

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

_____ Петро ПЛІШКОВ

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ
ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання
збагачувальної фабрики металургійного комбінату»

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–21-3СК

ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Максим ТКАЧЕНКО

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

доцент, канд.техн.наук,

_____ Катерина ПЕТРОВА

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

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

Ткаченка Максима Володимировича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату. Development of a power supply system for the concentrator of a metallurgical plant

2. Керівник роботи Петрова Катерина Григорівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є створення сучасної системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату з мінімальними втратами в елементах мережі та розробленням комплексу заходів з дослідженням якості електричної енергії в системі електропостачання промислового об'єкта

Завдання: 1. Електричні навантаження в системі електропостачання. 2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції). 3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства. 4. Компенсація реактивної потужності 5. Трансформаторні підстанції 6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання. 7. Спеціальний розділ. Висновки. Перелік посилань

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Електричні навантаження в системі електропостачання</i>	<i>08.04.24</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки (головної знижувальної підстанції)</i>	<i>15.04.24</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>17.04.24</i>	
4	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>22.04.24</i>	
5	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>29.04.24</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>06.05.24</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>13.05.24</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>27.05.24</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>02.06.24</i>	

Дата видачі завдання

«08» квітня 2024 р.

Підпис керівника _____

Катерина ПЕТРОВА

Завдання прийнято до виконання

«08» квітня 2024 р.

Підпис здобувача _____

Максим ТКАЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 85 с.; 12 рис.; 34 табл.; 14 джерел.

Ткаченко М. В. Розроблення системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою даної роботи є розроблення системи електропостачання для збагачувальної фабрики металургійного комбінату, яка відповідатиме сучасним вимогам до енергоефективності та надійності. У роботі проведено аналіз існуючих рішень, обрано оптимальні технології та засоби для забезпечення безперервного електроживлення всіх технологічних процесів фабрики.

У спеціальному розділі досліджено питання якості електричної енергії в системі електропостачання промислового об'єкта. Дослідження показали, що стабільність та якість електропостачання є критично важливими для безперебійної роботи обладнання та ефективності виробничих процесів. Виявлені відхилення від стандартів якості електроенергії можуть призводити до збоїв у роботі техніки та зниження загальної продуктивності. Для забезпечення надійної роботи промислового об'єкта рекомендовано впровадження систем моніторингу та корекції параметрів електропостачання.

Результати роботи доцільно впроваджувати під час проєктування систем електропостачання промислових об'єктів, зокрема, - збагачувальних фабрик металургійних комбінатів.

Ключові слова: електричне навантаження, система постачання електричної енергії, електричне обладнання, якість електричної енергії

ABSTRACT

Qualification work: 85 p.; 12 fig.; 34 tables; 14 sources.

Tkachenko M. V. Development of a power supply system for the concentrator of a metallurgical plant. – Manuscript.

Bachelor's thesis on speciality 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of this work is to develop a power supply system for the beneficiation factory of the metallurgical plant that will meet modern requirements for energy efficiency and reliability. In the work, an analysis of existing solutions was carried out, optimal technologies and means were chosen to ensure continuous power supply of all technological processes of the factory.

In a special section, the issue of the quality of electrical energy in the power supply system of an industrial facility is investigated. Research has shown that the stability and quality of the power supply are critical for the uninterrupted operation of equipment and the efficiency of production processes. Identified deviations from power quality standards can lead to malfunctions in the operation of equipment and a decrease in overall productivity. To ensure the reliable operation of the industrial facility, it is recommended to implement systems for monitoring and correcting power supply parameters.

It is advisable to implement the results of the work during the design of power supply systems of industrial facilities, in particular, - beneficiation factories of metallurgical plants.

Key words: electrical load, electrical energy supply system, electrical equipment, electrical energy quality

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1. Електричні навантаження в системі електропостачання.....	12
1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В	12
1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень	14
1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В	16
1.4. Графіки електричних навантажень	21
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної знижувальної підстанції (ГЗП)	25
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	27
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	27
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання	30
4. Компенсація реактивної потужності.....	31
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір пристроїв для її компенсації.....	31
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування пристроїв компенсації реактивної потужності	32
5. Трансформаторні підстанції	42
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій	42
5.2. Компоновка та місце розташування трансформаторних підстанцій	43
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електро- установок та силових мереж системи електропостачання	45

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЦОЇ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		М. Ткаченко			Розроблення системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату Development of a power supply system for the concentrator of a metallurgical plant	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		К. Петрова					5	85
Н.контр.		К. Петрова				ЦНТУ гр. ЕЕ-21-ЗСК		
Затв.		П. Плешков						

6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	45
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	50
6.3. Вибір електрообладнання.....	51
7. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА.....	59
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69
ДОДАТКИ	71
ДОДАТОК А. Методи та засоби підвищення якості електричної енергії в СЕП.....	72

						Арк.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

БК	– батарея конденсаторів
ВГ	– вищі гармоніки
ГЕН	– графіки електричних навантажень промислового об'єкта
ЕЕ	– електрична енергія
ЕН	– електричне навантаження
КЗ	– коротке замкнення
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КП	– компенсуючий пристрій
ПЛ	– повітряна лінія електропередач
СЕП	– система електропостачання
СД	– синхронні двигуни

						Арк.

ВСТУП

Забезпечення надійного та ефективного електропостачання є ключовим фактором для успішного функціонування будь-якого промислового об'єкта. Особливо це актуально для збагачувальних фабрик металургійних комбінатів, де стабільність електропостачання безпосередньо впливає на якість та обсяги виробництва продукції. Металургійні комбінати, як великі споживачі електроенергії, потребують ретельно спроектованих систем електропостачання, що забезпечують високу надійність, енергоефективність та гнучкість в умовах змінних виробничих навантажень.

Метою даної бакалаврської роботи є розроблення системи електропостачання для збагачувальної фабрики металургійного комбінату, яка відповідатиме сучасним вимогам до енергозбереження та надійності. У роботі буде проведено аналіз існуючих рішень, обрано оптимальні технології та засоби для забезпечення безперервного електроживлення всіх технологічних процесів фабрики. Окрему увагу буде приділено питанням автоматизації та моніторингу електропостачання, що дозволить оперативно реагувати на можливі збої та знижувати витрати на обслуговування.

Основні завдання роботи включають:

Аналіз поточного стану та потреб електропостачання збагачувальної фабрики.

Вибір та обґрунтування оптимальної структури системи електропостачання.

Розроблення схеми електропостачання з урахуванням вимог надійності та енергоефективності.

Оцінка економічної доцільності впровадження запропонованих рішень.

В результаті виконання роботи очікується створення ефективної та надійної системи електропостачання, що забезпечить стабільну роботу збагачувальної фабрики, знизить енергетичні витрати та підвищить загальну продуктивність металургійного комбінату.

						Арк.

Таким чином, дана робота є актуальною і має велике практичне значення для покращення енергетичної інфраструктури металургійної галузі.

Збагачувальна фабрика металургійного комбінату призначена для підготовки руди перед її подальшою металургійною обробкою. Основна мета технологічного процесу збагачення — підвищення концентрації корисних компонентів у рудній масі та видалення непотрібних домішок. Цей процес включає кілька етапів, кожен з яких має своє значення та специфічні технологічні завдання.

1) Дроблення і подрібнення:

- Дроблення – первинне подрібнення великих шматків руди до розмірів, зручних для подальшого оброблення. Для цього використовуються щоківі, конусні та ударні дробарки.

- Подрібнення – більш детальне подрібнення руди до необхідної гранулометрії за допомогою млинів (кульових, стержневих, або вібраційних).

2) Класифікація:

- Процес розділення рудної маси на фракції за розмірами зерен. Для цього використовуються грохоти, гідроциклони та інші класифікатори. Це дозволяє ефективніше проводити наступні етапи збагачення.

3) Збагачення:

- Гравітаційне збагачення – використовується для розділення рудних мінералів на основі їх різниці в густині за допомогою шлюзів, центрифуг та гвинтових сепараторів.

- Магнітна сепарація – відокремлення магнітних мінералів від немагнітних за допомогою магнітних сепараторів.

- Флотація – процес розділення мінералів на основі їх поверхневої активності, де мінерали злипаються з бульбашками повітря і спливають на поверхню у вигляді піни.

4) Зневоднення та фільтрація:

						Арк.

- Включає видалення води з збагаченої руди та хвостів за допомогою згущувачів, фільтрів та центрифуг. Це необхідно для отримання сухого концентрату, придатного для транспортування та подальшої переробки.

5) Хвостосховище:

Місце зберігання відходів збагачувального процесу, відомих як хвости. - Ці відходи зазвичай мають низький вміст корисних компонентів і потребують екологічно безпечного зберігання.

Технологічний процес на збагачувальній фабриці металургійного комбінату є складним і багатоступеневим, що потребує ретельного контролю на всіх етапах. Використання сучасних технологій та обладнання дозволяє досягати високої ефективності збагачення, мінімізувати втрати корисних компонентів та знизити витрати на енергію та обслуговування обладнання.

Основними промисловими цехами фабрики є цехи гравітаційного та магнітного збагачення (використання гравітаційних методів для розділення мінералів за їхньою щільністю, а також магнітних сепараторів для виділення магнітних мінералів з руди), дроблення (первинне, вторинне та третинне дроблення сировини до необхідного розміру для подальшого збагачення), флотації (використання хімічних реагентів для розділення мінералів у водному середовищі, засноване на їхній поверхневій активності), подрібнення і класифікації (подрібнення матеріалу до порошкоподібного стану і розділення його на класи за розміром часток), згущення і фільтрації (видалення води з концентрату для подальшої обробки або транспортування), цех відвантаження готової продукції (підготовка та відвантаження готового продукту (концентрату) споживачам) та енергетичний цех (забезпечення виробничих процесів необхідною енергією, водою та іншими ресурсами).

						Арк.

1. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ

1.1. Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В

Визначення силових електронавантажень у мережах до 1000 В є важливою частиною проєктування та експлуатації електричних систем. Попереднє планування обсягів електричного навантаження дозволить забезпечити надійне та ефективне функціонування промислового об'єкту, що є критично важливим для стабільної роботи електричних систем і безпеки споживачів.

Визначаємо ЕН відповідно до вимог [2].

У табл.1.1 (перший рядок) наведені результати розрахунків для цеху гравітаційного та магнітного збагачення:

- загальна кількість встановленого обладнання $n = 45$ шт.;
- обсяг загальної номінальної потужності $\sum P_H = 4700$ кВт;
- відповідне середньозмінне навантаження $\sum P_{CM} = 3290$ кВт та $\sum Q_{CM} = 3356$ кВар.

Тобто, значення n_E набуде значення:

$$n_E = 2 \cdot \sum P_H / P_{H.MAX} = 2 \cdot 4700 / 300 = 31.$$

Базуючись на знайденому значенні n_E визначаємо відповідне $K_M = 1,0$.

А значення розрахункових ЕН набудуть значень:

$$P_P = \sum P_{CM} \cdot K_M = 3290 \cdot 1,0 = 3290 \text{ кВт};$$

$$Q_P = \sum Q_{CM} = 3356 \text{ кВар};$$

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = 4700 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

У вигляді табл. 1.1. сформовано результати обчислень за поданою методикою для всіх цехів та промислового об'єкта у цілому.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. ЕН в мережі до 1000 В

Підрозділ промислового об'єкта	№	n	Р одного			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	tg φ	Значення середн.зм. наван-ня		n_E	K_M	Значення розрахункового навантаження		
			min		max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Цех гравітаційного та магнітного збагачення	1	45	20	...	300	4700	15	0,70	0,700	1,02	3290	3356	31	1,00	3290	3356	4700
Цех дроблення																	
а) 0,38 кВ	2	50	10	...	90	1800	9	0,4	0,75	0,880	720	635	40	1,21	873	635	1079
Цех флотації	3	140	5	...	500	6800	100	0,70	0,80	0,750	4760	3570	27	1,00	4760	3570	5950
Цех подрібнення і класифікації																	
а) 0,38 кВ	4	30	20	...	120	1000	6	0,70	0,70	1,02	700	714	17	1,00	700	714	1000
Цех згущення і фільтрації	5	20	10	...	150	4000	15	0,50	0,70	1,02	2000	2040	20	1,25	2493	2040	3221
Цех відвантаження готової продукції	6	30	5	...	60	600	12	0,60	0,90	0,48	360	174	20	1,19	427	174	462
Енергетичний цех	7	157	2,5	...	30	891	12	0,50	0,75	0,88	446	393	59	1,13	505	393	640
Всього по збаг.фабриці		472	2,5	...	500	19791	200	0,62	0,75	0,89	12276	10883	79	1,00	12276	10883	16405

1.2. Визначення освітлювальних електронавантажень

У вигляді табл. 1.2. подано результати визначення обсягів освітлювальних навантажень. Для детального розгляду оберемо цех гравітаційного та магнітного збагачення:

- значення встановленої потужності для гравітаційного та магнітного збагачення із $F = 600 \text{ м}^2$ та $p_0 = 8 \text{ кВт/м}^2$:

$$P_B = F \cdot \rho_0 \cdot 10^{-3} = 600 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 4,8 \text{ кВт.}$$

- обчислені значення потужностей отримаємо:

$$P_p = K_C \cdot K_1 \cdot P_B = 0,85 \cdot 1,2 \cdot 4,8 = 4,9 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 4,9 \cdot 0,48 = 2,4 \text{ кВар},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{4,9^2 + 2,4^2} = 5,4 \text{ кВА}.$$

						Арк.

Таблиця 1.2. Освітлювальні навантаження підрозділів збагачувальної фабрики

№ з/п	Найменування підрозділу фабрики	F , м ²	ρ_0 , Вт/м ²	P_B , кВт	K_C	K_1	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	P_P , кВт	Q_P , кВар	S_P , кВА
1	Цех гравітаційного та магнітного збагачення	600	8	4,80	2,32	0,85	1,20	0,90	0,48	4,9	2,4
2	Цех дроблення	160	12	1,92	3,33	0,85	1,12	0,50	1,73	1,8	3,2
3	Цех флотації	400	14	5,60	9,70	0,95	1,12	0,50	1,73	6,0	10,3
4	Цех подрібнення та класифікації	600	10	6,00	10,39	0,95	1,12	0,50	1,73	6,4	11,1
5	Цех згущення та фільтрації	400	12	4,80	2,32	0,95	1,20	0,90	0,48	5,5	2,7
6	Цех відвантаження готової продукції	1 280	6	7,68	0,00	0,60	1,00	1,00	0,00	4,6	0,0
7	Насосна 10,5 (СД)	2 176	8	17,41	0,00	0,85	1,00	1,00	0,00	14,8	0,0
8	Енергетичний цех	3 600	12	43,20	74,82	0,95	1,12	0,50	1,73	46,0	79,6
9	Освітлення території фабрики	87 416	0,2	17,4832	30,28	0,6	1,12	0,50	1,73	11,7	17,0
10	Всього по фабриці			109	133					102	126

						Арк.

1.3. Визначення електронавантажень у силових мережах вище 1000 В

З огляду на обсяги навантаження у роботі для встановлення запропоновано використання ТМ 1600 кВА, технічні параметри котрих:

$S_{НОМ}$, кВА	U_{K3} , %	ΔP_{K3} , кВт	ΔP_{XX} , кВт	I_{XX} , %
1600	5,5	16	2,05	1,3

$$\Delta P = n \cdot (\Delta P_X + \Delta P_K \cdot K_3^2) = 4 \cdot (1,3 + 16 \cdot 0,691^2) = 33,04 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_3^2 \right) = 4 \cdot \left(\frac{1,3}{100} \cdot 1600 + \frac{5,5}{100} \cdot 1600 \cdot 0,691^2 \right) = 251,27 \text{ кВар}$$

У таблиці 1.3. подані отримані, за наведеною методикою, обсяги втрат ЕЕ ТП 3-8.

						Арк.

Таблиця 1.3. Розрахунок навантажень електричних (для мережі > 1000 В)

№	Назва групи споживачів	Кіл-ть	Родн.			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє ел.нав.		n_E	K_M	Розрахункове ел. нав.		
			min	...	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_P , кВт	Q_P , квар	S_P , кВА
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 1, 2 (4X1600)																	
1	Цех гравітаційного та магнітного збагачення																
	Силове навантаження	45	20	...	300	4700	15	0,7	0,7	1,02	3290	3356	31	1	3290	3356,47	4700
	Освітлювальне навантаження										4,8	2,3			4,9	2,4	5,4
	Всього по цеху ГМЗ										3294,8	3358,8			3294,9	3358,8	4705,1
2	Цех дроблення																
	Силове навантаження	50	10	...	90	1800	9	0,4	0,75	0,88	720	635	40	1,21	873	635	1079
	Освітлювальне навантаження										1,9	3,3			1,8	3,2	3,7
	Всього по дробильному цеху										721,9	638,3			874,5	638,1	1082,6
Всього силова по ТП 1,2		95	10	...	300	6500	30	0,62	0,709	1	4010	3991,452	43	1	4010	3991,45	5657,89
Всього освітлювальна по ТП 1,2											6,7	5,7			6,7	5,5	8,7
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2											4016,7	3997,1			4016,7	3997,0	5666,6
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-2140,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															4016,7	1857,0	4425,2
	Втрати в тр-рах ТП 1,2 (4x1600), $K_3=0,691$														35,4	257,7	260,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 1,2															4052,1	2114,7	4570,7

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 3, 4, 5 (5X1600)																	
1	Цех флотації																
	Силове навантаження	140	5	...	500	6800	100	0,7	0,8	0,75	4760	3570	27	1	4760	3570	5950
	Освітлювальне навантаження										5,6	9,7			6,0	10,3	11,9
	Всього по цеху флотації										4765,6	3579,7			4766,0	3580,3	5961,0
2	Цех подрібнення та класифікації																
	Силове навантаження	30	20	...	120	1000	6	0,7	0,7	1,02	700	714,1428	17	1	700	714,143	1000
	Освітлювальне навантаження										6,0	10,4			6,4	11,1	12,8
	Всього по цеху П та К										706,0	724,5			706,4	725,2	1012,4
3	Естакада для складу лиття																
	Силове навантаження	4	10	...	10	40	1	0,6	0,7	1,02	24,0	24,5	4	1,52	36,4	26,9	45,3
	Освітлювальне навантаження										4,9	2,4			5,0	2,4	5,5
	Всього по естакаді										28,9	26,8			41,4	29,3	50,7
Всього силова по ТП 3, 4, 5		170	5	...	500	7800	100	0,7	0,787	0,78	5460	4284,143	31	1	5460	4284,14	6940,13
Всього освітлювальна по ТП 3, 4, 5											11,6	20,1			12,3	21,4	24,7
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 3, 4, 5											5471,6	4304,2			5472,3	4305,5	6963,0
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																-2760,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															5472,3	1545,5	5686,4
Втрати в тр-рах ТП 3,4,5(5x1600), Кз=0,711															36,7	298,8	301,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3,4,5															5509,0	1844,4	5809,5

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 6, 7 (3X1600)																
1	Цех згущення та фільтрації															
	Силове навантаження	20	10	...	150	4000	15	0,5	0,7	1,02	2000	2040,408	20	1,25	2492,8	3221,4
	Освітлювальне навантаження										4,8	2,32			5,47	6,08
	Всього по цеху 3 та Ф										2004,8	2042,7			2498,3	3227,3
2	Цех відвантаження готової продукції															
	Силове навантаження	30	5	...	60	600	12	0,6	0,9	0,48	360	174,356	20	1,19	427,44	461,632 65
	Освітлювальне навантаження										4,608	0			4,608	4,608
	Всього по цеху ВГП										364,6	174,4			432,0	465,9
Всього силова по ТП 6, 7		50	5	...	150	4600	30	0,51	0,729	0,94	2360	2214,764	50	1,14	2694,04	3487,55
Всього освітлювальна по ТП 6, 7											9,408	2,324746			10,08	10,4225
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 6, 7											2369,4	2217,1			2704,1	3497,0
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-150,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															2704,1	3403,9
Втрати в тр-рах ТП 6,7 (3x1600), Кз=0,709															36,5	269,0
Всього на шинах 10 кВ по ТП 6, 7															2740,6	3599,8
ТП № 8 (1x1600)																
1	Насосна															
	Силове навантаження															
	Освітлювальне навантаження										17,4	0,0			14,8	14,8
	Всього по насосній										17,4	0,0			14,8	14,8

Продовження табл. 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	Енергетичний цех																
	Силове навантаження	157	2,5	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,9	809,8	731,806	117	1,1	891,1	731,8	1153,1
	Освітлювальне										43,2	74,8			46,0	79,6	91,9
	Всього по цеху										853,0	806,6			937,1	811,4	1239,6
3	Освітлення території фабрики																
	Всього										17,5	30,3			11,7	17,0	20,6
Всього силова по ТП 8		157	3	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,90	810	732	117	1,10	891,1	731,8	1153,1
Всього освітлювальна по ТП 8											78	105			72,5	96,6	120,8
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 8											887,9	836,9			963,6	828,4	1270,7
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															0,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															1770,0	-6,3	1770,0
	Втрати в тр. ТП 8 (1х1600), Кз=0,794														28,8	207,6	209,6
Всього на шинах 10 кВ по ТП 8															992,4	1036,0	1434,6
	Всього по ТП 1-8 на стороні 0,4 кВ														13156,8	11348,3	17374,8
	Всього КП на стороні 0,4 кВ															-5050,0	
	Загальні втрати в тр-рах ТП 1-8														137,3	1030,7	1039,8
	Всього по ТП 1-8 на стороні 10 кВ														13294,1	7329,0	15180,5
1	Цех дроблення б) 10,5 кВ (АД)	2	750	...	750	1 500	1,00	0,75	0,85	0,62	1 125	697			1 125	697	1 324
2	Цех подрібнення та класифікації б) 10,5 кВ (АД)	2	750	...	750	1 500	1,00	0,75	0,85	0,62	1 125	697			1 125	697	1 324
3	Насосна 10,5 (СД)	4	400	...	400	1 600	1,00	0,70	0,80	0,75	1 120	840			1120	-911	1444
	Всього по фабриці														16664,1	7812,4	18404,5
Компенсуючі пристрої 10 кВ																-5400,0	
	Всього по фабриці з врах КП														16664,1	2412,4	16837,8

1.4. Графіки електричних навантажень

У вигляді табл.1.4. подано вихідні дані для побудови ГЕН.

Таблиця 1.4. Відсоткове погодинне значення ЕН добового графіка

№ з/п	Значення активної потужності		Значення реактивної потужності	
	$P_{РОБ}, \%$	$P_{ВИХ}, \%$	$Q_{РОБ}, \%$	$Q_{ВИХ}, \%$
1	80	36	80	36
2	80	36	80	36
3	80	36	80	36
4	80	36	80	36
5	85	36	85	36
6	85	36	85	36
7	85	26	85	26
8	85	26	85	26
9	85	26	85	26
10	85	26	85	26
11	95	26	95	26
12	95	26	95	26
13	95	26	95	26
14	95	26	95	26
15	95	26	95	26
16	85	36	85	36
17	85	36	85	36
18	85	36	85	36
19	100	36	100	36
20	100	36	100	36
21	100	36	100	36
22	90	36	90	36
23	85	36	85	36
24	85	36	85	36

					Арк.

Таблиця 1.5. Вихідна інформація для побудови ГЕН

№	Зимовий сезон						Літній сезон					
	дні робочі			дні вихідні			дні робочі			дні вихідні		
	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>	<i>P, кВт</i>	<i>Q, кВар</i>	<i>S, кВА</i>
1	13326	11627	17685	5997	5232	7959	11327	9883	15032	5097	4447	6764
2	13326	11627	17685	5997	5232	7959	11327	9883	15032	5097	4447	6764
3	13326	11627	17685	5997	5232	7959	11327	9883	15032	5097	4447	6764
4	13326	11627	17685	5997	5232	7959	11327	9883	15032	5097	4447	6764
5	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
6	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
7	14159	12354	18791	4331	3779	5748	12035	10501	15972	3681	3212	4885
8	14159	12354	18791	4331	3779	5748	12035	10501	15972	3681	3212	4885
9	14159	12354	18791	4331	3779	5748	12035	10501	15972	3681	3212	4885
10	14159	12354	18791	4331	3779	5748	12035	10501	15972	3681	3212	4885
11	15825	13807	21002	4331	3779	5748	13451	11736	17851	3681	3212	4885
12	15825	13807	21002	4331	3779	5748	13451	11736	17851	3681	3212	4885
13	15825	13807	21002	4331	3779	5748	13451	11736	17851	3681	3212	4885
14	15825	13807	21002	4331	3779	5748	13451	11736	17851	3681	3212	4885
15	15825	13807	21002	4331	3779	5748	13451	11736	17851	3681	3212	4885
16	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
17	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
18	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
19	16658	14534	22107	5997	5232	7959	14159	12354	18791	5097	4447	6764
20	16658	14534	22107	5997	5232	7959	14159	12354	18791	5097	4447	6764
21	16658	14534	22107	5997	5232	7959	14159	12354	18791	5097	4447	6764
22	14992	13080	19896	5997	5232	7959	12743	11118	16911	5097	4447	6764
23	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764
24	14159	12354	18791	5997	5232	7959	12035	10501	15972	5097	4447	6764

Арк.

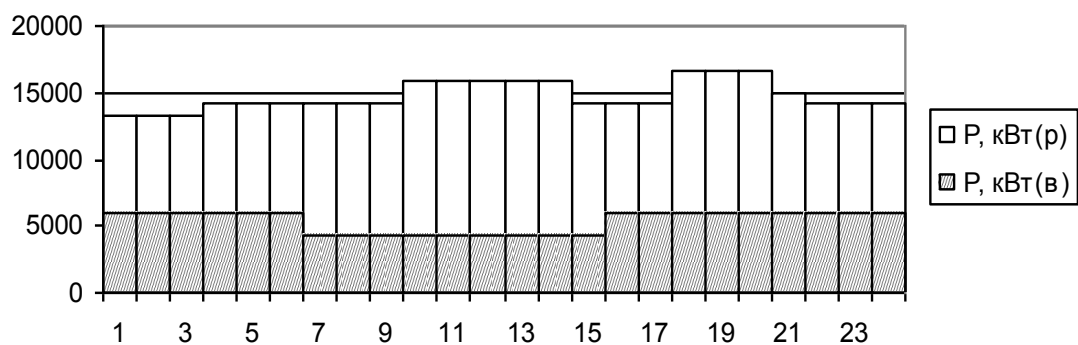


Рисунок 1.1. Графіки активних навантажень (зимовий сезон)

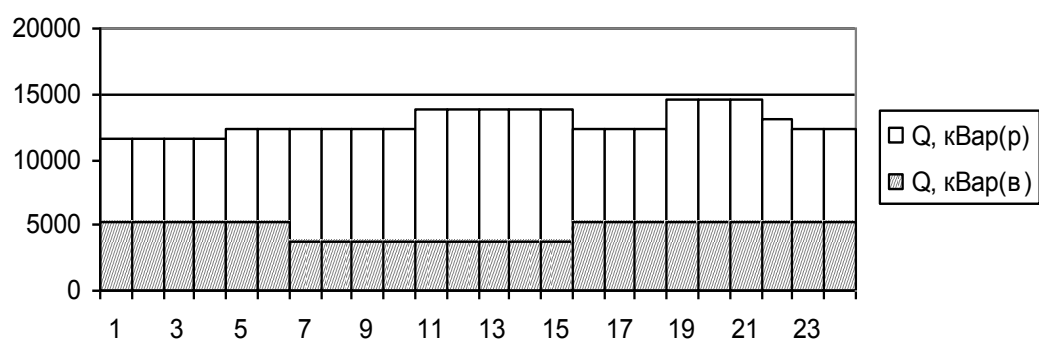


Рисунок 1.2. Графіки реактивних навантажень (зимовий сезон)

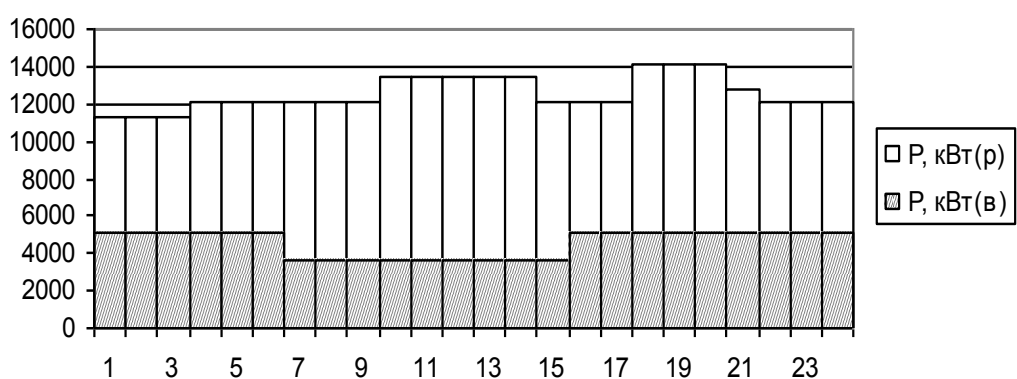


Рисунок 1.3. Графіки активних навантажень (літній сезон)

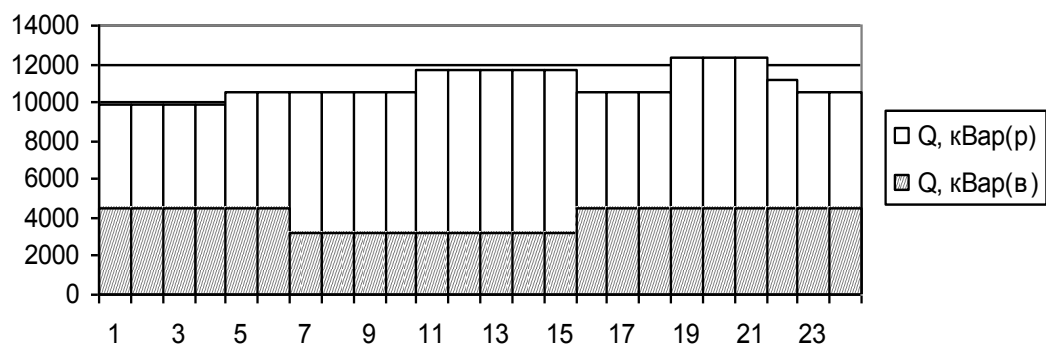


Рисунок 1.4. Графіки реактивних навантажень (літній сезон)

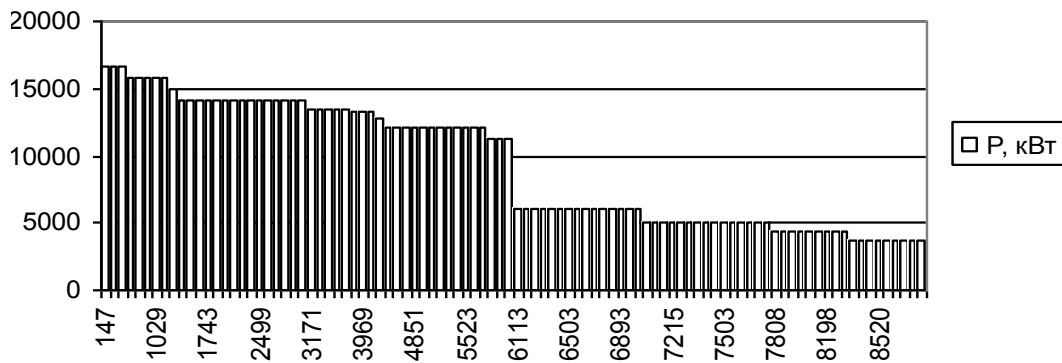


Рисунок 1.5. Графік навантаження за тривалістю (активне навантаження, річний)

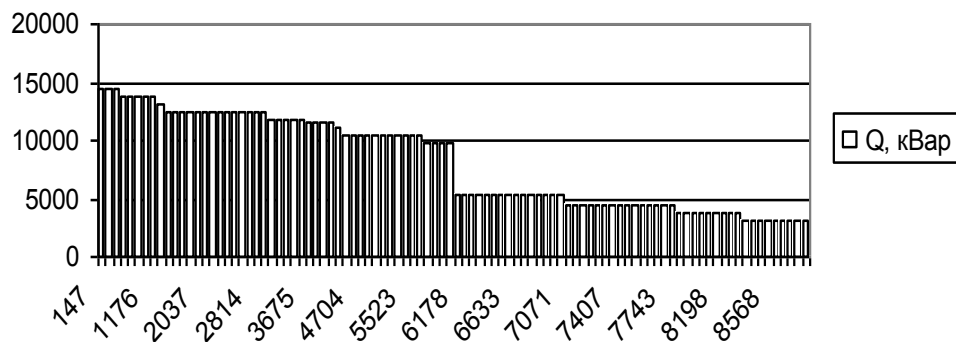


Рисунок 1.6. Графік навантаження за тривалістю (реактивне навантаження, річний)

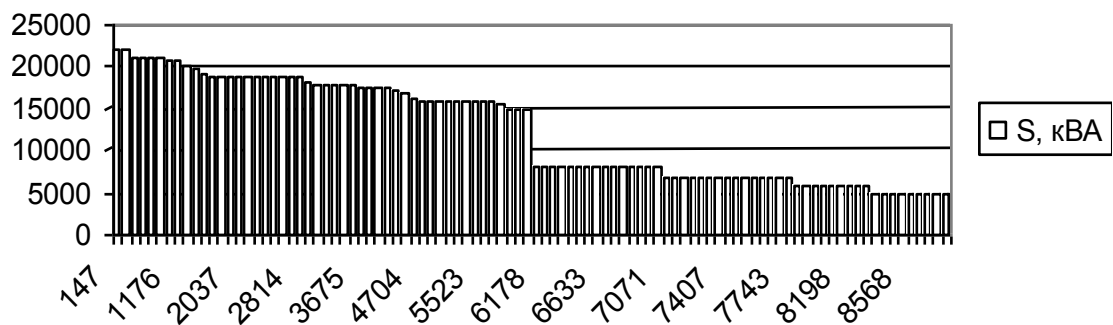


Рисунок 1.7. Графік навантаження за тривалістю (повне навантаження, річний)

Із графіків маємо можливість отримати показники:

$$T_M = \sqrt{\frac{W_P^2 + V_P^2}{S_P^2}} = \frac{97070550^2 + 84694647^2}{22107^2} = 5827,4 \text{ год}.$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{5827}{10^4}\right) \cdot 8760 = 4375,449 \text{ год}.$$

2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ЗНИЖУВАЛЬНОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГЗП)

Задля прикладу виконаємо розрахунки для цеху гравітаційного та магнітного збагачення. Радіус кола, що характеризує значення силового ел. навантаження з врахуванням масштабу $m = 0,5 \text{ кВт/мм}^2$:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m}} = \sqrt{\frac{P_{p.осв} + P_{p.сил}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{4,9 + 3290}{3,14 \cdot 0,5}} = 45,8 \text{ мм}$$

Значення сектора кола, що відповідає обсягу освітлювального ел. навантаження:

$$\alpha_i = \frac{P_{i.осв} \cdot 360}{\pi R_i^2 m} = \frac{4,9 \cdot 360}{3,14 \cdot 45,8^2 \cdot 0,5^2} = 0,53^\circ.$$

У табл. 2.1 наведені розраховані радіуси кіл R_i та відповідні сектори кіл α_i для всіх підрозділів збагачувальної фабрики.

Додатково визначили місце знаходження центру ел. навантажень, що відповідає координатам: $X = 100,8 \text{ м}$, $Y = 99,3 \text{ м}$.

Накладання точки центру із визначеними координатами із генпланом об'єкта показало наявність проблеми розташування головної знижувальної підстанції у заданому місці. Проблема полягає в тому, що ГЗП у такому випадку викликатиме зворотні перетоки енергії. Тому, у роботі, запропоновано ГЗП об'єкта змістити у бік джерела живлення, відповідно, обране місце розміщення ГЗП вказано на генеральному плані збагачувальної фабрики.

						Арк.

Таблиця 2.1. Результуючі дані для побудови картограми навантажень підрозділів збагачувальної фабрики

№ з/п	Найменування структурного підрозділу	$P_{Pcил}$, кВт	$P_{Pocв}$, кВт	$P_{p\Sigma}$, кВт	R , м	a	x , м	y , м	$P \cdot x$, кВт м	$P \cdot y$, кВт м
1	Цех гравітаційного та магнітного збагачення	3290,00	4,90	3294,90	0,5	45,80	0,53	24	126	79077,50
2	Цех дроблення									
	а) 0,38 кВ	872,64	1,83	874,47	0,5	23,59	0,75	54	126	47221,29
	б) 10,5 кВ (АД)	1125,00		1125,00	0,5	26,76	0,00	54	126	60750,00
3	Цех флотації	4760,00	5,96	4765,96	0,5	55,08	0,45	98	106	467063,92
4	Цех подрібнення та класифікації									
	а) 0,38 кВ	700,00	6,38	706,38	0,5	21,21	3,25	124	88	87591,62
	б) 10,5 кВ (АД)	1125,00		1125,00	0,5	26,76	0,00	124	88	139500,00
5	Цех згущення та фільтрації	2492,78	5,47	2498,26	0,5	39,88	0,79	196	68	489658,29
6	Цех відвантаження готової продукції	427,44	4,61	432,05	0,5	16,58	3,84	276	52	119245,17
7	Енергетичний цех	504,75	45,96	550,71	0,5	18,72	30,05	64	74	35245,63
8	Насосна	1120,00	14,80	1120,00	0,5	26,70	4,76	124	64	138880,00
	Освітлення території заводу		11,75	11,75	0,5	2,73	360,00	0	0	0,00
Всього по збаг. фабриці		16418	101,7	16504,5					1664233,42	1638223,98

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА

3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення

Під час виконання роботи розглянуто два варіанти напруг живлення збагачувальної фабрики (рис.3.1) - 10 та 150 кВ.

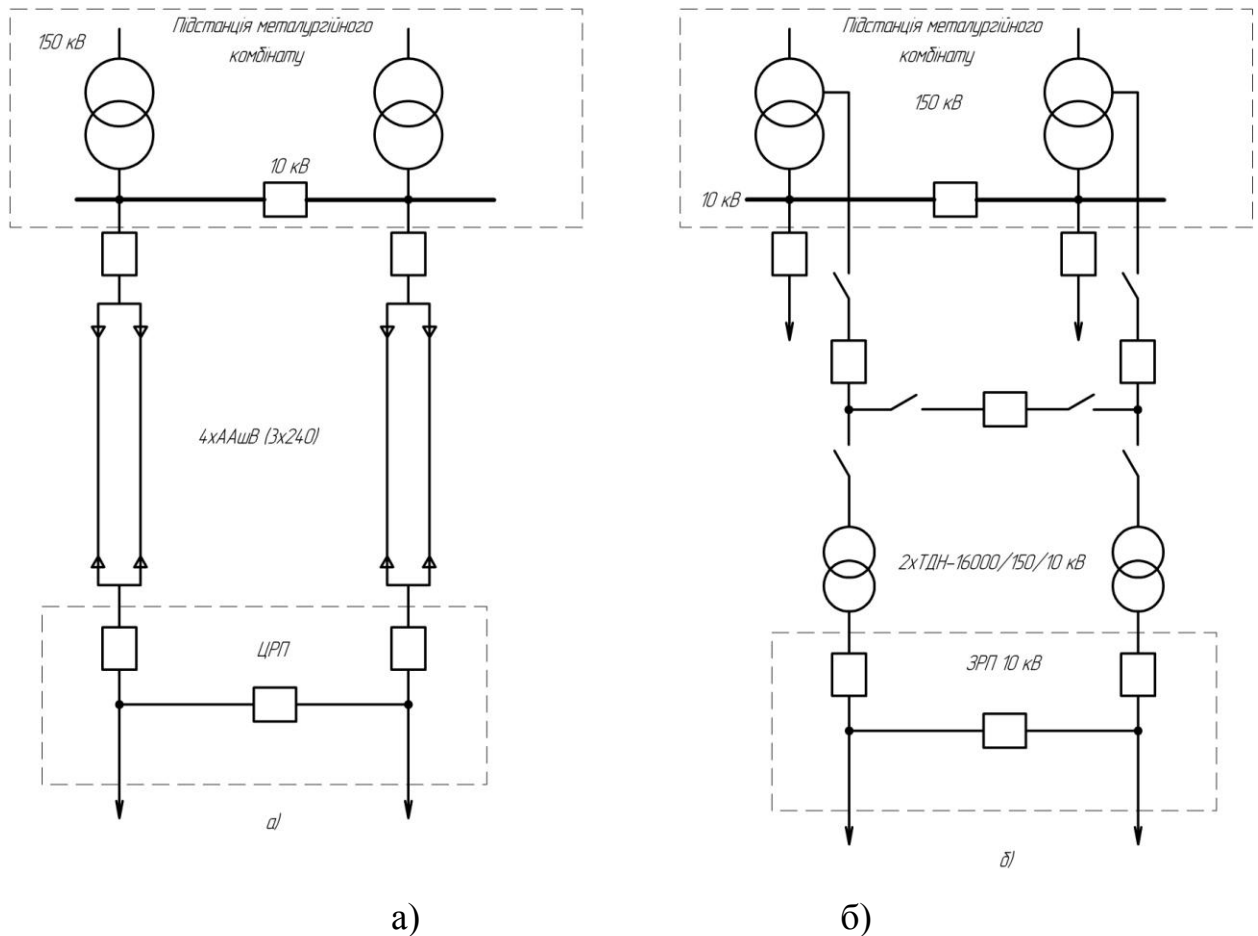


Рисунок 3.1. Альтернативні рішення для розроблення СЕП збагачувальної фабрики

Детально розглянемо варіант електропостачання $U_{ном} = 150 \text{ кВ}$ (рис.3.1 б):

$$I_p = \frac{S'_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{16657,73}{2\sqrt{3} \cdot 150} = 32,06 \text{ А.}$$

Грунтуючись на економічній густині струму отримаємо:

$$F = \frac{I_p}{J_{ек}} = \frac{32,06}{1,1} = 29,14 \text{ мм}^2$$

Виходячи з умови мінімального поперечного перетину для мереж 150 кВ за умовою корони приймаємо ПЛ марки АС з $F = 120 \text{ мм}^2$.

Для нормального режиму:

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{дон}} = \frac{32,06}{380} = 0,084.$$

Для встановлення на ГЗП обираємо 2хТРДН-16000/150/10, з коефіцієнтом завантаження:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{НОМ}} = \frac{16658}{2 \cdot 16000} = 0,5206.$$

Додатково враховуючи можливість аварійного перевантаження, перевіряємо умову:

$$K_{3.ав} = \frac{S_p}{S_{НОМ}} = \frac{16658}{16000} = 1,041 < 1,4$$

Орієнтовні втрати становитимуть:

- у ПЛ: $\Delta P_{л} = \Delta P_{1км} l_{\Sigma} K_3^2 = 61 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,084^2 = 4,304 \text{ кВт},$

$$\Delta W_{л} = \Delta P_{л} \tau_{ноб} = 4,304 \cdot 4375 = 21614,77 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

- у тр-рах:

$$\Delta W_{ТР} = n(\Delta P_x T_p + \Delta P_{\kappa} K_3^2 \tau) = 2(21 \cdot 8760 + 85 \cdot 0,5206^2 \cdot 4375) = 569494,37 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальний обсяг втрат ЕЕ:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_{л} + \Delta W_{т} = 21614,77 + 569494,37 = 583679,32 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Загальна їх вартість:

$$C_{ВТР} = \Delta W_{\Sigma} C_0 = 583679,32 \cdot 4,009 \cdot 10^{-3} = 23399,7 \text{ тис. грн}.$$

У табл.3.1 та 3.2 наведено результати розрахунків для обох варіантів, за якими й прийнято остаточно рішення щодо вибору класу напруги.

						Арк.

Таблиця 3.1. Визначення загальних обсягів капітальних вкладень

Вар.	Елемент схеми	Од.	Кількість	Вартість	Всього
I	Шафи КРП з вимикачами для п/ст системи	шт.	2	10,7	21,4
	Кабель	км	20	58	1160
	Траншея	км	5	14,3	71,5
<i>Всього</i>					1252,9
II	ЛЕП 150 кВ на з/б опорах	км	5	83,5	417,5
	ВРП 150 кВ	комп.	1	95	95
	Трансформатори 150/10 кВ	шт.	2	1100	2200
<i>Всього</i>					2712,5

Таблиця 3.2. Визначення обсягів поточних витрат на обладнання для встановлення

№ з/п	Перелік обладнання	K_i , тис. грн	P_A , %	C_A , %	P_E , %	C_E , %	C_{II} , тис.грн
Варіант №1	Кабельна лінія з урахуванням робіт по викопуванню траншеї	1231,5	5	61,575	5	61,575	123,15
	Шафи КРП з вимикачами	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
	Загалом						587,60
Варіант №2	ПЛ 150 кВ	417,5	5	20,875	5	20,875	41,75
	ВРП - 150 кВ	95	15	14,25	5	4,75	19
	Трансформатори	2200	15	330	5	110	440
	Загалом						500,75

						Арк.

Таблиця 3.3. Обчислення обсягів зведених витрат

Параметр схеми	Відповідно до варіанту, тис.грн.	
	1	2
Загальний обсяг інвестицій	1252,9	2712,5
Загальний обсяг поточних затрат	127,43	500,75
Вартість втрат ЕЕ	28446	23400
Зведені витрати	28724,12	24226,25

Отже, за результатами розрахунків та порівняння виявляється, що II варіант за економічними показниками є пріоритетнішим і, в той же час, дозволяє передбачити можливість зростання потужності, тому перевагу надаємо саме варіанту №2.

3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання збагачувальної фабрики є ключовими аспектами, які впливають на ефективність, надійність та безпеку енергопостачання.

Для виконання системи внутрішнього електропостачання збагачувальної фабрики прийнято $U_H = 10$ кВ.

Для малопотужних споживачів, таких як освітлювальні прилади та інші малопотужні електроприлади, зазвичай використано напругу $U_H = 380/220$ В.

Внутрішня розподільча мережа СЕП збагачувальної фабрики виконана КЛ 10 кВ із застосуванням різних типів схем, зокрема: магістральної, радіальної та/чи змішаної. Вибір схеми обумовлювався характеристиками та місцем дислокації окремих навантажень і, в той же час, категорії надійності та значеннями встановленої потужності.

						Арк.

4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

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

Таблиця 4.1. Вихідні дані для визначення необхідності встановлення КП

Найменування параметру	Значення
Загальне низковольтне навантаження (активне) P_n , κVt	13156,8
Загальне низковольтне навантаження (реактивне) Q_n , κVar	11348,3
Загальний обсяг втрат (активних) в ТП $\Delta P_{ТП}$, κVt	130,9
Загальний обсяг втрат (реактивних) в ТП $\Delta Q_{ТП}$, κVar	951,1
Загальне високовольтне навантаження (активне, без СД) P_v , κVt	2250
Загальне високовольтне навантаження (реактивне, без СД) Q_v , κVar	1394,4
Обраний тип трансформатора	ТМ-1600-10/0,4
Тривалість періоду найбільших втрат τ , $год$	4375,4
Фактичний тариф на електричній енергії C_0 , $грн./\kappa Vt \cdot год$	4,009
Параметри синхронних двигунів	
Значення номінальної потужності СД P_n , κVt	400
Загальна кількість встановлених СД, $шт$	4
Коефіцієнт використання СД, $K_{вик}$	0,7
Коефіцієнт реактивної потужності СД, $tg \phi_{сд}$	0,484
Коефіцієнт α_m	1,21
ККД СД, η	0,85
Значення параметру D_1 СД	0,85
Значення параметру D_2 СД	0,75

Сумарне низковольтне електричне навантаження:

$$P_n = \sum P_{ТП} = 13156,8 \text{ } \kappa Vt, \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 11348,3 \text{ } \kappa Var.$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_T = \sum \Delta P_{ТП} = 130,9 \text{ } \kappa Vt, \quad \Delta Q_T = \sum \Delta Q_{ТП} = 951,1 \text{ } \kappa Var.$$

						Арк.

Значення загального активного та реактивного високовольтного навантаження (без врахування наявності СД 10 кВ):

$$P_{\epsilon} = \sum P_{\epsilon} = 2250 \text{ кВт}, \quad Q_{\epsilon} = \sum Q_{\epsilon} = 1394,4 \text{ кВар}.$$

Значення номінальної реактивної потужності СД, що може бути згенерованою:

$$Q_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{СД} = 400 \cdot 0,484 = 193,6 \text{ кВар}.$$

Визначимо значення активної потужності СД:

$$P_{СД} = N_{СД} \cdot P_{НОМ} \cdot K_{ВИК} = 4 \cdot 400 \cdot 0,7 = 1120 \text{ кВт}.$$

Відповідно значення номінальної реактивної потужності, що генерується:

$$Q_{НОМСД} = n_{сд} \frac{P_{НОМ} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 4 \cdot \frac{400 \cdot 0,484}{0,85} = 911,06 \text{ кВар}.$$

Максимальне значення генерованої реактивної потужності:

$$Q_{НОМСД} = n_{сд} \frac{\alpha_m \cdot P_{НОМ} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 4 \cdot \frac{1,2 \cdot 400 \cdot 0,484}{0,85} = 1102,38 \text{ кВар}.$$

Загальне споживання потужностей:

$$P_P = P_{НОМ} + \Delta P_{ТР} + P_B + P_{СД} = 13156,8 + 130,9 + 2250 + 1120 = 16657,7 \text{ кВт}$$

$$Q_P = Q_{НОМ} + \Delta Q_{ТР} + Q_B - Q_{СД} = 11348,3 + 951,1 + 1394,4 + 1102,38 = 12591,42 \text{ кВар}$$

Значення потужності (реактивної), що може бути надана системою:

						Арк.

$$Q_{EC} = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 16657,7 \cdot 0,15 = 2498,66 \text{ кВар.}$$

Відповідно необхідна для компенсації потужність:

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 12591,42 - 2498,66 = 10092,76 \text{ кВар.}$$

Отримаємо мінімальну кількість трансформаторів, що дозволять технічно реалізувати процес компенсації:

$$N_0 = \frac{P_n}{K_3 P_{ном}} = \frac{13156,8}{0,7 \cdot 1600} \approx 13 \text{ шт.}$$

Для прикладу розглянемо детально варіант №1 з кількістю трансформаторів $N=N_0=13 \text{ шт.}$, аналогічно розрахунки виконуються і для двох інших варіантів: $N=N_0+1=14 \text{ шт.}$, $N=N_0+2=15 \text{ шт.}$:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - P_n^2} = \sqrt{(13 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 13156,8^2} = 2744,49 \text{ кВар.}$$

За умовою балансу визначимо необхідне значення $Q_{кн}$:

$$Q_{кн} = Q_{КП} - Q_e = 11348,3 - 2744,49 = 8603,81 \text{ кВар.}$$

Відповідно загальна потужність високовольтних комп. пристроїв:

$$Q_{кв} = 12591,42 - 8603,81 - 2498,66 = 1488,95 \text{ кВар.}$$

Визначену реактивну потужність розмістимо на стороні низької напруги (табл. 4.2).

						Арк.

Таблиця 4.2. Вибір та місце розміщення пристроїв для компенсації (0,4 кВ)

Номер ТП	n	P_p	Q_p	$Q_{пп}$	$Q_{кп}$	$Q_{кп(СТ)}$	$Q_p - Q_{кп}$	K_3	S_p	K_i , тис грн
1, 2	4	4017	3997	198,018	2013	2140	1857	0,69	4425,21	795.28
3,4,5	5	5472	4306	1188,89	3117	2760	1546	0,71	5886,4	361,21
6,7	3	2704	2217	1994,32	223	150	2067	0,71	3403,89	193,53
8	1	964	828	0	0	0		0,79	1270,7	0

Загальна потужність КП 0,4 кВ:

$$Q_{кН} = 5050 \text{ кВар.}$$

Додатково уточненене значення пропускної потужності:

$$Q_n = Q_n - Q_{кН} = 10520 - 5050 = 5470 \text{ кВар.}$$

Значення КП 10 кВ:

$$Q_B = Q_{кп} - Q_{кН} = 10449 - 5050 = 5399 \text{ кВар.}$$

Обираємо для встановлення - 2хУКЛ-57-10,5-2700 УЗ.

Загальна потужність високовольтних КП набуде значення:

$$Q_{кВ} = 2 \cdot 2700 = 5400 \text{ кВар.}$$

Загальні втрати активної потужності під час передавання реактивної потужності в мережі:

$$\Delta P_{кН} = P_{ПТ}^{кН} \cdot Q_{кН} = 0,0045 \cdot 5050 = 22,725 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{кВ} = P_{ПТ}^{кВ} \cdot Q_{кВ} = 0,003 \cdot 5400 = 16,2 \text{ кВт.}$$

Значення втрат активної потужності під час передавання рективної потужності через трансформатори:

$$\Delta P_{ПТ} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_H^2} R_{екв} \cdot 10^{-3} = \frac{13156,8^2 + 2744,79^2}{10^2} \cdot 0,0349 \cdot 0,001 = 42,73 \text{ кВт},$$

$$\text{де } R_{екв} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{N \cdot S_{НОМ}^2} \cdot 10^3 = \frac{11,6 \cdot 10^2}{13 \cdot 1600^2} \cdot 10^3 = 0,0349 \text{ Ом.}$$

Значення втрат активної потужності в синхронних двигунах набуде значення:

						Арк.

1	2	3	4
Обсяг реактивної потужності, генерованої СД	911	0	0
Обсяг реактивної потужності, споживаної від енергосистеми	2499	2499	2499
Сумарний баланс	12033	12035	12035
Сумарні затрати на компенсацію	1 504,627	1 712,9	1 874,7

Відповідно до табл.4.3 мінімальне значення затрат на компенсацію відповідає першому варіанту з $N = 13$, а отже, й раціональним є вибір власне цього варіанту для подальшого проектування та розрахунків.

У табл. 4.4. наведено місця встановлення, тип та потужність обраних КП для кожної з ТП відповідно.

						Арк.

Таблиця 4.4. Місця розміщення, тип, кількість та потужність обраних КП

Номер ТП	N_{mp}	P_p , кВт	Q_p , кВАр	Q_n , кВАр	$Q_{кп}$, кВАр	Тип КП	$N_{бк}$	$\Sigma Q_{бк}$ кВАр	K_3	S , кВА
1,2	4	4 017	3 997	1984	2031	УКМ 58-0,4-402-67	4	2140	0,691	4425,2
						УКМ 58-0,4-133-33	4			
3, 4, 5	5	5472	4306	1189	3117	УКМ 58-0,4-402-67	5	2760	0,711	5686,4
						УКМ 58-0,4-150-30	5			
6,7	3	2 704	2 217	1994	223	УКМ 58-0,4-50-50	3	150	0,709	3403,9
Всього				5167				5050		

Таблиця 4.5. Визначення ел. навантажень збагачувальної фабрики з врахуванням встановлення КП

№	Групи споживачів	Кіл-ть	Родн.			P_{Σ}	m	K_B	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Середнє ел.нав.		n_E	K_M	Розрахункове ел. нав.		
			min	...	max						P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 1, 2 (4X1600)																	
1	Цех гравітаційного та магнітного збагачення																
	Силове навантаження	45	20	...	300	4700	15	0,7	0,7	1,02	3290	3356	31	1	3290	3356,47	4700
	Освітлювальне навантаження										4,8	2,3			4,9	2,4	5,4
	Всього по цеху ГМЗ										3294,8	3358,8			3294,9	3358,8	4705,1
2	Цех дроблення																
	Силове навантаження	50	10	...	90	1800	9	0,4	0,75	0,88	720	635	40	1,21	873	635	1079
	Освітлювальне навантаження										1,9	3,3			1,8	3,2	3,7
	Всього по дробильному цеху										721,9	638,3			874,5	638,1	1082,6
Всього силова по ТП 1,2		95	10	...	300	6500	30	0,62	0,709	1	4010	3991,452	43	1	4010	3991,45	5657,89
Всього освітлювальна по ТП 1,2											6,7	5,7			6,7	5,5	8,7
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 1,2											4016,7	3997,1			4016,7	3997,0	5666,6
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ																-2140,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															4016,7	1857,0	4425,2
Втрати в тр-рах ТП 1,2 (4x1600), Кз=0,691															35,4	257,7	260,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 1,2															4052,1	2114,7	4570,7

Продовження табл. 4.5.

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 3, 4, 5 (5X1600)																	
1	Цех флотації																
	Силове навантаження	140	5	...	500	6800	10 0	0,7	0,8	0,75	4760	3570	27	1	4760	3570	5950
	Освітлювальне навантаження										5,6	9,7			6,0	10,3	11,9
	Всього по цеху флотації										4765,6	3579,7			4766,0	3580,3	5961,0
2	Цех подрібнення та класифікації																
	Силове навантаження	30	20	...	120	1000	6	0,7	0,7	1,02	700	714,1428	17	1	700	714,143	1000
	Освітлювальне навантаження										6,0	10,4			6,4	11,1	12,8
	Всього по цеху П та К										706,0	724,5			706,4	725,2	1012,4
3	Естакада для складу лиття																
	Силове навантаження	4	10	...	10	40	1	0,6	0,7	1,02	24,0	24,5	4	1,52	36,4	26,9	45,3
	Освітлювальне навантаження										4,9	2,4			5,0	2,4	5,5
	Всього по естакаді										28,9	26,8			41,4	29,3	50,7
Всього силова по ТП 3, 4, 5		170	5	...	500	7800	10 0	0,7	0,787	0,78	5460	4284,143	31	1	5460	4284,14	6940,13
Всього освітлювальна по ТП 3, 4, 5											11,6	20,1			12,3	21,4	24,7
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 3, 4, 5											5471,6	4304,2			5472,3	4305,5	6963,0
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-2760,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															5472,3	1545,5	5686,4
	Втрати в тр-рах ТП 3,4,5(5x1600), Кз=0,711														36,7	298,8	301,1
Всього на шинах 10 кВ по ТП 3,4,5															5509,0	1844,4	5809,5

Продовження табл. 4.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ТП № 6, 7 (3X1600)																
1	Цех згущення та фільтрації															
	Силове навантаження	20	10	...	150	4000	15	0,5	0,7	1,02	2000	2040,408	20	1,25	2492,8	3221,4
	Освітлювальне навантаження										4,8	2,32			5,47	6,08
	Всього по цеху 3 та Ф										2004,8	2042,7			2498,3	3227,3
2	Цех відвантаження готової продукції															
	Силове навантаження	30	5	...	60	600	12	0,6	0,9	0,48	360	174,356	20	1,19	427,44	461,632 65
	Освітлювальне навантаження										4,608	0			4,608	4,608
	Всього по цеху ВГП										364,6	174,4			432,0	465,9
Всього силова по ТП 6, 7		50	5	...	150	4600	30	0,51	0,729	0,94	2360	2214,764	50	1,14	2694,04	3487,55
Всього освітлювальна по ТП 6, 7											9,408	2,324746			10,08	10,4225
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 6, 7											2369,4	2217,1			2704,1	3497,0
Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															-150,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															2704,1	3403,9
Втрати в тр-рах ТП 6,7 (3x1600), Кз=0,709															36,5	269,0
Всього на шинах 10 кВ по ТП 6, 7															2740,6	3599,8
ТП № 8 (1x1600)																
1	Насосна															
	Силове навантаження															
	Освітлювальне навантаження										17,4	0,0			14,8	14,8
	Всього по насосній										17,4	0,0			14,8	14,8

Продовження табл. 4.5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
2	Енергетичний цех																
	Силове навантаження	157	2,5	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,9	809,8	731,806	117	1,1	891,1	731,8	1153,1
	Освітлювальне										43,2	74,8			46,0	79,6	91,9
	Всього по цеху										853,0	806,6			937,1	811,4	1239,6
3	Освітлення території фабрики																
	Всього										17,5	30,3			11,7	17,0	20,6
Всього силова по ТП 8		157	3	...	30	1759	12	0,46	0,74	0,90	810	732	117	1,10	891,1	731,8	1153,1
Всього освітлювальна по ТП 8											78	105			72,5	96,6	120,8
Всього на шинах 0,4 кВ по ТП 8											887,9	836,9			963,6	828,4	1270,7
	Компенсуючі пристрої 0,4 кВ															0,0	
Навантаження з урахуванням КП 0,4 кВ															1770,0	-6,3	1770,0
	Втрати в тр. ТП 8 (1х1600), Кз=0,794														28,8	207,6	209,6
Всього на шинах 10 кВ по ТП 8															992,4	1036,0	1434,6
	Всього по ТП 1-8 на стороні 0,4 кВ														13156,8	11348,3	17374,8
	Всього КП на стороні 0,4 кВ															-5050,0	
	Загальні втрати в тр-рах ТП 1-8														137,3	1030,7	1039,8
	Всього по ТП 1-8 на стороні 10 кВ														13294,1	7329,0	15180,5
1	Цех дроблення б) 10,5 кВ (АД)	2	750	...	750	1 500	1,00	0,75	0,85	0,62	1 125	697			1 125	697	1 324
2	Цех подрібнення та класифікації б) 10,5 кВ (АД)	2	750	...	750	1 500	1,00	0,75	0,85	0,62	1 125	697			1 125	697	1 324
3	Насосна 10,5 (СД)	4	400	...	400	1 600	1,00	0,70	0,80	0,75	1 120	840			1120	-911	1444
	Всього по фабриці														16664,1	7812,4	18404,5
Комп.і пристрої 10 кВ																-5400,0	
	Всього по фабриці з врах КП														16664,1	2412,4	16837,8

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів

Розрахуємо доцільне значення номінальної потужності ТР для встановлення:

$$S_T = \frac{S_{max} K_{1,2}}{K_{ав} (n-1)} = \frac{16657,73 \cdot 0,9}{1,4(2-1)} = 10708,5 \text{ кВА.}$$

Доцільно до встановлення обрати ТР, найближчий за технічними параметрами, наприклад: ТДН-16000/150/10.

Обов'язково є також перевірка значення коефіцієнту його завантаження за роботи у нормальному режимі, як от:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{n \cdot S_{ном}} = \frac{16657,73}{2 \cdot 16000} = 0,52055.$$

Ґрунтуючись на відповідному підході виконано вибір й трансформаторів для встановлення у цехових підстанціях, наприклад, для ТП №1:

$$S_{ТР\ p} = \frac{S_p}{K_3 \cdot (n-1)} = \frac{2212,6}{1,4 \cdot (2-1)} = 1580,4 \text{ кВА.}$$

Отже, доцільно зупинити свій вибір на ТР потужністю 1600 кВА.

Додатково оцінимо коефіцієнт завантаження під час роботи у нормальному режимі експлуатації:

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ТР}} = \frac{2212,6}{2 \cdot 1600} = 0,691.$$

У вигляді табл. 5.1. сформована інформація щодо обраних ТР для всіх підстанцій.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 5.1. Визначення кількості та потужності трансформаторів ТП

№ ТП	n	S_p , кВА	Марка тр-ра	K_3	$S_{ном} > S_p/K1$	$S_{ном} > S_p/K2$
ТП 1	2	2212,6	ТМ-1600-10/0,4	0,691	1024	790
ТП 2	2	2212,6	ТМ-1600-10/0,4	0,691	1024	790
ТП 3	2	2274,56	ТМ-1600-10/0,4	0,711	1053	812
ТП 4	2	2274,56	ТМ-1600-10/0,4	0,711	1053	812
ТП 5	1	1137,28	ТМ-1600-10/0,4	0,711	1053	812
ТП 6	2	2269,26	ТМ-1600-10/0,4	0,709	1051	810
ТП 7	1	1134,63	ТМ-1600-10/0,4	0,709	1051	810
ТП 8	1	1270,7	ТМ-1600-10/0,4	0,794	1176,6	908

5.2. Компонування та місце розташування трансформаторних підстанцій

Фактично, для остаточного розміщення обрано ТП типу КТП - 10/0,4 кВ з трансформаторами ТМ-1600-10/0,4. У вигляді таблиці 5.2. сформовано кінцеві результати розрахунків та зазначене остаточне місце встановлення КТП у приміщеннях структурних підрозділів збагачувальної фабрики.

Таблиця 5.2. Фактичне комплектування та місця встановлення тр-них п/ст

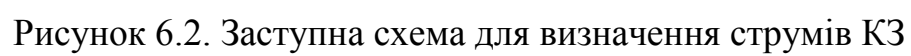
№ ТП	n	S_p , кВА	Марка тр-ра	K_3	Місце встановлення	Тип КТП
1	2	3	4	5	6	7
ТП 1	2	2212,6	ТМ-1600-10/0,4	0,691	Цех гравітаційного та магнітного збагачення	Вбудована
ТП 2	2	2212,6	ТМ-1600-10/0,4	0,691	Цех гравітаційного та магнітного збагачення	Вбудована

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 5.2.

1	2	3	4	5	6	7
ТП 3	2	2274,56	ТМ-1600-10/0,4	0,711	Цех флотації	Вбудована
ТП 4	2	2274,56	ТМ-1600-10/0,4	0,711	Цех флотації	Вбудована
ТП 5	1	1137,28	ТМ-1600-10/0,4	0,711	Цех флотації	Вбудована
ТП 6	2	2269,26	ТМ-1600-10/0,4	0,709	Цех згущення та фільтрації	Вбудована
ТП 7	1	1134,63	ТМ-1600-10/0,4	0,709	Цех згущення та фільтрації	Вбудована
ТП 8	1	1270,7	ТМ-1600-10/0,4	0,794	Енергетичний цех	Вбудована

						Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



						Арк.
3м.	Арк.					

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 150} = 1,56 \text{ кА};$$

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

У той же час, опір системи матиме значення:

$$x_c = 0.$$

Визначимо опір повітряної лінії 150 кВ АС-120/19 ($r_0 = 0,249$, $x_0 = 0,441$):

$$X_{\text{л}} = x_0 l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{сп}}^2} = 0,441 \cdot 5 \cdot \frac{100}{150^2} = 0,3766 \text{ в.о.},$$

$$R_{\text{л}} = r_0 l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{сп}}^2} = 0,441 \cdot 5 \cdot \frac{100}{150^2} = 0,1837 \text{ в.о.}$$

Розрахуємо опір тр-ра ТДН-16000/150/10:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к\%}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{н}}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,625 \text{ в.о.}$$

Відповідно загальний опір до т. К1 набуде значення:

$$x_{\text{к1}} = x_c + x_{\text{пл}} = 0 + 0,3766 = 0,3766 \text{ в.о.},$$

$$r_{\text{к1}} = r_{\text{пл}} = 0,1837 \text{ в.о.},$$

$$z_{\text{к1}} = \sqrt{x_{\text{к1}}^2 + r_{\text{к1}}^2} = \sqrt{0,3766^2 + 0,1837^2} = 0,419 \text{ в.о.}$$

Відповідно до т. К2 набуде значення:

$$x_{\text{к2}} = x_{\text{к1}} + x_{\text{тр}} = 0,3766 + 0,625 = 1,0016 \text{ в.о.},$$

$$r_{\text{к2}} = r_{\text{к1}} + r_{\text{тр}} = 0,1837 + 0,0329 = 0,2166 \text{ в.о.},$$

$$z_{\text{к2}} = \sqrt{x_{\text{к2}}^2 + r_{\text{к2}}^2} = \sqrt{1,0016^2 + 0,2166^2} = 1,0248 \text{ в.о.}$$

Відповідно значення надперехідних струмів для К1 та К2 без наявних АД набуде значень:

$$I_{\text{к1}}'' = \frac{I_{\delta 1}}{z_{\text{к1}}} = \frac{1,56}{0,419} = 3,723 \text{ кА};$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

$$I_{\kappa 2}'' = \frac{I_{\sigma 2}}{Z_{\kappa 2}} = \frac{5,499}{1,0248} = 5,366 \text{ кА.}$$

У той же час період затухання аперіодичної складової та відповідні ударні коефіцієнти становитимуть:

$$T_{a1} = \frac{x_{\kappa 1}}{\omega \cdot r_{\kappa 1}} = \frac{0,3766}{314 \cdot 0,1837} = 0,0065, K_{y\sigma 1} = 1,21;$$

$$T_{a2} = \frac{x_{\kappa 2}}{\omega \cdot r_{\kappa 2}} = \frac{1,0016}{314 \cdot 0,2166} = 0,0015, K_{y\sigma 2} = 1,51.$$

Розрахункові значення ударних струмів для К1-К2 без АД становитиме:

$$i_{y\sigma 1} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}'' \cdot K_{y\sigma 1} = \sqrt{2} \cdot 1,917 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,0065}}) = 6,37 \text{ кА};$$

$$i_{y\sigma 2} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 2}'' \cdot K_{y\sigma 2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,015}}) = 11,459 \text{ кА.}$$

Додатково обчислимо значення періодичних складових струмів К3 з врахуванням додаткової генерації АД становитимуть:

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{750}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,963 \cdot 0,9} = 83,27 \text{ А.}$$

Відповідне значення складової струму К3 від АД набуде значення:

$$I_{АД}'' = n \cdot K_n \cdot I_{ном} = 2 \cdot 6 \cdot 0,08327 = 0,99924 \text{ кА.}$$

А значення ударного струму від АД та повного струму в т. К2 становитимуть:

$$i_{y\sigma АД} = \sqrt{2} \cdot I_{АД}'' \cdot K_{y\sigma 2} = \sqrt{2} \cdot 0,99924 \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{0,015}}) = 2,134 \text{ кА.}$$

$$I_{\Sigma \kappa 2}'' = I_{\kappa 2}'' + I_{АД}'' = 5,366 + 0,99924 = 6,36524 \text{ кА};$$

$$i_{y\sigma \Sigma \kappa 2}'' = i_{y\sigma \kappa 2}'' + i_{y\sigma АД}'' = 11,459 + 2,134 = 13,593 \text{ кА.}$$

Визначення струмів К3 на стороні 10 кВ вимагає наявності даних щодо КЛ, розміщених на ділянках від ГЗП до ТП. У табл. 6.1 наведено результати

									Арк.
Зм.	Арк.								

попереднього вибору перерізу КЛ, деталізований розрахунок виконаємо для ТП 1, 2, вочевидь, для інших ТП виконується аналогічно.

Вихідне значення розрахункової потужності становить:

$$S_p = 4570,68 \text{ кВА}$$

Відповідне значення розрахункового струму становитиме:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{4570,68}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 62,83 \text{ А.}$$

Значення струм під час аварійного режиму становитиме:

$$I_{\partial.а\partial} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 62,83 = 125,66 \text{ А.}$$

Відповідно переріз за умови врахування економічної щільності струму доцільно обрати більший, або рівний за отриманий:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{62,83}{1,1} = 57,12 \text{ мм}^2.$$

Для проектування СЕП використаємо 4хААШВ – 10 (3 х 70).

$$I_{доп} = 165 \text{ А} > I_{р.ав} = 125,66 \text{ А.}$$

Технічні параметри КЛ1 наступні:

$$r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}, \quad x_0 = 0,086 \text{ Ом/км}, \quad l = 0,163 \text{ км}$$

Розраховуємо активний та індуктивний опори КЛ 1 відповідно:

$$R_{кл} = l \cdot r_0 = 0,163 \cdot 0,443 = 0,0722 \text{ Ом};$$

$$X_{кл} = l \cdot x_0 = 0,163 \cdot 0,086 = 0,01401 \text{ Ом.}$$

За цим же принципом обрані усі кабельні лінії та визначені їх параметри, у вигляді табл. 6.1-6.2 подані кінцеві результати розрахунків.

Таблиця 6.1. Результати (попередні) вибору КЛ № 1-21

№ каб. лінії	$S_p, \text{кВА}$	n	$I_p, \text{А}$	$I_{p.ав}, \text{А}$	$F_{ек}, \text{мм}^2$	Обрана каб. лінія
1	2	3	4	5	6	7
1, 2, 3, 4	4570,68	4	62,83	125,7	57,12	ААШВ-4 х (3 х 70)
5, 6, 7, 8, 9	5809,54	5	63,89	127,8	58,08	ААШВ-5 х (3 х 70)
10, 11, 12	3599,79	3	65,98	132	59,98	ААШВ-3 х (3 х 70)

						Арк.
Зм.	Арк.					

1	2	3	4	5	6	7
13,14, 15, 16	2647,06	4	36,39	72,78	33,08	ААШВ-4 х (3 х 35)
17, 18, 19, 20	1400,00	4	19,25	38,49	17,5	ААШВ-4 х (3 х 25)
21	1434,59	1	78,88	78,88	71,71	ААШВ-1 х (3 х 95)

Розрахунок струмів КЗ виконано секції шин, яка є найнавантаженішою.

Таблиця 6.2. Результати обчислень струмів КЗ для т.1-12 відповідно

N_0 $m.$ $K3$	X_{CYM}	R_{CYM}	Z_{CYM}	Ta, c	$K_{y\mathcal{D}}$	$I'', \kappa \mathcal{A}$	$I_{y\mathcal{D}}, \kappa \mathcal{A}$	$I'', \kappa \mathcal{A}$	$I_{y\mathcal{D}}, \kappa \mathcal{A}$
						<i>без АД</i>		<i>з АД</i>	
1	0,3766	0,1836	0,4190	0,0065	1,2164	3,7234	6,4050		
2	1,0016	0,2165	1,0247	0,0147	1,5073	5,3663	11,4387	6,3655	13,5687
3	1,0097	0,3177	1,0585	0,0101	1,3723	5,1951	10,0822	6,1944	12,2122
4	1,0086	0,3042	1,0535	0,0106	1,3879	5,2198	10,2450	6,2190	12,3750
5	1,0184	0,3739	1,0849	0,0087	1,3157	5,0688	9,4316	6,0680	11,5616
6	1,0229	0,4159	1,1042	0,0078	1,2790	4,9801	9,0076	5,9793	11,1376
7	1,0100	0,2956	1,0524	0,0109	1,3989	5,2251	10,3373	6,2244	12,4672
8	1,0269	0,4538	1,1227	0,0072	1,2497	4,8978	8,6558	5,8971	10,7858
9	1,0261	0,4458	1,1187	0,0073	1,2556	4,9155	8,7283	5,9147	10,8583
10	1,0108	0,3029	1,0552	0,0106	1,3903	5,2112	10,2462	6,2105	12,3762
11	1,0099	0,2344	1,0367	0,0137	1,4824	5,3042	11,1198	6,3034	13,2498
12	1,0148	0,2598	1,0475	0,0124	1,4476	5,2496	10,7473	6,2488	12,8773

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вихідне значення потужності, струму та вибір поперечного перетину КЛ для ТП1,2:

$$S_n = 4570,68 \text{ } \kappa BA$$

- під час роботи у нормальному режимі становитиме:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{4570,68}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 62,83 \text{ A.}$$

- під час роботи у нормальному режимі становитиме:

$$I_{p,ag} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 62,83 = 125,66 \text{ A.}$$

Грунтуючись на економічній щільності струмів значення поперечного перетину становитиме:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{62,83}{1,1} = 57,12 \text{ мм}^2.$$

Значення термічного імпульсу B_k набуде значення:

$$B_k = I_{K3}^2 (t_{відкл} + T_a) = 3,7234^2 (0,2 + 0,0065) = 2,8633 \text{ кА}^2\text{с}$$

А $F_{тер}$, відповідно, становитиме:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{2,8633 \cdot 10^6}}{94} = 18,0014 \text{ мм}^2$$

Обираємо для КЛ №1,2: 4хААШВ – 10 (3 х 70). $I_{дон} = 165 \text{ А} > I_{p.ав} = 125,66 \text{ А}$.

Виконуємо перевірку КЛ для нормального та аварійного режимів:

$$I_p = 62,83 \text{ А} < K_n I_{дон} = 132 \text{ А}.$$

$$I_{p.ав} = 125,66 \text{ А} < K_{ан} K'_n I_{дон} = 182,33 \text{ А}.$$

У табл.6.4 наведено результати вибору для КЛ № 1-21 відповідно до методики, поданої вище.

Таблиця 6.3 Результати вибору КЛ № 1-21

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{p.ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка КЛ
КЛ 1, 2, 3, 4	4570,68	4	62,83	125,7	57,119	ААШВ-4 х (3 х 70)
КЛ 5, 6, 7, 8, 9	5809,54	5	63,89	127,8	58,08	ААШВ-5 х (3 х 70)
КЛ 10, 11, 12	3599,79	3	65,98	132	59,981	ААШВ-3 х (3 х 70)
КЛ 13,14, 15, 16	2647,06	4	36,39	72,78	33,08	ААШВ-4 х (3 х 35)
КЛ 17, 18, 19, 20	1400,00	4	19,25	38,49	17,495	ААШВ-4 х (3 х 25)
КЛ 21	1434,59	4	171,8	231,4	122,7	ААШВ-4 х (3 х 150)

6.3. Вибір електрообладнання

У вигляді табл.6.4 – 6.14. наведено результати вибору електричного обладнання.

						Арк.
Зм.	Арк.					

1	2
$I_{n\tau} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{\Delta\tau} \leq \sqrt{2} I_{\text{м.д.в.в.}} \beta_i$	$6,37 \text{ кА} \leq 31,50 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot 6,37 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,0149}} \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 0,35$ $0,15529 \leq 9,899$
$B_{\kappa} \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$44,014 \text{ кА} < 1200 \text{ кА}$

Пропонуємо для встановлення ВР1-10-20/1250 У2:

$$U_{ном} = 11,0 \text{ кВ} \quad I_{TH} = 20,0 \text{ кА} \quad I_{дин.ст} = 52,0 \text{ кА}$$

$$U_{\text{мах.роб}} = 12,0 \text{ кВ} \quad I_{ном} = 1250,0 \text{ А} \quad I_{відкл} = 20,0 \text{ кА}$$

$$t_{\text{відкл.вл}} = 0,050 \text{ с} \quad t_{\text{відкл.заг}} = 0,070 \text{ с} \quad t_{TH} = 3,0 \text{ с}$$

$$\beta_n = 0,350.$$

Таблиця 6.7. Допоміжні розрахунки до вибору секційного вимикача (10.5кВ)

Умова для вибору обладнання	Результат розрахунку параметрів вимикачів
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,50 \text{ кВ} \leq 11,00 \text{ кВ}$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$587,850 \text{ А} \leq 630,0 \text{ А}$
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8 \sqrt{2} I_{дин.ст}$	$6,370 \text{ кА} \leq 32,00 \text{ кА}$ $13,56870 \text{ кА} \leq 81,460 \text{ кА}$
$I_{n\tau} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{\Delta\tau} \leq \sqrt{2} I_{\text{м.д.в.в.}} \beta_i$	$6,370 \text{ кА} \leq 12,50 \text{ кА}$ $\sqrt{2} \cdot 6,37 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,0149}} \leq \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 0,30$ $0,15529 \leq 5,30$
$B_{\kappa} \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$44,0140 \text{ кА} < 468,750 \text{ кА}$

Пропонуємо для встановлення ВР0-10-12,5/630 ТЗ з параметрами:

$$U_{HQM} = 11,00 \text{ KB}$$

$$I_{TH} = 12,50 \text{ kA}$$

$$t_{TH} = 3,0 \text{ c}$$

$$U_{\text{max.rob}} = 12,00 \text{ KB}$$

$$I_{\text{дин.ст}} = 32,00 \text{ кА}$$

$$\beta_H = 0,30$$

$$I_{HOM} = 630,00 \text{ A}$$

$$t_{\text{в}i\partial\kappa\tau\text{ в}i} = 0.040 \text{ c}$$

$$I_{gi\partial\kappa\tau} = 12,50 \text{ кА}$$

$$t_{gi\partial k\ell,3a2} = 0.060 \text{ c}$$

Таблиця 6.8. Допоміжні розрахунки до вибору вимикачів на відгалуженнях

Умова для вибору обладнання	Результат розрахунку параметрів вимикачів
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,50 \text{ кВ} \leq 11,00 \text{ кВ}$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$117,560 \text{ А} \leq 630,0 \text{ А}$
$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1.8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$6,370 \text{ кА} \leq 32,00 \text{ кА}$ $13,56870 \text{ кА} \leq 81,460 \text{ кА}$
$I_{п\tau} \leq I_{ном.відкл}$ $i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}\beta_n$	$6,370 \text{ кА} \leq 12,50 \text{ кА}$ $0,26683 \leq 5,30$
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$13,1876 \text{ кА} < 468,750 \text{ кА}$

Пропонуємо для встановлення ВР0-10-12,5/630 ТЗ.

$$U_{HOM} = 11,00 \text{ kB}$$

$$I_{TH} = 12,50 \text{ кА}$$

$$t_{TH} = 3,0 \text{ c}$$

$$U_{\text{max. поб}} = 12,00 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{дин.ст}} = 32,00 \text{ кА}$$

$$\beta_H = 0,30$$

$$I_{HOM} = 630,00 \text{ A}$$

$$t_{\text{входкл вл}} = 0.040 \text{ с}$$

$$I_{\text{grid}} = 12,50 \text{ кА}$$

$$t_{\text{grid} \rightarrow \text{grid}} = 0.060 \text{ c}$$

Таблиця 6.9. Допоміжні розрахунки до вибору роз'єднувача (150 кВ)

Умова для вибору обладнання	Результат розрахунку параметрів обладнання
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$150,00 \leq 150,00$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$81,85 \leq 1000,00$
$i_y \leq I_{дин.ст}$	$6,405 \leq 21,00$
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$15,035 \leq 2500,00$

Обираємо РНДЗ-16(2)-150/1000 У1 у якості роз'єднувача з номінальними параметрами: $U_{ном} = 150,0 \text{ кВ}$, $I_{ном} = 1000,00 \text{ А}$, $t_{TH} = 3,0 \text{ с}$, $I_{TH} = 25,0 \text{ кА}$, $I_{дин.ст} = 31 \text{ кА}$. На напругу 150 кВ обираємо розрядник РВМГ-150, а на напругу 10кВ обмежувачі перенапруг ОПНн-10/11.5/10/2 УХЛ1.

Для зовнішнішнього КРП пропонуємо встановити ізолятори ИОС-10-500УХЛ,Т1.

Додатково необхідно перевірити умову:

- значення допустимого механічного навантаження на ізолятор:

$$F_p = 1,62 \cdot k_\phi \cdot i_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,620 \cdot 1,0 \cdot 13569,0^2 \cdot \frac{2,0}{0,80} \cdot 10,0^{-7} = 74,540 \text{ Н.}$$

Тобто:

$$F_p \leq 0,60 \cdot F_{руй}, \quad 74,540 < 0,60 \cdot 5000,0, \quad 74,540 < 3000,00.$$

Визначимо навантаження ТВП, що становитиме:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{57,32^2 + 7,44^2} = 57,80 \text{ кВА.}$$

Розрахуємо відповідне значення потужності ТВП, що становитиме:

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,70 \cdot 57,80 = 40,460 \text{ кВА.}$$

Обираємо для власних потреб 2 х ТМ-25/10, номінальні параметри котрого:

$$S_{ном} = 25,00 \text{ кВА}, \quad U_{ВН} = 10,00 \text{ кВ}, \quad U_{НН} = 0,400 \text{ кВ.}$$

Перевіряємо коефіцієнт завантаження ТВП, що відповідатиме розрахунковій потужності:

									Арк.
Зм.	Арк.								

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{uom}} = \frac{40,46}{2 \cdot 25} = 0,8091.$$

Таблиця 6.10. Допоміжні розрахунки для вибору ТР власних потреб

№ з/п	Перелік споживачів	n	$P_{ном},$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВар
1	Електричні двигуни для охолодження трансформаторів 16МВА	2,0	6,0	0,85	0,62	14,12	7,44
2	Обладнання для підігрівання: комірок розподільчих пристроїв	32,0	0,6	1,00	0,00	19,20	0,00
	шаф апаратури релейної	32,0	0,5	1,00	0,00	16,00	0,00
3	Освітлення та опалення для приміщення персоналу, що обслуговує п/ст	1,0	6,0	1,00	0,00	6,00	0,00
4	Система зовнішнього освітлення	1,0	5,0	1,00	0,00	5,00	0,00
5	Додаткове електроспоживання оперативними колами	1,0	3,0	1,00	0,00	3,00	00,00
	Всього					57,32	7,44

Таблиця 6.11. Допоміжні розрахунки ТС на КЛ 10 кВ (для введів 10 кВ)

Умова для вибору обладнання	Результат розрахунку параметрів обладнання
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$10,00 \leq 10,00$
$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$78,880 \leq 100,000$
$i_y \leq I_{дин.ст}$	$13,57 \leq 74,500$
$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$13,19 \leq 19,799$
$Z_2 \leq Z_{ном}$	$0.38071 \leq 0.40$

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{провст}} + R_{\text{конт}} = 0.160 + 0.2330 + 0.10 = 0.50 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.12. Додаткові розрахунки для розрахунку вторинного навантаження ТС

Перелік під'єднаних приладів	Тип приладу	Навантаження фаз А/ В/ С
Лічильник ак. ел.ен.	САЗУ-5007	1,5/ - /1,5
Лічильник реак. ел.ен.	СР4У-5008	1,5/ - /1,5
Варметр	Д-304	0,5/ - /0,5
Ватметр	Д-335	0,5/ - /0,5
Амперметр	Е 377	0,1/ - /0,1
Загалом		4,1/ - /4,1

$$Z_{\text{прил}} = \frac{I_{\text{прил}}}{I_{\text{ном}}^2} = \frac{4.1}{5^2} = 0.16$$

Пропонуємо для розміщення ТС типу ТПЛ-10, параметри котрого:

$$U_{\text{ном}} = 10,00 \text{ кВ}; \quad I_{\text{ном}} = 1500,00 \text{ А}; \quad \text{клас точності: } 0.500; \quad I_{\text{динст}} = 128,00 \text{ кА}, \\ Z_{2\text{ном}} = 0.800 \text{ Ом}, \quad I_{\text{терм.ст}} = 400,0 \text{ кА}, \quad t_{\text{ТН}} = 3,00 \text{ с.}$$

Додатково виконуємо перевірку на виконання умови, зокрема:

$$Z_{\text{прил}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{конт}} \leq Z_{2\text{ном}}$$

$$R_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - Z_{\text{прил}} - R_{\text{к}} = 0.4 - 0.16 - 0.1 = 0.14 \text{ Ом}$$

$$F = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{R_{\text{пров}}} = \frac{0.0175 \cdot 10}{0.136} = 1.29 \text{ мм}^2$$

Обираємо для використання КЛ типу АКРВГ-1,5, з відповідним значенням розрахункового опору:

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{F_{\text{пр.ст}}} = \frac{0.0175 \cdot 10}{1.5} = 0.1167 \text{ Ом.}$$

Розрахунково визначаємо навантаження ТС, що відповідає:

$$Z_2 = Z_{\text{прил}} + R_{\text{провст}} + R_{\text{конт}} = 0.16 + 0.1167 + 0.1 = 0.3807 \text{ Ом.}$$

								Арк.
Зм.	Арк.							

Таблиця 6.13. Додаткові розрахунки до визначення навантаження трансформатора напруги

Прилад обліку	$S, \text{ВА}$	T_{un}	$K\text{-ть обм.}$	$K\text{-ть прил.}$	$S_{\Sigma}, \text{ВА}$
Ліч. АЕ	3,00	СА3У-5007	2,00	12,00	72,00
Ліч. РЕ	3,00	СР4У-5008	2,00	12,00	72,00
Ватметр	1,50	Д-335	1,00	1,00	1,50
Варметр	2,00	Д-304	1,00	1,00	2,00
Ліч-ник	1,80	A1R-3-OL	2,00	1,0	3,60
Вол-метр	2,00	Е-377	1,00	3,00	6,00
Всього					157,1000

Обираємо трансформатор напруги НАМИ-10-66У3 з наступними номінальними параметрами: $U_{\text{перв}} = 10,0 \text{кВ}$, $U_{\text{втор}} = 100,0 \text{В}$, $S_{\text{ном}0,5} = 200,0 \text{ВА}$.

7. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТА

Якість електричної енергії є одним із найважливіших параметрів, що визначають ефективність та надійність функціонування системи електропостачання. В умовах сучасного розвитку технологій, підвищення вимог до енергетичної безпеки та екологічної сталості, забезпечення високої якості електроенергії стає ключовим завданням для енергетичних компаній та інженерів.

Система електропостачання складається з багатьох компонентів, таких як генератори, трансформатори, лінії електропередач, розподільчі мережі та споживачі. Кожен із цих елементів може впливати на якість електричної енергії, що передається від виробника до кінцевого споживача. Під якістю електроенергії розуміється сукупність характеристик, які визначають її придатність для живлення електрообладнання без негативного впливу на його функціонування та тривалість експлуатації. До основних параметрів якості електричної енергії належать напруга, частота, форма сигналу, симетричність фаз та наявність гармонійних спотворень.

Погана якість електричної енергії може призвести до численних проблем, таких як передчасний знос обладнання, зниження ефективності виробничих процесів, збільшення енергоспоживання та фінансові втрати. Тому важливим завданням є впровадження та підтримка стандартів якості електроенергії, а також розробка і застосування сучасних методів контролю та покращення цих показників.

У цьому розділі розглядаються основні аспекти якості електричної енергії в системі електропостачання. Вивчаються причини та наслідки погіршення якості, методи вимірювання та аналізу параметрів якості, а також технічні рішення, що сприяють її покращенню. Окрема увага приділяється міжнародним і національним стандартам та нормативам, які регулюють вимоги до якості електроенергії.

						Арк.
Зм.	Арк.					

Отже, приймаємо номер найближчої стандартної відпайки $n = -4$, напруга якої становитиме:

$$U_{\text{eioz}} = U_{1H} \left(1 + \frac{n \cdot E_0}{100} \right) = 158 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 1,5}{100} \right) = 162,74 \text{ } \kappa B.$$

Для обраної відпайки напруга на вторинній обмотці трансформатора за максимального значення навантаження становитиме:

$$U_3 = \left(1 - \frac{\Delta U'_m}{100}\right) \cdot \frac{U_2 U_{2H}}{U_{\text{сид}}} = \left(1 - \frac{1,36}{100}\right) \cdot \frac{157,34 \cdot 11}{162,74} = 10,49 \text{ кВ.}$$

Значення додатку напруги від трансформатора набуде значення:

$$\delta U_m = \left(\frac{U_{2H} U_{H1M}}{U_{\text{mid}2} U_{H2M}} - 1 \right) \cdot 100 \% = \left(\frac{11 \cdot 150}{162,74 \cdot 10} - 1 \right) \cdot 100 \% = 1,389 \ \%.$$

А, відповідно, відхилення напруги в т. 3 набуде значення:

$$V_3 = V_2 - \Delta U'_m + \delta U_m = 4,89 + 1,389 - 1,36 = 4,919 \text{ \%}.$$

Значення втрат напруги в КЛ-13 становитиме:

$$\Delta U_{\kappa T 4} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot l_{\kappa T}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{(0,326 + 0,083 \cdot 0,072) \cdot 1703 \cdot 0,008}{10 \cdot 10,492^2} = 0,075 \text{ \%}.$$

Значення відхилення напруги в т. 4 буде рівне:

$$V_4 = V_3 - \Delta U_{VT} = 4,919 - 0,075 = 4,844 \text{ \%}.$$

Значення напруги в т. 4 (шини ВН ТП №8) становитиме:

						Арк.
3м.	Арк.					

$$U_4 = \left(1 + \frac{V_4}{100}\right) U_{ном} = \left(1 + \frac{4,844}{100}\right) \cdot 10 = 10,484 \text{ кВ.}$$

Значення втрати напруги в трансформаторі ТП №8 буде сягати:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= K_3 \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{K_3^2}{200} (U_a \sin \varphi - U_p \cos \varphi)^2 = \\ &= 0,63(1,13 \cdot 0,812 + 5,383 \cdot 0,584) + \frac{0,63^2}{200} (1,13 \cdot 0,584 - 5,383 \cdot 0,812)^2 = 2,586 \%. \end{aligned}$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{шт}} \cdot 100 = \frac{18}{1600} \cdot 100 = 1,13 \%,$$

$$U_p = \sqrt{U_\kappa^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,13^2} = 5,383 \%.$$

Визначимо, на якому відгалуженні доцільно працювати трансформатору. Відповідно до нормативних документів максимально допустиме відхилення напруги на затискачах споживачів становитиме - $V_{дон}^+ = +5 \%$. Розрахуємо додаток напруги за умови, що $V_5 = V_{дон}^+ = +5 \%$:

$$\delta U_m = V_5 - V_4 + \Delta U_m = 5 - 4,844 + 2,586 = 2,742 \%.$$

Отже, доцільно обрати найближчий стандартний додаток трансформатора 2,5 %. За роботи на даному відгалуженні відхилення напруги на вторинній обмотці трансформатора набуде значення:

$$V_5 = V_4 - \Delta U_m + \delta U_m = 4,844 + 2,5 - 2,586 = 4,758 \%$$

Значення напруги в т. 5 (шини НН ТП №8) становитиме:

$$U_5 = \left(1 + \frac{V_5}{100}\right) U_{ном} = \left(1 + \frac{4,758}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,398 \text{ кВ.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.								

Обчислимо значення відхилення напруги в цеховій мережі промислового об'єкта.

Значення втрати напруги в КЛ 3 цеху промислового об'єкта:

$$\Delta U_{\text{кл}1} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot l_{\text{кл}1}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{(0,0022 + 0,0006 \cdot 1,2) \cdot 65,92 \cdot 15}{10 \cdot 0,398^2} = 1,34 \text{ \%}.$$

Значення відхилення напруги в т. 6 набуде значення:

$$V_6 = V_5 - \Delta U_{\text{кл}1} = 4,758 - 1,34 = 3,42 \text{ \%}.$$

Значення напруги в т. 6:

$$U_6 = \left(1 + \frac{V_6}{100}\right) U_{\text{ном}} = \left(1 + \frac{3,42}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,393 \text{ кВ}.$$

Визначимо відхилення напруги у найвіддаленішого споживача цеху.

Значення втрати напруги в КЛ 2 становитиме:

$$\Delta U_{\text{кл}7} = \frac{(r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \cdot P \cdot l_{\text{кл}}}{10 \cdot U_6^2} = \frac{(0,0055 + 0,0009 \cdot 1,169) \cdot 20 \cdot 1,5}{10 \cdot 0,393^2} = 1,02 \text{ \%}.$$

Значення відхилення напруги в т. 7 становитиме:

$$V_7 = V_6 - \Delta U_{\text{кл}7} = 3,42 - 1,02 = 2,4 \text{ \%}.$$

Значення напруги в т. 7:

$$U_7 = \left(1 + \frac{V_7}{100}\right) U_{\text{н}} = \left(1 + \frac{2,4}{100}\right) \cdot 0,38 = 0,389 \text{ кВ}.$$

Отже, ми переконались, що напруга на шинах найближчого споживача цеху знаходиться в допустимих межах:

									Арк.
Зм.	Арк.								

1	2	3
ТП8	4,760	2,470
АД 10кВ	4,910	2,950
СД 10кВ	4,880	2,930

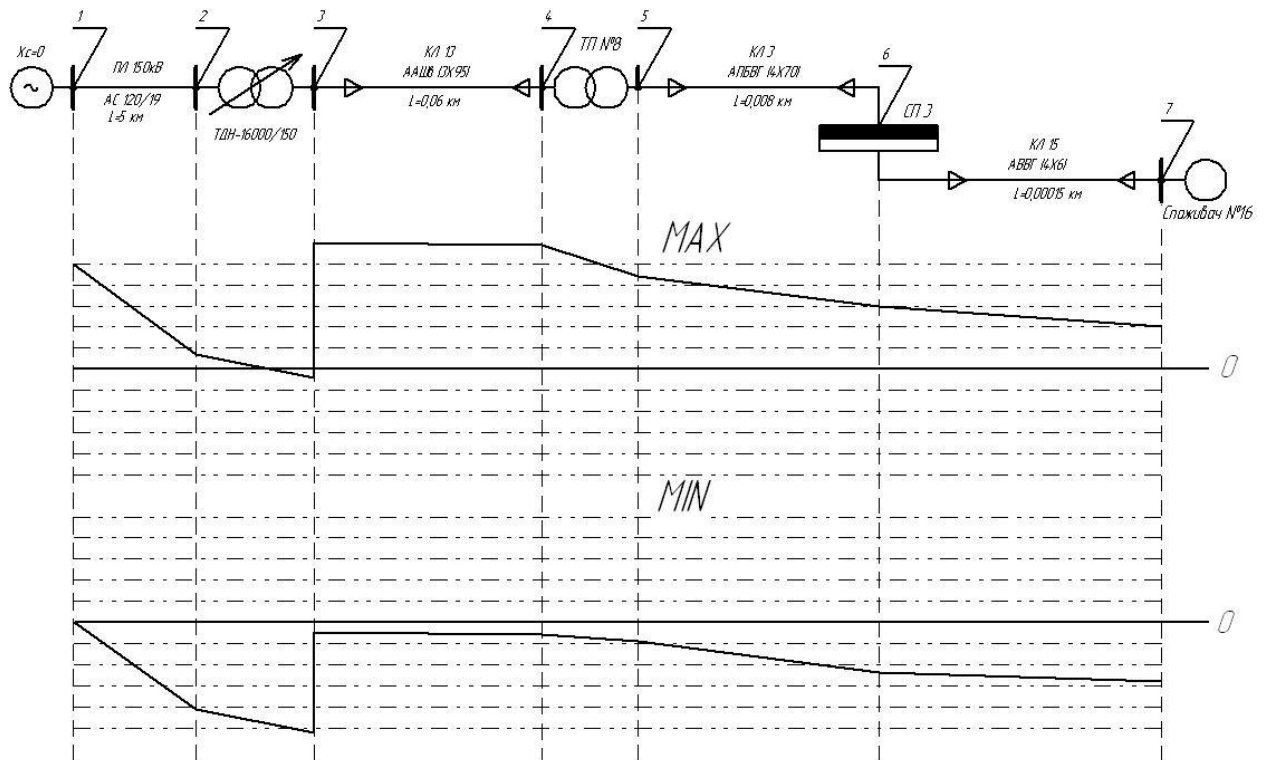


Рисунок 7.2. Епюра відхилень напруг для обох режимів

Висновки з дослідження якості електричної енергії в системі електропостачання промислового об'єкта показують, що стабільність та якість електропостачання є критично важливими для безперебійної роботи обладнання та ефективності виробничих процесів. Виявлені відхилення від стандартів якості електроенергії можуть призводити до збоїв у роботі техніки та зниження загальної продуктивності. Для забезпечення надійної роботи промислового об'єкта рекомендовано впровадження систем моніторингу та корекції параметрів електропостачання. Основні підходи до покращення якості електричної енергії в мережі наведені у Дод. А.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі спроектовано систему електропостачання для збагачувальної фабрики металургійного комбінату, яка відповідатиме сучасним вимогам до енергоефективності та надійності, та отримано наступні висновки:

1. У результаті дослідження було розроблено та обґрунтовано технічні рішення щодо системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату. Було проведено аналіз існуючих систем електропостачання, визначено їхні переваги та недоліки.

2. Вибір обладнання: Виконано детальний аналіз та вибір основного і допоміжного електротехнічного обладнання, зокрема трансформаторів, розподільчих пристроїв, кабельних ліній та засобів захисту. Обрані рішення забезпечують оптимальне співвідношення надійності, ефективності та економічності.

3. Енергозбереження та ефективність: Особливу увагу приділено заходам з енергозбереження та підвищення енергоефективності системи електропостачання. Запропоновані заходи дозволяють знизити втрати електроенергії, що сприяє зменшенню витрат на електропостачання та підвищенню загальної ефективності виробництва.

4. Екологічні аспекти: Розроблена система електропостачання враховує екологічні вимоги та сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Використання сучасних енергозберігаючих технологій та обладнання сприяє зниженню викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин.

5. Надійність та безпека: Запропоновані рішення забезпечують високу надійність та безпеку роботи системи електропостачання. Проведено розрахунки надійності, які підтвердили відповідність системи сучасним стандартам та вимогам.

6. Економічна доцільність: Виконані економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження розробленої системи

						Арк.
Зм.	Арк.					

електропостачання. Зроблено висновок про окупність інвестицій у модернізацію системи за рахунок зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності виробництва.

7. Перспективи впровадження: Обґрунтовано перспективи впровадження розробленої системи електропостачання на збагачувальній фабриці металургійного комбінату. Рекомендовано провести додаткові дослідження та випробування для подальшої оптимізації та адаптації системи до конкретних умов експлуатації.

Таким чином, проведена робота демонструє доцільність та ефективність запропонованих технічних рішень, підтверджує їхню економічну та екологічну вигоду, а також сприяє підвищенню загальної надійності та безпеки системи електропостачання збагачувальної фабрики металургійного комбінату.

						Арк.
Зм.	Арк.					

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Моделювання та оптимізація режимів систем енергопостачання та електроспоживання: навч. посібник / В. Г. Ягуп, К. В. Ягуп ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 183 с.
2. Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств: ДСТУ-Н Б В.2.5-80-2015. – [Чинний від 2015–10–28]. – К.: Мінрегіон, 2016. – 83 с. – (Національний стандарт України).
3. Основи електротехніки та електропостачання. Денисюк С.П., Радиш І.П., Кабацій В.М., Дерев'янка Д.Г.: Навч. пос. – К.: Кондор-Видавництво, 2012. – 216 с.
4. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П. Г., Зінзура В. В., Гарасьова Н. Ю., Котиш А. І., Величко Т. В., Плешков С. П.]; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – 208 с.
5. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
6. Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України. – Київ : 2017. – 617 с.
7. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
8. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад. П. Г. Плешков та ін.];

						Арк.
Зм.	Арк.					

Міністерство освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

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

10. Лежнюк П. Д. Комар В. О., Кравчук С. В. Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. Харків, 2016. № 42. С. 69–75

11. Журахівський А.В. Надійність електричних систем і мереж: [навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. електротехн. спец.] / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух.; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

12. ДСТУ EN 50160:2014 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності»

13. Suslov K., Solonina N., Gerasimov D. Assessment of an impact of power supply participants on power quality // 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia. 2018. P. 1 – 5.

14. Олійник Ю. С. Якість електричної енергії / Ю. С. Олійник // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 196. - С. 113-115. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg_2018_196_42

ДОДАТКИ

						Арк.
Зм.	Арк.					

Додаток А. Методи та засоби підвищення якості електричної енергії в СЕП

Існує п'ять основних груп, які виокремлюють під час дослідження методів та засобів підвищення якості електричної енергії в системі електропостачання:

1) схемні рішення, наприклад виокремлення потенційних "спотворювачів" форми кривих на окрему систему шин; розподілення навантажень по різних вузлах СЕП з паралельним під'єднанням електродвигунів; групування перетворювачів за схемою множення фаз; під'єднання навантажень до системи зі значною потужністю.

2) використання спеціалізованих пристроїв (силових резонансних фільтрів). Наприклад, фільтрокомпенсуючі та фільтросиметруючі пристрої; пристрої «акумуляторна батарея - перетворювач»; коректори потужності; статичні тиристорні компенсатор; швидкодіючі статичні джерела реактивної потужності тощо. Багатофункціональні пристрої такого типу дозволяють забезпечити компенсацію реактивної потужності, фільтрацію ВГ, зменшення відхилень і коливань напруги, пофазне її симетрування;

3) використання інших пристроїв (дроселів, фільтрів, розділових трансформаторів, магнітних синтезаторів, активних кондиціонерів гармонік тощо);

4) використання спеціалізованого обладнання зі зниженим рівнем генерації ВГ;

5) використання багатofазних перетворювачів з поліпшеними енергетичними показниками.

Прикладом багатофункціональних пристроїв є силові резонансні фільтри вищих гармонік, які ще називають ФКП. При певних умовах ФКП можуть використовуватися також для симетрування системи лінійних напруг в СЕП. Ці пристрої можуть встановлюватися для розділення лінійних і нелінійних навантажень (загороджувальні фільтри) або для шунтування (поглинання) струмів вищих гармонік. Спрощені схеми ФКП показані на рис.

						Арк.
Зм.	Арк.					

А.1а. За умовами зручності і надійності компоновання електрообладнання найбільше розповсюдження отримала схема, приведена на рис. А.1 б.

Як правило, в мережах з 12 - пульсними ВП встановлюються ФКП 11-ї і 13-ї гармонік, з 6 - пульсними - 5, 7, 11 і 13 гармонік, те ж при наявності 6-ї і 12-ї пульсних перетворювачів. В установках з ДСП використовуються ФКП 2, 3, 4, 5 гармонік або широкосмугові фільтри. Зустрічаються і інші сполучення ФКП.

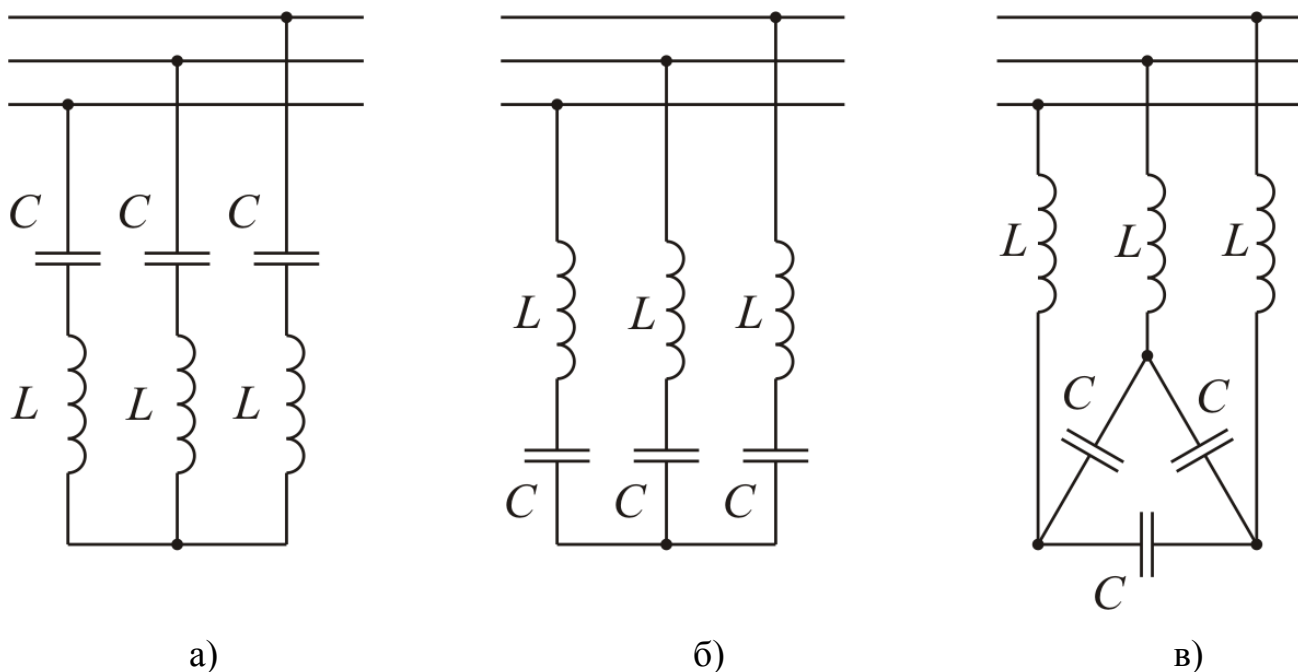


Рисунок А.1 - Спрощені схеми ФКП

Технічними умовами на експлуатацію БК передбачається обмеження перевищення напруги і струму зверх номінальних значень деякими величинами c_u та c_i (в долях номінальних значень). В залежності від типу конденсаторів $c_u = 1$ або $c_u = 1.1$; $c_i = 1.3$ або $c_i = 1.5$. При роботі конденсаторів в мережах з вищими гармоніками іноді висуваються додаткові вимоги, які обмежують потужність БК в робочих режимах номінальним значенням.

Відносне відхилення від частоти резонансу пов'язане з добротністю

ФКП співвідношенням $\frac{f}{f_{рез}} = \sqrt{\frac{2 - \frac{1}{Q_{\phi}^2}}{2}}$. При $Q_{\phi} \geq 6$ виявляється $\frac{f}{f_{рез}} \approx 1$. На практиці $Q_{\phi} \geq 20$, тому вибір і розрахунок ФКП звичайно ведуть з урахуванням лише реактивних опорів.

Простим способом зниження рівня вищих гармонік струму, що генеруються нелінійними навантаженнями в зовнішню мережу, є послідовне включення лінійних дроселів. Такий дросель має мале значення індуктивного опору на основній частоті 50 Гц і достатньо значне - для вищих гармонік, що приводить до їх ослаблення. При цьому знижується коефіцієнт амплітуди і коефіцієнт спотворення вхідного струму.

Типова схема підключення дроселів зображена на рис. А.2. В структуру системи на базі енергозберігаючого ПЧ, як правило, входять: мережевий та згладжуючий дроселі і дросель двигуна.

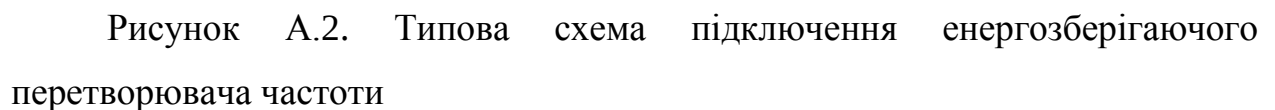
Мережевий дросель підключаються до входу ПЧ і є двостороннім буфером між мережею електропостачання і ПЧ.

Призначення мережевих дроселів:

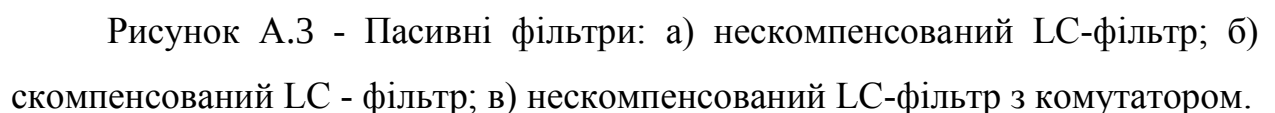
1. Підвищення енергозберігаючого ефекту від впровадження ПЧ шляхом збільшення коефіцієнта потужності системи ПЧ - АД;
2. Зниження рівнів вищих гармонік вхідного струму ПЧ, генератором яких є некерований випрямляч ПЧ;
3. Вирівнювання лінійних напруг на вході ПЧ при перекосах живлячої напруги;
4. Зниження швидких змін напруги на вході ПЧ (грозіві перенапруження, комутація батарей статичних конденсаторів і т.п.);
5. Зниження швидкості наростання струму короткого замикання на виході ПЧ.

Вибір мережевого дроселя рекомендується проводити, виходячи з бажаного підвищення енергозберігаючого ефекту від упровадження ПЧ.

						Арк.
Зм.	Арк.					



Застосування послідовно включених лінійних дроселів у ряді випадків не дозволяє зменшити гармонійні спотворення струму до бажаних меж. В цьому випадку для поліпшення гармонійного складу споживаного струму доцільне застосування пасивних LC-фільтрів, налаштованих на певний порядок гармонік. У ряді випадків підключення такого фільтру на вході шестипівперіодного випрямляча при 100 % навантаженні забезпечує зниження коефіцієнта спотворення струму до величини 8 - 10 %. Значення цього коефіцієнта в системі без фільтру може досягати 30 % і більше.



Новим досягненням в методах боротьби із гармонічними складовими є активні фільтри, які інколи називаються пристроями “вприску гармонік”. Активні фільтри побудовані на ідеї додаткового вприску гармонік в мережу, що знаходяться в протифазі з існуючими гармоніками. Таким чином досягається подавлення гармонік. Активні фільтри побудовані за модульним принципом і можуть легко бути адаптовані до потреб будь-якого навантаження.

Принцип дії активного фільтру пояснює схема на рис. А.4.

Активний фільтр являє собою джерело струму, який складається із реактивної складової першої гармоніки навантаження і струмів вищих гармонік.

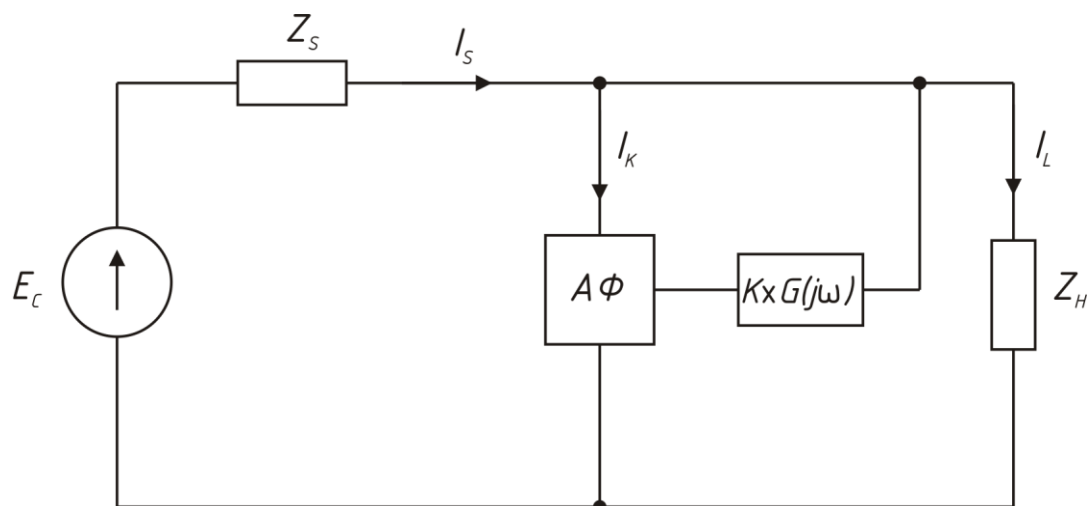


Рисунок А.4 - Структурна схема активного фільтру

Струм навантаження вимірюється датчиком струму, дані якої аналізуються цифровим перетворювачем сигналу для визначення картини спектру гармонік. Ця інформація використовується генератором струму для генерування в мережу саме такого гармонічного струму, який необхідний для компенсації спотворень навантаження:

$$i_s = i_L + i_K \quad (\text{А.1})$$

На практиці величина гармонічного струму зменшується приблизно на 90 %.

В зв'язку з тим, що управління активним фільтром відбувається на основі даних, що надходять від датчика, він динамічно адаптується до змін в гармоніках навантаження. В цілому система компенсації формується як розімкнута – без зворотного зв'язку, або як замкнена. Так як процеси аналізу і генерування контролюються програмним забезпеченням, то пристрій легко програмується на компенсацію окремих гармонік з метою забезпечення максимального ККД в межах характеристики приладу.

Методи ідентифікації реактивної складової і струмів вищих гармонік можна розділити на три групи:

- векторні методи, засновані на теорії миттєвої потужності;
- метод виділення основної гармоніки струму навантаження;
- універсальний метод, що заснований на визначення активної потужності, що споживається навантаженням, і відповідно активної складової цього струму. Шляхом віднімання цієї складової із струму навантаження знаходиться «небажаний» струм – реактивні складові першої гармоніки і вищих, що підлягають компенсації з допомогою активного фільтру.

Універсальний метод є найбільш простим в реалізації, однак в теперішній час в більшості випадків, зокрема при реалізації паралельних активних фільтрів малої і середньої потужності використовуються керуючі пристрої, засновані на алгоритмі теорії миттєвої потужності.

В практиці компенсації реактивної потужності і мінімізації рівнів вищих гармонік знайшли застосування повздовжні активні фільтри, або фільтри послідовного включення, при якому в ланцюг живлення джерела вводиться незалежне джерело змінної напруги. Амплітуда і фаза цього джерела можуть змінюватися по заданому закону. Очевидно, що чим ближче активний фільтр знаходиться до об'єкту компенсації і (або) фільтрації, тим вище його енергетична ефективність. В даному випадку в схемах активного

							Арк.
Зм.	Арк.						

фільтру використовуються такі ж інвертори напруги і струму, як і в системах з паралельним включенням. Різниця закладається лише в способі підключення їх до живлячої мережі. Керування активним фільтром в цьому випадку здійснюється з використанням метода ШІМ таким чином, щоб вихідна напруга U_K «відслідковувала» задаючі напруги U_c .

На рис. А.5. наведена принципова схема поздовжньої системи компенсації і фільтрації з використанням активного фільтру. Подібні системи дозволяють не лише забезпечити мінімізацію вищих гармонік і інтергармонік, але і регулювання напруги у споживача, оскільки напруга U_K може змінюватися за амплітудою і за фазою. Відповідно, система поздовжнього включення активного фільтру може мати характер індуктивного або ємнісного опору на основній частоті. В останньому випадку вона може розглядатися як конденсатор в установці поздовжньо-ємнісної компенсації.

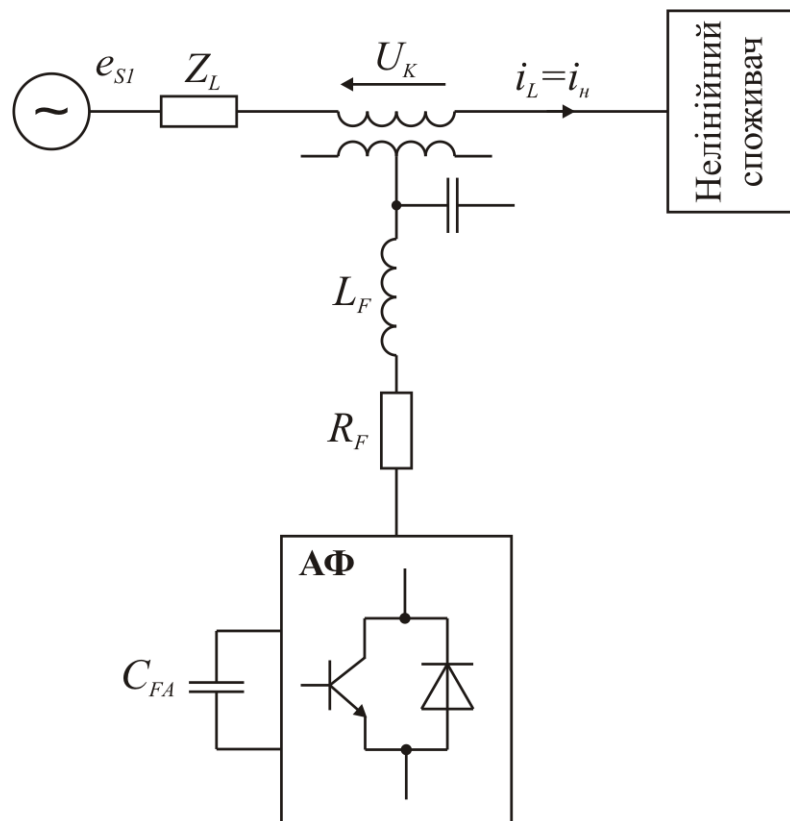


Рисунок А.5 - Схема поздовжньої системи компенсації і фільтрації з використанням АФ

АФ можуть бути встановлені в різних точках розподільчої мережі (рис. А. 6):

- в точці загального приєднання (на шинах ТП) – позиція А.
- часткова компенсація гармонічних струмів (позиція В)
- поблизу нелінійних навантажень з метою забезпечити місцеву компенсацію гармонічних складових (позиція С).

Можливі дві конфігурації приєднання активних фільтрів:

- паралельна конфігурація (рис. А.7 а) ;
- каскадна конфігурація (рис. А.7 б).

До переваг паралельної конфігурації відносяться:

- збільшена можливість корекції в певній точці системи змінного струму шляхом приєднання до чотирьох фільтрів з однаковим номіналом;
- збільшена можливість корекції для цілей подальшого збільшення навантаження;
- підвищена надійність із-за використання запасу значення номіналу фільтру.

Переваги каскадної конфігурації:

- збільшення загальної компенсаційної властивості шляхом використання фільтрів з однаковими або різними номіналами;
- компенсація певного навантаження або місцева компенсація гармонік, а також загальна компенсація гармонічних складових групи нелінійних навантажень.

Оскільки встановлена потужність активних фільтрів виявляється значною у порівнянні з потужністю власне нелінійних навантажень, рівень ВГ яких мінімізується за допомогою АФ, то застосування АФ не завжди прийнятне. Це пояснюється - у разі подовжнього АФ - протіканням повного струму споживача через пристрій АФ (або наявністю повної напруги мережі на затискачах пристрої паралельного АФ). Так, наприклад, якщо навантаженням лінії є 6-пульсний мостовий перетворювач, потужність АФ

досягає 30 % активної потужності ВП. Тому, при великих потужностях ВП використання АФ виявляється економічно недоцільним.

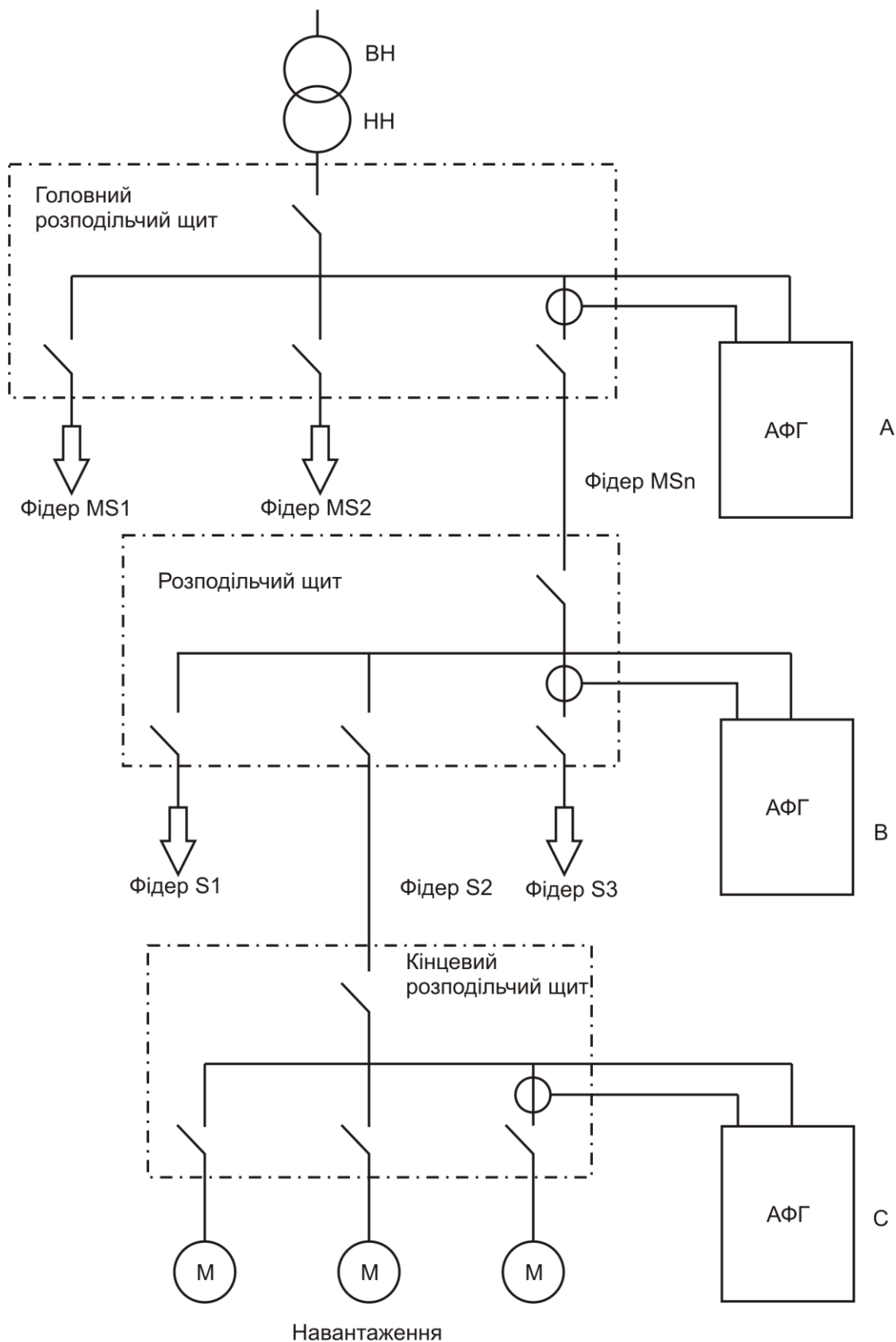
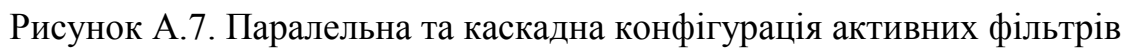
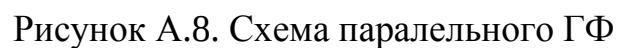


Рисунок А.6. Можливі варіанти встановлення АФ в СЕП



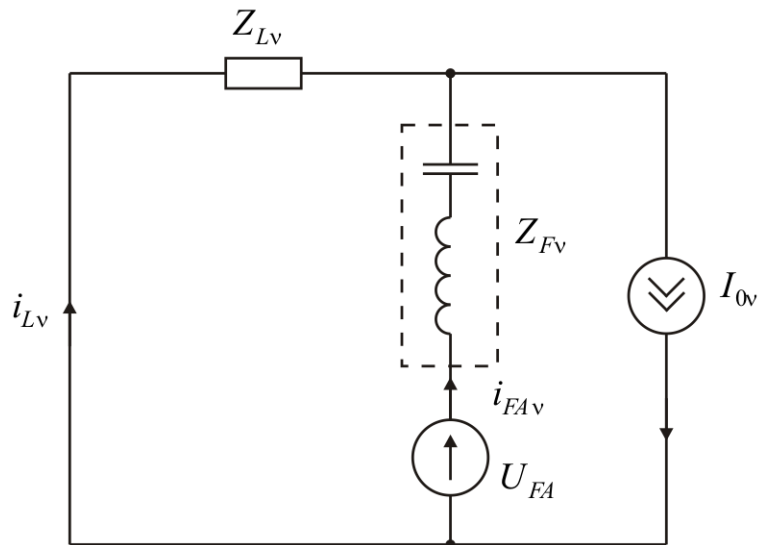
На рис. А.8 представлена схема паралельної гібридної системи компенсації ВГ, на рис. А.9 - послідовної (поздовжньої).





Особливості роботи ГФ можна проілюструвати за допомогою їх схем заміщення (рис. А.10 та А.11).

Вважаючи, що напруга U_L синусоїдальна і нелінійне навантаження є джерелом ВГ, можемо представити схему заміщення для ν -ї гармоніки (рис. А.11).



За допомогою цієї схеми можна достатньо просто показати ефективність дії гібридної системи завдяки введенню додаткового джерела,

де K – коефіцієнт пропорційності, який має розмірність опору;

$i_{L\nu}$ – струм ν -ї гармоніки живлячої мережі, обумовлений неповною фільтрацією за допомогою АФ.

З рівняння, складеного за 2-м законом Кірхгофа, отримаємо:

тобто управління напругою U_{FA} пропорційною струму i_{Lv} , еквівалентно ввімкненню послідовно з опором Z_{Lv} додаткового активного опору, рівного

K . Необхідно зазначити, що у випадку послідовної гібридної системи результат однаковий.

Таким чином, додаткове кероване джерело напруги обумовлює збільшення опору живлячої мережі, тобто збільшення електричної віддаленості її від нелінійного навантаження. При «сильному» регулюванні ($K \gg Z_{Lv}$) ВГ, генеровані нелінійними навантаженнями, замикаються в основному, через ФКП.

Важливо відмітити, що активний опір K демпфує можливі резонансні процеси між Z_{Lv} та Z_{Fv} , оскільки вхідний опір живлячої мережі може мати суттєво нелінійну АЧХ.

В СЕП підприємств з потужними тиристорними перетворювачами, що комутуються за 6- або 12-пульсними схемами, крім ФКП 5, 7, 11 і 13-ї гармонік або 11 і 13-ї гармонік додатково встановлюються також широкосмуговий фільтр (демпфуючий фільтр, фільтр другого порядку). Схема широкосмугового фільтру приведена на рис. А.12.

Встановлення такого фільтру є доцільним також для випадку «густого» спектру інтергармонік, наприклад, при роботі ПЧ із синусоїдальним законом управління. Демпфуючий фільтр складається із конденсатора і реактора, паралельно якому під'єднано активний опір. В більшості випадків використовуються фільтр 17 - го порядку з широкою смугою пропускання, тобто низькою добротністю ($Q_{ШФ} \approx 0.5 \div 4$).

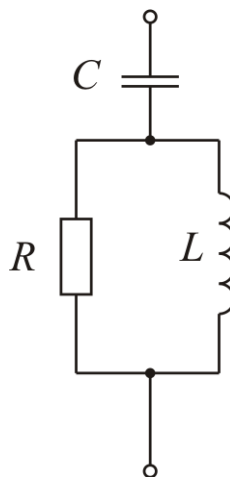


Рисунок А.12. Схема широкосмугового фільтру.

У випадку необхідності мінімізації інтергармонік також виявляється доцільним використовувати складні фільтри (наприклад, фільтри третього порядку). На рис. А.13 приведена схема одного з таких фільтрів.

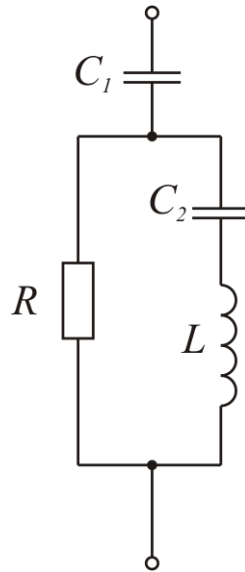


Рисунок А.13. Схема складного фільтру

Такий фільтр має дві резонансні частоти, одна з яких відповідає послідовному резонансу, а інша – паралельному. Перевагою даного фільтру являється можливість мінімізації гармонік в області частот до 50 Гц, а також мінімізації рівнів інтергармонік більш високого порядку. При проектуванні ФКП для підстанцій енергосистем намагаються уніфікувати БК всіх ФКП за потужністю і типу виконання. Для систем електропостачання це не завжди відповідає економічній доцільності.