

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

« _____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розробка системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-21,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Андрій БРІГОВ

« _____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Валентин СОЛДАТЕНКО

« _____ » _____ 2025 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

«_____» _____ 2025 р.

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

Брігова Андрія Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання

Development of a power supply system for an electrical equipment manufacturing 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 02.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання. 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>03.02-19.02</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.02-28.02</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>01.03-12.03</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.03-01.04</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>02.04-12.04</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>13.05-01.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>02.05-20.05</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
«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

Андрій БРІГОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 83 с.; 14 рис.; 25 табл.; 5 джерел

Брігов А. О. Розробка системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання. – Рукопис.

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

Робота присвячена питанням розробки системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання.

У кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання. З урахуванням вимог до надійності, енергоефективності та економічної доцільності, проєкт охоплює аналіз електричних навантажень, побудову графіків споживання та картограми навантажень, що дозволило оптимізувати розміщення елементів мережі.

Виконано техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання, вибрано раціональну конфігурацію з урахуванням резервування. Проведено розрахунок балансу реактивної потужності, підбрано компенсуючі пристрої, виконано розрахунок струмів коротких замикань і вибрано відповідне високовольтне обладнання.

Запропонована система відповідає сучасним стандартам, забезпечує стабільне електроживлення підприємства та створює передумови для подальшого розвитку виробництва.

Ключові слова: розрахункове навантаження, електричні мережі, сонячна електростанція

ABSTRACT

Qualification work: 83 p.; 14 Fig.; 25 tables; 5 sources

Brihov A. Development of a power supply system for an electrical equipment manufacturing 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, 2025.

The work is devoted to the development of a power supply system for an electrical equipment manufacturing enterprise.

The qualification work developed a power supply system for an electrical equipment manufacturing enterprise. Taking into account the requirements for reliability, energy efficiency and economic feasibility, the project includes an analysis of electrical loads, construction of consumption schedules and load cartograms, which allowed optimizing the placement of network elements.

A feasibility study of external and internal power supply schemes was performed, a rational configuration was selected taking into account redundancy. A reactive power balance calculation was performed, compensating devices were selected, short-circuit currents were calculated and appropriate high-voltage equipment was selected.

The proposed system meets modern standards, ensures stable power supply to the enterprise and creates prerequisites for further development of production.

Keywords: calculated load, electrical networks, solar power plant

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	9
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ...	10
1.2 Розрахунок освітлювальних електричних навантажень	11
1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ	11
1.4 Графіки електричних навантажень підприємства електрообладнання.....	15
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	20
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ..	23
3.1 Схема зовнішнього електропостачання підприємства електрообладнання	24
3.2 Схема внутрішнього електропостачання підприємства електрообладнання ...	27
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ..	29
4.1 Баланс реактивної потужності підприємства електрообладнання	30
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	32
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	35
РОЗДІЛ 6. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	37
6.1 Визначення струмів коротких замкнень.....	38
6.2 Вибір обладнання кабельних ліній напругою 10 кВ	45
6.3 Вибір електричних апаратів напругою 10 кВ	47
6.4 Визначення потужності трансформаторів власних потреб і схем їх живлення	48
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ	50
7.1 Розвиток сонячної енергії як пріоритет становлення відновлюваних джерел енергії в Україні.....	50
7.2 Роль залученого користувача в удосконаленні мережевого електрозабезпечення	58
7.3 Симуляція функціонування локальної енергосистеми з подвійним підключенням споживчого вузла.....	65
7.4 Симуляція функціонування вдосконаленої локальної енергосистеми з подвійним підключенням споживачів.....	72
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка системи електропостачання підприємства з виробництва електрообладнання Development of a power supply system for an electrical equipment manufacturing enterprise			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Біглов А.О.							6	83	
Перев.	Солдатенко В.П.							ЦНТУ гр. ЕЕ-21		
Н. контр.	Солдатенко В.П.									
Затвер.	Плешков П.Г.									

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ

Приклад розрахунку силових електричних навантажень до 1000 В електролампового цеху приведений нижче.

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.миn}} = \frac{98}{1,8} = 54,4$$

$$P_{зм} = P_{\Sigma} K_B = 6790 \cdot 0,35 = 2376,50 \text{ кВт}$$

$$Q_{зм} = P_{зм} \operatorname{tg} \varphi = 2376,50 \cdot 0,88 = 2095,88 \text{ квар}$$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum P_H}{P_{н.маx}} = \frac{2 \cdot 6790}{98} \approx 139$$

Згідно [1] значення $K_p = 1,12$.

Отже, розрахункові навантаження електролампового цеху:

$$P_p = P_{зм} K_p = 2376,50 \cdot 1,12 = 2665,64 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{зм} = 2095,88 \text{ квар},$$

Результати розрахунків зведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Силові навантаження до 1000 В

№	Назва цеху	N спо ж шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _B	cos φ	tg φ	Сер. зм. нав.		n _{еф}	K _p	Розрах. навант.		
			мін, кВт	мак, кВт						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
1	Електроламповий цех	195	1,8	98	6790	54,4	0,35	0,750	0,880	2376,50	2095,88	139	1,12	2665,64	2095,88	3390,92
2	Заготівельний цех та склади	145	4,5	112,5	285	25	0,35	0,750	0,880	99,75	87,97	5	1,85	184,84	96,77	208,64
3	Обмоточний цех	115	7,5	55	1350	7,3	0,30	0,700	1,020	405,00	413,18	49	1,25	505,18	413,18	652,63
4	Цех автотракторного обладнання	58	11	92	1680	8,4	0,50	0,700	1,020	840,00	856,97	37	1,18	988,04	856,97	1307,91
5	Збиральний цех №1	68	2,75	78	1580	28,4	0,50	0,800	0,750	790,00	592,50	41	1,17	921,39	592,5	1095,45
6	Штампувальний цех	48	9,5	87	1180	9,2	0,25	0,650	1,170	295,00	344,89	27	1,40	412,53	344,89	537,71
7	Компресорна	48	11	87	1180	7,9	0,70	0,850	0,620	826,00	511,91	27	1,11	918,79	511,91	1051,77
8	Збиральний цех №2	23	25	198	1150	7,9	0,70	0,700	1,020	805,00	821,26	12	1,18	950,14	821,26	1255,88
	Всього	700	1,8	198	15195	110	0,424	0,75	0,89	6437,3	5724,56	153	1,1	7057,2	5724,6	9087

Таблиця 1.3. Силові навантаження вище 1 кВ

Назва	N спож шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _v	cosφ	tgφ	Сер. зм. нав.		n _{эф}	K _p	Розрах. навантаж.		
		мін, кВт	макс, кВт						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП-1, ТП-2															
Електроламповий цех															
силове:	195	1,8	98	6790	54,4	0,35	0,75	0,88	2376,5	2095,88	139	1,12	2665,64	2095,88	3390,92
освітлювальне:									63,09				71,92	124,57	
Всього:									2439,59	2095,88			2737,56	2220,45	3524,86
Територія заводу															
освітлювальне:									11,4				12,77	22,12	
Всього:									11,4	0			12,77	22,12	25,54
Всього по ТП-1, ТП-2:															
силове:	195	1,8	98	6790	54,4	0,35	0,75	0,88	2376,5	2095,88	139	1,12	2665,64	2095,88	3390,92
освітлювальне:									74,49				84,69	146,69	
БК 0,4 кВ										-2058				-2058	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП-1, ТП-2:									2450,99	37,88			2750,33	184,57	2756,52
Врати в трансформаторах													30,7	160,48	
Кількість трансформаторів: 4															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП-1, ТП-2:													2781,03	345,05	2802,35
ТП-3															
Заготівельний цех та склади															
силове:	145	4,5	112,5	285	25,0	0,35	0,75	0,88	99,75	87,97	5	1,85	184,84	96,77	208,64
освітлювальне:									18,42				21	10,16	
Всього:									118,17	87,97			205,84	106,93	231,96
Цех автотракторного обладнання															
силове:	58	11	92	1680	8,4	0,50	0,70	1,02	840	856,97	37	1,18	988,04	856,97	1307,91
освітлювальне:									36,08				41,13	19,91	
Всього:									876,08	856,97			1029,17	876,88	1352,08
Всього по ТП-3:															
силове:	203	4,5	112,5	1965	25,0	0,48	0,71	1,01	939,75	944,94	35	1,19	1120,2	944,94	1465,52

Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

№	Зим. дні						Літн. дні					
	Роб. дні			Вихідні			Роб. дні			Вихідні		
	$P_{дп}$ 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	8362	1003	8422	4432	462	4456	7108	853	7159	3767	392	3787
2	7024	923	7084	4432	462	4456	5971	785	6022	3767	392	3787
3	7777	913	7830	4432	462	4456	6610	776	6655	3767	392	3787
4	5686	793	5741	4432	462	4456	4833	674	4880	3767	392	3787
5	3679	652	3736	4432	462	4456	3127	554	3176	3767	392	3787
6	3428	662	3491	4432	462	4456	2914	563	2968	3767	392	3787
7	5603	753	5653	4432	462	4456	4762	640	4805	3767	392	3787
8	5603	813	5662	3178	462	3211	4762	691	4812	2701	392	2729
9	5770	853	5833	3178	361	3198	4904	725	4957	2701	307	2718
10	5686	773	5738	3178	361	3198	4833	657	4877	2701	307	2718
11	5435	813	5495	3178	361	3198	4620	691	4671	2701	307	2718
12	4934	743	4990	3178	361	3198	4194	631	4241	2701	307	2718
13	4599	753	4660	3178	361	3198	3909	640	3961	2701	307	2718
14	4432	682	4484	3178	361	3198	3767	580	3811	2701	307	2718
15	5268	763	5323	3178	361	3198	4478	648	4525	2701	307	2718
16	5686	843	5748	3178	361	3198	4833	716	4886	2701	307	2718
17	6021	853	6081	3178	361	3198	5118	725	5169	2701	307	2718
18	5686	843	5748	3178	361	3198	4833	716	4886	2701	307	2718
19	5853	843	5913	4432	462	4456	4975	716	5026	3767	392	3787
20	5519	783	5574	4432	462	4456	4691	665	4738	3767	392	3787
21	4934	722	4987	4432	462	4456	4194	614	4239	3767	392	3787
22	2425	743	2536	4432	462	4456	2061	631	2155	3767	392	3787
23	4934	753	4991	4432	462	4456	4194	640	4243	3767	392	3787
24	8362	1003	8422	4432	462	4456	7108	853	7159	3767	392	3787

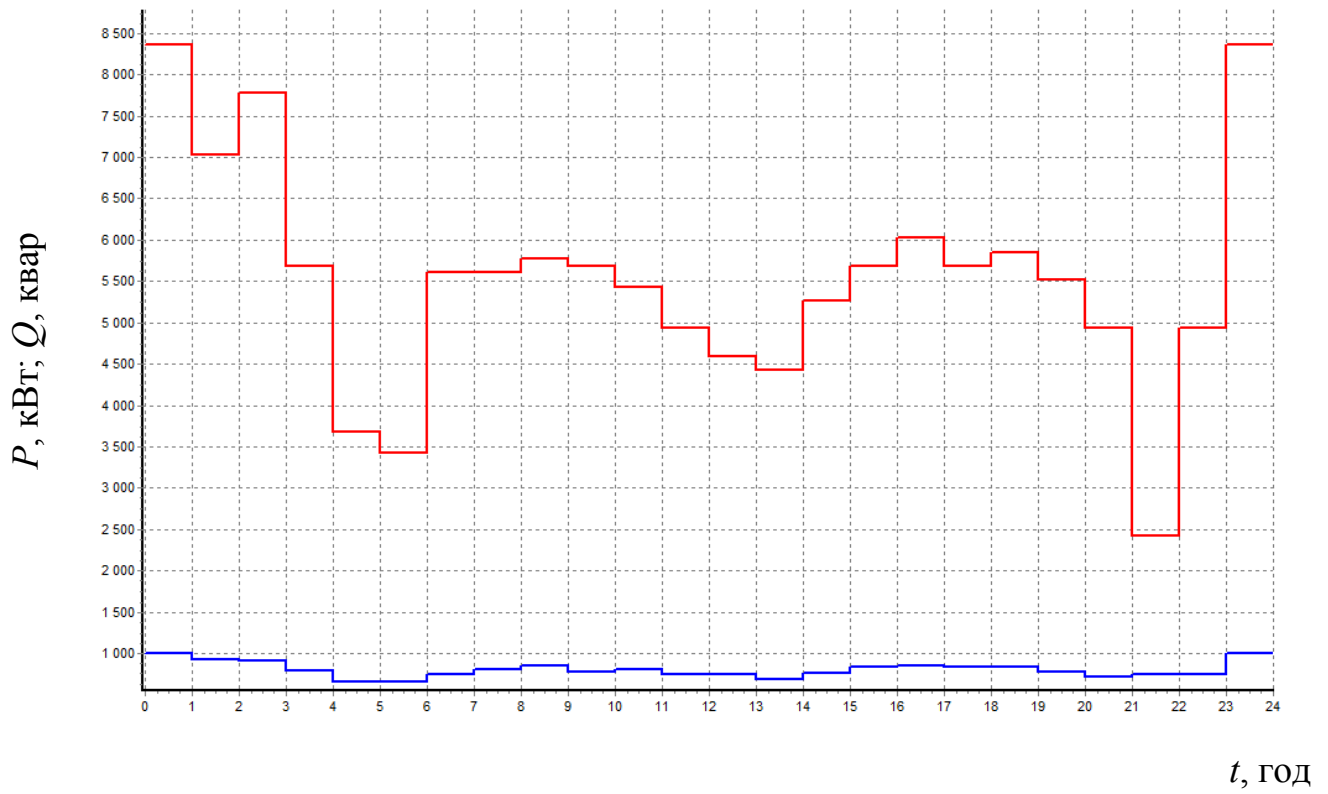


Рис. 1.1. Добові графіки (з. р.)

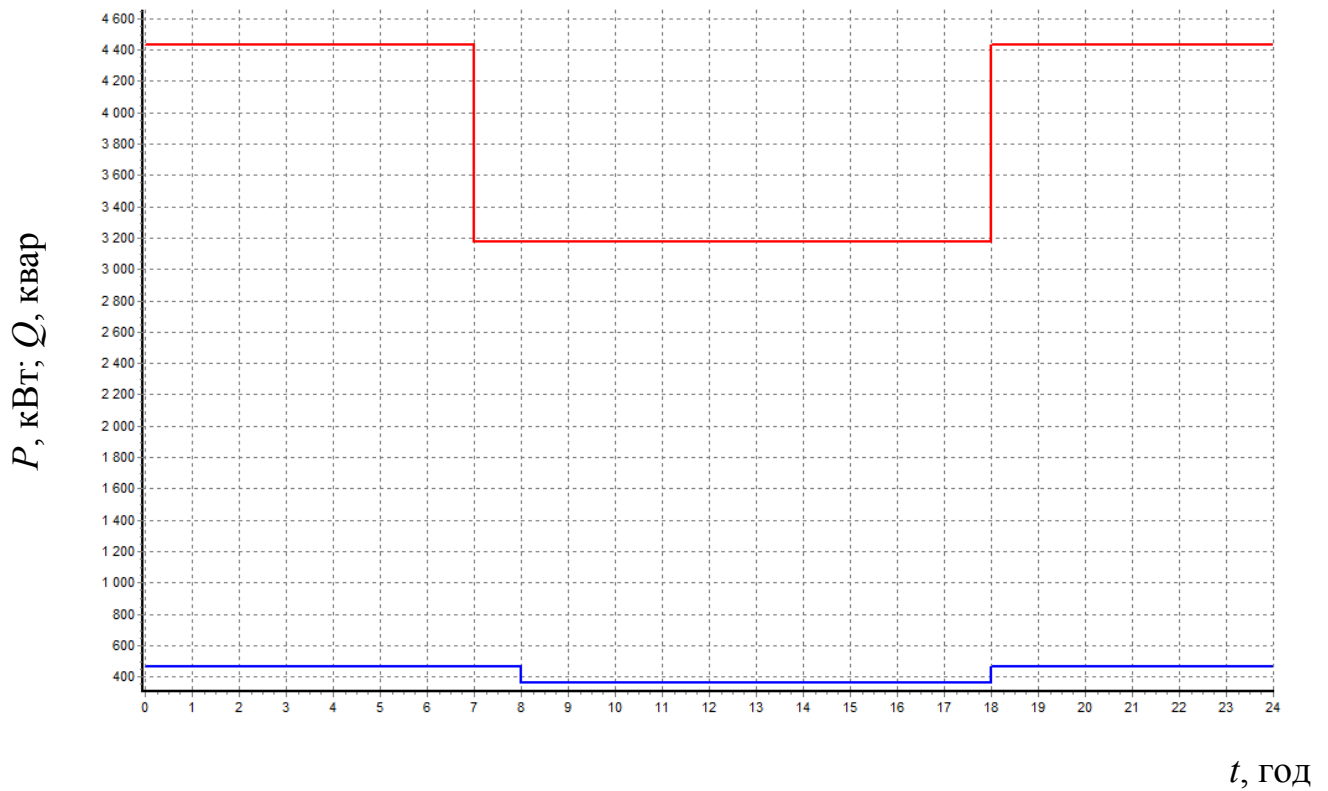


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (з.в.)

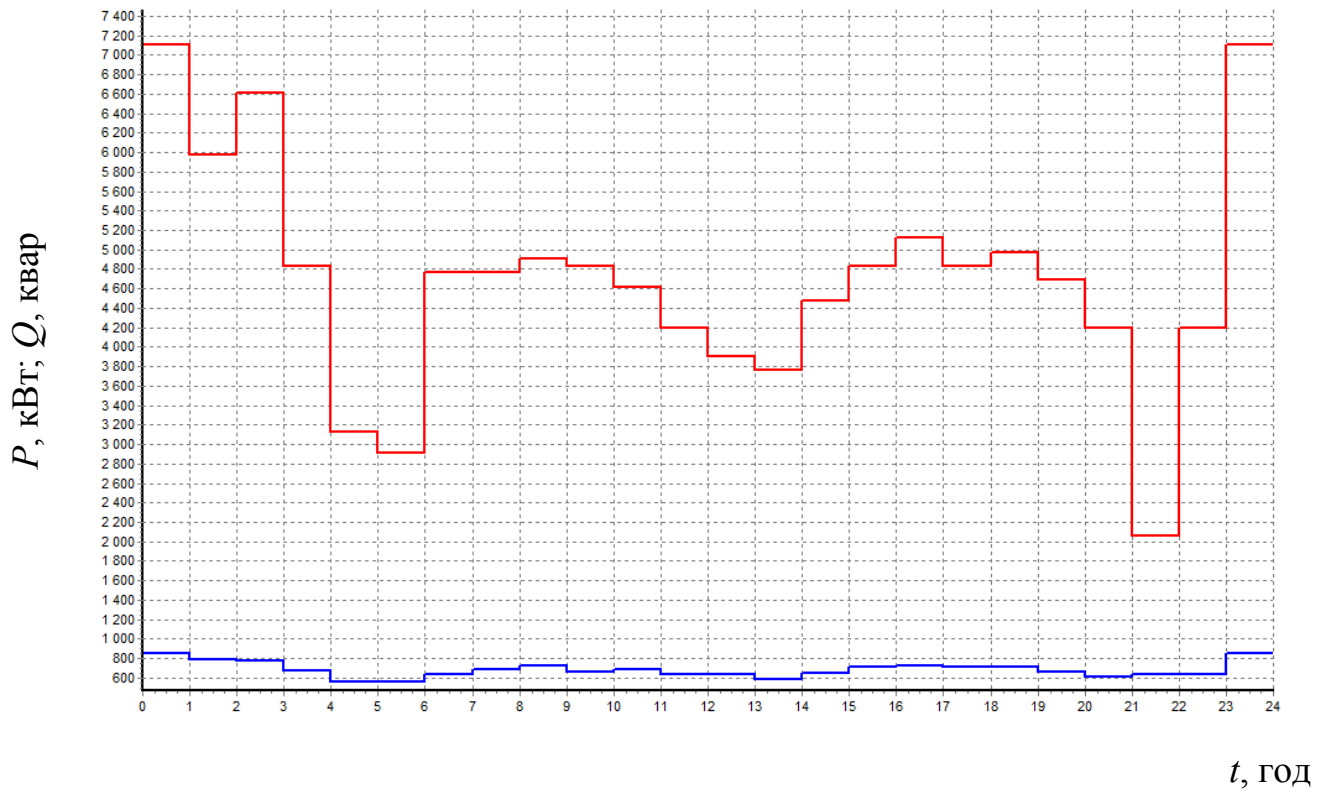


Рис. 1.3. Добові графіки (л.р.)

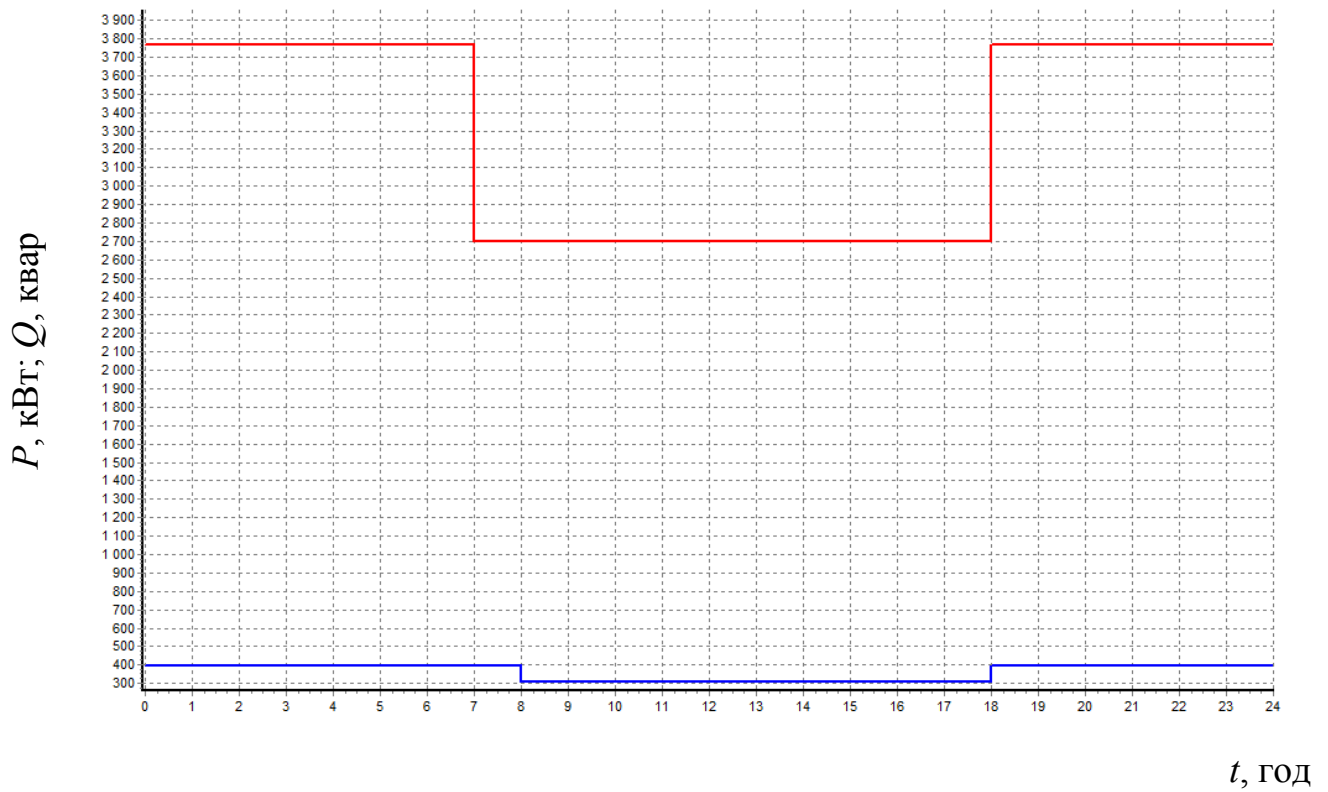


Рис. 1.4 Добові графіки (л.в.)

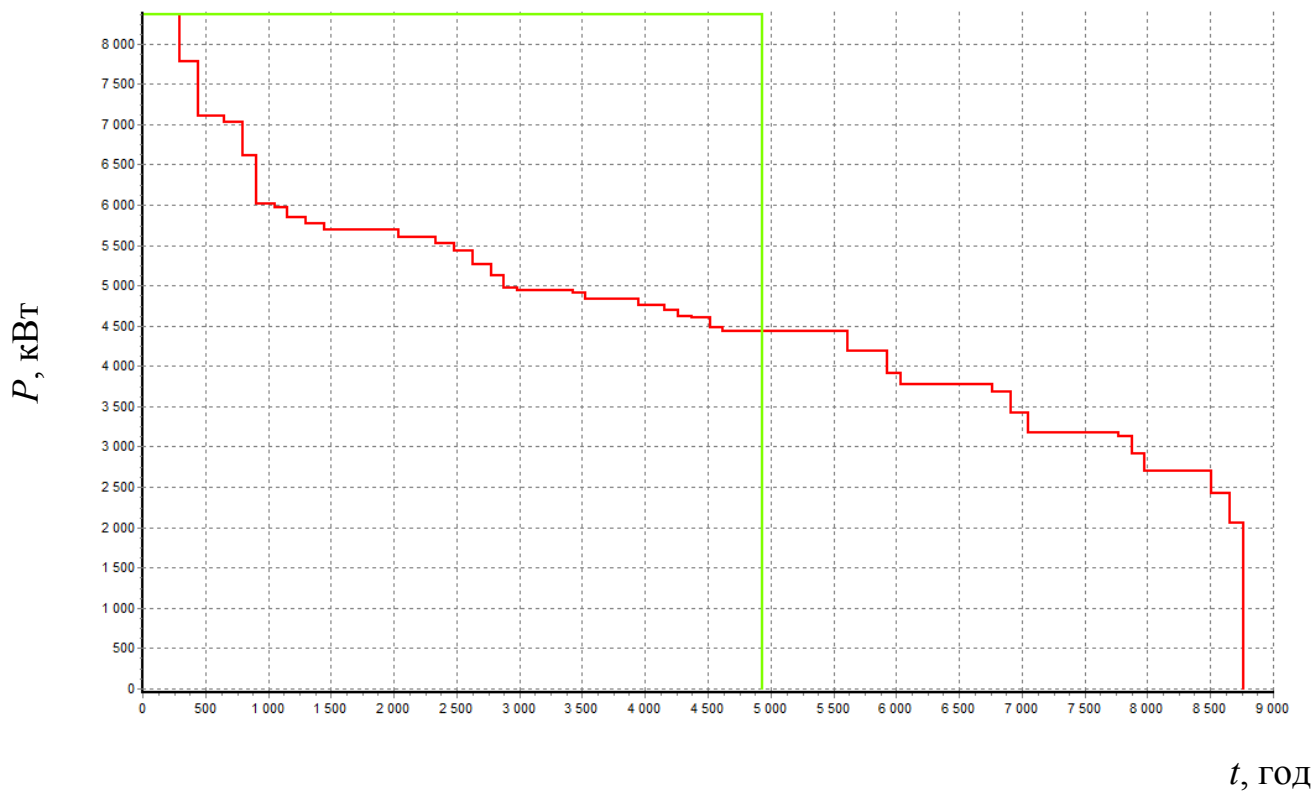


Рис. 1.5. Річний графік за тривалістю (P)

Таблиця 1.6. Результати розрах. параметрів графіків

№	Назва параметру	Знач.	Од. вим.
1	$S_{розр}$	8422,12	МВА
2	$W_{з.р.}$	19507782	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	2833866	квар·год
4	$W_{з.в.}$	6017310	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	655070	квар·год
6	$W_{л.р.}$	11843895	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	1720320	квар·год
8	$W_{л.в.}$	3776736	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	410784	квар·год
10	$W_{річн.}$	41145723	кВт·год
11	$V_{річн.}$	5620040	квар·год
12	T_M	4930,8	год
13	τ_M	3335,7	год

пункту. За необхідності, результати уточнюються з урахуванням просторових обмежень, прокладення інженерних комунікацій, санітарно-технічних та протипожежних вимог.

У цьому розділі буде виконано побудову картограми електричних навантажень підприємства з виробництва електрообладнання, обчислено координати центра навантажень, і на основі отриманих даних буде обґрунтовано доцільне розміщення головних елементів системи електропостачання.

Для прикладу далі приводиться розрахунок картограми навантажень для електролампового цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{осв}} + P_{\text{сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{2665,64 + 71,92}{3,14 \cdot 0,2}} = 66,01 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{27 \cdot 360}{2665,64 + 71,92} = 9,46^\circ.$$

Розрахунок для інших забудов виконано в таблиці 2.1.

Центр електричних навантажень має наступні координати на генплані:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{1415306,17}{8769,20} = 161 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{1112035,64}{8769,20} = 127 \text{ м}.$$

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови картограми та визначення центру електричних навант.

№ п/п	Найменування	$P_{P.сил}$ кВт	$P_{P.осв}$ кВт	P_P , кВт	m	R , мм	α	x , м	y , м	$P \cdot x$, кВт · м	$P \cdot y$, кВт · м
1	Електроламповий цех	2665,64	71,92	2737,56	0,2	66,01	9,46	191	203	522873,96	555724,68
2	Заготівельний цех та скл	184,84	21	205,84	0,2	18,10	36,73	70	201	14408,80	41373,84
3	Обмоточний цех	505,18	38,95	544,13	0,2	29,43	25,77	284	194	154532,92	105561,22
4	Цех автотракторного об	988,04	41,13	1029,17	0,2	40,47	14,39	48	130	49400,16	133792,10
5	Збиральний цех №1	921,39	32,08	953,47	0,2	38,96	12,11	383	114	365179,01	108695,58
6	Штампувальний цех	412,53	26,33	438,86	0,2	26,43	21,60	265	102	116297,90	44763,72
7	Компресорна										
	а) 0.4 кВ	918,79	11,23	930,02	0,2	38,47	4,35	49	42	45570,98	39060,84
	б) 10.5 кВ (СД)	960	0	960,00	0,2	39,09	0,00	49	44	47040,00	42240,00
8.	Збиральний цех №2	950,14	7,24	957,38	0,2	39,03	2,72	102	40	97652,76	38295,20
9.	Територія заводу	0	12,77	12,77	0,2	4,51	360,00	184	198	2349,68	2528,46
	Всього по заводу	8506,55	262,65	8769,20						1415306,17	1112035,64

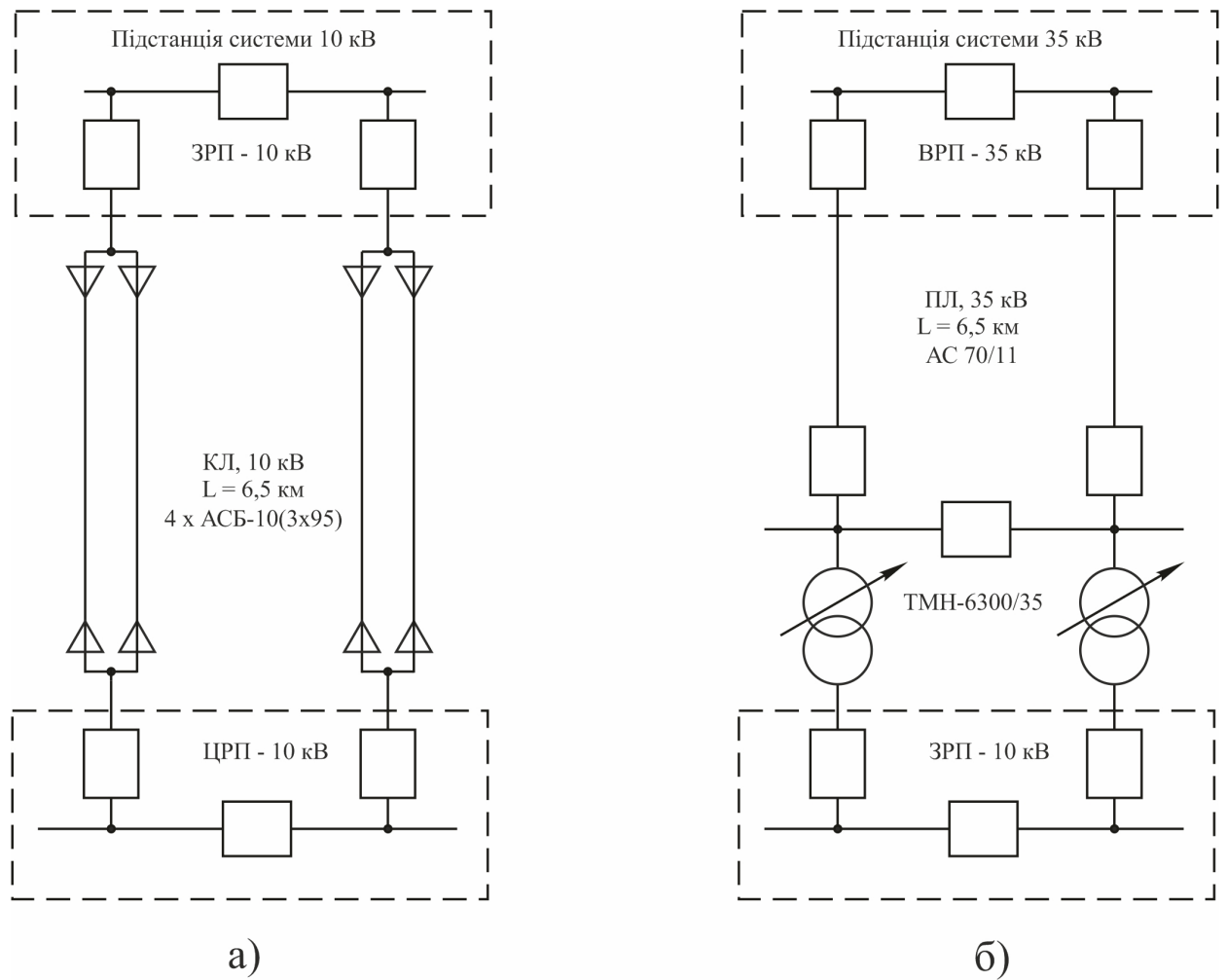


Рис. 3.1. Схеми зовн. електропостач.

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{121,6}{205} = 0,59$$

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 16 \cdot 26 \cdot 0,3481 = 144,81 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_n = \Delta P_n \tau = 72,4 \cdot 3335,92 = 241520,61 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$C_{впр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 241520,61 \cdot 8,87 \cdot 0,001 = 2142,29 \text{ тис.грн.}$$

Правильне розміщення компенсуючих пристроїв у мережі дозволяє не тільки зменшити втрати потужності та електроенергії, але й знизити навантаження на мережу, уникнути перевантажень трансформаторів, підвищити якість електропостачання та стабільність напруги в розподільчих пунктах.

Таким чином, аналіз режимів реактивної потужності та впровадження відповідних технічних рішень є необхідною умовою для підвищення енергоефективності системи електропостачання заводу, забезпечення її надійної, економічної та безперебійної роботи.

4.1 Баланс реактивної потужності підприємства електрообладнання

Розрахунки балансу РП згідно [1] наведено нижче.

$$P_n = \sum P_{ТП} = 7809 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 5966 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 82 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 433 \text{ кВАр}$$

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \text{tg} \varphi_{CD} = 800 \cdot 0,484 = 387,2 \text{ кВАр}$$

$$P_{CD} = N_{CD} P_{ном} K_{вик} = 2 \cdot 800 \cdot 0,6 = 960 \text{ кВт}$$

$$Q_{cd} = P_{CD} \text{tg} \varphi_n = 960 \cdot 0,484 = 464,64 \text{ кВА}$$

$$Q_{\max cd} = \frac{\alpha_M P_{CD} \text{tg} \varphi_n}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 960 \cdot 0,484}{0,9} = 624,68 \text{ кВАр}$$

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_e + P_{cd} = 7809 + 82 + 0 + 960 = 8851 \text{ кВт}$$

Таким чином, результатом цього розділу стане технічно обґрунтований вибір трансформаторного парку підприємства, що відповідатиме критеріям надійності, енергоефективності та економічної доцільності.

Вибір силового трансформатора ТП-1:

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n_{\text{тр}} S_{\text{ном тр}}} = \frac{1378,26}{2 \cdot 1000} = 0,69,$$

$$S_{\text{ном тр}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_1} = \frac{1378,26}{1,08} = 1276,17,$$

$$S_{\text{ном тр}} = 1000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_2} = \frac{1378,26}{1,4} \approx 984,47.$$

Вибір інших трансформаторів наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вибору цехових трансформаторів

№	К-сть тр.	$S_{\text{розр}}$, кВА	$K_{\text{зав}}$	$\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{розр}}/K_1}$	$S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}/K_2$
ТП-1	2	1378,26	0,69	1276,17	984,47
ТП-2	2	1378,26	0,69	1276,17	984,47
ТП-3	2	1353,59	0,68	1253,32	966,85
ТП-4	2	1354,57	0,68	1254,23	967,55
ТП-5	1	677,29	0,68	627,12	483,78
ТП-6	2	1357,38	0,68	1256,83	969,56
ТП-7	1	678,69	0,68	628,42	484,78

встановлюються у розподільчих пристроях і виконують функції захисту, керування, контролю та обліку. Обладнання повинно мати відповідні характеристики за струмами включення, відключення, номінальною напругою, механічною зносостійкістю та надійністю в роботі.

Таким чином, цей розділ дозволяє забезпечити узгодженість усіх елементів високовольтної частини електропостачальної системи з точки зору електродинамічної стійкості, надійності захисту, відповідності технічним нормативам та безпечної експлуатації обладнання в умовах промислового виробництва.

6.1 Визначення струмів коротких замкнень

Розрахункова схема та схема заміщення мережі наведені на рис. 6.1, 6.2.

Опори елементів мережі:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{118} = 0,934 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,934}{25} = 0,037 \text{ Ом}$$

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,326 \cdot 6,5}{2} = 1,0595 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,083 \cdot 6,5}{2} = 0,27 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 0,934 + 0,27 = 1,204 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,037 + 1,0595 = 1,097 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{1,097^2 + 1,204^2} = 1,629 \text{ Ом}$$

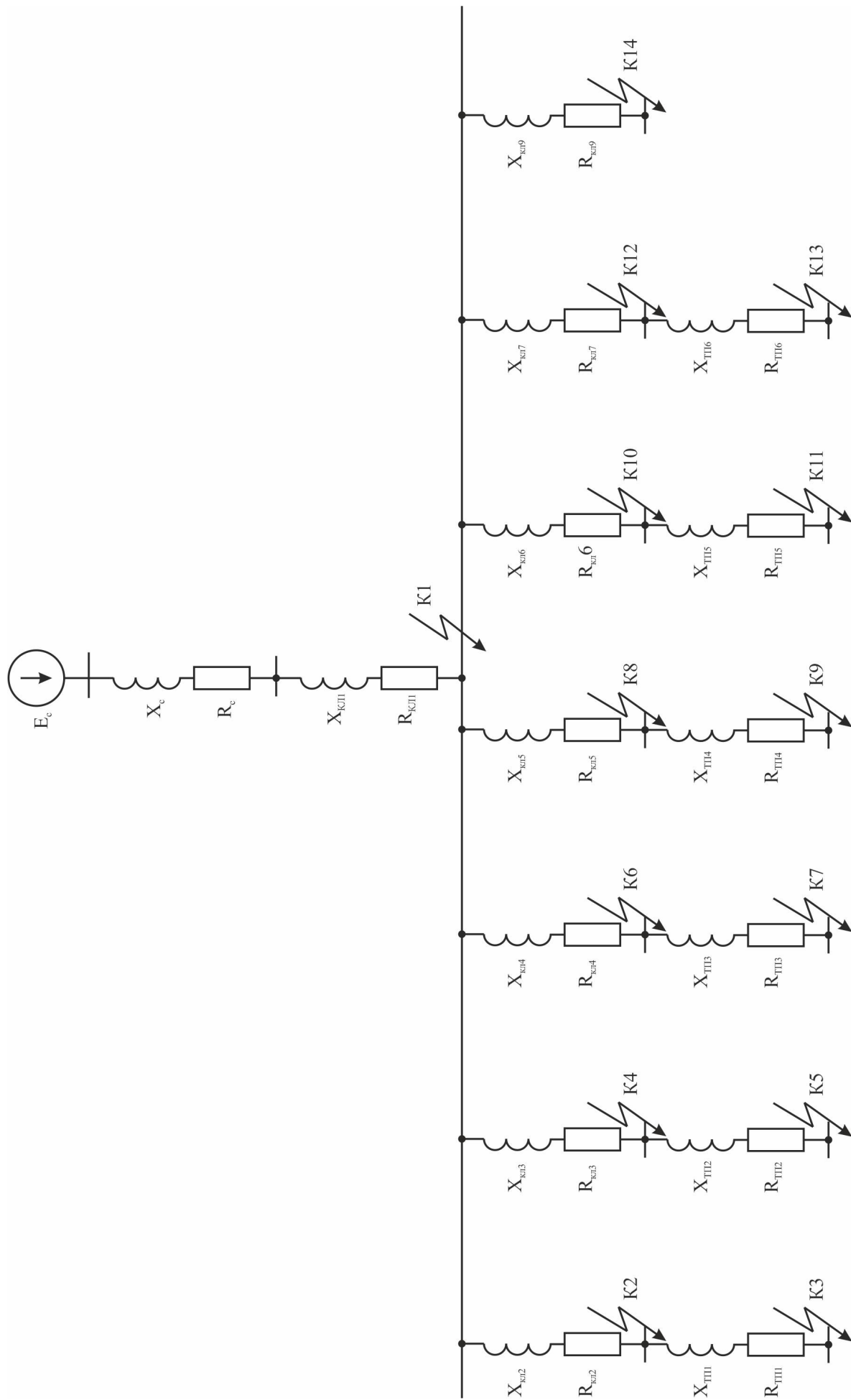


Рис. 6.1. Розрахункова схема

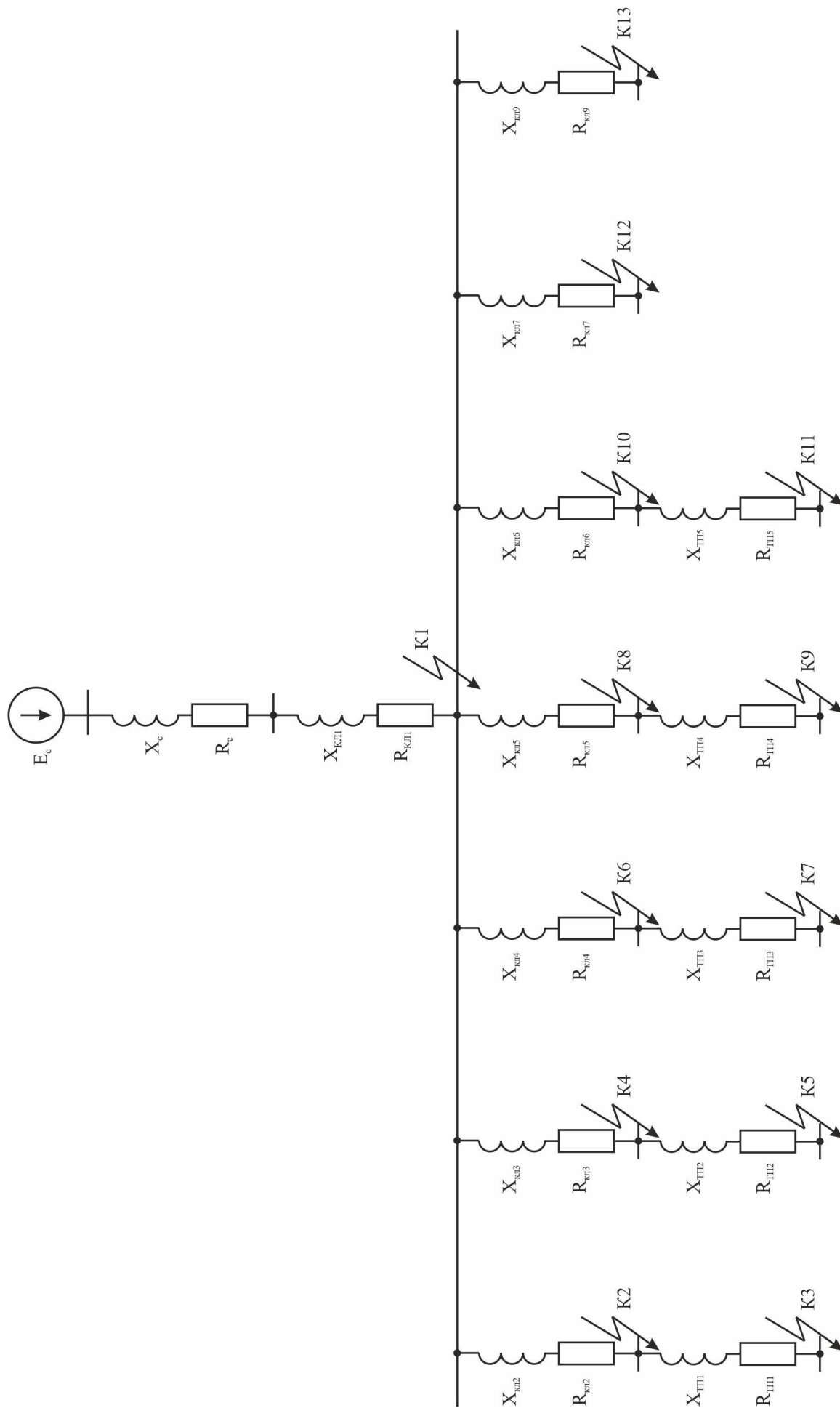


Рис. 6.2. Схема заміщення

Підраховуємо величини для струму кор.зам. для точк. К1 схеми рис. 6.2:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,629} = 3,72 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,204}{314 \cdot 1,097} = 0,0035 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0035}} = 1,057$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,057 \cdot 3,72 = 5,56 \text{ кА}$$

Струм підживлення від СД 10 кВ:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,8}{0,9 \cdot 0,9} = 0,99 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,99}{10,5} = 0,054 \text{ кА}$$

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,054 = 0,594 \text{ кА}$$

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

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

$$i_{y\partial 1(СД)} = \sqrt{2}k_{y\partial(СД)}I''_{K1(СД)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,594 = 1,52 \text{ кА}$$

Результуючі значення струмів від системи та від СД 10 кВ:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(АД)} = 3,72 + 0 = 3,72 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(АД)} = 5,56 + 0 = 5,56 \text{ кА}$$

Параметри вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1401,175}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,52 \text{ A}$$

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 4,31^2 (1,365 + 0,0035) = 25,42 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{25,42 \cdot 10^3} = 53,64 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70).

Опір КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,329 = 0,146 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,329 = 0,028 \text{ Ом}$$

Опори інших ліній наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів КЛ

№	Довжина l , км	Пит. опір r_0 , Ом/км	Пит. опір x_0 , Ом/км	Опір R , Ом	Опір X , Ом
1	6,500	0,326	0,083	1,060	0,270
2	0,329	0,443	0,086	0,146	0,028
3	0,329	0,443	0,086	0,146	0,028
4	0,327	0,443	0,086	0,145	0,028
5	0,114	0,443	0,086	0,051	0,010
6	0,054	0,443	0,086	0,024	0,005
7	0,296	0,443	0,086	0,131	0,025
9, 10	0,321	0,443	0,086	0,142	0,028
11, 12	0,010	0,443	0,086	0,004	0,001

Підраховуємо величини для струму кор.зам. для точк. К2 схеми рис. 6.2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,204 + 0,028 = 1,232 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 1,097 + 0,146 = 1,243 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{1,243^2 + 1,232^2} = 1,75 \text{ Ом}$$

$$I''_{K2} = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,75} = 3,46 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,232}{314 \cdot 1,243} = 0,0032 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0032}} = 1,044$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,044 \cdot 3,46 = 5,11 \text{ кА}$$

Опір трансформатора ТМ-1000/10:

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

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

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (1,232 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2 = (1,243 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0032 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0032^2 + 0,0106^2} = 0,0111 \text{ Ом}$$

$$I''_{K3} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0111} = 20,81 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0032} = 0,0105 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0105}} = 1,386$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,386 \cdot 20,81 = 40,79 \text{ кА}$$

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

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

№	Опір R , Ом	Опір X , Ом	Струм $I''_{к}$, кА	Постійна часу T_a , с	Ударний коєф. $k_{уд}$	Ударний струм $i_{уд}$, кА
1	1,0970	1,2040	4,31	0,0035	1,057	7,08
2	1,2430	1,2320	3,46	0,0032	1,044	5,11
3	0,0032	0,0106	20,81	0,0105	1,386	40,79
4	1,2430	1,2320	3,46	0,0032	1,044	5,11
5	0,0032	0,0106	20,81	0,0105	1,386	40,79
6	1,2420	1,2320	3,47	0,0032	1,044	5,12
7	0,0032	0,0106	20,81	0,0105	1,386	40,79
8	1,1480	1,2140	3,63	0,0034	1,053	5,41
9	0,0030	0,0106	20,99	0,0113	1,413	41,94
10	1,1210	1,2090	3,68	0,0034	1,053	5,48
11	0,0030	0,0106	20,99	0,0113	1,413	41,94
12	1,2390	1,2320	3,47	0,0032	1,044	5,12
13	1,1010	1,2050	3,71	0,0035	1,057	5,55

Таблиця .6.3. Вибір КЛ

№	$n_{\text{КЛ}},$ шт	$S_{\text{розр}},$ МВА	$I_{\text{р}},$ А	$I_{\text{р.ав}},$ А	$B_{\text{к}},$ кА ² с	$F_{\text{min}},$ мм ²	Марка КЛ	$I_{\text{доп}},$ А	$K_{\text{п}}$	$K_{\text{п}} I_{\text{доп}},$ А	$K_{\text{ап}}$	$K_{\text{п}}$	$K_{\text{ап}} K_{\text{п}} I_{\text{доп}}$ пр, А
1	2	4206,525	115,65	231,3	25,42	53,64	2 х АСБ-10(3 х 95)	205	0,9	184,5	1,35	1	276,75
2	2	1401,175	38,52	77,04	25,42	53,64	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	1401,175	38,52	77,04	25,42	53,64	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	1406,16	38,66	77,32	25,42	53,64	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	2	1405,28	38,64	77,28	25,42	53,64	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
6	1	702,64	38,64	-	25,42	53,64	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
9, 10	1	800	43,99	-	25,42	53,64	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
11, 12	1	900	49,49	-	25,42	53,64	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів напругою 10 кВ

Розрахункові параметри вибору ввідного вимикача наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$485,73 \leq 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq$ $\leq \sqrt{2}I_{ном.відкл} (1 + \beta_n)$	$4,31 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 4,31 + 0 <$ $< 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $6,1 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$4,31 \leq 52$ $7,08 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{ТН}^2 t_{ТН}$	$23,14 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз.мин} + t_{с.в} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 3,15 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0033}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{пз.маx} + T_a) = 4,31^2 (0,042 + 1,2 + 0,0035) = 23,1 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо ВР1-10-20/630.

Інші вимикачі обираються аналогічно.

Для обмеження перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Визначення потужності трансформаторів власних потреб і схем їх живлення

Схема приєднання ТВП до мережі наведена на рис. 6.3.

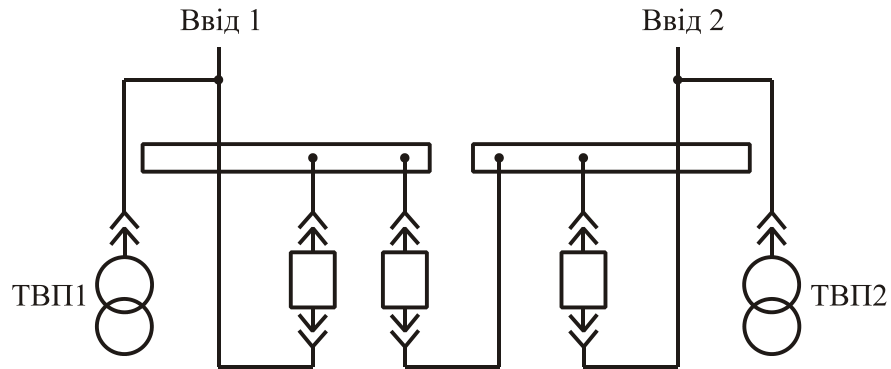


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП до мережі

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№ n/n	Споживачі	$P_{ном}$, кВт	n , шт.	$P_{сум}$, кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст}$, кВт	$Q_{уст}$, кВА
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	4
2.	Приміщення персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Живлення оперативн. кіл	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>							<i>68</i>	<i>19</i>

Сумарне електр. навант. ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{68,4^2 + 19^2} = 70,99 \text{ кВА}$$

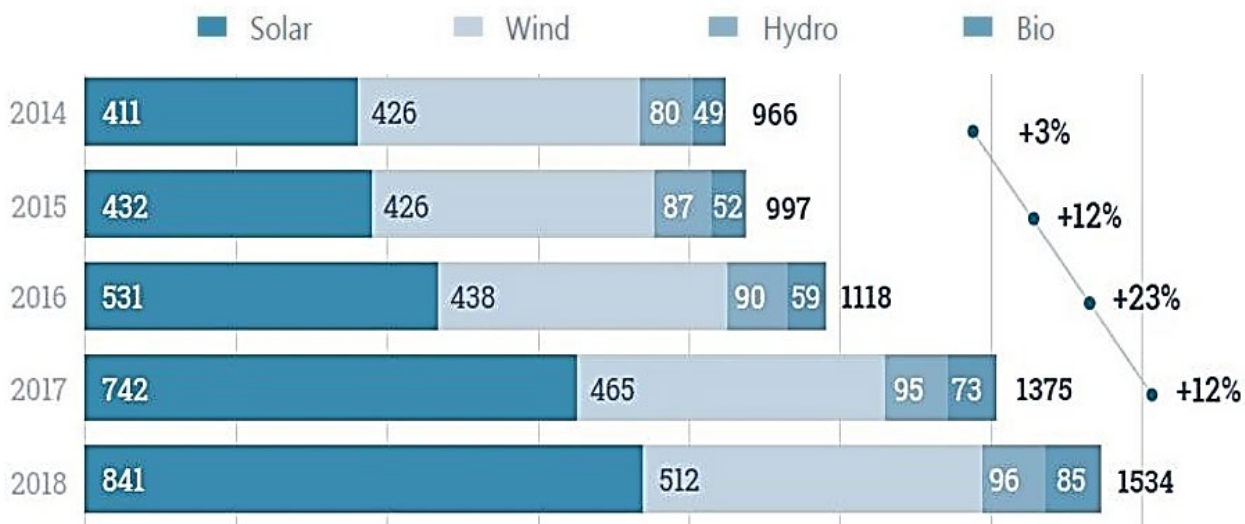


Рис. 7.1. Збільшення генеруючих можливостей "зелених" електростанцій України

Цей 58-відсотковий приріст за п'ятирічний період свідчить про значний інтерес інвесторів до української "зеленої" енергетики та ефективність державних стимулюючих програм. Найбільш активний розвиток спостерігався у сфері сонячної фотовольтаїки, яка демонструвала найвищі темпи зростання серед усіх видів відновлюваних технологій.

Географічна структура розміщення енергетичних об'єктів показала концентрацію проектів у південних та центральних регіонах країни, де кліматичні умови найбільш сприятливі для ефективної роботи сонячних електростанцій. Водночас вітрова енергетика активно розвивалася у прибережних зонах та степових районах з високими показниками вітрового потенціалу.

Прогресивне зростання сектору ВДЕ стало можливим завдяки комплексу факторів: привабливій тарифній політиці, спрощеним адміністративним процедурам та стабільній нормативно-правовій базі.

Основними перевагами застосування сонячної енергетики є її екологічна безпечність, практично безмежний ресурсний потенціал, довготривалий експлуатаційний термін, високий рівень безпеки, простота монтажу та демонтажу обладнання, а також стійкість до впливу природних факторів.

Потужність споживання електроенергії навантаженням: активна складова 10 кВт; реактивна складова 4,58 кВт; повна складова 11 кВА.

Номінальна повна потужність силових трансформаторів: з боку генератора E_1 160 кВА; з боку генератора E_2 25 кВА.

З метою побудови статичних характеристик потрібно обчислити величини втрат напруги і потужності для всіх елементів мікромережі, на основі яких стане можливим визначення параметрів електричного режиму в перетинах мікромережі і, зокрема, в точці спільного підключення навантаження. Здійснимо обчислення на прикладі гілки з генератором розподіленої генерації E_1 .

Проведемо розрахунок втрат потужності та напруги (трансформатор T_1):

$$\Delta P_{T_1} = \Delta P_{K312} \cdot \left(\frac{S_1}{S_{T12}} \right)^2 + \Delta P_{HX12} = 0,289 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{T_1} = \frac{u_{K312}}{100} \cdot \frac{S_1}{S_{T12}} + \frac{I_{HX1}}{100} \cdot S_{T12} = 0,41 \text{ кВар}$$

$$\Delta S_{T_1} = \sqrt{\Delta P_{T_1}^2 + Q_{T_1}^2} = 0,293 \text{ кВА}$$

$$R_{T_1} = \left(\frac{U_1}{S_{T12}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K312} = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{T_1} = \frac{U_1^2}{S_{T12}} \cdot \frac{u_{K312}}{100} = (4,5 \cdot 10^{-4}) \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{T_1} = \frac{P_1 \cdot R_{T_1} + Q_1 \cdot X_{T_1}}{U_1} = 0,0006 \text{ кВ}$$

Напруга та потужність в перетині II:

$$U_{II} = (U_1 - \Delta U_{T_1}) \cdot \frac{1}{K_{T_1}} = 9,983 \text{ кВ}$$

$$P_{II} = P_1 - \Delta P_{T_1} = 29,71 \text{ кВт}$$

$$Q_{II} = Q_1 - \Delta Q_{T_1} = 13,709 \text{ кВар}$$

$$S_{II} = \sqrt{P_{II}^2 + Q_{II}^2} = 32,721 \text{ кВА}$$

Втрати потужності та напруги для лінії Л1:

$$\Delta P_{л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot R_{л1},$$

$$\Delta Q_{л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot X_{л1},$$

$$R_{л1} = R_{ол} \cdot l_1 = 17,36 \quad R_{л1} = 8,68 \text{ Ом}$$

$$\Delta P_{л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot R_{л1} = 0,093 \text{ кВт}$$

$$X_{л1} = X_{ол} \cdot l_1 = 2,18 \quad X_{л1} = 1,09 \text{ Ом}$$

$$\Delta Q_{л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot X_{л1} = 0,011 \text{ кВар}$$

$$\Delta U_{л1} = \frac{P_{II} \cdot R_{л1} + Q_{II} \cdot X_{л1}}{U_{II}} = 0,027 \text{ кВ}$$

Потужності та напруга для перетину III:

$$P_{III} = P_{II} - \Delta P_{л1} = 29,617 \text{ кВт}$$

$$Q_{III} = Q_{II} - \Delta Q_{л1} = 13,697 \text{ кВар}$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} = 32,631 \text{ кВА}$$

$$U_{III} = U_{II} - \Delta U_{л1} = 9,956 \text{ кВ}$$

Втрати потужності та напруги (трансформатор T_2):

$$\Delta P_{T2} = \Delta P_{кз12} \cdot \left(\frac{S_{III}}{S_{T12}} \right)^2 + \Delta P_{HX12} = 0,288 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{T2} = \frac{u_{кз12}}{100} \cdot \frac{S_{III}^2}{S_{T12}} + \frac{I_{HX12}}{100} \cdot S_{T12} = 0,041 \text{ кВар}$$

$$\Delta S_{T2} = \sqrt{\Delta P_{T2}^2 + Q_{T2}^2} = 0,291 \text{ кВА}$$

$$R_{T2} = \left(\frac{U_{III}}{S_{T12}} \right)^2 \cdot \Delta P_{K312} = 5,421 \text{ Ом}$$

$$X_{T2} = \frac{(U_{III})^2}{S_{T12}} \cdot \frac{u_{K312}}{100} = 0,279 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{T2} = \frac{P_{III} \cdot R_{T2} + Q_{III} \cdot X_{T2}}{U_{III}} = 0,0016 \text{ кВ}$$

Потужності та напруга для перетину IV з урахуванням трансформації:

$$U_{IV} = (U_{III} - \Delta U_{T1}) \cdot \frac{1}{K_{T2}} = 0,398 \text{ кВ}$$

$$P_{IV} = P_{III} - \Delta P_{T2} = 29,329 \text{ кВт}$$

$$Q_{IV} = Q_{III} - \Delta Q_{T2} = 13,655 \text{ кВар}$$

$$S_{IV} = \sqrt{P_{IV}^2 + Q_{IV}^2} = 32,352 \text{ кВА}$$

Так само визначені параметри для вітки з генератором E_2 . Дані розрахунків приведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Результати обчислення електричних параметрів та енергетичних показників локальної мережі

Перетин	U, В	S, ВА	P, Вт	Q, вар
I	400	33000	30000	13750
II	9893	32721	29710	13709
III	9956	32631	29617	13697
IV	398	32352	29329	13655
V	396	5232	4712	2275
VI	9949	5364	4855	2282
VII	9952	5366	4856	2282
РСС	0,3970*	32352	29329	13655

Розрахуємо амплітудне значення напруги вузла підключення та значення миттєвих фазних напруг окремих фаз для часу $t = 0,1$ с:

$$U_m = U_{PCC} \cdot \sqrt[2]{2} = 0,562 \text{ кВ}$$

$$U_{PCC} = U_{IV} = 0,397 \text{ кВ}$$

$$u_a = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_a) = 0,2 \text{ кВ}$$

$$u_b = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_b) = 0,486 \text{ кВ}$$

$$u_c = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_c) = -0,486 \text{ кВ}$$

$$u_{ab} = u_a - u_b = -0,486 \text{ кВ}$$

$$u_{bc} = u_b - u_c = 0,973 \text{ кВ}$$

$$u_{ca} = u_c - u_a = -0,486 \text{ кВ}$$

Згідно перетворення Кларка визначаємо параметри складових сигналу $\alpha\beta$

$$u_\alpha = u_a = (1,309 \cdot 10^{-12}) \text{ В}$$

$$u_\beta = \frac{2 \cdot u_b + u_c}{\sqrt[2]{3}} = 0,562 \text{ кВ}$$

Проведемо перерахунок параметрів сигналу в $d-q$ системи координат та в полярній системі координат:

$$u_d = u_\alpha \cdot \cos(\theta) + u_\beta \cdot \sin(\theta) = 0,295 \text{ кВ}$$

$$u_q = -u_\alpha \cdot \sin(\theta) + u_\beta \cdot \cos(\theta) = 0,478 \text{ кВ}$$

$$U_m = \sqrt[2]{u_d^2 + u_q^2} = 0,562 \text{ кВ}$$

θ – кут системи координат, рівний $31,73^\circ$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt[2]{2}} = 0,397 \text{ кВ}$$

Визначимо активну та реактивну складові потужності генераторів ($\delta_1=7,410^\circ$, та $\delta_2=0,540^\circ$):

$$P1 = \frac{U_1 \cdot U_{IV}}{X_{Л1}} \cdot \sin(\delta_1) = 29,213 \text{ кВт}$$

$$Q1 = \frac{U_1}{X_{Л1}} \cdot (U_1 - U_{IV} \cdot \cos(\delta_1)) = 11,288 \text{ кВар}$$

$$P2 = \frac{U_2 \cdot U_V}{X_{Л2}} \cdot \sin(\delta_2) = 9,631 \text{ кВт}$$

$$Q2 = \frac{U_2}{X_{Л2}} \cdot (U_2 - U_V \cdot \cos(\delta_2)) = 2,889 \text{ кВар}$$

Коефіцієнт статизму для лінії $U(Q)$ напруги у вузлі живлення:

$$m_{Q1} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{Q_{\max1}} = 1,13 \cdot 10^{-3}$$

Для можливості побудови характеристик к $U(Q)$ задаємо значенням $Q_{\text{спож}}$, та розраховуємо опорну напругу мережі. Результати приведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Дані установки реактивної потужності навантажень та розрахунку базового вольтажу

	$Q_{\text{спож}1}$, Вар	$Q_{\text{спож}2}$, Вар	$Q_{\text{спож}}$, Вар	$U_{\text{он}1}$, В	$U_{\text{он}2}$, В	$U_{\text{он}}$, кВ
1	13777,5	4589,2	18366,7	397,8	400,8	398,8
2	16959,9	5600,2	22560,1	394,8	396,8	394,8
3	20143,2	6610,2	26753,4	390,8	393,8	391,8
4	23325,6	7621,2	30946,8	386,8	389,8	387,8
5	26510,9	8633,2	35144,1	383,8	386,8	384,8

За даними табл. 7.2 на рис. 7.3 побудована характеристика $U(Q)$.

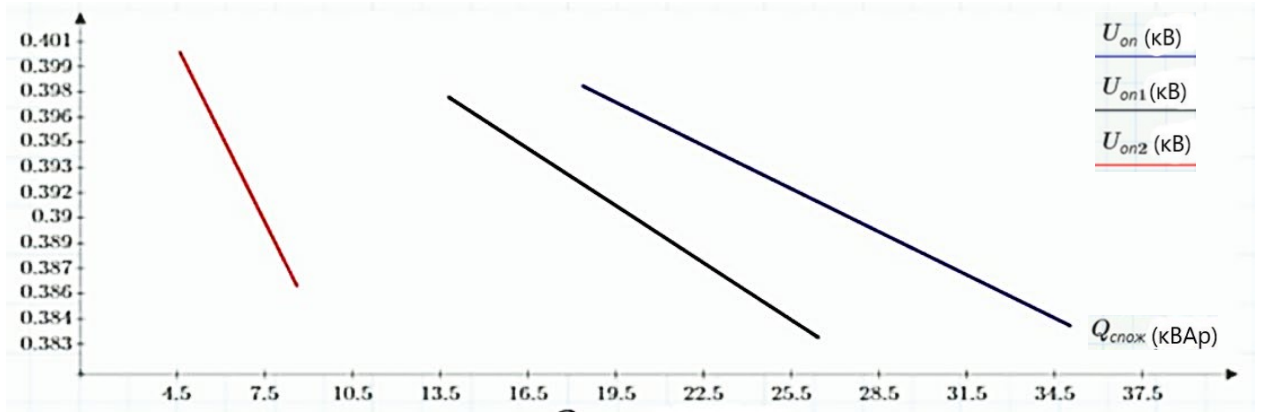


Рис. 7.3. Залежність $U(Q)$ початкової топології децентралізованої електромережі

Як видно по рис. 7.3 ступінь впливання генератора E_2 на вузлову напругу вищey порівняно з E_1 .

7.4 Симуляція функціонування вдосконаленої локальної енергосистеми з подвійним підключенням споживачів

Здійснимо модернізацію розрахункової схеми рис. 7.2 та повторно виконаємо обчислення статичних характеристик для енергетичних джерел. Для цього в схемі рис. 7.2 видалимо трансформатор T_1 , підвищимо потужність сонячної фотовольтаїчної електростанції E_2 , а також змінимо пропорції довжин ліній електропередачі. На рис. 7.4 наведена розрахункова схема модернізованої мережі.

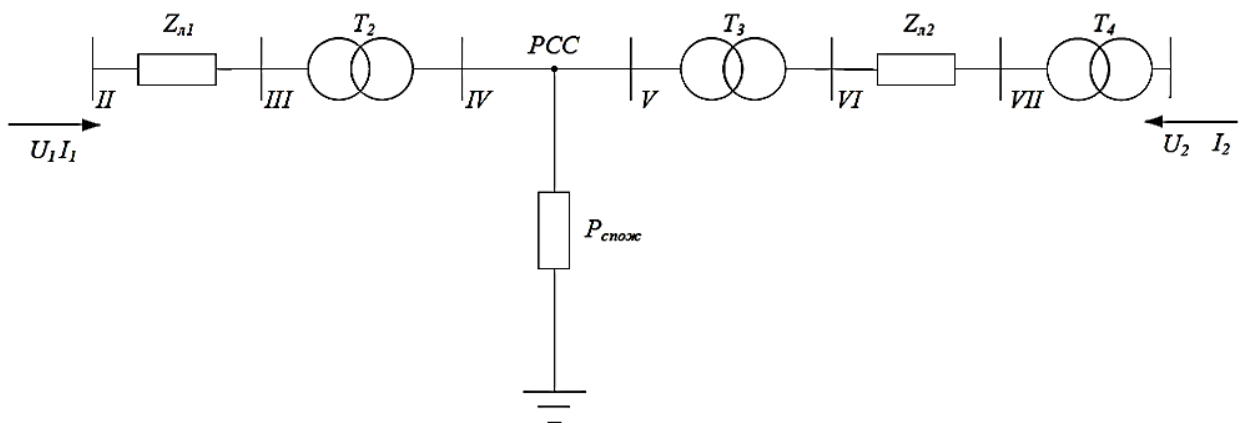


Рис. 7.4. Еквівалентна електрична схема вдосконаленої локальної мережі з подвійним підключенням споживачів

Потужність в перетині II:

$$P_{II} = P_1 = 30 \text{ кВт}$$

$$Q_{II} = Q_1 = 13,75 \text{ кВар}$$

$$S_{II} = \sqrt{P_{II}^2 + Q_{II}^2} = 33,001 \text{ кВА}$$

Втрати потужності та напруги для лінії Л1:

$$\Delta P_{Л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot R_{Л1},$$

$$\Delta Q_{Л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot X_{Л1},$$

$$R_{Л1} = R_{0Л} \cdot l_1 = 8,68 \quad R_{Л1} = 8,68 \text{ Ом}$$

$$\Delta P_{Л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot R_{Л1} = 0,085 \text{ кВт}$$

$$X_{Л1} = X_{0Л} \cdot l_1 = 1,09 \quad X_{Л1} = 1,09 \text{ Ом}$$

$$\Delta Q_{Л1} = \frac{S_{II}^2}{U_{II}^2} \cdot X_{Л1} = 0,011 \text{ кВар}$$

$$\Delta U_{Л1} = \frac{P_{II} \cdot R_{Л1} + Q_{II} \cdot X_{Л1}}{U_{II}} = 0,026 \text{ кВ}$$

Потужності та напруга для перетину III:

$$P_{III} = P_{II} - \Delta P_{Л1} = 29,914 \text{ кВт}$$

$$Q_{III} = Q_{II} - \Delta Q_{Л1} = 13,739 \text{ кВар}$$

$$S_{III} = \sqrt{P_{III}^2 + Q_{III}^2} = 32,919 \text{ кВА}$$

$$U_{III} = U_{II} - \Delta U_{Л1} = 10,474 \text{ кВ}$$

Таблиця 7.3. Результати обчислення електричних параметрів та енергетичних показників вдосконаленої локальної мережі

Перетин	U, кВ	S, кВА	P, кВт	Q, квар
II	10500	33000	30000	13750
III	10474	32919	29914	13739
IV	397	32655	28635	13715
V	392	10572	9537	4561
VI	9949	10780	9764	4570
VII	9903	10785	9769	4571
PCC	0,397*	32655	29635	13715

Розрахуємо амплітудне значення напруги вузла підключення та значення миттєвих фазних напруг окремих фаз для часу $t = 0,1$ с:

$$U_{PCC} = U_{IV} = 397,149 \text{ кВ}$$

$$U_m = U_{PCC} \cdot \sqrt{2} = 0,561 \text{ кВ}$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{II}} = 1,815 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U_2} = 15,877 \text{ А}$$

$$u_a = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_a) = 0,02 \text{ кВ}$$

$$u_b = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_b) = 0,486 \text{ кВ}$$

$$u_c = U_m \cdot \sin(\omega_{НОМ} \cdot t + \psi_c) = -0,486 \text{ кВ}$$

$$u_{ab} = u_a - u_b = -0,486 \text{ кВ}$$

$$u_{bc} = u_b - u_c = 0,972 \text{ кВ}$$

$$u_{ca} = u_c - u_a = -0,486 \text{ кВ}$$

Згідно перетворення Кларка визначаємо параметри складових сигналу $\alpha\beta$

$$u_\alpha = u_a = 0,02 \text{ кВ}$$

$$u_\beta = \frac{2 \cdot u_b + u_c}{\sqrt{3}} = 0,561 \text{ кВ}$$

Проведемо перерахунок параметрів сигналу в d - q системи координат та в полярній системі координат:

$$u_d = u_\alpha \cdot \cos(\theta) + u_\beta \cdot \sin(\theta) = 0,295 \text{ кВ}$$

$$u_q = -u_\alpha \cdot \sin(\theta) + u_\beta \cdot \cos(\theta) = 0,477 \text{ кВ}$$

де θ – кут системи координат, рівний $31,73^\circ$.

$$U_m = \sqrt{u_d^2 + u_q^2} = 0,561 \text{ кВ}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,397 \text{ кВ}$$

Визначимо активну та реактивну складові потужності генераторів ($\delta_1 = 7,410^\circ$, та $\delta_2 = 0,540^\circ$):

$$jX_1 = X_{Л1} \cdot I_1 = 1,978 \text{ кВ}$$

$$\sin(\delta_1) = 0,200225 \quad \cos(\delta_1) = 0,92873$$

$$P1 = \frac{U_2 \cdot U_{IV}}{X_{Л1}} \cdot \sin(\delta_1) = 29,181 \text{ кВт}$$

$$Q1 = \frac{U_2}{X_{Л1}} \cdot (U_2 - U_{IV} \cdot \cos(\delta_1)) = 11,433 \text{ кВар}$$

$$jX_2 = X_{Л2} \cdot I_2 = 8,653 \text{ кВ} \quad X_{Л2} = 0,545 \text{ Ом}$$

$$\sin(\delta_2) = 0,03313 \quad \cos(\delta_2) = 0,9999$$

$$P2 = \frac{U_2 \cdot U_V}{X_{Л2}} \cdot \sin(\delta_2) = 9,537 \text{ кВт}$$

$$Q2 = \frac{U_2}{X_{Л2}} \cdot (U_2 - U_V \cdot \cos(\delta_2)) = 5,752 \text{ кВар}$$

Значення найбільшої реактивної потужності споживача:

$$Q_{\max 1} = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = 13,748 \text{ кВар}$$

$$U_{\max} = 10,5 \text{ кВ} \quad U_{\min} = 9,975 \text{ кВ}$$

Коефіцієнт статизму для лінії $U(Q)$ напруги у вузлі живлення:

$$m_{Q1} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{Q_{\max1}} = 3,819 \cdot 10^{-3}$$

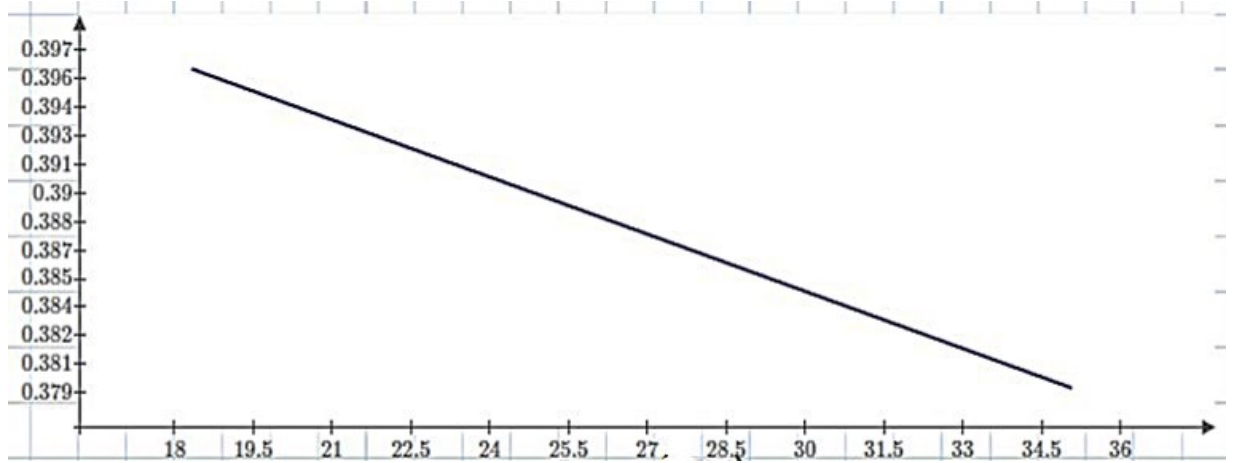
де прийнято відповідно $U_{\max} = 0,4$ кВ та $U_{\min} = 0,37$ кВ.

Для побудови статичних характеристик $U(Q)$ здійснюється розв'язання завдання в широкому спектрі реактивної потужності навантаження $Q_{\text{спож}}$, на основі яких згодом обчислюється базова напруга з боку мікромережі. В табл. 7.4 наведені результати обчислення статичних характеристик.

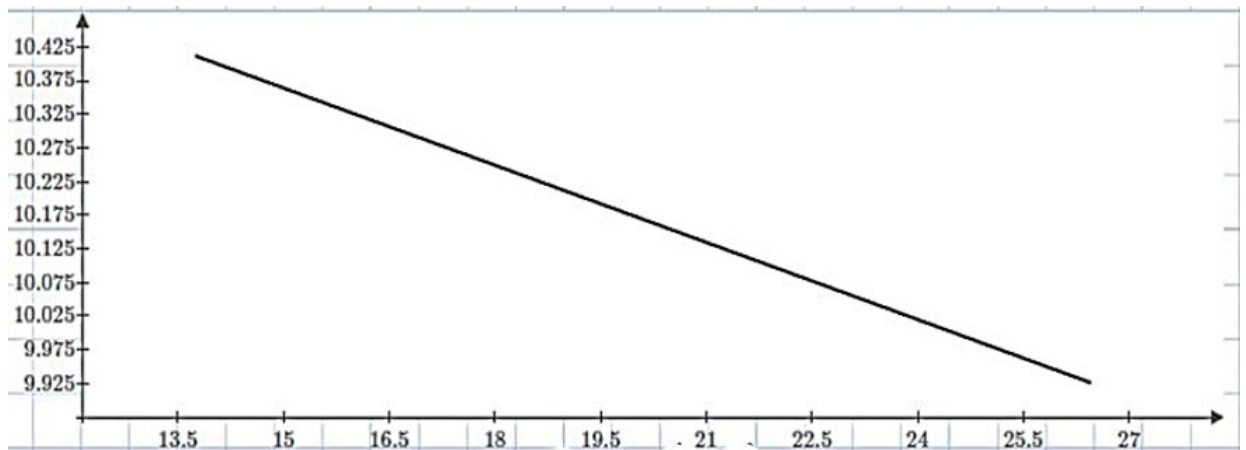
Таблиця 7.4 Дані установки Q-параметрів навантажень та розрахунку базового вольтажу

	$Q_{\text{спож}1}$, Вар	$Q_{\text{спож}2}$, Вар	$Q_{\text{спож}}$, Вар	U_{on1} , В	U_{on2} , В	U_{on} , В
1	13777,5	4589,2	18366,7	10433	405	397
2	16959,9	5600,2	22560,1	10311	402	393
3	20143,2	6610,2	26753,4	10189	398	389
4	23325,6	7621,2	30946,8	10068	395	384
5	26510,9	8633,2	35144,1	9946	391	380

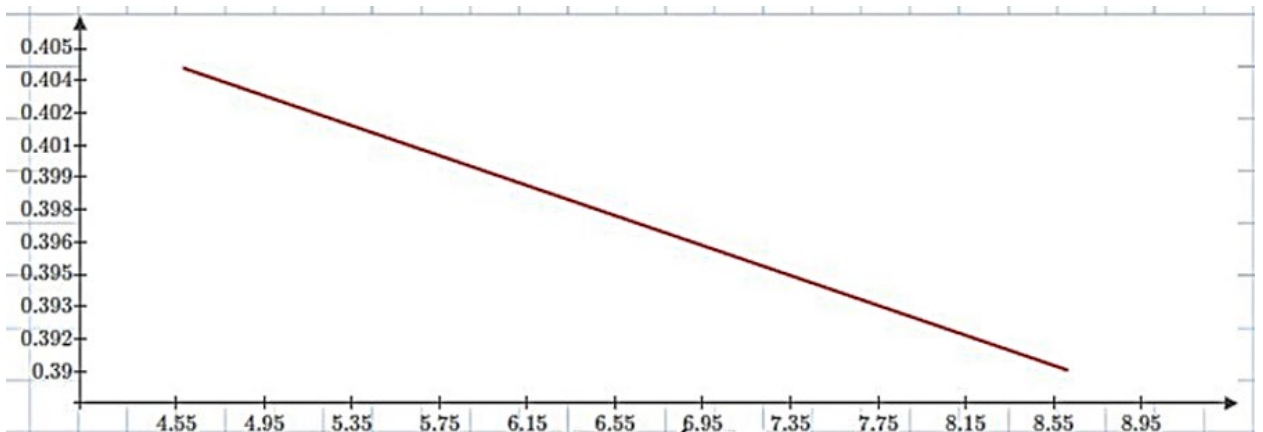
За даними табл. 7.4 на рис. 7.5 побудовані характеристики $U(Q)$.



а)



б)



в)

Рис. 7.5. Статичні залежності напруги від реактивної потужності генеруючих джерел у вдосконаленій мережі E_2

