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:

«Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-20-3СК,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Олег ДАЛДАНОВ
«____»_____2023 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Валентин СОЛДАТЕНКО
«_____»_____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 ПЛЄШКОВ
«_____»_____2023 р.

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

Далданова Олега Олександровича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції*
Development of the power supply system for the paper products production plant

2. Керівник роботи *Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту *01.06.2023 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. *Метою роботи є розроблення системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір числа і потужності трансформаторів комбінату. 6. Провести визначення струмів короткого замикання та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок релейного захисту синхронного двигуна 10 кВ.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	*доцент Н.Ю. Гарасьова*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Розрахунок електричних навантажень*	*8.05.2023*	
2	*Картограма електричних навантажень*	*13.05.2023*	
3	*Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання*	*15.05.2023*	
4	*Режими реактивної потужності системи електропостачання*	*17.05.2023*	
5	*Вибір числа і потужності трансформаторів комбінату*	*19.05.2023*	
6	*Визначення струмів короткого замикання. Вибір високовольтного обладнання.*	*20.05.2023*	
7	*Релейний захист синхронного двигуна 10 кВ*	*24.05.2023*	
8	*Оформлення пояснювальної записки роботи*	*25.05.2023*	
9	*Оформлення презентаційної частини роботи*	*31.05.2023*	

Дата видачі завдання
«____» _____2023 р.

Підпис керівника _____ Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2023 р.

Підпис здобувача _____ Олег ДАЛДАНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 68 с.; 13 рис.; 28 табл.; 7 джерел

Далданов О. О. Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції. **– 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 питанню розробки сучасної системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції. В роботі було вирішені питання розрахунку: силових та освітлювальних електричних навантажень, аналізу режимів реактивної потужності, визначення струмів короткого замикання, вибору схем зовнішнього і внутрішнього електропостачання, вибору високовольтного обладнання системи електропостачання.

Спеціальний розділ роботи присвячено вирішенню задачі розробки системи релейного захисту для синхронного двигуна напругою 10 кВ від аварійних режимів роботи. З метою реалізації системи релейного захисту для синхронного двигуна вибрано мікропроцесорний термінал Sepam M81 Schneider Electric.

Ключові слова: електричне навантаження, система електропостачання, режим реактивної потужності, мікропроцесорний релейний захист синхронного двигуна

ABSTRACT

Qualification work: 68 p.; 13 Fig.; 28 tables; 7 sources

Daldanov O. O. Development of the power supply system for the paper products production plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The bachelor's thesis is devoted to the development of a modern power supply system for a paper production plant. In the work, the issues of calculation of: power and lighting electrical loads, analysis of reactive power modes, determination of short-circuit currents, selection of external and internal power supply schemes, selection of high-voltage equipment of the power supply system were solved.

A special section of the work is devoted to solving the problem of developing a relay protection system for a synchronous motor with a voltage of 10 kV against emergency modes of operation. In order to implement a relay protection system for a synchronous motor, the Sepam M81 Schneider Electric microprocessor terminal was selected.

Keywords: electrical load, power supply system, reactive power mode, microprocessor relay protection of synchronous motor

ЗМІСТ

ВСТУП 7

РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 9
1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі нижче 1 кВ 9
1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень 10
1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою понад 1 кВ 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 27

РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 28
4.1 Калькуляція балансу реактивної потужності 28
4.2 Вибір числа, потужності та місця розміщення пристроїв компенсації 30

РОЗДІЛ 5. ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ КОМБІНАТУ 34

РОЗДІЛ 6. ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ 35
6.1 Визначення струмів короткого замикання 35
6.2 Вибір перетину кабельних ліній напругою 10 кВ 44
6.3 Вибір типів і параметрів електричних апаратів високої напруги 45
6.4 Вибір потужності і схеми живлення трансформаторів власних потреб 48
6.5 Вибір типів та параметрів вимірювальних трансформаторів 50

РОЗДІЛ 7. РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИНХРОННОГО ДВИГУНА 10 КВ 53
7.1 Організація релейного захисту та автоматики 53
7.2 Розрахунок параметрів захисту від перевантаження 57
7.3 Розрахунок параметрів миттєвої струмової відсічки 61
7.4 Розрахунок параметрів захисту від однофазних замикань на землю 62
7.5 Розрахунок параметрів захисту від асинхронного режиму 64
7.6 Розрахунок параметрів захисту мінімальної напруги 64

ВИСНОВКИ 67

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 68

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ		
Зм.	*Арк.*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*			
Розроб.		*Далданов О.О.*			*Розробка системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції* *Development of the power supply system for the paper products production plant*	*Літ.*	*Аркуш* / *Аркушів*
Перев.		*Солдатенко В.П*					*6* / *68*
Н. контр.		*Солдатенко В.П*				*ЦНТУ, гр. ЕЕ-20-3СК*	
Затвер.		*Плєшков П.Г.*					

ВСТУП

Випускна робота присвячена вирішенню питання проектування системи електропостачання комбінату з виробництва паперової продукції.

Комбінат з виробництва паперової продукції – це підприємство, що спеціалізується на виготовленні різних типів паперових виробів. Воно включає в себе такі виробничі процеси, як переробка сировини, виготовлення паперу та наступну його обробку. Таке підприємства може виробляти певну кількість паперу на день або на рік, що зазвичай залежить від розмірів підприємства, наявності сучасного обладнання та рівня автоматизації процесів виробництва.

Підприємство може виготовляти різні типи паперової продукції, такі як копіювальний папір, пакувальний папір, гофрована упаковка, газетний папір тощо. При реалізації технологічного процесу можуть застосовуватися різні технології виробництва, включаючи механічний, хімічний або суцільний процес виготовлення паперу. Важливо, щоб підприємство використовувало екологічно чисті методи та процеси, зменшуючи вплив на довкілля.

Виробництво паперової продукції повинно дотримуватися високих стандартів якості, забезпечуючи стійкість, міцність і відповідність стандартам для кожного виду паперової продукції

Мета кваліфікаційної роботи полягає у розробці системи електропостачання комбінату, що спеціалізується на виробництві паперової продукції.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Розрахувати електричні навантаження, що використовуються на комбінаті.

2. Створити картограму електричних навантажень, що допоможе визначити розподіл навантажень у часі.

3. Провести техніко-економічне обґрунтування схем електропостачання, враховуючи витрати та оптимальність рішень.

4. Розрахувати режими реактивної потужності, забезпечуючи ефективне використання електроенергії.

5. Вибрати необхідну кількість та потужність силових трансформаторів для оптимальної роботи системи.

6. Розрахувати струми короткого замикання та вибрати високовольтне обладнання системи електропостачання.

7. Провести детальний розрахунок спеціального розділу, що включає специфічні параметри та особливості комбінату.

Під час проведення розрахунку враховуються різні фактори, такі як потужність приймачів, їх місцезнаходження та можливі варіанти схеми зовнішнього живлення комбінату. Ці критичні фактори мають значний вплив на подальші етапи розрахунку, що орієнтують його у відповідному напрямку.

РОЗДІЛ 1
РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Перший розділ кваліфікаційної роботи присвячений питанню розрахунку електричних навантажень для промислового підприємства. Етапами цього розрахунку є визначення силових електронавантажень в мережі до 1 кВ, електричних навантажень для освітлення та визначення навантажень в мережі напругою вище 1 кВ.

1.1 Розрахунок силових навантажень в мережі нижче 1 кВ

Для мети визначення силових електронавантажень в мережі з напругою нижче 1 кВ застосовано метод коефіцієнта розрахункової потужності [1].

Подамо приклад розрахунку електричних навантажень для кислотного цеху.

Коефіцієнт m:

$$m = \frac{P_{н.\max}}{P_{н.\min}} = \frac{100}{0,8} = 125$$

Середнє значення навантаження:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{сум}} K_{\text{в}} = 9500 \cdot 0,25 = 2375 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \operatorname{tg}\varphi = 2375 \cdot 0.88 = 2095 \text{ кВар}$$

Ефективне число електроприймачів:

$$n_{\text{е}} = \frac{2\sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.max}}} = \frac{2 \cdot 9500}{100} = 190$$

Коефіцієнт $K_{\text{р}}$ згідно з [1]: $K_{\text{р}} = 1,134$.

Розрахункові активне та реактивне навантаження:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{см}} K_{\text{р}} = 2375 \cdot 1{,}134 = 2693 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{см}} = 2095 \text{ кВар},$$

Подальший розрахунок виконується аналогічно, а його результати приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Результати розрахунку силових електронавантажень нижче 1 кВ підприємства

№	Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		$P_{\text{сум}}$, кВт	m	$K_{\text{в}}$	cosφ	tgφ	Серед. навантаж.		$n_{\text{еф}}$	$K_{\text{м}}$	Розрах. навантаження		
			min	max						$P_{\text{зм}}$, кВт	$Q_{\text{зм}}$, квар			$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА
1	Кислотний цех	200	1	100	9500	125	0,3	0,75	0,9	2375	2095	190	1,1	2693	2095	3411,5
2	Сировинне відділення	150	5	120	400	24	0,3	0,75	0,9	100	88,19	7	1,9	189,3	97,01	212,67
3	Відділення для варіння	120	8	60	1400	7,5	0,3	0,7	1	420	428,5	47	1,3	526,4	428,5	678,71
4	Відбілювальний відділ	60	10	95	1700	9,5	0,5	0,7	1	850	867,2	36	1,2	1002	867,2	1325,2
5	Киснева станція	70	3	80	1600	32	0,5	0,8	0,8	800	600	40	1,2	934,9	600	1110,9
6	Цех паперу	50	10	90	1200	9	0,3	0,65	1,2	300	350,7	27	1,4	419,5	350,7	546,82
7	Компресорна	50	10	90	1200	9	0,7	0,85	0,6	840	520,6	27	1,1	934,4	520,6	1069,6
8	Насосна	20	20	200	1200	10	0,7	0,7	1	840	857	12	1,2	991,5	857	1310,5
	Всього	**720**	**1**	**200**	**18200**	**250**	**0,4**	**0,75**	**0,9**	**6525**	**5807**	**182**	**1,1**	**7192**	**5807**	**9243,5**

1.2 Розрахунок електричних освітлювальних навантажень

В розрахунках освітлювальних навантажень використовується метод питомої потужності, що описаний в [1].

Подамо приклад розрахунку освітлювального електричного навантаження комбінату паперової продукції для кислотного цеху.

Встановлена потужність приладів освітлення:

$$P_{\text{у}} = F \cdot p_0 \cdot 10^{-3} = 3528 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 63{,}5 \ кВт$$

$$P_{\text{р}} = K_{\text{п}} K_1 p_{\text{у}} = 0{,}95 \cdot 1{,}20 \cdot 63{,}5 = 72{,}39 \ кВт$$

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \operatorname{tg}\varphi = 72{,}39 \cdot 0{,}484 = 125{,}38 \ кВар$$

Подальший розрахунок здійснюється за аналогічним методом. Результати розрахунків для всіх підрозділів подано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Результати розрахунку освітлювальних електронавантажень

№ з/п	Назва об'єкту	F, м^2	p_0, Вт/м	$P_{\text{вст}}$, кВт	$K_{\text{п}}$	K_1	cosφ	tgφ	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА
1	Кислотний цех	3528	18	63,5	0,95	1,2	0,5	1,73	72,39	125	144,8
2	Сировинне відділення	1296	14	18,14	0,95	1,2	0,9	0,48	20,68	10	22,98
3	Відділення для варіння	1980	17	33,66	0,95	1,2	0,9	0,48	38,37	18,6	42,63
4	Відбілювальний відділ	2808	13	36,5	0,95	1,2	0,9	0,48	41,61	20,1	46,23
5	Киснева станція	1980	14	27,72	0,95	1,2	0,9	0,48	31,6	15,3	35,1
6	Цех паперу	1620	14	22,68	0,95	1,2	0,9	0,48	25,86	12,5	28,73
7	Компресорна	1008	10	10,08	0,95	1,2	0,9	0,48	11,49	5,56	12,76
8	Насосна	1008	6	6,05	0,95	1,2	0,9	0,48	6,9	3,34	7,67
9	Територія заводу	113742	0,1	11,37	1	1,1	0,5	1,73	12,73	22,1	25,46
	Всього			**229,7**					**242,4**	**252**	**349,5**

1.3 Розрахунок електричних навантажень напругою понад 1 кВ

Для розрахунку силових електронавантажень в мережі понад 1 кВ застосовується метод коефіцієнта розрахункової потужності, що описаний у [1].

Результати розрахунку наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Розрахунок силових електронавантажень вище 1 кВ

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P 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
ТП 1,2															
Кислотний цех															
силове:	200	0,8	100	9500	125	0,3	0,75	0,9	2375	2094,55	190	1,13	2692,82	2094,55	3411,51
освітлювальне:									63,5				72,39	125,38	
Всього:									2438,5	2094,55			2765,21	2219,93	3546,05
Територія заводу															
освітлювальне:									11,37				12,73	22,05	
Всього:									11,37	0			12,73	22,05	25,46
Всього по ТП 1,2:															
силове:	200	0,8	100	9500	125	0,3	0,75	0,9	2375	2094,55	190	1,13	2692,82	2094,55	3411,51
освітлювальне:									74,87				85,12	147,43	
БК 0,4 кВ										-2412				-2412	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 1,2:									2449,87	-317,45			2777,94	-170,02	2783,14
Втрати в трансформаторах:													31,1	162,51	
Кількість трансформаторів: 4															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТП 1,2:													2809,04	-7,51	2809,05
ТП 3															
Сировинне відділення															
силове:	150	5	120	400	24	0,3	0,75	0,9	100	88,19	7	1,89	189,25	97,01	212,67
освітлювальне:									18,14				20,68	10,01	
Всього:									118,14	88,19			209,93	107,02	235,64
Відбілювальний відділ															
силове:	60	10	95	1700	9,5	0,5	0,7	1	850	867,17	36	1,18	1002,14	867,17	1325,24
освітлювальне:									36,5				41,61	20,14	
Всього:									886,5	867,17			1043,75	887,31	1369,94
Всього по ТП 3:															
силове:	210	5	120	2100	24	0,5	0,71	1	950	955,36	35	1,2	1144,39	955,36	1490,75

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P 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:									54,64				62,29	30,15	
БК 0,4 кВ										-351				-351	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 3:									1004,64	604,36			1206,68	634,51	1363,33
Втрати в трансформаторах:													15,12	79,11	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 3:													1221,8	713,62	1414,94
ТП 4, 5															
Відділення для варіння															
силове:	120	8	60	1400	7,5	0,3	0,7	1	420	428,49	47	1,25	526,35	428,49	678,71
освітлювальне:									33,66				38,37	18,57	
Всього:									453,66	428,49			564,72	447,06	720,26
Киснева станція															
силове:	70	2,5	80	1600	32	0,5	0,8	0,8	800	600	40	1,17	934,92	600	1110,89
освітлювальне:									27,72				31,6	15,29	
Всього:									827,72	600			966,52	615,29	1145,75
Цех паперу															
силове:	50	10	90	1200	9	0,3	0,65	1,2	300	350,74	27	1,4	419,52	350,74	546,82
освітлювальне:									22,68				25,86	12,52	
Всього:									322,68	350,74			445,38	363,26	574,74
Всього по ТП 4, 5:															
силове:	240	2,5	90	4200	36	0,4	0,74	0,9	1520	1379,23	93	1,15	1744,37	1379,23	2223,76
освітлювальне:									84,06				95,83	46,38	
БК 0,4 кВ										-549				-549	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 4, 5:									1604,06	830,23			1840,2	876,61	2038,33
Втрати в трансформаторах:													22,58	118,17	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															

Продовження табл. 1.3

Назва групи споживачів	К-сть ЕС	P одн., кВт		P 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
Всього на шинах 10 кВ ТП 4, 5:													1862,78	994,78	2111,77
ТП 6, 7															
Компресорна															
силове:	50	10	90	1200	9	0,7	0,85	0,6	840	520,58	27	1,11	934,36	520,58	1069,59
освітлювальне:									10,08				11,49	5,56	
Всього:									850,08	520,58			945,85	526,14	1082,34
Насосна															
силове:	20	20	200	1200	10	0,7	0,7	1	840	856,97	12	1,18	991,45	856,97	1310,48
освітлювальне:									6,05				6,9	3,34	
Всього:									846,05	856,97			998,35	860,31	1317,89
Всього по ТП 6, 7:															
силове:	70	10	200	2400	20	0,7	0,77	0,8	1680	1377,55	24	1,12	1881,89	1377,55	2332,2
освітлювальне:									16,13				18,39	8,9	
БК 0,4 кВ										-651				-651	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП 6, 7:									1696,13	726,55			1900,28	735,45	2037,63
Втрати в трансформаторах:													22,57	118,12	
Кількість трансформаторів: 3															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 6, 7:													1922,85	853,57	2103,79
Всього по об'єкту															
силове:	720	0,8	200	18200	250	0,4	0,96	0,3	6525	1843,69	182	1,1	7194,46	1843,69	7426,94
освітлювальне:									16,13				261,63	232,86	
Всього:									6754,7	1843,69			7456,09	2076,55	7739,85
Потужність КП 0,4 кВ:										-3963				-3963	
Втрати в трансформаторахрах:													91,38	477,91	
Всього по об'єкту:													7547,47	2554,46	7968,04
Високовольтне навантаження															
СД	2	800	800	1600		0,7	0,9	0,5	1120	-542,44			1120	-542,44	1244,44
Всього високовольтного навантаження:													1120	-542,44	1244,44
Всього по об'єкту 10 кВ:													8667,47	2012,02	8897,94
КП 10 кВ:														-900	
Всього 10 кВ з КП:													8667,47	1112,02	8738,52
tgf = 0,128															

1.4 Графіки електричних навантажень

Для комбінату було проведено розрахунок графіків електричних навантажень, їх параметри згідно методики, описаної у [1]. Результати розрахунків наведено в табл. 1.4–1.6 та зображено на рис. 1.1 – 1.5.

Таблиця 1.4. Вихідні дані для побудови графіків електронавантажень комбінату

№ з/п	Робочі дні		Вихідні дні	
	P, %	Q, %	P, %	Q, %
1	100,00	100,00	50,00	70,00
2	90,00	95,00	50,00	70,00
3	98,00	98,00	50,00	70,00
4	75,00	86,00	50,00	70,00
5	48,00	68,00	50,00	70,00
6	48,00	68,00	50,00	70,00
7	68,00	82,00	50,00	70,00
8	72,00	85,00	40,00	70,00
9	75,00	87,00	40,00	63,00
10	70,00	83,00	40,00	63,00
11	72,00	84,00	40,00	63,00
12	65,00	80,00	40,00	63,00
13	58,00	76,00	40,00	63,00
14	55,00	75,00	40,00	63,00
15	68,00	82,00	40,00	63,00
16	75,00	88,00	40,00	63,00
17	78,00	89,00	40,00	63,00
18	73,00	87,00	40,00	63,00
19	72,00	86,00	50,00	70,00
20	68,00	85,00	50,00	70,00
21	60,00	78,00	50,00	70,00
22	35,00	79,00	50,00	70,00
23	63,00	80,00	50,00	70,00
24	100,00	100,00	50,00	70,00

Таблиця 1.5. Результати розрахунків добових графіків електричнихонавантажень

№ 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	8667	1112	8738	4334	778	4403	7367	945	7427	3683	662	3742
2	7800	1056	7871	4334	778	4403	6630	898	6691	3683	662	3742
3	8494	1090	8564	4334	778	4403	7220	926	7279	3683	662	3742
4	6500	956	6570	4334	778	4403	5525	813	5584	3683	662	3742
5	4160	756	4228	4334	778	4403	3536	643	3594	3683	662	3742
6	4160	756	4228	4334	778	4403	3536	643	3594	3683	662	3742
7	5894	912	5964	4334	778	4403	5010	775	5070	3683	662	3742
8	6240	945	6311	3467	778	3553	5304	803	5364	2947	662	3020
9	6500	967	6572	3467	701	3537	5525	822	5586	2947	595	3006
10	6067	923	6137	3467	701	3537	5157	785	5216	2947	595	3006
11	6240	934	6310	3467	701	3537	5304	794	5363	2947	595	3006
12	5634	890	5704	3467	701	3537	4789	756	4848	2947	595	3006
13	5027	845	5098	3467	701	3537	4273	718	4333	2947	595	3006
14	4767	834	4839	3467	701	3537	4052	709	4114	2947	595	3006
15	5894	912	5964	3467	701	3537	5010	775	5070	2947	595	3006
16	6500	979	6573	3467	701	3537	5525	832	5587	2947	595	3006
17	6760	990	6832	3467	701	3537	5746	841	5807	2947	595	3006
18	6327	967	6400	3467	701	3537	5378	822	5440	2947	595	3006
19	6240	956	6313	4334	778	4403	5304	813	5366	3683	662	3742
20	5894	945	5969	4334	778	4403	5010	803	5074	3683	662	3742
21	5200	867	5272	4334	778	4403	4420	737	4481	3683	662	3742
22	3033	878	3158	4334	778	4403	2578	747	2684	3683	662	3742
23	5460	890	5532	4334	778	4403	4641	756	4702	3683	662	3742
24	8667	1112	8738	4334	778	4403	7367	945	7427	3683	662	3742

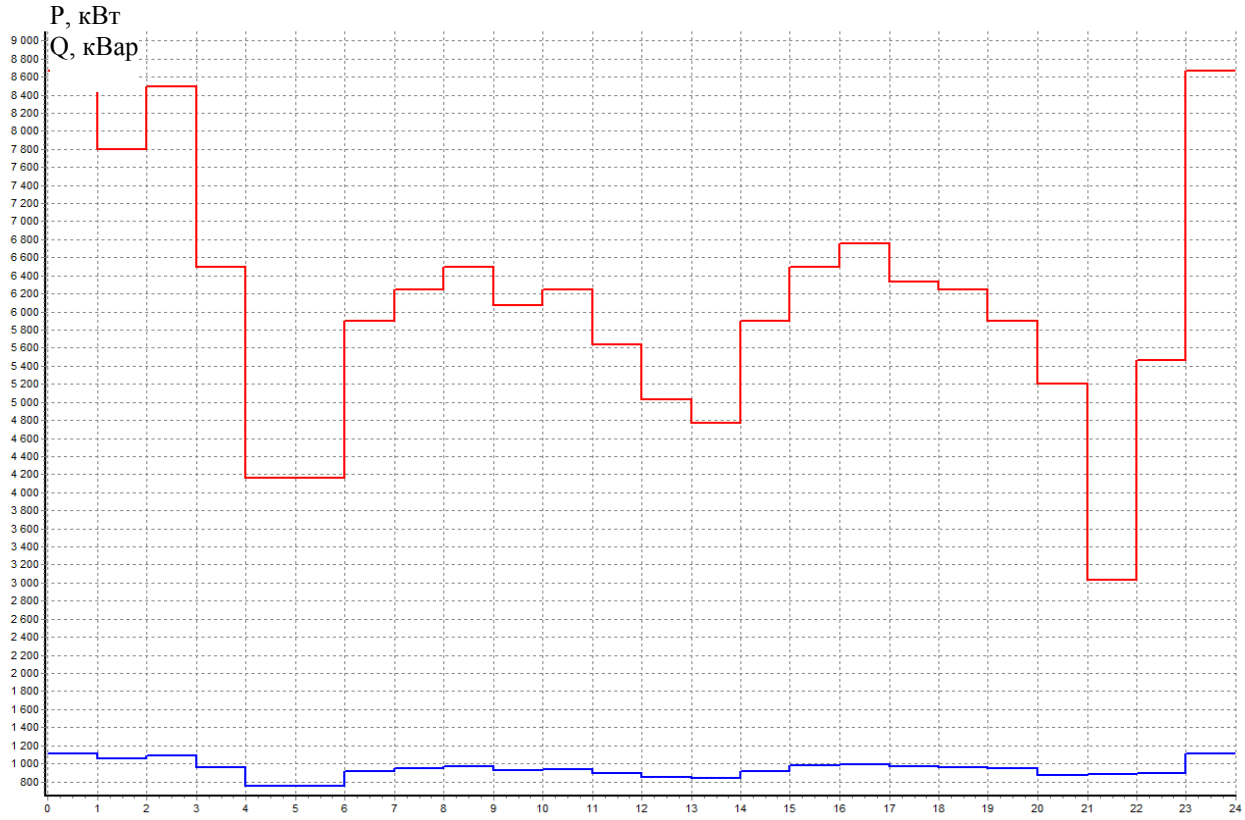


Рис. 1.1. Графіки активної (P) і реактивної (Q) потужності (зим. роб. дні)

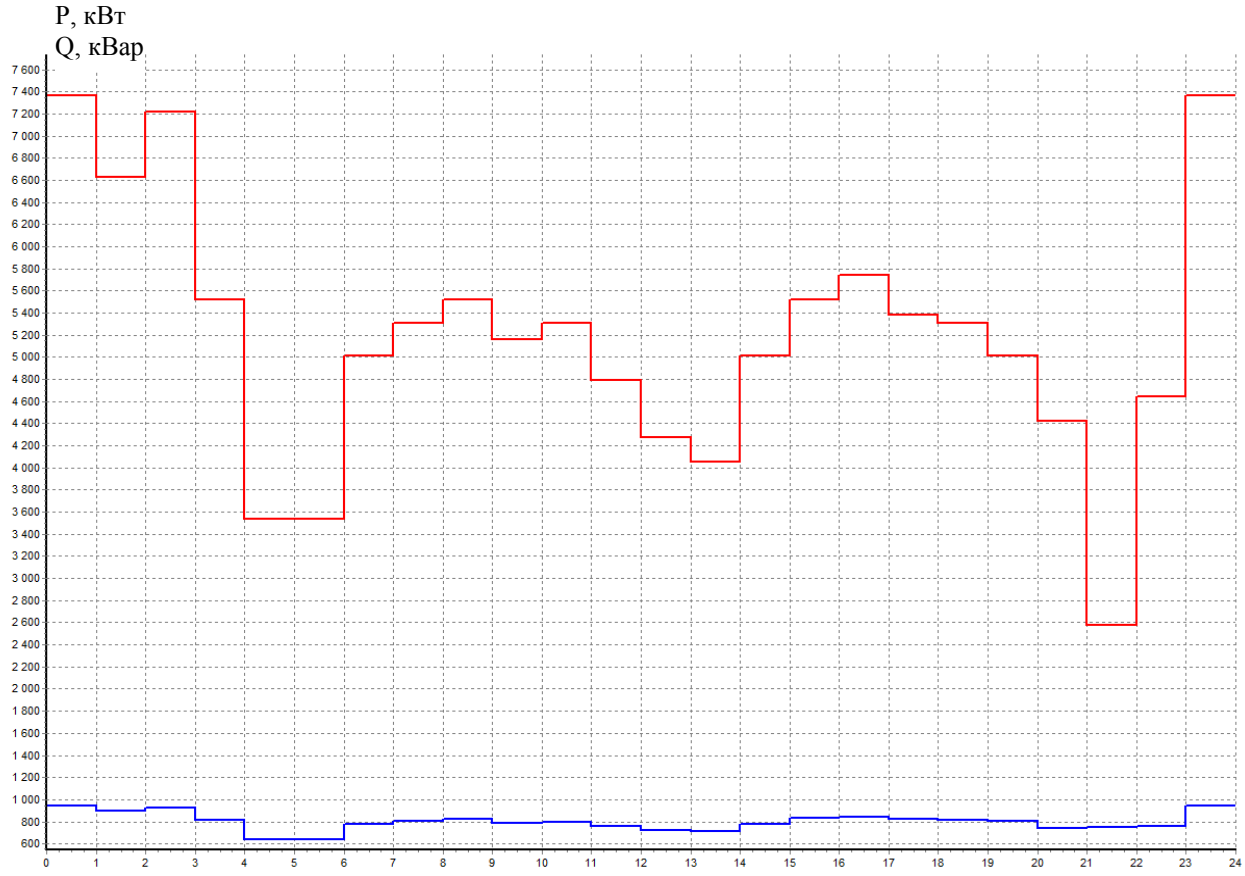


Рис. 1.2. Графіки активної (P) і реактивної (Q) потужності (літн. роб. дні)

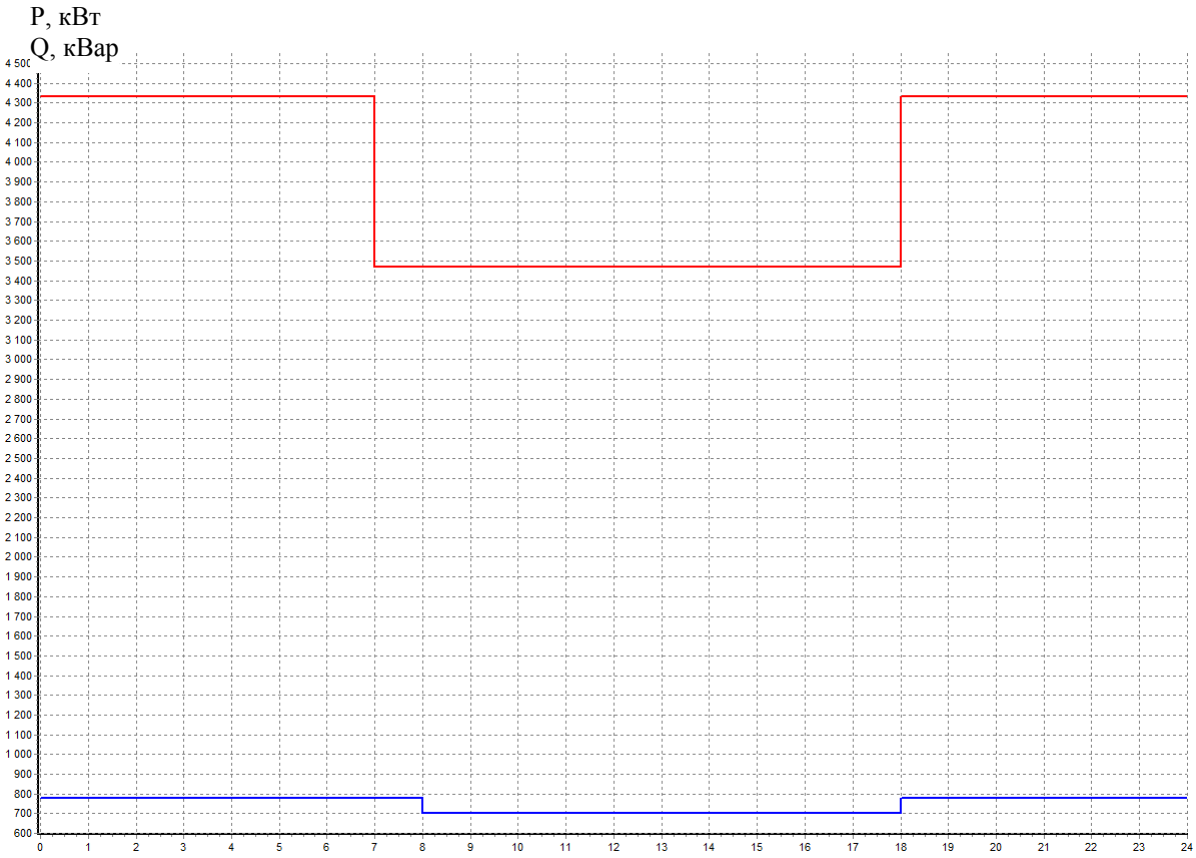


Рис. 1.3. Графіки активної (P) і реактивної (Q) потужності (зим. вих. дні)

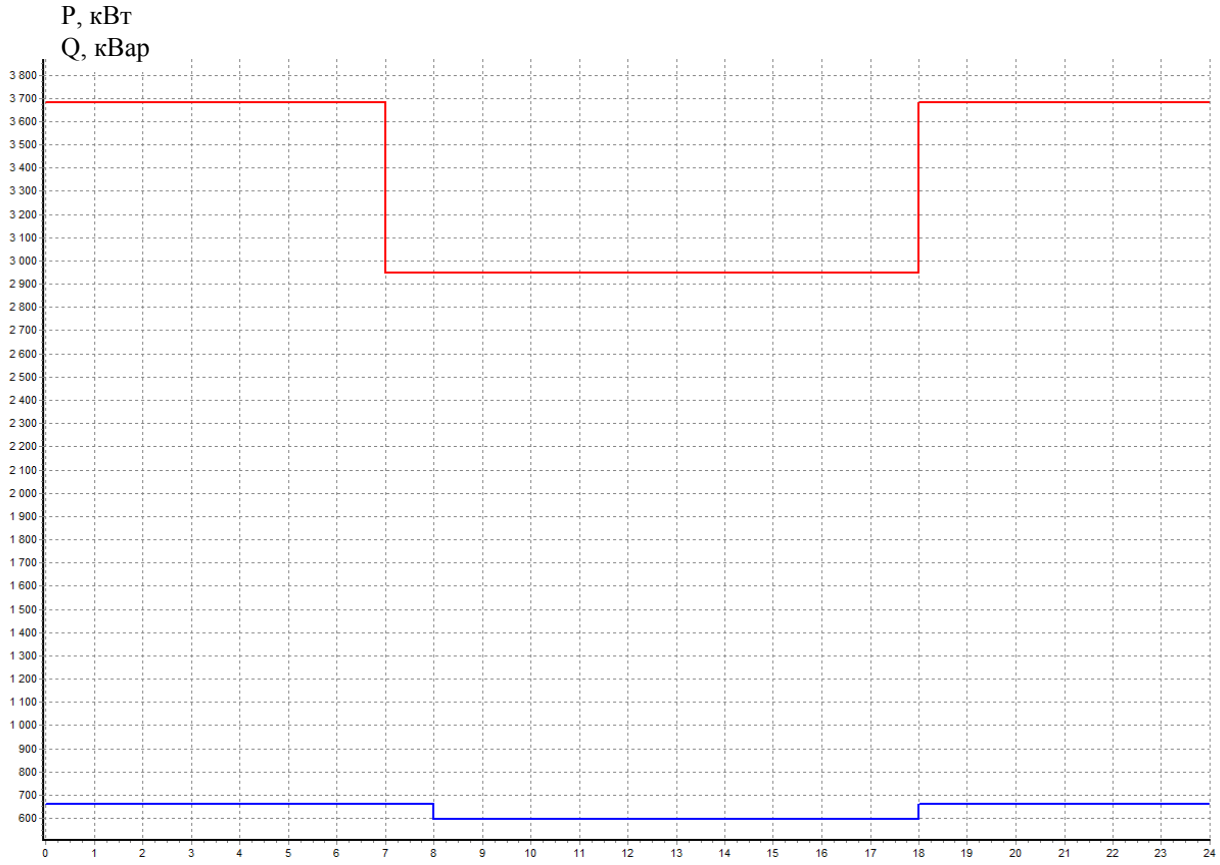


Рис. 1.4 Графіки активної (P) і реактивної (Q) потужності (літн. вих. дні)

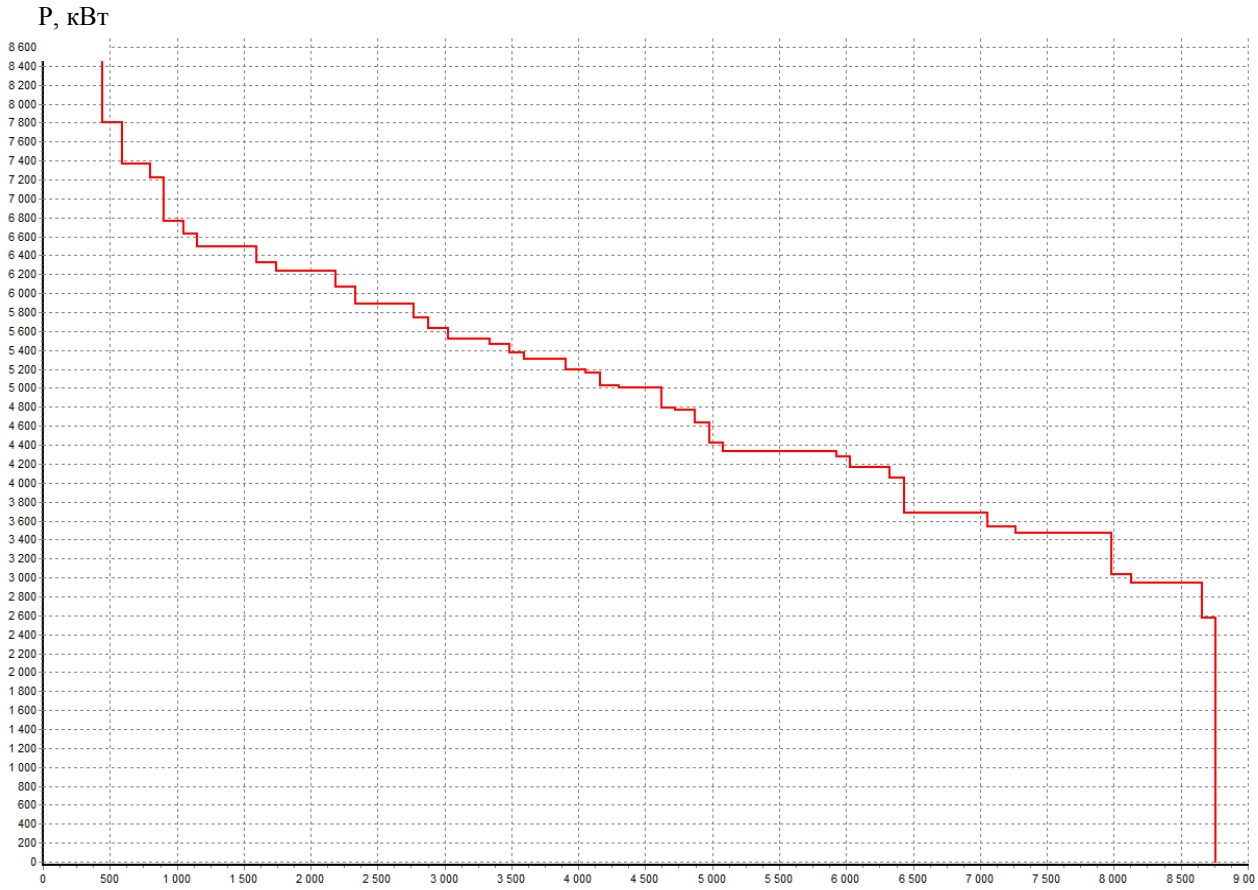


Рис. 1.5. Річний графік активного навантаження по тривалості

Таблиця 1.6. Параметри графіків електричного навантаження

№ з/п	Величина	Одиниця виміру	Значення
1	$S_р$	МВА	8738,05
2	$W_{з.р.}$	кВт·год	21480375
3	$V_{з.р.}$	квар·год	3303384
4	$W_{з.в.}$	кВт·год	6141135
5	$V_{з.в.}$	квар·год	1163630
6	$W_{л.р.}$	кВт·год	13041735
7	$V_{л.р.}$	квар·год	2005605
8	$W_{л.в.}$	кВт·год	3854208
9	$V_{л.в.}$	квар·год	730464
10	$W_р$	кВт·год	44517453
11	$V_р$	квар·год	7203083
12	$T_{мах}$	год	5160,929
13	$\tau_{мах}$	год	3589,138

РОЗДІЛ 2
КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для наочного представлення значень освітлювальних та силових навантажень на генеральному плані підприємства, проводиться розрахунок картограми електронавантажень. Робиться розрахунок за методикою з [1]. Центр електричних навантажень визначено за результатами розрахунку картограми.

Для прикладу подамо розрахунок картограми для кислотного цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.осв}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{2692,82 + 72,39}{3,14 \cdot 0,2}} = 66,34 \text{ мм},$$

$$\alpha_i = \frac{P_{\text{і.осв}} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{72.39 \cdot 360}{2765.21} = 9.42^\circ .$$

Розрахунок для інших підрозділів комбінату виконується аналогічним чином, а результати розрахунку приведені в табл. 2.1.

Координати центру електронавантажень, м:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} = \frac{1425648,06}{8990,25} = 158,58,$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} = \frac{1112980,92}{8990,25} = 123,8 .$$

Під час розрахунку координат центру електронавантажень виявлено, що він збігається з однією із виробничих будівель. Таке розташування може призвести до зворотних перетоків активної електроенергії, центр живлення переноситься в сторону джерела живлення. Розташування розподільного пристрою відображено на генеральному плані комбінату.

Таблиця 2.1. Розрахункові дані для побудови картограми та визначення центру електричних 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
1.	Кислотний цех	2692,82	72,39	2765,21	0,2	66,34	9,42	186,00	201,00	514329,06	555807,21
2.	Сировинне відділення	189,25	20,68	209,93	0,2	18,28	35,46	66,00	204,00	13855,38	42825,72
3.	Відділення для варіння	526,35	38,37	564,72	0,2	29,98	24,46	288,00	192,00	162639,36	108426,24
4.	Відбілювальний відділ	919,95	41,61	961,56	0,2	39,12	15,58	45,00	135,00	43270,20	129810,60
5.	Киснева станція	934,92	31,6	966,52	0,2	39,22	11,77	384,00	111,00	371143,68	107283,72
6.	Цех паперу	419,52	25,86	445,38	0,2	26,62	20,90	270,00	105,00	120252,60	46764,90
7.	Компресорна										
	а) 0.4 кВ	934,36	11,49	945,85	0,2	38,80	4,37	45,00	39,00	42563,25	36888,15
	б) 10.5 кВ (СД)	1120	0	1120,00	0,2	42,22	0,00	45,00	39,00	50400,00	43680,00
8.	Насосна	991,45	6,9	998,35	0,2	39,86	2,49	105,00	39,00	104826,75	38935,65
9.	Територія заводу	0	12,73	12,73	0,2	4,50	360,00	186,00	201,00	2367,78	2558,73
	Всього по заводу	**8728,62**	**261,63**	**8990,25**						**1425648,06**	**1112980,92**

РОЗДІЛ 3
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Метою третього розділу роботи є техніко-економічне обґрунтування вибору схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання комбінату.

3.1 Вибір схеми зовнішнього електропостачання

Під час вибору схеми зовнішнього електропостачання комбінату необхідно орієнтуватися на мінімальне значення приведених затрат згідно [1].

Згідно завдання комбінат може отримувати електричну енергію від підстанції системи з напругою 35/10 кВ, яка розташована за 14,5 км. Для вибору оптимальної схеми зовнішнього електропостачання буде розглянуто такі варіанти:

1. Надходження електроенергії забезпечується кабельними лініями з номінальною напругою 10 кВ.

2. Надходження електроенергії забезпечується повітряними лініями з напругою 35 кВ з встановленням ГЗП 35/10 кВ на території підприємства.

На рис. 3.1 приведено схеми вказаних варіантів зовнішнього електропостачання.

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

Величина розрахункового струму, А:

$$I_{\max} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{8757}{\sqrt{3} \cdot 10} = 505{,}59$$

Підбираємо чотири КЛ типу АСБ-10(3х120) з наступними технічними даними: тривало допустимий струм $I_{доп} = 240$ А, питомі втрати потужності $\Delta P_{1км} = 18$ кВт/км, питома вартість $K_{КЛ} = 50$ тис. грн./км.

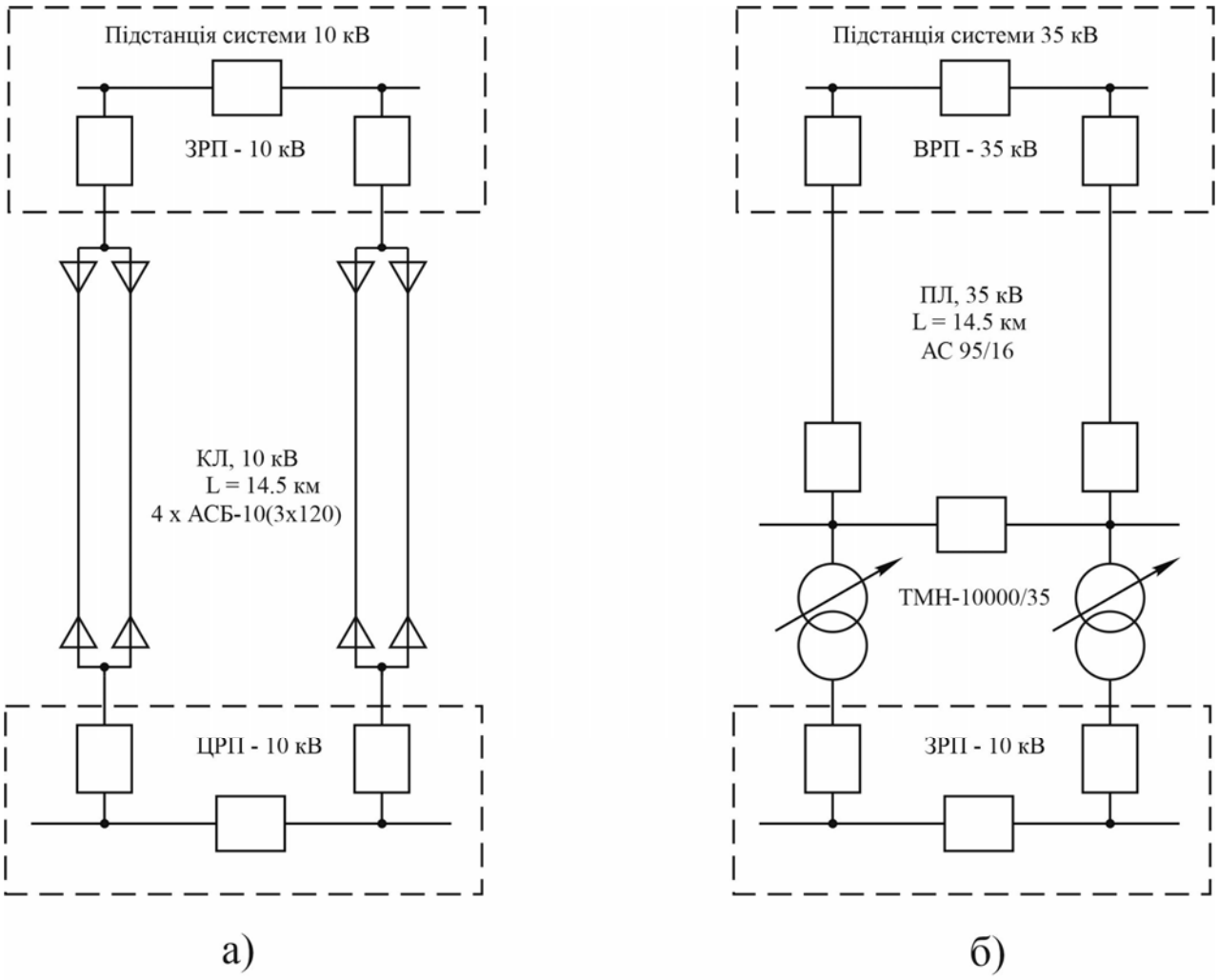


Рис. 3.1. Варіанти схем зовнішнього електропостачання комбінату

Виконаємо перевірку КЛ по умові нагріву за нормального режиму:

$$I_p = 126{,}4 \text{ А} \leq K_n I_{доп} = 0{,}84 \cdot 240 = 201{,}6 \text{ А}$$

Виконаємо перевірку КЛ по умові нагріву за аварійного режиму:

$$I_{р.ав} = 2I_p = 2 \cdot 126{,}4 = 252{,}8 \text{ А} \leq K_{ап} K_n^{'} I_{доп} = 1{,}25 \cdot 1 \cdot 240 = 300 \text{ А}$$

Обрані кабелі задовольняють умови перевірки по умовам нагріву.

Величина коефіцієнта завантаження КЛ за нормального режиму:

$$K_з = \frac{I_р}{I_{доп}} = \frac{126,4}{240} = 0,53$$

Величина втрат потужності в КЛ:

$$\Delta P_{кл} = \Delta P_{1км} l_\Sigma K_з^2 = 18 \cdot 58 \cdot 0,2809 = 293,26 \quad кВт$$

Величина втрат електричної енергії в КЛ:

$$\Delta W_л = \Delta P_л \tau = 146,63 \cdot 3599,32 = 527768,29 \quad кВт \cdot год.$$

Грошова вартість втрат електричної енергії в КЛ:

$$C_{втр} = \Delta W_\Sigma C_0 = 527768,29 \cdot 5,09 \cdot 0,001 = 2686,34 \quad тис.грн.$$

Підсумки розрахунку капітальних вкладень по першому варіанту схеми електропостачання подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Підсумки розрахунку капітальних вкладень по варіанту № 1

№ вар.	*Назва елемента схеми*	*Одиниця*	*Кількість*	*Вартість*	*Всього*
1	КЛ 10 кВ	км	58	50	2900
	Траншея	км.	14,5	14,3	207,35
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	10,7	21,4
Всього					3128,75

Підсумки розрахунку поточних витрат по першому варіанту подано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Підсумки розрахунку поточних грошових витрат по варіанту № 1

№ вар	*Назва елемента схеми*	K_j, тис.грн.	P_{aj}, %	C_{aj}, тис.грн.	$P_{эj}$, %	C_{aj}, тис.грн.	C_j, тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	2900	5	145	5	145	290
	Траншея	207,35	5	10,3675	5	10,3675	20,735
	Шафи КРП серії КУ-10	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							315,015

Схема одного кола включає вимикач 10 кВ, кабельну лінію загальною довжиною 29 км. Для вказаних елементів параметри надійності елементів:

- вимикач: $T_в = 0{,}45 \cdot 10^{-3}$ рік, $\lambda_а = 0{,}004$ 1/рік, $K_п = 2 \cdot 10^{-3}$,

- лінія: $T_в = 0{,}00203$ рік, $\lambda_а = 2{,}32$ 1/рік., $K_п = 0{,}261 \cdot 10^{-3}$.

Значення параметру потоку відмов:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 0{,}004 + 2{,}32 = 2{,}324 \quad 1/\text{рік}$$

Значення середнього часу відновлення 1-го кола:

$$T_в = \frac{\sum \lambda_i T_{вi}}{\lambda} = \frac{(0{,}004 \cdot 0{,}00045 + 2{,}32 \cdot 0{,}00203)}{2{,}324} = 0{,}00202728 \quad \text{рік}$$

Значення коефіцієнту планового простою одного кола:

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

Значення коефіцієнту аварійного простою одного кола:

$$K_а = \lambda T_в = 2{,}324 \cdot 0{,}00202728055077453 = 0{,}0047114$$

Значення коефіцієнту планового простою, коли одне коло виведений в плановий ремонт, а друге відключається при пошкодженні:

$$K_{an} = 0.5\lambda K_n^2 = 0,5 \cdot 2,324 \cdot 0,00000576 = 0,00000669312$$

Значення коефіцієнту аварійного простою двох кіл:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2K_{an} = 0,00002219728996 + 2 \cdot 0,00000669312 = 0,0000355835$$

Значення середньорічного часу аварійного простою, год:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 0,0000355835 \cdot 8760 = 0,31171$$

Розрахунковий збиток внаслідок аварійного недовідпуску електроенергії, тис. грн./рік:

$$У = У_0 P_{ср} T_a = 45 \cdot 5,11 \cdot 0,31171 = 71,68$$

Значення приведених витрат по першому варіанту, тис. грн./рік:

$$З_i = E_н K_i + C_i + C_{втр.i} + У_i = 0.12 \cdot 3128,75 + 315,015 + 2686,34 + 71,68 = 3448,49$$

Аналогічно здійснюються розрахунки значення приведених витрат для варіанту живлення ПЛ напругою 35 кВ. Підсумки порівняння техніко-економічних даних для двох варіантів схем електропостачання в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Підсумки техніко-економічних розрахунків для варіантів схем електропостачання комбінату

Показники	*Варіанти*	
	1	*2*
Капітальні вкладення	3128,75	6697,4
Поточні витрати	315,015	1304,84
Вартість втрат електроенергії	2686,34	1823,24
Збиток	71,68	7,21
Зведені витрати	*3448,49*	*3938,98*

За аналізу даних табл. 3.3 можна побачити, що значення приведених витрат менші для першого варіанту (живлення на напрузі 10 кВ кабельними лініями). Цей варіант прийнято для подальших розрахунків.

3.2 Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Для живлення трансформаторних підстанцій та високовольтного навантаження обрано радіальну схему живлення з допомогою кабельних ліній 10 кВ. Причинами такого рішення є:

- зауважуючи малі відстані між корпусами комбінату, де розміщені підстанції 10/0,4 кВ, таке рішення зменшує втрати потужності в кабельних лініях;
- радіальна схема дозволяє забезпечити високу надійність електропостачання, порівняно з магістральною та змішаною схемами.

В графічній частині кваліфікаційної роботи приведена схема внутрішнього електропостачання комбінату.

РОЗДІЛ 4
РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

В даному розділі кваліфікаційної роботи виконується розрахунок режимів реактивної потужності в системі електропостачання комбінату. Вибір кількості, потужності та місця встановлення пристроїв компенсації, виконання розрахунку балансу реактивної енергії здійснено відповідно методики [1].

4.1 Калькуляція балансу реактивної потужності

Значення номінальної реактивної потужності синхронного двигуна:

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

Розрахункове значення активної потужність синхронного двигуна:

$$P_{СД} = N_{СД} P_{ном} K_{вик} = 2 \cdot 800 \cdot 0{,}7 = 1120 \text{ кВт}$$

Номінальне значення реактивної потужності генерації СД:

$$Q_{сд} = P_{СД} tg\varphi_{н} = 1120 \cdot 0{,}484 = 542{,}08 \text{ кВА}$$

Максимальне значення реактивної потужності, що генерується СД:

$$Q_{\max сд} = \frac{\alpha_M P_{СД} tg\varphi_{н}}{\eta} = \frac{1{,}21 \cdot 1120 \cdot 0{,}484}{0{,}9} = 728{,}8 \text{ кВАр}$$

Підсумкове споживання активної потужності:

$$P_р = P_н + \Delta P_т + P_в + P_{сд} = 7725,1 + 84,29 + 0 + 1120 = 8929,39 \text{ кВт}$$

Підсумкове споживання реактивної потужності:

$$Q_р = Q_н + \Delta Q_т + Q_в - Q_{СД} = 6039,55 + 442,43 + 0 - 542,08 = 5939,9 \text{ кВАр}$$

Споживання реактивної потужності від системи:

$$Q_е = P_р \cdot tg\varphi_с = 8929,39 \cdot 0,15 = 1339,41 \text{ кВАр}$$

Потужність пристроїв компенсації:

$$Q_{КП} = Q_р - Q_е = 5939,9 - 1339,41 = 4600,49 \text{ кВАр}$$

Мінімальне значення кількості трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_н}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{7725,1}{0,7 \cdot 1000} = 11,04 \approx 12 \text{ шт.}$$

Проведемо детальний розрахунок варіантів з числом трансформаторів 10/0,4 кВ: $N_т = N_о$, $N_т = N_о + 1$, $N_т = N_о + 2$.

Випадок 1. Число трансформаторів 10/0,4 кВ $N = N_0 = 12$ шт.

Величина реактивної потужності, яку можна передати з мережі 10 кВ до електромережі 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_н^2} = \sqrt{(12 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 7725,1^2} = 3298,91 \text{ кВАр}$$

Потужність пристроїв компенсації, встановлених в мережі до 1 кВ:

$$Q_{КН} = Q_н - Q_1 = 6039{,}55 - 3298{,}91 = 2740{,}64 \text{ кВАр}$$

Потужність пристроїв компенсації, встановлених в мережі напругою 10 кВ:

$$Q_{КВ} = Q_р - Q_{КН} - Q_е = 5753{,}18 - 2740{,}64 - 1339{,}41 = 1673{,}13 \text{ кВАр}$$

Розрахунок пристроїв компенсації для варіантів з числом трансформаторів $N_0 + 1$, $N_0 + 2$ здійснюється аналогічно. Підсумки приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Підсумки розрахунку потужності пристроїв компенсації

№ варіанту	*Кількість тр-торів*	Q_1, *кВАр*	$Q_{КН}$, *кВАр*	$Q_{КВ}$, *кВАр*
1	12	3298,91	2740,64	1673,13
2	13	4809,66	1229,89	3183,88
3	14	6030,16	9,39	4404,38

4.2 Вибір числа, потужності та місця розміщення пристроїв компенсації

Підсумки визначення потужності високовольтних та низьковольтних пристроїв компенсації для варіантів з числом трансформаторів $N_о$, $N_о + 1$, $N_о + 2$ подані в табл. 4.2 – 4.4.

Таблиця 4.2. Вибір пристроїв компенсації при кількості трансформаторів $N_т$ = 12

№ КТП	К-сть т-рів	$P_р$, кВт	$Q_р$, кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	$K_з$	$S_р$, кВА
1,2	4	2808,96	2404,09	0	2404,09	4·67; 4·536;	2412	-7,91	0,7	2808,97
3	2	1219,59	1053,55	687,46	366,09	3·50; 3·67;	351	15,09	0,7	1407,47
4, 5	3	1859,97	1529,69	974,94	554,75	3·50; 3·133;	549	5,75	0,7	2102,67
6, 7	3	1920,87	1494,65	848,68	645,97	3·67; 3·150;	651	-5,03	0,7	2097,97

БК 0,4 кВ: 3963 квар. БК 10 кВ: 2 х 900 = 1800 квар.

Таблиця 4.3. Вибір пристроїв компенсації при кількості трансформаторів $N_т$ = 13

№ КТП	К-сть т-рів	$P_р$, кВт	$Q_р$, кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	$K_з$	$S_р$, кВА
1,2	5	2808,96	2404,09	2088	316,09	3·112,5;	337,5	-21,41	0,7	3487,27
3	2	1219,59	1053,55	687,46	366,09	3·50; 3·67;	351	15,09	0,7	1407,47
4, 5	3	1859,97	1529,69	974,94	554,75	3·50; 3·133;	549	5,75	0,7	2102,67
6, 7	3	1920,87	1494,65	848,68	645,97	3·67; 3·150;	651	-5,03	0,7	2097,97

БК 0,4 кВ: 1888,5 квар. БК 10 кВ: 2 х 1350 = 2700 квар.

Таблиця 4.4. Вибір пристроїв компенсації при кількості трансформаторів $N_т$ = 14

№ КТП	К-сть т-рів	$P_р$, кВт	$Q_р$, кВАр	$Q_{пр}$, кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Кількість та потужність БК, шт.·кВАр	Сума $Q_{БК}$, кВАр	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, кВАр	$K_з$	$S_р$, кВА
1,2	5	2808,96	2404,09	2088	316,09	3·112,5;	337,5	-21,41	0,7	3487,27
3	2	1219,59	1053,55	687,46	366,09	3·50; 3·67;	351	15,09	0,7	1407,47
4, 5	3	1859,97	1529,69	974,94	554,75	3·50; 3·133;	549	5,75	0,7	2102,67
6, 7	4	1920,87	1494,65	2037,22	0		0	0	0,61	2433,87

БК 0,4 кВ: 1237,5 квар. БК 10 кВ: 2 х 1800 = 3600 квар.

Нижче наведено визначення приведених затрат для варіанту з числом трансформаторів $N_т = N_о$.

Величина втрат активної потужності в КП 0,4 кВ:

$$\Delta P_{КН} = P_{ПИТ}^{КН} \cdot Q_{КН} = 0{,}0045 \cdot 3963 = 17{,}83 \text{ кВт}$$

Величина втрат активної потужності в КП 10 кВ:

$$\Delta P_{КВ} = P_{ПИТ}^{КВ} \cdot Q_{КВ} = 0{,}003 \cdot 900 = 2{,}7 \text{ кВт}$$

Величина втрат активної потужності в трансформаторах, які пов'язані з передачею через них реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_Н^2} R_Т \cdot 10^{-3} = \frac{7725{,}1^2 + 3298{,}91^2}{10^2} \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}001 = 49{,}39 \text{ кВт}$$

де $R_{екв}$ – значення еквівалентного активного опору ТП:

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_К \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8{,}6 \cdot 10^2}{12 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0{,}07 \text{ Ом}$$

Величина втрат активної потужності в двигунах:

$$\Delta P_{СД} = Q_{СД}\left(\frac{D_1}{Q_{ном}} + \frac{2D_2 Q_{СД}}{Q_{ном}^2 N_{СД}}\right) + Q_{СД}^2 \frac{D_2}{Q_{ном}^2 N_{СД}} =$$

$$= 728{,}8 \cdot \left(\frac{0{,}85}{387} + \frac{2 \cdot 0{,}75 \cdot 728{,}8}{387{,}2^2 \cdot 2}\right) + 728{,}8^2 \cdot \frac{0{,}75}{387{,}2^2 \cdot 2} = 5{,}59 \text{ кВт}$$

Вартість пристроїв компенсації 0,4 кВ:

$$K_{КН} = \sum_{i=1}^{n} N_{КН\,i} \cdot K_{КН\,i} =$$

$$= 6 \cdot 3{,}28 + 10 \cdot 3{,}53 + 3 \cdot 4{,}1 + 3 \cdot 4{,}71 + 4 \cdot 10{,}23 = 122{,}33 \text{ тис.грн.}$$

Вартість пристроїв компенсації 10 кВ:

$$K_{КВ} = \sum_{i=1}^{n} N_{КВ\,i} \cdot K_{КВ\,i} = 2 \cdot 10{,}07 = 20{,}14 \text{ тис.грн.}$$

Вартість трансформаторних підстанцій:

$$K_{КТП} = N_{КТП\,(2)} \cdot K_{КТП\,(2)} + N_{КТП\,(1)} \cdot K_{КТП\,(1)} =$$
$$= 5 \cdot 638 + 2 \cdot 337{,}5 = 3865 \text{ тис.грн.}$$

Величина приведених витрат:

$$З = E_Н \left(K_{КН} + K_{КВ} + K_{КТП}\right) + C_0 \tau \left(\Delta P_{КН} + \Delta P_{КВ} + \Delta P_{ТП} + \Delta P_{СД}\right) =$$
$$= 0{,}12 \cdot (122{,}33 + 20{,}14 + 3865) + 5{,}09 \cdot 3599 \cdot (17{,}83 + 2{,}7 + 49{,}39 + 5{,}59) \cdot 10^{-3} =$$
$$= 1864{,}16 \text{ тис.грн.}$$

Визначення приведених витрат по варіантам $N_о + 1$, $N_о + 2$ виконується аналогічно. Підсумки розрахунку подано в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Підсумки визначення приведених витрат на компенсацію РП

№ вар.	$Q_{кн}$, *кВАр*	$\Delta P_{кн}$, *кВт*	$Q_{кв}$, *кВАр*	$\Delta P_{кв}$, *кВт*	$N_{тр}$, *шт.*	$R_{екв}$, *Ом*	$S_{пр}$, *кВА*	$\Delta P_{тп}$, *кВт*	$К_{кн}$, *тис. грн.*	$К_{кв}$, *тис. грн.*	$К_{ктп}$, *тис. грн.*	З, *тис. грн.*
1	3963	17,8	900	2,7	12	0,07	8400	49,39	122,33	20,14	3865	1864
2	1889	8,5	2700	8,1	13	0,07	9100	57,97	78,99	42,54	4202,5	1987
3	1238	5,57	3600	10,8	14	0,06	9800	57,62	54,27	53,52	4503	2011

Найменші приведені витрати має варіант компенсації з числом трансформаторів $N_о = 12$. Даний варіант приймається для подальшого розрахунку.

РОЗДІЛ 5
ВИБІР ЧИСЛА І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ КОМБІНАТУ

У даному розділі кваліфікаційної роботи виконується вибір потужності та числа силових трансформаторів для цехових підстанцій. З метою визначення числа та потужності потрібних трансформаторів використано методику з [1].

Наведемо приклад перевірки вибору силового трансформатора для ТП-1:

$$K_з = \frac{S_р}{n_т S_{номт}} = \frac{1404,48}{2 \cdot 1000} = 0,70,$$

$$S_{номт} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_р}{K_1} = \frac{1404,48}{1,08} = 1300,$$

$$S_{номт} = 1000 \geq \frac{S_р}{K_2} = \frac{1404,48}{1,4} = 1003.$$

Таким чином трансформатор ТМ-1000/10/04 задовольняє умови вибору.

Аналогічним чином виконуються розрахунки для інших підстанцій. Підсумкові результати подані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Підсумкові результати вибору цехових ТП

№ ТП	$S_{роз}$, кВА	Числ		$K_з$	$S_{ном} > S_р/K_1$	$S_{ном} > S_р/K_2$	Тип трансформатора
ТП-1	1404,48	2		0,70	1300	1003	ТМ-1000-10/0,4
ТП-2	1404,48	2		0,70	1300	1003	ТМ-1000-10/0,4
ТП-3	1401,78	2		0,70	1298	1001	ТМ-1000-10/0,4
ТП-4	1398,64	2		0,70	1295	999	ТМ-1000-10/0,4
ТП-5	700,89	1		0,70	649	501	ТМ-1000-10/0,4
ТП-6	1398,64	2		0,70	1295	999	ТМ-1000-10/0,4
ТП-7	699,32	1		0,70	648	500	ТМ-1000-10/0,4

РОЗДІЛ 6
ВИЗНАЧЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ. ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

У цьому розділі кваліфікаційної роботи виконується визначення струмів короткого замикання в системі електропостачання, вибір перерізу кабельних ліній напругою 10 кВ, вибір високовольтних електричних апаратів, вибір номінальної потужності та схеми заживлення трансформаторів власних потреб. Для виконання зазначених розрахунків застосована методика з джерела [1].

6.1 Визначення струмів короткого замикання

З метою визначення струмів короткого замикання було розроблено розрахункову схему (див. рис. 6.1). На ній вказано точки, в яких слід виконати визначення струмів к.з.

Відповідно до розробленої розрахункової схеми, розроблено схему заміщення. На ній всі елементи мережі представлені своїми опорами (рис. 6.2).

Виконаємо визначення активних та реактивних опорів складових компонентів електричної мережі.

Значення опорів системи електропостачання:

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

Величини опорів кабельної лінії КЛ 10 кВ (2хАСБ-10(3х120, 14,5 км):

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0{,}258 \cdot 14{,}5}{2} = 1{,}8705 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0{,}081 \cdot 14{,}5}{2} = 0{,}59 \text{ Ом}$$

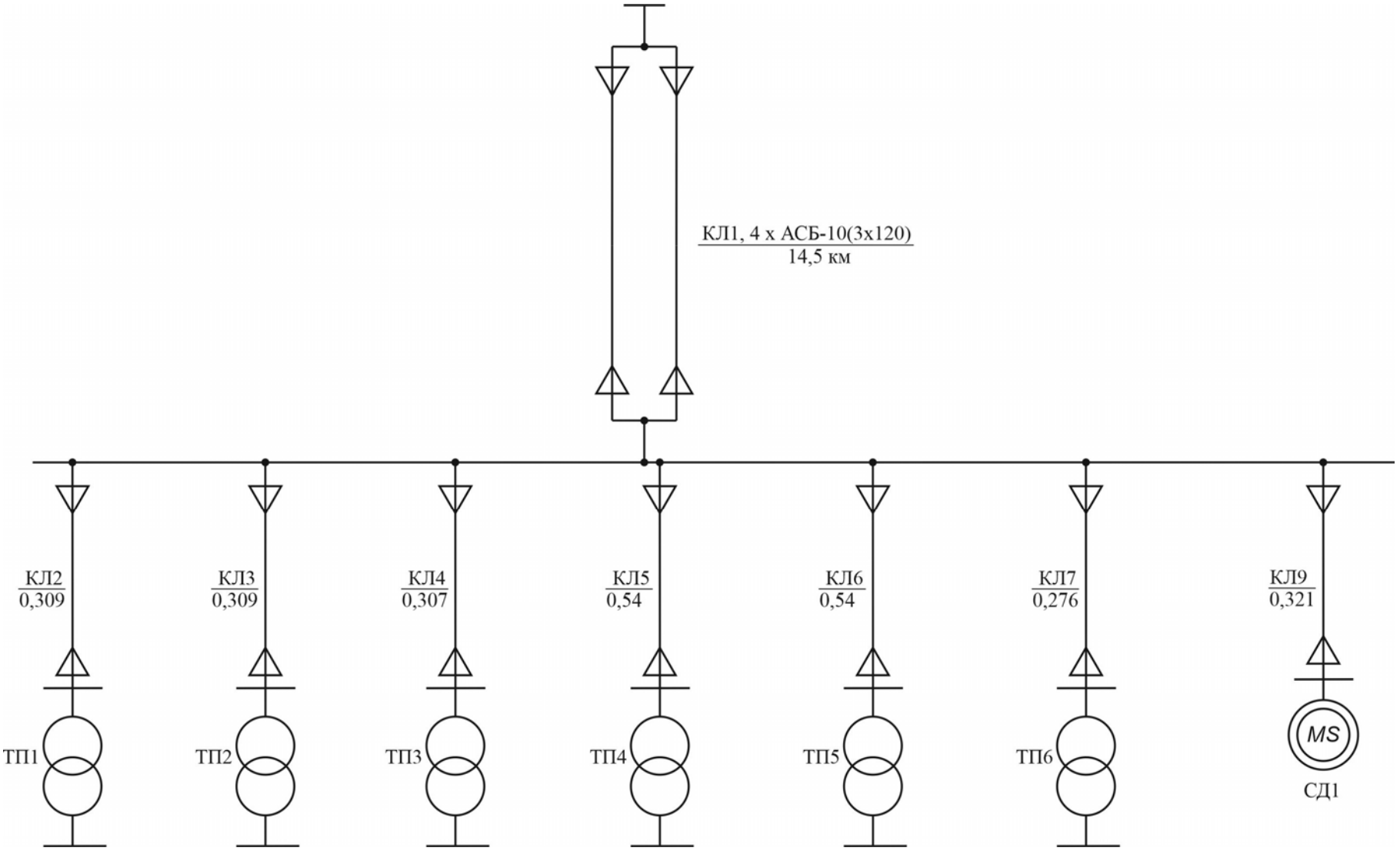


Рис. 6.1. Розрахункова схема системи електропостачання

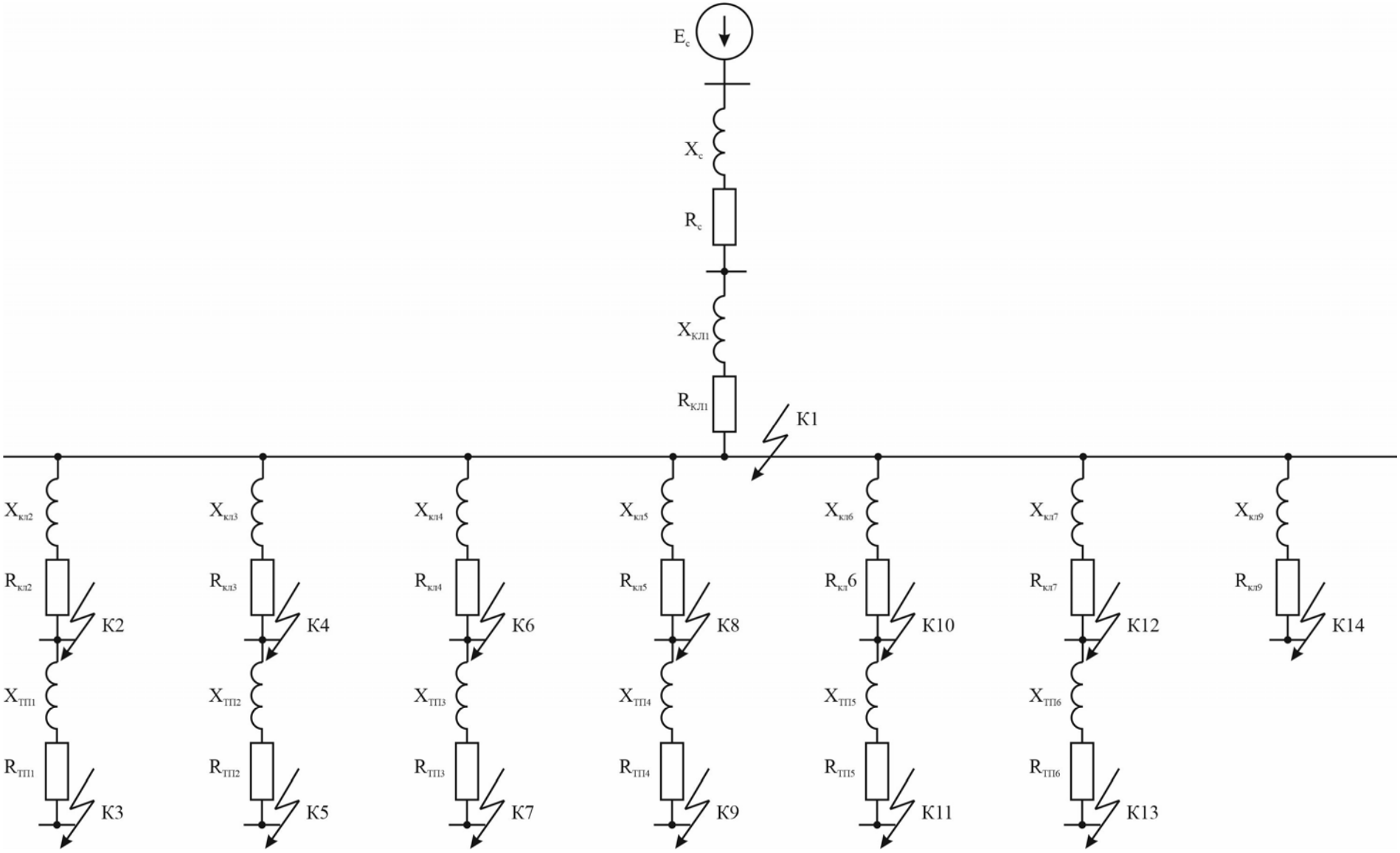


Рис. 6.2. Схема заміщення системи електропостачання

Значення результуючих опори до т. К1:

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = \underline{0{,}039 + 1{,}8705} = 1{,}91 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 0{,}984 + 0{,}59 = 1{,}574 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{1{,}91^2 + 1{,}574^2} = 2{,}475 \text{ Ом}$$

Значення надперехідного струму в т. К1 від системи:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 2{,}475} = 2{,}45 \text{ кА}$$

Значення сталої часу в т. К1:

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1{,}574}{314 \cdot 1{,}91} = 0{,}0026 \text{ с}$$

Значення ударного коефіцієнта в т. К1:

$$k_{уд1} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0{,}01}{0{,}0026}} = 1{,}021$$

Значення ударного струму в т. К1 від системи:

$$i_{уд1(c)} = \sqrt{2}k_{уд}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1{,}021 \cdot 2{,}45 = 3{,}54 \text{ кА}$$

Величина номінальної повної потужності синхронного двигуна:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0{,}8}{0{,}9 \cdot 0{,}96} = 0{,}93 \text{ МВА}$$

Величина номінального струму синхронного двигуна:

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,93}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,051 \text{ кА}$$

Величина надперехідного струму синхронного двигуна:

$$I''_{К1(СД)} = n_{СД} \frac{E_*}{x''_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,2} \cdot 0,051 = 0,561 \text{ кА}$$

Значення сталої часу для синхронного двигуна:

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

Значення ударного коефіцієнта струму підживлення від синхронного двигуна:

$$k_{уд(СД)} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{а(СД)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

Значення ударного струму в т. К1 від синхронного двигуна:

$$i_{уд1(СД)} = \sqrt{2} k_{уд(СД)} I''_{К1(СД)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,561 = 1,44 \text{ кА}$$

Значення сумарного надперехідного струму к.з. на шинах ЦРП:

$$I''_{К1} = I''_{К1(с)} + I''_{К1(СД)} = 2,45 + 0,561 = 3,01 \text{ кА}$$

Значення сумарного ударного струму на шинах ЦРП:

$$i_{уд1} = i_{уд1(с)} + i_{уд1(СД)} = 3{,}54 + 1{,}44 = 4{,}98 \text{ кА}$$

Значення розрахункового струму для лінії КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1404{,}48}{2 \cdot 1{,}73 \cdot 10{,}5} = 38{,}61 \text{ А}$$

Величина теплового імпульса:

$$B_к = I''^2_{К1}\left(t_{р.з.\min} + T_a\right) = 3{,}01^2(1{,}365 + 0{,}0026) = 12{,}39 \quad \text{кА}^2\text{с}$$

Визначимо із умови термічної стійкості мінімальний переріз кабелю:

$$F_{\min} = \frac{1}{C}\sqrt{B_к} = \frac{1}{94}\sqrt{12{,}39} \cdot 10^3 = 37{,}45 \quad \text{мм}^2$$

Обираємо кабель ААШв-10(3 х 50) (допустимий срум $I_{доп\ кл} = 140$ А, погонний активний та індуктивний опори $r_{0кл1} = 0{,}62$ Ом/км, $x_{0кл1} = 0{,}009$ Ом/км,)

Значення активного та індуктивного опору лінії КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0{,}62 \cdot 0{,}309 = 0{,}192 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0{,}09 \cdot 0{,}309 = 0{,}028 \text{ Ом}$$

Результати визначення параметрів для інших КЛ 10 кВ подано в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Підсумок визначення параметрів КЛ 10 кВ

№ КЛ	*l, км*	r_0, *Ом/км*	x_0, *Ом/км*	*R, Ом*	*X, Ом*
1	14,500	0,258	0,081	1,871	0,587
2	0,309	0,620	0,090	0,192	0,028
3	0,309	0,620	0,090	0,192	0,028
4	0,307	0,620	0,090	0,190	0,028
5	0,054	0,620	0,090	0,033	0,005
6	0,054	0,620	0,090	0,033	0,005
7, 8	0,276	0,620	0,090	0,171	0,025
9	0,321	0,620	0,090	0,199	0,029

Значення результуючих опори до т. К2:

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 1{,}91 + 0{,}192 = 2{,}102 \text{ Ом}$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1{,}574 + 0{,}028 = 1{,}602 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{2{,}102^2 + 1{,}602^2} = 2{,}643 \text{ Ом}$$

Значення надперехідного струм в т. К2:

$$I''_{K2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10{,}5}{\sqrt{3} \cdot 2{,}643} = 2{,}29 \text{ кА}$$

Значенян сталої часу в т. К2:

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1{,}602}{314 \cdot 2{,}102} = 0{,}0024 \text{ с}$$

Значення ударного коефіцієнта в т. К2:

$$k_{уд2} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0024}} = 1,016$$

Значення ударного струму в т. К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} k_{уд} I''_{К2} = \sqrt{2} \cdot 1,016 \cdot 2,29 = 3,29 \text{ кА}$$

Значення опорів цехового трансформатора ТП1:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_к U^2_{ср.ном}}{S^2_{ном}} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

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

Значення результуючих опорів до т. К3 (приведено до напруги 0,4 кВ):

$$R_{К3} = (R_{К2} + R_{тр}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 = (2,102 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,0044 \text{ Ом}$$

$$X_{К3} = (X_{К2} + X_{тр}) \left(\frac{U_{нн}}{U_{вн}}\right)^2 = (1,602 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,0111 \text{ Ом}$$

$$Z_{К3} = \sqrt{R^2_{К3} + X^2_{К3}} = \sqrt{0,0044^2 + 0,0111^2} = 0,0119 \text{ Ом}$$

Значення надперехідного струму в т. К3:

$$I''_{К3} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{К3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0119} = 19,41 \text{ кА}$$

Значення сталої часу в т. К3:

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0{,}0111}{314 \cdot 0{,}0044} = 0{,}008 \text{ с}$$

Значення ударного коефіцієнта в т. К3:

$$k_{уд3} = 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0{,}01}{0{,}008}} = 1{,}287$$

Значення ударного струму в т. К3:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} k_{уд} I''_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1{,}287 \cdot 19{,}41 = 35{,}33 \text{ кА}$$

Визначення струмів короткого замикання в других точках системи електропостачання комбінату виконується аналогічним чином. У табл. 6.2 подано підсумки визначення струмів к. з.

Таблиця 6.2. Підсумки визначення струмів к. з.

№ точки к.з.	*R, Ом*	*X, Ом*	$I_к''$, *кА*	T_a, *с*	$k_{уд}$	$i_{уд}$, *кА*
1	1,9100	1,5740	3,01	0,0026	1,021	4,98
2	2,1020	1,6020	2,29	0,0024	1,016	3,29
3	0,0044	0,0111	19,41	0,0080	1,287	35,33
4	2,1020	1,6020	2,29	0,0024	1,016	3,29
5	0,0044	0,0111	19,41	0,0080	1,287	35,33
6	2,1000	1,6020	2,30	0,0024	1,016	3,30
7	0,0044	0,0111	19,41	0,0080	1,287	35,33
8	1,9430	1,5790	2,42	0,0026	1,021	3,49
9	0,0042	0,0111	19,41	0,0084	1,304	35,79
10	1,9430	1,5790	2,42	0,0026	1,021	3,49
11	0,0042	0,0111	19,41	0,0084	1,304	35,79
12	2,0810	1,5990	2,31	0,0024	1,016	3,32
13	0,0044	0,0111	19,41	0,0080	1,287	35,33
14	2,1090	1,6030	2,29	0,0024	1,016	3,29

6.2 Вибір перетину кабельних ліній напругою 10 кВ

Відповідно до ПУЕ [2], перетин струмопровідних жил ліній з напругою вище 1 кВ має обиратися з врахуванням тривало допустимої сили струму в нормальних та післяаварійних режимах. Крім того має бути передбачено можливість росту навантаження на 25-30% від розрахункового. Подамо приклад розрахунку з вибору типу та перетину кабелю для лінії КЛ1.

Значення розрахункового струму КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ср.ном}} = \frac{1404,48}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,61 \text{ А}$$

Приймаємо до використання кабель типу ААШв-10(3х50)

Виконаємо перевірку кабелю за допустимим навантаженням:

$$I_p = 38{,}61 \text{ А} \le K_n \cdot I_{доп} = 0{,}9 \cdot 140 = 126 \text{ А}$$

Виконаємо перевірку в аварійному режимі:

$$I_{ав} = 77{,}22 \text{ А} \le K_{ап} \cdot K_n' \cdot I_{доп} = 1{,}35 \cdot 1 \cdot 140 = 189 \text{ А}$$

Значення теплового імпульсу:

$$B_к = I_{К1}''^2 \left(t_{р.з.\min} + T_a\right) = 3{,}01^2 (1{,}365 + 0{,}0026) = 37{,}45 \quad \text{кА}^2\text{с}$$

Визначимо мінімальний перетин кабелю за термічною стійкостю:

$$F_{\min} = \frac{1}{C}\sqrt{B_к} = \frac{1}{94}\sqrt{12{,}39} \cdot 10^3 = 37{,}45 \quad \text{мм}^2$$

Підсумки вибору інших КЛ подано в табл. 6.3.

6.3 Вибір типів і параметрів електричних апаратів високої напруги

В даному параграфі кваліфікаційної роботи проведено вибір наступних електричних апаратів високої напруги:

- вимикачів 10 кВ;
- розрядників та обмежувачів перенапруги.

Розрахунки виконувалися згідно методики приведеної в [1].

Таблиця .6.3. Підсумки вибору перетину кабельних ліній 10 кВ

№ КЛ	n, шт	$S_р$, МВА	$I_р$, А	$I_{р.ав.}$, А	$F_{ек}$, $мм^2$	$B_к$, $кА^2 с$	F_{min}, $мм^2$	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	$К_п$	$К_п I_{доп}$, А	$К_{ап}$	$К'_п$	$К_{ап} К'_п I_{доп}$, А
1	4	8739	120,13	240,26	100,11	12,39	37,45	4 х АСБ-10(3 х 120)	240	0,8	192	1,35	0,9	291,6
2	2	1404,48	38,61	77,22	32,18	12,39	37,45	2 х ААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
3	2	1404,48	38,61	77,22	32,18	12,39	37,45	2 х ААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
4	2	1407,48	38,7	77,4	32,25	12,39	37,45	2 х ААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
5	2	1401,78	38,54	77,08	32,12	12,39	37,45	2 х ААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
6	1	700,89	38,54	-	32,12	12,39	37,45	1 х ААШв-10(3х50)	140	1	140	-	-	-
7, 8	2	1398,64	38,45	76,9	32,04	12,39	37,45	2 х ААШв-10(3х50)	140	0,9	126	1,35	1	189
9	1	888,89	48,88	-	40,73	12,39	37,45	1 х ААШв-10(3х50)	140	1	140	-	-	-

Підсумки розрахунків для вибору ввідного вимикача 10 кВ подано в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Підсумки вибору вимикача 10 кВ на вводі

Параметр вимикача	*Умова вибору*	*Розрахунок*
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \le U_{ном}$	$10 \le 10$
Довготривалий струм,кА	$I_{роб.форс} \le I_{ном}$	$504{,}55 \le 630$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	 $I_{п\tau} \le I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \le \sqrt{2}\beta_н I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{п\tau} + i_{a\tau} \le$ $\le \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1+\beta_н)$	 $3{,}01 \le 20$ $0 \le 11{,}31$ $1{,}41 \cdot 3{,}01 + 0 <$ $< 1{,}41 \cdot 20 \cdot (1 + 0{,}4)$ $4{,}26 \le 39{,}6$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	 $I'' \le I_{дин.ст}$ $i_y \le 1{,}8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	 $3{,}01 \le 52$ $4{,}98 \le 132{,}37$
Термічна стійкість	$B_к \le I_{TH}^2 t_{TH}$	$11{,}28 \le 1200$

Мінімальне значення часу між моментом початку короткого замикання та до моменту розходження контактів вимикача:

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

Величина аперіодичної складової струму к. з.:

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1{,}41 \cdot 3{,}01 \cdot e^{\frac{-0{,}542}{0{,}0026}} = 0 \text{ кА}$$

Величина теплового імпульсу:

$$B_к = I''^2\left(t_{с.в.} + t_{рз.\max} + T_a\right) = \ 3{,}01^2\ (0{,}042 + 1{,}2 + 0{,}0026) = 11{,}2 \text{ кА}^2\text{с}$$

Підбираємо вакуумний вимикач ВР1-10-20/630.

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

6.4 Вибір потужності і схеми живлення трансформаторів власних потреб

Електрична схема під'єднання трансформаторів для живлення власних потреб розподільного пункту приведена на рис. 6.3.

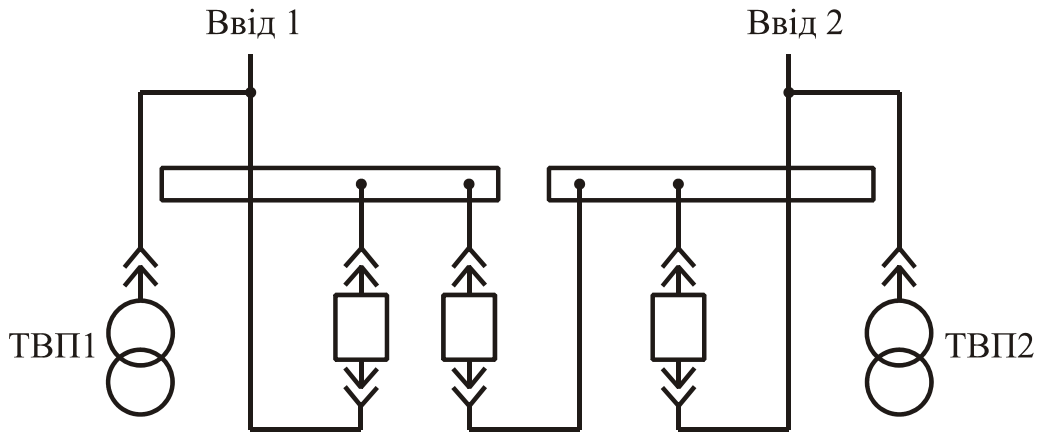


Рис. 6.3. Схема приєднання трансформаторів власних потреб

Підсумки визначення електричного навантаження ТВП подано в табл. 6.5.

Таблиця 6.5. Підсумки визначення електричного навантаження ТВП

№ п/п	*Споживачі*	$P_{ном}$, *кВт*	n, *шт.*	$P_{сум}$, *кВт*	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{уст}$, *кВт*	$Q_{уст}$, *кВАр*
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	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							*68,4*	*19*

Значення сумарного навантаження трансформаторів власних потреб:

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

Значення розрахункової потужності трансформаторів власних потреб:

$$S_р = K_с S_{уст} = 0{,}8 \cdot 70{,}99 = 56{,}79 \text{ кВА}$$

До встановлення приймаємо два трансформатори типу ТМ-40/10.

Коефіцієнт завантаження обраних ТВП:

$$K_з = \frac{S_р}{n \cdot S_{ном}} = \frac{56{,}79}{2 \cdot 40} = 0{,}71$$

6.5 Вибір типів та параметрів вимірювальних трансформаторів

В табл. 6.6 подано підсумки розрахунків з вибору ТС 10 кВ на вводах.

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

Параметр ТС	*Умова вимору*	*Розрахунок*
Номінальна напруга	$U_{уст} \le U_{ном}$	$10 \le 10$
Довготривалий номінальний струм	$I_{роб.форс} \le I_{ном}$	$504{,}55 \le 600$
Динамічна стійкість	$i_y \le i_{дин.}$	$4{,}98 \le 81$
Термічна стійкість	$B_к \le I^2_{тер} t_{тер}$	$11{,}28 \le 2976{,}75$
Вторинне навантаження	$Z_2 \le Z_{ном}$	$0{,}2 \le 0{,}4$

Приймаємо ТЛК-10/600 У1, їх технічні дані подано в табл. 6.7.

Таблиця 6.7. Технічні дані трансформатора струму ТЛК-10/600

Тип	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$I_{д.с.}$	$Z_{2ном}$	$I_{тн}$	$t_н$
ТЛК-10/600 У1	10	600	81	0,4	31,5	3

Підсумки визначення вторинного навантаження для обраного типу трансформатора струму подано в табл. 6.8.

Таблиця 6.8. Підсумки визначення вторинного навантаження ТЛК-10/600

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*

Значення опору вимірювальних та облікових приладів, Ом:

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

Максимальне значення опору провідників, Ом:

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

Мінімальний перетин проводів вторинних кіл трансформаторів струму, мм^2:

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

Приймаємо кабель АКРВГ-6.

Значення опору кабеля, Ом:

$$R_{\text{пров.ст.}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{6} = 0,09$$

Величина вторинного навантаження трансформаторів струму, Ом:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{пров.ст} + R_{конт} = 0,01 + 0,09 + 0,1 = 0,2$$

Підсумки визначення навантаження трансформаторів напруги подано в табл. 6.14.

Таблиця 6.9. Підсумки визначення навантаження трансформаторів напруги

Прилад	*Тип*	*S, ВА*	*Число обмоток*	*Число приладів*	$S_{2\Sigma}$, *ВА*
Вольтметр	Е 377	1	1	1	1
Ватметр	Д-335	1,5	1	1	1,5
Варметр	Д-304	2	1	1	2
Багатофункціональний лічильник	230ART2	7,5	3	1	22,5
Багатофункціональний лічильник	230AR	7,5	2	9	135
Всього					*162*

Приймаємо трансформатори напруги типу НАМИ-10-66-У3 з наступними параметрами: номінальна потужність $S_{ном} = 200$ ВА, номінальна напруга $U_{ном} = 10$ кВ, клас точності 0,5.

РОЗДІЛ 7
РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ СИНХРОННОГО ДВИГУНА 10 КВ

7.1 Організація релейного захисту та автоматики

В приміщенні компресорної комбінату для приводу потужних виробничих механізмів використано синхронні двигуни СТД-800-2 на напругу 10 кВ. Параметри двигунів подано в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Технічні дані синхронного двигуна СТД-800-2

Номінальна напруга, кВ	Номінальна потужність, кВт	ККД, %	Коефіцієнт потужності, в.о.	Час пуску, с	Кратність пускового струму, в.о.
10	800	95	0,95	2	4,5

Синхронний двигун характеризується наступними навантажувальними характеристиками:

– за нормального режиму роботи максимальний розрахунковий струм двигуна прирівнюється його номінальному тривалому струму $I_{\text{р.max}} = I_{\text{ном}}$;

– в режимі запуску виникає пусковий струм, що прирівнюється еквівалентному піковому струмові навантаження $I_{\text{пік}} = I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}$.

На рис. 7.1 представлена основна схема захисту, яка використовується для забезпечення безпеки синхронного двигуна СД. Джерелом живлення для цього двигуна є кабельна лінія КЛ, яка підключена до 1-ї секції шин 10 кВ (1 СШ) центрального розподілювального пункту підприємства. Передача енергії здійснюється за допомогою кабелю марки ААШв-10(3×50) завдовжки 321 метрів, який підключений до шин 10 кВ за допомогою вакуумного вимикача Q. Для моніторингу струму використано однофазні трансформатори струму ТА1 - ТА3, розташовані в кожній фазі живлення, а також трансформатор струму нульової послідовності ТА4, який встановлюється на початку кабельної лінії. Для вимірювання напруги в мережі використовується спеціальний трансформатор напруги TV, який встановлений на першій секції шин 10 кВ. Інформація,

отримана від трансформаторів струму та напруги, надходить до пристрою, що відповідає за захист двигуна.

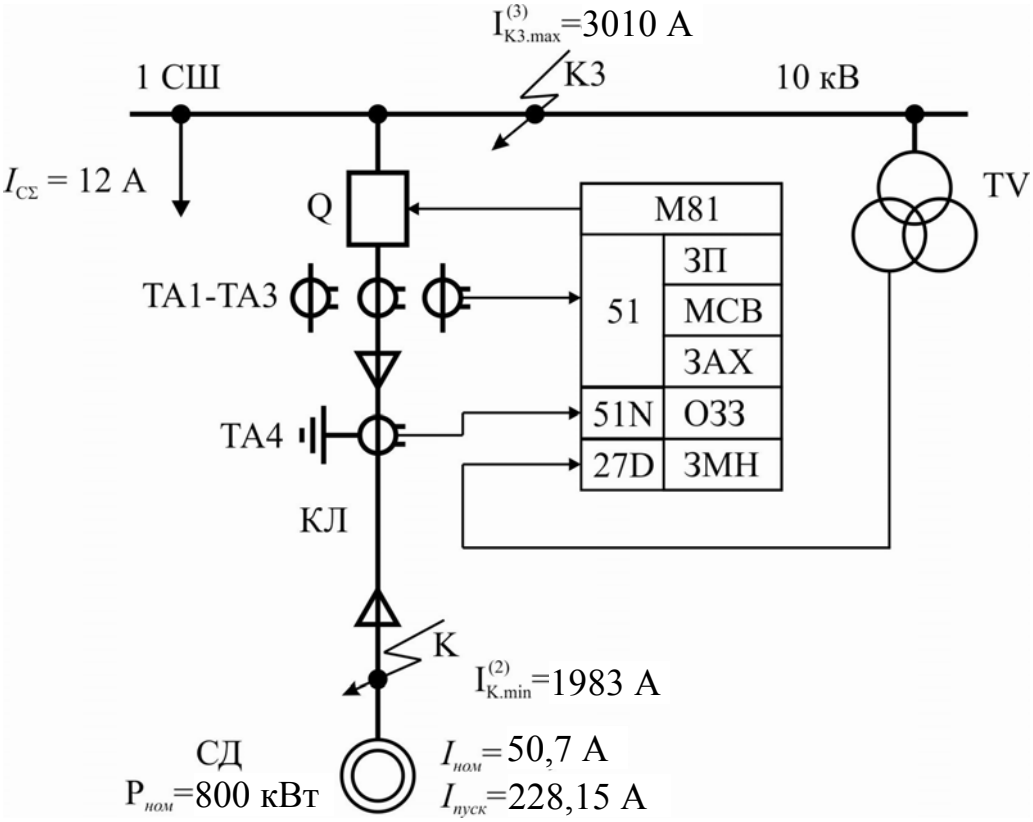


Рис. 7.1. Загальна схема організації захисту синхронного двигуна

Для забезпечення безпеки синхронного двигуна використовується спеціалізований мікропроцесорний пристрій Sepam M81, що розроблений компанією Schneider Electric. У даному випадку, блок M81 надає різні типи захисту, включаючи:

– захист від надмірного навантаження (ЗП);

– миттєве відключення за струмом (МСВ);

– захист мінімальної напруги (ЗМН).

– захист від режимів однофазного замикання на землю (ОЗЗ);

– захист від асинхронного режиму роботи (ЗАХ);

Зовнішній вигляд цього пристрою зображений на рис. 7.2.



Рис. 7.2. Зовнішній вигляд захисного пристрою Sepam M81

Для розрахунку релейного захисту електродвигуна використовуються наступні вихідні дані:

– значення струму трифазного к. з. в мережі живлення в максимальному режимі роботи $I^{(3)}_{\text{КЗ.max}} = 3010$ А;

– значення струму двофазного к. з. на виводах двигуна при мінімальному режимі роботи мереж $I^{(2)}_{\text{К.min}} = 1983$ А;

– результуючий струм ОЗЗ на шинах, куди підключений двигун $I_{\text{СΣ}} = 12$ А.

Проведення розрахунків захистів відбувається згідно з джерелом [1]. Захист від перевантажень реалізується шляхом сигналізації і автоматичного розвантаження механізму, яким навантажений двигун. Миттєве струмове відсічення, захист від асинхронного режиму роботи та захист мінімального зниження напруги виконуються шляхом відключення. Захист від однофазних замикань на землю реалізується шляхом загальної сигналізації ОЗЗ для двигуна та кабельної лінії, яка його живить.

Захист від надмірних навантажень можливо реалізувати із затримкою часу (незалежною чи залежною від величини струму). Слід віддати перевагу захисту із

залежною витримкою часу, адже часострумова характеристика може бути при цьому розміщена ближче до характеристик навантаження синхронного двигуна.

Значення уставки струму захисту від надмірних навантажень $I_{\text{С.ЗП.}}$ має бути відстроєна від величини максимального робочого струму $I_{ном}$ з певним коефіцієнтом надійності відстроювання $К_{\text{Н.ВІДС.}}$, а уставка за часом $t_{\text{С.ЗП.}}$ відстроюється від тривалості пуску $t_{пуск}$ величиною коефіцієнта $К_{\text{ВІДС.}}$

Струмова уставка миттєвої струмової відсічки $I_{\text{С.МСВ.}}$ має бути:

– відстроєна від струму під час пуску $I_{пуск}$ на відповідний коефіцієнт $К_{\text{ВІДС.}}$;

– повинна перевищувати струм двофазного к. з. $I^{(2)}_{\text{К.min}}$ на виводах двигуна в режимі мінімальних навантажень мережі на величину коефіцієнта чутливості $К_{\text{ч}}$

– бути більша трифазного струму к. з. $I^{(3)}_{\text{КЗ.max}}$ в живлячій мережі за режиму максимального навантаження.

Блок захисту Sepam 81 дозволяє реалізувати захист синхронного двигуна за допомогою наступних під блоків:

– підблок ANSI 51 дозволяє реалізувати *захист від перевантаження* за допомогою максимального струмового захисту з часовою витримкою, захист від *міжфазних коротких замикань* за допомогою струмової відсічки (максимальний струмовий захист без витримки часу);

– підблок ANSI 51N дозволяє реалізувати захист від *однофазних замиканнь на землю*; для фіксації фактів таких пошкоджень слугує трансформатор струму нульової послідовності, що визначає сумарний ємнісний струм фаз лінії з наступною передачею до мікропроцесорного блоку для сигналізації режиму;

– підблок ANSI 27D дозволяє реалізувати *захист мінімальної напруги* та дозволяє регулювати уставки напруги і часової витримки для забезпечення селективності із захистами від к. з. та допусків на провали напруги (пуск синхронного двигуна);

– підблок ANSI 51N також дає можливість побудувати *захист від асинхронного ходу*, в основі якого лежить вимірювання величини струму статора.

7.2 Розрахунок параметрів захисту від перевантаження

Під час забезпечення операцій технологічного процесу може виникнути перевантаження синхронного двигуна по струму. З цією метою необхідно передбачити захист від струмових перевантажень. Здійснимо розрахунок уставки спрацювання захисту.

Значення номінального струму СД:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot U_{ном}} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 0,95 \cdot 0,96 \cdot 10} = 50,7 \text{ А}.$$

За умовами відстрочки від номінальної величини струму двигуна:

$$I_{\text{С.ЗП.}} = \frac{\text{К}_{\text{Н.ВІДС.}}}{\text{К}_{\text{ПОВ.}}} I_{ном} = \frac{1,1}{0,94} \cdot 50,7 = 59,32 \approx 60 \text{ А},$$

у виразі $\text{К}_{\text{Н.ВІДС.}} = 1,1$ – коефіцієнт надійності відстроювання захисту;

$\text{К}_{\text{ПОВ.}} = 0,94$ – коефіцієнт повернення

Параметри чутливості захисту слід перевіряти за мінімальним струмом 2-фазного к. з. на виводах СД:

$$\text{К}^{(2)}_{\text{Ч.ЗП.}} = \frac{I^{(2)}_{\text{К.min}}}{I_{\text{С.ЗП.}}} = \frac{1983}{60} \approx 33 > \text{К}^{(2)}_{\text{Ч.ЗП.РЕЗ.}} = 3.$$

Час реагування захисту від перевантажень відстроюється від часу пуску:

$$t_{\text{С.ЗП.}} = \text{К}_{\text{ВІДС.}} \cdot t_{пуск} = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ с}.$$

у виразі $\text{К}_{\text{ВІДС.}} = 1,5$ – коефіцієнт відстройки;

$t_{пуск}$ – час пуску СД.

В терміналах Sepam закладено кілька видів кривих відключення (за МЕК):

SIT (standard inverse time) – зворотнозалежна витримка;

VIT (very inverse time) – дуже зворотнозалежна витримка;

EIT (extremely inverse time) – надзвичайно зворотнозалежна витримка.

Приймаємо рекомендований тип кривої SIT, найбільш пологу характеристику. Для неї коефіцієнти апроксимації α = 0,02 і К = 0,14.

Коефіцієнт T_{MS}^{Q} для кривої, яка проходить крізь точку Q по виразу:

$$T_{MS}^{Q} = \frac{t(I_*^Q) \times \left[(I_*^Q)^{\alpha} - 1 \right]}{K},$$

у виразі $t(I_*^Q)$ – час реакції захисту в функції кратності струму спрацювання, с;

I_*^Q – відношення струму спрацювання захисту до струму уставки.

Для точки Q з $I_*^Q = 10$ маємо:

$$T_{MS}^{Q} = \frac{3 \times \left[(10)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 1.$$

Для розрахунку $t(I_*^Q)$ за інших значень кратності струму застосуємо вираз:

$$t_{с.з.}^{Q}(I_*^Q) = \frac{K \times T_{MS}^{Q}}{(I_*^Q)^{\alpha} - 1}.$$

Для кратності струму 1,1:

$$t_{с.з.}^{Q}(I_*^Q) = \frac{0,14 \times 1}{(1,1)^{0,02} - 1} = 73,4 \text{ с}.$$

Аналогічним чином розраховується для інших кратностей струму. Підсумки розрахунку для інших точок кривої подано в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Характеристика захисту від перевантаження

Тип кривої	K	α	$I_{С.ЗП.}$, А	t^{Q}, с	I_{*}^{Q}, А	T_{MS}^{Q}	$t_{с.з.}^{Q}$, с, при різних I_{*}^{Q}, в.о./А				
							$\frac{1,1}{55}$	$\frac{1,2}{60}$	$\frac{1,5}{75}$	$\frac{5}{250}$	$\frac{10}{500}$
SIT	0,140	0,020	60	17,30	500	1,82	73,40	38,30	17,20	4,30	3,0

Отриману характеристику SIT зображаємо на карті селективності, рис. 7.3.

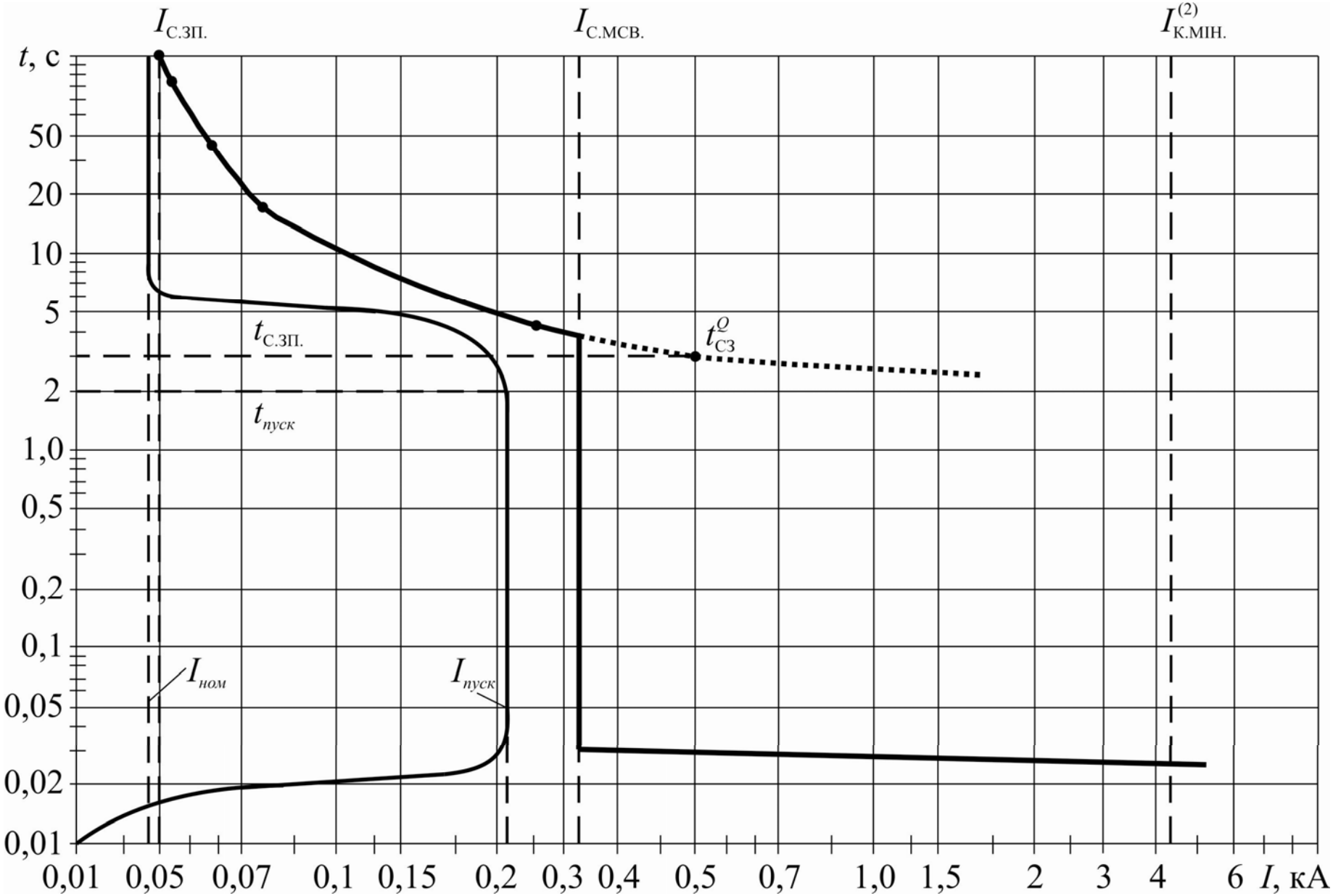


Рис. 7.3. Карта селективності 2-ступеневого захисту лінії живлення СД

7.3 Розрахунок параметрів миттєвої струмової відсічки

Миттєва струмова відсічка слугує основним захистом від к. з. в обмотках статора для СД потужністю нижче 5 МВт.

До захисної схеми висувають такі вимоги:

- простота;

- надійність

- економічність.

Пристрої захисту мають реагувати на величину струму к. з., який протікає до ушкодженого місця від мережі та діяти з нульовою витримкою часу на відключення СД від мережі та на гашення поля в системі збудження.

Величина пускового струму СД:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном} = 4,5 \cdot 50,7 = 228,15 \text{ А},$$

у виразі $k_{пуск}$ – кратність пускового струму.

Величина уставка за струмом миттєвої струмової відсічки має бути відстроєна від пускового струму СД:

$$I_{\text{С.МСВ.}} = \text{К}_{\text{ВІДС.}} \cdot I_{пуск} = 1,4 \cdot 228,15 = 319,41 \text{ А}.$$

Чутливість захисту по струму 2-фазного к. з. на виводах СД:

$$\text{К}^{(2)}_{\text{Ч.МСВ.}} = \frac{I^{(2)}_{\text{К.min}}}{I_{\text{С.МСВ.}}} = \frac{1983}{319,41} = 6,2 > 2.$$

Тож чутливість захисту достатня.

Отримане значення струму захисту нанесено на карту селективності рис. 7.3.

7.4 Розрахунок параметрів захисту від однофазних замикань на землю

Величина струм спрацювання струмового захисту від ОЗЗ приймають з умови відстроювання від величини власного ємнісного струму $I_{\text{С}}$

$$I_{\text{С.ОЗЗ}} \geq \text{К}_{\text{Н.СПР.}} \cdot \text{К}_{\text{БР}} \cdot I_{\text{С}},$$

у виразі $\text{К}_{\text{Н.СПР.}} = 1,2 - 1,3$ – коефіцієнт надійності спрацювання;

$\text{К}_{\text{БР}} = 1$ – коефіцієнт врахування накидів струму при дугових замиканнях;

$I_{\text{С}}$ – значення власного ємнісного струму СД та живлячої лінії.

Величина власного ємнісного струму СД розраховується по формулі:

$$I_{\text{С.Д}} = 3 \cdot \omega \cdot C_{\text{Д}} \cdot U_{\text{ф}},$$

у виразі $C_{\text{Д}}$ – ємність фази статора СД, Ф;

$U_{\text{ф}}$ – фазна номінальна напруга мережі;

ω – кругова частота.

Ємність фази статора СД $C_{\text{Д}}$:

$$C_{\text{Д}} = \frac{40 \cdot (S_{ном} \cdot 10^{-6})^{3/4}}{3 \cdot (U_{\text{л}} + 3,6 \cdot 10^{3}) \sqrt[3]{n_{ном}}} = \frac{40 \cdot (0,8 \cdot 10^{-6})^{3/4}}{3 \cdot (10 \cdot 10^{3} + 3,6 \cdot 10^{3}) \sqrt[3]{3 \cdot 10^{3}}} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ мкФ},$$

у виразі $S_{ном}$ – номінальне значення повної потужності СД, МВА;

$U_{\text{л}}$ – лінійна номінальна напруга СД, В;

$n_{ном}$ –частота обертання вала СД, об/хв.

Значення власного ємнісного струму двигуна:

$$I_{\text{С.Д}} = 3 \cdot 314 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10 \cdot 10^{3}}{\sqrt{3}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Отримане значення струму ОЗЗ, обумовлене ємністю фаз менше 1 А.

Значення власного ємнісного струму кабельної лінії живлячої СД визначають за виразом:

$$I_{\text{С.КЛ}} = I_{\text{ПИТ}} \cdot L_{\text{КЛ}} = 1,25 \cdot 0,321 = 0,4 \text{ А},$$

у виразі $I_{\text{ПИТ}}$ –ємнісний струм на одиницю довжини, А/км;

$L_{\text{КЛ}}$ – довжина живлячої лінії, км.

Значення сумарного ємнісного струму двигуна та живлячої лінії:

$$I_{\text{С}} = I_{\text{С.Д}} + I_{\text{С.КЛ}} = 9,2 \cdot 10^{-3} + 0,4 = 0,41 \text{ А}.$$

Сигналізація про ОЗЗ для СД та живлячої лінії загальною.

Сумарний ємнісний струм на першій секції шин 10 кВ рівний $I_{\text{СΣ}} = 12$ А, що більше 10 А, тому захист виконується загальним для СД і живлячої лінії з дією на відключення.

$$I_{\text{С.ОЗЗ}} \geq 1,2 \cdot 1 \cdot 0,41 = 0,492 \text{ А}.$$

Чутливість захисту визначається формулою:

$$\text{К}_{\text{Ч.ОЗЗ}} = \frac{I_{\text{СΣ}} - I_{\text{С}}}{I_{\text{С.ОЗЗ}}} = \frac{12 - 0,41}{0,492} = 23,56 > 1,5.$$

Таким чином, захист досить чутливий.

7.5 Розрахунок параметрів захисту від асинхронного режиму

При виникненні асинхронного режиму роботи СД в його статорі та роторі відбуваються коливання струму. Даний режим може бути спричинений або просадкою напруги живлення, або зменшенням струму збудження.

Під час асинхронного режиму у СД відбувається перевантаження двигуна. Для його захисту від асинхронного режиму обрано захист від перевантаження реалізований блоком ANSI 51.

7.6 Розрахунок параметрів захисту мінімальної напруги

У випадку зникнення напруги живлення або її істотного зниження СД працює в режимі генератора, підтримує напругу виводах. Тому захист мінімальної напруги може бути побудований за двома підходами:

1. *Мінімальний захист частоти з блокуванням за напрямком потужності.* Внаслідок зниження напруги живлення система збудження СД продовжує підтримувати напругу на виводах. Із-за падіння швидкості обертання знижується і частота цієї напруги. Активна потужність теж змінює напрямок протікання. В звичайному режимі активна потужність передавалась від джерела живлення до СД, а при зниженні напруги – від СД до живлячої мережі.

2. *Двоступеневий захист мінімальної напруги електродвигуна.*

До встановлення передбачається саме такий тип захисту СД.

Величина уставки напруги 1-ї ступені ЗМН розраховано на зниження напруги до величини $U_{\text{МІН1}} = 0{,}7 \cdot U_{\text{ном}}$.

$$U_{\text{С.ЗМН}}^{1\text{ СТ}} = \frac{U_{\text{МІН 1}}}{\text{К}_{\text{ВІДС.}} \cdot \text{К}_{\text{ПОВ.}}} = \frac{0{,}75 \cdot 10}{1{,}1 \cdot 0{,}935} = 7{,}3 \text{ кВ},$$

у виразі де $\text{К}_{\text{ВІДС.}} = 1{,}1$ – коефіцієнт відстроювання;

$\text{К}_{\text{ПОВ.}} = 0{,}935$ – коефіцієнт повернення.

Затримка часу спрацювання 1-ї ступені ЗМН обирається на ступінь селективності вищою від часу дії швидкодійних захистів від багатофазних замикань (МСВ) $t^{1\,\text{СТ}}_{\text{С.ЗМН}} = 0,5 - 1,5$ с. Враховуючи практично нульову витримку часу для цих захистів приймемо $t^{1\,\text{СТ}}_{\text{С.ЗМН}} = 0,5$ с.

Величина уставка напруги 2-ї ступені ЗМН розраховано на зниження напруги до величини $U_{\text{МІН2}} = 0,5 \cdot U_{\text{ном}}$.

$$U^{2\,\text{СТ}}_{\text{С.ЗМН}} = \frac{U_{\text{МІН 1}}}{\text{К}_{\text{ВІДС.}} \cdot \text{К}_{\text{ПОВ.}}} = \frac{0,5 \cdot 10}{1,1 \cdot 0,935} = 4,86 \text{ кВ}.$$

Затримка часу спрацювання 2-ї ступені ЗМН обирається в межах 10-15 с. Приймемо $t^{2\,\text{СТ}}_{\text{С.ЗМН}} = 10$ с.

Зведемо у результуючу табл. 7.3. розраховані параметри захистів.

Таблиця 7.3. Результуюча таблиця параметрів захистів

$I_{\text{ном}}$	50,7 А		
$I^{(3)}_{\text{КЗ.max}}$	3010 А		
$I^{(2)}_{\text{К.min}}$	1983 А		
Вид захисту	Уставки захисту		$\text{К}_{\text{ч}}$
Захист від перевантажень (ЗП)	60 А	3 с	33
Миттєва струмова відсічка (МСВ)	319,41 А	0 с	6,2
Захист від однофазних замикань на землю (ОЗЗ)	0,492 А	0 с	23,56
Захист мінімальної напруги (ЗМН)			
перша ступень ЗМН ($0,75 \cdot U_{\text{ном}}$)	7,3 кВ	0,5 с	–
друга ступень ЗМН)$0,5 \cdot U_{\text{ном}}$)	4,86 кВ	10 с	–

Принципова схема захисту синхронного двигуна заснована на мікропроцесорному терміналі Sepam M81 зображена на рис. 7.4.

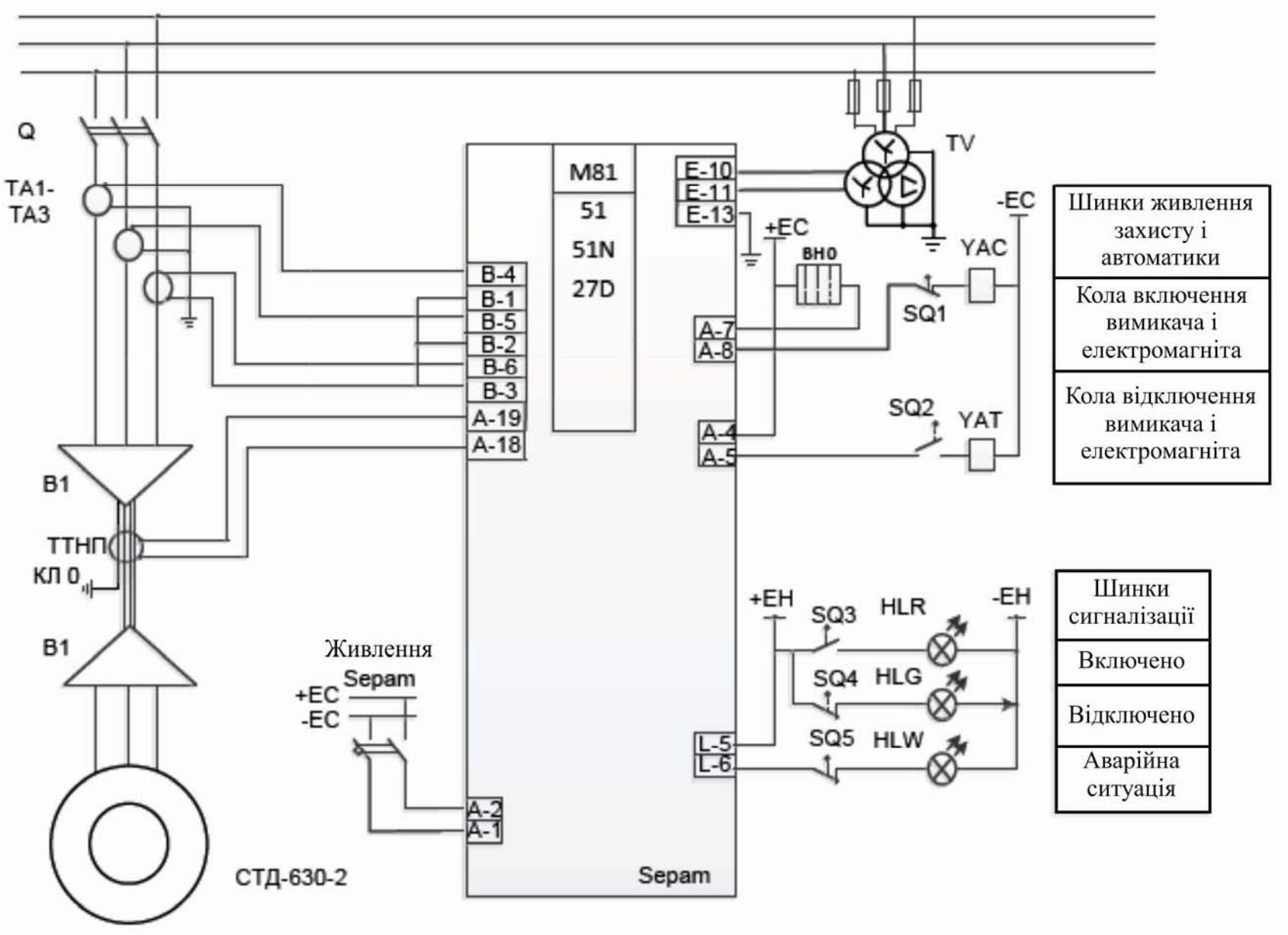


Рис. 7.4 Принципова схема захисту синхронного двигуна заснована на мікропроцесорному терміналі Sepam M81

ВИСНОВКИ

В випускній кваліфікаційній роботі було здійснено проектування системи електропостачання комбінату паперової продукції.

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 14,5 км є більш ефективним варіантом, ніж використання повітряних ліній з напругою 35 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 енергопостачання, яку було розроблено, відповідає вимогам надійності,та економічності, які ставляться до подібних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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. Плєшков, А.Г. Котиш, А.Ю. Орлович. – Кіровоград:КДТУ,2004. – 133.с.

2. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.

3. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 521 с.

4. 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.

5. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2007. – 280 с.

6. 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.

7. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування : навчальний посібник / В. Г. Рудницький. – Суми : Університетська книга, 2006. –153 с.