

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ П. Плешков

“__” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ
на тему:
«Проектування електротехнічної системи електроспожи-
вання авторемонтного підприємства
Design of the electrical system of power consumption of a car
repair enterprise»**

Виконав здобувач IV курсу групи ЕЕ-19
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Д.Мельник
«__» _____ 2023 р.

Керівник проекту
професор, канд. техн. наук
_____ П.Плешков

«__» _____ 2023 р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Плешков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мельник Дмитра Романовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Проектування електротехнічної системи**
електроспоживання авторемонтного підприємства
Design of the electrical system of power consumption of a car repair enterprise

2. Керівник роботи (проекту) Плешков Петро Григорович, к.т.н., професор

3. Строк подання студентом роботи до захисту 5.06.2023 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) _____
Вступ; Коротка характеристика технологічного процесу; Картограма
електричних навантажень та місце розташування ГЗП; Техніко-економічне
обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електро-постачання
підприємства; Компенсація реактивної потужності; Трансформаторні
підстанції; Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання,
електроустановок та силових мереж системи електропостачання; Оптимальне
управління якістю електроенергії; Висновки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	1.05.23	
2	<i>Коротка характеристика технологічного процесу</i>	5.05.23	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування ГЗП</i>	9.05.23	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	15. 05.23	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	19. 05.23	
6	<i>Трансформаторні підстанції;</i>	22. 05.23	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання, електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	25. 05.23	
8	<i>Оптимальне управління якістю електроенергії</i>	27.05.23	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки ВКР</i>	29. 05.23	
10	<i>Оформлення презентаційної частини ВКР</i>	31. 05.23	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2023р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 71 с.; 12 рис.; 16 табл.; 11 джерел.

Мельник Д.Р. Проектування електротехнічної системи електроспоживання авторемонтного підприємства – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню електротехнічної системи електроспоживання авторемонтного підприємства. Проведено проектування, яке задовольняє вимогам економічності та надійності роботи. Для цього в роботі було проведено основні техніко-економічні розрахунки: електричних навантажень, режимів реактивної потужності, струмів коротких замикань. Здійснено вибір схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання станції, трансформаторних підстанцій, конденсаторних установок, струмопроводів, високовольтного обладнання.

У спеціальному розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто питання оптимального управління якістю електроенергії. В якості приклада розглянуто задачу управління несиметричними режимами в електромережі (режимом зворотної послідовності), що спричиняються живленням приймачів несиметричного виконання.

Ключові слова: електричні навантаження, трансформаторна підстанція, реактивна потужність, струми короткого замикання, електричне обладнання, якість електричної енергії, несиметричні режими, оптимальне управління якістю електроенергії.

ABSTRACT

Qualification work: 82 p.; Fig. 14; 16 tables; 11 sources.

Melnyk D.R. Design of the electrical system of power consumption of a car repair enterprise - Manuscript.

Qualification work 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 qualification work is devoted to the design of the electrotechnical system of power consumption of a car repair enterprise. The design was carried out, which meets the requirements of economy and reliability of work. For this, the main technical and economic calculations were carried out in the work: electrical loads, reactive power modes, short-circuit currents. The selection of external and internal power supply schemes for the station, transformer substations, capacitor units, power lines, high-voltage equipment was made.

In a special section of the qualification work, the issue of optimal power quality management was considered. As an example, the task of managing asymmetric modes in the power grid (reverse sequence mode) caused by the power supply of asymmetric receivers is considered.

Key words: electrical loads, transformer substation, reactive power, short-circuit currents, electrical equipment, quality of electrical energy, asymmetric modes, optimal control of power quality.

ЗМІСТ		
	ВСТУП.....	6
1	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 освітлювальних навантажень.....	9
2.3.	Розрахунок електричних навантажень силових мережах вище 1000 В.....	9
2.4.	Побудова графіків електричних навантажень підприємства.....	15
3.	КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГЗП.....	19
4.	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРО-ПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	21
5.	КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	26
5.1.	Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	26
5.2.	Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв.....	27
6.	ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ	30
6.1.	Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій.....	30
6.2.	Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	31

					<i>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА</i>			
		докум.			Проектування електротехнічної системи електроспоживання автомобільного підприємства			
Розроб	Мельник							
Перевірив	Плешков П.Г.							
						ЦНТУ, гр.ЕЕ-19		
						6		

7.	РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕ- РЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	32
7.1.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	32
7.2.	Вибір високовольного електрообладнання.....	36
8	ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ....	40
8.1	Загальні положення	40
8.2	Несиметричний режим системи електропостачання як об'єкт управління.....	41
8.3	Критерії управління несиметричним режимом електричної мережі	46
8.4	Управління рівнем несиметрії при динамічних режимах роботи електромережі як завдання оптимального управління	50
8.5	Особливості постановки та розв'язання задач оптимізації при не- симетричних режимах електромережі	52
8.6	Математична модель управління при внутрішньому симетруван- ні навантажень	56
8.7	Математична модель для управління СП.....	62
	ВИСНОВКИ.....	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ВСТУП

Економічний розвиток будь-якої країни, усіх галузей народного господарства визначається рівнем розвитку електроенергетики. Випереджальний її розвиток є основою прискорення технічного прогресу, високих і стійких темпів росту продуктивності праці і завдяки цьому росту випуску продукції.

В енергетичній програмі України сформульовані найважливіші задачі розвитку промисловості шляхом інтенсифікації і підвищення ефективності виробництва на базі прискореного науково-технічного прогресу.

В області електропостачання споживачів ці задачі мають на увазі підвищення рівня проектно – конструкторських розробок, раціональну експлуатацію високонадійного електричного обладнання, зниження невиробничих витрат електричної енергії при її передачі, розподілу та споживанні.

Розвинення і ускладнення структури систем електропостачання, збільшення вимог до економічності та надійності їх роботи в єдності із структурою, яка змінюється і характером споживачів електричної енергії, впровадження пристроїв керування розподілом та споживання електроенергії на базі сучасної обчислювальної техніки ставлять проблему підготовки висококваліфікованих інженерів.

Не останню частку до вимог часу складає питання якості та точності обліку спожитої електричної енергії, забезпечення цього є основною задачею інженерних підрозділів країни.

Важливою задачею є створення системи електропостачання, електрообладнання які забезпечують режими енергозбереження і в кінцевому рахунку, зменшуючих економічний вплив на оточуюче середовище. На стадії проектування ці задачі вирішуються шляхом вибору оптимальних, економічних схем, сучасного обладнання і максимальної автоматизації усіх стадій використання енергоресурсів.

У даній кваліфікаційній роботі ставиться задача розробити систему електропостачання авторемонтного заводу.

						Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Для сучасних підприємств машинобудівної галузі характерний ріст електроспоживання через зростання попиту на матеріали. Промислові підприємства мають досить значні питомі витрати електроенергії та питомі щільності навантажень, що досягають 0,45-0,65 кВА/м².

Дана галузь характеризується введенням нових методів, нового обладнання, його переналадкою, а також неперервної зміною та вдосконаленням вихідної продукції.

Характеристики режимів роботи споживачів електроенергії промислових підприємств показує, що більшість електродвигунів, що обслуговують технологічні лінії та агрегати безперервного виробництва, працюють в тривалому режимі. Прикладом електроспоживачів, що працюють в даному режимі є електродвигуни компресорів, насосів, вентиляторів і т.д.

Підйомно-транспортні пристрої працюють з характерними коливаннями навантаження, що визивають зміну коефіцієнта потужності. В цехах металоконструкцій застосовується дугове зварювання. Потужність однопостових зварвальних трансформаторів для ручного зварювання 9-45 кВт. Для автоматичного зварювання застосовуються трифазні установки потужністю 14-550 кВА. Для даного типу пристроїв характерний повторно-короткочасний режим.

В зв'язку з вище приведеним, при проектуванні схеми електропостачання авторемонтного заводу необхідно буде враховувати ряд специфічних факторів, що залежать: від потужності елементів проектування, наявності споживачів I та II категорій, зон з агресивним середовищем, кількості та потужності електроспоживачів з різкозмінним та ударним навантаженням.

Основною частиною заводу є такі цеха: ливарний, механічний, малярний, кузовний, цеха гарячої та холодної обкатки автомобілів, а також приміщення власних потреб для нормальної роботи підприємства.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Для забезпечення живлення електроспоживачів на території заводу збудовано ГЗП від якого отримують живлення по кабельним лініям шість трансформаторних підстанцій. Відстань до живлячої підстанції 6 км. Режим роботи підприємств, в основному, двозмінний. По ступені безперебійності електропостачання споживачі відносяться до першої, другої та третьої категорій.

						Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

Визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів виконується у відповідності з методом “Упорядкованих діаграм”, наведеному в [2].

В таблиці 2.1 приведений результат розрахунків силового навантаження авторемонтного заводу з застосуванням математичного пакету Microsoft Excel.

2.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Розрахунок освітлювальних навантажень здійснюється по питомій потужності освітлювального навантаження на одиницю корисної площі підприємства та виконується згідно [2].

Розрахунок освітлювальних навантажень виконується у вигляді таблиці 2.2.

2.3. Розрахунок електричних навантажень в силових мережах вище 1000 В

При визначенні навантаження в мережі напругою вище 1000 В розрахунковими точками навантаження є шини 10 кВ ТП (РП, ГЗП).

Розрахунок навантажень в мережі вище 1000 В виконано згідно методці, приведений [2] та приведений в таблиці 2.3.

Сумарне активне навантаження авторемонтного дорівнює 7227,99кВт, а реактивне – 7056,99 квар.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змін.			Таблиця 2.1. Розрахунок електричних навантажень в мережі до 1000 В																	
Арк.			№	Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Р одного			Рсум, кВт	m	К _и	cosφ	tgφ	Середнє наван- таження		п _{еф}	К _м	Розрахункове навантаження		
№ докум.						min		max						Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Підпис			1	Ливарний цех	50	5	-	80	1575	16	0,65	0,80	0,75	1023,75	767,81	39	1,08	1105,65	767,81	1346,10
			2	Механічний цех	106	1,1	-	100	1144	91	0,17	0,48	1,83	194,51	355,49	23	1,08	210,07	355,49	412,92
			3	Малярний цех	45	3	-	40	1250	13	0,45	0,60	1,33	562,50	750,00	45	1,11	624,38	750,00	975,88
			4	Кузовний цех	30	5	-	95	1720	19	0,35	0,80	0,75	602,00	451,50	30	1,15	692,30	451,50	826,52
			5	Цех гарячої обкатки авто- мобілів	45	10	-	70	2150	7	0,65	0,60	1,33	1397,50	1863,33	45	1,10	1537,25	1863,33	2415,61
			6	Цех холодної обкатки ав- томобілів	45	8	-	65	2025	8	0,40	0,70	1,02	810,00	826,37	45	1,10	891,00	826,37	1215,22
			7	Заводоуправління	20	4	-	15	150	4	0,75	0,90	0,48	112,50	54,49	20	1,12	126,00	54,49	137,28
			8	Електроцех, ремонтний цех	38	2,8	-	40	975	14	0,40	0,70	1,02	390,00	397,88	38	1,12	436,80	397,88	590,85
			9	Компресорна	10	20	-	250	1700	13	0,65	0,80	0,75	1105,00	828,75	10	1,20	1326,00	911,63	1609,14
			10	Їдальня	15	5	-	40	180	8	0,60	0,90	0,48	108,00	52,31	9	1,19	128,52	57,54	140,81
				Всього по заводу	404	1,1	-	250	12869		0,49	0,70	1,01	6305,76	6347,93	404	1,05	6621,05	6347,93	9172,48

Змін.		
Арк.		
№ докум.		
Підпис		
Дата		
	А	
	рк	

Таблиця 2.2. Розрахунок освітлення

№	Найменування підрозділу	F, м ²	ρ ₀ , Вт/м ²	P _y , кВт	cosν	tgφ	Q _y ,кВар	Kс	P _p , кВт	Q _p , квар
1	Ливарний цех	6562,5	12	78,75	0,9	0,484	38,14	0,85	66,94	32,42
2	Механічний цех	9562,5	18	172,13	0,9	0,484	83,36	0,85	146,31	70,86
3	Малярний цех	1687,5	15	25,31	0,9	0,484	12,26	0,85	21,52	10,42
4	Кузовний цех	2625	15	39,38	0,9	0,484	19,07	0,85	33,47	16,21
5	Цех гарячої обкатки автомобілів	2343,75	20	46,88	0,9	0,484	22,70	0,85	39,84	19,30
6	Цех холодної обкатки автомобілів	3750	20	75,00	0,9	0,484	36,32	0,85	63,75	30,88
7	Заводоуправління	4375	18	78,75	0,9	0,484	38,14	0,8	63,00	30,51
8	Електроцех, ремонтний цех	4812,5	16	77,00	0,9	0,484	37,29	0,6	46,20	22,38
9	Компресорна	1375	8	11,00	0,9	0,484	5,33	0,8	8,80	4,26
10	Їдальня	1875	20	37,50	0,9	0,484	18,16	0,8	30,00	14,53
11	Територія заводу	51343,75	0,1	5,13	0,5	1,732	8,89	1	5,13	8,89
	Всього			646,82			319,68		525,0	260,7

[illegible]

Змн.		продовження таблиці 2.3.																	
	Арк.		1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ докум.		Всього															725,77	467,71	863,42
		Цех гарячої обкатки автомобілів																	

Змін.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

продовження таблиці 2.3.

1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Всього по ТП5-6																

2.4. Побудова графіків електричних навантажень підприємства

На підставі проведених вимірювань на підприємстві будується добовий зимовий і літній графік навантажень $P(t)$, $Q(t)$, $S(t)$ відповідно до кількості робочих і вихідних днів.

Нижче побудовані добові графіки для зимового та літнього періодів проектуемого підприємства для робочих і вихідних діб. Графіки побудовані згідно [3] з використанням характерних графіків електричних навантажень для різних галузей промисловості.

Для авторемонтного заводу розрахунок проводився в програмі для побудови графіків електричних навантажень „*Grafik.exe*”, яка впроваджена на кафедрі. Результати приведені на рис.2.1-2.5.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

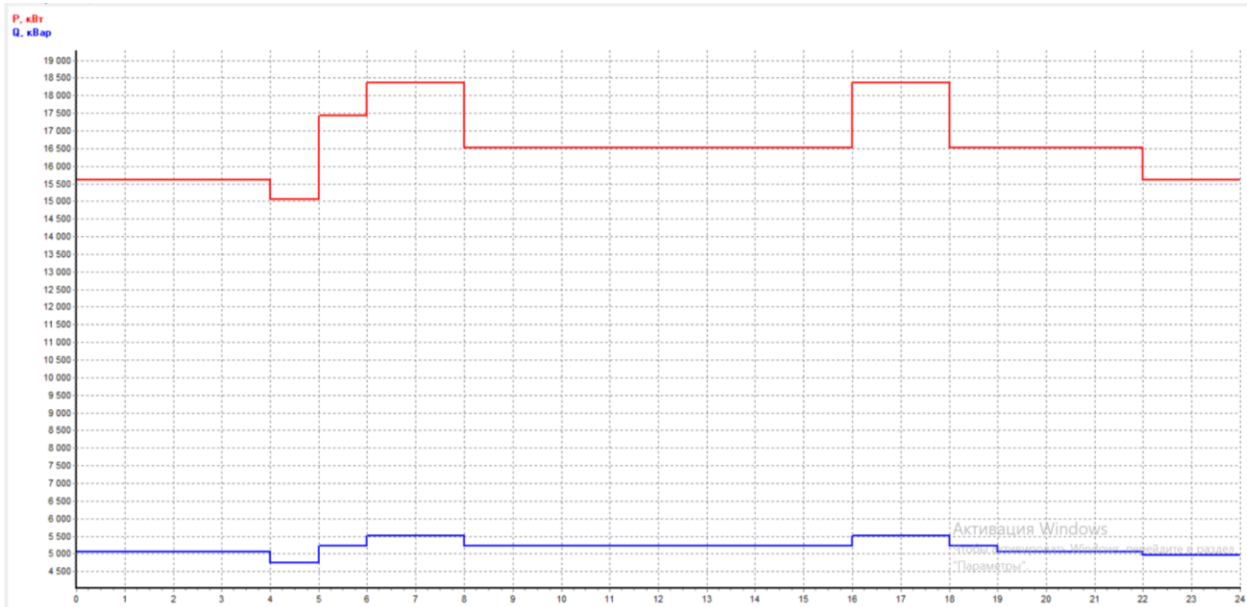


Рис.2.1. Активне навантаження літнього робочого дня

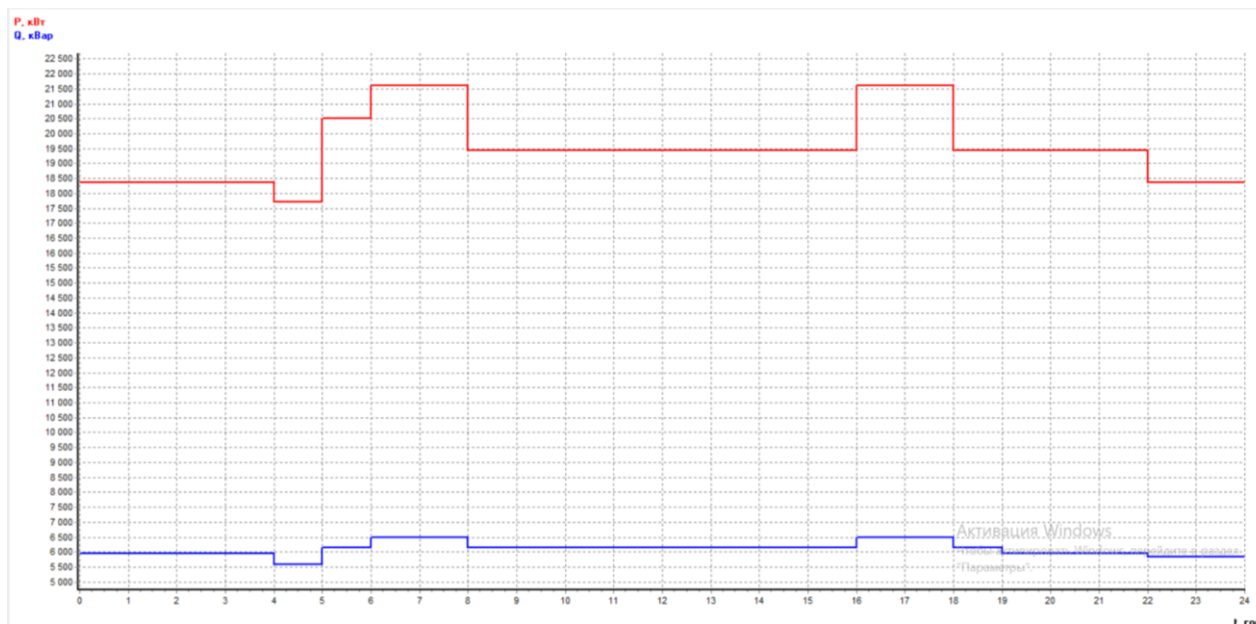


Рис.2.2. Активне навантаження зимового робочого дня

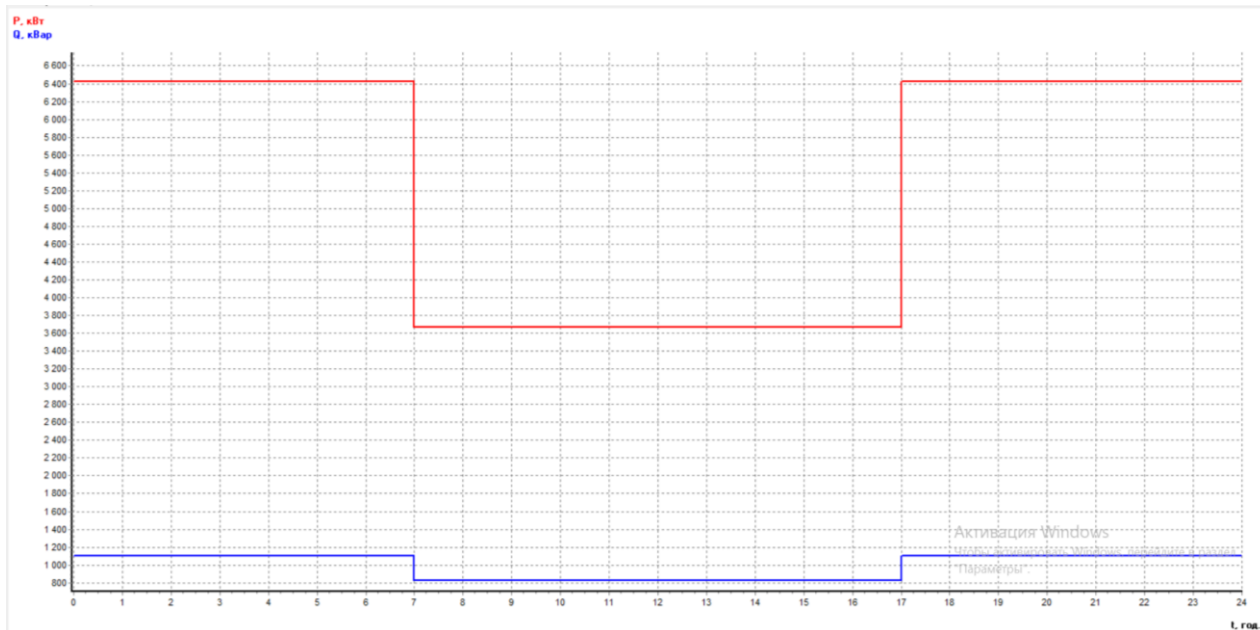


Рис.2.3. Активне навантаження літнього вихідного дня

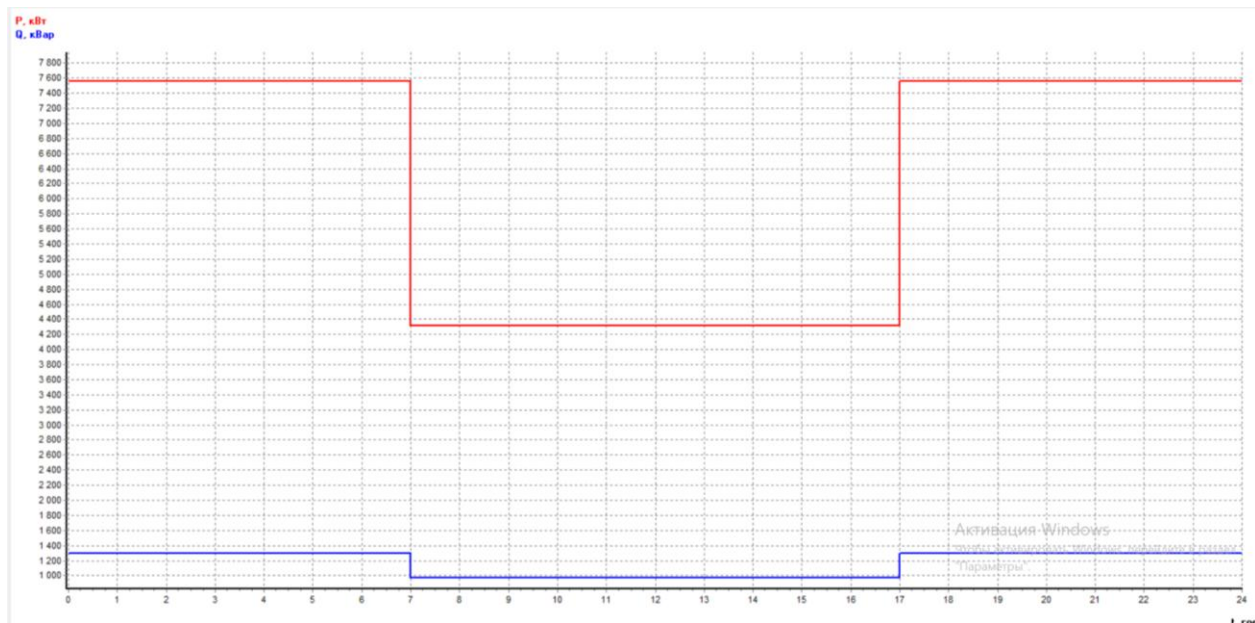


Рис.2.4. Активне навантаження зимового вихідного дня

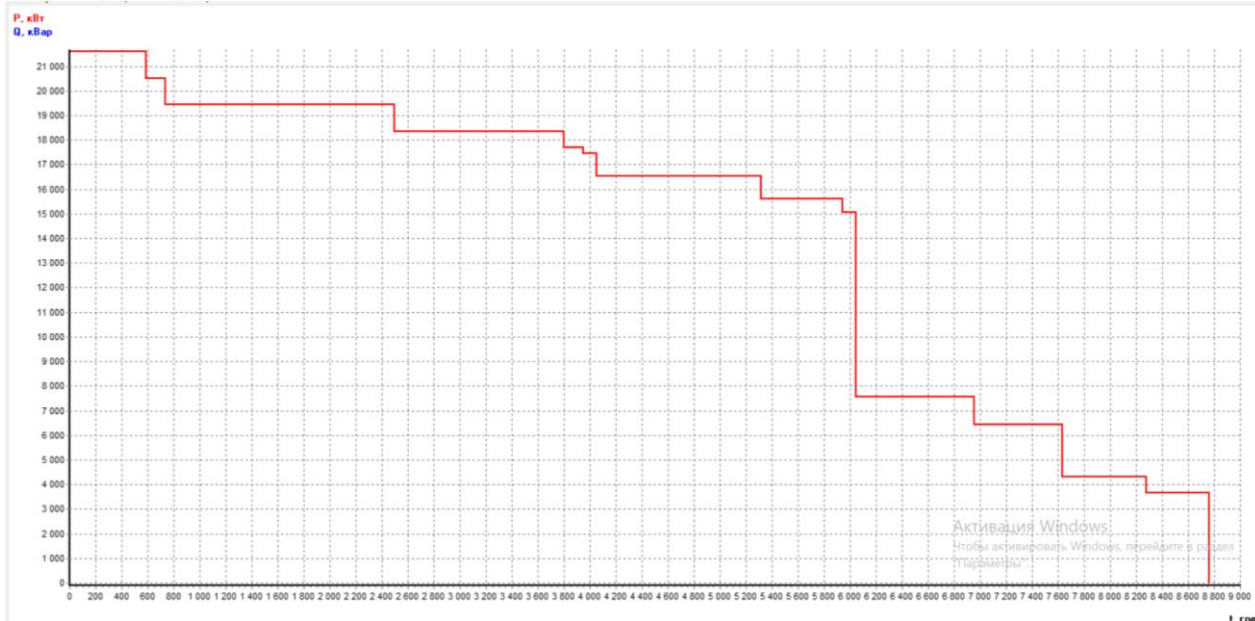


Рис.2.5. Річний графік навантаження

З КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГЗП

Для визначення місця розташування ГЗП на генеральний план промислового підприємства наносяться картограма електричних навантажень.

Розрахунок картограми електричних навантажень для авторемонтного заводу:

$$X_0 = \frac{2555972,38}{7597,79} = 11,214 \text{ см}$$

$$Y_0 = \frac{1118251,51}{7597,79} = 4,906 \text{ см}$$

Приклад розрахунку R та α для ливарного цеху:

при масштабі навантаження $m=0,2 \text{ кВт/мм}^2$ радіус кола, яке зображує силове та освітлювальне навантаження:

$$R = \sqrt{\frac{P_{pc} + P_{po}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1105,65 + 66,94}{3,14 \cdot 0,2}} = 43,2 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{P_{po} \cdot 360^\circ}{\pi R^2} = \frac{66,94 \cdot 360}{3,14 \cdot 43,2^2} = 20,55^\circ$$

Розрахунки для інших цехів проводяться аналогічно і результати зведені в таблиці 3.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 3.1. Допоміжна таблиця до побудови картограми навантажень

№п/п	Назва підрозділу	m	Рр осв i	Рр сил i	Рр сил +Рр осв	Рр вис	R	α	Xi	Yi	Pi*Xi	Pi*Yi
1	Ливарний цех	0,2	66,94	1106	1173		43	21	27,2	11,4	31894	13368
2	Механічний цех	0,2	146,3	210,1	356		24	148	4,2	23,5	1497	8375
3	Малярний цех	0,2	21,52	624,4	646		32	12	27,2	2,7	17568	1744
4	Кузовний цех	0,2	33,47	692,3	726		34	17	15,2	3,2	11032	2322
5	Цех гарячої обкатки автомобілів	0,2	39,84	1537	1577		50	9	60,1	3,2	94783	5047
6	Цех холодної обкатки автомобілів	0,2	63,75	891	955	3200	39	24	3,2	17,4	3055	16613
7	Заводоуправління	0,2	63	126	189		17	120	5	9,5	945	1796
8	Електроцех, ремонтний цех	0,2	46,2	436,8	483		28	34	5	13,9	2415	6714
9	Компресорна	0,2	8,8	1326	1335		46	2	5	13,9	6674	18554
10	Ідальня	0,2	30	128,5	159		16	68	18,2	22,3	2885	3535

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Техніко-економічне обґрунтування схеми зовнішнього та схеми внутрішнього електропостачання підприємства здійснюється згідно [2]. Виходячі з взаємного розташування заводу та підстанції 150/35/10 кВ, що живить, приймаємо два можливих варіанта електропостачання підприємства.

Варіант I. Електропостачання виконується дволанцюговою повітряною лінією 35 кВ. На території заводу планується спорудження підстанції 35/10кВ. Відстань від підстанції системи до заводу складає 6 км.

Варіант II. Електропостачання заводу виконується кабельними лініями 10кВ, які прокладені в траншеї. На території заводу споруджується ЦРП-10 кВ. Відстань від підстанції системи до заводу теж 6 км.

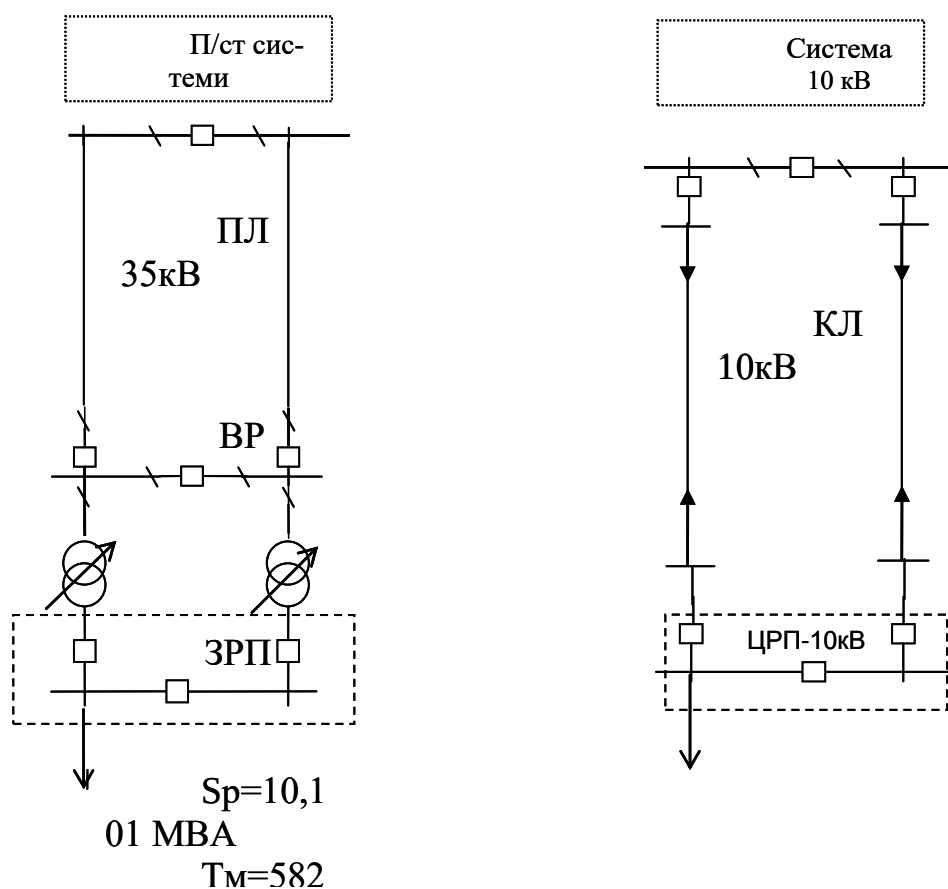


Рис. 4.1 Схеми зовнішнього електропостачання авторемонтного заводу

Варіант №1. Електропостачання здійснюється дволанцюговою ПЛ 35кВ, на території заводу встановлюється п/ст 35/10 кВ.

Вибір перерізу провoda.

Розрахунковий струм в лінії

$$I_{\text{м}} = \frac{10101,73}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 35} = 83,42 \text{ А.}$$

$$I_{\text{р}} = 1,05 \cdot 1,0 \cdot 83,42 = 87,58 \text{ А}$$

Обираємо провід АС 120/19 (опори залізобетонні), Ідоп = 390 А. По короні провід на 35 кВ не перевіряється.

$$\text{Перевірка на нагрів: } I_{\text{ав}} = 2 I_{\text{р}} = 2 \cdot 87,58 = 175,17 \text{ А}$$

175,17 А < 390 А, провід АС 120/19 задовольняє умовам перевірки.

Коефіцієнт завантаження лінії в нормальному режимі:

$$K_{\text{з}} = 87,58 / 390 = 0,213$$

Втрати потужності в лінії з проводом АС120/19 складають $\Delta P_{\text{Л0}} = 140 \text{ кВт/км}$.

Вибір трансформаторів на п/ст. Приймаємо, що частка споживачів І та ІІ категорії складає 80%, тоді

$$S_{\text{р.т}} \geq \frac{10,101 \cdot 0,8}{1,4} = 5,77 \text{ МВА}$$

Приймаємо до встановлення два трансформатора ТМН 6300/34. Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_{\text{з}} = \frac{10,101}{2 \cdot 6,3} = 0,801$$

Технічні дані трансформатора:

$$U_{\text{ВН}} = 35 \text{ кВ}; \quad U_{\text{ВН}} = 11 \text{ кВ};$$

$$\Delta P_{\text{к}} = 46,5 \text{ кВт}; \quad \Delta P_{\text{х}} = 9,2 \text{ кВт}; \quad U_{\text{к}} = 7,5\%; \quad I_{\text{х}} = 0,9\%$$

ВРП підстанції виконується по схемі мостика з трьома вимикачами. Вартість ВРП 35 кВ дорівнює $K_{\text{ВРП}} = 960 \text{ тис.грн}$.

Розрахунок капітальних вкладень та експлуатаційних витрат по І варіанту.

$$K_{\text{І}} = K_{\text{Л}} + K_{\text{п/ст}}$$

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{л} = K_{л0} \cdot l = 552 \cdot 6 = 3312 \text{ т.грн.}$$

$$K_{п/ст} = K_{тр} + K_{врт} + K_{пз}$$

$$K_{тр} = 2 \cdot 732 = 1464 \text{ т.грн.}$$

$$K_{врт} = 960 \text{ т.грн.}$$

$$K_{пз} = 560 \text{ т.грн.}$$

$$K_{п/ст} = 1464 + 960 + 560 = 2984 \text{ т.грн.}$$

$$K_{г} = 3312 + 2984 = 6296 \text{ т.грн.}$$

Поточні витрати на експлуатацію:

$$C_{а} = C_{л} + C_{п/ст} = 10/100 \cdot 3312 + 20/100 \cdot 2984 = 928 \text{ т.грн.}$$

Втрати електричної енергії в лініях і трансформаторах

$$\Delta W_{л} = 140 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,213^2 \cdot 4369,52 = 334984,9 \text{ кВт г}$$

$$\Delta W_{т} = 2(9,2 \cdot 8760 + 46,5 \cdot 0,801^2 \cdot 4369,52) = 422342,6 \text{ кВт г}$$

Сумарні втрати енергії

$$\Delta W_{г} = 334984,9 + 422342,6 = 757327,5 \text{ кВт г}$$

Вартість втрат електроенергії

$$C = C_0 \cdot \Delta W_{г} = 2,7 \cdot 757327,5 = 2045 \text{ т.грн.}$$

де $C_0 = 2,7$ грн/кВт г для ПЛ 35 кВ.

Розрахункові витрати по I варіанту

$$З_1 = 928 + 2045 + 0,12 \cdot 6296 = 3728,5 \text{ т.грн.}$$

Варіант №2. Електропостачання виконується кабельними лініями 10 кВ.

На заводі споруджується ЦРП 10 кВ.

Вибір перерізу кабелю.

Розрахунковий струм в лінії

$$I_{м} = \frac{10101,73}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10} = 291,95 \text{ А}$$

При $T_{м} \geq 5000\text{Г}$ $j_{ек} = 1,2 \text{ А/мм}^2$

$$F_{розр} = \frac{I_{м}}{j_{ек}} = \frac{291,95}{1,2} = 243,29 \text{ мм}^2$$

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо шість кабелів АСБУ (3х120) з припустимим струмом
 $3 \times 240 = 720 \text{ А}$.

Перевіряємо кабель на нагрів

$$I_{\text{ав.р}} \leq I_{\text{доп}},$$

$$\text{де } I_{\text{ав.р}} = 2 \cdot I_{\text{м}} = 2 \cdot 291,95 = 583,9 \text{ А}$$

$$I'_{\text{доп}} = K_1 \cdot K_{\text{ав.П}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,75 \cdot 1,35 \cdot 720 = 729 \text{ А}$$

$$583,9 \leq 729 \text{ А}$$

Вартість кабельних ліній

$$K_{\text{л}} = K_{\text{л0}} \cdot l = 180 \cdot 6 \cdot 6 = 6480 \text{ т.грн.}$$

Вартість двох шафів серії КУ-10

$$K_{\text{КУ}} = 2 \cdot 51,36 = 102,72 \text{ т.грн.}$$

$$\text{Вартість траншеї для КЛ: } K_{\text{ТРАШ}} = 6 \cdot 68,64 = 411,84 \text{ т.грн}$$

$$K_{\text{КЛ}\Sigma} = K_{\text{кл}} + K_{\text{ТРАШ}} = 6480 + 411,84 = 6891,84 \text{ т.грн}$$

Сумарні капітальні вкладення по II варіанту.

$$K_{\text{II}} = 6891,84 + 102,72 = 6994,562 \text{ т.грн.}$$

Відрахування на амортизацію, ремонт та обслуговування

$$C_{\text{а}} = 0,1 \cdot 6994,56 + 0,2 \cdot 102,72 = 720 \text{ т.грн.}$$

Втрати енергії в кабельних лініях:

$$\Delta W_{\text{л}} = 54 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 0,404^2 \cdot 4369,52 = 1393197 \text{ кВт г}$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{кл0}} = 54 \text{ кВт/км}$$

$$K_3 = \frac{291,95}{720} = 0,404$$

Вартість втрат електроенергії для другого варіанта

$$\text{Для ліній 10 кВ } C_0 = 1,15 \text{ грн/кВт г}$$

$$C = C_0 \cdot \Delta W_1 = 2,7 \cdot 1393197 = 3761 \text{ т.грн.}$$

Розрахункові витрати по II варіанту

$$Z_{\text{II}} = 720 + 3761 + 0,12 \cdot 6994,56 = 37285320,34 \text{ т.грн.}$$

Розрахунок техніко-економічних показників двох варіантів проведених по програмі “ЕKONOM.EXE”, яка розроблена на кафедрі. Аналіз результатів роз-

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунку показав, що кращим варіантом електропостачання заводу являється варіант на номінальну напругу 35 кВ з проводом АС120/19 на залізобетонних опорах і спорудженням підстанції 35/10кВ. Розрахункові витрати для даного варіанта складають З=9311,9 т.грн. В таблиці 4.1 приведені основні техніко-економічні показники варіантів, що порівнюються.

Таблиця 4.1. Техніко-економічні показники варіантів.

№ пп	Назва	Одиниця виміру	Варіанти	
			I (35кВ)	II (10 кВ)
1	Капітальні вкладення	т.грн.	6296	6994,562
2	Амортизаційні відрахування	т.грн.	928	720
3	Вартість втрат електроенергії	т.грн.	2045	3761
4	Збиток	т.грн.	42,9	176,255
5	Приведенні витрати	т.грн.	9311,9	11651,8

5 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Істотна частина промислових електроприймачів в процесі функціонування споживає із мережі крім активної потужності і реактивну. Передача реактивної потужності по мережам і через трансформатори неефективна, тому що знижується ККД системи електропередачі та якість електропостачання.

КП сумарною потужністю $Q_{кп}$ можуть бути встановлені як в мережі 0,4 так і в мережі 10кВ. Оптимальне розподілення потужності КП по мережам 0,4 кВ і 10кВ визначається питомою вартістю КП високої та низької напруги, витратами на встановлення комутаційного обладнання і додаткових трансформаторів КТП, вартістю втрат енергії.

5.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації

Потужність компенсуючих пристроїв, які встановлюються в системі електропостачання та вибір пристроїв визначається згідно [3].

Розрахункова схема компенсації для заводу приведена на рис. 5.1. Розрахунок компенсації реактивної потужності для авторемонтного заводу проводиться по програмі „Excel”, яка розроблена на кафедрі. Результати приведені таблиці 3.1.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова схема для заводу приведена на рис.5.1.

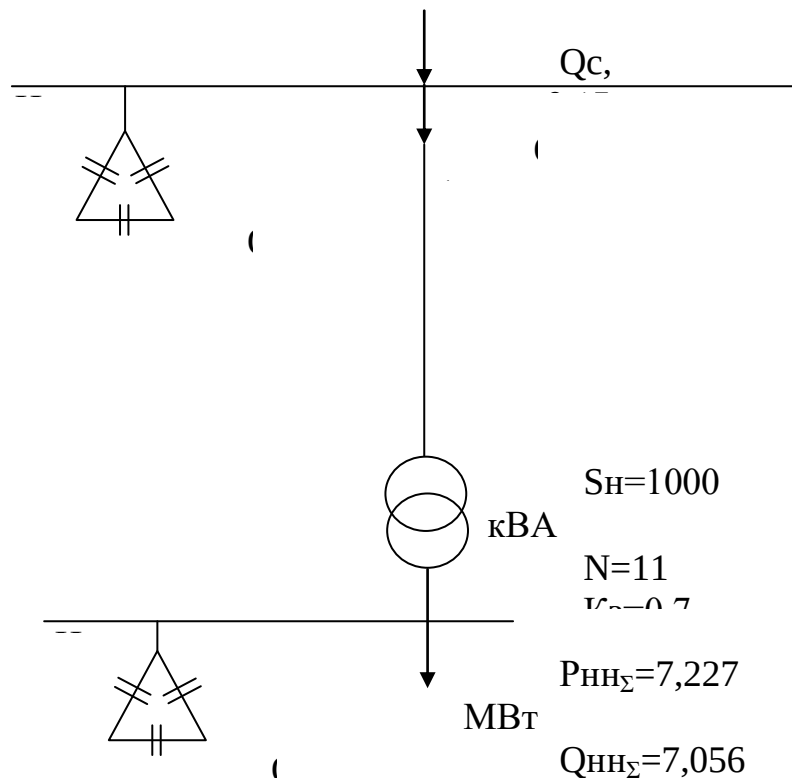


Рис. 5.1 Розрахункова схема компенсації для заводу

5.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Потужності БК, які встановлюються на шинах 0,4 кВ цехових підстанцій, обираються в залежності від реактивної потужності на шинах цієї підстанції та від пропускної здатності трансформатора.

Приклад розрахунку потужності БК на шинах 0,4 кВ цехової підстанції.

КТП 3,4.

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_{нн}=2900,83$ кВт;

$Q_{нн}=3110,76$ кВар;

$S_{ном}=1000$ кВА;

$N_T=4$

$K_3=0,7$

$$Q_1 = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 2900,83^2} = 0 \text{ кВар}$$

$$Q_{ку} = Q_{нн} - Q_1 = 3110,76 - 0 = 3110,76 \text{ кВар}$$

До встановлення на даній підстанції приймаємо батареї

2хКРМ-0,4-150+6хКРМ-0,4-450 (сумарна потужність БК – 3000 кВар).

Аналогічно розраховуються потужності БК на 0,4 кВ для інших підстанцій.

В таблиці 5.3. приведені результати розрахунку електричного навантаження заводу вище 1000 В з урахуванням стандартних БК.

Розрахунковий $\text{tg}\varphi_p$ складає $\text{tg}\varphi_p = 0,140$

Таким чином, при встановленні вибраних БК на 0,4 кВ забезпечується баланс РП в системі електропостачання заводу.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

6.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

Вибір потужності силових трансформаторів здійснюється з урахуванням аварійних і допустимих систематичних перевантажень відповідно методики, викладеній в [2].

Силові трансформатори на ГЗП обладнуються пристроями РПН.

Споживачі I, II категорій у складі навантаження підприємства складають 80%.

Максимальне навантаження авторемонтного заводу $S_{\max}=10101,78$ кВА

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_{TP-P} = \frac{S_{\max} \cdot K_{I,II}}{1,4} = \frac{10,101 \cdot 0,8}{1,4} = 5,77 \text{ МВА}$$

Обираємо 2*ТМН 6300/35, $S_{H.T}=6300$ кВА

$U_{BH}=37$ кВ $U_{HH}=10,5$ кВ $\Delta P_K=46,5$ кВт $U_K=7,5\%$

$\Delta P_X=9,2$ кВт $I_X=0,9\%$

В нормальному режимі трансформатори працюватимуть з коефіцієнтом завантаження

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{H.T}} = \frac{10,101}{2 \cdot 6,3} = 0,801$$

Коефіцієнт завантаження трансформатора в аварійному режимі

$$K_{3-AB} = \frac{S_{\max}}{S_{H.T}} = \frac{10,101}{6,3} = 1,603, \text{ тому необхідно відключення споживачів III}$$

категорії в аварійному режимі.

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій

Приймаються до встановлення комплектні трансформаторні підстанції КТП – 10/0,4кВ вбудованого типу (внутрішнього встановлення). Приймається також, що трансформатори завантажені рівномірно.

Для ТП №1,2 (механічний цех):

вибираємо потужність силових трансформаторів:

$S_{тр\ p} = S_p / 1,4(n - 1) = 2175,97 / ((3-1)*1,4) = 777,13$ кВА - приймаємо трансформатор з найближчою більшою потужністю: ТМН - 1000/10. Приймаємо до встановлення КТП 10/0,4 Хмельницького заводу трансформаторних підстанцій.

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі:

$$K_3 = S_p / (n S_{тр}) = 2175,97 / (3 \cdot 1000) = 0,73$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших ТП. Результати розрахунків зводимо в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1. Вибір потужності та місця розташування цехових ТП

№ ТП	P _p	Q _p	S _p	Вид ТП	N _{тр}	S _{тр}	K ₃	Категорія за ПБ	Місце розташування	% обмеження споживачів III категорії	Категорія споживачів
ТП№1-2	2112,49	521,78	2175,97	вбуд.	3	х 1000	0,73	Д	Механічний цех	3,49	I,II,III
ТП№3-4	2932,41	282,63	2946,00	вбуд.	4	х 1000	0,74	Д	Кузовний цех	4,96	I,II,III
ТП№5-6	2716,19	2052,75	3404,63	вбуд.	4	х 1000	0,85	Д	Цех холодної обкатки	17,76	I,II,III

7 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

7.1. Розрахунок струмів короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання використовується розрахункова схема в однолінійному зображенні. В неї вводяться всі джерела, які живлять місце КЗ, та всі елементи системи електропостачання (трансформатори, лінії, реактори), які розташовані між ними та місцем КЗ. Синхронні компенсатори, синхронні та асинхронні двигуни приймаються як джерела живлення.

Перед розрахунком струмів КЗ складається розрахункова схема (рис.7.1.) на якій визначають місця, в яких треба розрахувати струми короткого замикання.

По розрахунковій схемі складається схема заміщення, на якій всі елементи представлені у вигляді опорів. Вихідними даними для розрахунку є схема живлячої мережі та потужність КЗ на шинах 35 кВ системної підстанції ($S''_c=830\text{MVA}$).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

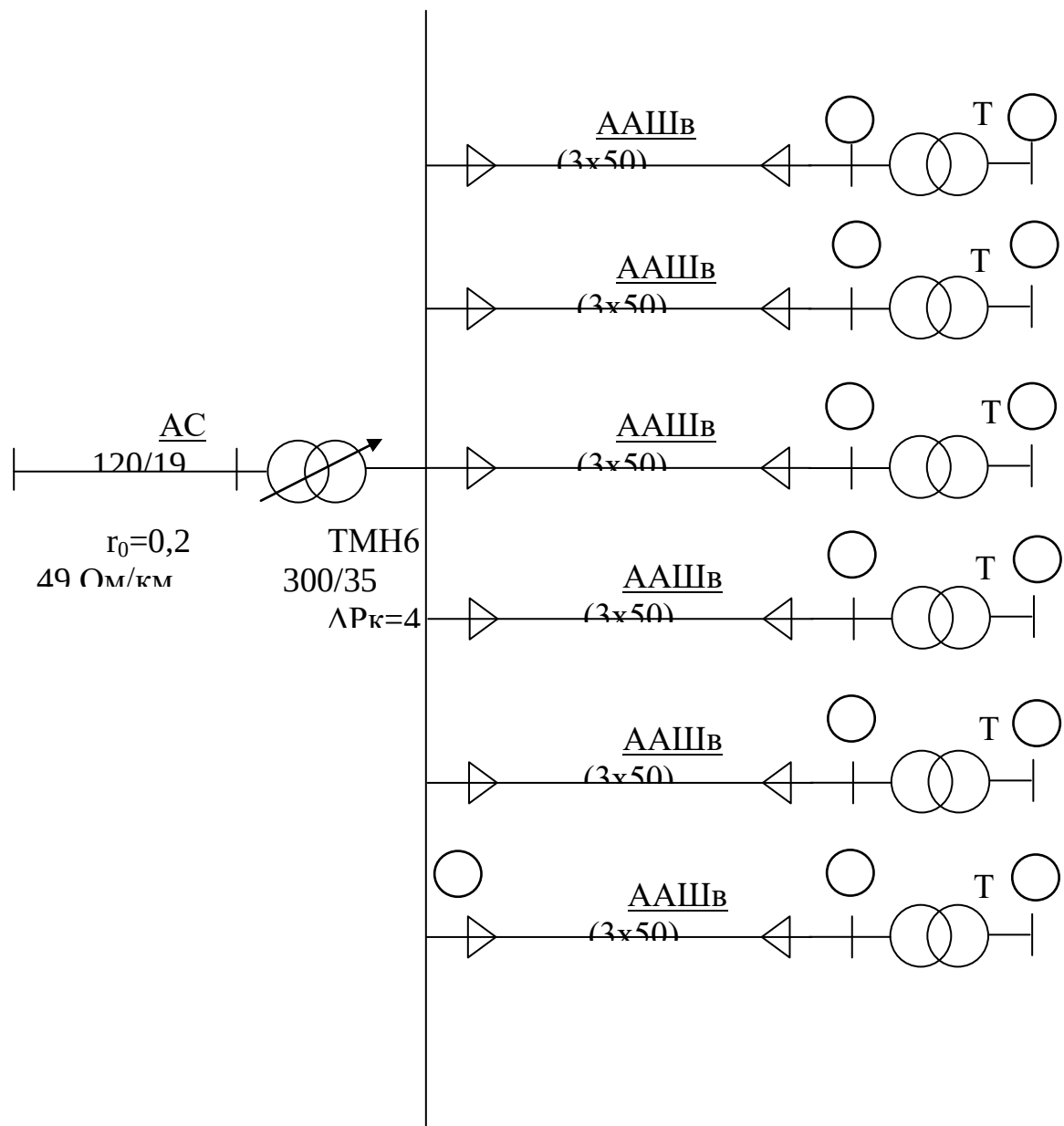


Рис.7.1. Розрахункова схема

Розрахунок опорів елементів схеми.

$$X_C = \frac{U_{CP1}^2}{S_C''} = \frac{37^2}{830} = 1,65 \text{ Ом}$$

$$R_C = \frac{X_C}{25} = \frac{1,65}{25} = 0,066 \text{ Ом}$$

Лінія Л1 35 кВ, провід АС120/19, $r_0=0,249 \text{ Ом/км}$, $x_0=0,414 \text{ Ом/км}$

$R_L=0,249 \cdot 6=1,494 \text{ Ом}$ $X_L=0,414 \cdot 6=2,484 \text{ Ом}$

Трансформатор на п/ст II, $S_{ном}=6300 \text{ кВА}$

$\Delta P_K=46,5 \text{ кВт}$, $U_K=7,5\%$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	33

$$R_T = \frac{46,5 \cdot 37^2 \cdot 10^3}{6300^2} = 1,603 \text{ Ом}$$

$$X_T = \frac{7,5 \cdot 37^2 \cdot 10}{6300} = 16,29 \text{ Ом}$$

Опір до шин ВН ЗП, точка “К_О”

$$R_{KO} = R_C + R_L = 0,066 + 1,494 = 1,56 \text{ Ом}$$

$$X_{KO} = X_C + X_L = 1,65 + 2,484 = 4,134 \text{ Ом}$$

Струм КЗ на шинах ВН ЗП

$$I''_{KO} = \frac{U_{CP1}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{KO}^2 + X_{KO}^2}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,56^2 + 4,134^2}} = 4,834 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{X_{KO}}{\omega \cdot R_{KO}} = \frac{4,134}{314 \cdot 1,56} = 0,008 \text{ с}$$

Ударний струм в точці К_О

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 4,834 \cdot (1 + e^{-0,01/0,008}) = 8,795 \text{ кА}$$

Розрахунковий струм КЗ на шинах НН (точка К₁)

$$R_{K1} = R_{KO} + R_T = 1,56 + 1,603 = 3,163 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_{KO} + X_T = 4,134 + 16,29 = 20,424 \text{ Ом}$$

Струм КЗ в точці К₁, приведений до високої сторони

$$I''_{K1} = \frac{U_{CP1}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3,163^2 + 20,424^2}} = 1,033$$

Дійсний струм КЗ у вузлі 1

$$I''_{K1(\phi)} = I''_{K1} \cdot \frac{35}{11} = 1,033 \cdot \frac{37}{11} = 3,476 \text{ кА}$$

$$T_a = \frac{20,424}{314 \cdot 3,163} = 0,02 \text{ с}$$

Ударний струм на шинах НН ЗП “П”

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 3,476 \cdot (1 + e^{-0,01/0,02}) = 7,897 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів КЗ в інших вузлах схем приведений в таблиці 7.1.

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	34

Таблиця 7.1. Струми КЗ п/ст 35/10

КЗ	$I_{к''}$, кА	I_y , кА	T_a , с
ВН(0)	4,834	8,795	0,008
НН(1)	3,476	7,897	0,02

Вибір кабелів напругою 10 кВ для високовольтної мережі заводу.

Приклад розрахунку вибору кабеля до КТП5

$S_p = 1702,315$ кВА

$$I_p = \frac{1702,315}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 49,19 \text{ А}$$

$F_p = 49,19/1,2 = 40,99$ мм². Приймаємо кабель ААШв (3х50), $I_{доп} = 140$ А

Визначимо мінімальний переріз кабеля в мережі 10кВ при струмі КЗ

$$I_{к1}'' = 3,476 \text{ кА}$$

$$t_{отк} = t_{р.з} + t_{о.в} + \Delta t = 0,1 + 0,065 + 1,2 = 1,365 \text{ с}$$

$$W_k = 3,476^2 (1,365 + 0,02) = 16,734 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{MIN} = \frac{\sqrt{16,734 \cdot 10^3}}{94} = 43,518 \text{ мм}^2$$

Мінімальний переріз кабеля по термічній стійкості дорівнює ААШв(3х50).

Вибір кабелів приведений в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2. Вибір кабелів 10 кВ заводської мережі

№ п п	Найменування КЛ	№ тр	S_p , кВА	I_p , А	F_p , мм ²	$F_{ст}$, мм ²	$F_{мин}$ Т.У., мм ²	$I_{доп}$, А	$I_{ав.р.}$, А	$I_{доп'}$, А
1	ГЗП-ТП1	2	1450,65	41,88	34,90	50	50	140	83,75	139,23
2	ГЗП-ТП2	1	725,32	41,88	34,90	50	50	140	-	139,23
3	ГЗП-ТП3	2	1473,00	42,52	35,43	50	50	140	85,04	139,23
4	ГЗП-ТП4	2	1473,00	42,52	35,43	50	50	140	85,04	139,23
5	ГЗП-ТП5	2	1702,32	49,14	40,95	50	50	140	98,28	139,23
6	ГЗП-ТП6	2	1702,32	49,14	40,95	50	50	140	98,28	139,23

Розрахунок струмів КЗ для всієї мережі 10 кВ зведений в таблицю 7.3.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 7.3. Струми КЗ в мережі 10 кВ заводу, приведена до ВН

Точка КЗ	1	2	3	4	5	6	7
Ik'',кА	3,476	3,475	0,293	3,475	0,293	3,474	0,293
Точка КЗ	8	9	10	11	12	13	
Ik'',кА	3,474	0,293	3,475	0,293	3,475	0,293	

7.2. Вибір високовольтного обладнання

Вибір вимикачів. Область застосування тих чи інших типів вимикачів залежить від конкретних умов їх експлуатації. При проектуванні треба обрати новітні типи вимикачів, які виробляються вітчизняною чи зарубіжною промисловістю.

В РП 35 кВ можливе застосування маломасляних, бакових і повітряних вимикачів, але останнім часом йде їх заміна на більш надійні вакуумні вимикачі.

В РП 10 кВ доцільно приймати вимикачі вбудовані в коміртки комплектних розподільних пристроїв. Це можуть бути вакуумні і елегазові вимикачі вітчизняних заводів високовольтної апаратури РЗВА та “Таврида електрик”.

Згідно Держстандарту в таблиці 7.4 наведені умови вибору вимикача. Вибираємо високовольтний вакуумний вимикач ВР35 на стороні 35 кВ підстанції заводу.

Таблиця 7.4 Вибір вимикачів на ВРП 35 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
		ВР35НС
1. $U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
2. $I_{РАБ.МАКС} \leq I_{ном}$	$I_{РАБ.МАКС} = 128,51 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
3. $I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	$I_{пт} = I'' = 4,834 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
4. $\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{отк.ном}(1 + \beta_n)$	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 4,834 + 0 = 6,83 \text{ кА}$	$\sqrt{2}I_{отк.ном}(1 + 0) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,4) = 39,5 \text{ кА}$
5. $I'' \leq I_{пр.с}$	$I'' = 4,834 \text{ кА}$	$I_{пр.с} = 20 \text{ кА}$
6. $i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 8,795 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 52 \text{ кА}$
7. $B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$	$B_k = 11,28 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Sp=7781,53 кВА

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	36

$$I_{РАБ.МАКС} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{7781,53}{\sqrt{3} \cdot 35} = 128,51 \text{ А}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-t/T_a} = \sqrt{2} \cdot 4,834 \cdot e^{-0,06/0,008} = 0$$

$$t = t_{р.з \text{ мін}} + t_{с.в} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с}$$

$$B_k = 4,834^2 (0,475 + 0,008) = 11,28 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$\text{где } t_{отк} = t_{р.з} + t_{о.в} = 0,01 + 0,065 + 0,4 = 0,475 \text{ с}$$

Секційний вимикач

$$I_{РАБ.МАКС} = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{7781,53}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 64,25 \text{ А}$$

Приймаємо вимикач ВР35НС-20/1600. На вимикачах використовується електромагнітний привод.

Таблиця 7.5

Вибір роз'єднувачів на ВРП 35 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
		РНДЗ-35
1. $U_{УСТ} \leq U_{НОМ}$	$U_{УСТ} = 35 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 35 \text{ кВ}$
2. $I_{РАБ.МАКС} \leq I_{НОМ}$	$I_{РАБ.МАКС} = 128,51 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$
3. $i_y \leq I_{дин}$	$i_y = 8,795 \text{ кА}$	$I_{дин} = 64 \text{ кА}$
4. $B_k \leq B_T$	$B_k = 11,28 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_T = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$
Тип привода		ПРН-11ОМ

Таблиця 7.6

Вибір вимикачів на шинах 10 кВ

Умови вибору	Розрахункові дані	Каталожні дані
		ВР1-20/630
1. $U_{УСТ} \leq U_{НОМ}$	$U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$
2. $I_{РАБ.МАКС} \leq I_{НОМ}$	$I_{РАБ.МАКС} = 449,79 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$
3. $I_{пт} \leq I_{отк.ном}$	$I_{пт} = I'' = 3,476 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
4. $\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{отк.ном}(1 + \beta_n)$	$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 3,476 + 0 = 4,915 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 20(1 + 40/100) = 39,48 \text{ кА}$
5. $I'' \leq I_{дин}$	$I'' = 3,476 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$
6. $i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 7,897 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
7. $B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$	$B_k = 16,73 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

$$S_p=7781,53 \text{ МВА}$$

$$I_{РАБ.МАКС} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{7781,53}{\sqrt{3} \cdot 10} = 449,79 \text{ А}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-t/T_a} = \sqrt{2} \cdot 3,476 \cdot e^{-0,1/0,02} = 0 \text{ кА}$$

$$t = t_{p.з \text{ мин}} + t_{с.в} = 0,01 + 0,07 = 0,08 \text{ с}$$

$$Вк = 3,476^2 (1,365 + 0,02) = 16,73 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$\text{где } t_{отк} = t_{p.з} + t_{о.в} = 0,1 + 0,065 + 1,2 = 1,365 \text{ с}$$

Вибираємо вимикач на лініях, що відходять, на прикладу до КТП-5

$$I_{РАБ.МАКС} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1702,315}{\sqrt{3} \cdot 10} = 98,39 \text{ А}$$

Приймаємо вимикач ВР1-20/630

Секційний вимикач

$$I_{РАБ.МАКС} = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{7781,53}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 224,89 \text{ А}$$

Приймаємо вимикач ВР1-20/630, на якому вбудований електромагнітний привод.

Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб.

Власні потреби (ВП) підстанції є одним з важливих споживачів, тому що їх робота визначає нормальне функціонування всієї підстанції, а як наслідок, і надійність електропостачання споживачів.

Таблиця 7.7. Вибір трансформаторів власних потреб

Електроприймачі	Встановлена потужність, кВт	Кіл-ть	Р, кВт	Q, кВар
1. Електродвигуни обдуву транс-ра	8	2	16	10
2. Обігрів вимикачів	1,2	3	3,6	-
3. Опалення та освітлення приміщення	5,5	1	5,5	-
4. Зовнішнє освітлення	4,5	1	4,5	-
5. Навантаження, яке споживається оперативними ланцюгами	2,0	1	2,0	-
Всього			31,6	10

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	38

$$S_{\text{HAB}}=31,6 - j 10 \text{ кВА}$$

$$| S_{\text{HAB}}| = 33,13 \text{ кВА}$$

З урахуванням коефіцієнту попиту $K_c=0,7$ приймаємо 2 трансформатора ТМ25/10. Завантаження трансформаторів становить $K_z=33,13/50=0,66$

Вибір розрядників. Обладнання підстанції захищають від прямих ударів блискавки тросовими та стрижневими блискавковідводами.

На вводах високої напруги силового трансформатора 35/10 кВ встановлюється розрядник типу РВС-35, а на низькій стороні РВО-10.

						Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

8.1. Загальні положення

Стандартом ДЕСТ 13109-97 регулюється якість електроенергії, однак в цілому по країні вона залишається незадовільною. Проблема стає все більш актуальною на сучасному етапі розвитку електроенергетики, оскільки зростає кількість та потужність енергоємних споживачів, які працюють з нелінійною вольт-амперною характеристикою, що призводить до значних погіршень параметрів якості електричної енергії. Серед таких споживачів можуть бути електроприлади з різкозмінною потужністю або несиметричною конструкцією.

В якості прикладу детально розглянемо задачі управління несиметричними режимами в електромережі (режимом зворотної послідовності), що спричиняються живленням приймачів несиметричного виконання. З точки зору навчання, ми детально розглянемо всі етапи розробки задач управління несиметрією режиму: дослідження об'єкта управління; детальне обґрунтування критерію; визначення задачі оптимального управління; розробка математичного моделювання задачі; створення алгоритму аналізу математичної моделі.

В цьому випадку під управлінням мається на увазі впливання на систему електроживлення для усунення явищ несиметрії її режиму. При цьому об'єктом управління є сама система електроживлення або її частина, що спостерігається (наприклад, вузол живлення несиметричних споживачів електроенергії). Об'єкт управління характеризується вектором стану один із компонентів якого є коефіцієнт зворотної послідовності напруг.

Нормативні вимоги з несиметрії напруг забезпечуються за допомогою місцевих пристроїв, які споряджені регуляторами, але зменшити рівень несиметрії в деяких випадках можна також шляхом більш раціонального використання технологічного обладнання. Цей шлях має бути повністю використаним для впливу на несиметрію режиму електромережі незалежно від забезпечення нормативних вимог з наступних причин:

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для виконання даних заходів не вимагаються зовсім або вимагаються незначні капітальні вкладення;

- підвищується ефективність застосування діючого технологічного обладнання;

- потрібна буде менша сумарна установлена потужність пристроїв для остаточного симетрування режиму.

Режими в системах електропостачання динамічні і тому для високоефективного управління може бути потрібною постійна корекція вектора управління. В таких випадках пошук оптимального вектора може виконувати ЕОМ. Використання ЕОМ дозволить здійснити управління несиметрією режиму на основі економіко-математичних методів, що надає можливість ще до прийняття рішення дізнатися про його вплив на систему електропостачання, а також скласти прогноз (якщо це необхідно) розвитку процесу в часі. Економіко-математичні методи дають можливість надати характеристики якісним та кількісним взаємозв'язкам всередині об'єкта та поза ним і, таким чином, приймати рішення з врахуванням цих взаємозв'язків.

8.2. Несиметричний режим системи електропостачання як об'єкт управління

Для успішної розробки та впровадження автоматизованої системи управління необхідний детальний аналіз, який допоможе визначити методи впливу на об'єкт управління, ефективні фактори, можливі підходи та кількісні оцінки результатів впливу. Оскільки процес розробки та впровадження АСУ пов'язаний зі зміною старих або впровадження нових методів управління, аналіз є важливим кроком для досягнення максимальної ефективності та оптимальних результатів.

Суть найбільш поширених способів управління полягає в тому, що для усунення несиметрії режиму мережі до вузла живлення підключається симетруючий пристрій (СП). Цей метод, що називається способом зовнішнього симе-

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трування, дозволяє зменшити вплив наведених потенціалів та струмів на об'єкт управління, а також зменшити вплив на прилади вимірювання. Застосування даного технічного рішення може покращити якість вимірювань і знизити ризик пошкодження обладнання. Можна впливати на режим зворотної послідовності використовуючи природне вирівнювання електричних навантажень по фазах - спосіб внутрішнього симетрування, а також одночасно першим та другим способом - комбіноване управління. СП виконує функції управляючого пристрою, з допомогою якого здійснюється не обхідний вплив на об'єкт управління (систему електропостачання). При внутрішньому симетруванні спеціального управляючого пристрою не потрібно, а управління виконується за допомогою кращої організації роботи технологічного устаткування.

Як відомо, зменшити ступінь несиметрії як струму, так і напруги можна шляхом підключення до системи якогось джерела додаткового струму зворотної послідовності $I_2^{Cп}$. Вибираючи модуль та аргумент цього струму таким чином, щоб на певній ділянці схеми при складанні його з струмом I_2^H зменшувався модуль сумарного струму, можливо зменшити ступінь несиметрії струмів, де I_2^H - вектор струму зворотної послідовності навантаження. Джерелом додаткового струму зворотної послідовності може бути несиметрична конденсаторна батарея, рис.8.1. Такий СП має цілий ряд переваг в порівнянні з іншими схемами і завдяки цьому одержав найбільше поширення.

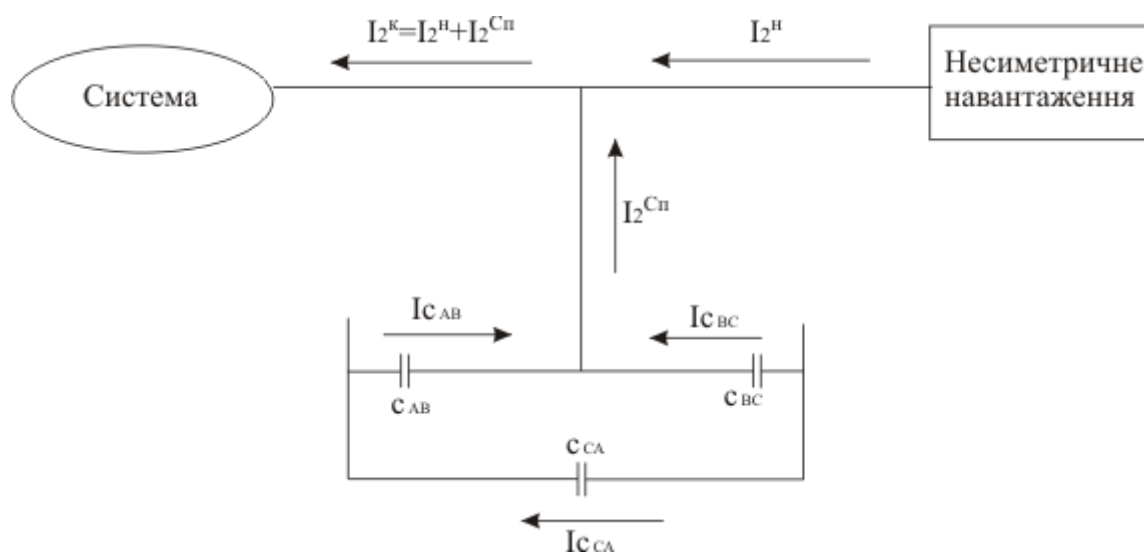


Рис.8.1. Принципова схема СП

Струм зворотної послідовності даного пристрою, маючи симетричну напругу в вузлі його підключення (дане припущення близьке до дійсності) визначається співвідношенням:

$$I_2^{Cп} = -\frac{j}{3}(a^2 I_{C_{AB}} + I_{C_{BC}} + a I_{C_{CA}}) = \frac{1}{3} \left[-1,5 I_{C_{AB}} + 1,5 I_{C_{CA}} + j \left(\frac{\sqrt{3}}{2} I_{C_{AB}} - \sqrt{3} I_{C_{BC}} + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{C_{CA}} \right) \right] \quad (8.1.)$$

де a - оператор повороту трифазної системи; $I_{C_{AB}}, I_{C_{BC}}, I_{C_{CA}}$ - конденсаторна потужність в плечах А-В, В-С та С-А СП, що виражена через струми.

Вираз (8.1) вірний, якщо комплексна площа зорієнтована таким чином, що додатній напрямок її дійсної осі суміщується з вектором фазної напруги U_A . Із виразу (8.1) видно, що зміна струмів $I_{C_{AB}}, I_{C_{BC}}, I_{C_{CA}}$ приводить до зміни не тільки модуля, але і фази струму $I_2^{Cп}$. Це свідчить про принципову зможу забезпечити потрібний вплив на систему електропостачання незалежно від струму $I_2^{Cп}$, який для цього потрібний. Із більш поглибленого дослідження випливає, що для симетричної роботи будь-якого режиму майже завжди достатньо конденсаторів як максимум в двох плечах пристрою.

Струм прямої послідовності СП, рис. 8.1, описується виразом:

$$I_1^{Cп} = \frac{j}{3}(I_{C_{AB}} + I_{C_{BC}} + I_{C_{CA}}) \quad (8.2)$$

а потужність можна описати таким чином:

$$S_1^{Cп} = -jQ_1^{Cп} = -j(Q_{C_{AB}} + Q_{C_{BC}} + Q_{C_{CA}}) \quad (8.3)$$

де $S_1^{Cп}$ - комплекс повної потужності прямої послідовності симетруючого пристрою; $Q_1^{Cп}$ - значення реактивної потужності СП; $Q_{C_{AB}}, Q_{C_{BC}}, Q_{C_{CA}}$ - потужність конденсаторних батарей, що підключені відповідно до напруги U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} .

Із співвідношень (8.2) та (8.3) випливає дуже значний висновок, а саме, що струм прямої послідовності симетруючого пристрою, рис 8.1, ємнісний, а сам пристрій є джерелом реактивної потужності.

Зниження несиметрії напруг в мережі можливо досягнути шляхом раціонального розподілення електроприймачів між фазами. Тоді вектор струму зворотної послідовності в лінії, живлячій m однофазних приймачів I_2^H , знаходиться як сума струмів зворотної послідовності, що утворюються кожним приймачем I_{2ni} ,

$$I_2^H = \sum_{n=1}^m I_{2ni}, \quad (8.4)$$

де $i = 1, 2, 3$ - індекс, що несе інформацію про реалізоване фазування електроприймача.

Підключенням однофазного приймача до лінійної напруги U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} трифазної трипровідної електричної мережі утворюються струми зворотної послідовності, які описуються відповідними співвідношеннями:

$$I_{2n_1} = \frac{P_n}{3 \cdot U_H \cos \varphi_n} [\exp j(30^\circ - \varphi_n) + \exp j(90^\circ - \varphi_n)]; \quad (8.5)$$

$$I_{2n_2} = \frac{P_n}{3 \cdot U_H \cos \varphi_n} [\exp j(-210^\circ - \varphi_n) + \exp j(210^\circ - \varphi_n)]; \quad (8.6)$$

$$I_{2n_3} = \frac{P_n}{3 \cdot U_H \cos \varphi_n} [\exp j(-30^\circ - \varphi_n) + \exp j(-90^\circ - \varphi_n)]; \quad (8.7)$$

де P_n - активна потужність n -го однофазного споживача; U_H - номінальна напруга приймача, яка з деяким допущенням приймається рівною фактичній; $\cos \varphi_n$ - коефіцієнт потужності n -го однофазного споживача.

Струми зворотної послідовності однофазного навантаження при різних його фазуваннях рівні за модулями та зсунуті на кут 120° , що впливає із виразу:

$$I_{2n_1} + I_{2n_2} + I_{2n_3} = 0; \quad (8.8)$$

Отже, різним сполученням підключення однофазних навантажень до живильної мережі будуть відповідати різні струми зворотної послідовності в лінії, що відрізняються як модулем, так і фазою.

Струм прямої послідовності однофазного навантаження не залежить від його фазування та визначається виразом:

$$I_{1n_1} = I_{1n_2} = I_{1n_3} = \frac{P_n}{3 \cdot U_H \cos \varphi_n} [\exp j(30^\circ - \varphi_n) + \exp j(-30^\circ - \varphi_n)] \quad (8.9)$$

Якщо узагальнити цей висновок на m електроспоживачів, можна стверджувати, що зміна фазування несиметричних електронавантажень не має впливу на режим прямої послідовності.

Включення двох однофазних навантажень на різні напруги може бути не оптимальним, особливо якщо ці навантаження мають різні параметри. Навіть при використанні рекомендацій про включення на різні напруги, внутрішнє симетрування навантажень з $m=2$ не завжди є доцільним.

Тому знаходження оптимального рішення для способу внутрішнього симетрування є складною задачею. Кількість можливих варіантів підключення електроприймачів до мережі дорівнює 3^m , де m - кількість споживачів. Оптимальне рішення може бути визначене лише з допомогою математичних методів.

Управління несиметрією режиму має бути здійснене з урахуванням системного підходу. Локальні рішення, які просто компенсують складові зворотної послідовності режиму мережі і засновані на декількох важливих факторах, можуть бути не економічними та навіть неприйнятними з технічних причин. Зупинимося на переліку взаємопов'язаних задач управління нормальними режимами, які можуть виникати при несиметричних режимах електроспоживання.

1. СП, що виконані за схемою, рис 8.1, одночасно генерують реактивну потужність, тобто задачі управління несиметрією режиму і графіком реактивної потужності повинні вирішуватись одночасно. Нехтування цією обставиною може призвести до не вигідних економічних рішень, або до появи зворотніх потоків реактивної потужності із енергосистеми електроспоживання в мережі, що є недопустимим.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СП, рис. 8.1, одночасно має вплив на величину рівня напруги системи прямої послідовності. Неконтрольована зміна параметрів симетруючих пристроїв може сприяти появі перенапруг в системі живлення, особливо в часи мінімальних навантажень.

3. У чотирипровідних мережах можуть виникати невірноважені режими, які характеризуються наявністю симетричних складових зворотної та нульової послідовностей. Однак, при прийнятті рішень щодо компенсації системи зворотної послідовності, може виникнути ситуація, коли струми та напруги нульової послідовності збільшаться.

4. СП мають в схемі батареї статичних конденсаторів, з цієї причини вони можуть призводити до порушень статичної стійкості у вузлах навантаження.

Це означає, що різні задачі управління можуть впливати одна на одну, що в свою чергу може призводити до появи нових, раніше невідомих взаємозв'язків. Такі взаємозв'язки можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на систему електропостачання в цілому. Враховуючи ці взаємозв'язки, можна розробляти більш комплексні стратегії управління, які будуть ефективні та економічні.

8.3. Критерії управління несиметричним режимом електричної мережі

Для управління будь-яким об'єктом необхідно мати можливість впливати на нього різними способами, вибираючи з принаймні двох альтернативних варіантів впливу з урахуванням критеріїв оптимальності. Якщо критерії оптимальності не враховуються, то вибір найкращого варіанту не можливий. Варіант, що задовольняє прийняті критерії оптимальності, вважається найбільш доцільним. У задачах управління нормальним режимом електричних мереж критерій оптимальності зазвичай є технічним і повинен відповідати меті, для якої розв'язується задача, а також бути функціонально пов'язаним з вектором управління. В управлінні несиметричним режимом електричної мережі в процесі її експлуатації може використовуватися сумарна величина збитків, пов'язаних з несимет-

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рією режиму, позначена як U_{Σ} . Ця величина складається з кількох доданків, кожен з яких залежить від коефіцієнта несиметрії напруги в квадратичній або лінійній залежності.

Хоча критерій оптимальності при управлінні несиметричним режимом електричної мережі є відображенням мети АСУ, його складна функція вектора управління може створити певні труднощі:

- Багатообладнання в системі електропостачання промислових підприємств ускладнює оцінку збитків.
- Різні коефіцієнти несиметрії напруг в різних вузлах системи та їх зміна з часом створюють труднощі в оцінці збитків.
- Зміна схеми електромережі та її параметрів під час експлуатації може призвести до зміни співвідношень між коефіцієнтами несиметрії напруг в різних вузлах схеми.
- Відсутність аналітичних функцій технологічних збитків від несиметрії режиму для деяких електроспоживачів може ускладнити оцінку збитків.

Для спрощення критерію оптимального управління при управлінні несиметричним режимом електричної мережі в процесі її експлуатації можна використовувати параметр, що називається коефіцієнтом несиметрії напруги в одному з вузлів мережі. Цей коефіцієнт може бути обчислений на основі вимірів фазних напруг в даному вузлі та їх порівняння зі стандартним значенням для симетричного режиму. Такий параметр є простим у вимірюванні та оцінці, а також дозволяє враховувати вплив різних факторів на ефективність системи.

Крім того, замість оцінки збитків в кожному вузлі системи електропостачання, можна використовувати функціонал, який враховує тільки збитки в обраному вузлі. Наприклад, можна використовувати коефіцієнт активної потужності в обраному вузлі, який також пов'язаний зі значенням коефіцієнта несиметрії напруги в цьому вузлі. Цей параметр є вимірювальним та простим

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для оцінки, а також враховує вплив несиметрії на потужність споживачів в обраному вузлі.

Таким чином, перехід до оцінки параметра режиму зворотної послідовності в одному вузлі або лінії схеми електроживлення, зв'язаного функціональною залежністю з U_{Σ} , дозволяє спростити критерій оптимального управління та зробити його більш зрозумілим та зручним для застосування в практичних задачах.

Коефіцієнт несиметрії напруг – α_U , модуль вектора напруги зворотної послідовності – U_2 та струму I_2 зворотної послідовності пов'язуються між собою лінійними співвідношеннями:

$$\alpha_U = \frac{U_2}{U_H} = \frac{I_2 Z_2}{U_H}, \quad (8.10)$$

де Z_2 – величина опору для струму зворотної послідовності; U_H – величина номінальної напруги.

Таким чином, модуль струму I_2 визначає рівень несиметрії струму в лінії, який є простим та вимірювальним критерієм оптимального управління, що дозволяє оцінити вплив несиметрії на ефективність системи. Зменшення значення I_2 допомагає знизити рівень несиметрії в системі, що призводить до покращення якості електропостачання та зниження технічних витрат. Проте, варто зазначити, що цей критерій може бути не ефективним в тих випадках, коли в системі електроживлення присутні декілька вузлів з несиметричними навантаженнями, оскільки в цьому випадку необхідно враховувати вплив несиметрії в кожному з цих вузлів окремо. Якщо в результаті будь-якого впливу $I_2=0$ (симетричний режим), то $U_{\Sigma}=0$, а якщо впливу на I_2 не чиниться, то U_{Σ} залишається незмінним.

Для оцінки симетричного впливу на деякому інтервалі часу можна використовувати середні значення струму I_2 на цьому інтервалі. Також можна оцінювати кількісну оцінку якості оптимального управління несиметричним режимом в цілому за допомогою показників якості, таких як коефіцієнт напру-

					Арк. 48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ження (іноді його називають коефіцієнтом надлишковості), коефіцієнт діелектричної проникності та інші. Ці показники описують якість електроживлення відносно нормативних вимог та можуть використовуватися для порівняння різних методів управління несиметричним режимом. Крім того, важливо враховувати економічний аспект при виборі оптимального методу управління несиметричним режимом, тому що цей аспект також може мати значний вплив на вибір оптимального рішення.

При несиметрії режимів мінімальні значення збитків будуть мати місце на проміжку часу t_1 - t_2 при виконанні наступної умови:

$$\int_{t_1}^{t_2} I_2^{k^2}(X, t) dt \rightarrow \min \quad (8.11)$$

де I_2^k - компенсований (з врахуванням впливу пристрою керування) струм зворотної послідовності в лінії, яка здійснює живлення групи несиметричних електроприймачів; X - вектор управління.

Як було вказано вище, задача управління несиметрією режиму електричної мережі тісно взаємопов'язана з управлінням іншими характеристиками електроживлення та параметрами режиму. В системі електропостачання промислового підприємства, як складній системі кібернетичного типу, що має цілеспрямований розвиток та глибокі внутрішні часто стохастичні зв'язки, неможливо оцінити всі впливові фактори в грошовому виразі і, таким чином, здійснювати управління на основі єдиного критерію мінімуму приведених затрат. Тому управління режимами в промислових електричних мережах здійснюється не за одним, а за багатьма критеріями. Така задача управління відноситься до задач багатокритеріальної оптимізації. В той же час математично вірна постановка задачі оптимізації передбачає наявність лише одного критерію. Цілеспрямований вплив з симетрування режиму може бути знайдений способом, який широко використовується для такого класу задач. Полягає він в тому, що для оптимізації вибирається один із критеріїв, наприклад, оцінюючий рівень несиметрії режиму, а для інших встановлюються порогові значення із умови економічності

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	49

роботи мережі, і вони виконують роль обмежень в моделі управління.

8.4. Управління рівнем несиметрії при динамічних режимах роботи електромережі як завдання оптимального управління

Розглянемо задачу оптимального управління динамічною системою з неперервним часом стосовно до управління несиметричним режимом електричної мережі. Змінювання режиму несиметрії режиму мережі в часі (її динамічна поведінка) представляється функцією виду:

$$|I_2^k| = f(X, t), \quad (8.12)$$

де I_2^k - величина компенсованого вектора струму зворотньої послідовності вводити живлення- вектор стану системи; f - нелінійна функція.

Задача оптимального управління несиметричним режимом може формулюватися таким чином.

Знайти вектор оптимального управління $X(t)$, $t_0 \leq t \leq t_n$, серед множини припустимих значень, який зможе забезпечити таку послідовність динамічного процесу $|I_2^k(X, t)|$, щоб критерій управління - J був мінімальним,

$$J = \int_{t_0}^{t_N} I_2^{k^2}(X, t) dt, \quad (8.13)$$

де t_0 - початковий момент часу, t_N - кінцевий (не фіксований) момент часу.

В практичних випадках на змінні вектора управління можуть бути накладені додаткові обмеження різноманітного змісту. Дані обмеження представляються системою нерівностей чи рівностей такого вигляду:

$$\begin{aligned} G(X) &\geq 0; \\ H(X) &= 0 \end{aligned} \quad (8.14)$$

де $G(X)$ та $H(X)$ деякі векторні функції.

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дискретне управління є ефективним в силових мережах, оскільки воно дозволяє використовувати обмежену кількість ресурсів для керування процесом. Оптимальне управління в дискретній формі може бути реалізоване за допомогою методів оптимізації, які дозволяють знайти оптимальні значення параметрів управління з урахуванням обмежень, що існують в системі.

Цілочислові математичні моделі управління полягають у використанні цілих чисел для визначення значень компонент вектора управління, що спрощує реалізацію управління в дискретній формі. Для формулювання задачі оптимального управління несиметричними режимами в дискретній формі можуть використовуватись такі методи, як метод градієнтного спуску, метод генетичних алгоритмів, методів пошуку з локальними оптимумами тощо.

Однак, при використанні дискретного управління необхідно враховувати можливість появи ефекту "залишкового струму", який може виникати в результаті неоднорідностей в розподілі навантаження. Тому, для підвищення ефективності управління несиметричними режимами в силових мережах, необхідно використовувати комплексні підходи, що включають у себе як дискретні, так і аналогові методи управління.

Для формулювання задачі оптимального управління в дискретній формі розіб'ємо траєкторію процесу на інтервали часу Δt . Дискретні моменти часу представимо $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$. В діапазоні інтервалу значення струму зворотної послідовності приймемо незмінним. В дискретній формі задачу можна записати в наступному виді:

$$\begin{cases} \sum_{n=0}^N I_{2_n}^{k^2}(X) \Delta t \rightarrow \min \\ G[X(t_n)] \geq 0, n = 0, 1, 2, \dots, N \\ H[X(t_n)] = 0, n = 0, 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (8.15)$$

де N - загальне число інтервалів часу, на які поділяється відрізок $t_0 - t_n$.

Задача оптимального управління може бути сформульована також як задача математичного програмування. При цьому для неперервної системи, якою є система електропостачання підприємства, в загальному випадку утворюється

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

нескінченновимірна задача в нескінченновимірному просторі. Для її розв'язування можуть бути застосовані обчислювальні алгоритми математичного програмування. Тому надалі розв'язок задач оптимального управління електричними режимами будемо шукати, як нескінченну послідовність розв'язків задач математичного програмування.

8.5. Особливості постановки та розв'язання задач оптимізації при несиметричних режимах електромережі

Класична математика передбачає розв'язання всіх оптимізаційних задач в шляхом визначення екстремуму цільової функції $f(X)$ або цільового функціоналу $J(X) = \int_a^b X(t)dt$, де $f(X)$ та $X(t)$ функції, які представлені на відрізку $[a,b]$. Залежності $f(X)$ та $J(X)$ являються скалярними функціями дійсного перемінного, іншими словами приймають значення, які виражаються дійсними числами.

Для розв'язання задачі оптимального управління несиметричними режимами використовуються методи математичного програмування та оптимального керування. Якщо цільова функція являє собою набір скалярних функцій дійсних змінних, то розв'язання задачі можна здійснити за допомогою класичних алгоритмів математичного програмування. Якщо ж цільовий функціонал складається з функцій, що залежать від вектора управління, то застосовуються методи оптимального керування. В такому випадку необхідно розв'язати рівняння або використати чисельні методи, такі як методи найменших квадратів, метод Нелдера-Міда або метод симуляції випадкових подій. Для досягнення найкращої якості управління несиметричними режимами необхідно досліджувати різні методи розв'язання задач оптимального управління та порівнювати їх ефективність на різних типах промислових мереж.

Так, у деяких випадках оптимізаційна задача може бути сформульована у комплексному вигляді, якщо розглядається не тільки реальна, але й уявна скла-

						Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дові струму чи напруги в електричній мережі. У цьому випадку для опису процесів використовуються комплексні функції, які складаються з реальної та уявної складових. Для розв'язування задач оптимізації у комплексному вигляді використовуються методи комплексного аналізу та оптимізації, які дозволяють знайти значення комплексного функціоналу на заданому множині комплексних змінних. Такі методи можуть бути корисними при проектуванні електричних мереж з високим рівнем несиметрії, коли необхідно оцінити вплив уявної складової на якість роботи мережі. В число таких задач входять задачі оптимізації несиметричних режимів, критерії оптимальності яких є параметри режиму I_2 , U_2 , N - величини векторні, де N - комплекс пульсуючої потужності. Цільові функціонали цих задач в загальному вигляді можна записати таким чином:

$$F(X) = f(X) + j\varphi(X) \quad (8.16)$$

де X - вектор перемінних, кожний компонент якого є дійсним числом; f , φ - скалярні функції; j - це уявна одиниця.

Залежність (8.16) являється нескаллярною функцією дійсного змінного, в якому кожному значенню X належить певне значення функції $F(X)$, яке виражається комплексним числом. Співвідношення складових функцій (8.16) в задачах симетрування електричного режиму такі, що знехтувати будь-якою із них не можна. Тому при такій постановці оптимізаційної задачі класичні обчислювальні методи не використовуються.

У випадку оптимізації електричної мережі, термін "оптимум" використовується в значенні найкращого стану електричної мережі відносно певних критеріїв ефективності та якості електропостачання.

Наприклад, оптимум може бути досягнутий, якщо стан мережі забезпечує мінімізацію загальних втрат енергії, максимальну потужність передачі або мінімізацію відхилень напруги від заданих значень. В цьому випадку, оптимальний стан електричної мережі може бути описаний комплексними векторами, які відповідають оптимальним значенням фізичних величин, таких як струм, напруга тощо I_2 , U_2 , N .

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так, перехід до модулів векторів режимних параметрів може дозволити зображення моделі управління у вигляді нелінійної або квадратичної програми. При цьому розв'язки задачі оптимізації знаходяться в неперервних змінних, що дозволяє використовувати відомі обчислювальні алгоритми. Однак, враховуючи складність задач оптимізації режиму електричних мереж, такий підхід може вимагати великих обчислювальних витрат. Тому в останні роки активно розвиваються методи оптимізації на основі нейромереж, які дозволяють отримувати розв'язки задач швидше та більш точно.

Для вирішення задач управління несиметричним режимом, які мають практичне застосування в електроенергетиці, зазвичай необхідно використовувати цілочислові змінні, оскільки багато параметрів, що входять до складу задачі, мають дискретні значення або фізичний зміст, що вимагає врахування їх точного фазового положення. При цьому вирішення задач з цілочисловими змінними часто пов'язане зі складними обчислювальними процедурами, так як кількість можливих комбінацій значень змінних зростає експоненційно з їх кількістю. Тому розробка ефективних алгоритмів для розв'язання задач з цілочисловими змінними є важливим напрямком досліджень у галузі управління електроенергетичними системами.

Розв'язання задач квадратичного програмування в цілочислових змінних може бути складним і пов'язане з труднощами. Іноді можуть використовуватись спеціальні алгоритми, такі як гібридні алгоритми, які поєднують підхід з неперервними змінними з округленням до цілих чисел, для отримання кращого розв'язку. Проте, якщо розв'язок, отриманий з використанням неперервних змінних, задовольняє обмеження цілочисловості, то він є оптимальним для початкової цілочислової задачі. У протилежному випадку можуть використовуватись різні методи округлення, але слід пам'ятати, що можливі недопустимі або неоптимальні розв'язки.

Задача симетрування режиму електричної мережі з функцією мети виду (8.16) може бути перетворена на задачу нескалярної оптимізації, знайдення

						Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плану, що мінімізує модуль вибраного критеріального показника. Це дає змогу застосувати алгоритми, основані на ідеях симплекс-методу лінійного програмування, що мають більш просту обчислювальну процедуру, що дозволяє понизити порядок цільової функції та скоротити машинний час розрахунку цілеспрямованих впливів.

За такої постановки задачі можуть знаходитись розв'язки в цілочислових змінних, що робить добре розроблені обчислювальні процедури для цілочислових задач лінійного програмування. Це дозволяє ефективно вирішувати задачі управління, що мають параметри з дискретними значеннями або відповідне фазування несиметричних навантажень.

Отже, задача симетрування режиму електричної мережі може бути успішно розв'язана за допомогою алгоритмів, що базуються на ідеях симплекс-методу лінійного програмування, якщо вона переформульована як задача нескаларної оптимізації.

Також важливо мати на увазі, що розв'язання задачі моделювання та управління електричними мережами зазвичай вимагає великої обчислювальної потужності. Тому, окрім вибору математичних методів, слід також розглянути питання ефективності реалізації алгоритмів на комп'ютері.

Важливо також зазначити, що розв'язання задачі моделювання та управління електричними мережами є складним завданням, що потребує співпраці фахівців з різних галузей, включаючи електротехніку, математику, інформатику та інженерію. Тому вирішення таких задач найкраще виконувати в команді, де кожен фахівець відповідає за свою складову частину проекту.

У підсумку, задача моделювання та управління електричними мережами є важливою та складною задачею, яка вимагає використання різних математичних методів та співпрацю фахівців з різних галузей. Однак, вирішення цієї задачі може привести до покращення якості та ефективності роботи електричних мереж, що в свою чергу вплине на зниження витрат та підвищення рівня безпеки та надійності електропостачання.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.6. Математична модель управління при внутрішньому симетруванні навантажень

Параметри режиму більшості споживачів електричної енергії змінюються в часі і з цієї причини оптимальне фазування, що відповідає найменшому рівню несиметрії, буде також змінюватись. Оптимальне управління несиметрією режиму в цьому випадку полягає в тому, що для дискретних моментів часу визначається найвигідніше (в розумінні рівномірного навантаження фаз) фазування несиметричних навантажень, і, якщо воно відрізняється від реалізованого, то виконується відповідне коректування. Фазування підключених до трифазної мережі електроспоживачів при відповідному позначенні буде створювати вектор управління, а множину однофазних навантажень слід розглядати як систему.

Опис задачі внутрішнього симетрування може бути проведений в булевих змінних. Якщо змінна x_{ni} в результаті розв'язку буде дорівнювати одиниці, то це реалізується включенням n -го навантаження на i -у лінійну напругу, а якщо $x_{ni}=0$, то навпаки.

Для формулювання цільової функції математичної моделі потрібна така вихідна інформація про параметри стану системи. P_n або I_n - активна потужність чи струм n -го навантаження; $\cos\varphi_n$ - коефіцієнт потужності для n -го навантаження.

На основі цієї інформації можна скласти платіжну матрицю (8.17), в якій стовпці - це струми зворотної послідовності, які створюються кожним навантаженням при його включенні на відповідну лінійну напругу. Інформація про споживачів, що подана в платіжній матриці (8.17) - це приклад вторинної інформації, з якою простіше давати оцінку тому або іншому вирішенню щодо фазування навантажень.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ наванта- ження	Комплекси струмів зворотної послідовності		
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}
1	$a_{11}+jb_{11}$	$a_{12}+jb_{12}$	$a_{13}+jb_{13}$
2	$a_{21}+jb_{21}$	$a_{22}+jb_{22}$	$a_{23}+jb_{23}$

m	$a_{m1}+jb_{m1}$	$a_{m2}+jb_{m2}$	$a_{m3}+jb_{m3}$

(8.17)

де a_{ni} , b_{ni} - дійсна та уявна частини вектора струму зворотної послідовності, яка утворюється вводом n -го навантаження на i -у напругу; $n=1,2, 3,...,m$; $i=1,2,3$.

Величини a_{ni} та b_{ni} можуть бути розраховані за формулами (8.5) -(8.6). Цільова функція математичної моделі повинна утворювати аналітичну залежність між струмом зворотної послідовності у ввіді живлення - I_2^H (що було проаналізовано вище) та обраними змінними. Формуючи її, необхідно взяти до уваги, що I_2^H є сумою векторів струмів зворотної послідовності, що створюються кожним навантаженням.

Сумою $a_{11}x_{11}+a_{12}x_{12}+a_{13}x_{13}+a_{21}x_{21}+a_{22}x_{22}+a_{23}x_{23}$ встановлюється потрібна аналітична залежність для $\text{Re } I_2^H$ при $m=2$ але при цьому слід накласти вимогу про те, що лише по одній змінній із множин $\{x_{11};x_{12};x_{13}\}$ та $\{x_{21};x_{22};x_{23}\}$ можуть набувати значення одиниці, а інші мають дорівнювати нулю. Фізично це означає, що кожне навантаження може бути підключеним лише до однієї з лінійних напруг. Подібні міркування справедливі також до $\text{Im } I_2^H$. Користуючись загальноприйнятою математичною символікою, наведену вище суму запишемо:

$$\sum_{n=1}^2 \sum_{i=1}^3 a_{ni} x_{ni} .$$

З технічних обмежень, які потрібно врахувати в математичній моделі, це обов'язковість підключення до мережі всіх m споживачів. Аналітично, наприклад, для 1-го споживача ця вимога записується таким чином: $x_{11}+x_{12}+x_{13}=1$. Узагальнюючи наведені міркування на випадок m споживачів, задачу внутріш-

нього симетрування формалізуємо у вигляді такої цілочислової математичної моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^3 a_{ni} x_{ni} + j \sum_{n=1}^m \sum_{i=1}^3 b_{ni} x_{ni} \right| \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^3 x_{ni} = 1, n = 1, 2, 3, \dots, m \\ x_{ni} = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (8.18)$$

де $\forall$ - символ логічної операції "АБО".

Математична модель (8.18) потребує знаходження мінімуму струму зворотної послідовності шляхом раціонального підключення до мережі однофазних споживачів електричної енергії. Аналіз моделі внутрішнього симетрування (8.18) можна провести, використавши основні ідеї симплекс-алгоритму лінійного програмування, згідно з логічною схемою, рис. 8.2. Для детального ознайомлення з алгоритмом проведення аналізу математичної моделі слід розглянути числовий приклад, що наведений далі.

Приклад 1. Здійснити внутрішнє симетрування однофазних навантажень, які мають наступні параметри режиму: $I_1=0,3\text{A}$; $\cos\varphi_1=0,954$, $I_2=0,42\text{A}$; $\cos\varphi_2=0,879$; $I_3=0,565\text{A}$; $\cos\varphi_3=0,783$; $I_4=0,63\text{A}$; $\cos\varphi_4=0,737$; $I_5=0,65$; $\cos\varphi_5=0,7$.

Розв'язування. Для створення математичної моделі попередньо має бути розрахована платіжна матриця (8.17). На основі такого розрахунку математична модель даної задачі запишеться у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \begin{array}{cccccccccccc} 0,129 & -0,164 & 0,035 & 0,207 & -0,213 & 0,006 & 0,303 & -0,255 \\ -0,048 & 0,347 & -0,268 & -0,078 & 0,363 & -0,263 & -0,1 & X \\ +j(0,155 & 0,054 & -0,169 & 0,127 & 0,115 & -0,242 & 0,12 & 0,207 \\ -0,322 & 0,109 & 0,245 & -0,353 & 0,093 & 0,268 & -0,361 & X \end{array} \right| \rightarrow \min \\ \left(\begin{array}{cccccccccccccccc} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right) X = \left(\begin{array}{c} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \right) \end{array} \right.$$

Де $X^T = (x_{11}x_{12}x_{13}x_{21}x_{22}x_{23}x_{31}x_{32}x_{33}x_{41}x_{42}x_{43}x_{51}x_{52}x_{53})$.

Здійснено заміну опорного плану на прикладі однієї ітерації табличного алгоритму Є.С. Вентцель відповідно до алгоритму, рис.8.2.

Крок 1. Вибирається довільний опорний розв'язок, наприклад,

$$X^T = (10 \ 010 \ 010 \ 010 \ 010 \ 0).$$

Крок 2. Визначимо, за рахунок якої зі змінних з числа небазисних можна максимально покращити розв'язок, надавши кожній з них значення одиниці. Такою змінною, як видно з таблиці 8.1, є x_{53} .

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

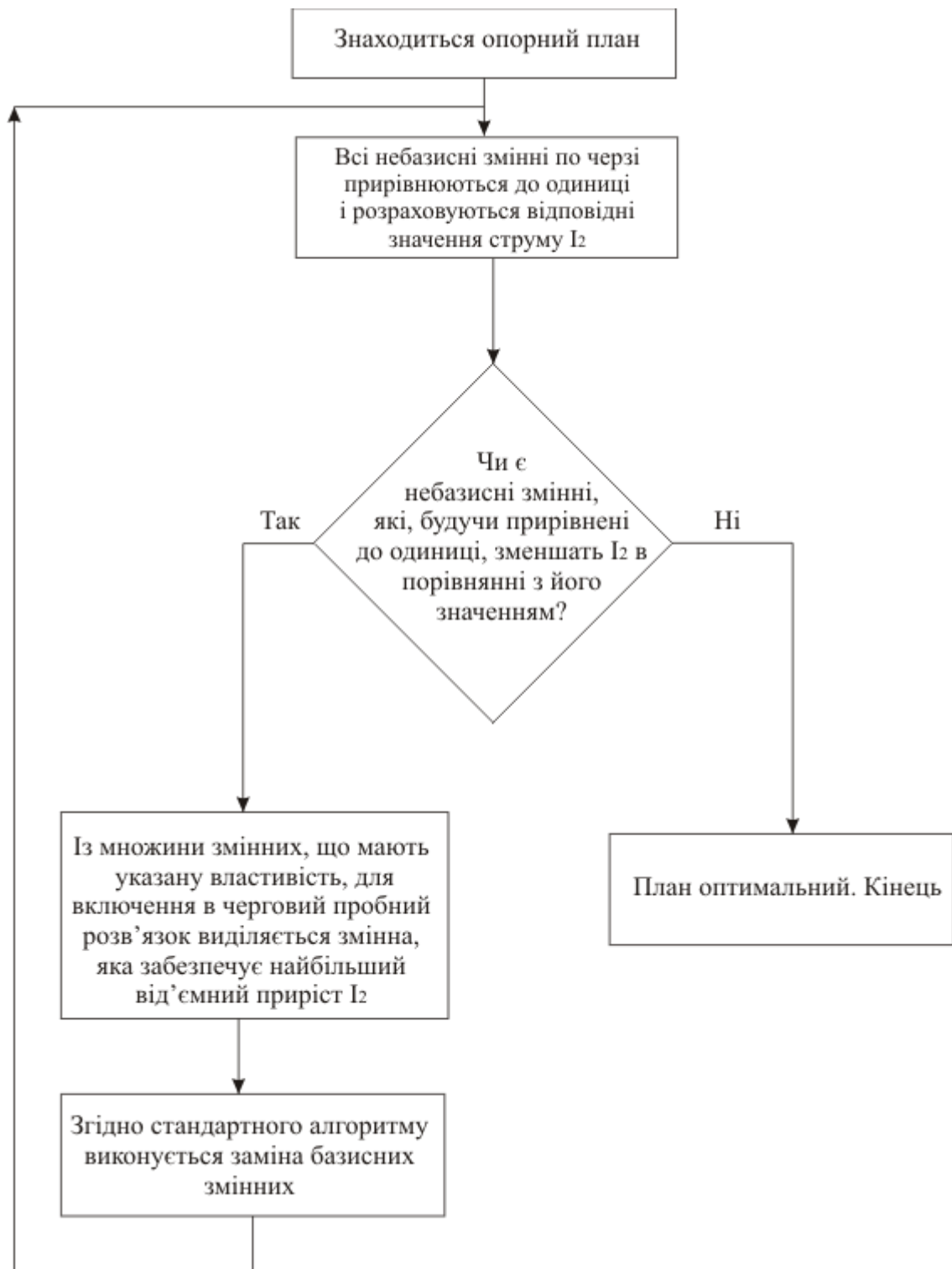


Рис.8.2. логічна схема розв'язування внутрішнього симетрування (задачі не скалярної оптимізації)

Таблиця 8.1. Визначення змінної для включення в базис

Небазисні змінні	Відповідні значення струмів		
	Re I_2	Im I_2	I_2
$x_{12} = 1$	1,056	0,503	1,170
$x_{13} = 1$	1,255	0,280	1,285
$x_{22} = 1$	0,929	0,553	1,081
$x_{23} = 1$	1,148	0,195	1,165
$x_{32} = 1$	0,790	0,652	1,024
$x_{33} = 1$	0,988	0,122	1,005
$x_{42} = 1$	0,734	0,700	1,014
$x_{43} = 1$	0,924	0,101	0,930
$x_{52} = 1$	0,723	0,738	1,033
$x_{53} = 1$	0,886	0,109	0,892

Крок 3. Визначається змінна, що має бути виведена із базису. Такою змінною буде x_{51} .

Крок 4. Здійснюється заміна базисних змінних, наприклад, за допомогою перетворення стандартної таблиці, таблиця 8.2.

Таблиця 8.2. Стандартна таблиця заміни базисних змінних

	Вільний	x_{12}	x_{13}	x_{22}	x_{23}	x_{32}	x_{33}	x_{42}	x_{43}	x_{52}	x_{53}
Re I_2	0,866	0,293	0,094	0,420	0,201	0,558	0,351	0,615	0,425	0,163	-0,46
	1,349	0,293	0,094	0,420	0,201	0,558	0,351	0,615	0,425	0,626	0,46
Im I_2	0,109	0,061	0,284	0,012	0,369	-0,09	0,442	-0,14	0,462	-0,63	-0,45
	0,564	0,061	0,284	0,012	0,369	-0,09	0,442	-0,14	0,462	-0,18	0,45
x_{11}	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{21}	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
x_{31}	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
x_{41}	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
x_{51}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Крок 5. Повертаємось до кроку 2.

Кінцевий розв'язок задачі дає такий вектор управління:

$$X^T = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1).$$

Практично цей розв'язок реалізується наступним чином: навантаження 1 підключається до напруги U_{AB} , навантаження 2 - до U_{CA} , навантаження 3 - до U_{AB} , навантаження 4 - до U_{BC} і навантаження 5 - до U_{CA} . В результаті в мережі буде циркулювати струм $I_2 = 0,142$ А.

Ефективність оптимального управління несиметричним режимом способом внутрішнього симетрування навантажень для умов заводу видно з графіків, рис. 8.3. Управління виконувалось з часом дискретизації 1 година. Для управління режимом протягом доби необхідно було провести коректування вектора управління всього 5 раз.

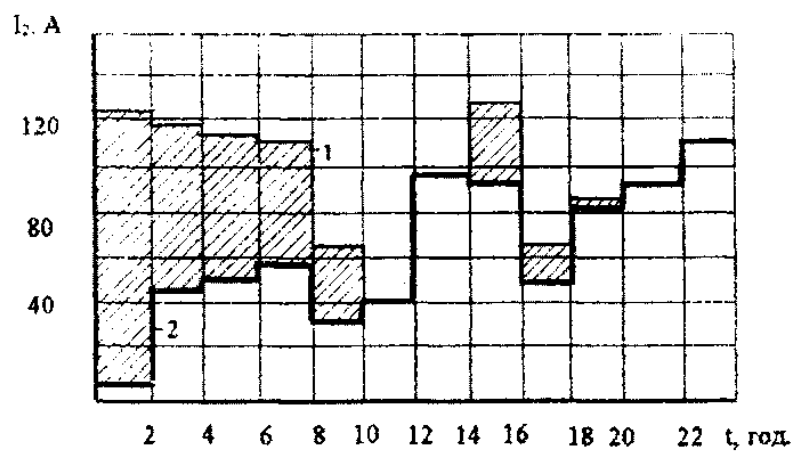


Рис.8.3. Динаміка $I_2(t)$ в вихідному режимі та при оптимальному управлінні методом внутрішнього симетрування навантажень:
де 1 - вихідний режим; 2 - оптимізований режим

Показник якості управління (8.13) для приведенного добового інтервалу зменшили в оптимізованому режимі до $J^*=0,51$ від $J^*=1$ в вихідному, де J^* - відносна величина показника якості управління.

8.7. Математична модель для управління СП

Для якісного управління несиметричним режимом електромережі з великими межами зміни вектора I_2^H необхідно використовувати СП, що управляється. Одним із найпростіших схемних рішень використовують пристрій дискретного управління на базі батарей статичних конденсаторів, рис. 8.4.

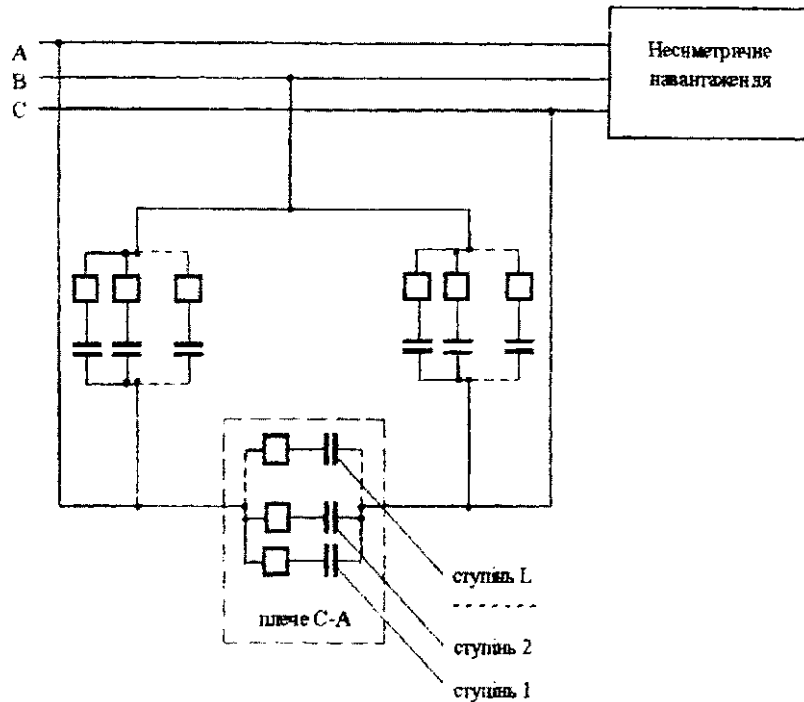


Рис.8.4. Схема СП дискретного управління на базі батарей статичних конденсаторів

Задача управління полягає у виборі такого сполучення включень плечей та ступенів СП, яке забезпечить мінімально можливу величину струму I_2^K . Вихідна інформація про стан системи, що необхідна для розрахунку управління, є вектор I_2^H , що визначається за відповідними параметрами режиму. Відомості про параметри СП зображуються платіжною матрицею (8.20), в якій стовпець - струми $I_2^{Cп}$, що генерується кожним ступенем СП при його включенні. Елементи матриці розглядаються як постійні величини, а розраховані вони можуть бути за формулою (8.1).

$I_2^{Cп}$	
Плече А-В; ступінь 1	$a_{11}+jb_{11}$
ступінь 2	$a_{11}+jb_{12}$

ступінь L	$a_{1L}+jb_{1L}$
Плече В-С; ступінь 1	$a_{21}+jb_{21}$
ступінь 2	$a_{22}+jb_{22}$

ступінь L	$a_{2L}+jb_{2L}$
Плече С-А; ступінь 1	$a_{31}+jb_{31}$
ступінь 2	$a_{32}+jb_{32}$

ступінь L	$a_{3L}+jb_{3L}$

(8.20)

де a_{pl} , b_{pl} , - дійсна та уявна частини вектора $I_2^{Cп}$, що створюється при включенні 1-ої ступені р-го плеча СП; $p = 1,2,3$; $I = 1,2,...,L$.

Міркування відносно формування цільової функції математичної моделі управління СП можна навести аналогічні як і для випадку моделі (8.18) лише при цьому відбувається складання векторів зворотної послідовності, що утворюються кожною отупінню СП, з вектором I_2^H . Зробимо також припущення, що СП суттєвих впливів на інші параметри режиму не чинить. Як вибрати найбільш ефективне рішення з симетрування режиму, враховуючи деякі взаємопов'язані оптимізаційні задачі, розглянемо далі.

Вектор управління може бути знайдений згідно з математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} I_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{pl} x_{pl} + j \left(\operatorname{Im} I_2^H + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^3 a_{pl} x_{pl} \right) \rightarrow \min \right| \\ x_{11} + x_{11} = 1 \\ x_{12} + x_{12} = 1 \\ \text{-----} \\ x_{1L} + x_{1L} = 1 \\ \text{-----} \\ x_{3L} + x_{3L} = 1 \\ x_{pl}; x_{pl} = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (8.21)$$

x_{pl} , x_{pl} - змінні, що відповідають рішенням включити l -у ступінь p -го плеча СП, якщо в результаті розв'язування $x_{pl}=1$, а $x_{pl}=0$, або не включати, якщо $x_{pl}=0$, а $x_{pl}=1$.

Розв'язок, що відповідає математичній моделі, здійснює мінімальну несиметрію режиму будь-якими існуючими в даному випадку методами. Обмеження моделі вказують на те, що кожен із ступенів СП може знаходитись або у включеному, або у відключеному положенні.

СП дискретного управління, що виконані за допомогою інших схем, також можуть генерувати деяку множину струмів I_2^{Cn} . Тому відомості про такий пристрій також можуть зображатися платіжною матрицею (8.20), а вектор управління знаходиться відповідно математичній моделі (8.21).

Процес знаходження вектора управління СП для деякого несиметричного режиму електромережі проаналізуємо на чисельному прикладі.

Приклад 2. В лінії, яка живить несиметричне навантаження, встановлюється режим, симетрична складова струму зворотної послідовності якого дорівнює $I_2^H=4,036 + j1,725$ А. В вузлі живлення є СП (виконаний на базі силових батарей конденсаторів), параметри якого виражаються через струми I_c , мають значення.

Плеche А-В (1); ступінь 1, $I_c=1,8$ А; ступінь 2, $I_c=1,2$ А; ступінь 3, $I_c=0,6$ А.

Для плеча В-С (2) та С-А (3) параметри ступенів та їх кількість.

Знайти вектор управління симетруючим пристроєм.

Розв'язування. Математична модель управління для симетрування режиму має вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} |4,036 + (-0,9 \ -0,6 \ -0,3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,9 \ 0,6 \ 0,3) \ X \ + \rightarrow \\ + j(1,725 + (0,52 \ 0,346 \ 0,173 \ -1,04 \ -0,693 \ -0,346 \ 0,52 \ 0,346 \ 0,173) \ X)| \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \end{array} \right. \quad (8.22)$$

Де $X^T=(x_{11}x_{12}x_{13}x_{21}x_{22}x_{23}x_{31}x_{32}x_{33})$; $X^T=(x_{11}x_{12}x_{13}x_{21}x_{22}x_{23}x_{31}x_{32}x_{33})$ - вектори управління; n - одинична матриця вимірністю 9×1 .

Розв'язком задачі є вектор: $X^T=(1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$. Для реалізації цього вектора управління слід включити всі ступені СП в плечах А-В і В-С. В результаті

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в живильній лінії буде роходити струм зворотної послідовності, який дорівнює $I_2^K = 2,236 + j0,686 \text{ A}$.

СП, рис 8.4, будучи несиметричним навантаженням, впливає як на режим зворотної, так і на режим прямої послідовності. Виконаний таким, що управляється, він може використовуватись для регулювання реактивної потужності підприємства. Ефективність використання конденсаторів при цьому буде збільшена. Режим роботи джерел реактивної потужності повинен бути таким, щоб протягом доби генерована реактивна потужність не менш ніж на 80-90% співпадала із графіком реактивної потужності, що споживається. Тому вибір ступенів СП для включення повинен виконуватись в умовах обмеження:

$$Q_1^{Cn}(X) \leq Q_{доп}, \quad (8.23)$$

де $Q_{доп}$ - допустима реактивна потужність СП на момент вибору цілеспрямованого впливу, яка визначена із умови регулювання графіка реактивної потужності вузла навантаження.

Вектор управління, що задовольняє технічне обмеження з компенсації реактивної потужності, може бути знайдений розв'язуванням задачі цілочислового програмування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \operatorname{Re} I_2^H + \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L a_{pl} x_{pl} + j \left(\operatorname{Im} I_2^H + \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L b_{pl} x_{pl} \right) \right| \rightarrow \min \\ x_{11} + \bar{x}_{11} = 1 \\ x_{12} + \bar{x}_{12} = 1 \\ \text{-----} \\ x_{1L} + \bar{x}_{1L} = 1 \\ \text{-----} \\ x_{3L} + \bar{x}_{3L} = 1 \\ \sum_{p=1}^3 \sum_{l=1}^L c_{pl} x_{pl} \leq Q_{доп} / U_{\text{л}} \\ x_{pl}; \bar{x}_{pl} = 1 \forall 0 \end{array} \right. \quad (8.24)$$

де c_{pl} - струм прямої послідовності в живильній лінії, що утворюється при включенні l-го ступені p-го плеча СП; $U_{\text{л}}$ - величина напруги на конденсаторах СП.

					Арк.
					66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Обмеження - нерівність, що міститься в математичній моделі, відображає вимогу до рівня компенсації реактивної потужності групи однофазних споживачів. Обмеження вкрай необхідне, коли рівень несиметрії значний при високому коефіцієнті потужності навантаження. Щоб досягти певного ефекту за рівнем напруги прямої послідовності при управлінні несиметрією режиму, в математичну модель додатково слід ввести обмеження, яким функціонально зв'язується рівень напруги в вузлі навантаження з вектором управління СП. Слід зауважити, що постановка кожного додаткового обмеження може обмежити область припустимих розв'язків і, як наслідок, оптимальний розв'язок стане менш ефективним. Іноді може навіть так статись, що множина припустимих розв'язків пуста і покращити режим не має змоги. Таким чином, кожне додаткове звуження в моделі управління повинно бути обґрунтованим.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблена система електропостачання авторемонтного заводу.

В проєкті виконаний розрахунок електричних навантажень споживачів заводу методом упорядкованих діаграм. Розрахункове навантаження споживачів складає 7,23 МВт. На основі техніко-економічного розрахунку вибрана оптимальна схема зовнішнього електропостачання: живлення повітряними лініями 10 кВ довжиною 6 км. На території заводу споруджується ГЗП 35/10 кВ.

Важливим питанням при проектуванні систем електропостачання є компенсація реактивної потужності. На проєктуємому заводі воно вирішено за рахунок встановлення батарей конденсаторів на 10 кВ (1800 кВар) та на 0,4 кВ (4250 кВар). До встановлення прийняті стандартні БСК, регулювання потужності яких здійснювалося по часу доби. В системі електропостачання прийнято до встановлення шість комплектних трансформаторних підстанцій з трансформаторами потужністю 1000 кВА. Електропостачання цехових підстанцій виконується по радіальній схемі з використанням кабелів ААШв (3х50).

На основі розрахунків струмів короткого замикання вибрано та перевірено високовольтне обладнання ЦРП. До встановлення прийняти вакуумні вимикачі на 35 кВ ВР35НС-20/1600 на номінальний струм 1600 А, на 10 кВ ВР1-20/630 на номінальний струми 630А.

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розглянуті задачі оптимального управління якістю електроенергії. Нормативні вимоги з несиметрії напруг забезпечуються за допомогою місцевих пристроїв, які споряджені регуляторами, але зменшити рівень несиметрії в деяких випадках можна також шляхом більш раціонального використання технологічного обладнання. Цей шлях має бути повністю використаним при управлінні несиметрією режиму мережі незалежно від того, чи забезпечить він нормативні вимоги з таких причин: для своєї реалізації такі заходи не потребують зовсім або потребують незначних капітальних вкладень; збільшується ефективність використання діючого техно-

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

логічного обладнання; потрібна буде менша сумарна установлена потужність пристроїв для остаточного симетрування режиму.

Управління режимами в промислових електричних мережах здійснюється не за одним, а за багатьма критеріями. Задача оптимального управління може бути сформульована також як задача математичного програмування. При цьому для неперервної системи, якою є система електропостачання підприємства, в загальному випадку утворюється нескінченновимірна задача в нескінченновимірному просторі. Для її розв'язування можуть бути застосовані обчислювальні алгоритми математичного програмування.

В економічній частині виконані необхідні розрахунки по організації планово-запобіжного ремонту обладнання та техніко-економічних показників системи електропостачання заводу. Так собівартість енергії, що споживається, складає 1,0282 грн./кВт год.

В ході виконання кваліфікаційної роботи були максимально використані діючі нормативні документи та інструкції. Всі технічні рішення мають економічне обґрунтування. При проектуванні використані комп'ютерні програми.

В цілому можна відмітити, що спроектована система електропостачання авторемонтного заводу задовольняє вимогам надійності, економічності та безпеки обслуговування.

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електротехнічні системи електроспоживання : [навч. посіб.] / П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, Н. Ю. Гарасьова [та ін.] ; за заг. ред. П. Г. Плешкова. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 208 с.

2.

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

4. Плешков П.Г., Полтавець М.М. Якість електричної та електромагнітної сумісності електроспоживачів сільського господарства. Конструкція виробництва та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 29. –Кіровоград, 2000. – С. 90-97.

5. Плешков П.Г., Беседа С.В. Исследование электромагнитной совместимости электрооборудования и автоматизированных устройств с системами электроснабжения. Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды Кременчугского государственного политехнического института. Вып. 2/1999-Кременчуг, 1999. – С.156-160.

6. Comments on Active Power Flow and Energy Accounts In Electrical Systems With Nonsinusoidal Waveforms and Asymmetry Gzarneski L. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 11, No 3, 1996, p. 1244-1250.

7. Плешков П.Г., Подурець А., Свірідов А.П. Комплексна оптимізація енергетичних і технологічних параметрів електротехнологічного устаткування термічної обробки металів. Проблеми економії енергії. Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції. Львів 10-14 жовтня, 2001. – Львів, Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2001. – С. 150-151.

8. Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Цюцюра В.І. Контроль якості електричної енергії за допомогою комп'ютерних аналізаторів спектру. 3-я українська НТК «Науковий контроль та технічна діагностика», НКТД-2000. – Дніпропетровськ, 22-25 травня. – 2000 р. – С.217 – 220.

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Постанова НКРЕ № 36 від 15.01.2003 р. «Щодо внесення змін та доповнень до Процедури встановлення або перегляду тарифів для ліцензіатів з передачі електричної енергії місцевими (локальними) електромережами та з постачання електроенергії за регульованим тарифом, затвердженої постановою НКРЕ від 01.08.2001 р. № 801»

10. Методичні вказівки до виконання магістерських робіт на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня – магістр електротехніки за фахом 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання». /Укл.: П.Г.Плешков, Н.Ю.Гарасьова – Кіровоград: КДТУ, 2002-44 с.

11. П.Г.Плешков, Ю.І.Казанцев, А.Ю.Орлович. Основи енергозбереження та енергозберігаючі режими в системах електропостачання промислових підприємств. – Кіровоград: РВЛ КНТУ 2007.

						Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		