

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:

«Проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–20-3СК,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

Сергій ПІДДУБНИЙ

«___» _____ 2023 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

Василь ЗІНЗУРА

«___» _____ 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

Піддубного Сергія Олексійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства

Designing the power supply system of a mechanical repair enterprise

2. Керівник роботи Зінзура Василь Васильович, 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 _____

Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання
«____» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Сергій ПІДДУБНИЙ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 61 с.; 10 рис.; 27 табл.; 8 джерел

Піддубний С. О. Проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства. – 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 механоремонтного підприємства. В роботі вирішувались питання розрахунку: електричних навантажень, визначення режимів реактивної потужності, розрахунку струмів коротких замикань, вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання та вибір високовольного обладнання системи електропостачання.

Спеціальний розділ роботи присвячено вирішенню задачі розробки системи енергозбереження підприємства. Особливу увагу було приділено енергозбереженню в цехових трансформаторних підстанціях. Проведені розрахунки засвідчили, що впровадження системи автоматичного керування роботою цехової підстанції є досить дієвим заходом з енергозбереження.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, енергозбереження

ABSTRACT

Qualification work: 61 p.; 10 Fig.; 27 tables; 8 sources

Piddubnyi S. O. Designing the power supply system of a mechanical repair 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, 2023.

The bachelor thesis is devoted to the development of the power supply system of a mechanical repair enterprise. 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 devoted to solving the problem of developing the enterprise's energy saving system. Special attention was paid to energy saving in workshop transformer substations. The performed calculations proved that the implementation of the system of automatic control of the work of the shop substation is quite an effective energy saving measure.

Keywords: electric loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, energy saving

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ	8
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень	9
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В	10
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.....	28
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	32
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	33
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	33
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ	41
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	43
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	44
6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги	46
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	49
7.1 Загальні положення розробки системи електрозбереження	49
7.2 Заходи з економії електроенергії в цехових ТП	52
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Піддубний С.О.			Проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства Designing the power supply system of a mechanical repair enterprise	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Зінзура В.В.					6	61
						ЦНТУ гр. ЕЕ-20-3СК		
Н. контр.		Зінзура В.В.						
Затвер.		Плешков П.Г.						

ВСТУП

Робота присвячена питанню проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства.

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 проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства.

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. Режим 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		7

РОЗДІЛ 1

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Перший розділ випускної роботи присвячений вирішенню задачі визначення електричних навантажень, а саме: розрахунок силових електр. навант. до 1000 В, освітлювальних електр. навант. і силових електр. навант. вище 1000 В.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі до 1 кВ

Силові електр. навант. до 1 кВ визначаються згідно з методом коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Наведемо приклад розрахунку силових навант. до 1 кВ для механічного цеху № 1.

Коефіцієнт m :

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{90}{2.8} = 15$$

Середнє активне та реактивне навант.:

$$P_{см} = P_{сум} K_u = 2100 \cdot 0.25 = 525 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi = 525 \cdot 1.02 = 535.61 \text{ квар}$$

Ефективна к-сть електроприймачів:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 2100}{90} = 47$$

Згідно [1] $K_p = 1,29$.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					8

P_p і Q_p навантаження механічного цеху № 1:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m = 525 \cdot 1.291 = 677.83 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{cm} = 535.61 \text{ кВар},$$

Результати розрахунку електр. навант. до 1 кВ зведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку силових електр. навант. до 1000 В

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн.,		Р сум, кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Серед.		n _{эф}	K _м	Розрах. навантаження		
			min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Заводуправління	20	2	30	150	15	0,8	0,9	0,48	112,5	54,49	10	1,15	129,79	59,94	142,96
2	Механічний цех № 1	100	2,8	90	2100	32	0,3	0,7	1,02	525	535,61	47	1,29	677,83	535,61	863,9
3	Механічний цех № 2	100	1,7	80	2600	47	0,4	0,7	1,02	910	928,39	65	1,19	1079	928,39	1423,39
4	Ливарна кольорового лиття	150	5	70	4400	14	0,5	0,8	0,75	2332	1749	126	1,08	2523,9	1749	3070,69
5	Ливарна чорного лиття	150	6	65	5000	11	0,7	0,9	0,48	3250	1574,1	150	1,05	3420,2	1574,1	3765
6	Термічний цех	100	5	95	2600	19	0,6	0,9	0,48	1560	755,54	55	1,11	1727,7	755,54	1885,7
7	Склад готової продукції	20	2	20	100	10	0,6	0,9	0,48	60	29,06	10	1,29	77,28	31,97	83,63
8	Компресорна	10	5	40	600	8	0,6	0,9	0,48	360	174,36	10	1,29	463,69	191,8	501,79
9	Насосна	10	40	100	400	2,5	0,7	0,85	0,62	260	161,13	10	1,25	323,74	177,24	369,08
	Всього	660	1,7	100	17950	59	0,5	0,84	0,6	9370	5962	359	1	9370	5962	11105

1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень

Освітлювальні електр. навант. визначаються згідно методу питомої електр. потужності [1].

Наведемо приклад розрахунку освітлювальних навант. для механічного цеху № 1.

Встановлена потужність:

$$P_v = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 2700 \cdot 17 \cdot 10^{-3} = 45.9 \text{ } \kappa Bm$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахункова потужність:

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0.95 \cdot 1.20 \cdot 45.9 = 52.33 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi = 52.33 \cdot 0.484 = 25.33 \text{ кВар}$$

Розрахунок освітлювальних електр. навант. інших цехів зведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Розрахунок освітлювальних електр. навант. підприємства

№ з/п	Назва об'єкту	F, м ²	P ₀ , Вт/м	P _{вст} , кВт	K _п	K ₁	cosφ	tgφ	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	Заводоуправління	1458	18	26,24	0,95	1,2	0,9	0,48	29,91	14,5	33,23
2	Механічний цех № 1	2700	17	45,9	0,95	1,2	0,9	0,48	52,33	25,3	58,14
3	Механічний цех № 2	2070	17	35,19	0,95	1,2	0,9	0,48	40,12	19,4	44,57
4	Ливарна кольорового лиття	4761	14	66,65	0,95	1,2	0,9	0,48	75,98	36,8	84,41
5	Ливарна чорного лиття	2880	14	40,32	0,95	1,2	0,9	0,48	45,96	22,2	51,06
6	Термічний цех	1566	15	23,49	0,95	1,2	0,9	0,48	26,78	13	29,75
7	Склад готової продукції	1386	8	11,09	0,6	1,2	0,9	0,48	7,98	3,86	8,86
8	Компресорна	378	10	3,78	0,95	1,2	0,9	0,48	4,31	2,09	4,79
9	Насосна	882	6	5,29	0,95	1,2	0,9	0,48	6,03	2,92	6,7
10	Територія заводу	196911	0,1	19,69	1	1,1	0,5	1,73	22,05	38,2	44,1
	Всього			277,6					299,7	316	435,4

1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою вище 1000 В

Для розрахунку електр. навант. вище 1 кВ використовувався метод коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Результати зведено в таблицю 1.3.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електр. навант. вище 1000 В

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	т	K _в	cosφ	tgφ	Середньозмінне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
ТП 1															
Заводоуправління															
силове:	20	2	30	150	15	0,75	0,9	0,48	112,5	54,49	10	1,15	129,79	59,94	142,96
освітлювальне:									26,24				29,91	14,48	
Всього:									138,74	54,49			159,7	74,42	176,19
Механічний цех № 2															
силове:	100	1,7	80	2600	47,1	0,35	0,7	1,02	910	928,39	65	1,19	1078,95	928,39	1423,39
освітлювальне:									35,19				40,12	19,42	
Всього:									945,19	928,39			1119,07	947,81	1466,51
Територія заводу															
освітлювальне:									19,69				22,05	38,19	
Всього:									19,69	0			22,05	38,19	44,1
Всього по ТП 1:															
силове:	120	1,7	80	2750	47,1	0,37	0,72	0,96	1022,5	982,88	69	1,17	1196,42	982,88	1548,38
освітлювальне:									81,12				92,08	72,09	
БК 0,4 кВ										-625				-625	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1:									1103,62	357,88			1288,5	429,97	1358,35
Втрати в трансформаторах:													15,05	78,74	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1:													1303,55	508,71	1399,29
ТП 2, 3, 4															
Механічний цех № 1															
силове:	100	2,8	90	2100	32,1	0,25	0,7	1,02	525	535,61	47	1,29	677,83	535,61	863,9
освітлювальне:									45,9				52,33	25,33	
Всього:									570,9	535,61			730,16	560,94	920,75
Ливарна кольорового лиття															
силове:	150	5	70	4400	14	0,53	0,8	0,75	2332	1749	126	1,08	2523,91	1749	3070,69

Продовження табл. 1.3

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						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									66,65				75,98	36,77	
Всього:									2398,65	1749			2599,89	1785,77	3154,11
Всього по ТП 2, 3, 4:															
силове:	250	2,8	90	6500	32,1	0,44	0,78	0,8	2857	2284,61	144	1,1	3130,73	2284,61	3875,68
освітлювальне:									112,55				128,31	62,1	
БК 0,4 кВ										-1335				-1335	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 2, 3, 4:									2969,55	949,61			3259,04	1011,71	3412,46
Втрати в трансформаторах:													37,87	198,09	
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 2, 3, 4:													3296,91	1209,8	3511,87
ТП 5, 6, 7															
Ливарна чорного лиття															
силове:	150	6	65	5000	10,8	0,65	0,9	0,48	3250	1574,05	150	1,05	3420,17	1574,05	3765
освітлювальне:									40,32				45,96	22,24	
Всього:									3290,32	1574,05			3466,13	1596,29	3816,04
Всього по ТП 5, 6, 7:															
силове:	150	6	65	5000	10,8	0,65	0,9	0,48	3250	1574,05	150	1,05	3420,17	1574,05	3765
освітлювальне:									40,32				45,96	22,24	
БК 0,4 кВ										-1790				-1790	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 5, 6, 7:									3290,32	-215,95			3466,13	-193,71	3471,54
Втрати в трансформаторах:													38,76	202,57	
Кількість трансформаторів: 5															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 5, 6, 7:													3504,89	8,86	3504,9
ТП 8, 9															
Термічний цех															
силове:	100	5	95	2600	19	0,7	0,9	0,48	1820	881,47	55	1,08	1956,78	881,47	2146,15

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	Р одн., кВт		Р сум.	m	K _в	cosφ	tgφ	Середньозміне навантаження		n _{сф}	K _м	Розрахункове навантаження		
		min	max						Р _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
освітлювальне:									23,49				26,78	12,96	
Всього:									1843,49	881,47			1983,56	894,43	2175,89
Склад готової продукції															
силове:	20	2	20	100	10	0,6	0,9	0,48	60	29,06	10	1,29	77,28	31,97	83,63
освітлювальне:									11,09				7,98	3,86	
Всього:									71,09	29,06			85,26	35,83	92,48
Компресорна															
силове:	10	5	40	600	8	0,6	0,9	0,48	360	174,36	10	1,29	463,69	191,8	501,79
освітлювальне:									3,78				4,31	2,09	
Всього:									363,78	174,36			468	193,89	506,57
Насосна															
силове:	10	40	100	400	2,5	0,65	0,85	0,62	260	161,13	10	1,25	323,74	177,24	369,08
освітлювальне:									5,29				6,03	2,92	
Всього:									265,29	161,13			329,77	180,16	375,77
Всього по ТП 8, 9:															
силове:	140	2	100	3700	50	0,68	0,89	0,5	2500	1246,02	74	1,07	2676,22	1246,02	2952,07
освітлювальне:									43,65				45,1	21,83	
БК 0,4 кВ										-900				-900	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 8, 9:									2543,65	346,02			2721,32	367,85	2746,07
Втррати в трансформаторах:													30,54	159,69	
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,69															
Всього на шинах 10 кВ ТП 8, 9:													2751,86	527,54	2801,97
Всього по об'єкту															
силове:	660	1,7	100	17950	58,8	0,54	0,99	0,15	9629,5	1437,56	359	1	9629,5	1437,56	9736,21
освітлювальне:									43,65				311,45	178,26	
Всього:									9907,14	1437,56			9940,95	1615,82	10071,41
Потужність КП 0,4 кВ:										-4650				-4650	
Втррати в трансформаторах:													122,22	639,09	
Всього по об'єкту:													10063,17	2254,91	10312,71
Високовольтне навантаження															
СД	2	1200	1200	2400		0,7	0,9	0,48	1680	-813,66			1680	-813,66	1866,67

[illegible]

1.4 Графіки електричних навантажень

У цьому параграфі було розраховано параметри графіків електр. навант. згідно методики, приведеної в [1]. Результати розрахунків зведено в табл. 1.4, 1.5, та 1.6 а також на рис. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 і 1.5.

Таблиця 1.4. Вихідні дані для розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %	<i>P</i> , %	<i>Q</i> , %
1	46	43	39	61
2	46	43	39	61
3	46	43	39	61
4	46	43	39	61
5	51	46	39	61
6	51	46	39	61
7	81	66	39	61
8	91	76	39	61
9	100	100	28	51
10	100	100	28	51
11	91	76	28	51
12	81	66	28	51
13	91	76	28	51
14	91	76	28	51
15	101	81	28	51
16	101	81	28	51
17	91	76	28	51
18	81	66	39	61
19	61	51	39	61
20	61	51	39	61
21	51	46	39	61
22	51	46	39	61
23	51	46	39	61
24	46	43	39	61

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
16	Арк.	

Таблиця 1.5. Результати розрахунку графіків електр. навант.

№ з/п	Зимові дні						Літні дні					
	Робочі дні			Вихідні дні			Робочі дні			Вихідні дні		
	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА	<i>P</i> , кВт	<i>Q</i> , квар	<i>S</i> , кВА
1	5284	605	5319	4462	865	4545	4492	514	4521	3793	735	3864
2	5284	605	5319	4462	865	4545	4492	514	4521	3793	735	3864
3	5284	605	5319	4462	865	4545	4492	514	4521	3793	735	3864
4	5284	605	5319	4462	865	4545	4492	514	4521	3793	735	3864
5	5872	648	5908	4462	865	4545	4991	551	5021	3793	735	3864
6	5872	648	5908	4462	865	4545	4991	551	5021	3793	735	3864
7	9394	937	9441	4462	865	4545	7985	796	8025	3793	735	3864
8	10569	1081	10624	4462	865	4545	8983	919	9030	3793	735	3864
9	11743	1441	11831	3171	720	3252	9982	1225	10057	2695	612	2764
10	11743	1441	11831	3171	720	3252	9982	1225	10057	2695	612	2764
11	10569	1081	10624	3171	720	3252	8983	919	9030	2695	612	2764
12	9394	937	9441	3171	720	3252	7985	796	8025	2695	612	2764
13	10569	1081	10624	3171	720	3252	8983	919	9030	2695	612	2764
14	10569	1081	10624	3171	720	3252	8983	919	9030	2695	612	2764
15	11743	1153	11799	3171	720	3252	9982	980	10030	2695	612	2764
16	11743	1153	11799	3171	720	3252	9982	980	10030	2695	612	2764
17	10569	1081	10624	3171	720	3252	8983	919	9030	2695	612	2764
18	9394	937	9441	4462	865	4545	7985	796	8025	3793	735	3864
19	7046	720	7083	4462	865	4545	5989	612	6020	3793	735	3864
20	7046	720	7083	4462	865	4545	5989	612	6020	3793	735	3864
21	5872	648	5908	4462	865	4545	4991	551	5021	3793	735	3864
22	5872	648	5908	4462	865	4545	4991	551	5021	3793	735	3864
23	5872	648	5908	4462	865	4545	4991	551	5021	3793	735	3864
24	5284	605	5319	4462	865	4545	4492	514	4521	3793	735	3864

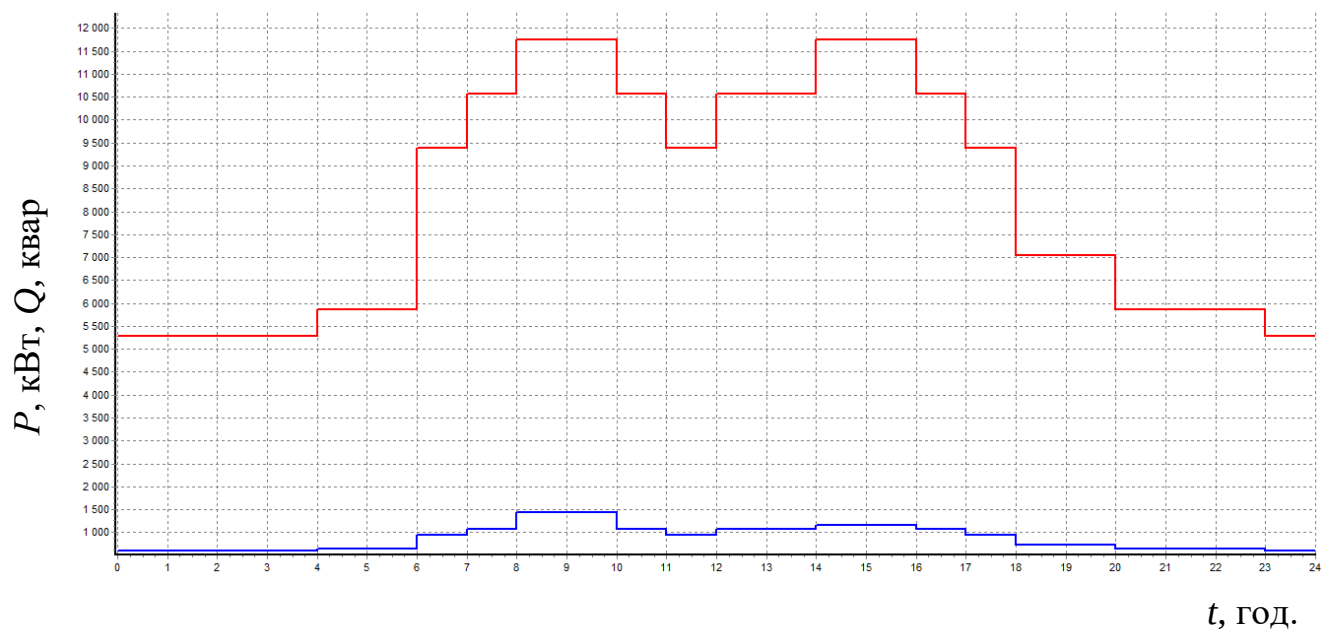


Рис. 1.1. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (зим. роб. дні)

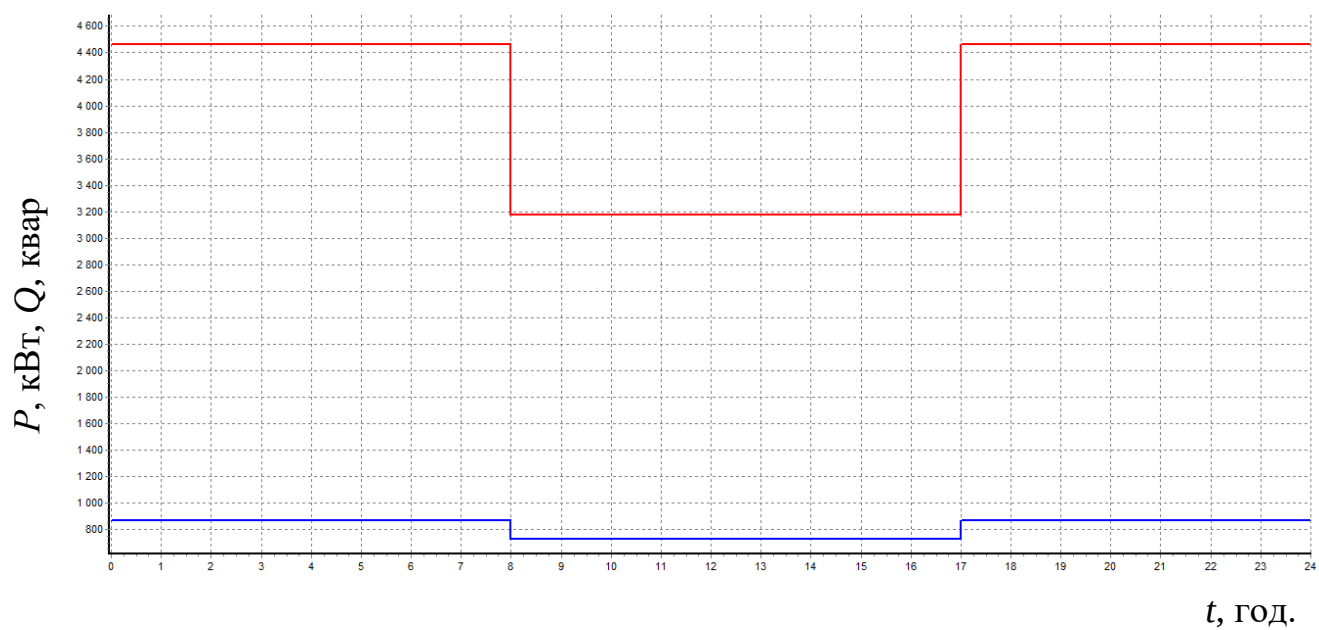


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (зим. вих. дні)

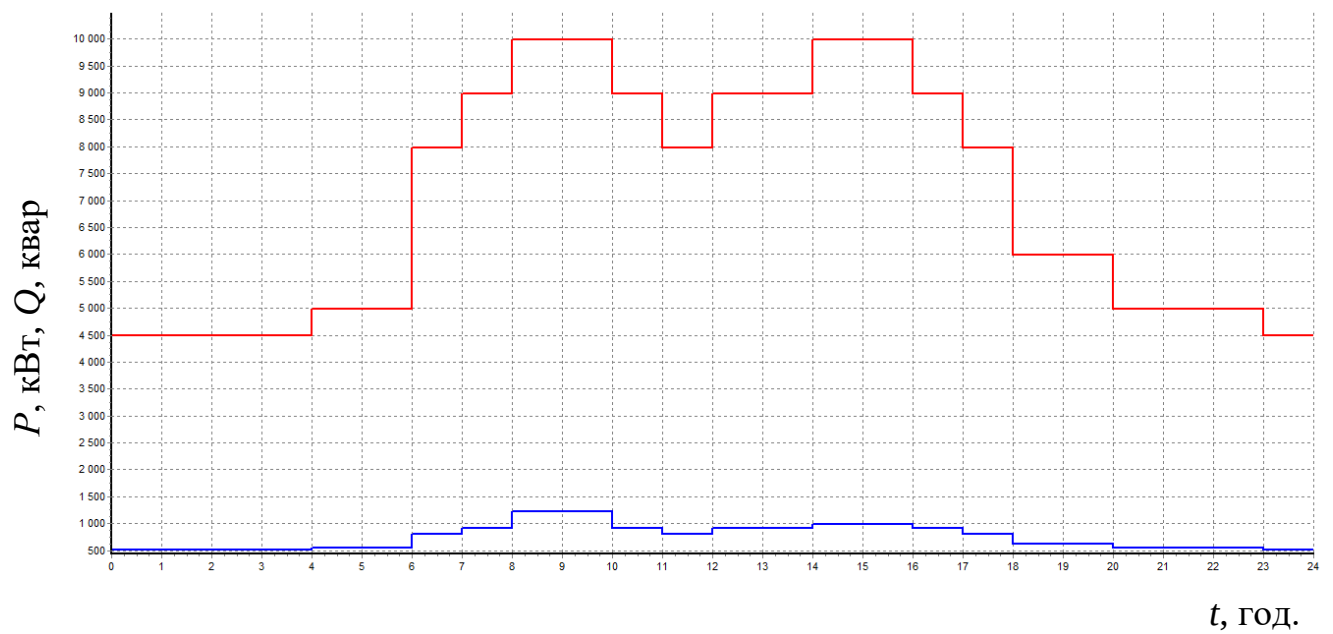


Рис. 1.3. Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (літн. роб. дні)

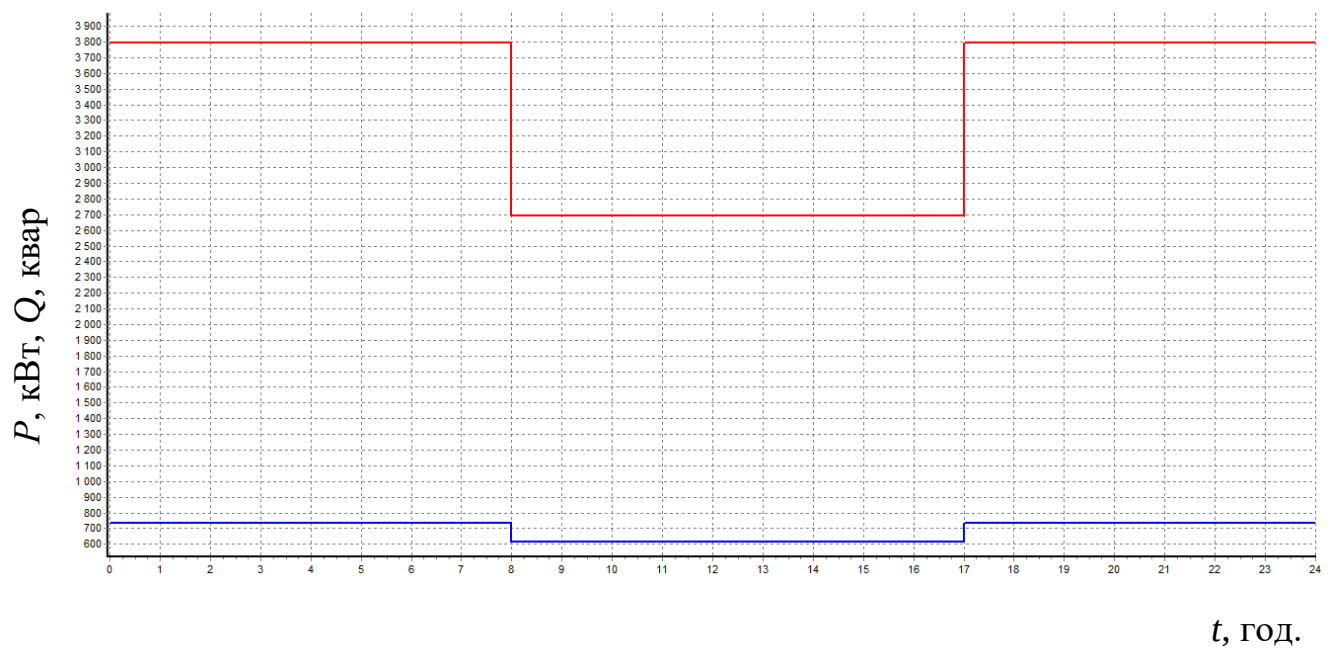


Рис. 1.4 Добові графіки активн. (P) і реактивн. (Q) потужн. (літн. вих. дні)

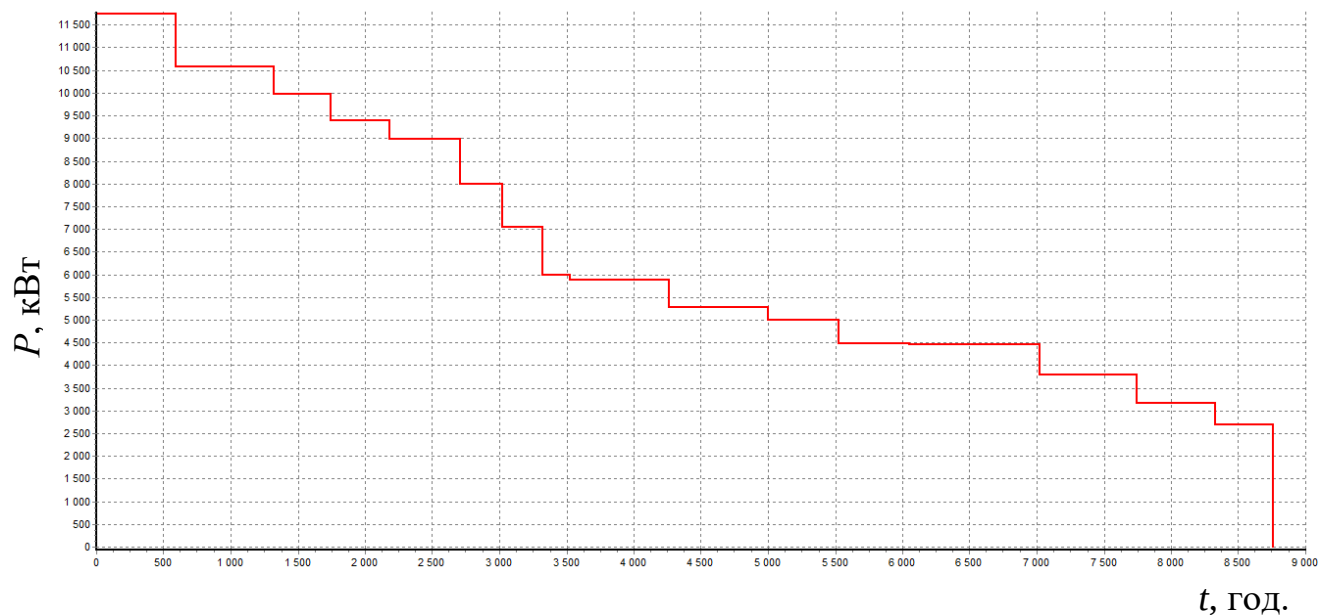


Рис. 1.5. Річний графік активн. потужн. (P) за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрахунків графіків електр. навант.

№ з/п	Величина	Значення	Од. виміру
1	Розрах. повна потужн., S_p	11831,08	МВА
2	Річне спожив. активн. ел. енерг. (з.р.), $W_{з.р.}$	29087037	кВт·год
3	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (з.р.), $V_{з.р.}$	3103023	квар·год
4	Річне спожив. активн. ел. енерг. (з.в.), $W_{з.в.}$	6205485	кВт·год
5	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (з.в.), $V_{з.в.}$	1264575	квар·год
6	Річне спожив. активн. ел. енерг. (л.р.), $W_{л.р.}$	17660055	кВт·год
7	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (л.р.), $V_{л.р.}$	1883910	квар·год
8	Річне спожив. активн. ел. енерг. (л.в.), $W_{л.в.}$	3895200	кВт·год
9	Річне спожив. реактивн. ел. енерг. (л.в.), $V_{л.в.}$	793584	квар·год
10	Сумарне річне спожив. акт. ел. енерг., W_p	56847777	кВт·год
11	Сумарне річне спожив. реакт. ел. енерг., V_p	7045092	квар·год
12	Час використ. макс. навантаж., T_m	4841,709	год
13	Час макс. втрат, τ_m	3240,077	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми електр. навант. проводиться за методикою, що описана в джерелі [1].

Наведемо приклад розрахунку картограми для механічного цеху № 1:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{677.83 + 52.33}{3.14 \cdot 0.2}} = 34.09 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{P_i} = \frac{52.33 \cdot 360}{730.16} = 25.80^\circ.$$

Розрахунок параметрів для інших цехів проводиться подібним чином (табл. 2.1).

Координати центру електр. навант.:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{3524111,4}{12414,5} = 283,9 \text{ м},$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{1926768,6}{12414,5} = 155,2 \text{ м}.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
21	Арк.	

Таблиця 2.1. Картограма електр. навант.

№ п/п	Найменування	$P_{\text{р.сил}},$ кВт	$P_{\text{р.осв}},$ кВт	$P_{\text{р}},$ кВт	m	$R,$ мм	α	$x,$ м	$y,$ м	$P \cdot x,$ кВт · м	$P \cdot y,$ кВт · м
2.	Механічний цех № 1	677,83	52,33	730,16	0,2	34,09	25,80	69,00	261,00	50381,04	190571,76
3.	Механічний цех № 2	1078,95	40,12	1119,07	0,2	42,20	12,91	66,00	105,00	73858,62	117502,35
4.	Ливарна кольорового лиття	2523,91	75,98	2599,89	0,2	64,33	10,52	255,00	285,00	662971,95	740968,65
5.	Ливарна чорного лиття	3420,17	45,96	3466,13	0,2	74,27	4,77	246,00	105,00	852667,98	363943,65
6.	Термічний цех	1727,72	26,78	1754,50	0,2	52,84	5,49	369,00	111,00	647410,50	194749,50
7.	Склад готової продукції	77,28	7,98	85,26	0,2	11,65	33,69	495,00	291,00	42203,70	24810,66
8.	Компресорна										
	а) 0.4 кВ	463,69	4,31	468,00	0,2	27,29	3,32	480,00	111,00	224640,00	51948,00
	б) 10.5 кВ (СД)	1680	0	1680,00	0,2	51,71	0,00	480,00	111,00	806400,00	186480,00
9.	Насосна	323,74	6,03	329,77	0,2	22,91	6,58	480,00	75,00	158289,60	24732,75
13.	Територія заводу	0	22,05	22,05	0,2	5,92	360,00	66,00	105,00	1455,30	2315,25
	Всього по заводу	12103,08	311,45	12414,53						3524111,49	1926768,57

РОЗДІЛ 3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Задача третього розділу роботи полягає в обґрунтуванні схеми зовнішнього та схеми внутрішнього електропостачання.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Вибір схеми зовнішнього електропостачання проводиться згідно методики, яка передбачає визначення мінімальних приведених затрат [1].

Згідно з завданням на роботу, підприємство може отримувати живлення від підстанції 35/10 кВ, розміщеної за 6 км від підприємства. Тому доцільним є порівняння 2 варіантів схем живлення:

1. Схема з КЛ напругою 10 кВ.
2. Схема з ПЛ 35 кВ та ГЗП 35/10 кВ.

На рис. 3.1 наведено схеми для цих варіантів.

Варіант 1. Схема з КЛ 10 кВ (рис. 3.1 а).

Розрах. Струм КЛ, А:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11871}{\sqrt{3} \cdot 10} = 685,37$$

Обираємо 4 КЛ АСБ-10(3х140) з такими технічними даними: $I_{доп} = 275$ А, $\Delta P_{1км} = 20$ кВт/км, $K_{КЛ} = 52$ тис. грн./км.

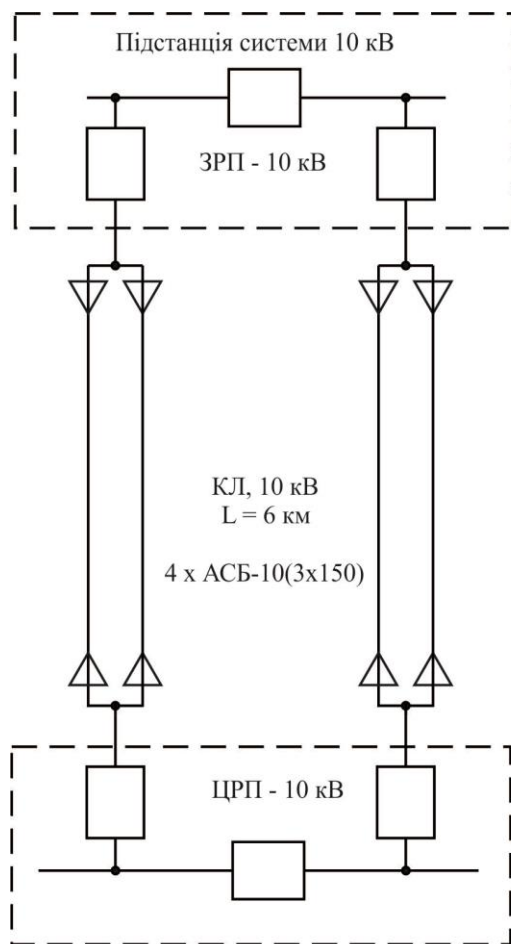
Перевірка за умовою нагріву в норм. режимі:

$$I_p = 171,34 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0,84 \cdot 275 = 231 \text{ А}$$

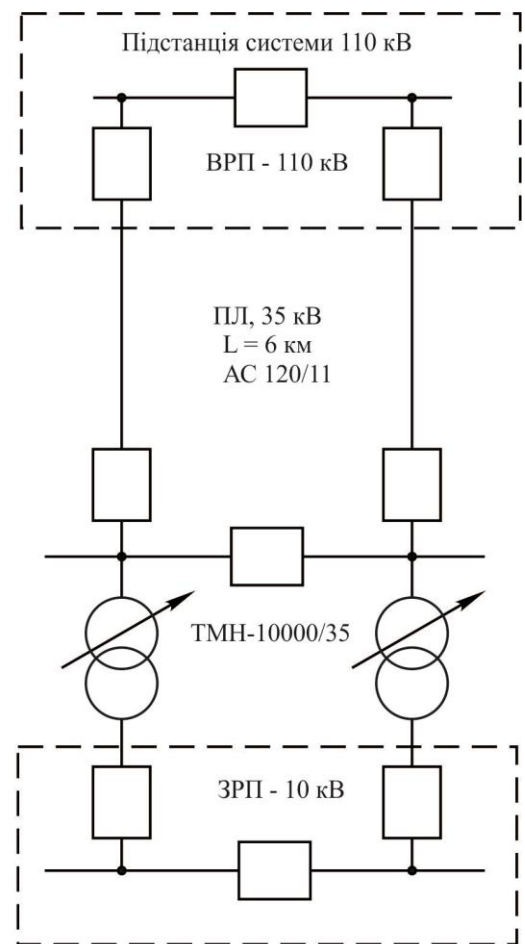
Перевірка за умовою нагріву в авар. режимі:

$$I_{p.ав} = 2I_p = 2 \cdot 171,34 = 342,68 \text{ А} \leq K_{ан} K'_n I_{доп} = 1,25 \cdot 1 \cdot 275 = 343,75 \text{ А}$$

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					22



а)



б)

Рис. 3.1. Варіанти схем зовн. електропостачання

Вибрані КЛ задовольняють умовам перевірки.

Коеф. завантаження КЛ в норм. режимі:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{171,3}{275} = 0,62$$

Втрати активн. потужн. в КЛ:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 20 \cdot 24 \cdot 0,3844 = 184,51 \text{ кВт}$$

Втрати активн. ел. енергії в КЛ:

$$\Delta W_n = \Delta P_n \tau = 92,26 \cdot 3240,39 = 298958,38 \text{ кВт·год.}$$

Вартість втрат ел. енергії в КЛ:

$$C_{втр} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 298958,38 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 1521,7 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту наведені в табл. 3.1.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень 1-го варіанту

№ вар.	Назва елемента	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	24	52	1248
	Траншея	км.	6	14,3	85,8
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					1355,2

В табл. 3.2 наведено розрахунок поточних витрат 1-го варіанту

Таблиця 5.2. Розрахунок поточних витрат для 1-го варіанту

№ вар	Назва елемента	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{аж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	1248	5	62,4	5	62,4	124,8
	Траншея	85,8	5	4,29	5	4,29	8,58
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							137,66

Один ланцюг схеми складається з вимикача і КЛ. Значення параметрів надійності цих елементів схеми:

- КЛ: $T_B = 0,84 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_a = 0,96$ 1/рік, $K_n = 0,108 \cdot 10^{-3}$.

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

Значення потоку відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,96 = 0,964 \quad 1/\text{рік}$$

Середній час відновлен. 1-го ланцюга схеми:

$$T_{\varepsilon} = \frac{\sum \lambda_i T_{vi}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,96 \cdot 0,00084)}{0,964} = 0,00083838 \quad \text{рік}$$

Коефіцієнт. планового простою ланцюга:

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

Коефіцієнт аварійного простою ланцюга:

$$K_a = \lambda T_{\varepsilon} = 0,964 \cdot 0,000838381742738589 = 0,0008082$$

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					24

K_n у випадку пошкодження одного і планового ремонту іншого ланцюга:

$$K_{an} = 0.5\lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 0,964 \cdot 0,00000576 = 0,00000277632$$

Коефіцієнт авар. простою 2-х ланцюгів:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00000065318724 + 2 \cdot 0,00000277632 = 0,0000062058$$

Час аварійного простою в рік, год:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000062058 \cdot 8760 = 0,05436$$

Передбачуваний збиток від авар. недовідпуску ел. енергії за рік, тис. грн./рік:

$$U = Y_0 P_{cp} T_a = 35 \cdot 6,49 \cdot 0,05436 = 12,35$$

Зведені витрати для 1-го варіанту, тис. грн./рік:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{втр} + U_i = 0.12 \cdot 1355,2 + 137,66 + 1521,7 + 12,35 = 1834,33$$

Подібним чином здійснюється розрахунок і для 2-го варіанту (табл 3.3)

Таблиця 3.3. Техніко-економічні показники 2-х варіантів схем

Показники	Варіанти	
	1	2
Капітальні вкладення	1355,2	2520,88
Поточні витрати	137,66	461,59
Вартість втрат електроенергії	1521,7	2242,85
Збиток	12,35	8,25
Зведені витрати	1834,33	3015,2

З табл. 3.3 видно, що для 1-го варіанту схеми приведені витрати значно менші. Його і приймаємо для подальших розрахунків.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

В якості схеми внутр. електропостачання була обрана радіальна схема КЛ 10 кВ. Такий вибір пояснюється наступними причинами:

- в порівнянні з іншими схемами радіальна схема має вищу надійність;
- невелике значення втрат акт. потужн. в КЛ через їх відносно невелику сумарну довжину.

Схема внутр. електропостачання приведена в презентаційній частині випускної роботи.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

РОЗДІЛ 4

Метою четвертого розділу роботи є розрахунок режимів реакт. потужн.

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності

Номинальна реакт. потужн. СД:

$$Q_{HOM} = P_{HOM} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{CL} = 1200 \cdot 0,484 = 580,8 \text{ кВАр}$$

Розрахункова акт. потужн. синхронного двигуна:

$$P_{\text{сд}} = N_{\text{сд}} P_{\text{ном}} K_{\text{вук}} = 2 \cdot 1200 \cdot 0,7 = 1680 \text{ кВт}$$

Номинальна реакт. потужн. від СД:

$$Q_{сд} = P_{сд} \operatorname{tg} \varphi_H = 1680 \cdot 0,484 = 813,12 \text{ кВА}$$

Макс. реакт. потужн. від СД:

$$Q_{\max cd} = \frac{\alpha_M P_{CD} \operatorname{tg} \varphi_H}{\eta} = \frac{1,21 \cdot 1680 \cdot 0,484}{0,9} = 1093,19 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання акт. потужн. Р:

$$P_p = P_H + \Delta P_m + P_g + P_{cd} = 10734,99 + 118,5 + 0 + 1680 = 12533,49 \text{ kBT}$$

Сумарне споживання реакт. потужн. Q:

$$Q_p = Q_h + \Delta Q_m + Q_g - Q_{CH} = 6265,82 + 620,47 + 0 - 813,12 = 6073,17 \text{ кВат}$$

Реакт. потужн. Q з системи:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 12533,49 \cdot 0,15 = 1880,02 \text{ кВ}\cdot\text{Ап}$$

Потужність компенс. пристроїв:

$$Q_{\text{KП}} = Q_p - Q_e = 6073,17 - 1880,02 = 4193,15 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{ч}$$

Мін. к-сть трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_n}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{10735}{0,7 \cdot 1000} = 15,34 \approx 16 \text{ шт.}$$

Варіант 1. $N = N_0 = 16$ шт.

Реакт. потужн. Q , що може бути передана з сторону 10 кВ в на сторону 0,38 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(16 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 10734,99^2} = 3193,74 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв до 1 кВ:

$$Q_{KH} = Q_n - Q_1 = 6265,82 - 3193,74 = 3072,08 \text{ кВАр}$$

Потужність компенс. пристроїв 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_p - Q_{KH} - Q_e = 5793,1 - 3072,08 - 1880,02 = 841 \text{ кВАр}$$

Розрахунок компенс. пристроїв для $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ проводиться подібним чином (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Розрахунок балансу реакт. потужн.

№ вар-ту	Кількість трансф.	Q_1 , квар	Q_{KH} , квар	Q_{KB} , квар
1	16	3193,74	3072,08	841
2	17	5135,17	1130,65	2782,43
3	18	6596,97	0	3913,08

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Розрахунок потужн. ком пенс. пристроїв 0,4 кВ, 10 кВ для 3-х варіантів зведено в табл. 4.2 - 4.4.

									Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					28

Таблиця 4.2. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T = 16$ шт.)

№ КТП	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
1,2	2	1302,53	1128,63	513,24	615,39	2·112,5; 2·200;	625	-9,61	0,7	1396,51
3, 4, 5	5	3294,66	2533,54	1181,19	1352,35	5·67; 5·200;	1335	17,35	0,7	3505,89
6, 7, 8	5	3504,81	1798,44	0	1798,44	5·133; 5·225;	1790	8,44	0,7	3504,82
9, 10	4	2751,49	1425,68	518,94	906,74	4·225;	900	6,74	0,7	2801,26

Батареї конд. 0,4 кВ: 4650 квар.; батареї конд. 10 кВ: 0 квар.

Таблиця 4.3. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T = 17$ шт.)

№ КТП	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
1,2	2	1302,53	1128,63	513,24	615,39	2·112,5; 2·200;	625	-9,61	0,7	1396,51
3, 4, 5	5	3294,66	2533,54	1181,19	1352,35	5·67; 5·200;	1335	17,35	0,7	3505,89
6, 7, 8	6	3504,81	1798,44	2314,37	0		0	0	0,66	3939,3
9, 10	4	2751,49	1425,68	518,94	906,74	4·225;	900	6,74	0,7	2801,26

Батареї конд. 0,4 кВ: 2860 квар.; батареї конд. 10 кВ: 1х450+1х900= 1350 квар.

Таблиця 4.4. Результати вибору батарей конденсаторів ($N_T = 18$ шт.)

№ КТП	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
1	2	1302,53	1128,63	513,24	615,39	2·112,5; 2·200;	625	-9,61	0,7	1396,51
2, 3, 4	6	3294,66	2533,54	2604,84	0		0	0	0,69	4156,15
5, 6, 7	6	3504,81	1798,44	2314,37	0		0	0	0,66	3939,3
8, 9	4	2751,49	1425,68	518,94	906,74	4·225;	900	6,74	0,7	2801,26

Батареї конд. 0,4 кВ: 1525 квар.; батареї конд. 10 кВ: 2х1350 = 2700 квар.

										Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата						29

Втрати акт. потужн. Р в компенс. пристроях 0,4 кВ:

$$\Delta P_{KH} = P_{ПИТ}^{KH} \cdot Q_{KH} = 0,0045 \cdot 4650 = 20,93 \text{ кВт}$$

Втрати акт. потужн. Р в компенс. пристроях 10 кВ:

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

Втрати акт. потужн. Р трансформаторах:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{HH}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{10734,99^2 + 3193,74^2}{10^2} \cdot 0,05 \cdot 0,001 = 62,72 \text{ кВт}$$

де $R_{екв}$ – екв. опір силових тр-рів:

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

Втрати акт. потужн. в СД:

$$\begin{aligned} \Delta P_{сд} &= Q_{\max сд} \left(\frac{D_1}{Q_{ном сд}} + \frac{2D_2 Q_{\max сд}}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} \right) + Q_{\max сд}^2 \frac{D_2}{Q_{ном сд}^2 N_{сд}} = \\ &= 1093,19 \cdot \left(\frac{0,9}{581} + \frac{2 \cdot 0,75 \cdot 1093,19}{580,8^2 \cdot 2} \right) + 1093,19^2 \cdot \frac{0,75}{580,8^2 \cdot 2} = 5,59 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Вартість компенс. пристроїв 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{KH} &= \sum_{i=1}^n N_{KH i} \cdot K_{KH i} = \\ &= 5 \cdot 3,53 + 2 \cdot 3,9 + 5 \cdot 4,1 + 7 \cdot 5,32 + 9 \cdot 5,53 = 132,96 \text{ тис.гр} \end{aligned}$$

Вартість компенс. пристроїв 10 кВ:

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

Вартість трансформ. підстанцій 10/0,4 кВ:

$$\begin{aligned} K_{ТП} &= N_{ТП(2)} \cdot K_{ТП(2)} + N_{ТП(1)} \cdot K_{ТП(1)} = \\ &= 7 \cdot 638 + 2 \cdot 337,5 = 5141 \text{ тис.грн.} \end{aligned}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

Приведені витрати:

$$\begin{aligned}
 Z &= E_H (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + C_0 \tau (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП} + \Delta P_{СД}) = \\
 &= 0,12 \cdot (132,96 + 0 + 5141) + 5,09 \cdot 3241 \cdot (20,93 + 0 + 62,72 + 5,59) \cdot 10^{-3} = \\
 &= 2105,04 \text{ тис.грн.}
 \end{aligned}$$

В табл. 4.5 наведено результати розрахунку приведених витрат для 3-х варіантів компенс. реакт. потужн.

Таблиця 4.5. Розрахунок привед. витрат на компенсацію реакт. потужн.

№ вар.	$Q_{KH},$ кВАр	$\Delta P_{KH},$ кВт	$Q_{KB},$ кВАр	$\Delta P_{KB},$ кВт	$N_{TP},$ шт.	$R_{ЕКВ},$ Ом	$S_{пр},$ кВА	$\Delta P_{ТП},$ кВт	$K_{KH},$ тис. грн.	$K_{KB},$ тис. грн.	$K_{КТП},$ тис. грн.	$Z,$ тис. грн.
1	4650	20,9	0	0	16	0,05	11200	62,72	132,96	0	5141	2105
2	2860	12,9	1350	4,05	17	0,05	11900	70,81	84,81	25,41	5441,5	2206
3	1525	6,86	2700	8,1	18	0,05	12600	79,38	40,56	42,54	5742	2348

З розрахунків видно, що витрати 1-й варіант є мінімальними. Тому його і приймаємо для подальших розрахунків.

РОЗДІЛ 5 **ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ** **ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА**

Вибір трансформатора ТП-1:

$$K_3 = \frac{S_p}{n_T S_{\text{НОМТ}}} = \frac{1396,50}{2 \cdot 1000} = 0,7,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_p}{K_1} = \frac{1396,5}{1,08} = 1293,$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 1000 \geq \frac{S_p}{K_2} = \frac{1396,5}{1,4} \approx 998.$$

ТМ-1000/10/0,4 задовольняє умовам вибору.

В табл. 5.1 наведено вибір інших цехових підстанцій.

Таблица 5.1. Вибір цехових ТП

№ ТП	К-сть	$S_{\text{роз}}$, кВА	K_3	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_1$	$S_{\text{НОМ}} > S_p/K_2$
ТП-1	2	1396,50	0,70	1293	998
ТП-2	2	1402,36	0,70	1298	1002
ТП-3	2	1402,36	0,70	1298	1002
ТП-4	1	701,18	0,70	649	501
ТП-5	2	1401,92	0,70	1298	1001
ТП-6	2	1401,92	0,70	1298	1001
ТП-7	1	700,96	0,70	649	501
ТП-8	2	700,31	0,35	648	500
ТП-9	2	700,31	0,35	648	500

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Шостий розділ роботи присвячений задачам визначення струмів к.з. та вибору типів ліній і високовольтного обладнання. Для вирішення цих задач застосовувалась методика, описана в [1].

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Вирішення задачі визначення струмів к.з. починається зі складання схеми для розрахунку (рис. 6.1), та схеми заміщення (рис. 6.2).

Визначимо опори елементів.

Система живлення:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{117} = 0,942 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,942}{25} = 0,038 \text{ Ом}$$

КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х150), 6 км):

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,079 \cdot 6}{2} = 0,24 \text{ Ом}$$

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,206 \cdot 6}{2} = 0,618 \text{ Ом}$$

Опори в точ. К1:

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,038 + 0,618 = 0,656 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 0,942 + 0,24 = 1,182 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,656^2 + 1,182^2} = 1,352 \text{ Ом}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Вим.				
Арх.				
№ документа				
Підпис				
Дата				

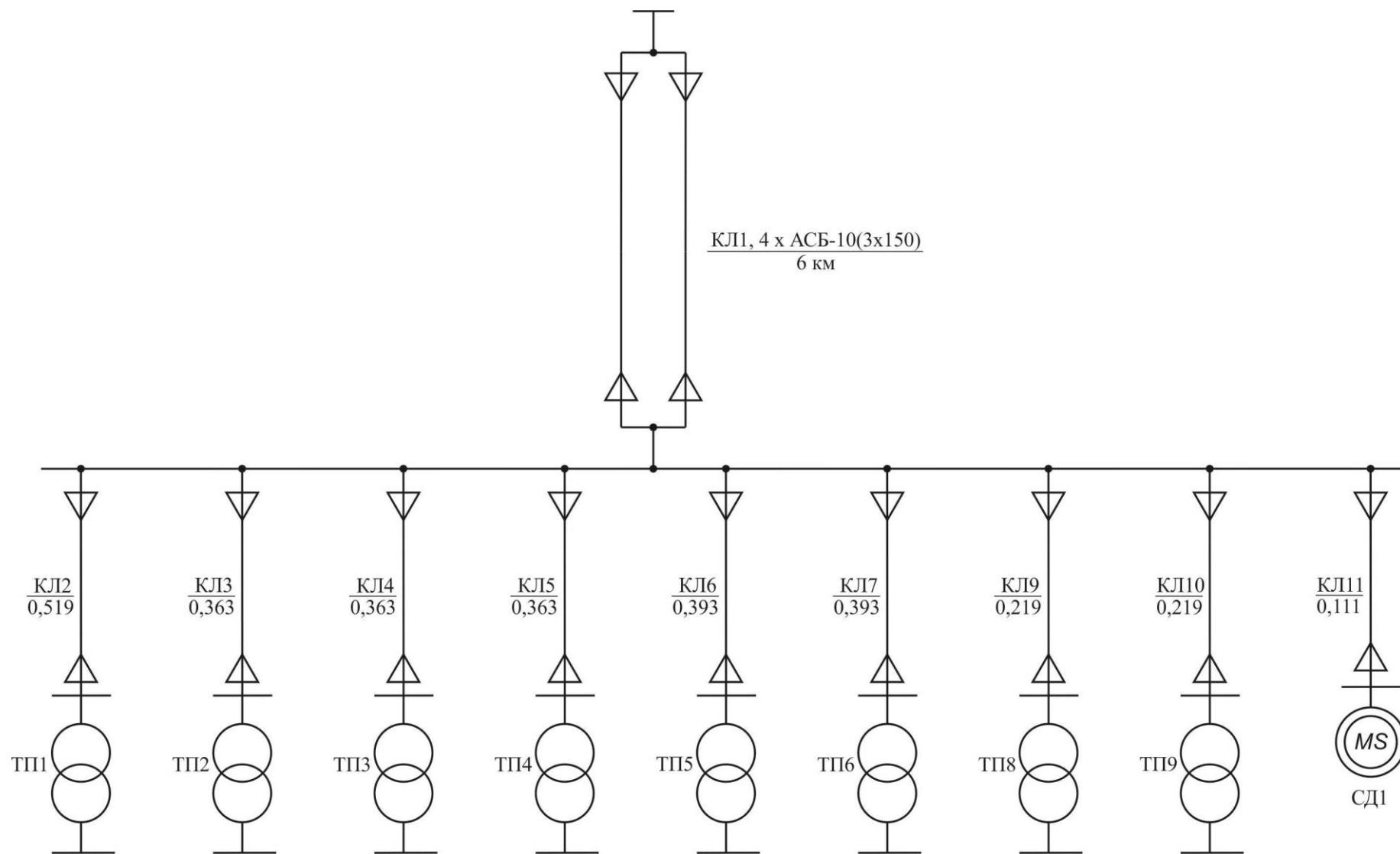


Рис. 6.1. Розрах. схема

Вим.				
Арк.				
№ документа				
Підпис				
Дата				
35	Арк.			

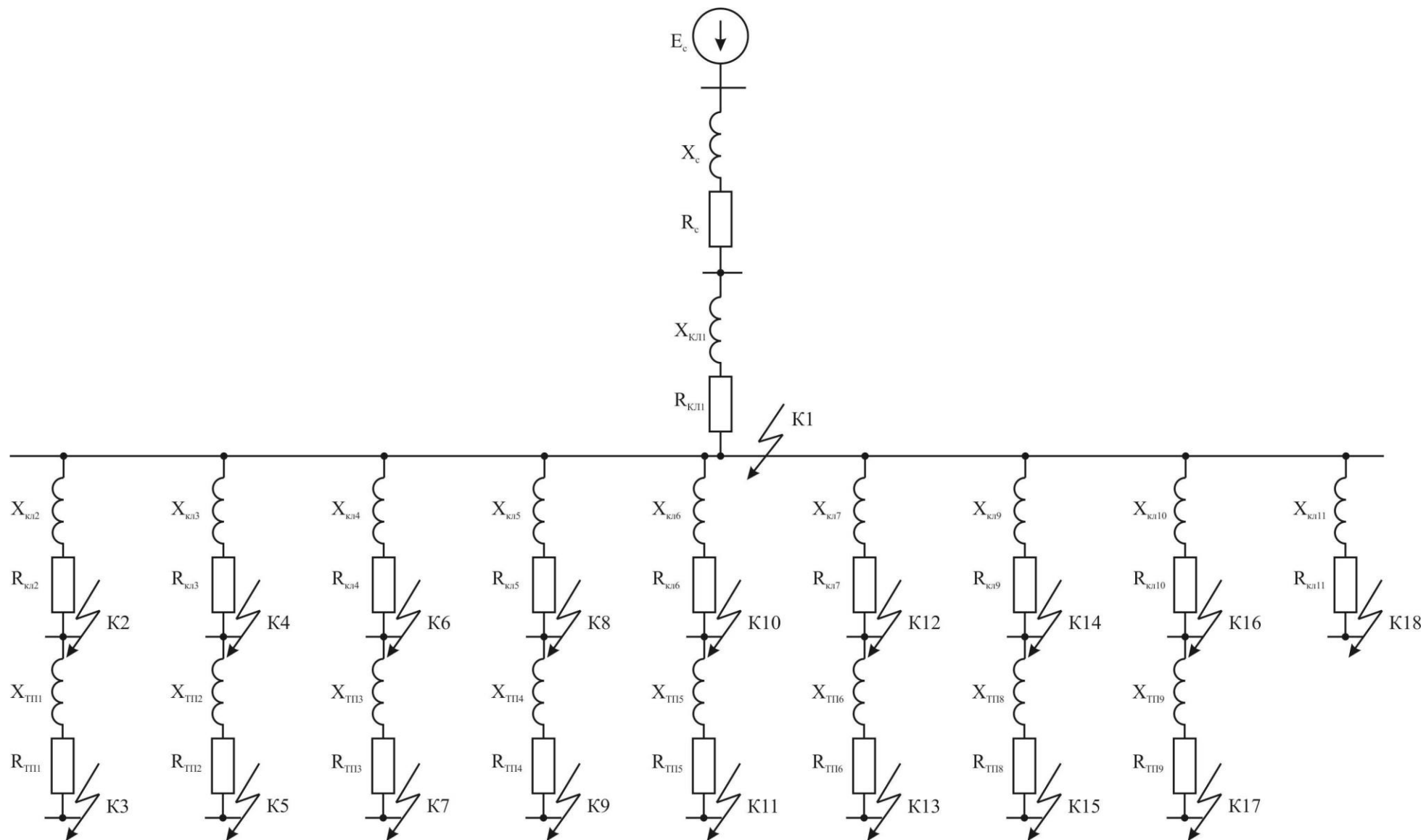


Рис. 6.2. Схема заміщ.

Надперех. струм в точ. К1 від живлячої сист:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,352} = 4,48 \text{ кА}$$

Стала часу T_a в точ. К1:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,182}{314 \cdot 0,656} = 0,0057 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт $k_{y\partial}$ в точ. К1 від живлячої сист.:

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0057}} = 1,173$$

Ударний струм в т. К1 від живлячої сист.:

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,173 \cdot 4,48 = 7,43 \text{ кА}$$

Номінальна потужн. СД:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{1,2}{0,9 \cdot 0,96} = 1,39 \text{ МВА}$$

Номінальний струм двигуна:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1,39}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,076 \text{ кА}$$

Надперех. струм двигуна:

$$I''_{K1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x_d''} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,076 = 0,836 \text{ кА}$$

Стала часу двигуна:

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

Ударний коефіцієнт:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

Ударний струм в точ. К1 від синхр. двигуна:

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

Сумарний надперех. струм к.з.:

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(CD)} = 4,48 + 0,836 = 5,32 \text{ кА}$$

Сумарний ударний струм:

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CD)} = 7,43 + 2,14 = 9,57 \text{ кА}$$

Розрах. струм КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1396,5}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,39 \text{ А}$$

Тепловий імпульс від к.з.:

$$B_k = I''_{K1}{}^2 (t_{p.з. \min} + T_a) = 5,32^2 (1,365 + 0,0057) = 38,79 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мін. переріз КЛ:

$$F_{\min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{38,79 \cdot 10^3} = 66,26 \text{ мм}^2$$

Обираємо ААШВ-10(3 х 70) ($I_{\text{доп кл}} = 165,0 \text{ А}$, $x_{0\text{кл1}} = 0,086 \text{ Ом/км}$, $r_{0\text{кл1}} = 0,44 \text{ Ом/км}$)

Опір лінії КЛ1:

$$X_{\text{кл}} = x_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,086 \cdot 0,519 = 0,045 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{кл}} = r_0 \cdot l_{\text{кл}} = 0,443 \cdot 0,519 = 0,23 \text{ Ом}$$

Для інших ліній параметри зведено в табл. 6.1.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Таблиця 6.1. Параметри кабельних ліній

№ КЛ	l , км	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	R , Ом	X , Ом
1	6,000	0,206	0,079	0,618	0,237
2	0,519	0,443	0,086	0,230	0,045
3	0,363	0,443	0,086	0,161	0,031
4	0,363	0,443	0,086	0,161	0,031
5	0,363	0,443	0,086	0,161	0,031
6	0,393	0,443	0,086	0,174	0,034
7,8	0,393	0,443	0,086	0,174	0,034
9	0,219	0,443	0,086	0,097	0,019
10	0,219	0,443	0,086	0,097	0,019
11, 12	0,360	0,443	0,086	0,159	0,031

Результуючі опори в точ. К2:

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,656 + 0,23 = 0,886 \text{ Ом}$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,182 + 0,045 = 1,227 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,886^2 + 1,227^2} = 1,513 \text{ Ом}$$

Надперех.струм в точ. К2:

$$I_{K2}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,513} = 4,01 \text{ кА}$$

Стала часу в точ. К2:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,227}{314 \cdot 0,886} = 0,0044 \text{ с}$$

Ударний коефіцієнт в точ. К2:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0044}} = 1,103$$

Ударний струм в точ. К2:

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I''_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1,103 \cdot 4,01 = 6,26 \text{ кА}$$

Опори ТП1:

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

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

Результуючі опори в точ. К3:

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,886 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0027 \text{ Ом}$$

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,227 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0027^2 + 0,0106^2} = 0,0109 \text{ Ом}$$

Надперехідний струм в точ. К3:

$$I''_{K3} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0109} = 21,19 \text{ кА}$$

Стала часу в точ. К3:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0027} = 0,0125 \text{ с}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

Ударний коефіцієнт в точ. КЗ:

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0125}} = 1,449$$

Ударний струм в точ. КЗ:

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,449 \cdot 21,19 = 43,42 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів коротких зам. для інших точок показані в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів коротких замкнень

№ точки к.з.	R, Ом	X, Ом	I_K'' , кА	T_a , с	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$, кА
1	0,6560	1,1820	5,32	0,0057	1,173	9,57
2	0,8860	1,2270	4,01	0,0044	1,103	6,26
3	0,0027	0,0106	21,19	0,0125	1,449	43,42
4	0,8170	1,2130	4,15	0,0047	1,119	6,57
5	0,0026	0,0106	21,19	0,0130	1,463	43,84
6	0,8170	1,2130	4,15	0,0047	1,119	6,57
7	0,0026	0,0106	21,19	0,0130	1,463	43,84
8	0,8170	1,2130	4,15	0,0047	1,119	6,57
9	0,0026	0,0106	21,19	0,0130	1,463	43,84
10	0,8300	1,2160	4,12	0,0047	1,119	6,52
11	0,0026	0,0106	21,19	0,0130	1,463	43,84
12	0,8300	1,2160	4,12	0,0047	1,119	6,52
13	0,0026	0,0106	21,19	0,0130	1,463	43,84
14	0,7530	1,2010	4,28	0,0051	1,141	6,91
15	0,0025	0,0105	21,38	0,0134	1,474	44,57
16	0,7530	1,2010	4,28	0,0051	1,141	6,91
17	0,0025	0,0105	21,38	0,0134	1,474	44,57
18	0,8150	1,2130	4,15	0,0047	1,119	6,57

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

Розрах. струм КЛ до ТП № 1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1396,5}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,39 \text{ А}$$

Обираємо ААШВ-10(3х70), $I_{доп} = 165 \text{ А}$.

Перевірка за допуст. навант.:

$$I_p = 38,39 \text{ А} \leq K_n \cdot I_{доп} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ А}$$

Перевірка в авар. режимі роботи:

$$I_{ав} = 76,78 \text{ А} \leq K_{ан} \cdot K'_n \cdot I_{доп} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ А}$$

Тепловий імпульс від струму короткого замикання:

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з. min} + T_a) = 5,32^2 (1,365 + 0,0057) = 66,26 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз лінії:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{38,79 \cdot 10^3} = 66,26 \text{ мм}^2$$

В табл. 6.3 приведені результати розрах. з вибору інших ліній.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

Таблиця .6.3. Вибір кабельних ліній

№ 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	11831	162,63	325,26	116,16	38,79	66,26	4 х АСБ-10(3 х 150)	275	0,8	220	1,35	0,9	334,13
2	2	1396,5	38,39	76,78	27,42	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	1402,36	38,55	77,1	27,54	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	1402,36	38,55	77,1	27,54	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	1	701,18	38,55	-	27,54	38,79	66,26	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
6	2	1401,92	38,54	77,08	27,53	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7,8	2	1401,92	38,54	77,08	27,53	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
9	2	1400,62	38,51	77,02	27,51	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
10	2	1400,62	38,51	77,02	27,51	38,79	66,26	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
11, 12	1	1333,333	73,31	-	52,36	38,79	66,26	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

В цьому підрозділі було здійснено розрахунки з вибору високовольтних вимикачів та ОПН згідно з методикою [1].

В табл. 6.4 приведені результати вибору ввідного вимикача

Таблиця 6.4. Вибір високовольтного ввідного вимикача

Параметр	Умова вибору вимикача	Розрах.
Ном. напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Довготр. струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$683,06 \leq 1000$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - апер. складова: - повний струм:	$I_{н\tau} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$5,32 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 5,32 + 0 < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $7,52 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$5,32 \leq 52$ $9,57 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$35,31 \leq 1200$

Мінім. час від моменту початку к. з. до розходжен. контактів:

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

Апер. складова:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 5,32 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0057}} = 0 \text{ кА}$$

Тепл. імпульс від струму к.з.:

$$B_k = I''^2 (t_{c.в.} + t_{пз. max} + T_a) = 5,32^2 (0,042 + 1,2 + 0,0057) = 35,3 \text{ кА}^2 \text{с}$$

Обираємо ВР2-10-20/1000.

Секційний вимикач та вимикачі на відхідних КЛ обираються аналогічно.

Для захисту мережі від перенапруг обираємо ОПН-10/420/12-УХЛ1.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

На рис. 6.3. приведена схема підключення ТВП.

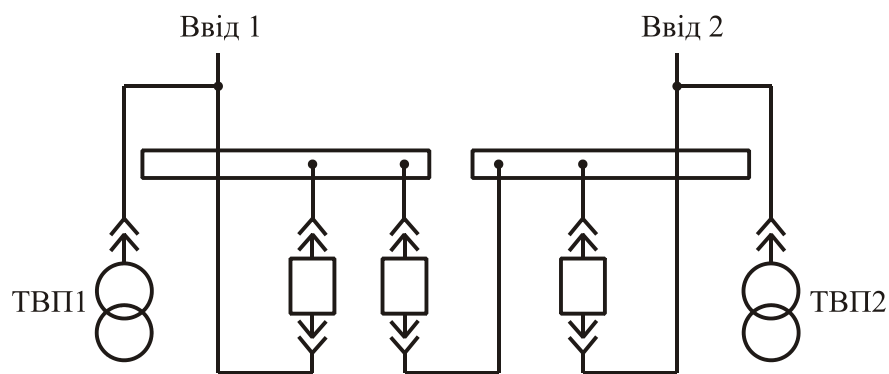


Рис. 6.3. Схема підключення ТВП

В табл. 6.7. приведено розрахунок електр. навант. ТВП

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					44

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№	Споживачі ТВП	$P_{ном}$ кВт	n , шт.	$P_{сум}$ кВт	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{вст}$ кВт	$Q_{вст}$ кВА
1.	Пристрої підігріву КРП	0,6	26	15,6	0,97	0,25	15,6	4
2.	Опалення і освітлення прим. операт. пер-лу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовн. освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Спож. Операт. Колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							70	19

Сумарне електр. навант. ТВП:

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

Розрах. потужн. ТВП:

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

Обираємо ТВП ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаж.:

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

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

6.5 Вибір трансформаторів струму і напруги

В табл. 6.6 наведено результати вибору ТС, що встановлені на вводах 10 кВ.

Таблиця 6.6. Вибір ТС, встановлених на вводах

Парам. ТС	Умова вимору ТС	Розрах.
Ном. напруга	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 10$
Довготривалий ном. струм	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$683,06 \leq 800$
Динам. стійкість	$i_y \leq i_{дин.}$	$9,57 \leq 81$
Терм. стійкість	$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$	$35,31 \leq 2976,75$
Вторинне ел. навант.	$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0,34 \leq 0,4$

Обираємо ТЛК-10/800 У1.

В табл. 6.7. приведено розрах. вторинного навант. ТС.

Таблиця 6.7. Розрахунок вторинного електр. навант. ТС

Обладнання	Марка	Ел. навант.		
		A	B	C
Амперметр	Е 377	0,10	-	0,10
Лічильник ел.	230ART2	0,10	0,10	0,10
Всього		0,20	0,10	0,20

Ел. опір приладів, Ом:

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

Необхідн. опір проводів:

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

Переріз проводів, мм²:

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

Обираємо АКРВГ-2,5 опір якого становить, 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 електр. навант. ТС, Ом:

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

Аналогічним чином обираються ТС на відхідних лініях.

В табл. 6.8 показані результати розрахунку електр. навант. ТН

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

Таблиця 6.8. Розрахунок електр. навант ТН

<i>Назва приладу</i>	<i>Тип приладу</i>	<i>S, ВА</i>	<i>К-ть об.</i>	<i>К-ть пр.</i>	<i>S_{2Σ}, ВА</i>
Вольтметр	Е 377	1,0	1,0	1,0	1,0
Ватметр	Д-335	1,5	1,0	1,0	1,5
Варметр	Д-304	2,0	1,0	1,0	2,0
Лічильник КО	230ART2	7,5	3,0	1,0	22,5
Лічильник ТО	230AR	7,5	2,0	10,0	150,0
<i>Всього</i>					<i>177,00</i>

Обираємо ТН НАМИ-10-66-У3: $S_{\text{ном}} = 200,0$ ВА, $U_{\text{ном}} = 10,0$ кВ,
клас т-сті – 0,5.

					Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	
					48

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗБЕРЕЖЕННЯ

7.1. Загальні положення розробки системи електрозбереження

Заходи з економії ел. ен. можливо поділити на: технологічні, технічні, організаційні та економічні.

До технічних заходів відносяться наступні:

1. Зниження втрат в ЛЕП, РЕМ і та установках:

- використання більш сучасних трансформаторів;
- застосування силових трансформаторів з РПН;
- використання компенс. пристроїв;

2. Зменшення втрат ел. енергії:

– приведення значення встановл. ел. потужності у відповідність з споживаною;

- зниження рівня втрат в струмопроводах електроустановок;
- встановлення обмежувачів х.х.;
- оптимізація конфігурації ел. мереж;
- оптимізація роботи установок.

До технологічних заходів відносять:

1. Зміна структури обладнання:

- використання більш енергоефективного обладнання;
- заміна морально і фізично застарілого устаткування;

2. Інші технологічні заходи:

- зменшення частоти і тривалості простоїв;
- зниження рівня механічних втрат енергії.

До економічних заходів належать:

1. Удосконалення заходів, спрямованих на економічне стимулювання поліпшення використання ел. енергії.

2. Удосконалення методів планування необхідної потреби в ел. енергії.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

4. Комбінування та спеціалізація промислового виробництва.

До організаційних заходів відносяться наступні:

1. Удосконалення методів, що використовуються для нормування витрати ел. енергії та контролю за раціональним її використанням.

2. Оптимізація системи обліку та контролю ел. енергії.

Основний резерв економії ел. енергії закладений в технологічному процесі промислового виробництва підприємства.

Устаткування з лінійною енергетичною характеристикою

$$P = \Delta P_{xx} + \omega_{\text{кор}} A$$

повинні функціонувати з максимальною продуктивністю A . При цьому питомі витрати ел. енергії будуть рівними

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + \omega_{\text{кор}},$$

$\omega_{\text{кор}}$ – значення корисної питомої витрати ел. енергії.

Для устаткування з енергетичною характеристикою виду:

$$P = \Delta P_{xx} + \omega_{\text{кор}} A^2$$

питомі витрати ел. енергії мають вигляд:

$$\omega = \frac{\Delta P_{xx}}{A} + \omega_{\text{кор}} A.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Оптимальний режим роботи визначається з виразу:

$$\frac{d\omega}{dA} = -\frac{\Delta P_{xx}}{A^2} + \omega_{\text{кор}} = 0,$$

звідки отримуємо

$$A_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{xx}}{\omega_{\text{кор}}}}.$$

Річні втрати ел. енергії в ЛЕП визначаються за виразами:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n 3I_i^2 R t_i = 3I_{\text{ск}}^2 R T_p = 3I_{\text{сп}}^2 R T_p K_{\Phi}^2 = 3I_{\text{м}}^2 R T_p K_{\Phi}^2 K_{\text{н}}^2 = 3I_{\text{м}}^2 R T_p K_{\text{в}}^2$$

$$\Delta W = 3I_{\text{м}}^2 R \tau_{\text{м}}$$

де $I_{\text{м}}, I_{\text{сп}}, I_{\text{ск}}$ – середньоквадрат., середньорічн. і макс. струми;

Коефіцієнт форми графіка електр. навант.:

$$K_{\Phi} = \frac{I_{\text{ск}}}{I_{\text{сп}}}.$$

Коефіцієнт навантаж.:

$$K_{\text{н}} = \frac{I_{\text{сп}}}{I_{\text{м}}}.$$

Коеф. втрат:

$$K_{\text{в}} = K_{\Phi} K_{\text{н}}.$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		
						51

К-сть годин максимальних втрат визначається за виразом:

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 8760$$

К-сть годин використання макс. Навантаження визначається за формулою:

$$T_m = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_m},$$

де W_p, V_p – річні витрати акт. і реакт. ел.енергії;

S_m – повна макс. потужність.

Заходи з економії електр. енергії:

- зменшення струму за рахунок застосування резервних ЛЕП;
- використання паралельної роботи ліній електропередачі;
- оптимізація коеф. трансформації силових трансформаторів цехових підстанцій;
- зменшення несиметрії ел. навант.;

7.2. Заходи з економії електроенергії в цехових ТП

Втрати акт. потужн. в 2-х обмоткових трансформаторах розраховуються за виразом:

$$\Delta P_T = \Delta P'_{xx} + K_s^2 \Delta P'_{kz},$$

де

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx}^2 + K_{пв} \Delta Q_{xx},$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

$$\Delta P'_{\text{кз}} = \Delta P_{\text{кз}} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{\text{кз}},$$

$$\Delta Q_{\text{хх}} = \frac{I_{\text{хх}} \%}{100} S_{\text{нт}},$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{к}} \%}{100} S_{\text{нт}},$$

де $K_{\text{пв}} = 0,020 - 0,120$ кВт/кВар – коеф. збільшення втрат при передаванні Q від джерела електропостачання до кінцевого споживача.

Економічний режим роботи силових трансформаторів визначає к-сть одночасно ввімкнених трансформаторів, за якої спостерігається мінімум втрат ел. енергії в них.

Для підстанцій, що оснащені трансформаторами рівної потужності, кількість одночасно ввімкнених трансформаторів визначається наступним чином:

- при збільшенні навантаження $(n + 1)$ -го трансформ. економічно доцільно, щоб коефіцієнт завантаження працюючих силових трансформаторів досягав значення, що визначається за виразом:

$$K_{\text{з}} \geq \sqrt{\frac{n+1}{n}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{хх}} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{\text{хх}}}{\Delta P_{\text{кз}} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{\text{кз}}}},$$

- при зменшенні навантаження доцільно відмикати один з трансформаторів при умові:

$$K_{\text{з}} \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{хх}} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{\text{хх}}}{\Delta P_{\text{кз}} + K_{\text{пв}} \Delta Q_{\text{кз}}}},$$

де n – це кількість ввімкнених трансформаторів;

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

ΔP_{xx} – значення втрат х.х.;

$\Delta P_{кз}$ – значення втрат к.з.

Наближені значення $K_{пв}$ наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 Наближені значення $K_{пв}$

№ з/п	Характеристика	$K_{пв}$, кВт/кВар	
		Max	Min
1	Трансформ., які живляться від шин станцій	0,020	0,020
2	Трансформ. мережі які живляться генераторній напрузі	0,070	0,040
3	Знижувальні трансформ. 110/35/10 кВ	0,100	0,060
4	Знижувальні трансформатори 10/0,4 кВ	0,150	0,100

За наявності на підстанціях 2-х і більше силових трансформаторів різної потужності необхідно будувати графіки залежностей втрат від величини навантаження згідно виразу:

$$\sum \Delta P = n(\Delta P_{xx} + K_{пв} \Delta Q_{xx}) + \frac{1}{n}(\Delta P_{кз} + K_{пв} \Delta Q_{кз}) K_s^2.$$

У відповідності до цих кривих в залежності від величини навантаження підстанції розраховують режим роботи трансформ.

Отже, зменшення втрат акт. потужності та ел. енергії в силових трансформаторах досягається наступними способами:

- коректним вибором кількості та потужності трансформаторів;
- відімкненням частини трансформаторів в темний час доби;
- використанням автоматичної системи керування режимами підстанцій.

Розрахунок будемо для ТП-6 заводу електротермічного обладнання. Розрах. потужн. споживачів, які живляться від ТП-6 складає: $P_p = 1296,01$ кВт, $Q_p = 510,3$ квар. Технічні характеристики трансформаторів ТП-6 приведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Технічні характеристики силових трансформаторів ТП-6

№ з/п	Параметр	Значення	Од. виміру
1	Ном.а потужність тр-ра, $S_{нт}$	1000,0	кВА
2	Активні втрати потужн. х.з., ΔP_{xx}	3,80	кВт
3	Активні втрати потужн. к.з. $\Delta P_{кз}$	12,70	кВт
4	Реактивні втрати потужн. х.х. ΔQ_{xx}	14,00	квар
5	Реактивні втрати потужн. к.з. $\Delta Q_{кз}$,	55,00	квар

Приведені значення активн. втрат потужності:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{пв} \Delta Q_{xx} = 3,8 + 0,15 \cdot 14 = 5,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{пв} \Delta Q_{кз} = 12,7 + 0,15 \cdot 55 = 20,95 \text{ кВт}$$

Потужність S_A за якої приведені втрати будуть однакові для випадків роботи 1 та двох трансформ.:

$$S_A = S_{нтр} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P'_{xx}}{\Delta P'_{кз}}} = 1000 \sqrt{\frac{2 \cdot 5,9}{20,95}} = 750,5 \text{ кВА}$$

Розрахунок втрат ел. енергії для різних режимів роботи трансформаторів зведено в табл. 7.3.

Річна втрата електроенергії для 2-х випадків:

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

$$\Delta W_{2\text{тр}} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{сп2тр}} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{зв2тр}} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лр2тр}} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лв2тр}} \cdot 48 =$$

$$= 339,67 \cdot 147 + 250,96 \cdot 65 + 296,02 \cdot 105 + 231,9 \cdot 48 = 180457 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$\Delta W_{\text{авт.рег}} = \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{зравт.рег}} \cdot 147 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{звавт.рег}} \cdot 65 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лравт.рег}} \cdot 105 + \sum_{i=1}^{24} \Delta P_{\text{лвавт.рег}} \cdot 48 =$$

$$= 336,71 \cdot 147 + 228,32 \cdot 65 + 288,77 \cdot 105 + 190,2 \cdot 48 = 103788 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Величина річної економії електроенергії від використання автоматичного регулювання:

$$\Delta W = \Delta W_{2\text{тр}} - \Delta W_{\text{авт.рег}} = 180457 - 103788 = 76669,57 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія коштів:

$$E = \Delta W C_0 = 76669,57 \cdot 5,09 = 390248,1 \text{ грн.}$$

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

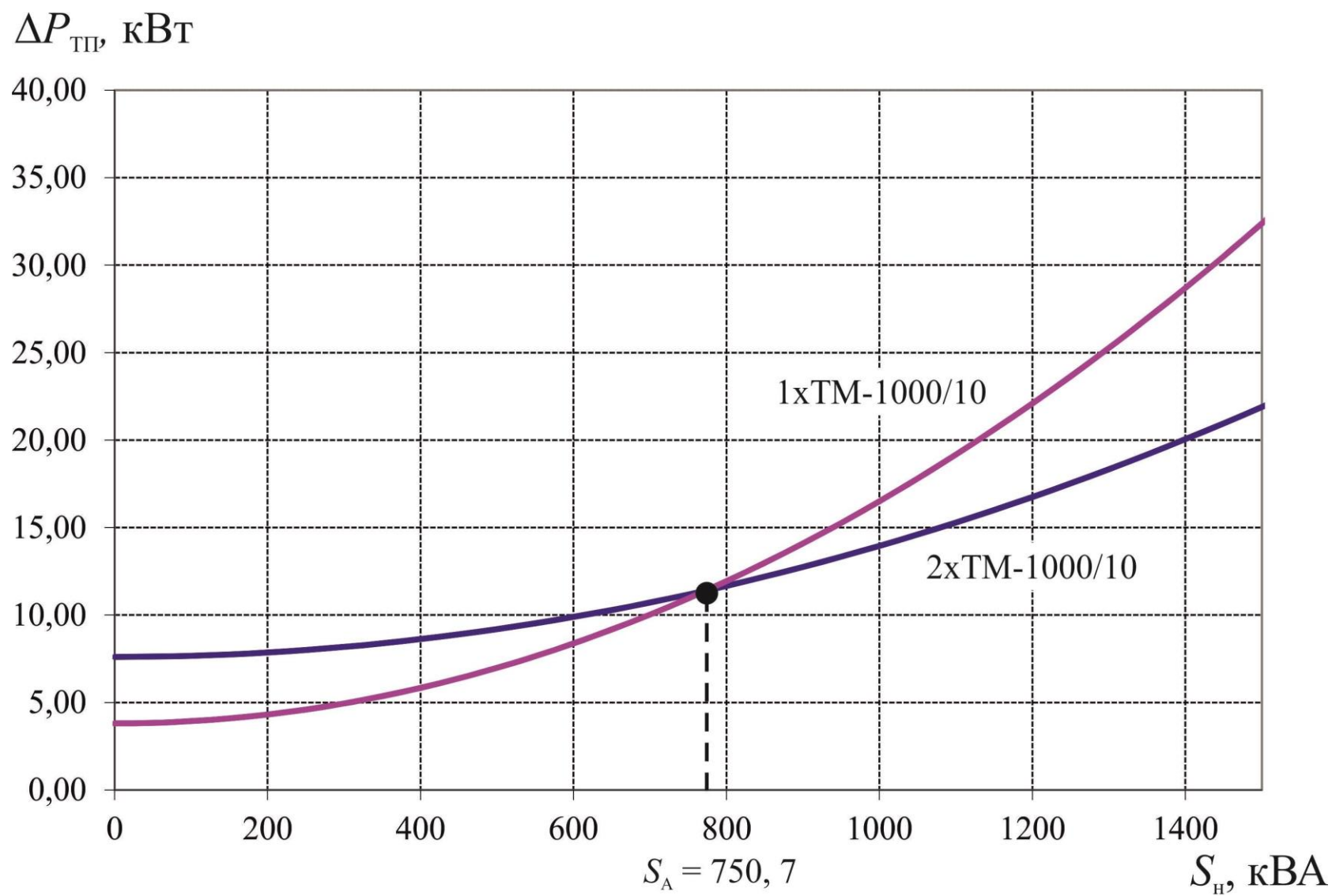


Рис. 7.1. Графік залежності втрат потужності в ТП 6

Таблиця 7.3. Розрахунок економії електричної енергії від використання САК роботи трансформаторів

Години	Зимова робоча доба					Зимова вихідна доба				
	P, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт	P, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег}$, кВт
1	1296	510,3	1392,80	19,92	19,92	635	352,1	726,10	10,95	10,50
2	1153,4	479,7	1249,20	17,51	17,51	635	352,1	726,10	10,95	10,50
3	1257,1	495	1351,00	19,19	19,19	635	352,1	726,10	10,95	10,50
4	959	433,8	1052,60	14,64	14,64	635	352,1	726,10	10,95	10,50
5	609,1	341,9	698,50	10,70	10,00	635	352,1	726,10	10,95	10,50
6	609,1	341,9	698,50	10,70	10,00	635	352,1	726,10	10,95	10,50
7	868,3	413,3	961,60	13,47	13,47	635	352,1	726,10	10,95	10,50
8	920,2	428,7	1015,20	14,14	14,14	505,4	352,1	616,00	10,01	8,62
9	959	438,9	1054,70	14,66	14,66	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
10	894,2	418,4	987,20	13,79	13,79	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
11	920,2	423,5	1013,00	14,12	14,12	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
12	829,4	403,1	922,20	13,00	13,00	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
13	738,7	382,7	831,90	11,99	11,99	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
14	699,8	377,6	795,20	11,62	11,62	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
15	868,3	413,3	961,60	13,47	13,47	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
16	959	444	1056,80	14,69	14,69	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
17	997,9	449,1	1094,30	15,20	15,20	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
18	933,1	438,9	1031,20	14,35	14,35	505,4	316,4	596,30	9,86	8,32
19	920,2	433,8	1017,30	14,17	14,17	635	352,1	726,10	10,95	10,50
20	868,3	428,7	968,40	13,56	13,56	635	352,1	726,10	10,95	10,50
21	764,6	392,9	859,60	12,29	12,29	635	352,1	726,10	10,95	10,50
22	440,6	398	593,70	9,84	8,28	635	352,1	726,10	10,95	10,50
23	803,5	403,1	898,90	12,73	12,73	635	352,1	726,10	10,95	10,50
24	1296	510,3	1392,80	19,92	19,92	635	352,1	726,10	10,95	10,50
Σ				339,67	336,71				250,96	228,32

Вим.		
Арк.		
№ документа		
Підпис		
Дата		
59	Арк.	

Продовження табл. 7.3.

Години	Ліжня робоча доба					Ліжня вихідна доба				
	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр.}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт	Р, кВт	Q, кВар	S, кВА	$\Delta P_{2тр.}$, кВт	$\Delta P_{авт.рег.}$, кВт
1	1101,6	433,8	1183,9	16,50	16,50	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
2	980,4	407,7	1061,8	14,76	14,76	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
3	1068,6	420,7	1148,4	15,97	15,97	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
4	815,2	368,7	894,7	12,68	12,68	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
5	517,8	290,6	593,8	9,84	8,28	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
6	517,8	290,6	593,8	9,84	8,28	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
7	738,1	351,3	817,4	11,84	11,84	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
8	782,1	364,4	862,8	12,33	12,33	429,6	299,3	523,6	9,34	7,28
9	815,2	373	896,5	12,70	12,70	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
10	760,1	355,7	839,2	12,07	12,07	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
11	782,1	360	861	12,31	12,31	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
12	705	342,7	783,9	11,50	11,50	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
13	627,9	325,3	707,2	10,78	10,15	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
14	594,9	321	676	10,50	9,60	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
15	738,1	351,3	817,4	11,84	11,84	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
16	815,2	377,4	898,3	12,72	12,72	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
17	848,2	381,7	930,1	13,09	13,09	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
18	793,2	373	876,5	12,48	12,48	429,6	268,9	506,8	9,23	7,06
19	782,1	368,7	864,7	12,35	12,35	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
20	738,1	364,4	823,2	11,90	11,90	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
21	649,9	334	730,7	10,99	10,58	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
22	374,5	338,3	504,7	9,22	7,03	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
23	683	342,7	764,2	11,31	11,31	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
24	1101,6	433,8	1183,9	16,50	16,50	539,8	299,3	617,2	10,02	8,64
Σ				296,02	288,77				231,9	190,2

ВИСНОВКИ

В роботі розв'язувалось завдання проектування системи електропостачання механоремонтного підприємства.

Розрахунок силових електр. навант. здійснювався згідно методу коефіцієнта розрахункової потужності, а освітлювальних електр. навант. – згідно методу питомої електр. потужності.

Були проведені розрахунки з побудови графіків електр. навант. та визначення їх параметрів.

В результаті розрахунку показників картограми електр. навант. було визначено центр електр. навант.

Аналіз балансу реакт. потужн. дав змогу обрати кількість та потужність компенс. пристроїв 10 кВ і 0,4 кВ. Окрім цього, в балансі реакт. потужн. беруть участь потужні синхронні двигуни 10 кВ.

Розрахунок струмів к.з. дав змогу обрати високовольтне обладнання та визначити перерізи проводів ліній.

Окрім цього, було вирішене питання вибору вимірювальних ТС та ТН 10 кВ.

Загалом, спроектована система електропостачання відповідає основним вимогам, що застосовуються до таких систем.

						Арк.
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		60

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. Васи́lega. – 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.