



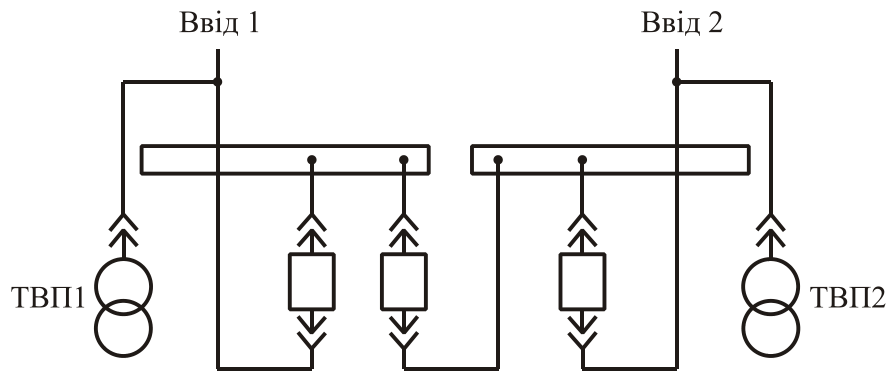


Рис. 6.3. Схема приєднання до мережі ТВП

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№ п/п	Споживачі	$P_{ном}$ , кВт	$n$ , шт.	$P_{сум}$ , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст}$ , кВт	$Q_{ус}$ , кВАр
1.	Електродвигуни обдуву трансформаторів номінальною потужністю 10 МВА	7	4	28	0,8	0,75	28	21
2.	Пристрої підігріву вимикачів номінальною напругою 110 кВ	1,75	3	5,25	0,97	0,25	5,25	1
3.	Пристрої підігріву комірок	0,6	32	19,2	0,97	0,25	19,2	5
4.	Опалення і освітлення приміщення оперативного	6	3	18	0,97	0,25	18	5
5.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
6.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>							107	42

Сумарне електр. навант. ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{106,5^2 + 42^2} = 114,48 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 114,48 = 91,58 \text{ кВА}$$

Обираємо ТМ-63/10.

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{91,58}{2 \cdot 63} = 0,73$$

## РОЗДІЛ 7

### СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

#### 7.1 Значення та позиція сектора фотовольтаїчної генерації в сучасній енергетичній системі

Галузь сонячної енергетики переживає безпрецедентний бум розвитку на глобальному рівні впродовж минулих десяти років. Згідно з офіційними звітами Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), протягом періоду 2010-2020 років загальні встановлені потужності фотоелектричних сонячних систем продемонстрували вражаючий ріст – збільшившись у 18 разів з початкових 40 ГВт до впечатляючих 728 ГВт.

Такі показники представляють найдинамічніші темпи збільшення інсталяцій серед всього спектра альтернативних енергетичних технологій. Феноменальне зростання сектору підтверджує його провідну роль у трансформації світової енергетичної системи та переході до сталого майбутнього.

Кардинальна трансформація ціноутворення перетворила фотоенергетичні технології на економічно вигідну альтернативу традиційним енергоносіям, суттєво підвищивши їх інвестиційну привабливість. Комбінація технологічного прогресу, економічної доцільності та політичної підтримки створила синергетичний ефект, який каталізував масштабну експансію сонячної індустрії на міжнародному рівні.

Україна представляє особливо яскравий приклад динамічного розвитку фотовольтаїки. Протягом п'ятирічного періоду країна пережила феноменальний «сонячний прорив» – загальна потужність фотоелектричних установок продемонструвала майже 40-кратне зростання, досягнувши позначки понад 8 ГВт станом на 2022 рік. Такі темпи розширення посилили позиції України серед провідних європейських гравців у сфері відновлюваної енергетики.

Таким чином, фотовольтаїчні технології поступово перетворюються на ключовий компонент глобальної енергетичної архітектури. Аналітичні прогнози





















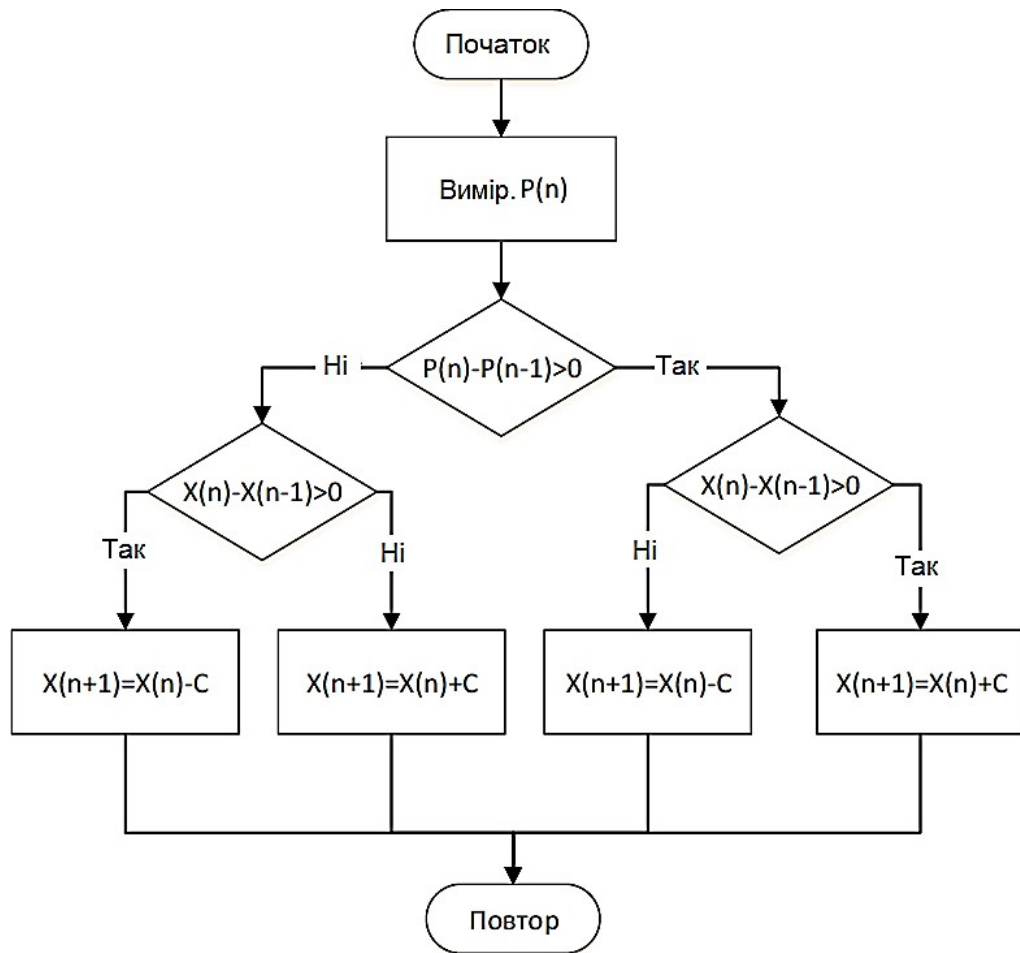


Рис. 7.2. Структурна схема алгоритму визначення оптимальної робочої точки методом покрокового аналізу

Широке застосування цієї методології обумовлене її відносною простотою програмної реалізації та невисокими вимогами до обчислювальних ресурсів мікропроцесорних систем управління. Водночас слід зазначити, що даний підхід може спричиняти періодичні флуктуації вихідної потужності в околицях точки максимуму, особливо за нестабільних погодних умов.

Для мінімізації таких коливань розробники часто застосовують адаптивні алгоритми, які динамічно регулюють величину кроку сканування залежно від швидкості зміни зовнішніх факторів та близькості до оптимальної робочої точки.

Технологія математичного диференціювання базується на фундаментальному принципі, згідно з яким перша похідна потужності за напругою



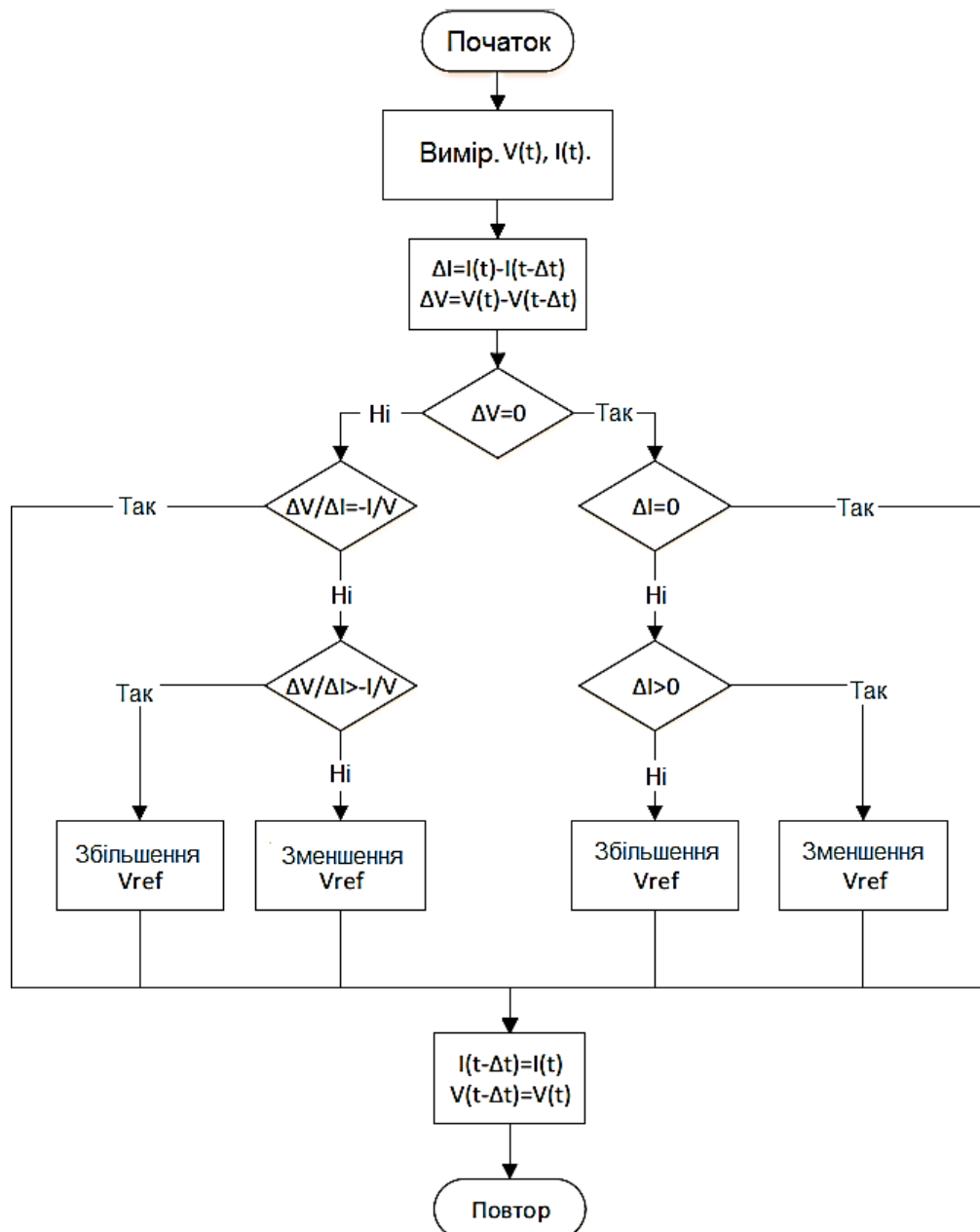


Рис. 7.3. Структурна схема алгоритму визначення оптимальної робочої точки за допомогою диференційного методу

Незважаючи на те, що диференціальна методологія вимагає суттєво більших обчислювальних ресурсів мікропроцесорної системи управління, вона демонструє значно вищу точність ідентифікації оптимальної операційної точки в умовах швидкоплинних коливань сонячної радіації порівняно з технікою послідовного зондування.






оптимальній позиції, зберігає безперервний пошук покращених параметрів, спричиняючи таким чином флуктуації вихідної енергії сонячних елементів навіть за сталого ступеня інсоляції. Подібна поведінка веде до незначних енергетичних втрат у системі.

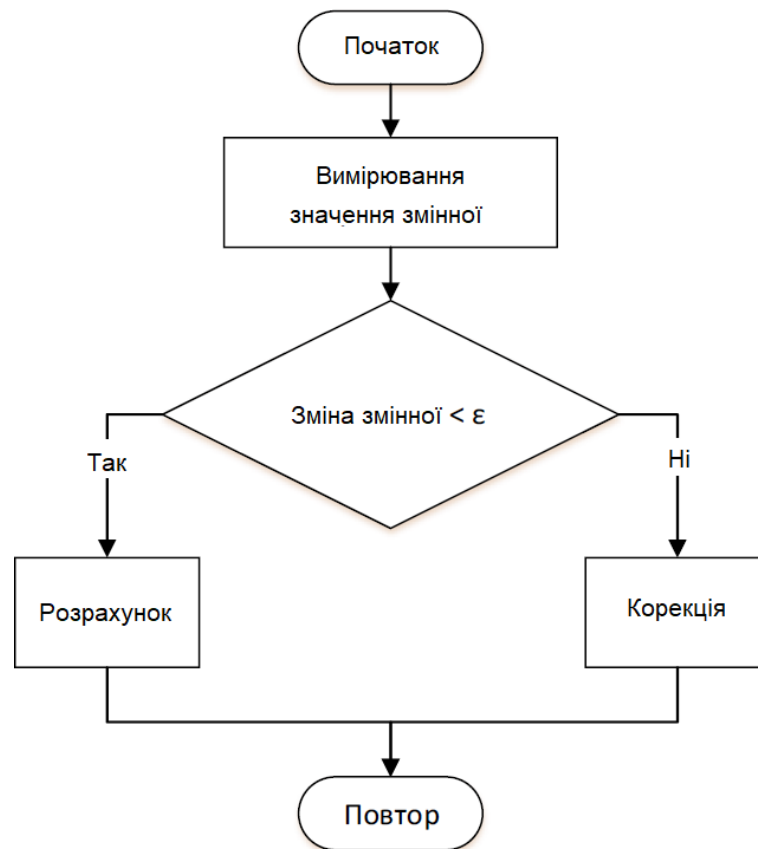


Рис. 7.4. Структурна схема ітераційного процесу комбінованого алгоритму визначення оптимальної робочої точки

Для мінімізації цих негативних ефектів застосовуються адаптивні алгоритми з варійованим кроком сканування або гібридні методи, що комбінують переваги різних підходів. Це дозволяє знизити амплітуду коливань та підвищити загальну ефективність енергетичного перетворення.

Алгоритм градієнтного аналізу, на противагу інкрементальному методу, здатен встановити екстремальну позицію без флуктуацій вихідної енергії. Однак при стрімких варіаціях освітленості його функціонування може набувати



гарантуватиме стабільність контуру за умов дрейфу електричної кривої сонячного елемента.

Детальне дослідження взаємозв'язку між параметрами керування та точністю відстеження максимуму дозволяє оптимізувати налаштування системи для різних експлуатаційних режимів. Особлива увага приділяється компромісу між швидкістю реакції системи та стабільністю роботи при мінливих зовнішніх умовах.

У процесі розробки сонячних енергетичних систем незалежного функціонування з екстремальними покроковими контролерами (ЕПК), для прогнозування їх енергетичної ефективності, виникає потреба у володінні інформацією про кореляцію прецизійності керування оптимумом від величини кроку варіації напруги стабілізації фотоелектричного модуля. З метою вивчення даної кореляції розроблена цифрова симуляційна модель автономної сонячної енергетичної установки у програмному середовищі MATLAB Simulink, загальна структура якої представлена на рис. 7.5.

Створена модель дозволяє досліджувати поведінку системи в різних експлуатаційних умовах та оптимізувати параметри керування для досягнення максимальної енергетичної віддачі. Використання потужних інструментів математичного моделювання забезпечує високу точність результатів та можливість детального аналізу динамічних процесів у системі.

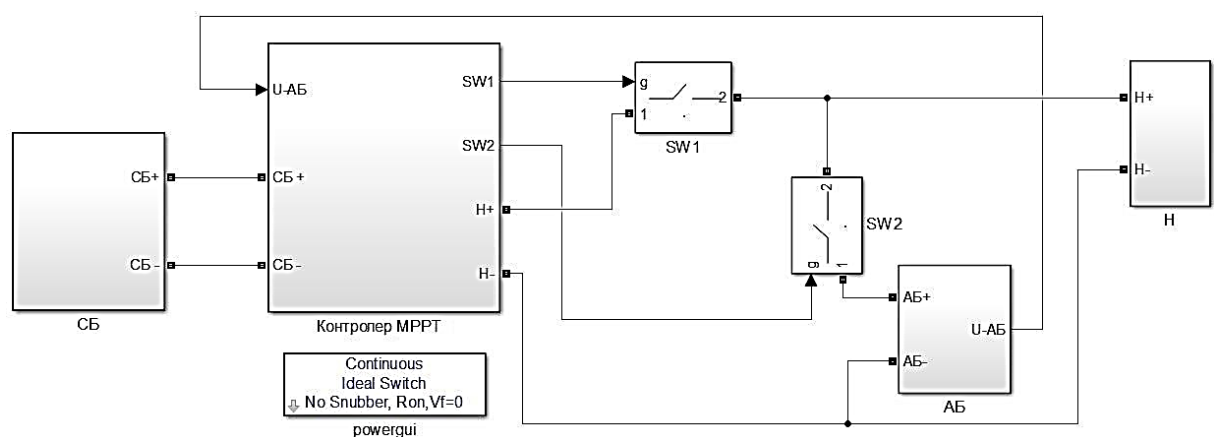


Рис. 7.5. Цифрова симуляційна модель незалежної сонячної енергетичної системи









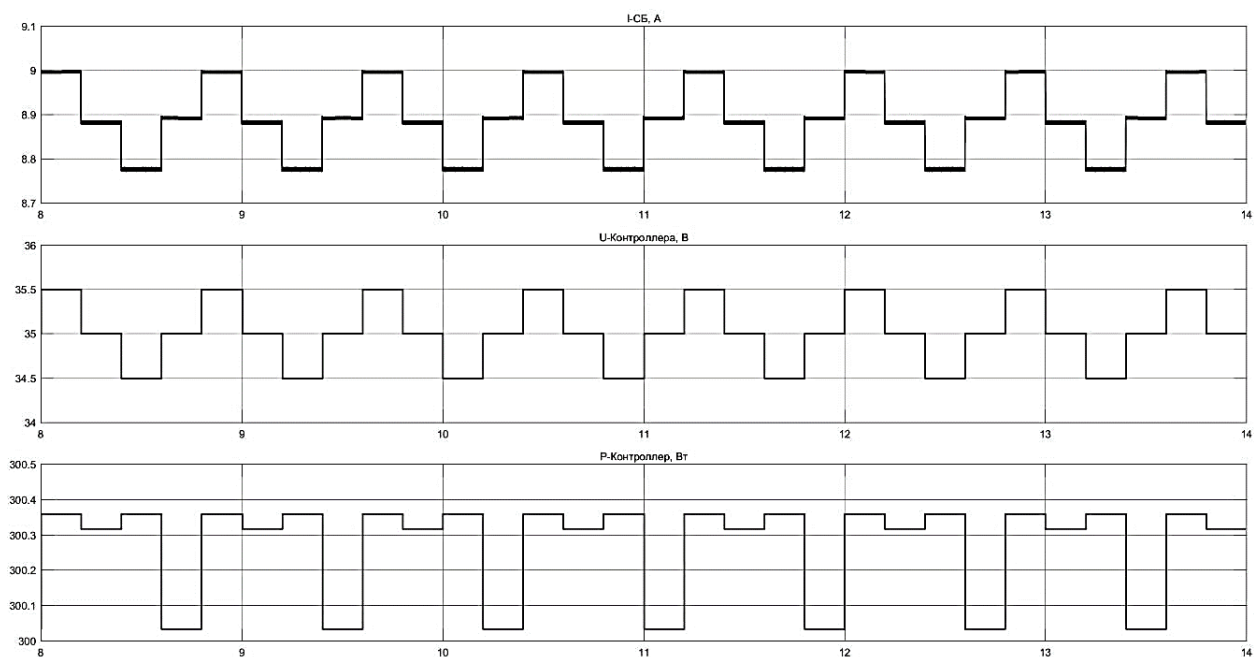


Рис. 7.9. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 0,5 \text{ В}$ ,  $\Delta f = 5 \text{ Гц}$ )

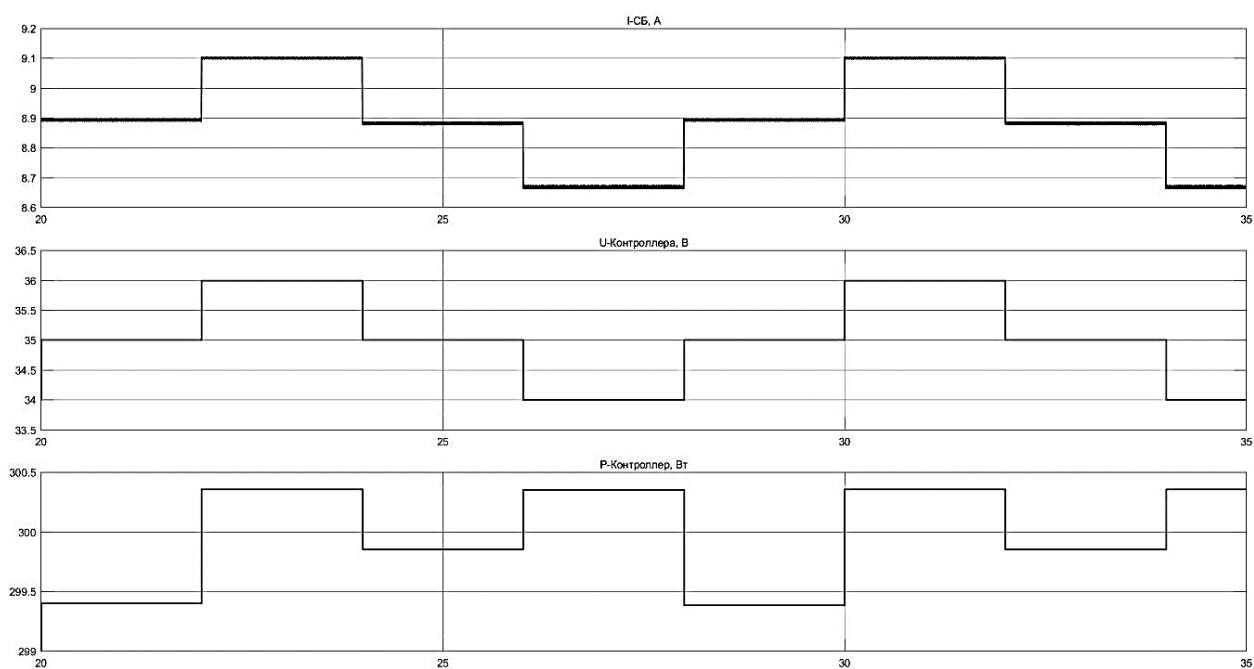


Рис. 7.10. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 1 \text{ В}$ ,  $\Delta f = 0,5 \text{ Гц}$ )

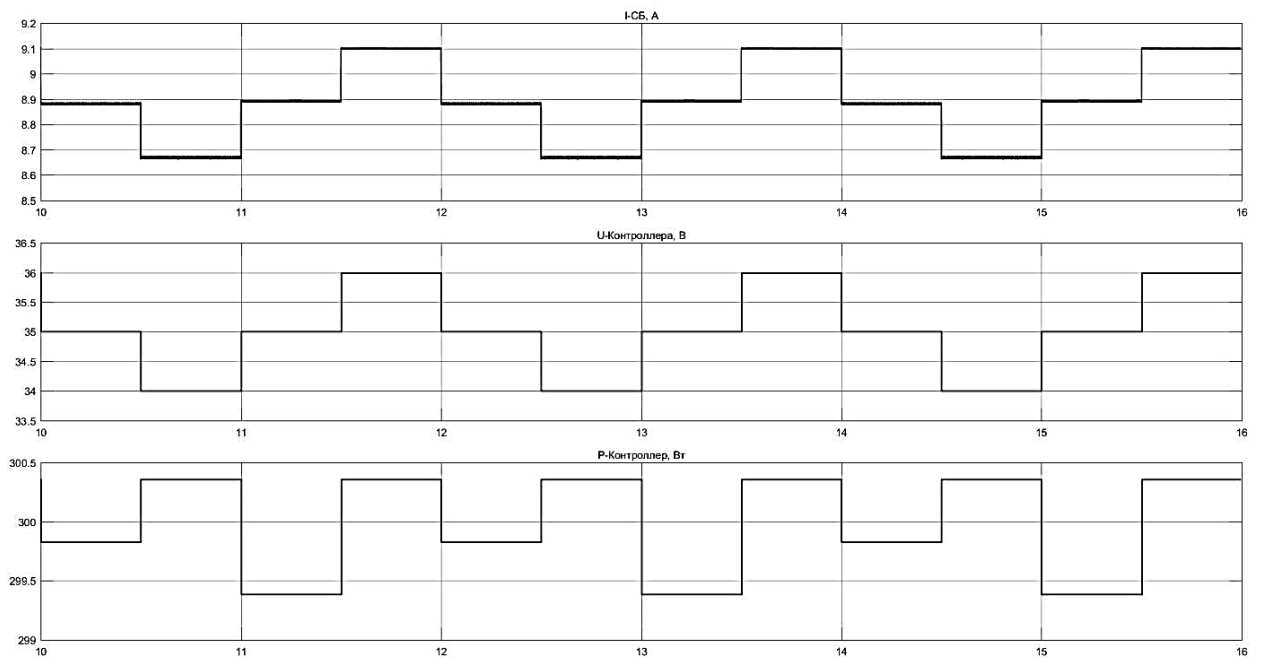



Рис. 7.11. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 1 \text{ В}$ ,  $\Delta f = 2 \text{ Гц}$ )

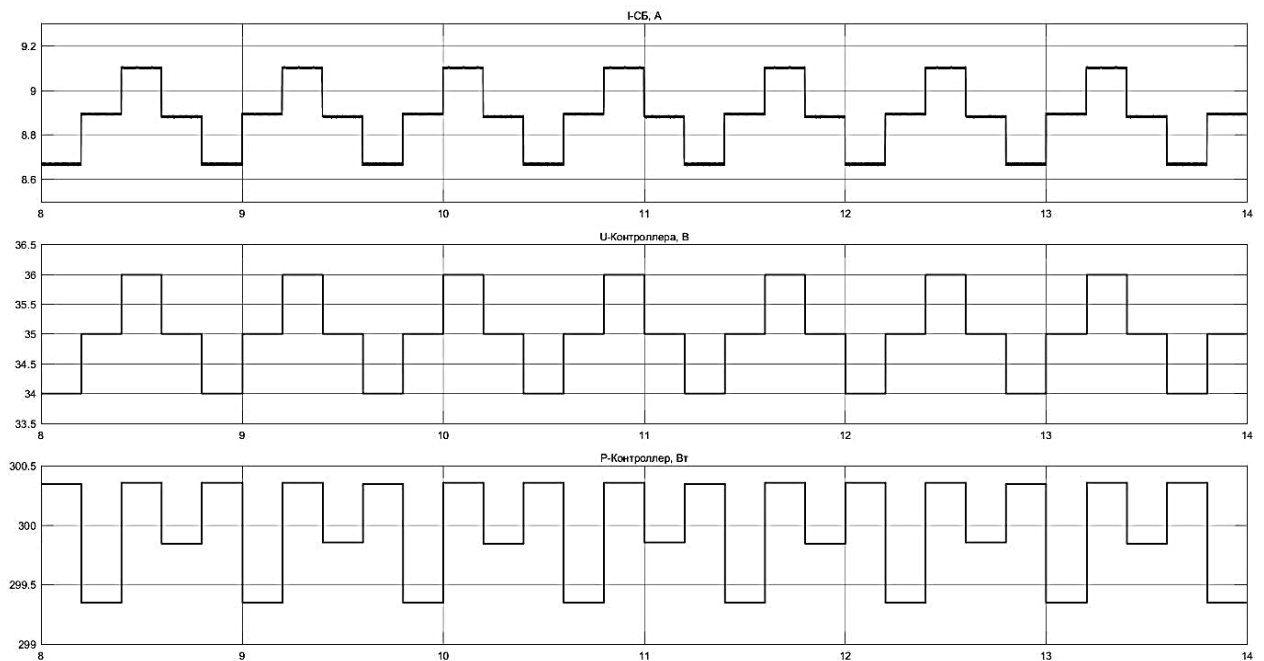


Рис. 7.12. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 1 \text{ В}$ ,  $\Delta f = 5 \text{ Гц}$ )

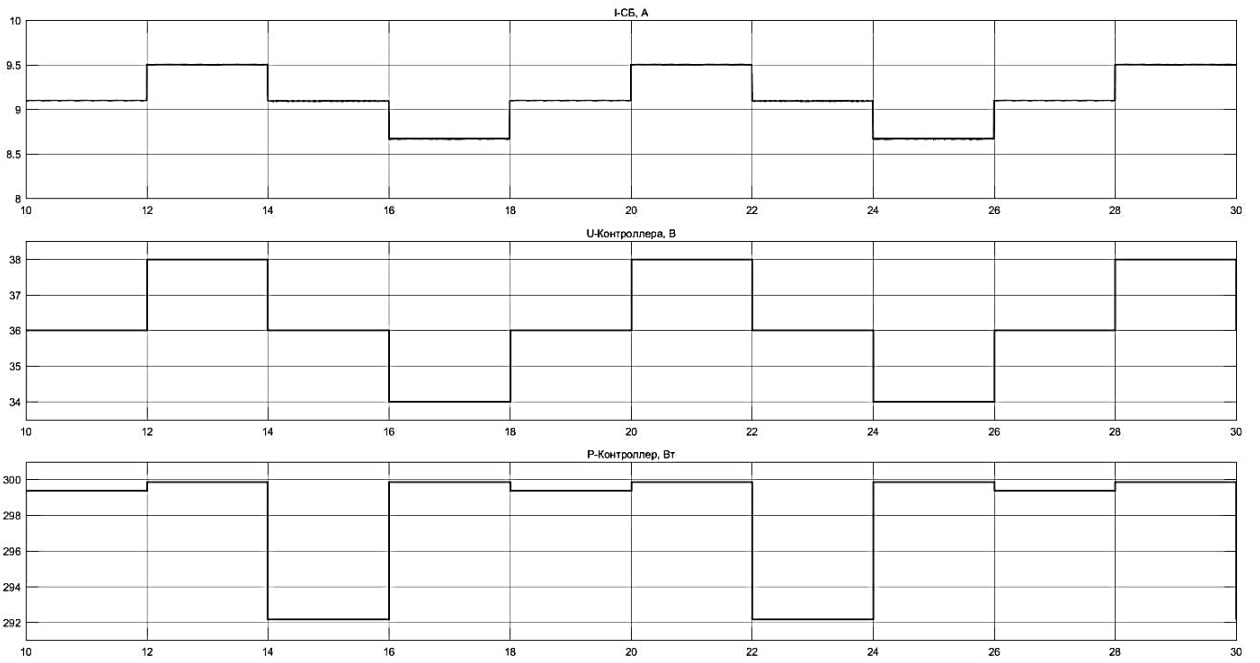



Рис. 7.13. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 2$  В,  $\Delta f = 0,5$  Гц

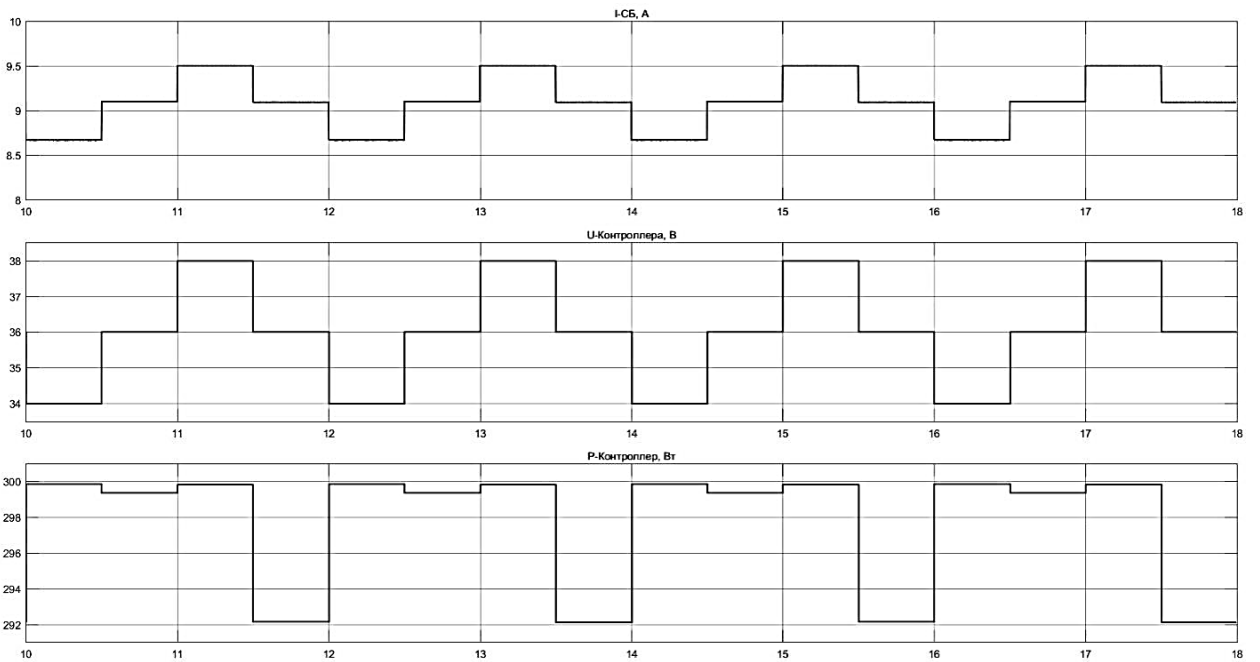


Рис. 7.14. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 2$  В,  $\Delta f = 2$  Гц)

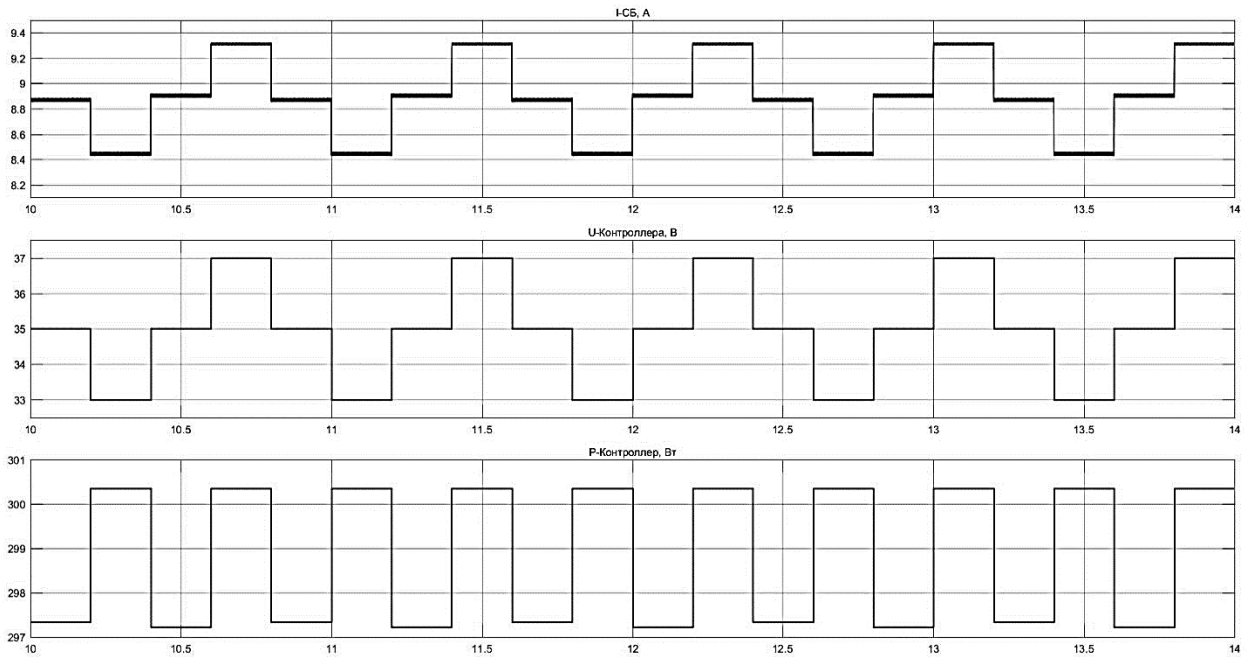



Рис. 7.15. Хронологічні діаграми робочих параметрів ( $\Delta U = 2$  В,  $\Delta f = 5$  Гц)

Дані графічні залежності демонструють працездатність створеного методу визначення оптимальної робочої точки при варіативних режимах експлуатації та надають можливість проаналізувати вплив модифікації налаштувань на функціонування системи управління зарядом. Подальше дослідження одержаних даних створить передумови для вдосконалення алгоритму відповідно до специфічних вимог практичного застосування.

На основі отриманих результатів математичного моделювання здійснено розрахунок взаємозв'язку між енергетичною ефективністю експлуатації сонячної панелі за показником потужності  $P_{СБ} / P_{\max,СБ}$  та величиною варіації кроку вихідної напруги  $U_{СБ}$  (позначено як  $\Delta U_{ст}$ ). Графічне відображення отриманих даних представлено на рис. 7.16, де символом  $P_{нд}$  позначається частка потужності фотовольтаїчного модуля, яка залишилася невикористаною в процесі енергетичного перетворення.

Детальний аналіз показників ефективності використання енергетичного потенціалу сонячної батареї демонструє важливі закономірності. При застосуванні ступінчастого регулювання напруги  $U_{СБ}$  у межах від 0,5 до 2,0 вольт досягається



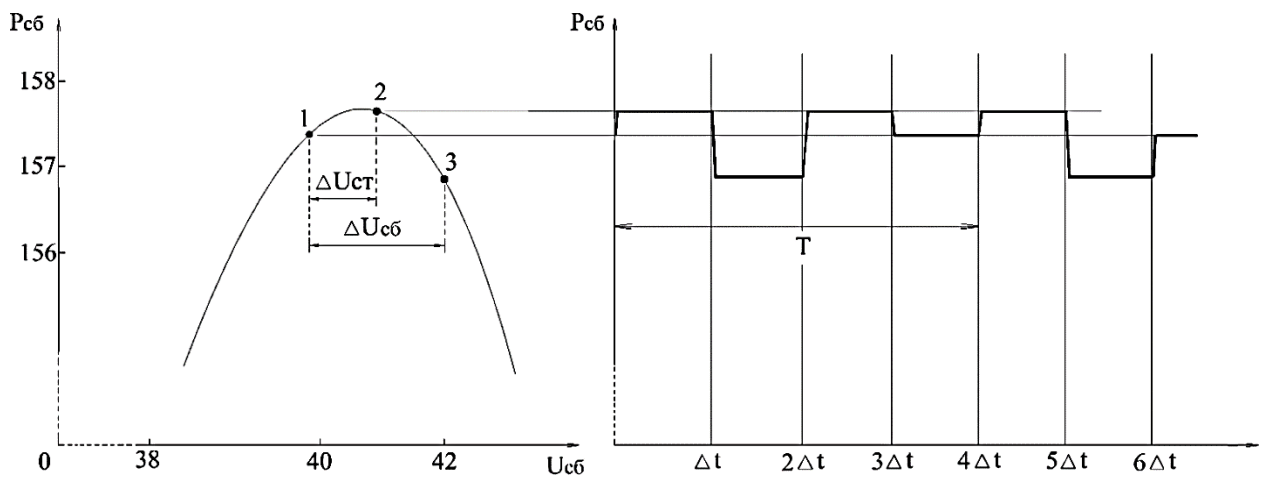


Рис. 7.17. Діаграма двофазного пошуку оптимальної потужності

При цьому кожна наступна ступінчаста модифікація напруги призводить до зниження енергетичної продуктивності сонячної панелі. Такий характер зміни потужності є індикатором того, що система вже знаходиться в околиці точки максимуму, а подальше регулювання напруги в обраному напрямку призводить до відхилення від оптимального режиму роботи.

Ефективність двокрокового методу залежить від точності початкового наближення та величини кроку регулювання. Менші кроки забезпечують вищу точність позиціонування, але потребують більше часу для досягнення оптимального. Більші кроки прискорюють процес пошуку, проте можуть призводити до перескакування через точку максимальної потужності.

В автоматизованих комплексах з аналоговими засобами моніторингу енергетичної продуктивності фотовольтаїчних модулів, що містять гістерезисні елементи в контурі порівняння вихідної потужності, теоретично реалізується трикроковий алгоритм оптимізації. Цей режим стає можливим при кожній зміні керуючої напруги сонячної панелі на величину  $\Delta U_{ст}$ .

Наявність гістерезису в аналогових компараторах створює зону невизначеності, в межах якої система може не реагувати на незначні коливання потужності. Така особливість дозволяє здійснити додатковий крок регулювання без чіткого визначення напрямку зміни енергетичних параметрів.







Зазначена умова забезпечує достатність функціонування виключно для сценаріїв горизонтального зміщення напруги неробочого ходу фотовольтаїчного модуля. Такий режим характеризується постійністю максимального значення електричної потужності сонячної панелі, без її кількісних змін.

Описаний режим роботи може реалізуватися лише в теоретичних умовах, за умови пропорційного взаємного впливу температурних факторів та інтенсивності освітлення на процес дрейфу вихідної напруги. В реальних експлуатаційних умовах подібний баланс практично недосяжний.

У більшості практичних ситуацій зміщення напруги під час нагрівання фотоелектричних елементів супроводжується одночасним зниженням пікового значення генерованої потужності. За неправильного визначення частоти ступінчастого регулювання, наближеної до критичного значення  $\Delta U_{ст} / V_{СБ}$ , можливе виникнення реверсивних процесів у системі керування.

Причиною таких небажаних явищ стає падіння енергетичної продуктивності внаслідок переміщення операційної точки в напрямку екстремальних значень потужності. Графічна ілюстрація процесу детально представлена на рис. 7.20.

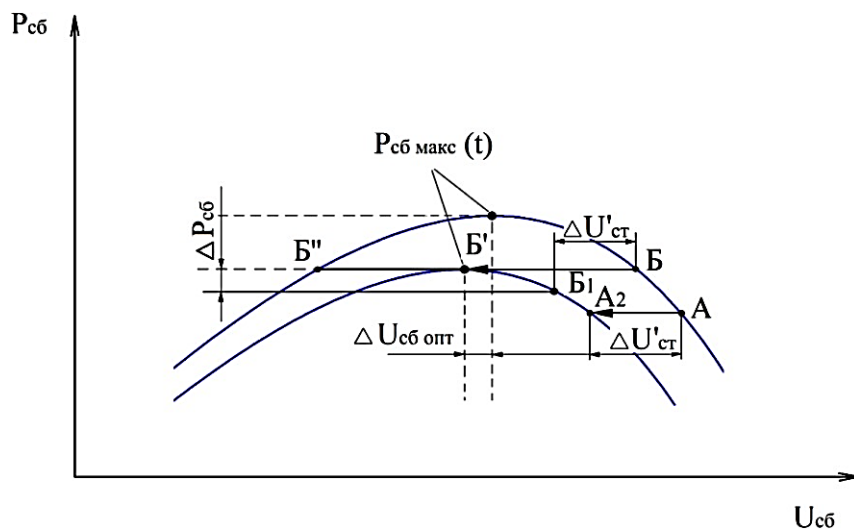


Рис. 7.20. Графічне представлення дрейфу потужнісної характеристики фотовольтаїчного модуля

Для гарантування стабільності функціонування автоматизованої системи необхідне дотримання додаткової умови:  $\Delta P_{СБ} > 0$ . Це означає, що приріст









