

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“__” _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**Розробка системи електропостачання групи цехів
заводу сільськогосподарського машинобудування
Development of a power supply system for a group of
workshops of an agricultural machinery plant**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-22-мб,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Денис КУШНЕРЬОВ
«__» _____ 2025 р.

Керівник роботи
доцент, к.т.н.
_____ Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ
«__» _____ 2025 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

«_____» _____ 2025 р.

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

Кушнерьова Дениса Володимировича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електропостачання групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування

Development of a power supply system for a group of workshops of an agricultural machinery plant

2. Керівник роботи Переверзєв Ігор Олексійович, доцент, к.т.н.

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

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи розрахунок електричних навантажень; побудова графіків та картограми електричних навантажень; вибір напруги і електричних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; розрахунок режимів реактивної потужності; вибір трансформаторів; розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж; спеціальний розділ роботи

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>03.03-06.03</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>04.03-24.03</i>	
<i>3</i>	<i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	<i>25.03-10.04</i>	
<i>4</i>	<i>Побудова картограми електричних навантажень</i>	<i>11.04-25.04</i>	
<i>5</i>	<i>Вибір напруги і електричних схем</i>	<i>26.04-5.05</i>	
<i>6</i>	<i>Режими реактивної потужності</i>	<i>6.05-9.05</i>	
<i>7</i>	<i>Вибір трансформаторів</i>	<i>10.05-13.05</i>	
<i>8</i>	<i>Розрахунок струмів КЗ, вибір обладнання та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>14.05-16.05</i>	
<i>9</i>	<i>Дослідження впливу батарей конденсаторів на стійкість асинхронного навантаження</i>	<i>17.05-28.05</i>	
<i>10</i>	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>29.05-30.05</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>31.05-02.06</i>	

Дата видачі завдання

« ___ » _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Ігор ПЕРЕВЕРЗЄВ

Завдання прийнято до виконання

« ___ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

Денис КУШНЕРЬОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 63 с.; 10 рис.; 16 табл.; 11 джерел

Кушнерьов Д.В. Розробка системи електропостачання групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування. – Рукопис.

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

Розробка системи електропостачання групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування є досить комплексне дослідження, що охоплює кілька важливих аспектів проектування електропостачання промислового підприємства.

Основні розрахунки включали в себе: детальний розрахунок електричних навантажень групи цехів РП-2; техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання; розрахунки струмів короткого замикання; вибір високовольтного обладнання.

В роботі розглядалися питання дослідження впливу конденсаторних батарей на стійкість асинхронного навантаження. Використання батарей зменшує вимоги до напруги на шинах 10 кВ, але водночас погіршує показники статичної стійкості навантажувального вузла.

Ключові слова: розподільчі пристрої, батареї статичних конденсаторів, асинхронні двигуни, стійкість режиму, критична напруга, струм короткого замикання, електромеханічні перехідні процеси, електричне навантаження.

ABSTRACT

Qualification work: 63 p.; 10 Fig.; 16 tables; 11 sources

Kushnerov D. Development of a power supply system for a group of workshops of an agricultural machinery plant. – Manuscript.

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

The development of the power supply system of a group of workshops of an agricultural engineering plant is a rather complex study, covering several important aspects of designing the power supply of an industrial enterprise.

The main calculations included: a detailed calculation of the electrical loads of the RP-2 group of workshops; a technical and economic comparison of power supply options; calculations of short-circuit currents; selection of high-voltage equipment.

The work considered the issues of studying the influence of capacitor banks on the stability of asynchronous load. The use of batteries reduces the requirements for voltage on 10 kV buses, but at the same time worsens the static stability indicators of the load unit.

Key words: switchgear, static capacitor banks, induction motors, mode stability, critical voltage, short-circuit current, electromechanical transients, electrical load.

Зміст

Розділ	Назва	Сторінка
	Перелік скорочень	6
1.	Вступ. Коротка характеристика технологічного процесу	7
2.	Розрахунок електричних навантажень	9
2.1.	Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В	9
2.2.	Розрахунок освітлювального навантаження	9
2.3.	Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В	10
3.	Побудова графіків електричних навантажень	22
4.	Побудова картограми електричних навантажень та вибір місця розташування РП-2	27
5.	Вибір напруги і схеми зовнішнього і внутрішнього електропостачання	29
6.	Компенсація реактивної потужності	35
6.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації	35
6.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	37
7.	Вибір кількості, потужності трансформаторів	38
7.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	38
7.2.	Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	38
8.	Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання	40
8.1.	Розрахунок струмів коротких замикань	40
8.2.	Вибір високовольтного обладнання та пристроїв силових мереж	43
9.	Дослідження впливу батарей конденсаторів на стійкість асинхронного навантаження	46
10.	Висновки	56
11.	Перелік посилань	57
	Додатки	59
	Додаток А	60

					Кваліфікаційна робота					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Кушнерьов			Розробка системи електропостачання групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування			Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Переверзев							5	63
Н.контр.		Переверзев			ЦНТУ, гр. ЕЕ-22мб					
Затвер		Плещков								

Перелік скорочень

СЕП – система електропостачання

АД – асинхронний двигун

БСК – батарея статичних конденсаторів

ГЗП – головна знижувальна підстанція

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ТС – трансформатор струму

ТН – трансформатор напруги

ТВП – трансформатор власних потреб

КЗ - коротке замикання

КП – компенсуючі пристрої

ДРП – джерело реактивної потужності

						Арх.
						6
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Системи електропостачання промислових і сільськогосподарських підприємств створюються з метою забезпечення безперебійного та надійного живлення електричної енергії для широкого спектру споживачів. До таких споживачів належать: електродвигуни виробничого обладнання (верстати, насоси, транспортери тощо); електричні печі для плавлення, термообробки металів; електролізні установки; зварювальні апарати; системи освітлення цехів, складів та офісів; інші спеціалізовані електроприймачі.

Завдання систем електропостачання – забезпечити безперервну, економічну, безпечну та якісну подачу електроенергії з урахуванням особливостей технологічних процесів, характеру навантаження та перспектив розвитку підприємства.

Завод сільськогосподарського машинобудування є сучасним спеціалізованим підприємством, яке здійснює виробництво широкого спектра продукції як для агропромислового комплексу, так і для широкого вжитку. Основні напрямки діяльності підприємства включають:

- виробництво сільськогосподарської техніки: поливальні машини, які користуються широким попитом як в Україні, так і за її межами; сучасні машини для рослинництва, зокрема посівний комплекс, що забезпечує високу продуктивність і ефективність аграрних робіт.

- товари народного споживання: опалювальні агрегати для побутового та промислового використання; сантехнічне обладнання, призначене для житлових та виробничих об'єктів; обладнання і комплектуючі для швейної промисловості, що застосовуються в легкій промисловості; широкий асортимент електроприладів, що відповідає сучасним стандартам енергоефективності та безпеки; запасні частини для автомобілів, що охоплюють як легкові, так і вантажні транспортні засоби.

						Арх.
						7
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу підприємства входить більше двадцяти виробничих приміщень, які працюють комплексно і складають цілісну структурну одиницю. В основних корпусах знаходиться практично все силове обладнання.

Електропостачання РП-2 здійснюється від ГЗП заводу. Струм КЗ на шинах 10 кВ 7,43 кА та відстань $l = 300$ м.

Заданий коефіцієнт потужності $tg\varphi = 0,15$. Споживачі електроенергії відносяться до II та III категорії. Завод працює в 2 зміни. Район розміщення відноситься до III кліматичного району.

						Арх.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Виконаємо методом впорядкованих діаграм [3,4] обчислення електричних навантажень.

Усі обчислення робимо в таблицях (див. Табл. 2.1).

2.2. Розрахунок освітлювального навантаження

Розрахункове освітлювальне навантаження визначаємо через коефіцієнт попиту [3, 4]. Всі розрахунки робимо в Табл.2.2.

Таблиця 1.2 – Розрахунок освітлювального навантаження

№ п/п	Приміщення	$F, \text{ м}^2$	$P_{уд}, \text{ Вт/м}^2$	K_c	$P_{ро}, \text{ кВт}$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$Q_{ро}$ квар
1	Інструментальний цех	2160	18	0,8	31,1	0,8	0,75	23,3
2	Цех виробів гідравліки	5760	16	0,8	73,7	0,8	0,75	55,3
3	Механічний цех	5760	17	0,8	78,3	0,8	0,75	58,8
4	Ливарний цех	7200	12	0,7	60,5	0,7	1,02	61,7
5	Заготів. штамповочний цех	5184	12	0,7	43,5	0,7	1,02	44,4
6	Фарбувальний цех	2880	18	0,8	41,5	0,7	1,02	42,3
7	Дільниця гальванопокрить	4920	16	0,8	63,0	0,7	1,02	64,2
8	Цех порошкової металургії	3936	16	0,7	44,1	0,8	0,75	33,1
9	Механозбиральний цех	3840	17	0,7	45,7	0,7	1,02	46,6
10	Ремонтний цех	3360	17	0,7	40,0	0,7	1,02	40,8
11	Термічна дільниця	1584	12	0,7	13,3	0,7	1,02	13,6
					521			471

									Арх.
									9
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата					

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

Розрахунок навантаження по підстанціям групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування робимо в табл. 2.3 з урахуванням компенсації реактивної потужності (розділ 6)

						Арх.
						10
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.2.1 Розрахунок навантаження на шинях 0.4 кВ групи цехів РП-2 заводу

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість кість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P	
	Інструментальний цех														
1	Металоріжучі верстати	10	42,5	79	676 <3	0,20	0,50	1,73	135,2	234,17					
2	Токарний верстат	10	1,5	5	22 >3	0,60	0,80	0,75	13,2	9,90					
3	Вентиляція	5	1,5	35	140 >3	0,50	0,70	1,02	70,0	71,41					
4	Стенди	20	2,5	30	480 >3	0,60	0,80	0,75	288,0	216,00					
5	Транспортер	2	11	11	22 <3	0,60	0,70	1,02	13,2	13,47					
6	Кран	11	116	116	1276 <3	0,20	0,50	1,73	255,2	442,02					
7	Обладнання автоматичної лінії	4	7	7	21 <3	0,60	0,80	0,75	12,6	9,45					
8	Конвеєр	4	9	9	36 <3	0,6	0,8	0,75	21,6	16,20					
9	Ел. візок	1	2,7	2,7	2,7 <3	0,6	0,7	1,02	1,6	1,65					
10	Насосна	1	8	8	8 <3	0,65	0,8	0,75	5,2	3,90					
11	Тр-р зварювальний	2	14	14	28 <3	0,3	0,35	2,68	8,4	22,48					
12	Випрямляч зварювальний	2	12,6	33,3	45,9 <3	0,4	0,5	1,73	18,4	31,80					
13	Ножиці	2	1,5	1,5	3 <3	0,5	0,8	0,75	1,5	1,13					
14	Фрезерний верстат	5	4	28	110 >3	0,6	0,8	0,75	66,0	49,50					

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт				
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P		
	Цех виробів гідравліки															
15	Прес	7	5	30	185 >3	0,12	0,6	1,33		22,2						
16	Наждачні верстати	11	5	5	55 <3	0,12	0,5	1,73		6,6						
17	Верстати свердлильні	5	5	7,5	30 <3	0,12	0,5	1,73		3,6						
18	Зварювальні тр-ри	6	6	15	72 <3	0,30	0,4	2,29		21,6						
19	Випрямляч зварювальний	3	12,6	33,3	45,9 <3	0,40	0,5	1,73		18,4						
20	Збірні стенди	3	5	5	15 <3	0,40	0,8	0,75		6,0						
21	Ножиці	2	1,5	1,5	3 <3	0,50	0,8	0,75		1,5						
22	Токарний верстат	10	1,5	5	22 >3	0,60	0,8	0,75		13,2						
23	Вентиляція	5	1,5	22	70 >3	0,50	0,7	1,02		35,0						
24	Транспортер	2	11	11	22 <3	0,60	0,7	1,02		13,2						
25	Кран	3	7,5	7,5	22,5 <3	0,20	0,5	1,73		4,5						
26	Обладнання автоматичної лінії	3	7	7	21 <3	0,60	0,8	0,75		12,6						
27	Конвеєр	2	9	9	18 <3	0,60	0,8	0,75		10,8						
28	Електровізок	1	2,7	2,7	2,7 <3	0,60	0,7	1,02		1,6						
29	Насосна	1	8	8	8 <3	0,65	0,8	0,75		5,2						
	Всього по поз.15-29	64	1,5	33,3	592,1 >3	0,30	0,62	1,27		176,0				228,5	224,2	320,1

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість кість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	<u>Механічний цех</u>															
30	Металоріжучі верстати	32	1,5	120	2080 >3	0,40	0,7	1,02	832,0	848,81						
31	Стенди збірки	10	1,5	5	38 >3	0,60	0,80	0,75	22,8	17,10						
32	Транспортер	2	11	40	51 >3	0,60	0,7	1,02	30,6	31,22						
33	Кран	5	10,4	10,4	52 <3	0,20	0,5	1,73	10,4	18,01						
34	Електровізок	1	3	3	3 <3	0,60	0,7	1,02	1,8	1,84						
35	Електроножиці	2	1,5	1,5	1,5 <3	0,50	0,7	1,02	0,8	0,77						
36	Конвеєр	4	9	55	174 >3	0,60	0,8	0,75	104,4	78,30						
37	Вентиляція	6	1,5	35	140 >3	0,60	0,7	1,02	84,0	85,70						
38	Зварювальний тр-р	6	14	30	124 <3	0,30	0,5	1,73	37,2	64,43						
	Всього по поз.30-38	68	1,5	120	2663,5 >3	0,42	0,70	1,02	1124,0	1146,17	44	1,19	1340,5	1146,2	1763,7	
	<u>Ліварний цех</u>															
39	Станки металообробні	17	5,5	5,5	93,5 <3	0,12	0,65	1,17	11,2	13,12						
40	Сантехнічне обладнання	25	7,5	7,5	187,5 <3	0,4	0,75	0,88	75,0	66,14						
41	Виробничі механізми	35	12	22	430 <3	0,4	0,65	1,17	172,0	201,09						
42	Насоси	15	15	15	225 <3	0,8	0,75	0,88	180,0	158,75						
43	Кран -балка ПВ25% (20,7кВт)	2	10,4	10,4	20,7 <3	0,15	0,5	1,73	3,1	5,38						

Продовження Табл.2.1

№п /п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність			m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ						P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P	
44	Вентилятори	4	4	4	16	<3	0,4	0,8	0,75	6,4	4,80					
45	ЕПО	8	105	105	840	<3	0,6	0,8	0,75	504,0	378,00					
46	Ливарне обладнання	10	11	40	300	>3	0,6	0,6	1,33	180,0	240,00					
	Всього по поз.39-46	116	4	105	2112,7	>3	0,54	0,73	0,94	1131,7	1067,3	40	1,15	1305,3	1067,3	1686,1
	Заготів.штамповочний цех															
47	Прес К5ПРА	18	22	85	848	>3	0,40	0,70	1,02	339,2	346,05					
48	Вентиляція	5	7	35	115	>3	0,8	0,8	0,75	92,0	69,00					
49	Верстати	6	4	38	123	>3	0,4	0,7	1,02	49,2	50,19					
50	Молот	1	35	35	35	<3	0,7	0,7	1,02	24,5	24,99					
51	Ел. Ножичі	1	2,5	2,5	2,5	<3	0,3	0,65	1,17	0,8	0,88					
52	Випрямляч зварювальний	4	55	55	220	<3	0,5	0,5	1,73	110,0	190,53					
53	Насоси	2	7	7	14	<3	0,8	0,8	0,75	11,2	8,40					
54	Кран 10т	1	85	85	85	<3	0,2	0,5	1,73	17,0	29,44					
55	Прес винтовий	6	60	60	360	<3	0,5	0,65	1,17	180,0	210,44					
56	Прес ножичі комбіновані	1	35,5	35,5	35,5	<3	0,5	0,63	1,23	17,8	21,77					
	Всього по поз.47-56	45	2,5	85	1838	>3	0,46	0,66	1,13	841,6	951,70	43	1,18	992,4	951,7	1375,0

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість кість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	<u>Фарбувальний цех</u>															
57	Ел. Сушка	6	50	125	445 <3	0,7	1,00	0,00	311,5	0,00						
58	Інфрачервоні інжектори	3	5	9	19 <3	0,6	1,00	0,00	11,4	0,00						
59	Транспортер	4	4	4	16 <3	0,6	0,70	1,02	9,6	9,79						
60	Вентиляція	10	3	45	350 >3	0,8	0,80	0,75	280,0	210,00						
61	Конвеєр	1	6	6	6 <3	0,6	0,70	1,02	3,6	3,67						
62	Печі опору	3	30	30	90 <3	0,8	0,95	0,33	72,0	23,67						
63	Дрібні нагрівальні пристрої	10	1,5	5,5	40,5 >3	0,4	0,80	0,75	16,2	12,15						
64	Насоси	11	5	55	420 >3	0,5	0,80	0,75	210,0	157,50						
65	Випрямляч	4	50	130	400 <3	0,7	0,80	0,75	280,0	210,00						
	Всього по поз.57-65	52	1,5	130	1786,5 >3	0,67	0,89	0,52	1194,3	626,78	27	1,13	1345,4	626,8	1484,3	
	<u>Дільниця гальванопокрить</u>															
66	Гальванічна лінія LN-130	2	70	70	140 <3	0,7	0,7	1,02	98,0	99,98						
67	Гальванічна лінія АЛГ-128	2	88	88	176 <3	0,7	0,7	1,02	123,2	125,69						
68	Гальванічна лінія LN-624	2	160	160	320 <3	0,7	0,7	1,02	224,0	228,53						
69	Гальванічна лінія LN-623	1	260	260	260 <3	0,7	0,7	1,02	182,0	185,68						
70	Вентиляція	10	10	35	280 >3	0,5	0,7	1,02	140,0	142,83						
71	Кран	2	10,4	10,4	20,8 <3	0,2	0,5	1,73	4,2	7,21						
	Всього по поз.66-71	19	10	260	1196,8 >3	0,64	0,70	1,02	771,4	789,91	9	1,26	974,1	868,9	1305,3	
	<u>Цех порошкової металургії</u>															
72	Сепаратор магнітний	5	3	3	15 <3	0,60	0,70	1,02	9,0	9,18						
73	Прістрій охолодження	4	38	38	152 <3	0,60	0,70	1,02	91,2	93,04						
74	Конвеєр ленточний	4	68	68	272 <3	0,6	0,60	1,33	163,2	217,60						
75	Дробилка двухвалкова	8	20	20	160 <3	0,6	0,75	0,88	96,0	84,66						
76	Прес винтовий	14	32	60	628 <3	0,3	0,60	1,33	188,4	251,20						
77	Агрегат термообробки	12	10	60	620 >3	0,6	0,95	0,33	372,0	122,27						
78	Вентиляція	34	4	10	450 <3	0,7	0,80	0,75	315,0	236,25						
	Всього по поз.72-78	81	3	68	2297 >3	0,54	0,77	0,82	1234,8	1014,21	68	1,11	1375,7	1014,2	1709,1	

Продовження Табл.2.1

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження, кВт		n _e	K _M	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}			P _P	Q _P	S _P	
	<u>Механообиральний цех</u>															
79	Верстати фрезерні	7	5	12	70 <3	0,12	0,6	1,33	8,40	11,20						
80	Наждачні верстати	4	5	5	20 <3	0,12	0,5	1,73	2,40	4,16						
81	Верстати свердлильні	5	5	7,5	30 <3	0,12	0,5	1,73	3,60	6,24						
82	Зварювальні тр-ри	8	6	35	222 >3	0,30	0,4	2,29	66,60	152,60						
83	Випрямляч зварювальний	3	12,6	33,3	45,9 <3	0,40	0,5	1,73	18,36	31,80						
84	Збірні стенди	3	10	10	30 <3	0,40	0,8	0,75	12,00	9,00						
85	Ножиці	2	1,5	1,5	3 <3	0,50	0,8	0,75	1,50	1,13						
86	Токарний верстат	10	1,5	5	22 >3	0,60	0,8	0,75	13,20	9,90						
87	Вентиляція	5	1,5	35	140 >3	0,50	0,7	1,02	70,00	71,41						
88	Транспортер	2	11	11	22 <3	0,60	0,7	1,02	13,20	13,47						
89	Кран	3	7,5	7,5	22,5 <3	0,20	0,5	1,73	4,50	7,79						
90	Обладнання автоматичної лінії	3	7	30	67 >3	0,60	0,8	0,75	40,20	30,15						
91	Конвеєр	6	9	30	138 >3	0,60	0,8	0,75	82,80	62,10						
92	Електровізок	1	2,7	2,7	2,7 <3	0,60	0,7	1,02	1,62	1,65						
93	Насосна	1	8	8	8 <3	0,65	0,8	0,75	5,20	3,90						
94	Всього по поз.79-93	63	1,5	35	843,1 >3	0,41	0,64	1,21	343,58	416,50	48	1,19	409,1	416,5	583,8	
	<u>Ремонтний цех</u>															
95	Металоріжучі верстати	72	2,5	55	3700 >3	0,25	0,6	1,33	925,00	1233,33						
96	Зварювальні трансформатори	11	3	38	338 >3	0,35	0,6	1,33	118,30	157,73						
97	Вентилятори	12	2,5	20	110 >3	0,70	0,8	0,75	77,00	57,75						
	Всього по поз.95-97	95	2,5	55	4148 >3	0,27	0,61	1,29	1120,3	1448,8	95	1,19	1328,1	1448,8	1965,4	
	<u>Термічна дільниця</u>															
98	Піч віджигу	2	260	260	520 <3	0,60	0,95	0,33	312,00	102,55						
99	Кран мостовий	2	55	55	110 <3	0,20	0,60	1,33	22,00	29,33						
100	Станок обдирочно-шліфувальний	1	11	11	11 <3	0,60	0,70	1,02	6,60	6,73						

Продовження Табл.2.3

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _м	Розрахункове навантаження, кВт			
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P	
	КТП-4 (2 × 1000)														
11	Заготів.штамповочний цех	45	2,5	85	1838 >3	0,46	0,66	1,13	841,60	951,70	43	1,18	992,37	951,70	1374,97
12	Термічна дільниця	15	1,2	260	700,2 >3	0,54	0,91	0,44	379,18	168,57	5,4	1,5	570,25	185,43	599,64
	Всього по позиціям 11-12	60	1,2	260	2538,2 >3	0,48	0,74	0,92	1220,78	1120,27	20	1,27	1545,94	1120,27	1909,18
13	Освітлення												43,5	44,4	
14	Компенсація													-720	
	Всього на 0.4 кВ												1589,44	444,7	1650,47
	Втрати в тр-рах												20,3	114,9	
	Всього на 10 кВ												1609,8	559,6	1704,27
	КТП-5 (2 × 1000)														
15	Фарбувальний цех	52	1,5	130	1786,5 >3	0,67	0,89	0,52	1194,30	626,78	27	1,13	1345,45	626,78	1484,281
16	Освітлення												41,5	42,3	
17	Компенсація													-720	
	Всього на 0.4 кВ												1386,95	-50,9	1387,88
	Втрати в тр-рах												15,6	93,0	
	Всього на 10 кВ												1402,5	42,1	1403,14
	КТП-6 (2 × 1000)														
18	Дільниця гальванопокрить	19	10	260	1196,8 >3	0,64	0,70	1,02	771,36	789,91	9,2	1,26	974,1	868,9	1305,3
19	Механообиральний цех	63	1,5	35	843,1 >3	0,41	0,64	1,21	343,58	416,50	48	1,19	409,06	416,50	583,78
	Всього по позиціям 18-19	82	1,5	260	2039,9 >3	0,55	0,68	1,08	1114,94	1206,40	16	1,26	1400,07	1206,40	1848,13
20	Освітлення												103	105	
21	Компенсація													-720	
	Всього на 0.4 кВ												1503,1	591,4	1615,2

Продовження Табл.2.3

№п/п	Найменування вузлів і груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт		
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P
	Втрати в тр-рах											19,7	111,7	
	Всього на 10 кВ											1522,72	703,1	1677,23
	<u>КТП-7 (2 × 1000)</u>													
22	Цех порошкової металургії	81	3	68	2297 >3	0,54	0,77	0,82	1234,80	1014,21	68	1375,7	1014,2	1709,1
23	Освітлення											44,1	33,1	
24	Компенсація												-720	
	Всього на 0.4 кВ											1419,79	327,3	1457,03
	Втрати в тр-рах											16,7	98,4	
	Всього на 10 кВ											1436,5	425,7	1498,27
	<u>КТП-8 (2 × 1000)</u>													
25	Ремонтний цех	95	2,5	55	4148 >3	0,27	0,61	1,29	1120,30	1448,82	95	1328,1	1448,8	1965,4
26	Освітлення											40	40,8	
27	Компенсація												-720	
	Всього на 0.4 кВ											1368,09	769,6	1569,71
	Втрати в тр-рах											18,8	107,8	
	Всього на 10 кВ											1386,9	877,4	1641,10

Продовження Табл.2.3

№п /п	Наіменування вузлів і груп електроприймачів	Кільк ість ЕП	Встановлена потужність		m	K _u	cos φ	tg φ	Середнє навантаження,кВт		K _M	Розрахункове навантаження, кВт				
			Одного	Σ					P _{CM}	Q _{CM}		P _P	Q _P	S _P		
	<u>Всього по РП-2 заводу</u>															
	Силова	682	1,5	260	20376,3	>3	0,45	0,72	0,97	9241,225	8977,17	157	1,09	10057,7	8977,2	13481,4
	Освітлення													521	471	
	Компенсація 0.4 кВ														-5760	
	Всьогона 0.4 кВ													10578,7	3688,2	11203,2
	Втрати в тр-рах													126,10	717,50	
	Всього на 10 кВ													10704,8	4405,7	
	Компенсація 10 кВ														-2800	
	<u>Всього на шинях 10 кВ з урахуванням КУ</u>													10704,8	1605,7	10824,6

3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

При побудові добового графіка реактивного навантаження враховуємо вимоги по компенсації реактивної потужності в режимі максимуму $tg\varphi = 0,15$.

Розрахункове активне навантаження на шинах 10 кВ РП-2 підприємства

$$P_{p10} = P_{p04} + P_{po} + \Delta P_{mp} + \Delta P_{10}, \quad (3.1)$$

де $P_{p04} = 10057,7$ кВт – силове навантаження на 0,4 кВ (табл. 2.1);

$P_{po} = 521$ кВт – розрахункова потужність освітлення (табл. 2.2);

ΔP_{mp} – втрати на трансформаторах;

P_{10} – високовольтне навантаження (відсутнє).

Втрати на трансформаторах ($N = 16$ шт) із середнім коефіцієнтом навантаження 0,7 $S_n = 1000$ кВА

$$\Delta P_{mp} = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) \cdot 16 = (2 + 12 \cdot 0,7^2) \cdot 16 = 126,1 \text{ кВт}$$

де $\Delta P_{xx} = 2$ кВт, $\Delta P_{кз} = 12$ кВт.

Розрахункове навантаження по (1.6) складає

$$P_{p10} = 10057,7 + 521 + 126,1 = 10704,8 \text{ кВт}$$

З урахуванням компенсації ($tg\varphi = 0,15$) реактивне навантаження на шинах 10 кВ складає

$$Q_{p10} = P_{p10} \cdot tg\varphi = 10704,8 \cdot 0,15 = 1605,7 \text{ кВар}$$

Відповідні графіки наведені на рис. 3.1 – 3.4.

Всі розрахунки зводимо до табл. 3.1.

Визначимо з річного графіка витрати активної та реактивної енергії

$$\begin{aligned} W_e = \sum_{i=1} P_i \cdot \tau_i = & 10705 \cdot 148 + 9630 \cdot 106 + 8760 \cdot 148 + 8430 \cdot 444 + 7880 \cdot 106 + \\ & + 7790 \cdot 296 + 7590 \cdot 318 + 7460 \cdot 296 + 7140 \cdot 148 + 7010 \cdot 212 + 6810 \cdot 592 + \\ & + 6710 \cdot 212 + 6490 \cdot 148 + 6430 \cdot 106 + 6130 \cdot 424 + 5840 \cdot 254 + 5510 \cdot 444 + \\ & + 5260 \cdot 106 + 4960 \cdot 318 + 4870 \cdot 592 + 4380 \cdot 424 + 4220 \cdot 148 + \\ & + 3800 \cdot 106 + 1610 \cdot 2664 = 43766720 \end{aligned}$$

						Арх.
						22
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.3.1 Добовий графік активного навантаження

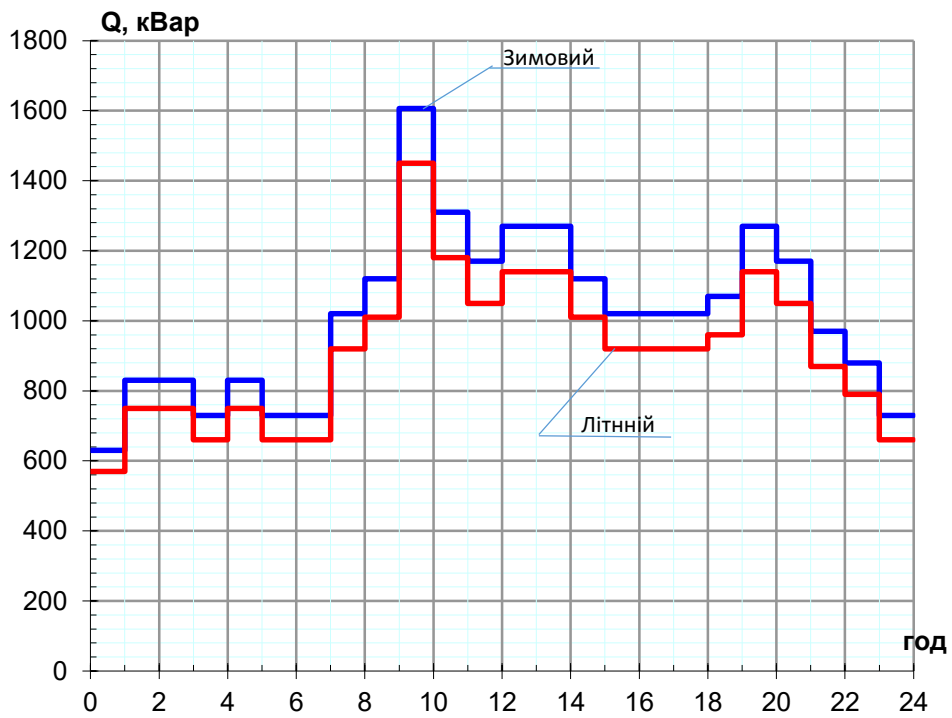


Рис.3.2 Добовий графік реактивного навантаження

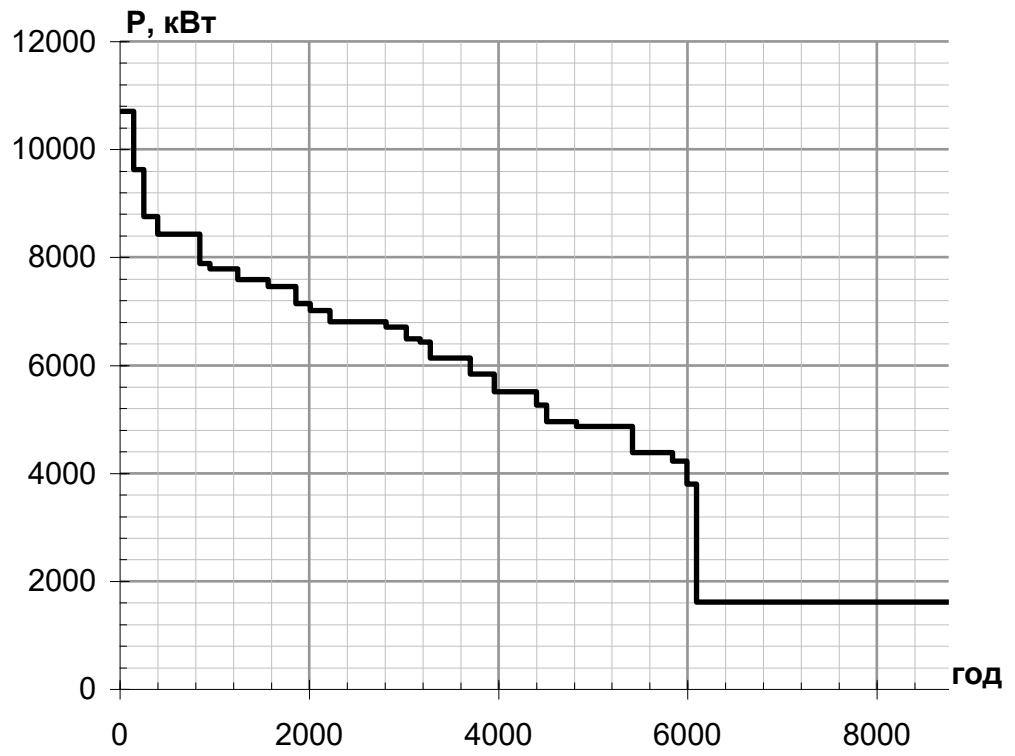


Рис.3.3 Річний графік по тривалості активної потужності.

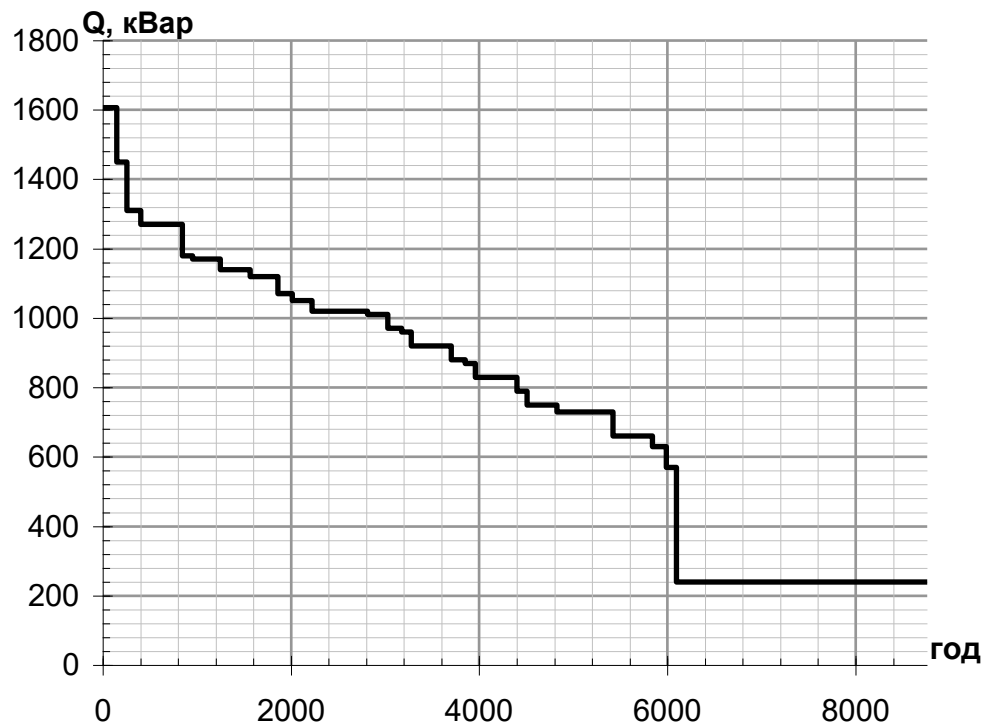


Рис.3.4 Річний графік по тривалості реактивної потужності

Таблиця 3.1 – Розрахунок річного графіка по тривалості

P , кВт	t , час	Q , квар	t , год
10705	148	1606	148
9630	106	1450	106
8760	148	1310	148
8430	444	1270	444
7880	106	1180	106
7790	296	1170	296
7590	318	1140	318
7460	296	1120	296
7140	148	1070	148
7010	212	1050	212
6810	592	1020	592
6710	212	1010	212
6490	148	970	148
6430	106	960	106
6130	424	920	424
5840	254	880	148
5510	444	870	106
5260	106	830	444
4960	318	790	106
4870	592	750	318
4380	424	730	592
4220	148	660	424
3800	106	630	148
1610	2664	570	106
0	0	240	2664
	8760		8760
$W_2 = 43766720 \quad V_2 = 6567148$			

					Арх.
					25
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$V_z = \sum_{i=1} Q_i \cdot \tau_i = 1606 \cdot 148 + 1450 \cdot 106 + 1310 \cdot 148 + 1270 \cdot 444 + 1180 \cdot 106 +$$

$$+ 1170 \cdot 296 + 1140 \cdot 318 + 1120 \cdot 296 + 1070 \cdot 148 + 1050 \cdot 212 + 1020 \cdot 592 +$$

$$+ 1010 \cdot 212 + 970 \cdot 148 + 960 \cdot 106 + 920 \cdot 424 + 880 \cdot 148 + 870 \cdot 106 +$$

$$+ 830 \cdot 444 + 790 \cdot 106 + 750 \cdot 318 + 730 \cdot 592 + 660 \cdot 424 + 630 \cdot 148 +$$

$$+ 570 \cdot 106 + 240 \cdot 2664 = 6567148 \text{кВар} \cdot \text{год}$$

Кількість годин максимального навантаження складає

$$T_m = \frac{\sqrt{W_z^2 + V_z^2}}{S_m} = \frac{\sqrt{43766720^2 + 6567148^2}}{10185} = 4088 \text{ год}$$

де

$$S_m = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} = \sqrt{10704,8^2 + 1605,7^2} = 10824 \text{ кВА}$$

$$\tau_m = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4088}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2487 \text{ год}$$

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Визначаємо центр електричних навантажень

$$X = \frac{\sum_1 P_i \cdot X_i}{\sum_1 P_i} = \frac{1156 \cdot 16 + 302 \cdot 19 + 1419 \cdot 19 + 1366 \cdot 19 + 1023 \cdot 36 + 1387 \cdot 37 + 1037 \cdot 41 + 1420 \cdot 48,5 + 455 \cdot 49 + 1368 \cdot 48,5}{11515} = 34,2 \text{ мм}$$

$$Y = \frac{\sum_1 P_i \cdot Y_i}{\sum_1 P_i} = \frac{1155 \cdot 19,5 + 302 \cdot 27 + 1419 \cdot 36,5 + 1366 \cdot 48 + 1023 \cdot 42 + 1387 \cdot 27 + 1037 \cdot 19,5 + 1420 \cdot 48 + 455 \cdot 27 + 1368 \cdot 36,5}{11515} = 34,8 \text{ мм}$$

Отже, знайшовши значення x та y , тобто визначивши центр електричних навантажень групи цехів машинобудівного підприємства, ми можемо визначити місце розташування РП-2. Звичайно РП-2 доцільно розміщувати в умовному центрі електричних навантажень, але при спорудженні на підприємстві РП-2 її розміщують із зсувом від центру електричних навантажень в напрямку джерела живлення.

В цьому випадку вища напруга буде максимально наближена до центру споживання електроенергії, а розподільчі мережі будуть мати мінімальні довжини. Коли ж по деяких причинах (технологічних, архітектурних) не можна розмістити джерело живлення у центрі електричних навантажень, то при його зміщенні збільшуються річні приведені витрати на систему електропостачання, що зумовлені цим зміщенням.

						Арх.
						28
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ВИБІР НАПРУГИ І СХЕМИ ЗОВНІШНЬОГО І ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вибір напруги вище 1000 В не може бути вирішено окремо від рішення відносно всієї схеми електропостачання підприємства. Тому, беручи до уваги, що на підприємстві застосовується напруга 10 кВ, однозначно ухвалюємо напругу живлення цехових ТП 10 кВ.

Під час вибору схеми електропостачання групи цехів заводу розглянемо два найбільш ймовірних варіанти.

Перший варіант – зведення РП від якого живляться всі цехові КТП. У цьому варіанті економію можливо здобути за рахунок меншої сумарної довжини кабелів (див. рис. 3.1).

Другий варіант - це пряме живлення КТП від ГЗП, що розташоване на відстані 300 метрів від групи цехів машинобудівного заводу. Цей варіант має менше кількість комірок з вимикачами, а також менший переріз кабелів (відсутні ввідні кабелі до РП).

Критерієм економічності схеми електропостачання є мінімум приведених витрат.

$$Z_{\text{прив.}} = E_n \cdot K_i + C_i + C_{\text{втр } i} + U_i$$

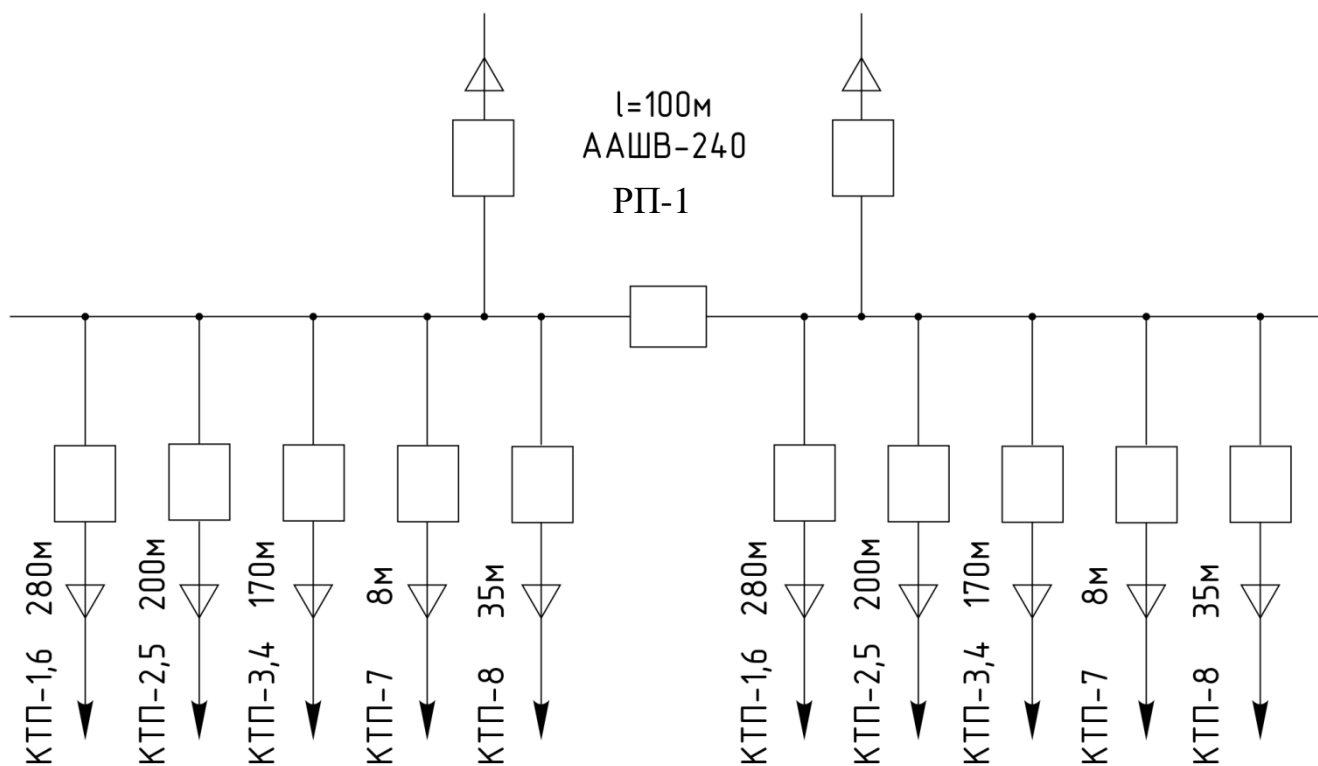
де C_i, K_i – поточні витрати та сумарні капіталовкладення в i -й варіант;

$C_{\text{втр}}$ – вартість втрат енергії;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варіант I



Варіант II

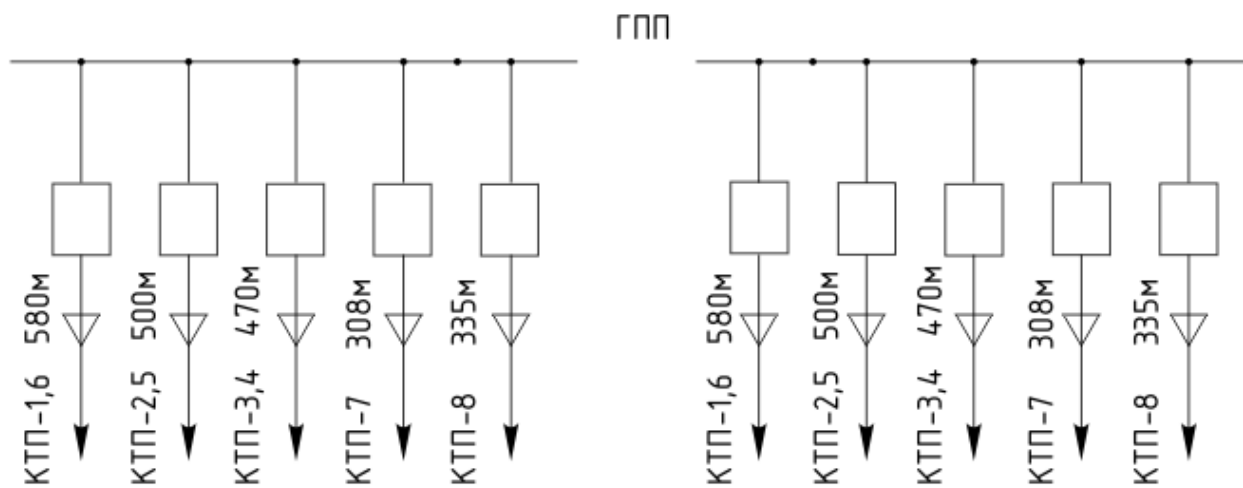


Рисунок 5.1 Схеми електропостачання групи цехів заводу (переріз кабелів по варіантах однаковий)

						Арх.
						30
Змн.	Арк.	№ доум.	Підпис	Дата		

Варіант I. Живлення виконується від ГЗП зі спорудженням РП-2.

Розрахунковий струм в лінії $S_p = 10824.6$ кВА (див. розд. 1).

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{10824.6}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 596 \text{ А}$$

Переріз визначимо по економічній щільності струму $j_e = 1,4$ при $T_m < 5000$ год.
(табл. 10.1 [1])

$$F_{ек} = \frac{I_p}{2 \cdot j_{ек}} = \frac{596}{2 \cdot 1,4} = 213 \text{ мм}^2$$

Приймаємо для прокладання 2-х кабельних ліній перерізом 240 мм^2 кожна, марка ААШВ (3 x 240) з тривало допустимим струмом нагріву $I_{доп} = 355 \text{ А}$

При виході з ладу одного ланцюга лінії, ланцюг що залишився в роботі забезпечує живлення навантаження.

$$I = I_{доп} \cdot K_{ан} = 355 \cdot 1,3 = 462 \text{ А}$$

де $K_{ан}$ – допустимий коефіцієнт аварійного перевантаження.

Попередньо для живлення цехових КТП (2 x 1000 кВА) вибираємо кабель ААШВ – 70 мм^2 , враховуючи перевірку на термічну стійкість.

Вартість втрат електроенергії визначимо по середньому тарифу

$$C_{пот} = C_0 \cdot \Delta E \quad (5.1)$$

$C_0 = 10,13$ грн/кВт год для 2-го класу (напруга 10 кВ).

Втрати енергії визначимо за виразом

$$\Delta E = \Delta P_m \cdot \tau_m \quad (5.2)$$

$$\Delta P_m = 3 \cdot I^2 \cdot R_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (5.3)$$

де l – загальна довжина кабелю $l = 0,3$ км 240 мм^2 .

$R_0 = 0,129$ Ом/км – питомий опір табл. 7.28 [6] для кабелю 240 мм^2 .

Для кабелю 70 мм^2 $R_0 = 0,443$ Ом/км – питомий опір табл. 7.28 [6]

Загальна довжина кабелю ААШВ – 70 мм^2 $l = 0,69$ км (на одну секцію).

Згідно (5.3) і (5.2) при $T_m = 4088$ год. $\tau_m = 2487$ год (див. розділ 1).

						Арх.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\Delta P_m = 3 \cdot \left(\frac{596}{2} \right)^2 \cdot 0,129 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 77^2 \cdot 0,447 \cdot 2 \cdot 0,443 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 38^2 \cdot 0,443 \cdot 2 \cdot 0,243 \cdot 10^{-3} = 27,2 \text{ кВт}$$

де I_p для магістралі (два КТП 2 х 1000)

$$I_p = \frac{0,7 \cdot S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 77 \text{ А}; \quad l = 0,447 \text{ км}$$

Для радіальної лінії (два КТП 2 х 1000)

$$I_p = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 38 \text{ А}; \quad l = 0,243 \text{ км}$$

$$C_{втр} = C_0 \cdot \Delta P_m \cdot \tau_m = 10,13 \cdot 27,2 \cdot 2487 = 685258 \text{ грн.}$$

Варіант II. Живлення групи цехів заводу виконується напряму від ГПП заводу по тій же радіально-магістральній схемі.

Виконуємо розрахунок вартості витрат електроенергії.

Довжина кабелю зі струмом $I_p = 77 \text{ А}$ збільшиться (3 магістралі) на 3 х 300 м і складає $l = 0,447 + 0,9 = 1,347 \text{ км}$ (на одну секцію).

Довжина кабелю зі струмом $I_p = 38 \text{ А}$ і складає $l = 0,243 + 2 \cdot 0,3 = 0,843 \text{ км}$.

$$\Delta P_m = 3 \cdot 77^2 \cdot 1,347 \cdot 2 \cdot 0,443 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 38^2 \cdot 0,843 \cdot 2 \cdot 0,443 \cdot 10^{-3} = 54,463 \text{ кВт}$$

$$C_{втр} = 10,13 \cdot 54,463 \cdot 2487 = 1372103 \text{ грн}$$

Подальший розрахунок витрат по варіантах наведених в табл. 5.1 – 5.3.

						Арх.
						32
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Розрахунок капітальних вкладень

варіант	Елементи схеми	Кількість довжина	Вартість, од. тис. грн.	Вартість всього тис. грн.
1	Шкаф серії КРУ, з вимикачем 10кВ на РП-2	13	40,4	525,2
	НАМИТ-10	2	32	64
	Тр-р власних потреб	2	38	76
	Кабель ААШВ- 240 ,км	0,6	142	85,2
	Траншея,км	0,3	30	9
	Кабель ААШВ- 70 ,км	1,38	112	154,56
	Траншея,км	0,343	30	10,29
	Всього			924,25
	2	Шкаф з вимикачем ВР-1-10 кВ на ГПП	10	40,4
Кабель ААШВ- 70 ,км		4,38	112	490,56
Траншея,км		2,19	30	65,70
	Всього			960,26

Таблиця 5.2 – Розрахунок поточних витрат

варіант	Елементи схеми	К _і , тис. грн.	Р _а , %	С _{аі} , тис. грн.	Р _э , тис. грн.	С _{эі} , тис. грн.	С _і , тис. грн.
1	Шкаф серії КРУ, на РП-2	665,2	15	99,78	5	33,26	133,04
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	259,05	5	12,95	5	12,95	25,905
	Всього						158,95
2	Шкаф серії КРУ, з вимикачем на ГПП	404	15	60,6	5	20,2	80,8
	Кабельна лінія з урахуванням траншеї	556,26	5	27,81	5	27,81	55,626
	Всього						136,43

Таблиця 5.3 – Техніко-економічні показники варіантів

Показники	Варіант	
	1	2
Капітальні вкладення, тис.грн.	924,25	960,26
Поточні витрати, тис.грн.	158,95	136,43
Вартість втрат електроенергії, тис.грн.	685,3	1372,1
Приведені витрати, тис.грн.	955,16	1623,8

Техніко-економічні порівняння варіантів дає можливість обрати варіант I, тобто спорудження на території групи цехів заводу, РП-2.

									Арх.
									34
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата					

6. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

6.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

На РП-2- заводу на шинах 10 кВ передбачають підтримувати $\text{tg } \varphi = 0,15$.

Розрахуємо реактивне навантаження на шинах 10 кВ без врахування компенсації

$$Q_{0,4} = Q_{p0,4} + Q_{po} = 8977,2 + 471 = 9448,2 \text{ кВар}$$

$$Q_{10} = Q_{0,4} + \Delta Q_{mp} + Q_{p10} = 8977,2 + 471 + 751 = 10199 \text{ кВар}$$

Реактивні втрати в трансформаторах ΔQ_{mp} складають:

$$\Delta Q_{mp} = \left(\frac{U_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_n} + \frac{I_{\text{хх}\%}}{100} \cdot S_n \right) \cdot n = \left(\frac{5,5}{100} \cdot 0,7^2 \cdot 1000 + \frac{2}{100} \cdot 1000 \right) \cdot 16 = 751 \text{ кВар}$$

Тоді компенсуючі пристрої складають

$$Q_{\text{кв}} = 10199 - 10578,7 \cdot 0,15 = 8612 \text{ кВар}$$

Мінімально можлива кількість трансформаторів складає

$$N_0 = \frac{P}{\beta \cdot S_n} = \frac{10578,7}{0,7 \cdot 1000} = 15,1 \approx 16 \text{ шт.}$$

де P - активна споживання в мережах до 1 кВ ($P_{04} = 10578,7$ кВт)

Величини $Z_{1н}$ і $Z_{1в}$ визначаються за формулами:

$$Z_{1в} = E \cdot K_{\text{кв}} \cdot \left(\frac{U_{\text{бк}}^*}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\text{кв}} \quad (6.1)$$

$$Z_{1н} = E \cdot K_{\text{кн}} \cdot \left(\frac{U_{\text{бк}}^*}{U_*} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\text{кн}} \quad (6.2)$$

Визначаємо питому вартість втрат по тарифу на електроенергію:

$$C_0 = C_0' \cdot \tau_m = 10,13 \cdot 2487 = 25193,3 \text{ грн}$$

Визначимо $Z_{1н}$ і $Z_{1в}$ по (6.1) і (6.2) з урахуванням $U_{\text{бк}} = 1,05$ для напруги 10 кВ, $U_{\text{бк}} = 1$ для напруги 0,4 кВ, $U = 1$, $C_0 = 10,13$ тис. грн./мВт

					Арх.
					35
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$z_{16} = 0,32 \cdot 18 \left(\frac{1,05}{1} \right)^2 + 25,193 \cdot 2,5 = 69,33 \text{ тис.грн./мВар}$$

$$z_{17} = 0,32 \cdot 36 \left(\frac{1}{1} \right)^2 + 25,193 \cdot 4,5 = 124,89 \text{ тис.грн./мВар}$$

Втрати активної потужності в трансформаторах визначаємо, як

$$\Delta P_{mn} = \frac{Q_1^2}{U_{ном}^2} R_{тр\Sigma}, \quad (6.4)$$

$$\text{де } R_{тр\Sigma} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{N \cdot 1000^2} = \frac{12,2}{N} \cdot 10^{-4}$$

ВАРІАНТ I

Передбачається встановлення трансформаторів $S_n=1000$ кВ А із коефіцієнтом завантаження 0,7

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_n)^2 - P^2} \quad (6.3)$$

Тоді по (6.3)

$$Q_1 = \sqrt{(16 \cdot 0,7 \cdot 1,0)^2 - 10,5787^2} = 3,678 \text{ мВар}$$

Потужність конденсаторних батарей на 0,4 кВ

$$Q_{кн} = Q_{p0,4} - Q_1 = 9448,2 - 3678 = 5770 \text{ кВар}$$

Потужність компенсації на 10 кВ

$$Q_{кв} = Q_{ку} - Q_{кн} = 8612 - 5770 = 2842 \text{ кВар}$$

Відповідно до (6.4) маємо

$$\Delta P_{тр} = \frac{3678^2}{10^2} \cdot \frac{12,2}{16} \cdot 10^{-4} = 10,31 \text{ кВт},$$

Тоді відповідно витрати складають

$$z_1 = 5,77 \cdot 124,89 + 2,842 \cdot 69,33 + 10,31 \cdot 25,193 = 1177,56 \text{ тис. грн.}$$

Таблиця 6.1 – Порівняння варіантів компенсації реактивної потужності

Кількість тр-рів	Q_1	$Q_{кн}$	$Q_{кв}$	K_m	$\Delta P_{тр}$	z
шт.	мВар	мВар	мВар	тис.грн.	кВт	тис.грн.
16	3,678	5,770	2,842	-	10,317	1177,564
17	5,450	3,998	4,614	96,000	21,315	1386,924
18	6,845	2,603	6,009	144,000	31,755	1587,790

Обираємо варіант 1 $N = 16$ трансформаторів, $Q_{кн} = 5770$ кВар,
 $Q_{кв} = 2842$ кВар.

6.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності

На РП-2 у відповідності з виконаним розрахунком встановлюємо прилади
компенсації на 10 кВ 2 x 1400 кВар тип УК-10-1400ЛУ

Для компенсації на низькій стороні обираємо комплектні конденсаторні
прилади тип УК-0,38-360 Н 16 штук.

Потужність КП на 0,4 кВ складає

$$Q_{кн} = 16 \cdot 360 = 5760 \text{ кВар}$$

$$Q_{кв.бк.} = 2 \cdot 1400 = 2800 \text{ кВар}$$

Таблиця 6.2 Вибір кількості і місця розташування КП

Номер КТП	Кількість тр-рів	$S_{н.тр.}$, кВ А	$Q_{ку}$, кВ А	Місце встановлення
КТП-1	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-2	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-3	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-4	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-5	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-6	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-7	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП
КТП-8	2	1000	2 x 360	На шинах 0,4 кВ ТП

7. ВИБІР КІЛЬКОСТІ, ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

7.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Кількість трансформаторів цехових ТП визначається вимогами надійності електропостачання. Із цих позицій найкращим є варіант із встановленням двох трансформаторів, які забезпечують практично безперебійне електропостачання цеху.

Одиночну потужність трансформаторів ТП приймаємо згідно з питомою щільністю навантаження заводу.

При щільності навантаження до 0,2 кВ А/м² приймаються трансформатори потужністю 1000 кВ А.

Для визначення місцеположення КТП при проектуванні системи електропостачання на генеральному плані наноситься картограма навантажень. Цехові КТП встановлюємо по можливості ближче до центру електричних навантажень цеху.

Потужність трансформаторів обирається в залежності від потужності навантаження з урахуванням категорії споживача.

Після цього трансформатори перевіряють на аварійне перевантаження згідно виразу

$$S_{\text{доп}} = 1,4 \cdot S_{\text{н.тр.}} \geq S_{\text{ав}}$$

7.2 Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій

Вибір потужності, кількості і розміщення трансформаторів виконуємо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Вибір потужності, кількості і місця розташування КТП

Номер п/ст	S_p , кВ А	$S_{н.тр.}$, кВ А	Категорія безпереб.	Тип тр-рів	K_3 , норм. реж.	K_3 , авар. реж.	n , к-ть	Місце розташування
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КТП-1	1588	1000	2,3	ТМЗ-1000/10	0,79	1,59	2	Інструментальний цех

Арк.

38

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
КТП-2	1499	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,75	1,50	2	Механічний цех
КТП-3	1426	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,71	1,43	2	Ливарний цех
КТП-4	1470	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,74	1,47	2	Заготів. штамповоч- ний цех
КТП-5	1388	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,69	1,39	2	Фарбувальний цех
КТП-6	1615	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,81	1,62	2	Дільниця гальвано- покрить
КТП-7	1457	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,73	1,46	2	Цех порошкової металургії
КТП-8	1570	1000	2,3	ТМЗ- 1000/10	0,79	1,57	2	Ремонтний цех

Примітка: у аварійному режимі відключаємо 3 категорію споживачів.

									Арх.
									39
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата					

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

8.1 Розрахунок струмів коротких замикань

Розрахунок струмів КЗ будемо виконувати для однієї секції шин рис. 8.1.

Попередньо для живлення КТП-7,8 вибираємо кабель ААШВ-70 мм², враховуючи перевірку на термічну стійкість (орієнтовно $I_{кз}$ на шинах 10 кВ РП-2 7 кА).

Магістральний кабель від РП-2 до КТП-6, 5, 4 приймаємо також ААШВ-70 мм². Вибір кабелю приведений нижче.

$$I_n = \frac{0,7 \cdot S_n \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 77 \text{ А}$$

$$F = \frac{I_n}{j_{эк}} = \frac{7}{1,4} = 5 \text{ мм}^2$$

Струм к.з. на шинах 10 кВ ГЗП $I_{к.з.} = 7,43 \text{ кА}$.

Вихідна схема для розрахунку з довжинами кабелю показана на рис. 8.1.

Результати розрахунку приведені в табл. 8.1 – 8.3.

						Арх.
						40
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

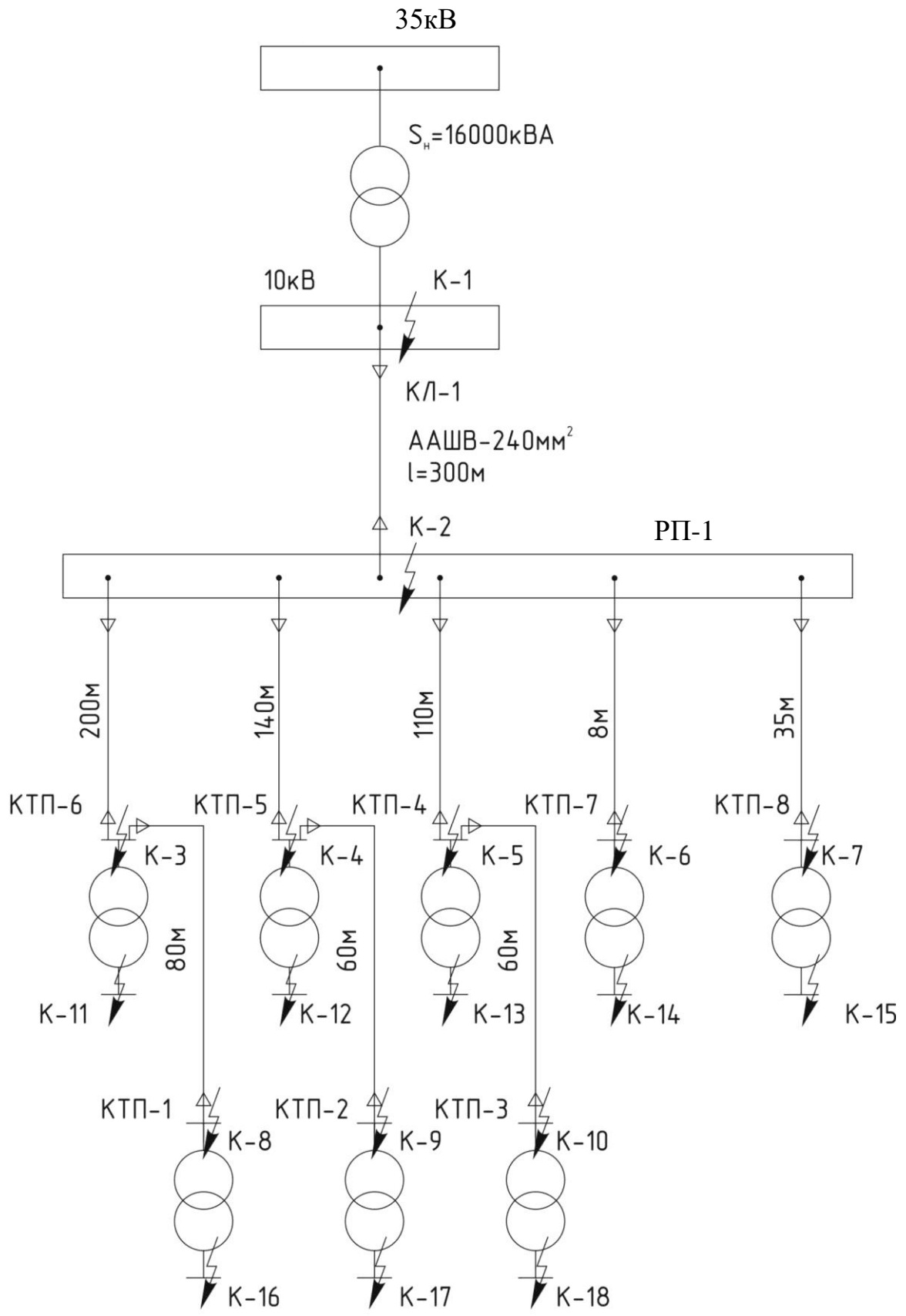


Рисунок 8.1 – Вихідна схема для розрахунку струмів КЗ

					Арх.
					41
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 8.1-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

Ім'я ЦП Режим -	Опір системи						
	Р тр.ЦП НН	Х тр.ЦП НН		Rсист (к НН ЦП)		Xсист (к НН ЦП)	
	[Ом]	MAX [Ом]	MIN [Ом]	MAX [Ом]	MIN [Ом]	MAX [Ом]	MIN [Ом]
ГЗП	.044	.367	.453	.000	.000	.451	.365

Таблиця 8.2-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

N п/п -	Початок -	Кінець -	Z траси (к Ун ВН)		I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]
			[Ом]	[Ом]		
1	00	ГЗП	.049	.858	7.4278	19.2939
2	ГЗП	РП-2	.087	.880	7.0962	17.3826
3	РП-2	КТП-6	.176	.897	6.4523	14.0529
4	НН	КТП-6	.002	.009	25.3577	53.7490
	КТП-6	КТП-1	.211	.904	6.2261	13.0292
5	НН	КТП-1	.002	.009	25.2295	53.2035
	РП-2	КТП-5	.149	.892	6.6329	14.9236
6	НН	КТП-5	.002	.009	25.4548	54.1650
	КТП-5	КТП-2	.176	.897	6.4523	14.0529
7	НН	КТП-2	.002	.009	25.3577	53.7490
	РП-2	КТП-4	.136	.890	6.7270	15.3966
8	НН	КТП-4	.002	.009	25.5036	54.3752
	КТП-4	КТП-3	.163	.895	6.5413	14.4763
9	НН	КТП-3	.002	.009	25.4062	53.9562
	РП-2	КТП-7	.091	.881	7.0680	17.2233
10	НН	КТП-7	.002	.009	25.6710	55.1014
	РП-2	КТП-8	.103	.883	6.9744	16.7041
	НН	КТП-8	.002	.009	25.6265	54.9074

Таблиця 8.3-Розрахунок для схеми (рис.8.1)

N п/п -	Початок -	Кінець -	Z траси (к Ун ВН)		I кз 3-фазн. [кА]	I кз удар. [кА]
			[Ом]	[Ом]		
1	00	ГЗП	.039	.772	7.0659	6.1193
2	ГЗП	РП-2	.078	.795	6.7179	5.8179
3	РП-2	КТП-6	.167	.812	6.0504	5.2398
4	НН	КТП-6	.002	.009	21.9763	19.0320
	КТП-6	КТП-1	.202	.819	5.8190	5.0394
5	НН	КТП-1	.002	.009	21.8638	18.9346
	РП-2	КТП-5	.140	.807	6.2364	5.4009
6	НН	КТП-5	.002	.009	22.0614	19.1058
	КТП-5	КТП-2	.167	.812	6.0504	5.2398
7	НН	КТП-2	.002	.009	21.9763	19.0320
	РП-2	КТП-4	.127	.804	6.3337	5.4851
8	НН	КТП-4	.002	.009	22.1043	19.1428
	КТП-4	КТП-3	.153	.809	6.1420	5.3191
9	НН	КТП-3	.002	.009	22.0188	19.0688
	РП-2	КТП-7	.082	.795	6.6884	5.7923
10	НН	КТП-7	.002	.008	22.2511	19.2700
	РП-2	КТП-8	.094	.798	6.5907	5.7077
	НН	КТП-8	.002	.008	22.2120	19.2362

8.2 Вибір високовольтного обладнання та пристроїв силових мереж

Вибір вимикачів на РП-2 виконаний в додатку А (табл. А.1).

Для цього визначимо необхідні розрахункові величини:

$$I_{роб.форс.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{10824.6}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 596 \text{ А}$$

Зверхперехідний струм КЗ

$$\ddot{I} = 7,1 \text{ кА (див. розд. 8.1)}$$

Ударний струм КЗ

$$i_{y\delta} = 17,4 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X}{\omega \cdot R} = \frac{0,88}{314 \cdot 0,087} = 0,032 \text{ с}$$

Аперіодична складова струму КЗ

$$i_{ac} = \sqrt{2} \cdot \ddot{I} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7,1 \cdot e^{-\frac{0,11}{0,032}} = 0,32 \text{ кА}$$

де

$$\tau = t_e + t_{p.z.min} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ с}$$

Тепловий імпульс при умові $t_{відкл.} > T_a$ визначаємо по формулі

$$B_k = I^2 \cdot (t_{відкл.} + T_a) = 7,1^2 \cdot (1,5 + 0,032) = 77,3 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

де $t_{відкл.} = 1,5 \text{ с}$ – час спрацювання ввідного вимикача і захисту.

Вибираємо запобіжник для захисту ТВП (додаток А, табл.А.2). Номінальний струм ТВП типу ТМ-60/10 рівний

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10} = 3,47 \text{ А}$$

Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

Вибір перетину жил кабелів виконуємо з урахуванням економічних міркувань табл. 8.4.

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C} = \frac{\sqrt{27 \cdot 10^3}}{91} = 57 \text{ мм}^2$$

де $C = 91$ для алюмінію.

Для $t_{\text{відкл}} = 0,5 \text{ с}$

$$B_{\kappa} = I^2 \cdot (t_{\text{відкл.}} + T_a) = 7,1^2 \cdot (0,5 + 0,032) = 27 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$$

Вибір трансформаторів струму та напруги для мереж РЗ та А. виконуємо в додатку А (таблиці А.3-А8).

						Арх.
						44
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.8.4 Вибір перетину жил високовольтних кабелів

№ п/п	Кабельна лінія	Потужність		I _{ав.} , А	Перетин, мм ² вибраний по			Прийнято мм ²	Примітки
		S, кВ А	I, А		J _{эк}	I _{доп}	F _{мін}		
1	Від ГПП до РП-2	10824,6	298,0	595,9	240	95	70	240	2кабеля марки ААШВ
2	Від РП-2 до КТП-6	3333,7	91,8	183,5	70	35	70	70	2кабеля марки ААШВ
3	Від КТП6 до КТП-1	1656,5	45,6	91,2	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
4	Від РП-2 до КТП-5	2954,5	81,3	162,6	70	35	70	70	2кабеля марки ААШВ
5	Від КТП-5 до КТП-2	1551,5	42,7	85,4	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
6	Від РП-2 до КТП-4	2990,6	82,3	164,6	70	35	70	70	2кабеля марки ААШВ
7	Від КТП-4 до КТП-3	1471,3	40,5	81,0	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
8	Від РП-2 до КТП-7	1498,3	41,2	82,5	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ
9	Від РП-2 до КТП-8	1641,1	45,2	90,3	35	25	70	70	2кабеля марки ААШВ

Примітка: потужність приведена на 2 кабеля, струм на один кабель.

9. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ АСИНХРОННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Аналіз стійкості вузлів навантаження є неодмінною частиною вирішення завдання забезпечення стійкості СЕП.

Вузол навантаження з асинхронними електродвигунами моделюють за допомогою розрахункової схеми у вигляді еквівалентного асинхронного двигуна, робота якого регламентується такими ж рівняннями, як і для реальних машин.

Якщо групи електродвигунів у вузлі навантаження підключені до джерела живлення із напругою $U_c = const$ через електричну мережу (див. рис. 9.1), тоді умовна стійкість цього вузла суттєво визначається параметрами електричної мережі ($z_{ен}$) та робочим режимом кожного електроспоживача.

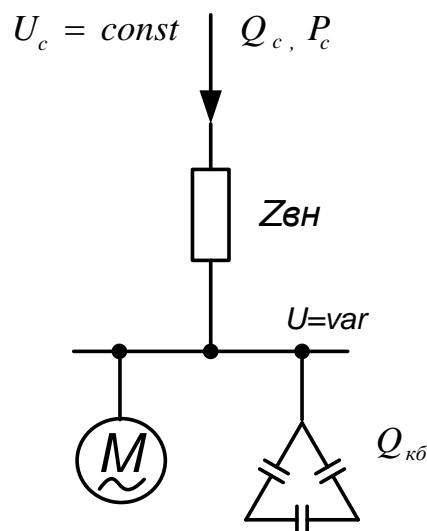


Рис. 9.1 Розрахункова схема вузла навантаження

У розглянутому випадку напруга U у точці навантаження стає змінною величиною, а її показники залежать від зміни зазначених факторів. Таку стійкість вузла оцінюють виходячи з незалежної змінної — напруги навантаження, застосовуючи непрямі критерії.

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0 \quad (9.1)$$

					Арх.
					46
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

Згідно з критерієм (9.1) статична стійкість оцінюється за відхиленням балансу реактивної потужності на вузлі навантаження у разі зменшення напруги.

Для стану рівноваги режиму необхідна реалізація умови балансу $Q_c = Q_n$, а поряд з нею – нерівність.

$$\frac{d(Q_c - Q_n)}{dU} < 0$$

Вибір методу аналізу приросту реактивної потужності

$$\Delta Q = Q_c - Q_n$$

залежить від наявної інформації про вузол навантаження. Якщо немає статичних характеристик, то стійкість визначають графічно за виразом

$$\Delta Q = Q_c - Q_{a.дв.} \quad (9.2)$$

відповідно до залежності параметрів правої частини від напруги у вузлі.

Графічний аналіз ставить за мету окреслення межі статичної стійкості режиму згідно умови (9.1).

Частини небалансу реактивної потужності (9.1) визначають таким способом.

Залежність реактивної потужності, що поступає з ЕЕС, від напруги на вузлі навантаження встановлюється рівнянням [5]

$$Q_c = \left(-U^2 - P_n r_{вн} + \sqrt{U^2 U^2 - P_n^2 X_{вн}^2} \right) / X_{вн} \quad (9.3)$$

Величина реактивної потужності, яку споживає еквівалентний асинхронний двигун, обчислюється за формулою [5]

$$Q_{a.дв.} = Q_{a.дв.ном.} \left[CU_*^2 + \frac{m}{\left(\frac{m_{\max} U_*^2}{m} + \sqrt{\frac{m_{\max}^2 U_*^4}{m^2} - 1} \right) \operatorname{tg} \varphi_{ном}} \right] \quad (9.4)$$

						Арх.
						47
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $Q_{a.дв.ном.}$ — номінальна реактивна потужність, яку споживає двигун;

Q_* — напруга на клеммах двигуна у відносних одиницях;

m — коефіцієнт навантаження двигуна;

m_{max} — співвідношення максимального моменту.

$$C = 1 - \frac{1}{\left(m_{max} + \sqrt{m_{max}^2 - 1}\right) \operatorname{tg} \varphi_{ном}}. \quad (9.5)$$

У випадку, коли вузол комплексного навантаження розташований далеко від джерела електроенергії зі сталою напругою та під'єднане джерело живлення реактивної потужності (ДРП) (див. рис. 9.1), у такій ситуації рівняння балансу реактивної потужності матиме наступний вигляд

$$\Delta Q = Q_c - Q_{дрп} - Q_n \quad (9.6)$$

Величина реактивної потужності, яку створює конденсаторна батарея, значно визначається напругою у вузлі та задається співвідношенням:

$$Q_{KB} = Q_{к.б.ном} \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^2 = Q_{к.б.ном} U_*^2 \quad (9.7)$$

Вивчення (9.6) на екстремальне значення здійснюється графічним способом. У тих точках, де спостерігається виконання умови:

$$\frac{d\Delta Q}{dU} > 0$$

Стійкість вузла навантаження не зберігається, бо для значень напруги, які зменшуються, відповідно відповідають більші значення споживаної реактивної енергії, які підвищуються. Таке зменшення напруги, спричинене зростаючим дефіцитом реактивної потужності, має прогресуючий характер.

						Арх.
						48
Змн.	Арх.	№ доум.	Підпис	Дата		

Такий процес руйнує стійкість роботи усього вузла навантаження, він має назву лавинової нестійкості напруги. Вузол навантаження із встановленою конденсаторною батареєю є більш вразливим до цього критичного стану.

Далі проведемо дослідження статичної стійкості асинхронних електродвигунів у компресорному цеху при підключенні до конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності. Схема, що досліджується, зображена на рис. 9.2.

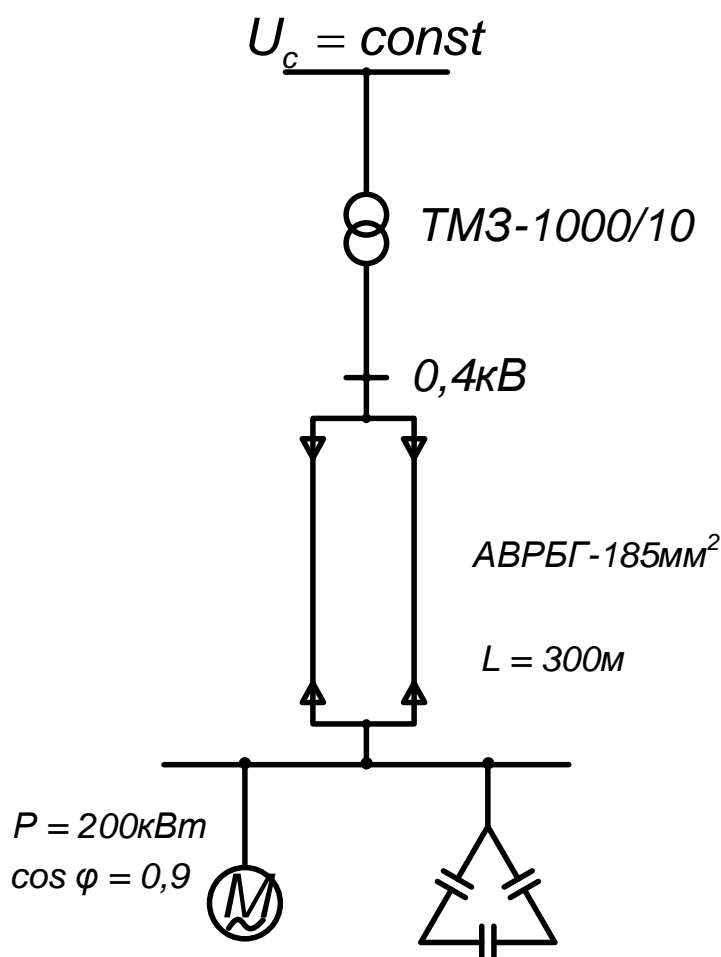


Рис. 9.2 Вихідна схема електроживлення

Визначимо параметри для аналогічної схеми заміщення. Розрахунок проводимо у відносних базисних одиницях.

Для трансформатора ТМЗ-1000кВА:

$$r_T = 1,76 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$X_T = 7,74 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Обираємо $U_{\text{баз}} = 380 \text{ В}$

					Арх.
					49
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$S_{\sigma} = \frac{P_{\sum a.дв.ном.}}{\eta \cdot \cos \varphi_n} = \frac{5 \cdot 0,2}{0,94 \cdot 0,9} = 1,182 \text{ MVA}$$

В насосній застосовано п'ять електродвигунів серії 4А з наступними паспортними характеристиками:

$$P_{ном} = 200 \text{ кВт}, n = 985 \text{ об/хв}, S_n = 1,3\%, \eta = 94\%, \cos \varphi = 0,9, \frac{M_{max}}{M_{ном}} = 2,2 ;$$

Завантаження електродвигунів прийнято $m=0.9$.

Величина опору трансформатора у відносних одиницях:

$$r_{*T} = 1,76 \cdot 10^{-3} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 1,76 \cdot 10^{-3} \frac{1,182}{0,38^2} = 0,0144$$

$$X_{*T} = 7,74 \cdot 10^{-3} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 7,74 \cdot 10^{-3} \frac{1,182}{0,38^2} = 0,0637$$

Опір для кабельної лінії (2 кабелі):

$$r_0 = 0,169 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$$

$$r_{*кл} = \frac{r_0}{2} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} l = \frac{0,169}{2} \cdot \frac{1,182}{0,38^2} \cdot 0,3 = 0,208$$

$$X_{*кл} = \frac{x_0}{2} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} l = \frac{0,08}{2} \cdot \frac{1,182}{0,38^2} \cdot 0,3 = 0,1$$

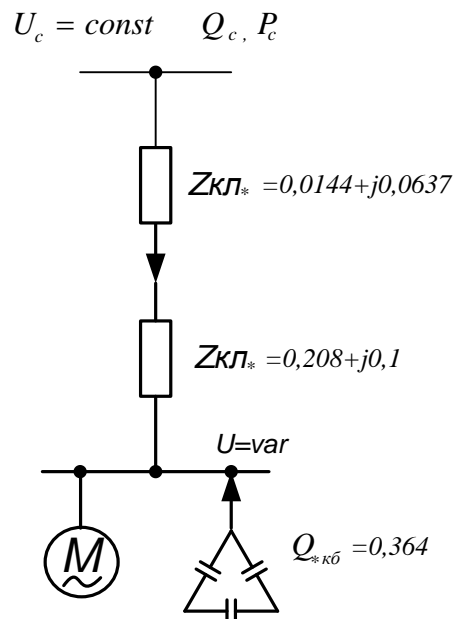


Рис. 9.3 Схема заміщення

						Арх.
						50
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

У насосній передбачено монтаж $Q_{каб} = 430кВар$.

$$\text{Відносно одиниць } Q_{*каб} = Q_{каб} / S_{\sigma} = \frac{0,43}{1,182} = 0,364$$

Показники еквівалентного асинхронного електродвигуна для номінального робочого режиму:

$$P_{*a.дв.ном.} = \frac{P_{\Sigma a.дв.ном.}}{\eta \cdot S_{\sigma}} = \frac{0,2 \cdot 5}{0,94 \cdot 1,182} = 0,9$$

$$Q_{*a.дв.ном.} = P_{*a.дв.ном.} \cdot \text{tg} \varphi_{ном} = 0,9(\arccos 0,9) = 0,436$$

Для вхідних режимів

$$P_{*a.дв.} = m \cdot P_{*a.дв.ном.} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$$

$$Q_{*a.дв.} = Q_{*a.дв.ном.} \left[C + \frac{m}{\left(\frac{m_{max}}{m} + \sqrt{\left(\frac{m_{max}}{m} \right)^2 - 1} \right) \text{tg} \varphi_{ном}} \right] =$$

$$= 0,436 \left[0,503 + \frac{0,9}{\left(\frac{2,2}{0,9} + \sqrt{\left(\frac{2,2}{0,9} \right)^2 - 1} \right) \cdot 0,484} \right] = 0,394$$

$$C = 1 - \frac{1}{m_{max} + \sqrt{(m_{max}^2 - 1) \text{tg} \varphi_{ном}}} =$$

де

$$= 1 - \frac{1}{(2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) \cdot 0,484} = 0,503$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Активна потужність, яку отримує вузол навантаження від електричної системи:

$$P_{*c.} = P_{*a.дв.} = 0,81$$

Реактивна потужність при відключеній конденсаторній батареї:

$$Q_{*c1.} = Q_{*a.дв.} = 0,394$$

Реактивна потужність при приєднаній до вузла навантаження конденсаторній батареї:

$$Q_{*c2.} = Q_{*a.дв.} - Q_{*к.б.} = 0,394 - 0,364 = 0,03$$

Рівень напруги на шинах ТП (10кВ) у вихідних режимах згідно [5] без компенсації реактивної потужності:

$$U_{*c1} = \sqrt{\left(U_{*дв.} + \frac{P_{*a.дв.} \cdot r_{*ен} + Q_{*a.дв.} \cdot X_{*ен}}{U_{*дв.}} \right)^2 + \left(\frac{P_{*a.дв.} \cdot X_{*ен} - Q_{*a.дв.} \cdot r_{*ен}}{U_{*дв.}} \right)^2} =$$

$$= \sqrt{(1 + (0,81 \cdot 0,222 + 0,394 \cdot 0,164))^2 + (0,81 \cdot 0,164 - 0,394 \cdot 0,222)^2} = 1,245$$

$$\text{де } z_{ен} = r_{*Т} + r_{*кл} + j(x_{*Т} + x_{*кл}) = 0,0144 + 0,208 + j(0,0637 + 0,1) = 0,222 + j0,164$$

при приєднаній конденсаторній батареї

$$U_{*c2} = \sqrt{(1 + (0,81 \cdot 0,222 + 0,03 \cdot 0,164))^2 + (0,81 \cdot 0,164 - 0,03 \cdot 0,222)^2} = 1,19$$

Величина реактивної потужності, отримуваної від системи (шини 10кВ) згідно з (9.3):

$$U_{*c1} = \left(-U_*^2 - 0,81 \cdot 0,222 + \sqrt{1,245^2 U_*^2 - 0,81^2 \cdot 0,164^2} \right) / 0,164 =$$

$$= 6,1 \left(-U_*^2 - 0,18 + \sqrt{1,55 U_*^2 - 0,018} \right)$$

$$Q_{*c2} = 6,1 \left(-U_*^2 - 0,18 + \sqrt{1,416 U_*^2 - 0,018} \right)$$

Реактивна потужність, яку споживає еквівалентний асинхронний двигун відповідно до (9.4):

						Арх.
						52
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{*a.дв.} = Q_{*a.дв.ном.} \left[CU_*^2 + \frac{m}{\left(\frac{m_{max} U_*^2}{m} + \sqrt{\frac{m_{max}^2 U_*^4}{m^2} - 1} \right) \operatorname{tg} \varphi_{ном}} \right] =$$

$$= 0,436 \left[0,503U_*^2 + \frac{0,9}{\left(\frac{2,2}{0,9} + \sqrt{\left(\frac{2,2^2 U_*^4}{0,9^2} \right) - 1} \right) \cdot 0,484} \right] =$$

$$= 0,219U_*^2 + \frac{0,811}{2,44U_*^2 + \sqrt{5,975U_*^4 - 1}}$$

Реактивна потужність, яка генерується конденсаторною батареєю:

$$Q_{*КБ}(U_*) = Q_{*кб.ном} U_*^2 = 0,364U_*^2$$

Підсумок обчислення компонентів балансу реактивної потужності при різних рівнях напруги у вузлі навантаження наведений у табл. 9.1 та відображений на рис. 9.4.

З рівнянь:

$$\Delta Q_{*c1} = Q_{*c1} - Q_{*a.дв.};$$

$$\Delta Q_{*c2} = Q_{*c2} + Q_{*к.б.} - Q_{*a.дв.}$$

визначаємо критичне значення напруги:

В разі відсутності компенсації $U_{*кр1} = 0,74$; при підключенні конденсаторних батарей $U_{*кр2} = 0,76$.

Тому використання батарей зменшує вимоги до напруги на шинах 10 кВ, але водночас погіршує показники статичної стійкості навантажувального вузла.

Запас стійкості зменшується з

$$K_{зн1} = 100(1 - 0,74) = 26\% \text{ до } K_{зн2} = 100(1 - 0,76) = 24\%$$

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таблиця 9.1 Підсумки обчислення компонентів балансу реактивної потужності

U_*	Q_{*c1}	Q_{*c2}	$Q_{*a.дв.}$	$Q_{*к.б.}$	ΔQ_{*c1}	ΔQ_{*c2}
0,65	1,19	0,97	0,72	0,15	0,47	0,4
0,7	1,165	0,93	0,54	0,17	0,625	0,56
0,75	1,11	0,85	0,47	0,2	0,64	0,58
0,76	1,092	,834	0,4636	0,21	0,628	0,58
0,77	1,075	0,814	0,455	0,216	0,62	0,575
0,8	1,02	0,747	0,43	0,23	0,59	0,547
0,85	0,900	0,61	0,41	0,26	0,49	0,46
0,9	0,747	0,44	0,4	0,29	0,347	0,33
0,95	0,565	0,244	0,39	0,33	0,175	0,184
1,0	0,394	0,03	0,394	0,364	0	0
1,05	0,109	-0,246	0,395	0,4	-0,281	-0,236
1,1	-0,165	-0,536	0,41	0,44	-0,575	-0,506
1,15	-0,47	-0,858	0,42	0,48	-0,89	-0,798

						Арх.
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		54

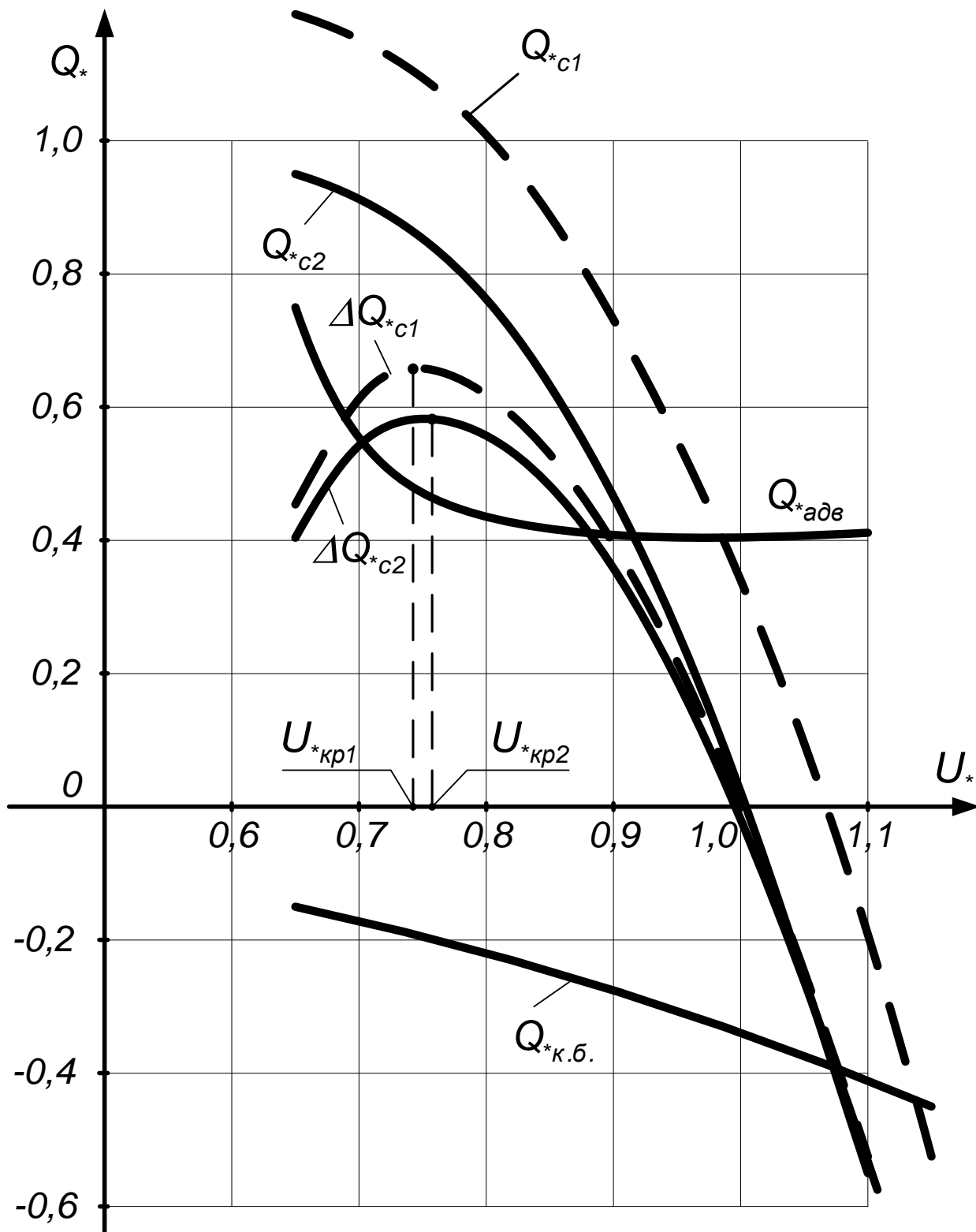


Рис.9.4 Зміна характеристик компонентів балансу реактивної потужності.

10. ВИСНОВКИ

В наданій кваліфікаційній роботі розглядалися питання розробки системи електропостачання групи цехів заводу сільськогосподарського машинобудування. Це досить комплексне дослідження, що охоплює кілька важливих аспектів проектування електропостачання промислового підприємства.

Основні розрахунки включали в себе: детальний розрахунок електричних навантажень групи цехів РП-2; техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання; розрахунки струмів короткого замикання.

Виходячи з техніко-економічного порівняння варіантів електропостачання був обраний варіант їх живлення по кабельній лінії 10 кВ із спорудженням РП-2.

На основі розрахунків струмів КЗ було обрано все високовольтне обладнання та кабелі, які забезпечують електропостачання групи цехів РП-2.

В спеціальному розділі розглядалися питання дослідження впливу конденсаторних батарей на стійкість асинхронного навантаження. Виконаний аналіз показує, що використання батарей зменшує вимоги до напруги на шинах 10 кВ, але водночас погіршує показники статичної стійкості навантажувального вузла.

						Арх.
						56
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.

2. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.

3. 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.

4. Правила улаштування електроустановок. Відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України). Наказ Міністерства енергетики України від 21.07.2017 №476, 2017. – 617 с.

5. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П.Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.

6. Енергетичний інжиніринг та менеджмент. Проектування ефективних енергетичних систем: навч. посіб. / П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков, І. В. Савеленко; ред.: Плешков П. Г. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018.– 156 с.

7. Кваліфікаційна робота бакалавра : метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. : П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – 80 с.

8. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів. Вид.2-е, / Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Академіка НАН України Г. Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002. – 597 с.

									Арх.
									57
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата					

9. Проектування схем електропостачання: Методичні вказівки до виконання організаційно-економічних розрахунків /Укл. О.О.Ляшенко. Кіровоград КІСМ, 1998.- 24с

10. Губський А.І. Цивільна оборона. Підручник для вищих учбових закладів. – К.: Міністерство Освіти, 1995. – 216 с.

11. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами. НКРЕ України, 1997.

						Арх.
						58
Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Табл.А.1 Вибір вимикачів в ЗРУ-10 кВ

Параметри вимикача	Умови вибору	Перевірка умов вибору			
		Ввідний	Секційний	Лінійний (КТП-2х1000)	Лінійний (магістраль)
Номинальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_n$	10=10	10=10	10=10	10=10
Довготривалий номінальний струм, А	$I_{роб.форс} \leq I_{дл.н}$	596 ≤ 630	295 ≤ 630	91,2 ≤ 630	183,5 ≤ 630
Ном. струм дин. стійкості, кА симетричний і асиметричний	$I'' \leq I_{дин.с}$	7,1 < 20	7,1 < 20	7,1 < 20	7,1 < 20
	$i_y \leq \sqrt{2} \cdot I_{д.с}$	17,4 < 51	17,4 < 51	17,4 < 51	17,4 < 51
Ном. струм відключення, кА симетричний асиметричний	$I_{nt} \leq I_{відкл.н}$	7,1 ≤ 20	7,1 ≤ 20	7,1 ≤ 20	7,1 ≤ 20
	$i_{ат} + i_{нт} \leq \sqrt{2} \cdot I_{відкл.н} \cdot (I + \beta_n)$	7,42 ≤ 28	7,42 ≤ 28	7,42 ≤ 28	7,42 ≤ 28
Тепловий імпульс(кА ²)с	$B_k \leq I_{т.н}^2 \cdot t_{т.н}$	77,3 ≤ 3200	52 ≤ 3200	27 ≤ 3200	27 ≤ 3200
Тип		ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ	ВР-1-10-20/630УЗ

Таблиця А.2 – Запобіжник для захисту ТВП

Умови виробу	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_n \leq I_{н.пл.вс.}$	3,47 А	5 А
$\ddot{I} \leq I_{відкл.}$	7,1 кА	20 кА

Табл.А.3 Завантаження фаз контрольно вимірювальними приладами

Прилади	Тип	Потужність В А		
		Фаза А	Фаза В	Фаза С
Амперметр	Э-377	0.1	0.1	0.1
Лічильник активної та реактивної енергії	ZFB/405	0.3	0.3	0.3
Всього		0.4	0.4	0.4

Табл.А.4 Вибір ввідного ТС типу ТЛМ-10-600

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{р.мах} \leq I_n$	596А	600А
$i_y \leq K_D \sqrt{2} \cdot I_n$	17,1 кА	100 кА
$B_k \leq (K_m \cdot I_n)^2 \cdot t_m$	77,3 (кА) ² с	156(кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,348 Ом	0,4 Ом

Табл.А.5 Завантаження вторинного ланцюга трансформатора струму

Обладнання	Тип	Навантаження в (А)	
		Фаза А	Фаза В
Амперметр	Е-377	0.1	0.1
Лічильник активної енергії	САЗУ-5007	1.5	1.5
Ватметр	Д-365	0.5	0.5
Всього		2.1	2.1

Табл.А.6 Вибір ТС відходячих ліній ТПЛ-10-100

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$I_{p.max} \leq I_n$	92,2 А	100 А
$i_y \leq K_D \sqrt{2} \cdot I_n$	17,1 кА	25 кА
$B_k \leq (K_m \cdot I_n)^2 \cdot t_m$	27(кА) ² с	919 (кА) ² с
$Z_2 \leq Z_{2н0.5}$	0,3Ом	0.6 Ом

Табл.А.7 Навантаження вторинної мережі ТН

Прилад	Тип	Кількість	Потужність			
			P , Вт	P_{Σ} , Вт	Q , Вар	Q_{Σ} , Вар
1	2	3	4	5	6	7
Лічильник активної енергії	САЗУ-5007	6	1,5	9	5,8	34,6
Лічильник реактивної енергії	СРЧУ-5008	1	1,5	1,5	5,8	5,8
Комбінований лічильник	ZFB/405	1	9	9	4,5	4,5
Вольтметр	Е-377	1	2	2		
Ватметр	Д-365	5	1,5	7,5		
Варметр	Д-365	1	1,5	1,5		
Всього				30,5		45,1

Табл.А.8 Вибір ТН типу НАМИТ-10

Умови вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{уст} \leq U_n$	10 кВ	10 кВ
$S_{\Sigma} \leq S_{н0.5}$	54 ВА	120 ВА