

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

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання склозаводу»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–20-3СК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

_____ Богдан ПЛАХОТНІЙ

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван САВЕЛЕНКО

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

_____ Петро ПЛІШКОВ

«_____» _____ 2023 р.

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

Плахотнього Богдана Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання склозаводу

Development of the glass plant's power supply system

2. Керівник роботи Савеленко Іван Володимирович, канд. техн. наук, доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 01.06.2023 р.

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

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>10.04-12.04</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>13.04-23.04</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>24.04-26.04</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>27.04-1.05</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>2.05-5.05</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>6.05-9.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05-28.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>31.05-1.06</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Іван САВЕЛЕНКО

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Богдан ПЛАХОТНІЙ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 68 с.; 14 рис.; 29 табл.; 8 джерел

Плахотній Б. С. Розроблення системи електропостачання склозаводу. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Бакалаврська робота присвячена розробці системи електропостачання склозаводу. В роботі вирішувались питання розрахунку: електричних навантажень, визначення режимів реактивної потужності, розрахунку струмів коротких замикань, вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання та вибір високовольтного обладнання системи електропостачання.

Спеціальний розділ роботи присвячено вирішенню задачі розробки системи релейного захисту для кабельної лінії напругою 10 кВ та силового трансформатора ТМ-1000/10. Для реалізації системи релейного захисту для силового трансформатора та кабельної лінії було вибрано мікропроцесорне реле Seram 20 від компанії Schneider Electric.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, мікропроцесорний релейний захист

ABSTRACT

Qualification work: 68 p.; 14 Fig.; 28 tables; 8 sources

Plakhotnii B. S. Development of the glass plant's power supply system. – 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, 2023.

The bachelor thesis is devoted to the development of the power supply system of the glass factory. The work dealt with the calculation of electrical loads, determination of reactive power modes, calculation of short-circuit currents, selection of external and internal power supply schemes, and selection of high-voltage equipment of the power supply system.

A special section of the work is dedicated to solving the problem of developing a relay protection system for a cable line with a voltage of 10 kV and a TM-1000/10 power transformer. To implement the relay protection system for the power transformer and the cable line, the Sepam 20 microprocessor relay from the Schneider Electric company was selected.

Keywords: electrical loads, transformer substation, reactive power, short circuit currents, microprocessor relay protection

3MICT

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	9
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ	9
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень	10
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В	11
1.4 Графіки електричних навантажень	15
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	22
3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання	22
3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання	26
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	27
4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності	27
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	29
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	35
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	36
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	36
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	43
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	44
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	47
6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги	48
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРАХУНОК МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТА КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ.....	51
7.1 Загальні відомості про організацію релейного захисту	51
7.2 Захист силового трансформатора на стороні ВН	54
7.2.1. Захист від перевантаження трансформатора.....	54
7.2.2. Селективна струмова відсічка.....	58
7.2.3. Миттєва струмова відсічка	59
7.2.4. Газовий захист трансформатора	60

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення системи електропостачання склозаводу Development of the glass plant's power supply system					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.		Плахотний Б.С.										6	68	
Перев.		Савеленко І.В.								ЦНТУ зр. ЕЕ-20-ЗСК				
Н. контр.														
Затвер.		Плещиков П.Г.												

7.3 Релейний захист кабельної лінії напругою 10 кВ.....	62
7.3.1. Селективний захист КЛ с залежною витримкою часу	62
7.3.2. Миттєва струмова відсічка	63
7.3.3. Захист КЛ від однофазних замикань на землю	65
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Робота присвячена питанню розроблення системи електропостачання склозаводу.

Питання електропостачання промислового підприємства є надзвичайно актуальним у сучасному світі. Електроенергія є необхідною для функціонування багатьох промислових процесів і машин, тому надійне та стабільне електропостачання є критичним для продуктивності та ефективності підприємства.

Одним із основних аспектів актуальності питання електропостачання є забезпечення безперебійного живлення. Будь-які перебої або відключення електроенергії можуть призвести до зупинки виробничих процесів, збоїв у роботі обладнання і втрати продуктивності. Це може мати серйозні економічні наслідки для підприємства, зокрема втрати прибутку та зниження конкурентоспроможності.

Метою роботи є розроблення системи електропостачання склозаводу.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні *завдання*:

1. Розрахунок ел. навант.
2. Розрахунок картограми ел. навант.
3. Обґрунтування оптимального варіанту схеми зовнішн. та внутрішн. електропостачання.
4. Режимми реактивної потужн. підприємства.
5. Визначення кількості та номінальної потужності трансформаторів системи електропостачання
6. Розрахунок значень струмів к. з. та вибір устаткування.
7. Розробка спеціального розділу роботи.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Цей розділ кваліфікаційної роботи присвячений темі розрахунку електричних навантажень для промислових підприємств. Основними етапами цього розрахунку є визначення силових навантажень в мережі до 1000 В, розрахунок освітлювальних електричних навантажень та визначення силових електричних в мережі напругою вище 1000 В.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Для визначення силових електричних навантажень в мережі з напругою до 1 кВ, застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Наведемо приклад розрахунку електричних навантажень для механічного цеху.

Коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{100}{5} = 20$$

Середнє навантаження:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_B = 2200 \cdot 0,25 = 550 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg} \varphi = 550 \cdot 0,88 = 485,05 \text{ кВар}$$

Ефективне число електроприйм.:

$$n_e = \frac{2 \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н. max}}} = \frac{2 \cdot 2200}{100} = 44$$

Коефіцієнт K_p береться з [1]: $K_p = 1,3$.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

Розрахункове активне і реактивне навантаження:

$$P_p = P_{cm} K_p = 550 \cdot 1,3 = 716,16 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{cm} = 485,05 \text{ кВар},$$

У таблиці 1.1 наведено розрахунок силових навантажень заводу.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку силових електричних навантажень
до 1000 В заводу

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P сум., кВт	m	K _в	cos φ	tg φ	Серед. навантаж.		n _{сф}	K _м	Розрах. навантаження		
			min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Механічний цех	150	5	100	2200	20	0,3	0,75	0,88	550	485,05	44	1,3	716,16	485,05	864,96
2	Збиральний цех	250	2	50	3250	25	0,3	0,7	1,02	975	994,7	130	1,14	1115	994,7	1494,22
3	Термічний цех	150	10	250	4300	25	0,8	0,9	0,48	3225	1561,9	34	1,08	3467,6	1561,9	3803,13
4	Ковальський цех	100	8	60	1150	7,5	0,5	0,7	1,02	517,5	527,96	38	1,2	619,17	527,96	813,7
5	Ливарний цех	120	7	250	4150	36	0,6	0,9	0,48	2283	1105,5	33	1,17	2659,4	1105,5	2880,03
6	Ремонтний електроцех	90	4,5	45	1450	10	0,3	0,65	1,17	435	508,57	64	1,21	527,66	508,57	732,85
7	Насосна	10	10	80	1100	8	0,6	0,75	0,88	660	582,07	10	1,29	850,1	640,28	1064,25
8	Компресорна	15	5	80	600	16	0,8	0,85	0,62	450	278,88	15	1,12	504,24	278,88	576,22
	Всього	885	2	250	18200	125	0,5	0,83	0,7	9095	6045	146	1,08	9840	6045	11548

1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень

Розрахунки освітлювальних навантажень здійснюється згідно методу питомої потужності, який описаний в [1].

Наведемо приклад розрахунку освітлювальних електричних навантажень верстатобудівного заводу для механічного цеху.

Встановлена потужність освітлювальних приладів:

$$P_y = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 9460 \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 160,6 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_{\pi} K_1 p_y = 0,95 \cdot 1,20 \cdot 160,6 = 183,1 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 183,1 \cdot 0,484 = 88,64 \text{ квар}$$

Розрахунок інших підрозділів здійснюється за аналогічним методом. Результати розрахунків для всіх цехів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Результати розрахунку освітлювальних навантажень

№ з/п	Назва об'єкту	$F, \text{ м}^2$	$P_0, \text{ Вт/м}$	$P_{\text{вст}}, \text{ кВт}$	K_{π}	K_1	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
1	Механічний цех	9450	17	160,7	0,95	1,2	0,9	0,48	183,1	88,6	203,5
2	Збиральний цех	4725	16	75,6	0,95	1,2	0,9	0,48	86,18	41,7	95,74
3	Термічний цех	585	13	7,61	0,95	1,2	0,9	0,48	8,68	4,2	9,64
4	Ковальський цех	4536	12	54,43	0,95	1,2	0,9	0,48	62,05	30	68,93
5	Ливарний цех	4158	17	70,69	0,95	1,2	0,9	0,48	80,59	39	89,54
6	Ремонтний електроцех	1287	18	23,17	0,95	1,2	0,9	0,48	26,41	12,8	29,34
7	Насосна	1620	8	12,96	0,95	1,2	0,9	0,48	14,77	7,15	16,41
8	Компресорна	2484	7	17,39	0,95	1,2	0,9	0,48	19,82	9,59	22,02
9	Територія заводу	141264	0,1	14,13	1	1,1	0,5	1,73	15,83	27,4	31,66
	Всього			436,6					452,5	464	648,1

1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В

Для розрахунку силових навантажень в мережі вище 1 кВ застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності, який описаний у [1].

Результати розрахунку наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок силових навантажень вище 1 кВ

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cos φ	tg φ	Середньозмінне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max										P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ТП 1, 2															
Механічний цех															
силове:	150	5	100	2200	20	0,25	0,75	0,88	550	485,05	44	1,3	716,16	485,05	864,96
освітлювальне:									160,65				183,14	88,64	
Всього:									710,65	485,05			899,3	573,69	1066,71
Збиральний цех															
силове:	250	2	50	3250	25	0,3	0,7	1,02	975	994,7	130	1,14	1115,02	994,7	1494,22
освітлювальне:									75,6				86,18	41,71	
Всього:									1050,6	994,7			1201,2	1036,41	1586,51
Всього по ТП 1, 2:															
силове:	400	2	100	5450	50	0,28	0,72	0,97	1525	1479,75	109	1,17	1780,06	1479,75	2314,79
освітлювальне:									236,25				269,32	130,35	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1, 2:									1761,25	1479,75			2049,38	1610,1	2606,22
Втрати в трансформаторах:													22,75	119	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2:													2072,13	1729,1	2698,8
ТП 3, 4, 5															
Термічний цех															
силове:	150	10	250	4300	25	0,75	0,9	0,48	3225	1561,94	34	1,08	3467,58	1561,94	3803,13
освітлювальне:									7,61				8,68	4,2	
Всього:									3232,61	1561,94			3476,26	1566,14	3812,77
Всього по ТП 3, 4, 5:															
силове:	150	10	250	4300	25	0,75	0,9	0,48	3225	1561,94	34	1,08	3467,58	1561,94	3803,13
освітлювальне:									7,61				8,68	4,2	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3, 4, 5:									3232,61	1561,94			3476,26	1566,14	3812,77
Втрати в трансформаторах:													38,84	202,93	

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
13	Арк.	

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кількість трансформаторів: 5															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,7$															
Всього на шинах 10 кВ ТП 3, 4, 5:													3515,1	1769,07	3935,16
ТП 6, 7, 8															
Ковальський цех															
силове:	100	8	60	1150	7,5	0,45	0,7	1,02	517,5	527,96	38	1,2	619,17	527,96	813,7
освітлювальне:									70,69				80,59	39,01	
Всього:									588,19	527,96			699,76	566,97	900,62
Ливарний цех															
силове:	120	7	250	4150	35,7	0,55	0,9	0,48	2282,5	1105,46	33	1,17	2659,42	1105,46	2880,03
освітлювальне:									70,69				80,59	39,01	
Всього:									2353,19	1105,46			2740,01	1144,47	2969,42
Всього по ТП 6, 7, 8:															
силове:	220	7	250	5300	35,7	0,53	0,86	0,58	2800	1633,42	42	1,15	3227,29	1633,42	3617,11
освітлювальне:									141,38				161,18	78,02	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 6, 7, 8:									2941,38	1633,42			3388,47	1711,44	3796,15
Втрати в трансформаторах:													37,51	196,3	
Кількість трансформаторів: 5															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,68$															
Всього на шинах 10 кВ ТП 6, 7, 8:													3425,98	1907,74	3921,33
ТП 9, 10															
Насосна															
силове:	10	10	80	1100	8	0,6	0,75	0,88	660	582,07	10	1,29	850,1	640,28	1064,25
освітлювальне:									12,96				14,77	7,15	
Всього:									672,96	582,07			864,87	647,43	1080,35
Ремонтний електроцех															
силове:	90	4,5	45	1450	10	0,3	0,65	1,17	435	508,57	64	1,21	527,66	508,57	732,85
освітлювальне:									23,17				26,41	12,78	
Всього:									458,17	508,57			554,07	521,35	760,79

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Компресорна															
силове:	15	5	80	600	16	0,75	0,85	0,62	450	278,88	15	1,12	504,24	278,88	576,22
освітлювальне:									17,39				19,82	9,59	
Всього:									467,39	278,88			524,06	288,47	598,21
Територія заводу															
освітлювальне:									14,13				15,83	27,42	
Всього:									14,13	0			15,83	27,42	31,66
Всього по ТП 9, 10:															
силове:	115	4,5	80	3150	17,8	0,49	0,75	0,89	1545	1369,52	79	1,12	1727,27	1369,52	2204,32
освітлювальне:									67,65				76,83	56,94	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 9, 10:									1612,65	1369,52			1804,1	1426,46	2299,91
Втрати в трансформаторах:													19,28	101,67	
Кількість трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,6$															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10:													1823,38	1528,13	2379,06
Всього по об'єкту															
силове:	885	2	250	18200	125	0,5	0,83	0,66	9095	6044,63	146	1,08	9840,44	6044,63	11548,67
освітлювальне:									67,65				516,01	269,51	
Всього:									9547,89	6044,63			10356,45	6314,14	12129,49
Втрати в трансформаторах:													118,38	619,9	
Всього по об'єкту:													10474,83	6934,04	12561,96
Високовольтне навантаження															
СД 10 кВ	2	750	750	1500		0,7	0,9	0,48	1050	-508,54			1050	-508,54	1166,67
Всього високовольтного навантаження:													1050	-508,54	1166,67
Всього по об'єкту 10 кВ:													11524,83	6425,5	13195,03
$\text{tg} \phi = 0,56$															
Попередні значення $Q'_{\text{кп}}$														-4696,8	
Всього з урахуванням попередн. комп.													11524,83	1728,73	11653,76

1.4 Графіки електричних навантажень

У цьому підрозділі роботи були проведені розрахунок графіків ел. навантажень і їх параметрів відповідно до методики, описаної у джерелі [1]. Результати розрахунків наведені в таблицях 1.4–1.6 та на рисунках 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.4. Вихідні дані до розрахунків графіків електричних навантажень

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %
1	43	40	36	58
2	43	40	36	58
3	43	40	36	58
4	43	40	36	58
5	48	43	36	58
6	48	43	36	58
7	78	63	36	58
8	88	73	36	58
9	98	98	25	48
10	98	98	25	48
11	88	73	25	48
12	78	63	25	48
13	88	73	25	48
14	88	73	25	48
15	98	78	25	48
16	98	78	25	48
17	88	73	25	48
18	78	63	36	58
19	58	48	36	58
20	58	48	36	58
21	48	43	36	58
22	48	43	36	58
23	48	43	36	58
24	43	40	36	58

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
16	Арк.	

Таблиця 1.5. Результати розрахунків добових графіків електричних навантажень

№ з/п	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА	P , кВт	Q , квар	S , кВА
1	5188	683	5233	4381	976	4488	4410	580	4448	3724	829	3815
2	5188	683	5233	4381	976	4488	4410	580	4448	3724	829	3815
3	5188	683	5233	4381	976	4488	4410	580	4448	3724	829	3815
4	5188	683	5233	4381	976	4488	4410	580	4448	3724	829	3815
5	5764	732	5810	4381	976	4488	4900	622	4939	3724	829	3815
6	5764	732	5810	4381	976	4488	4900	622	4939	3724	829	3815
7	9223	1057	9283	4381	976	4488	7840	898	7891	3724	829	3815
8	10376	1220	10447	4381	976	4488	8820	1037	8881	3724	829	3815
9	11529	1626	11643	3113	813	3217	9800	1382	9897	2646	691	2735
10	11529	1626	11643	3113	813	3217	9800	1382	9897	2646	691	2735
11	10376	1220	10447	3113	813	3217	8820	1037	8881	2646	691	2735
12	9223	1057	9283	3113	813	3217	7840	898	7891	2646	691	2735
13	10376	1220	10447	3113	813	3217	8820	1037	8881	2646	691	2735
14	10376	1220	10447	3113	813	3217	8820	1037	8881	2646	691	2735
15	11529	1301	11602	3113	813	3217	9800	1106	9862	2646	691	2735
16	11529	1301	11602	3113	813	3217	9800	1106	9862	2646	691	2735
17	10376	1220	10447	3113	813	3217	8820	1037	8881	2646	691	2735
18	9223	1057	9283	4381	976	4488	7840	898	7891	3724	829	3815
19	6917	813	6965	4381	976	4488	5880	691	5920	3724	829	3815
20	6917	813	6965	4381	976	4488	5880	691	5920	3724	829	3815
21	5764	732	5810	4381	976	4488	4900	622	4939	3724	829	3815
22	5764	732	5810	4381	976	4488	4900	622	4939	3724	829	3815
23	5764	732	5810	4381	976	4488	4900	622	4939	3724	829	3815
24	5188	683	5233	4381	976	4488	4410	580	4448	3724	829	3815

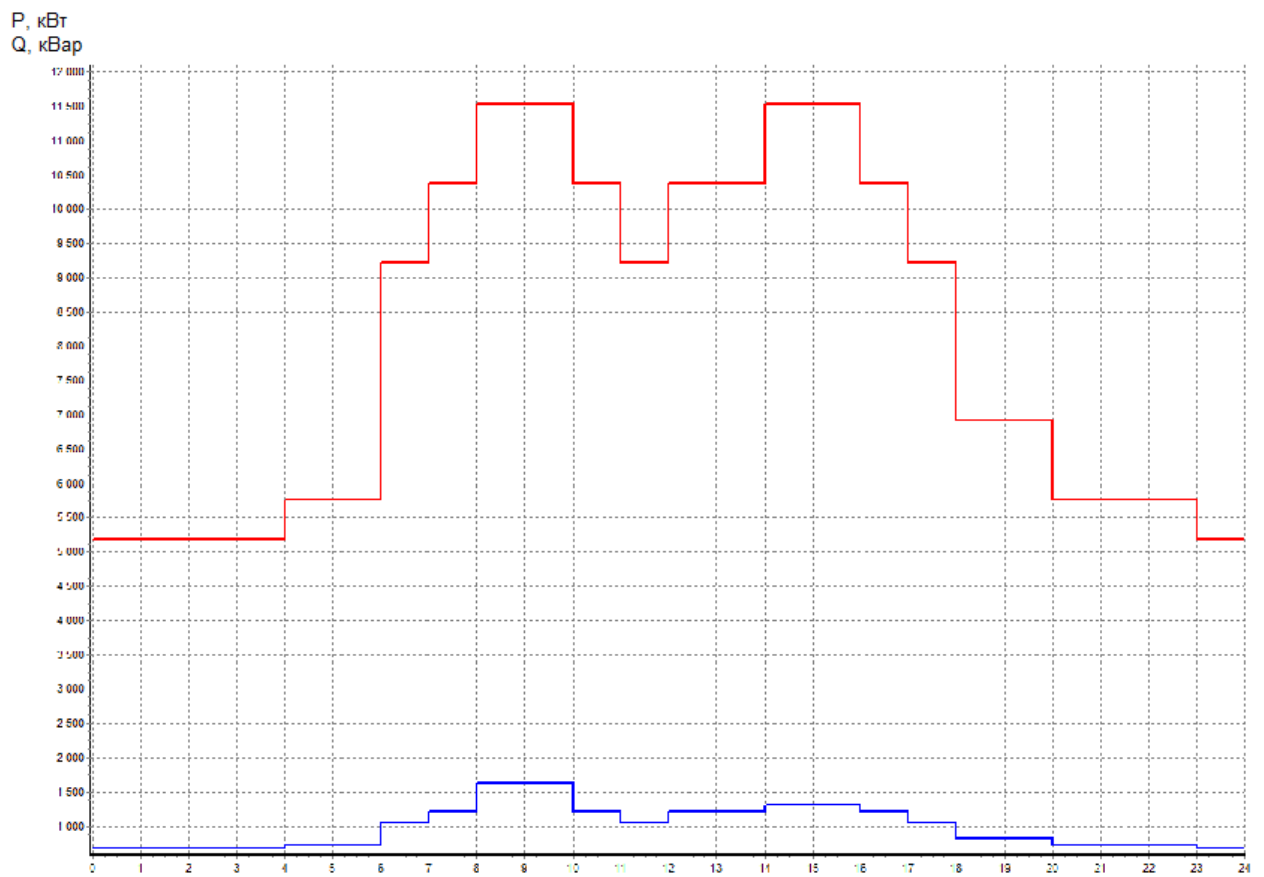


Рис. 1.1. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (з. р. дні)

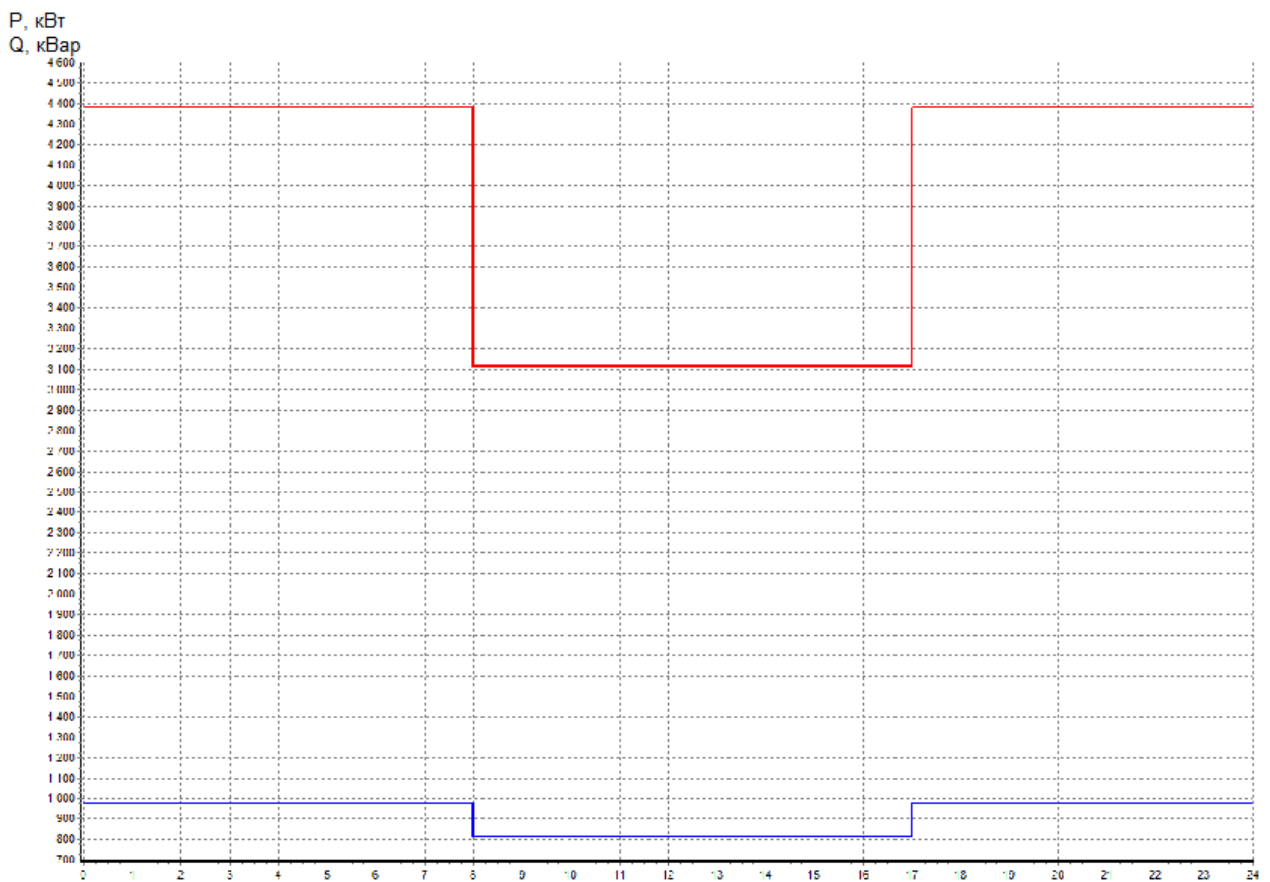


Рис. 1.2. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (з.в. дні)

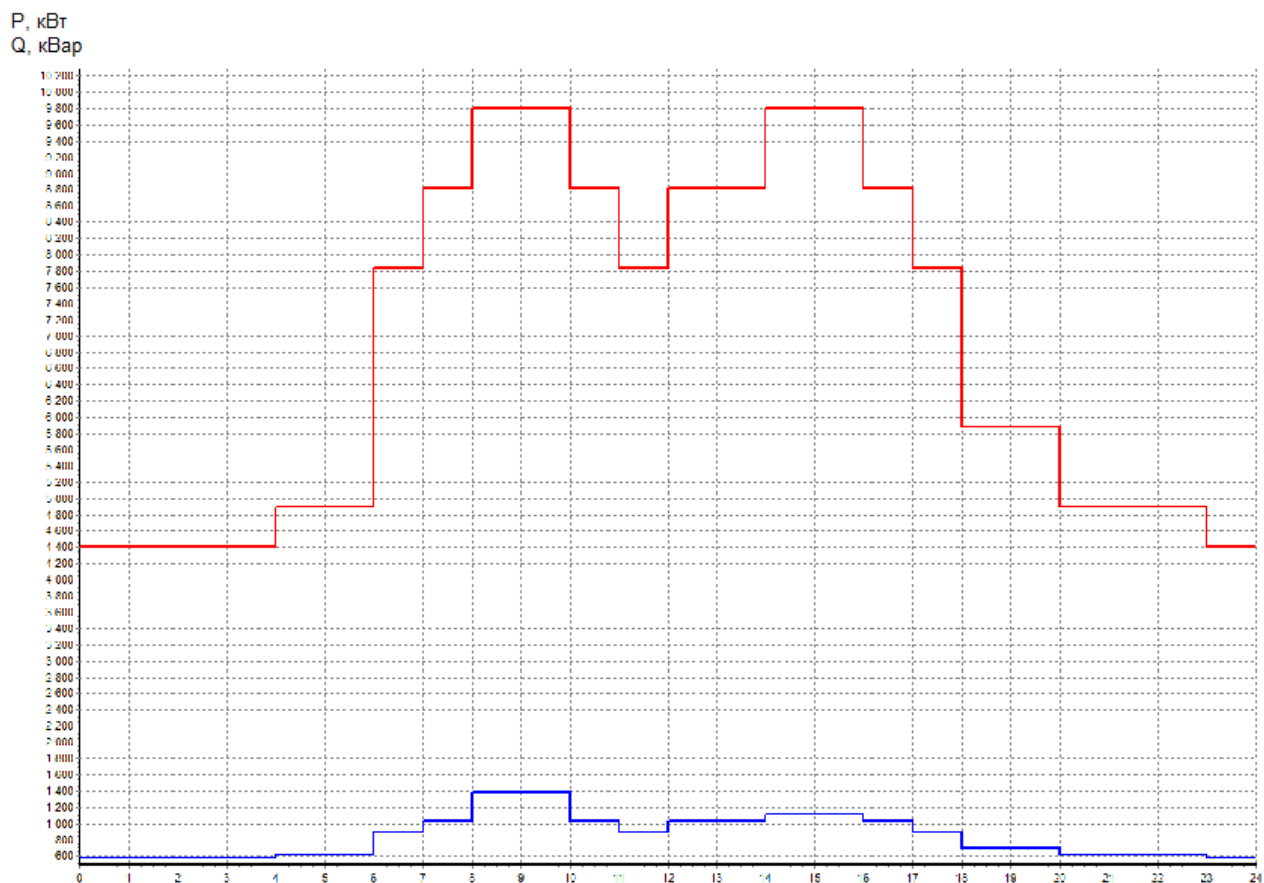


Рис. 1.3. Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (л. р. дні)

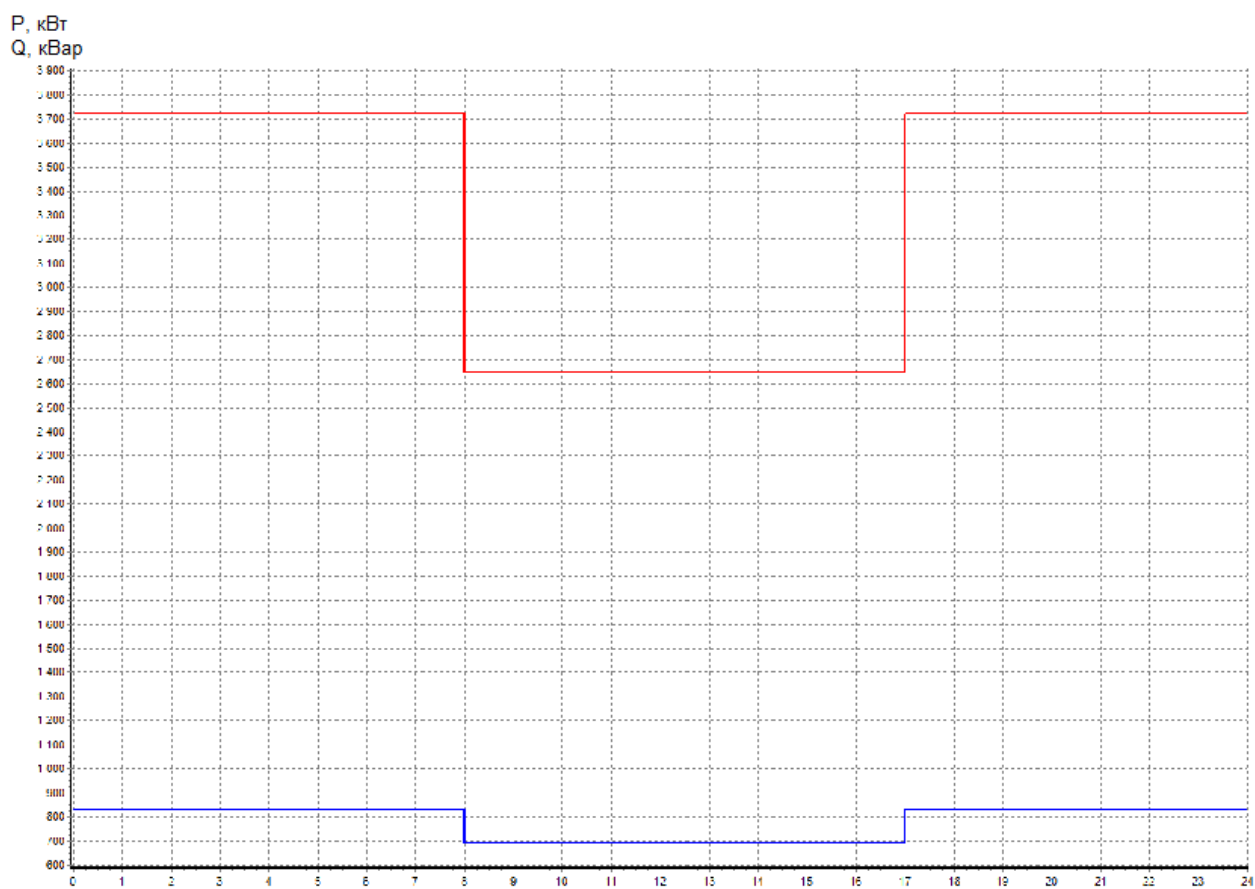


Рис. 1.4 Добові графіки активної (P) та реактивної (Q) потужностей (л. в. дні)

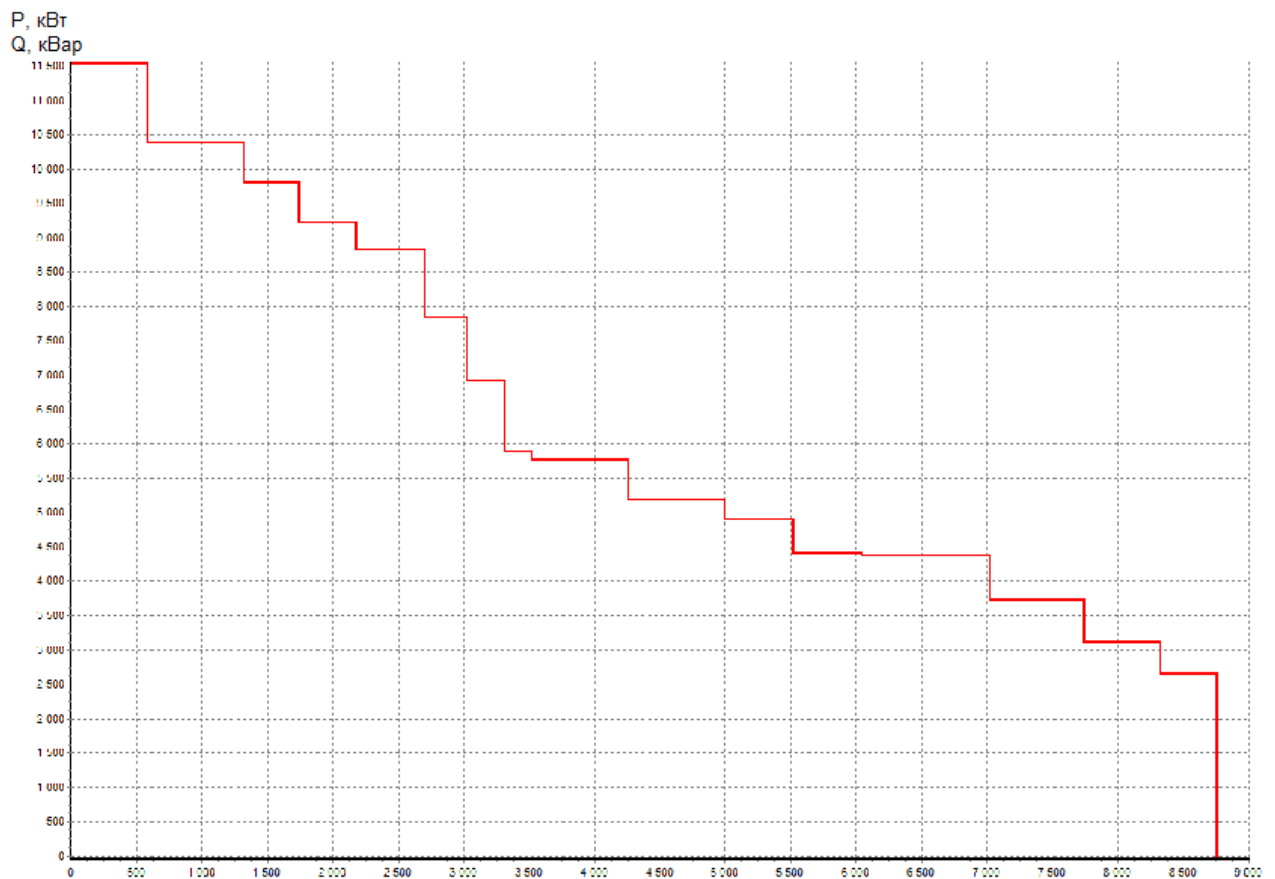


Рис. 1.5. Річний графік активного навантаження за тривалістю

Таблиця 1.6. Розрахункові параметри графіків електричного навантаження

№ з/п	Величина	Значення	Одиниця виміру
1	Розрахункова повна потужність, S_p	11643,1	МВА
2	Річне споживання активної електроенергії (з.р.), $W_{з.р.}$	28556073	кВт·год
3	Річне споживання реактивної електроенергії (з.р.), $V_{з.р.}$	3502422	квар·год
4	Річне споживання активної електроенергії (з.в.), $W_{з.в.}$	6092580	кВт·год
5	Річне споживання реактивної електроенергії (з.в.), $V_{з.в.}$	1427205	квар·год
6	Річне споживання активної електроенергії (л.р.), $W_{л.р.}$	17338650	кВт·год
7	Річне споживання реактивної електроенергії (л.р.), $V_{л.р.}$	2125935	квар·год
8	Річне споживання активної електроенергії (л.в.), $W_{л.в.}$	3824352	кВт·год
9	Річне споживання реактивної електроенергії (л.в.), $V_{л.в.}$	895392	квар·год
10	Сумарне річне споживання акт.ї електроенергії, W_p	55811655	кВт·год
11	Сумарне річне споживання реакт. електроенергії, V_p	7950954	квар·год
12	Час використання максимуму навантаж., T_m	4841,9	год
13	Час максимальних втрат, τ_m	3240,3	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

З метою візуалізації значень освітлювальних та силових навантажень на генплані, проводиться розрахунок картограми електричних навантажень. Цей розрахунок здійснюється відповідно до методики, що описана в джерелі [1]. Центр електричних навантажень було визначено за результатами розрахунку картограми.

Для прикладу наведемо розрахунок картограми для механічного цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.осв}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{716,16 + 183,14}{3,14 \cdot 0,2}} = 37,83 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{183,14 \cdot 360}{3,14 \cdot 37,83^2} = 73,31^\circ.$$

Розрахунок для інших цехів здійснюється аналогічно. Результати розрахунків приведені в табл. 2.1.

Координати центру електр. навантажень, м:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2741489,76}{12006,82} = 228,33,$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2086575,30}{12006,82} = 173,78.$$

Під час розрахунку координат центру ел. навантажень було встановлено, що він співпадає з одним із підрозділів підприємства. Оскільки таке розташування може призвести до зворотних перетоків активної електроенергії, центр живлення потрібно перенести в бік живлення. Нове місцезнаходження підстанції відображено на генплані.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
21	Арк.	

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.	Механічний цех	716,16	183,14	899,30	0,2	37,83	73,31	120,00	90,00	107916,00	80937,00
2.	Збиральний цех	1115,02	86,18	1201,20	0,2	43,72	25,83	216,00	90,00	259459,20	108108,00
3.	Термічний цех	3467,58	8,68	3476,26	0,2	74,38	0,90	81,00	276,00	281577,06	959447,76
4.	Ковальський цех	619,17	62,05	681,22	0,2	32,93	32,79	351,00	126,00	239108,22	85833,72
5.	Ливарний цех	2659,42	80,59	2740,01	0,2	66,04	10,59	357,00	54,00	978183,57	147960,54
6.	Ремонтний електроцех	527,66	26,41	554,07	0,2	29,70	17,16	213,00	276,00	118016,91	152923,32
7.	Насосна	850,1	14,77	864,87	0,2	37,10	6,15	270,00	240,00	233514,90	207568,80
8.	Компресорна										
	а) 0.4 кВ	504,24	19,82	524,06	0,2	28,88	13,62	330,00	216,00	172939,80	113196,96
	б) 10.5 кВ (АД)	1050	0	1050,00	0,2	40,88	0,00	330,00	216,00	346500,00	226800,00
9.	Територія заводу	0	15,83	15,83	0,2	5,02	360,00	270,00	240,00	4274,10	3799,20
	Всього по заводу	11509,35	497,47	12006,82						2741489,76	2086575,30

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Мета цього розділу випускної кваліфікаційної роботи полягає у техніко-економічному обґрунтуванні вибору схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання заводу.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

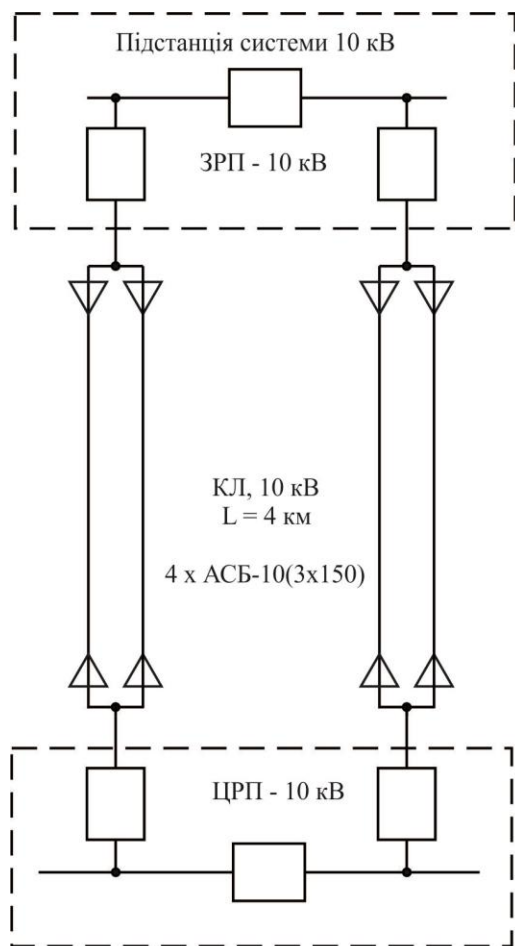
Метод вибору схеми зовнішнього електропостачання підприємства базується на визначенні мінімальних приведених затрат, як описано в джерелі [1].

Вихідні дані до роботи вказують на те, що підприємство може отримувати електропостачання від підстанції системи з напругою 110/10 кВ, розташованої за 4 км. Таким чином, для вибору оптимальної схеми зовнішнього електропостачання доцільно розглянути два варіанти:

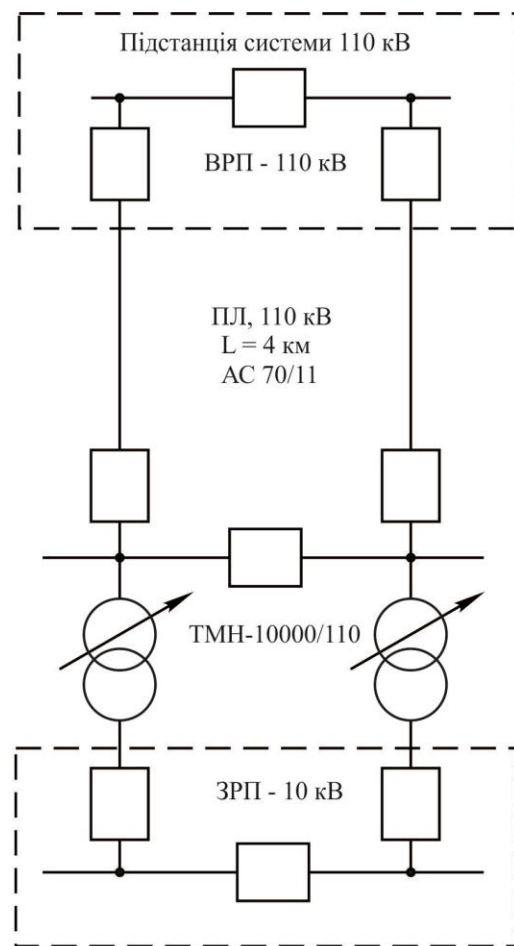
1. Постачання електроенергії забезпечується кабельними лініями з напругою 10 кВ.
2. Постачання електроенергії забезпечується повітряними лініями з напругою 110 кВ з встановленням ГЗП 110/10 кВ.

На рис. 3.1 наведено схеми обох варіантів зовнішнього електропостачання.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22



а)



б)

Рис. 3.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання

Варіант 1. Електропостачання здійснюється КЛ 10 кВ (рис. 3.1 а).

Розрахунковий струм, А:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11654}{\sqrt{3} \cdot 10} = 672,84$$

Обираємо 4 КЛ марки АСБ-10(3x150). Технічні дані кабельної лінії:

$$I_{доп} = 275 \text{ А}, \Delta P_{1км} = 20 \text{ кВт/км}, K_{КЛ} = 52 \text{ тис. грн./км.}$$

Перевірка КЛ за умовою нагріву в норм. режимі:

$$I_p = 168,21 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,84 \cdot 275 = 231 \text{ А}$$

Перевірка КЛ за умовою нагріву в авар. режимі:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 168,21 = 336,42 \text{ А} \leq K_{ан} K'_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 275 = 343,75 \text{ А}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23

КЛ АСБ-10(3х150) задовольняють умовам перевірки. Коеф. завантаження КЛ в норм. режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{168,2}{275} = 0,61$$

Втрати потужності в КЛ:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 20 \cdot 16 \cdot 0,3721 = 119,07 \text{ кВт}$$

Втрати електроенергії в КЛ:

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau = 59,54 \cdot 3240,39 = 192932,82 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість втрат електроенергії в КЛ:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 192932,82 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 982,03 \text{ тис.грн}$$

Результати розрахунку капітальних вкладень для першого варіанту схеми електропостачання наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку капітальних вкладень для варіанту № 1

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	16	52	832
	Траншея	км.	4	14,3	57,2
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					910,6

Результати розрахунку поточних витрат для першого варіанту наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Результати розрахунку поточних витрат для варіанту № 1

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{аж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	832	5	41,6	5	41,6	83,2
	Траншея	57,2	5	2,86	5	2,86	5,72
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							93,2

Схема одного ланцюга містить вимикач 10 кВ, КЛ загальною довжиною 8 км. Параметри надійності цих елементів такі:

- КЛ: $K_{\Pi} = 0,072 \cdot 10^{-3}$, $T_B = 0,56 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 0,64$ 1/рік.

- вимикач: $K_{\Pi} = 2 \cdot 10^{-3}$, $T_B = 0,45 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 4 \cdot 10^{-3}$ 1/рік;

Параметр потоку відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,64 = 0,644 \text{ 1/рік}$$

Середній час відновлення 1-го ланцюга:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_i T_{Bi}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,64 \cdot 0,00056)}{0,644} = 0,00055932 \text{ рік}$$

Коефіцієнт планового простою 1-го ланцюга:

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

Коефіцієнт аварійного простою 1-го ланцюга:

$$K_a = \lambda T_B = 0,644 \cdot 0,000559316770186335 = 0,0003602$$

K_{Π} для випадку, за якого 1 ланцюг відімкнений для планового ремонту, а 2-й в цей час відключається внаслідок пошкодження:

$$K_{\text{ап}} = 0,5 \lambda K_{\Pi}^2 = 0,5 \cdot 0,644 \cdot 0,00000576 = 0,00000185472$$

Коефіцієнт аварійного простою 2-х ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 K_{\text{ап}} = 0,00000012974404 + 2 \cdot 0,00000185472 = 0,0000038392$$

Значення середньорічного часу аварійного простою, год:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000038392 \cdot 8760 = 0,03363$$

Очікуваний збиток від недовідпуску електроенергії внаслідок аварій, тис. грн./рік:

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 32,1 \cdot 6,37 \cdot 0,03363 = 6,88$$

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

$$Z_i = E_{\Pi} K_i + C_i + C_{\text{втр.}i} + Y_i = 0,12 \cdot 910,6 + 93,2 + 982,03 + 6,88 = 1191,382$$

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					25

Так само проводиться розрахунок зведених витрат для варіанту живлення ПЛ напругою 110 кВ. Результати порівняння техніко-економічних характеристик обох варіантів схем зовнішнього електропостачання показані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Результати техніко-економічних розрахунків варіантів схем зовнішнього електропостачання заводу

<i>Показники</i>	<i>Варіанти</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>
Капітальні вкладення	910,6	2415
Поточні витрати	93,2	451
Вартість втрат електроенергії	982,03	1699,14
Збиток	6,88	5,39
<i>Зведені витрати</i>	<i>1191,382</i>	<i>2445,33</i>

З таблиці 3.3 видно, що приведені витрати на варіант схеми зовнішнього електропостачання № 1 (кабельними лініями 10 кВ) є суттєво меншими. Його і будемо враховувати в подальших розрахунках.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Для внутрішньозаводської системи електропостачання було обрано радіальну схему живлення через кабельні лінії з напругою 10 кВ. Таке рішення було ухвалено без проведення техніко-економічних розрахунків з таких причин:

- у порівнянні з магістральною та змішаною схемами, радіальна схема забезпечує максимальний рівень стабільності електропостачання.

- зважаючи на те, що відстані між цехами заводу, де розташовані ТП 10/0,4 кВ, не є дуже великими, можна стверджувати, що втрати потужності в КЛ 10 кВ є невеликими.

Схема внутрішнього електропостачання заводу приведена в графічній частині кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 4

РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Мета цього розділу випускної роботи – розрахунок режимів реактивної потужності в системі електропостачання промислового підприємства. Для здійснення розрахунку балансу реактивної потужності, вибору кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв була використана методика, описана в джерелі [1].

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Номінальна реактивна потужність СД:

$$Q_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{CD}} = 750 \cdot 0,484 = 363 \text{ квар}$$

Розрахункова активна потужність синхронного двигуна:

$$P_{\text{CD}} = N_{\text{CD}} P_{\text{ном}} K_{\text{вик}} = 2 \cdot 750 \cdot 0,7 = 1050 \text{ кВт}$$

Номінальна реактивна потужність, яка генерується СД:

$$Q_{\text{CD}} = P_{\text{CD}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{H}} = 1050 \cdot 0,484 = 508,2 \text{ кВА}$$

Максимальна реактивна потужність, що генерується СД:

$$Q_{\text{max CD}} = \frac{\alpha_{\text{M}} P_{\text{CD}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{H}}}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 1050 \cdot 0,484}{0,9} = 683,25 \text{ квар}$$

Сумарне споживання активної потужності:

$$P_p = P_{\text{H}} + \Delta P_{\text{т}} + P_{\text{с}} + P_{\text{CD}} = 10718 + 118 + 0 + 1050 = 11886 \text{ кВт}$$

Сумарне споживання реактивної потужності:

$$Q_p = Q_{\text{H}} + \Delta Q_{\text{т}} + Q_{\text{с}} - Q_{\text{CD}} = 6314 + 620 + 0 - 508,2 = 6425,8 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, що споживається від системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{с}} = 11886 \cdot 0,15 = 1782,9 \text{ квар}$$

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					27

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 6425,8 - 1782,9 = 4642,9 \text{ квар}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{10718}{0,7 \cdot 1000} = 15,31 \approx 16 \text{ шт.}$$

Розглянемо варіанти кількістю трансформаторів 10/0,4 кВ: $N_T = N_0$, $N_T = N_0 + 1$, $N_T = N_0 + 2$.

Варіант 1. Кількість трансформаторів 10/0,4 кВ $N = N_0 = 16$ шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана з мережі 10 кВ в електричну мережу напругою 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(16 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 10718^2} = 3250,3 \text{ квар}$$

Потужність КП, які встановлюються в мережі до 1000 В:

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 6314 - 3250,3 = 3063,7 \text{ квар}$$

Потужність КП, які встановлюються в мережі напругою 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 6250,75 - 3063,7 - 1782,9 = 1404,15 \text{ квар}$$

Розрахунок КП для варіантів з кількістю трансформаторів $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ виконується аналогічним чином. Результати розрахунку приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати розрахунку потужності КП

№ варіанту	Кількість тр-торів	Q_1 , кВАр	Q_{KH} , кВАр	Q_{KB} , кВАр
1	16	3250,3	3063,7	1404,15
2	17	5170,54	1143,46	3324,39
3	18	6624,54	0	4467,85

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Результати розрахунку потужності високовольтних та низьковольтних БК для варіантів з кількістю трансформ. N_0 , $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ приведені в табл. 4.2 – 4.4.

Таблиця 4.2. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 16$

К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} -$ $Q_{бк}$, кВАр	K_z	S_p , кВА
3	2072,13	1729,1	340,99	1388,11	3·67; 3·402;	1407	-18,89	0,7	2097,01
5	3515,1	1769,07	0	1769,07	5·50; 5·300;	1750	19,07	0,7	3515,15
5	3425,98	1907,74	716	1191,74	5·67; 5·166;	1165	26,74	0,7	3505,57
3	1823,38	1528,13	1041,77	486,36	3·166;	498	-11,64	0,7	2094,25

БК 0,4 кВ: 4820 квар. БК 10 кВ: 0 квар.

Таблиця 4.3. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 17$

К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} -$ $Q_{бк}$, кВАр	K_z	S_p , кВА
3	2072,13	1729,1	340,99	1388,11	3·67; 3·402;	1407	-18,89	0,7	2097,01
6	3515,1	1769,07	2298,71	0		0	0	0,66	3935,17
5	3425,98	1907,74	716	1191,74	5·67; 5·166;	1165	26,74	0,7	3505,57
3	1823,38	1528,13	1041,77	486,36	3·166;	498	-11,64	0,7	2094,25

БК 0,4 кВ: 3070 квар. БК 10 кВ: 2 x 900 = 1800 квар.

Таблиця 4.4. Вибір БК при кількості цехових трансформаторів $N_T = 18$

К-сть т-рів	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_{np} , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп} -$ $Q_{бк}$, кВАр	K_z	S_p , кВА
3	2072,13	1729,1	340,99	1388,11	3·67; 3·402;	1407	-18,89	0,7	2097,01
6	3515,1	1769,07	2298,71	0		0	0	0,66	3935,17
6	3425,98	1907,74	2429,54	0		0	0	0,65	3921,33
3	1823,38	1528,13	1041,77	486,36	3·166;	498	-11,64	0,7	2094,25

БК 0,4 кВ: 1905 квар. БК 10 кВ: 2 x 1350 = 2700 квар.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					29

Розрахунок приведених витрат для варіанту з кількістю цехових трансформаторів $N_T = N_0$ приведено нижче.

Втрати активної потужності в КП 0,4 кВ:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 4820 = 21,69 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності в КП 10 кВ:

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

Втрати активної потужності в цехових трансформаторах, спричинені передачею реактивної потужності через них:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{10718^2 + 3250,3^2}{10^2} \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 62,72 \text{ кВт}$$

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

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{N \cdot S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{8,6 \cdot 10^2}{16 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0,05 \text{ Ом}$$

Втрати активної потужності в синхронних двигунах:

$$\begin{aligned} \Delta P_{сд} &= Q_{\max сд} \left(\frac{D_1}{Q_{\text{ном сд}}} + \frac{2D_2 Q_{\max сд}}{Q_{\text{ном сд}}^2 N_{сд}} \right) + Q_{\max сд}^2 \frac{D_2}{Q_{\text{ном сд}}^2 N_{сд}} = \\ &= 683,25 \cdot \left(\frac{0,9}{363} + \frac{2 \cdot 0,75 \cdot 683,25}{363^2 \cdot 2} \right) + 683,25^2 \cdot \frac{0,75}{363^2 \cdot 2} = 5,59 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Вартість КП 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 5 \cdot 3,28 + 8 \cdot 3,53 + 8 \cdot 4,75 + 5 \cdot 6,71 + 3 \cdot 8,18 = 140,73 \text{ тис.грн} \end{aligned}$$

Вартість КП 10 кВ:

$$K_{KB} = \sum_{i=1}^n N_{KB i} \cdot K_{KB i} = 0 \text{ тис.грн}$$

Вартість ТП:

$$\begin{aligned} K_{ТП} &= N_{ТП(2)} \cdot K_{ТП(2)} + N_{ТП(1)} \cdot K_{ТП(1)} : \\ &= 6 \cdot 638 + 4 \cdot 337,5 = 5178 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

Приведені витрати:

$$\begin{aligned}
 Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП} + \Delta P_{CD}) = \\
 &= 0,12 \cdot (140,73 + 0 + 5178) + 5,07 \cdot 3244 \cdot (21,69 + 0 + 62,72 + 5,59) \cdot 10^{-3} = \\
 &= 2118,48 \text{ тис.грн.}
 \end{aligned}$$

Розрахунок приведених витрат для варіантів $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ проводиться аналогічним чином. Результати розрахунку наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Результати розрахунку приведених витрат на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	Q_{KH} , кВАр	ΔP_{KH} , кВт	Q_{KB} , кВАр	ΔP_{KB} , кВт	N_{TP} , шт.	R_{KB} , Ом	$S_{пр}$, кВА	$\Delta P_{ТП}$, кВт	K_{KH} , тис. грн.	K_{KB} , тис. грн.	$K_{КТП}$, тис. грн.	Z , тис. грн.
1	4820	21,7	0	0	16	0,05	11200	62,72	140,73	0	5178	2118
2	3070	13,8	1800	5,4	17	0,05	11900	70,81	90,78	30,68	5478,5	2245
3	1905	8,57	2700	8,1	18	0,05	12600	79,38	49,38	42,54	5779	2376

Як видно з розрахунків, приведені витрати на варіант з мінімальною кількістю цехових трансформаторів виявились найменшими. Його і приймаємо для подальших розрахунків.

Результати розрахунку навантажень вище 1 кВ з урахування компенсації наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6. Розрахунок силових навантажень вище 1 кВ

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1, 2															
Механічний цех															
силове:	150	5	100	2200	20	0,25	0,75	0,88	550	485,05	44	1,3	716,16	485,05	864,96
освітлювальне:									160,65				183,14	88,64	
Всього:									710,65	485,05			899,3	573,69	1066,71
Збиральний цех															
силове:	250	2	50	3250	25	0,3	0,7	1,02	975	994,7	130	1,14	1115,02	994,7	1494,22
освітлювальне:									75,6				86,18	41,71	
Всього:									1050,6	994,7			1201,2	1036,41	1586,51
Всього по ТП 1, 2:															
силове:	400	2	100	5450	50	0,28	0,72	0,97	1525	1479,75	109	1,17	1780,06	1479,75	2314,79
освітлювальне:									236,25				269,32	130,35	
БК 0,4 кВ										-1407				-1407	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1, 2:									1761,25	72,75			2049,38	203,1	2059,42
Втрати в трансформаторах:													22,9	119,76	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1, 2:													2072,28	322,86	2097,28
ТП 3, 4, 5															
Термічний цех															
силове:	150	10	250	4300	25	0,75	0,9	0,48	3225	1561,94	34	1,08	3467,58	1561,94	3803,13
освітлювальне:									7,61				8,68	4,2	
Всього:									3232,61	1561,94			3476,26	1566,14	3812,77
Всього по ТП 3, 4, 5:															
силове:	150	10	250	4300	25	0,75	0,9	0,48	3225	1561,94	34	1,08	3467,58	1561,94	3803,13
освітлювальне:									7,61				8,68	4,2	
БК 0,4 кВ										-1750				-1750	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3, 4, 5:									3232,61	-188,06			3476,26	-183,86	3481,12
Втрати в трансформаторах:													38,91	203,3	

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
33	Арк.	

Продовження табл. 4.6

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 3, 4, 5:													3515,17	19,44	3515,22
ТП 6, 7, 8															
Ковальський цех															
силове:	100	8	60	1150	7,5	0,45	0,7	1,02	517,5	527,96	38	1,2	619,17	527,96	813,7
освітлювальне:									70,69				80,59	39,01	
Всього:									588,19	527,96			699,76	566,97	900,62
Ливарний цех															
силове:	120	7	250	4150	35,7	0,55	0,9	0,48	2282,5	1105,46	33	1,17	2659,42	1105,46	2880,03
освітлювальне:									70,69				80,59	39,01	
Всього:									2353,19	1105,46			2740,01	1144,47	2969,42
Всього по ТП 6, 7, 8:															
силове:	220	7	250	5300	35,7	0,53	0,86	0,58	2800	1633,42	42	1,15	3227,29	1633,42	3617,11
освітлювальне:									141,38				161,18	78,02	
БК 0,4 кВ										-1165				-1165	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 6, 7, 8:									2941,38	468,42			3388,47	546,44	3432,25
Втрати в трансформаторах:													38,17	199,58	
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 6, 7, 8:													3426,64	746,02	3506,91
ТП 9, 10															
Насосна															
силове:	10	10	80	1100	8	0,6	0,75	0,88	660	582,07	10	1,29	850,1	640,28	1064,25
освітлювальне:									12,96				14,77	7,15	
Всього:									672,96	582,07			864,87	647,43	1080,35
Ремонтний електроцех															
силове:	90	4,5	45	1450	10	0,3	0,65	1,17	435	508,57	64	1,21	527,66	508,57	732,85

Продовження табл. 4.6

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		n _{еф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									23,17				26,41	12,78	
Всього:									458,17	508,57			554,07	521,35	760,79
Компресорна															
силове:	15	5	80	600	16	0,75	0,85	0,62	450	278,88	15	1,12	504,24	278,88	576,22
освітлювальне:									17,39				19,82	9,59	
Всього:									467,39	278,88			524,06	288,47	598,21
Територія заводу															
освітлювальне:									14,13				15,83	27,42	
Всього:									14,13	0			15,83	27,42	31,66
Всього по ТП 9, 10:															
силове:	115	4,5	80	3150	17,8	0,49	0,75	0,89	1545	1369,52	79	1,12	1727,27	1369,52	2204,32
освітлювальне:									67,65				76,83	56,94	
БК 0,4 кВ										-498				-498	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 9, 10:									1612,65	871,52			1804,1	928,46	2028,99
Втрати в трансформаторах:													22,44	117,47	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10:													1826,54	1045,93	2104,81
Всього по об'єкту															
силове:	885	2	250	18200	125	0,5	0,99	0,13	9095	1224,63	146	1,08	9840,44	1224,63	9916,35
освітлювальне:									67,65				516,01	269,51	
Всього:									9547,89	1224,63			10356,45	1494,14	10463,68
Потужність КП 0,4 кВ:										-4820				-4820	
Втрати в трансформаторах:													122,42	640,11	
Всього по об'єкту:													10478,87	2134,25	10694,01
Високовольтне навантаження															
СД 10 кВ	2	750	750	1500		0,7	0,9	0,48	1050	-508,54			1050	-508,54	1166,67
Всього високовольтного навантаження:													1050	-508,54	1166,67
Всього по об'єкту 10 кВ:													11528,87	1625,71	11642,93
КП 10 кВ:														0	
Всього 10 кВ з КП:													11528,87	1625,71	11642,93
tgφ = 0,141															

РОЗДІЛ 5

ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядається процес вибору потужності та кількості силових трансформаторів для силових цехових трансформаторних підстанцій. Для визначення кількості та потужності необхідних трансформаторів використовується методика, описана у джерелі [1].

Умови перевірки вибору силового трансформатора для ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_T S_{\text{НОМТ}}} = \frac{1398}{2 \cdot 1000} = 0,70,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1398}{1,08} = 1294,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1398}{1,4} = 999.$$

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

Аналогічні розрахунки для інших цехових трансформаторних підстанцій проводяться за тією ж методикою. Отримані результати наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Результати вибору цехових ТП

№ ТП	К-сть	$S_{\text{роз}}$, кВА	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_1$	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_2$	Марка
ТП-1	2	1398,01	0,70	1294	999	ТМ-1000/10/0,4
ТП-2	1	699,00	0,70	647	499	ТМ-1000/10/0,4
ТП-3	2	1406,06	0,70	1302	1004	ТМ-1000/10/0,4
ТП-4	2	1406,06	0,70	1302	1004	ТМ-1000/10/0,4
ТП-5	1	703,03	0,70	651	502	ТМ-1000/10/0,4
ТП-6	2	1402,23	0,70	1298	1002	ТМ-1000/10/0,4
ТП-7	2	1402,23	0,70	1298	1002	ТМ-1000/10/0,4
ТП-8	1	701,11	0,70	649	501	ТМ-1000/10/0,4
ТП-9	2	1396,17	0,70	1293	997	ТМ-1000/10/0,4
ТП-10	1	698,08	0,70	646	499	ТМ-1000/10/0,4

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

У цьому розділі випускної кваліфікаційної роботи розглядаються питання, пов'язані з розрахунком струмів коротких замкнень в системі електропостачання, вибором кабельних ліній напругою 10 кВ, вибором електричних апаратів високої напруги, вибором потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб. Для вирішення цих завдань використовується методика, описана у джерелі [1].

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Для проведення розрахунку струмів короткого замикання була складена розрахункова схема (див. рис. 6.1), в якій вказано точки системи електропостачання, де необхідно виконати розрахунки струмів к.з.

Згідно зі складеною розрахунковою схемою, було створено схему заміщення, на якій всі елементи мережі були представлені у вигляді опорів (див. рис. 6.2).

Виконаємо розрахунок активних і реактивних опорів компонентів електричної мережі.

Опори системи:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{112} = 0,984 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,984}{25} = 0,039 \text{ Ом}$$

Опори КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х150), 4 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,206 \cdot 4}{2} = 0,412 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,079 \cdot 4}{2} = 0,16 \text{ Ом}$$

Вим.					
Арк.					
№ документа					
Підпис					
Дата					
Арк.	37				

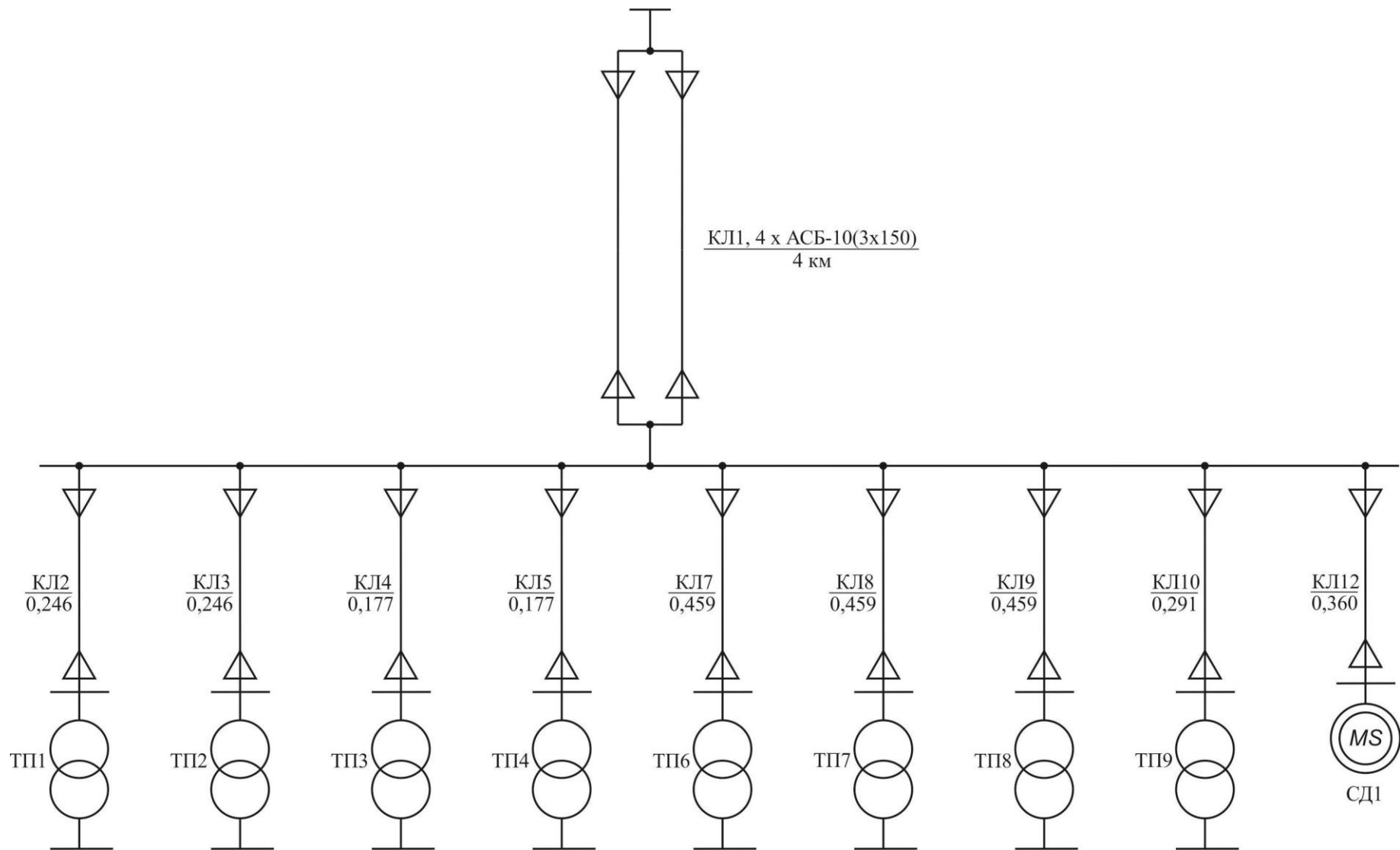


Рис. 6.1. Розрахункова схема СЕР

Вим.				
Арк.				
№ документа				
Підпис				
Дата				
38	Арк.			

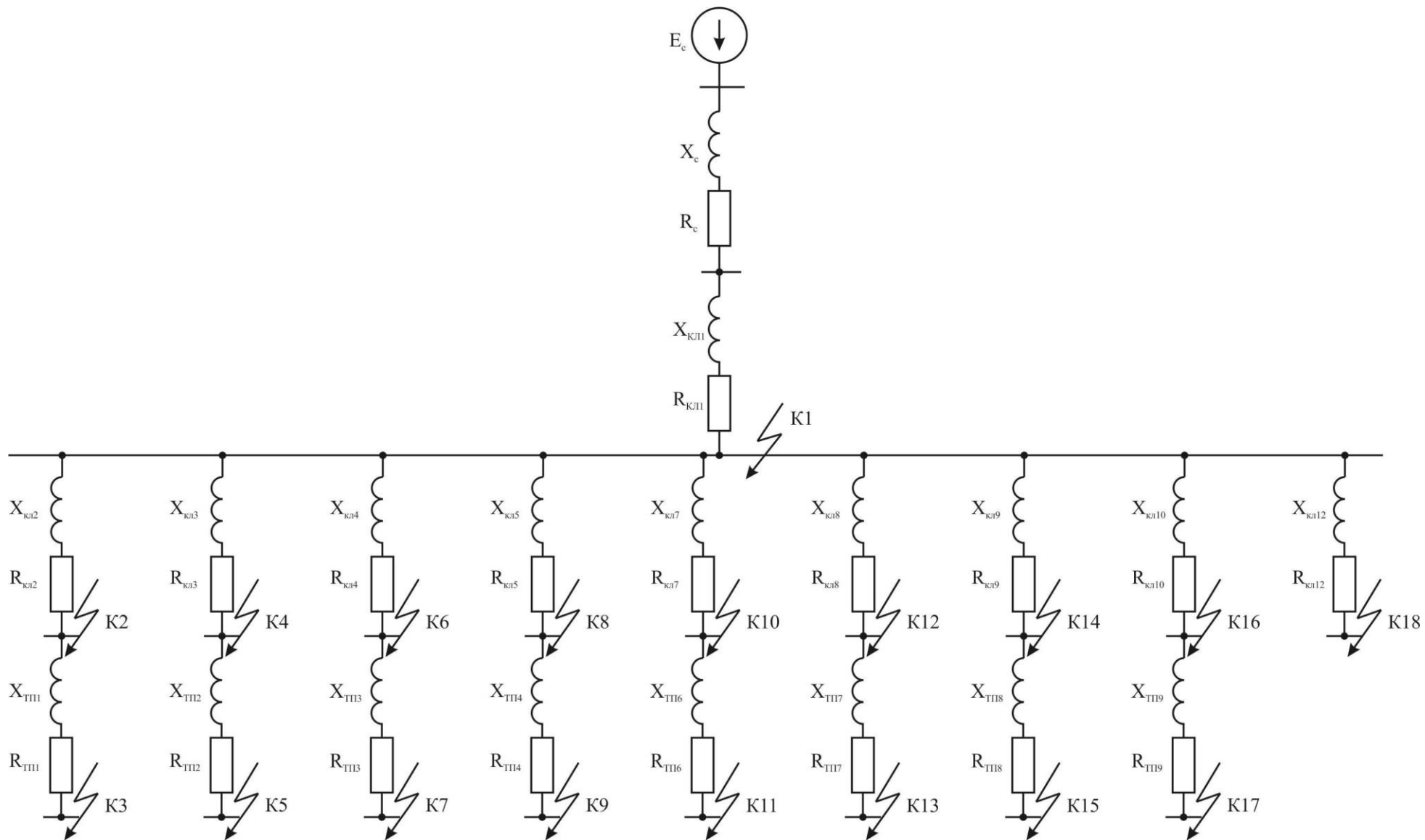


Рис. 6.2. Схема заміщення СЕС

Результуючі опори до т. К1:

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 0,984 + 0,16 = 1,144 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,039 + 0,412 = 0,451 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,451^2 + 1,144^2} = 1,23 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К1 від системи:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,23} = 4,93 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К1:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,144}{314 \cdot 0,451} = 0,0081 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К1:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0081}} = 1,291$$

Ударний струм в т. К1 від системи:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial} I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,291 \cdot 4,93 = 9 \text{ кА}$$

Номінальна повна потужність СД:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,75}{0,9 \cdot 0,96} = 0,87 \text{ МВА}$$

Номінальний струм СД:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,87}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,048 \text{ кА}$$

Надперехідний струм СД:

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d''} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,048 = 0,528 \text{ кА}$$

Стала часу СД:

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

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

Ударний коефіцієнт струму підживлення від СД:

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

Ударний струм в т. К1 від СД:

$$i_{y\partial 1(CD)} = \sqrt{2} k_{y\partial(CD)} I''_{K1(CD)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,528 = 1,35 \text{ кА}$$

Сумарний надперехідний струм к.з. на шинях ЦРП:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(CD)} = 4,93 + 0,528 = 5,46 \text{ кА}$$

Сумарний ударний струм на шинях ЦРП:

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CD)} = 9 + 1,35 = 10,35 \text{ кА}$$

Розрахунковий струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1398}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,44 \text{ А}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,46^2 (1,365 + 0,0081) = 40,93 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{40,93 \cdot 10^3} = 68,06 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70) ($I_{доп \text{ кл}} = 130 \text{ А}$, $x_{0\text{кл1}} = 0,086 \text{ Ом/км}$, $r_{0\text{кл1}} = 0,443 \text{ Ом/км}$)

Опори КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,246 = 0,109 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,246 = 0,021 \text{ Ом}$$

Параметри інших КЛ 10 кВ приведені в табл. 6.1.

						Арк.
						40
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1. Параметри КЛ 10 кВ

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	4,000	0,206	0,079	0,412	0,158
2	0,246	0,443	0,086	0,109	0,021
3	0,246	0,443	0,086	0,109	0,021
4	0,177	0,443	0,086	0,078	0,015
5, 6	0,177	0,443	0,086	0,078	0,015
7	0,459	0,443	0,086	0,203	0,039
8	0,459	0,443	0,086	0,203	0,039
9	0,459	0,443	0,086	0,203	0,039
10, 11	0,291	0,443	0,086	0,129	0,025
12	0,360	0,443	0,086	0,159	0,031

Результуючі опори до т. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,144 + 0,021 = 1,165 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,451 + 0,109 = 0,56 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,56^2 + 1,165^2} = 1,293 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К2:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,293} = 4,69 \text{ кА}$$

Стала часу в т. К2:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,165}{314 \cdot 0,56} = 0,0066 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К2:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0066}} = 1,22$$

Ударний струм в т. К2:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 4,69 = 8,09 \text{ кА}$$

Опори цехового трансформатора ТП1 (ТМ-1000/10):

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

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

Результуючі опори до т. К3 (приведені до 0,4 кВ):

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,165 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0105 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,56 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0022 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0022^2 + 0,0105^2} = 0,0107 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в т. К3:

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

Стала часу в т. К3:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0105}{314 \cdot 0,0022} = 0,0152 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в т. К3:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0152}} = 1,518$$

Ударний струм в т. К3:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1,518 \cdot 21,58 = 46,33 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів короткого замикання для інших точок системи електропостачання підприємства проводиться за аналогічною методикою. У табл. 6.2 наведені отримані результати цього розрахунку.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Таблиця 6.2. Результати розрахунку струмів к. з.

<i>№ точки к.з.</i>	<i>R, Ом</i>	<i>X, Ом</i>	<i>I_к^{''}, кА</i>	<i>T_а, с</i>	<i>k_{уд}</i>	<i>i_{уд}, кА</i>
1	0,4510	1,1440	5,46	0,0081	1,291	10,35
2	0,5600	1,1650	4,69	0,0066	1,220	8,09
3	0,0022	0,0105	21,58	0,0152	1,518	46,33
4	0,5600	1,1650	4,69	0,0066	1,220	8,09
5	0,0022	0,0105	21,58	0,0152	1,518	46,33
6	0,5290	1,1590	4,76	0,0070	1,240	8,35
7	0,0021	0,0105	21,58	0,0159	1,533	46,79
8	0,5290	1,1590	4,76	0,0070	1,240	8,35
9	0,0021	0,0105	21,58	0,0159	1,533	46,79
10	0,6540	1,1830	4,48	0,0058	1,178	7,46
11	0,0023	0,0105	21,58	0,0145	1,502	45,84
12	0,6540	1,1830	4,48	0,0058	1,178	7,46
13	0,0023	0,0105	21,58	0,0145	1,502	45,84
14	0,6540	1,1830	4,48	0,0058	1,178	7,46
15	0,0023	0,0105	21,58	0,0145	1,502	45,84
16	0,5800	1,1690	4,65	0,0064	1,210	7,96
17	0,0022	0,0105	21,58	0,0152	1,518	46,33
18	0,6100	1,1750	4,58	0,0061	1,194	7,73

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [2], переріз струмопровідних ліній з напругою понад 1 кВ має бути вибраний з урахуванням тривало допустимої сили струму в нормальному та післяаварійному режимах, а також з оцінкою очікуваного зростання навантаження, яке не повинно

перевищувати 25-30% від розрахункового значення. В якості прикладу проведемо розрахунок з вибору КЛ1.

Розрахунковий струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1398}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,44 \text{ А}$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3х70)

Перевірка КЛ за допустимим навантаженням:

$$I_p = 38,44 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ А}$$

Перевірка КЛ в аварійному режимі:

$$I_{ав} = 76,88 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{дон} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ А}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 5,46^2 (1,365 + 0,0081) = 68,06 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз КЛ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{40,93 \cdot 10^3} = 68,06 \text{ мм}^2$$

Результати вибору інших КЛ наведено в табл. 6.3.

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В даному параграфі роботи було здійснено вибір таких електричних апаратів:

- високовольтних вимикачів номінальною напругою 10 кВ;
- вибір розрядників та обмежувачів перенапруги.

Розрахунки проводились згідно з методикою, що описана в роботі [1].

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
45	Арк.	

Таблиця .6.3. Результати вибору КЛ 10 кВ

№ КЛ	<i>n</i> , <i>шт</i>	<i>S_p</i> , МВА	<i>I_p</i> , А	<i>I_{p.ав.}</i> , А	<i>F_{ек}</i> , мм ²	<i>B_к</i> , кА ² с	<i>F_{min}</i> , мм ²	Марка кабеля	<i>I_{дон}</i> , А	<i>K_n</i>	<i>K_nI_{дон}</i> , А	<i>K_{ан}</i>	<i>K_n'</i>	<i>K_{ан}K_n'</i> <i>I_{дон}</i> , А
1	4	11642,9	160,05	320,1	114,32	40,93	68,06	4 х АСБ-10(3 х 150)	275	0,8	220	1,35	0,9	334,13
2	2	1398	38,44	76,88	27,46	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	1	699	38,44	-	27,46	40,93	68,06	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
4	2	1406	38,65	77,3	27,61	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5, 6	2	1406	38,65	77,3	27,61	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	2	1402	38,55	77,1	27,54	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
8	2	1402	38,55	77,1	27,54	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
9	1	701	38,55	-	27,54	40,93	68,06	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
10, 11	2	1396	38,38	76,76	27,41	40,93	68,06	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
12	1	1009	55,48	-	39,63	40,93	68,06	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

Результати розрахунків з вибору ввідного вимикача 10 кВ наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 10 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$672,2 \leq 1000$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіод. складова: - повний струм:	$I_{n\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{n\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$5,46 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 5,46 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $7,72 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$5,46 \leq 52$ $10,35 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$37,27 \leq 1200$

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

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

Аперіодична складова струму к. з.:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,46 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0081}} = 0 \text{ кА}$$

Тепловий імпульс:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{pz.max} + T_a) = 5,46^2 (0,042 + 1,2 + 0,0081) = 37,2 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо до встановлення вакуумний вимикач ВР2-10-20/1000. Секційний вимикач та вимикач на відхідних КЛ обираються аналогічним чином

На напругу 10 кВ обираємо обмежувачі перенапруги ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема підключення трансформаторів власних потреб приведена на рис. 6.3.

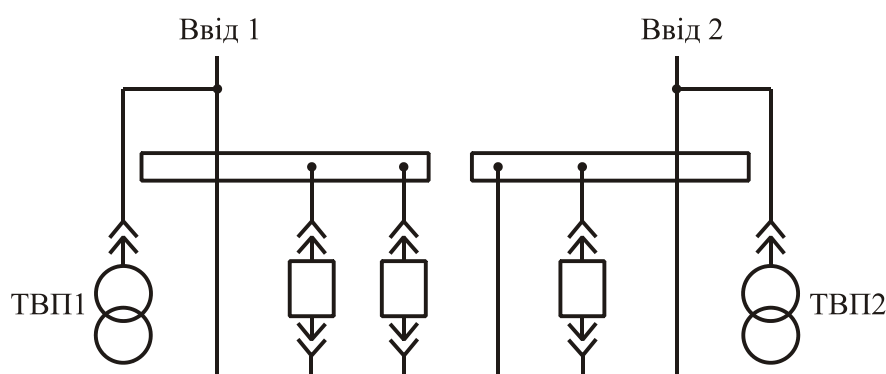


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП

Результати розрахунку навантаження ТВП наведені в табл. 6.5.

Сумарне навантаження ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{69,6^2 + 19^2} = 72,15 \text{ кВА}$$

Розрахункова потужність ТВП:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 72,15 = 57,72 \text{ кВА}$$

Обираємо до встановлення 2 ТВП типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження:

$$K_z = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{57,72}{2 \cdot 40} = 0,72$$

Таблиця 6.5. Результати розрахунку електричного навантаження ТВП

№ n/n	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	$n,$ шт.	$P_{сум},$ кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВАр
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	26	15,6	0,97	0,25	15,6	4
2.	Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							70	19

6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги

В табл. 6.6 наведено результати розрахунків з вибору ТС на вводах 10 кВ.

Таблиця 6.6. Результати розрахунків з вибору ТС на вводах 10 кВ

Параметр ТС	Умова вимору	Розрахунок
Номінальна напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$672,2 \leq 800$
Динамічна стійкість	$i_y \leq i_{дин.}$	$10,35 \leq 81$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$37,27 \leq 2976,75$
Вторинне навантаження	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,34 \leq 0,4$

Обираємо ТС типу ТЛК-10/800 У1

Результати розрахунків вторинного навантаження обраного ТС приведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7. Результати розрахунків вторинного навантаження ТС

Назва обладнання	Тип	Навантаження по фазах		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Е 377	0,1	-	0,1
Лічильник	230ART2	0,1	0,1	0,1
Всього на вводі		0,2	0,1	0,2

Опір приладів, Ом:

$$Z_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{0,2}{5^2} = 0,01$$

Необхідний опір проводів, Ом:

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0,4 - 0,01 - 0,1 = 0,29 \text{ Ом}$$

Переріз проводів вторинних кіл ТС, мм²:

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{0,29} = 1,95$$

Обираємо контрольний кабель АКРВГ-2,5.

Опір кабелю, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{2,5} = 0,23$$

Вторинне навантаження ТС, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров.ст.}} + R_{\text{конт}} = 0,01 + 0,23 + 0,1 = 0,34$$

Результати розрахунку навантаження ТН наведені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8. Результати розрахунку навантаження ТН

<i>Прилад</i>	<i>Тип</i>	<i>S, ВА</i>	<i>Число обмоток</i>	<i>Число приладів</i>	<i>S_Σ, ВА</i>
Вольтметр	Е 377	1	1	1	1
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Лічильник	230ART2	7,5	3	1	22,5
Лічильник	230AR	7,5	2	10	150
<i>Всього</i>					<i>177</i>

Обираємо ТН типу НАМИ-10-66-УЗ: $S_{\text{ном}} = 200$ ВА, $U_{\text{ном}} = 10$ кВ,
клас точн.— 0,5.

						Арк.
						50
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРАХУНОК МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТА КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ

Цей розділ наукової роботи присвячено створенню системи релейного захисту для кабельної лінії з напругою 10 кВ та для силового трансформатора ТМ-1000/10, який живиться цією кабельною лінією.

7.1 Загальні відомості про організацію релейного захисту

Проведемо розрахунок системи релейного захисту для знижувального силового трансформатора ТМ-1000, який працює з напругою 10/0,4 кВ. Схема захисту цього трансформатора та кабельної лінії, яка його живить, наведена на рисунку 7.1.

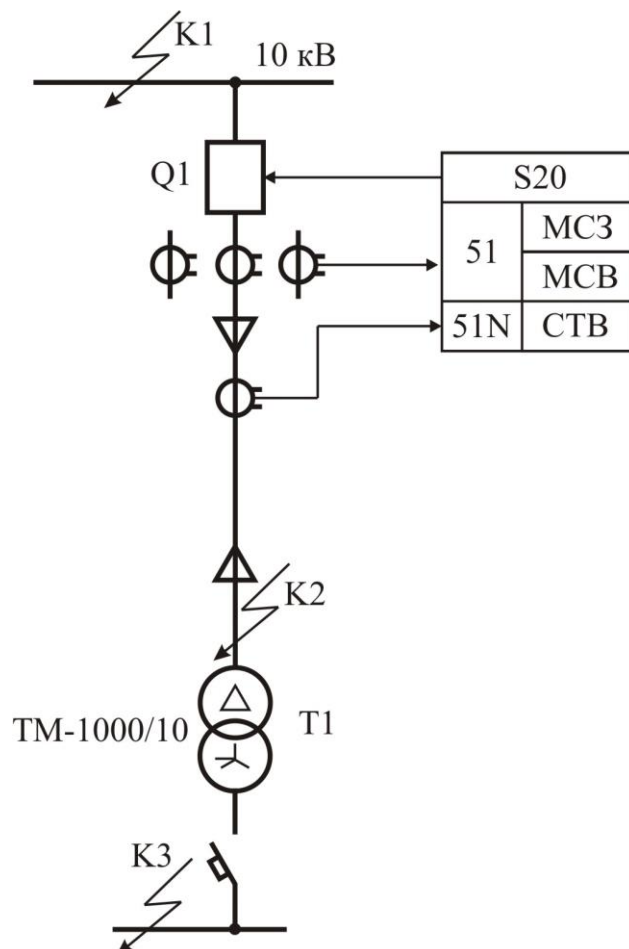


Рис. 7.1. Схема релейного захисту трансформатора ТМ-1000

Силовий трансформатор Т з'єднано з електричною мережею через вимикач Q1 та кабельну лінію КЛ. Для забезпечення захисту трансформатора на стороні ВН встановлено автоматичний вимикач QF1.

Для реалізації системи релейного захисту для силового трансформатора та кабельної лінії було вибрано мікропроцесорне реле Seram 20 від компанії Schneider Electric. Зовнішній вигляд цього мікропроцесорного реле показано на рисунку 7.2.



Рис. 7.2. Зовнішній вигляд реле Seram 20

Максимальний струмовий захист для Т1, який забезпечує захист від перевантаження, струмову відсічку без витримки часу і селективну струмову відсічку повинен бути сумісним з ЧСХ розціплювача Micrologic 5.0, який встановлений на автоматичному вимикачі QF1. Відповідні ЧСХ наведені в таблицях 7.1 - 7.3.

Таблиця 7.1. Результати розрахунку ЧСХ

Місце встановл. релейного захисту	I_n , А/А	I_{max} А/А	Захист від перевантаження								
			I_r , А/А	$\frac{t}{I_d}$	$\frac{t_r}{I}$	$\frac{t}{I_{nd}}$	Час спрацювання захисту Δt_r при різних струму I_r			$K_{ч.зп}$	$I_{к.min}$
Вимикач напругою 10 кВ	—	93,0	125,0	—	$\frac{5,40}{1250}$ 10	—	—	—	—	2,3	$\frac{251}{6280}$
Ввідний вимикач 0,4 кВ	$\frac{100,0}{2500}$	$\frac{93,0}{2309}$	$\frac{95,0}{2375}$	$\frac{10000}{114,0}$ $\frac{2850}{1,2}$	$\frac{4 \cdot 570}{14,25}$ 6	$\frac{10000}{99,80}$ $\frac{2494,0}{1,05}$	$\frac{70-100}{142,0}$ $\frac{3,56}{1,50 \cdot I_r}$	$\frac{3,2-4,0}{570,0}$ $\frac{14,250}{6 \cdot I_r}$	$\frac{2,16-2,70}{684,0}$ $\frac{17,10}{7,20 \cdot I_r}$	—	—

Таблиця 7.2. Результати розрахунку ЧСХ (продовження)

Місце встановл. релейного захисту	Селективна струмова відсічка							
	$I_{пик}$, А/кА	$K_{СЗП}$	I_{sd} , А/кА	ΔI_{sd} , А/кА	Δt_{sd} , с	t_{sd} , с	$K_{ч.СВ}$	$I_{к.мін}$, А/кА
Вимикач напругою 10 кВ	307,0	3,30	543,0	—	—	0,60	0,50	$\frac{251,0}{6280}$
Ввідний вимикач 0,4 кВ	$\frac{307,0}{7,620}$	3,30	$\frac{380,0}{9,50}$	342,0—418,0	$\frac{0,230}{0,320}$	0,30	—	—
				8,550— 10,450				

Таблиця 7.3. Результати розрахунку ЧСХ (продовження)

Місце встановл. релейного захисту	Миттєва струмова відсічка					
	ΔI_i , А/кА	I_i , А/кА	$K_{ч.МВ}$	$I_{к.мін}$, А/кА	I_{cu} , кА	$I_{к.макс}^{(3)}$, А/кА
Вимикач 10 кВ	—	858,0	8,40	7,230	—	384,0
Ввідний вимикач 0,4 кВ	$\frac{540,0-660,0}{13,50-16,50}$	$\frac{600,0}{15,0}$	—	—	65,0	9,60

Номинальний струм трансформатора потужністю 1000 кВА на стороні НН дорівнює:

$$I_{ТНОМ}^{НН} = \frac{S_{ТНОМ}}{\sqrt{3}U_c} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 58,0 \text{ А}$$

Значення сили струму на стороні НН:

$$I_{роб.макс.Q2} = K_{зп} I_{ТН}^{НН} = 1,60 \cdot 58,0 = 93,0 \text{ А}$$

Коефіцієнт самозапуску визначається за формулою:

$$K_{\text{сзп}} = \frac{I_{\text{пік}}}{I_{\text{роб.макс}}} = \frac{I'_{\text{роб.макс}} + I_{\text{пуск}}}{I_{\text{роб.макс}}} = \frac{50,0 + 280,0}{100} = 3,30$$

Піковий струм ввідного вимикача Q2 при значенні коефіцієнта самозапуску $K_{\text{СЗП}}$ рівний:

$$I_{\text{пік.Q18}} = K_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{роб.макс.Q2}} = 3,30 \cdot 93,0 = 307,0 \text{ А}$$

7.2. Захист силового трансформатора на стороні ВН

Для силового трансформатора ТМ-1000/10 необхідно встановити кілька видів релейного захисту, зокрема:

- захист від перевантаження;
- миттєва струмова відсічка;
- селективна струмова відсічка;
- газовий захист.

При цьому кожен з цих захистів має свої особливості та специфіку роботи для забезпечення надійної та безпечної роботи трансформатора.

7.2.1. Захист від перевантаження трансформатора. Для того, щоб забезпечити захист, ми використаємо стандартні ЧСХ зі залежністю від струму витримки часу. Це дозволить їм максимально наблизитись до ЧСХ вимикача QF1.

Щоб вибрати струм спрацювання захисту від перевантаження на стороні ВН трансформатора, ми використовуємо найбільше значення з таких трьох умов.

Струм спрацювання захисту повинен бути відстроєний від максимального робочого струму силового трансформатора на стороні ВН. Оскільки значення струмів $I_{\text{роб.макс}}^{\text{ВН}}$ та $I_{\text{роб.макс}}^{\text{НН}} / K_U$ однакові, то уставка струму $I_S^{\text{Д}}$ релейного захисту від перевантаження трансформатора повинна бути відстроєна від параметрів захисту від перевантаження автоматичного вимикача QF1.

									Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					54

$$I_{r.Q2} \geq \frac{K_{HO}}{K_B} I_{роб.макс}^{ВН} = \frac{1,05}{0,935} \cdot 93,0 = 104,0 \text{ А}$$

$$I_{r.Q2} \geq K_{н.узг} \frac{I_{QF1}}{K_U} = \frac{1,30 \cdot 2375,0}{25} = 124,0 \text{ А.}$$

Проведемо додаткову перевірку, щоб переконатись, що значення струму спрацювання нашого захисту від перевантаження на стороні ВН трансформатора відповідає значенню захисту на нижньому рівні. Максимальне значення струму спрацювання, яке враховує розкид характеристик, для вимикача QF1 дорівнює:

$$I_d = 1,2 \frac{I_{r.QF1}}{K_U} = 1,20 \cdot \frac{2375,0}{25} = 114,0$$

Струм спрацювання захисту $I_{r.Q2}$ повинен перевищувати значення струму I_d із запасом на значення похибки захисту, який встановлено на стороні ВН трансформатора. Похибка пристроїв захисту Seram становить 1...3 %. Для розрахунків виберемо значення запасу 10 %. Тоді струм спрацювання захисту $I_{r.Q2}$:

$$I_{r.Q2} \geq 1,10 \cdot 114,0 = 125,0 \text{ А}$$

В якості уставки струму захисту від перевантаження із трьох значень обираємо найбільше із трьох значень:

$$I_S = I_{r.Q2} = 125,0 \text{ А.}$$

						Арк.
						55
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Проведемо перевірку чутливості захисту від перевантаження як резервного релейного захисту. Цей захист повинен бути досить чутливим до струмів 2-х фазного і 1-фазного к.з. на стороні 0,4 кВ силового трансформатора Т1 в мінімальному режимі СЕП.

Зважаючи на те, що струм при двофазному короткому замиканні менший, ніж при однофазному, розглянемо визначення коефіцієнта чутливості до струму саме при 2-х фазному короткому замиканні. Для випадку трьохфазної схеми з'єднання ТС і вимірювальних приладів блоку Т1 в повну зірку, та у випадку схеми з'єднання обмоток силового трансформатора Т1 «трикутник-зірка з нулем», коефіцієнт чутливості для двофазного короткого замикання на стороні НН трансформатора Т1 можна розрахувати за наступним виразом:

$$K_{\text{ч.ЗП}}^{(2)} = \frac{2 \cdot I_{\text{к.мін}}^{2(\text{ж})}}{\sqrt{3} \cdot K_U I_{\text{СП}}} = \frac{2 \cdot 6280,0}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 125,0} = 2,30 < K_{\text{ч.ЗП.доп}} = 3,0.$$

Отже, можна зробити висновок, що захист від перевантаження має недостатню чутливість до мінімального струму при двофазному короткому замиканні на збірних шинах 0,4 кВ.

В табл. 7.4 приведені результати розрахунку ЧСХ захисту від перевантаження, який встановлений на вимикачі Q2.

Таблиця 7.4. Результати розрахунку ЧСХ захисту від перевантаження, встановленого на вимикачі Q2

Тип ЧСХ	α	K	$I_{\text{г. Q2}}, \text{A}$	$t, \text{с}$	T_{MS}	I_*, A	$t_{\text{с.з.}}, \text{с}$ при різних значеннях $I_*, \text{в.о./A}$						
							$\frac{1,10}{138}$	$\frac{1,20}{150}$	$\frac{1,50}{188}$	$\frac{2,50}{313}$	$\frac{5,0}{625}$	$\frac{5,3}{660}$	$\frac{10,0}{1250}$
VIT	1,00	13,50	125	10,3	1,75	3,3	278,10	139,10	55,60	18,50	7,00	6,50	3,10
SIT	0,02	0,14	125	10,3	1,78	3,3	130,60	68,20	30,60	13,50	7,60	7,40	5,30

Карта селективності ЧСХ показана на рис. 7.3.

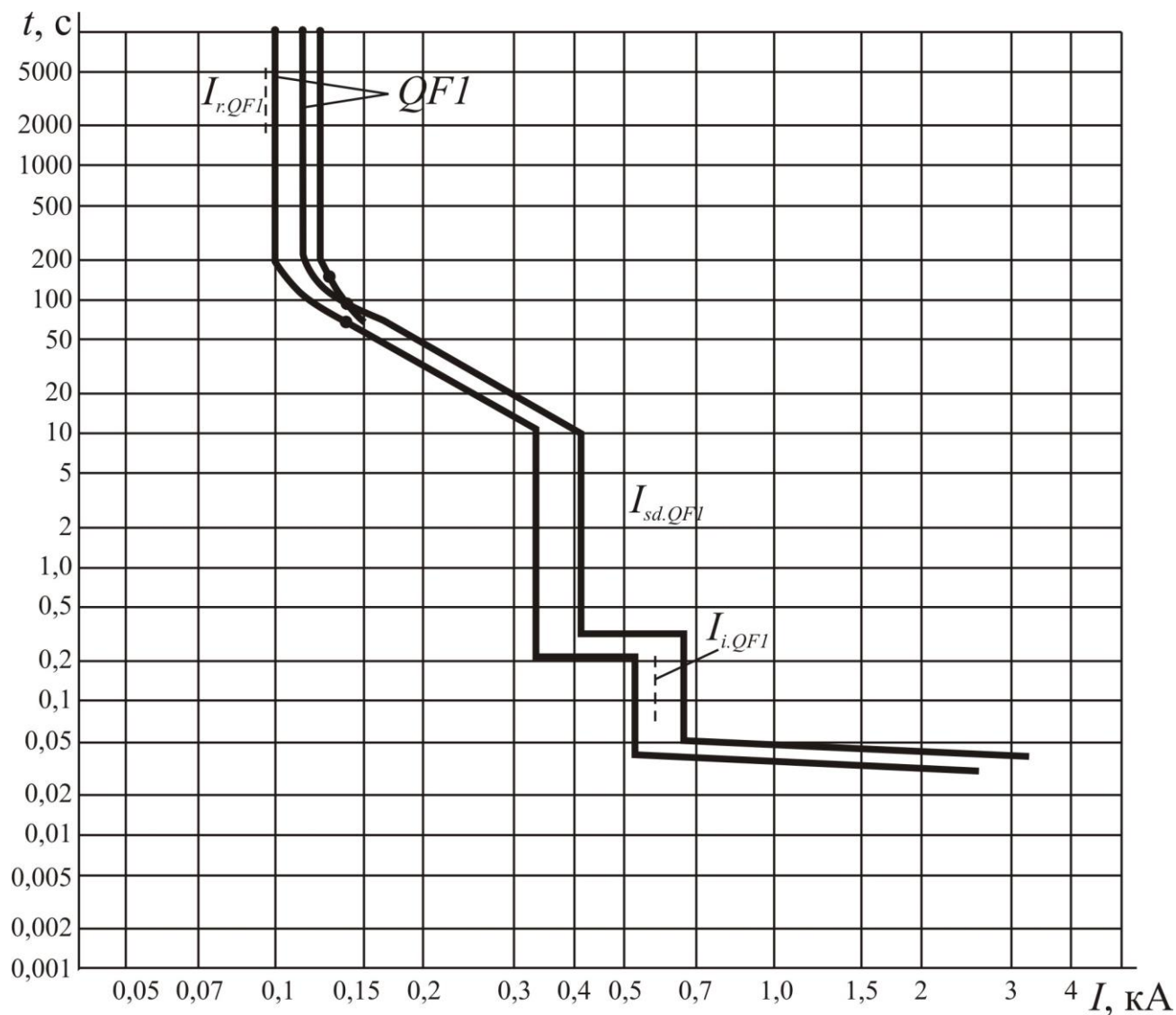


Рис. 7.3. Карта селективності ЧСХ захистів

З рисунку 7.3 можна побачити, що ЧСХ захисту від перевантаження SIT, який встановлено на вимикачі Q2, перетинається з захисними ЧСХ вимикача QF1. Це свідчить про те, що не виконуються умови селективності між захистами від перевантаження, які встановлені на сторонах ВН та НН силового трансформатора.

Отже, ми вибираємо характеристику ВІТ залежно від струму витримки, яка є більш крутою. Ця характеристика зворотно залежна від часу і має коефіцієнти апроксимації. $\alpha = 1,0$ та $K = 13,5$.

Результати розрахунків параметрів вказаної ЧСХ наведені в табл. 7.4.

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

7.2.2. Селективна струмова відсічка. При виборі струму спрацювання селективної струмової відсічки керуються двома умовами і вибирають найбільше їх значення.

Відлаштування від пікового струму $I_{\text{пik}}^{\text{ВН}}$ на стороні ВН:

$$I_{\text{C.CB}} = I_{\text{sd.Q2}} \geq \frac{K_{\text{H.O}}}{K_{\text{B}}} I_{\text{пik}}^{\text{ВН}} = \frac{1,10}{0,935} \cdot 307,0 = 361,0 \text{ А}$$

де $I_{\text{пik}}^{\text{ВН}} = 307 \text{ А}$ – піковий струм силового трансформатора Т1 на стороні високої напруги.

$K_{\text{H.O}} = 1,1$ – коефіцієнт надійності відлаштування захисту;

Перевірка узгодженості з селективною струмовою відсічкою автоматичного вимикача QF1:

$$I_{\text{C.CB}} = I_{\text{sd.Q2}} \geq K_{\text{H.узг}} \frac{I_{\text{sd.QF1}}}{K_{\text{U}}} = 1,3 \cdot \frac{10450,0}{25} = 543,0 \text{ А}$$

Таким чином, в якості розрахункового струму спрацювання релейного захисту обираємо найбільший із розрахованих вище: $I_{\text{sd.Q2}} = 543 \text{ А}$.

Перевірка чутливості селективного струмового захисту полягає у визначенні його реакції на струми двохфазного короткого замикання на стороні 0,4 кВ силового трансформатора в умовах мінімального навантаження мережі.

$$K_{\text{ч.CO}}^{(2)} = \frac{2I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{\sqrt{3}K_{\text{U}}I_{\text{C.CB}}} = \frac{2 \cdot 6280,0}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 543,0} = 0,50 < K_{\text{ч.CB,доп}} = 1,50$$

де K_{U} – коефіцієнт трансформації силового трансформатора;

$I_{\text{к.мін}}^{(2)}$ – значення струму двохфазного к. з. на виводах 0,4 кВ силового трансформатора в мін. режимі роботи електричної мережі;

						Арк.
						58
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$I_{C.CB} = I_{sd.Q2}$ – значення струму спрацювання селективної відсічки

Отже, можна зробити висновок, що селективна струмова відсічка не реагує на мінімальний струм двохфазного короткого замикання на збірних шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції.

Для забезпечення селективності, час спрацювання селективної струмової відсічки повинен бути вищим на один ступінь в порівнянні з часом спрацювання попереднього захисту:

$$t_{sd.Q18} = t_{sd.QF1} + \Delta t = 0,30 + 0,30 = 0,60 \text{ с.}$$

7.2.3. Миттєва струмова відсічка. Значення струму спрацювання миттєвої струмової відсічки $I_{i.Q2}$ вибирається найбільшим виходячи наступних 3-х умов.

Відлаштування від максимального струму трифазного короткого замикання на виводах 0,4 кВ трансформатора Т1:

$$I_{C.MB} = I_{i.Q2} \geq K_{H.B} I_{к.макс}^{(3)} = 1,15 \cdot \frac{9600,0}{25} = 442,0 \text{ А.}$$

де $K_{H.B} = 1,15$ – коеф. надійності відлаштування відсічки.

Відлаштування від кидків струму намагнічування силового трансформатора Т1 під час його ввімкнення:

$$I_{C.MB} = I_{i.Q2} \geq I_{нам} = K_{відл} I_{TH}^{BH} = 3,0 \cdot 58,0 = 174,0 \text{ А,}$$

де $K_{відл} = 3,0$ – коеф. відлаштування від кидка струму намагнічування $I_{нам}$ під час ввімкнення трансформатора.

Узгодження захисту з миттєвою струмовою відсічкою автоматичного вимикача QF1:

						Арк.
						59
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$I_{\text{с.МВ}} = I_{\text{і.Қ2}} \geq K_{\text{н.узг}} \frac{I_{\text{і.ҚФ1}}}{K_{\text{ТН}}} = 1,30 \cdot \frac{16500,0}{25} = 858,0 \text{ А}$$

де $K_{\text{н.узг}} = 3,0$ – коеф. надійності узгодження релейних захистів.

Отже, в якості розрахункового струму спрацювання релейного захисту приймаємо найбільший із розрахованих вище: $I_{\text{с.МВ}} = I_{\text{і.Қ2}} = 858 \text{ А}$.

Для перевірки чутливості миттєвої струмової відсічки до струму двохфазного короткого замикання в умовах мінімального навантаження мережі необхідно провести вимірювання на виводах ВН трансформатора Т1 та визначити відповідний коефіцієнт чутливості, який потрібно порівняти з вимогами ПУЕ.

$$K_{\text{ч.МВ}}^{(2)} = \frac{I_{\text{к.мін}}^{(2)}}{I_{\text{с.МВ}}} = \frac{7230,0}{858,0} = 8,40 > K_{\text{ч.МВ.доп}} = 2,0$$

Отже, після перевірки чутливості, було встановлено, що миттєва струмова відсічка є чутливою до мінімального струму двохфазного короткого замикання на виводах 10 кВ силового трансформатора Т1.

Миттєва струмова відсічка характеризується незалежністю від значення струму, відсутністю витримки часу та спрямована на відключення трансформатора при виникненні короткого замикання.

Перед відключенням постійна мінімальна витримка часу складає 50 мс і обумовлюється часом спрацювання автоматичного вимикача.

За результатами розрахунків релейного захисту силового трансформатора Т1 на стороні високої напруги була побудована його ЧСХ, яка наведена на рис. 7.3.

7.2.4. Газовий захист трансформатора. Згідно ПУЕ, газовий захист силового трансформатора повинен бути встановлений на знижувальних трансформаторах внутрішньоцехового призначення з потужністю 630 кВА і більше, а на інших – з потужністю 1000 кВА і більше.

						Арк.
						60
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Газовий захист використовується для захисту трансформатора від внутрішніх пошкоджень, що можуть призвести до викиду газу з трансформаторного масла, а також для запобігання спаду рівня масла в баці.

При пошкодженнях всередині трансформатора, які супроводжуються горінням електричної дуги (наприклад, при короткому замиканні обмоток на корпус баку або на магнітопровіді, порушенні магнітної системи трансформатора тощо), відбувається розклад трансформаторного масла (або охолоджуючого діелектрика) з виділенням великої кількості теплової енергії та газів.

В трансформаторах типу ТМ, у разі утворення газів, масло з газами переходить у розширювач. Якщо з якихось причин (таких як пошкодження баку чи охолоджуючих радіаторів, несправність запірних вентилів тощо) відбувається витік масла з трансформатора, рівень масла в баці знижується, і масло виходить з розширювача.

Головним компонентом системи газового захисту є газове реле (KSG), яке розміщується в маслопроводі між баком трансформатора та його розширювачем. (рис. 7.4).

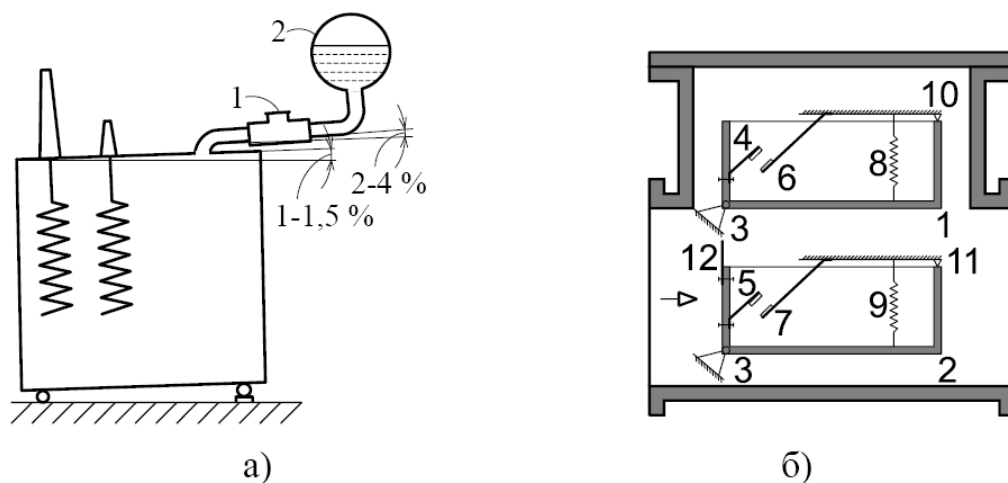


Рис. 7.4. Газове реле

Якщо в баку трансформатора сталася аварійна ситуація і масло витікає, то масло з газового реле виходить і обидва чашоподібних елементи 1 і 2 опускаються вниз (див. рис. 7.4. б). Спочатку сигнальний елемент 1 активується і

замикання контактів 4 і 6 відбувається для надсилання сигналу. Потім, якщо рівень масла падає, відключаючий елемент 2 спрацьовує і замикання контактів 5 і 7 відбувається в ланцюзі відключення трансформатора.

Для технічної реалізації газового захисту силового трансформатора було обрано струменеве реле РСТ25 і газове реле РГТ-80.

7.3 Релейний захист кабельної лінії напругою 10 кВ

7.3.1. Селективний захист КЛ с залежною витримкою часу. Для вибору струму спрацювання селективного захисту застосовується більший з двох наступних параметрів.

Струм спрацювання релейного захисту за умови відлаштування від пікового струму:

$$I_{\text{пик}}^{\text{ВН}} = K_{\text{сзп}} I_{\text{роб.макс}}^{\text{ВН}},$$

із врахуванням самозапуску двигунів номінальною напругою 380 В розраховується наступним чином:

$$I_{\text{sd.Q2}} = \frac{K_{\text{н.о.}}}{K_{\text{В}}} I_{\text{пик}}^{\text{ВН}} = \frac{1,10}{0,935} \cdot 307,0 = 361,0 \text{ А}$$

Умова узгодження струму $I_{\text{с.сз}}$ встановленого вище захисту зі струмом $I_{\text{sd.QF1}}^{\text{ВН}}$ встановленого нижче захисту на стороні низької напруги трансформатора Т1 визначається за формулою:

$$I_{\text{sd.Q1}} \geq K_{\text{н.узг}} I_{\text{sd.Q2}} = 1,30 \cdot 543,0 = 706,0 \text{ А.}$$

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

Струм спрацювання селективного захисту $I_{C,C3}$ КЛ приймається найбільшим із розрахованих: $I_{sd,Q1} = 706$.

Час спрацювання селективного захисту та захистів нижнього рівня визначається з урахуванням ступенів селективності:

$$t_{sd,Q1} = t_{sd,QF1} + \Delta t = 0,60 + 0,30 = 0,90 \text{ с}$$

Коефіцієнт чутливості основного захисту розраховується при 2-х фазному к. з. в кінці кабельної лінії перед силовим трансформатором Т1 в мін. режимі СЕП:

$$K_{ч,C3}^{(2)} = \frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{sd,Q1}} = \frac{7230,0}{706,0} = 10,10 \geq K_{ч,доп} = 1,50$$

Коефіцієнт чутливості резервного захисту визначається по значенню мінімального струму к. з. $I_{к.мін}^{(2)} = 6,28$ кА за силовим трансформатором:

$$K_{ч,C3}^{(2)} = \frac{2I_{к.мін}^{(2)}}{\sqrt{3}I_{sd,Q1}K_U} = \frac{2 \cdot 6280,0}{\sqrt{3} \cdot 706,0 \cdot 25} = 0,40 \leq K_{ч,доп} = 1,20$$

Розрахунки показали, що селективний захист володіє достатньою чутливістю в своїй зоні дії, проте має недостатню чутливість як резервний захист.

Результати розрахунку з ЧСХ селективного захисту показані в табл. 7.1.

7.3.2. Миттєва струмова відсічка. Значення струму спрацювання миттєвої струмової відсічки вибирається найбільшим із наступних.

Струм спрацювання відстроюється від максимального струму 3-х фазного к.з. на стороні 0,4 кВ силового трансформатора:

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

$$I_{с.МВ.Q1} = K_{н.о} \frac{I_{к.макс}^{(3)}}{K_U} = 1,15 \frac{9600,0}{25,0} = 442,0 \text{ А}$$

Струм спрацювання струмової відсічки повинен відлаштовуватись від кидка струму намагнічування $I_{нам}$ силового трансформатора при його включенні:

$$I_{i.Q1} \geq K_{відл} I_{т.ном} = I_{нам} = 3,0 \cdot 57,0 = 171,0 \text{ А}$$

Струм спрацювання струмової відсічки захисту кабельної лінії повинен узгоджуватись із релейним захистом нижнього рівня:

$$I_{i.Q1} \geq K_{відл} I_{i.Q18} = 1,30 \cdot 858,0 = 1115,0$$

Отже, розрахунковий струм спрацювання струмової відсічки складає:

$$I_{i.Q1} = 1115 \text{ А}$$

Миттєва струмова відсічка характеризується незалежною від струму характеристикою, і спрацьовує без витримки часу.

Коефіцієнт чутливості відсічки:

$$K_{ч.МВ}^{(2)} = \frac{I_{к.мін}^{(2)}}{I_{с.МВ}} = \frac{10290,0}{1115,0} = 9,20 \geq 2,0$$

Отже, миттєва струмова відсічка має достатню чутливість до мінімального струму к.з.. Отримані результати зображені на карті селективності (рис. 7.5)

						Арк.
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

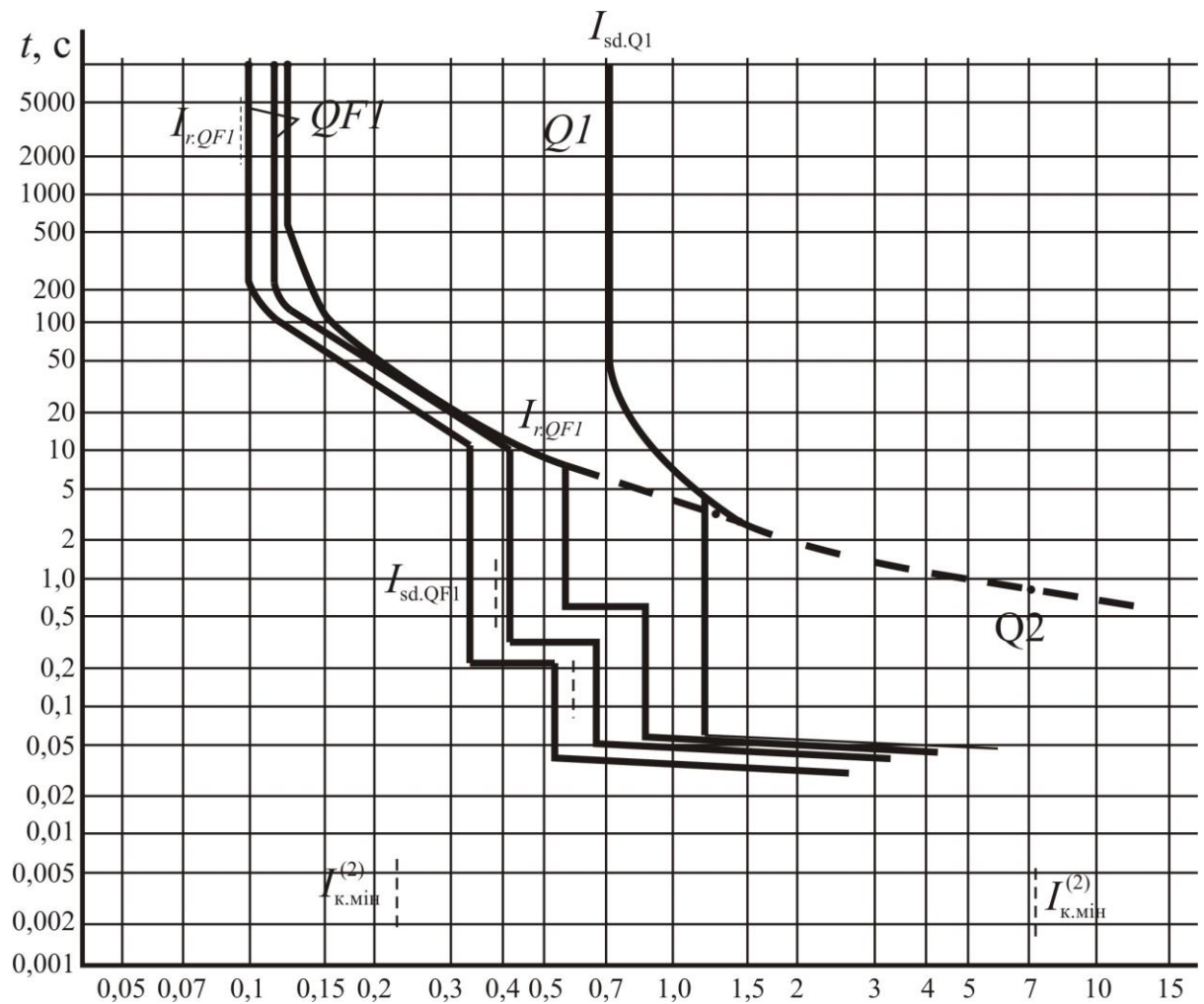


Рис. 7.5. Карта селективності захисту ТМ-1000 і кабельної лінії 10 кВ

7.3.3. Захист КЛ від однофазних замикань на землю. Для захисту КЛ від однофазних замикань на землю (ОЗЗ) застосовується струмовий захист нульової послідовності із незалежною витримкою часу.

Власний ємнісний струм КЛ визначається за формулою:

$$I_{Ci} = I_{yDi} L_{KLi}$$

де L_{KLi} – довжина кабельної лінії, км;

I_{yDi} – питомий ємнісний струм кабельної лінії, А/км.

Розрахункова величина струму ОЗЗ мережі, яка складається із n КЛ, визначається за виразом:

$$I_{\text{ОЗЗ}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{Gi}}$$

Струм спрацювання захисту $I_{\text{С.з}}$ відлаштовується від ємнісного струму, який протікає в нормальному режимі мережі через ТС нульової послідовності кабельної лінії:

$$I_{\text{С.з.КЛ}} \geq K_{\text{Н.С.}} \cdot K_{\text{БР}} \cdot I_{\text{С.зП.КЛ}} = 1,20 \cdot 1,20 \cdot 0,325 = 0,468 \text{ А}$$

де $K_{\text{БР}} = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує кидки струму при виникненні дугових замикань;

$K_{\text{Н.С.}} = 1,2$ – коефіцієнт надійності.

Чутливість захисту:

$$K_{\text{ч.КЛ}} = \frac{I_{\text{ОЗЗ}} - I_{\text{С.зП.КЛ}}}{I_{\text{С.з.КЛ}}} = \frac{42,32 - 0,325}{0,468} = 89,74 \geq K_{\text{ч.доп}} = 1,25$$

Отже, захист КЛ від ОЗЗ має достатній рівень чутливості.

									Арк.
									66
Вим	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

ВИСНОВКИ

В випускній кваліфікаційній роботі було здійснено розроблення системи електропостачання склозаводу.

Згідно чинних норм, розрахунок силових навантажень було проведено методом коефіцієнта розрахункової потужності. Для визначення освітлювальних навантажень застосовувався метод питомої потужності.

При здійсненні техніко-економічного порівняння схем зовнішнього електропостачання було встановлено, що передача електроенергії до підприємства за допомогою кабельних ліній напругою 10 кВ з підстанції на відстані 4 км є більш ефективним варіантом, ніж використання повітряних ліній з напругою 110 кВ.

У результаті проведення розрахунку балансу реактивної потужності було визначено потрібну кількість і потужність компенсуючих пристроїв з напругами 10 кВ і 0,4 кВ.

Після проведення розрахунку струмів короткого замикання було визначено необхідне високовольтне обладнання, зокрема вимикачі та кабельні лінії внутрішньозаводської мережі з напругою 10 кВ. Окрім цього було розглянуто питання вибору вимірювальних трансформаторів струму та напруги з номінальною напругою 10 кВ.

Загалом, система електропостачання, яку було розроблено, відповідає вимогам надійності, та економічності, які ставляться до подібних систем.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.
2. Методичні вказівки до виконання курсового проекту (електропостачання заводу) для студентів 4-5 курсів спеціальності 8.090603 "Електротехнічні системи електроспоживання" усіх форм навчання / Укл.: П.Г. Плешков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ, 2004. – 133.с.
3. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
4. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
5. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім.. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г. Г. Півняк, В. Н. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен та ін. – Дніпропетровськ : Вид-во НГА України, 2000. – 378 с.
8. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.