

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

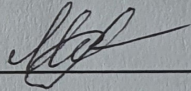
менеджменту

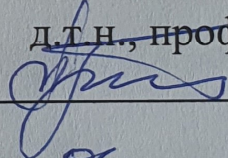
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності системи електропостачання
приватного акціонерного товариства
«Калинівський машинобудівний завод»»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-22
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)


Мелінчука В.
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор каф. ЕСЕЕМ

Бурбело М.
(прізвище та ініціали)

«11» 06 2024 р.

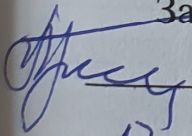
Опонент:


доц. каф. ЕС Нептробавський В.
(прізвище та ініціали)

«20» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

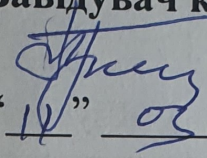

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

«12» 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту
Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

 проф. М. Й. Бурбело
“18” 03 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Мелінчуку В'ячеславу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності системи електропостачання
приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

керівник роботи Бурбело Михайло Йосипович д.т.н., проф. каф. ЕСЕМ

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

затверджені наказом по ВНТУ від «15» березня 2024 року, №81

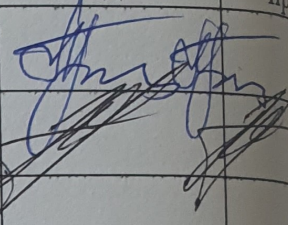
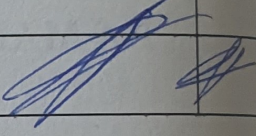
2. Строк подання студентом роботи «15» червня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства; відомості про особливості
технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства;
відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) Вступ. Характеристика споживачів підприємства. Використання
статичних тиристорних компенсаторів в умовах промисловості. Моделювання
роботи СТК на підприємстві. Економічна частина. Охорона праці та безпека в
надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
План підприємства із силовими та живильними мережами. Однолінійний план електропостачання підприємства. Основні техніко-економічні показники системи електропостачання. Оптимальна КРП на підприємстві. Існуюча модель СТК. Моделювання основних режимів роботи СТК.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бурбело М.Й., д.т.н., проф., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., проф., каф. БЖДПБ		
Нормконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу	до 6.05.24	В.В.
2	Синтез зовнішньої СЕП	до 10.05.24	В.В.
3	Науково дослідна частина	до 15.05.24	В.В.
4	Синтез результатів наукової роботи	до 25.05.24	В.В.
5	Економічна частина	до 5.06.24	В.В.
6	Охорона праці	до 10.06.24	В.В.
7	Графічна частина	до 15.06.24	В.В.

Студент

(підпис)

Мелінчук В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Бурбело М.Й.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Войтюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	9
1.1 Характеристика підприємства.....	9
1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства	10
1.3 Вибір оптимальної напруги живлення	13
1.4 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення.....	13
1.5 Вибір трансформаторів ГПП	16
1.6 Проектування трансформаторних підстанцій	17
1.7 Визначення оптимального перерізу лінії живлення	21
1.8 Вибір високовольтних вимикачів та роз'єднувачів	23
1.9 Перевірка вибраного електрообладнання	24
1.10 Оптимізація і моделювання вибору місця розташування ГПП	25
1.11 Релейний захист автомата	27
2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНИХ ТЕРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ	32
2.1 Установки дугового електрозварювання (УДЕ).....	32
2.2 Загальний аналіз динамічної компенсації реактивної потужності.....	33
2.3 Аналіз статичного тиристорного компенсатора.....	39
3 ВИКОРИСТАННЯ КРП ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕП ПІДПРИЄМСТВА	42
3.1 Розрахунок потужності конденсаторних батарей	42
3.2 Підвищення ефективності СЕП засобами КРП	45
3.3 Розробка цифрової моделі управління компенсатором реактивної потужності	47
3.4 Моделювання основних режимів роботи СТК.....	51
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	55
4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання	56
4.2 Розрахунок поточних витрат	58
4.2.1 Вибір системи освітлення	58
4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі	60
4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються	62

4.2.4	Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат.....	64
4.3	Розрахунок собівартості електроенергії.....	67
4.3.1	Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію	67
4.3.2	Розрахунок собівартості електроенергії.....	68
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	69
5.1	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	
5.1.1	Технічні рішення з безпечної експлуатації робочої зони	
5.1.2	Електробезпека.....	
5.2	Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	
5.2.1	Мікроклімат.....	
5.2.2	Склад повітря робочої зони	
5.2.3	Виробниче освітлення	
5.2.4	Виробничий шум.....	
5.2.5	Виробничі вібрації	
5.2.6	Психофізичні фактори.....	
5.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕП ПАТ «Калинівський МБЗ» в умовах надзвичайних ситуацій	
5.3.1	Дослідження безпеки роботи СЕП ПАТ «Калинівський МБЗ» в умовах впливу іонізуючих випромінювань	
5.3.2	Дослідження безпеки роботи СЕП ПАТ «Калинівський МБЗ» в умовах дії електромагнітного імпульсу	
5.4	Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи СЕП ПАТ «Калинівський МБЗ» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	
	ВИСНОВКИ.....	85
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
	Додаток А – Технічне завдання	
	Додаток Б – План підприємства із силовими та живильними мережами	
	Додаток В – Однолінійна схема електропостачання підприємства	
	Додаток Г – Основні техніко економічні показники системи електропостачання	
	Додаток Д – Оптимальна КРП на підприємстві	
	Додаток Є – Модель компенсатора в MATLAB Simulink	
	Додаток Ж – Результати моделювання основних режимів роботи компенсатора	

УДК 621.311

АНОТАЦІЯ

В'ячеслав Вікторович Мелінчук. Підвищення ефективності системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод». МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2024 – 95 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання щодо підвищення ефективності СЕП ПАТ «Калинівський машинобудівний завод».

Магістерська робота розроблена на основі фактичного матеріалу зібраного на даному підприємстві під час проходження переддипломної практики.

У першому розділі кваліфікаційної роботи розглядаються проектні рішення, як розрахунок навантажень підприємства, оптимальної напруги зовнішнього живлення, вибір кількості та потужності підстанцій, фідерних ліній, релейного захисту та автоматики.

В другому розділі проведений аналіз використання статичних тиристорних компенсаторів в мережі підприємства зі швидкозмінним навантаженням.

Основним результатом наукової роботи є розробка математичної моделі СТК та дослідження ефективності використання компенсації реактивної потужності для підвищення ефективності СЕП підприємства.

В четвертому розділі розраховано основні техніко-економічні показники для спроектованої СЕП.

У п'ятому розділі проаналізовано питання охорони праці.

Ключові слова: втрати, якість електроенергії, надійність, компенсатор.

Рисунків – 22

Таблиць - 18

Бібліографій – 39

ABSTRACT

Vyacheslav Viktorovych Melinchuk. Increasing the efficiency of the power supply system of the private joint-stock company "Kalyniv Machine-Building Plant". MTW. Specialty 141 - Vinnytsia: VNTU, FEEM, ESEEM department, 2024 - 95 p.

In the master's qualification work, the issue of increasing the efficiency of the SEP of PJSC "Kalyniv Machine-Building Plant" was considered.

The master's thesis was developed on the basis of the actual material collected at this enterprise during the pre-diploma internship.

In the first section of the qualification work, project solutions are considered, such as the calculation of enterprise loads, the optimal external power supply voltage, the selection of the number and capacity of substations, feeder lines, relay protection and automation.

In the second section, an analysis of the use of static thyristor compensators in the enterprise network with a rapidly changing load is carried out.

The main result of the scientific work is the development of a mathematical model of the STC and the study of the effectiveness of the use of reactive power compensation to increase the efficiency of the enterprise's SEP.

In the fourth section, the main technical and economic indicators for the designed SEP are calculated.

The fifth chapter analyzes the issue of labor protection.

Key words: losses, power quality, reliability, compensator.

Drawings – 22

Tables - 19

Bibliographies – 39

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективне функціонування виробничого підприємства може бути досягнуто правильним вибором сучасних методів та засобів для реалізації системи електропостачання. Тому важливо підбирати раціональні системи електропостачання, сучасне електрообладнання, кабельно-провідникову продукцію, підвищувати надійність електропостачання, покращувати використання існуючих мереж, знижувати втрати активної енергії, уніфікувати та індустріалізувати будівництво нових об'єктів [1].

Критерієм ефективності електропостачання можна вважати такі параметри як економічність, надійність та якість. Дані параметри взаємозв'язані, тому підвищення ефективності досягається шляхом оптимізації усіх цих показників.

Збільшувати економічність можна шляхом мінімізації втрат активної енергії, що можна досягти використанням пристроїв КРП для забезпечення балансу реактивної потужності електроенергетичної системи.

Мета і задачі дослідження. Метою проведеної роботи є підвищення енергоефективності ПАТ «Калинівський машинобудівний завод». Загальний аналіз ефективності використання пристроїв СТК в системі електропостачання підприємства. Здійснити аналіз СЕП заводу використовуючи діючі методики розрахунку, водночас виконати розрахунки зовнішніх і внутрішніх електромереж та електричних навантажень, підібрати електрообладнання. Провести розрахунок розташування трансформаторних підстанцій і засобів для КРП.

Для досягнення цілей поставлених у роботу необхідно виконати наступні задачі:

- досягнення енергоефективності шляхом вибору оптимального класу напруги живлення та забезпечення вимог надійності системи електропостачання;
- оптимальний вибір на підставі порівняння декількох варіантів кількості та потужності трансформаторів і засобів для КРП.

Об'єкт дослідження – СЕП ПАТ «Калинівський машинобудівний завод».

Предмет дослідження – підвищення ефективності СЕП ПАТ «Калиновський МБЗ» шляхом використання тиристорних компенсаторів.

Методи досліджень. У роботі використані загальноприйняті методи та засоби проведення розрахунку СЕП, які наведені в списку використаних джерел.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель СТК, яка дає змогу дослідити ефективність від використання тиристорних компенсаторів при роботі в СЕП підприємства зі швидкозмінним навантаженням. Досліджено ефективність використання пристрою динамічної компенсації реактивної потужності та алгоритмів його роботи. Визначені вимоги до напівпровідникового компенсатора і його системи управління. Здійснено моделювання основних режимів роботи компенсатора в мережі підприємства для різних режимів.

Практична цінність. Впровадження компенсатора дозволить підвищити ефективність роботи СЕП підприємства шляхом покращення якості електричної енергії та зменшенням втрат активної енергії. Розроблені комп'ютерні моделі для динамічного компенсатора реактивної потужності з цифровими системами управління можуть бути використані в організаціях, що займаються експлуатацією таких пристроїв з метою дослідження їх характеристик.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Характеристика підприємства

ПАТ «Калинівський МБЗ» відноситься до споживачів II категорії надійності електропостачання [2]. План об'єктів проектування заводу зображено на рисунку 1.1, значення електричних навантажень заводу показано в таблиці 1.1.

Довжина лінії від заводу до живлячої підстанції (ПС) енергосистеми:

- на напрузі 110 кВ від ПС системи 3 км;

- на напрузі 35 кВ від ПС системи 2,8 км;

Параметр живлячої системи такий як КЗ зі сторони 10 кВ складає $S_{кз}=75$ МВА.

Вхідна РП складає $Q_{вх} = 1850$ квар.

Час використання максимального навантаження $T_m=5000$ год/рік.

Час максимальних втрат складає $\tau_m = 3410,9$ год/рік.

Значення величини тарифу за активну електроенергію $t = 6,649$ грн/кВт*год.

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

№	Назва об'єкту	P_n , кВт
1	Складальний цех	3150
2	Механічний цех	4000
3	Заготівельний цех	1100
4	Адміністративно-побутовий корпус	80
5	Будівля ЦТНС	23
6	Ковальсько-пресова діляниця	900
7	Інструментальний цех	700
8	Гальванічна діляниця	300
9	Експериментальний цех	200
10	Котельня	40
11	Цех товарів народного споживання	500
12	Насосна станція	12
13	Відділ головного механіка	230
14	Ливарний цех	1300
15	Нафтова ловушка	2,4
16	Транспортна діляниця	18
17	Компресорна станція	28
18	Газорозподільний пункт	1,5

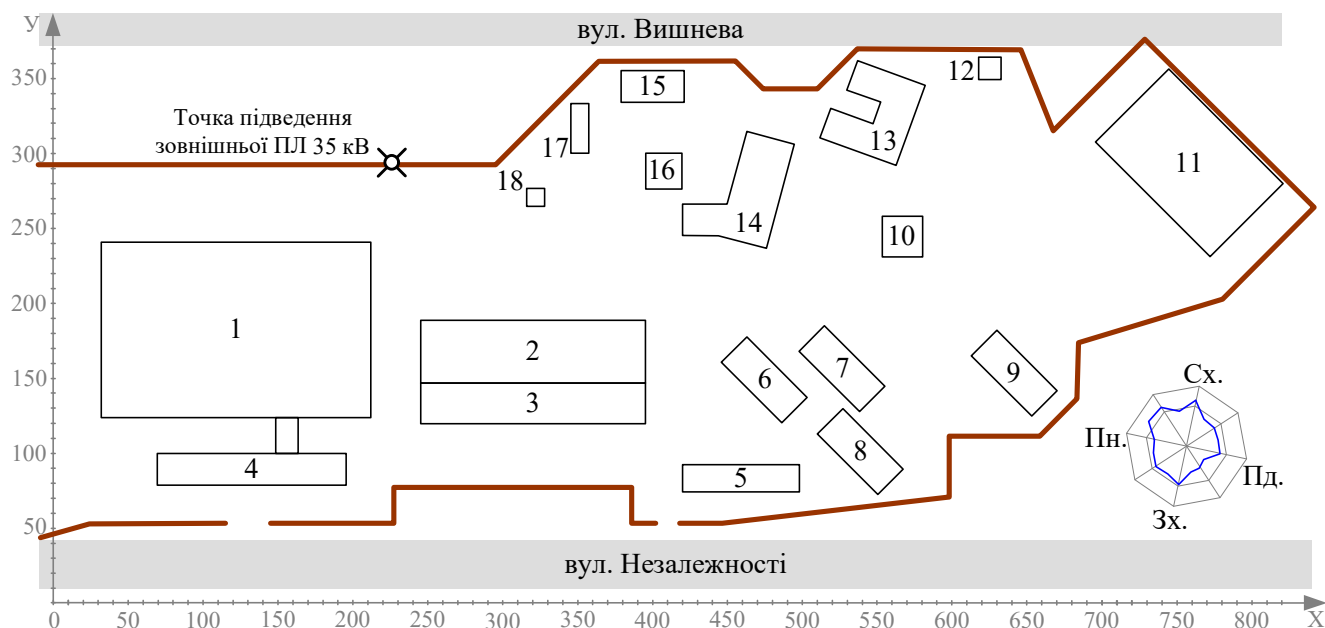


Рисунок 1.1 – План об'єктів проектування заводу

1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Для виконання розрахунку навантажень заводу використовуємо формули наведені в таблиці 1.2, дані формули реалізують метод коефіцієнта використання k_b та попиту k_n [3]. В таблиці 1.2 також представлено приклад розрахунку для одного із цехів заводу. Результат розрахунку для інших цехів підприємства показані на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 – Приклад розрахунку навантажень для Складального цеху

Назва параметра	Формула	Складальний цех (№1 на генплані)
Коефіцієнт реактивної потужності	$\text{tg}(\varphi) = \text{tg}(\arg \cos(\varphi))$	$\text{tg}(\varphi) = \text{tg}(\arg \cos(0,65)) = 1,17$
Розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po} = F \cdot k_{по} \cdot k_{пра} \cdot P_{пито}$	$P_{po} = 21060 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,016 = 404,35$
Розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po} = P_{po} \cdot \text{tg}(\varphi)$	$Q_{po} = 404,35 \cdot \text{tg}(0,43) = 173,87$
Середня активна потужність, кВт	$P_c = k_b \cdot P_n + P_{po}$	$P_c = 0,36 \cdot 3150 + 404,35 = 1538,35$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_c = k_b \cdot P_n \cdot \text{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_c = 0,36 \cdot 3150 \cdot 1,17 + 173,87 = 1500,65$
Середня повна потужність, кВА	$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$	$S_c = \sqrt{1538,35^2 + 1538,35^2} = 2149,07$

Продовження таблиці 1.2

Розрахункова активна потужність, кВт	$P_p = k_n \cdot P_n + P_{po}$	$P_p = 0,4 \cdot 3150 + 404,35 = 1664,35$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_p = k_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_p = 0,4 \cdot 3150 \cdot 1,17 + 173,87 = 1648,07$
Розрахункова повна потужність, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{1664,35^2 + 1648,07^2} = 2342,27$
Питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho = \frac{S_p}{F}$	$\rho = \frac{2342,27}{21060} = 0,11$
Сумарна середня активна потужність, кВт	$P_{c\Sigma} = \sum_1^N P_c$	$P_{c\Sigma} = 5936,24$
Сумарна середня реактивна потужність, квар	$Q_{c\Sigma} = \sum_1^N Q_c$	$Q_{c\Sigma} = 5427,89$
Сумарна середня повна потужність, кВА	$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}$	$S_{c\Sigma} = \sqrt{5936,24^2 + 5427,89^2} = 8043,7$
Сумарна розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po\Sigma} = \sum_1^N P_{po}$	$P_{po\Sigma} = 979,39$
Сумарна розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po\Sigma} = \sum_1^N Q_{po}$	$Q_{po\Sigma} = 421,14$
Сумарна розрахункова активна потужність, кВт	$P_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N k_n \cdot P_n + P_{po\Sigma}$	$P_{p\Sigma} = 6153,00$
Сумарна розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N P_n \cdot K_n \cdot \operatorname{tg} + Q_{po\Sigma}$	$Q_{p\Sigma} = 5676,19$
Сумарна розрахункова повна потужність, кВА	$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$	$S_{p\Sigma} = \sqrt{6153,00^2 + 5676,19^2} = 8371,29$
Сумарна питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho_\Sigma = \frac{S_{p\Sigma}}{F_\Sigma}$	$\rho_\Sigma = \frac{8371,29}{56757} = 0,15$

На рисунку 1.2 представлені розрахунки усіх об'єктів прокутування та заводу в цілому. Даний розрахунок виконаний за допомогою автоматизованого розрахунку на робочому листі електронного процесора Excel.

G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
	Площа, м ²	Кл0	Рплг, Вт/м ²	Клпра	tg0	Qm0, квар	Рр0, кВт	Рс, кВт	Qс, квар	Sc, кВА	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ко=	0,95
Кв															
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1,36	21060	1	0,016	1,2	0,43	173,87	404,35	1538,35	1500,65	2149,07	1664,35	1648,07	2342,27	3558,70	0,11
1,35	6300	1	0,015	1,2	0,43	48,76	113,40	1513,40	1686,76	2266,17	1713,40	1920,76	2573,92	3910,67	0,41
1,54	4050	1	0,016	1,2	0,43	33,44	77,76	671,76	478,94	825,01	737,76	528,44	907,49	1378,79	0,22
1,55	2646	0,8	0,014	1,2	0,43	15,29	35,56	79,56	36,41	87,50	83,56	38,33	91,93	139,68	0,03
1,64	1404	0,8	0,013	1,2	0,43	7,53	17,52	32,24	16,66	36,29	33,62	17,52	37,91	57,60	0,03
1,41	1368	0,8	0,012	1,2	0,43	6,78	15,76	384,76	438,51	583,38	375,76	427,98	569,53	865,30	0,42
1,13	1368	1	0,015	1,2	0,43	10,59	24,62	115,62	168,02	203,96	136,62	204,35	245,81	373,48	0,18
1,55	1368	1	0,013	1,2	0,43	9,18	21,34	186,34	154,38	241,98	201,34	167,58	261,95	398,00	0,19
1,36	1368	1	0,012	1,2	0,43	8,47	19,70	91,70	62,47	110,96	99,70	68,47	120,95	183,76	0,09
1,46	729	0,8	0,013	1,2	0,43	3,91	9,10	27,50	17,71	32,71	29,10	18,91	34,70	52,73	0,05
1,45	7452	1	0,016	1,2	0,43	61,52	143,08	368,08	201,02	419,40	343,08	185,52	390,03	592,59	0,05
1,55	335	0,8	0,011	1,2	0,43	1,03	3,38	8,08	5,07	10,78	8,58	5,43	11,53	17,53	0,05

Рисунок 1.2 - Розрахунок навантаження заводу

Енергоефективна робота кожного виробничого заводу багато в чому залежить від конфігурації СЕП, подальшого правильного вибору обладнання для кожного вузла СЕП. Тому вирішення задач вибору оптимальної конфігурації СЕП, сучасного мікропроцесорного електрообладнання, провідникової та кабельної продукції, а також оптимізації роботи існуючих електричних мереж є актуальним питанням, та потребує вивчення та розвитку.

1.3 Вибір напруги зовнішньої лінії живлення

Розрахунок і вибір напруг з номінального стандартного ряду класів напруг для живлення елементів електричної мережі слід віднести до технічних і економічних завдань, які повинні бути вирішені на стадії проектування паралельно з вибором конфігурації схем електропостачання на основі порівняння можливих варіантів. Результатом рішення цієї задачі буде схема живлення з найбільш оптимальними параметрами [12].

Для визначення оптимальної напруги живлення для параметрів СЕП заводу, таких як необхідний об'єм спожитої потужності і відстань до живильної підстанції, рекомендується використовувати наступну формулу

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot P_p}, \quad (1.1)$$

Дану формулу можна використовувати у випадках коли параметри підприємства нележать даним обмеженням, а саме довжина лінії живлення не більше $L \leq 250$ км, а необхідна потужність не більше $P_p \leq 60$ МВт [12].

Отже визначаємо оптимальне значення напруги живлення для параметрів даного підприємства:

$$U_{\text{ек}} = 4,34 \sqrt{2,8 + 16 \cdot 6,210} = 43,87 \text{ (кВ)}.$$

Отже для зовнішньої лінії живлення потрібно провести техніко-економічного порівняння двох варіантів схеми, а саме напруги 110 кВ від ПС системи довжиною лінії 3 км та 35 кВ від ПС системи довжиною лінії 2,8 км.

1.4 Техніко-економічне порівняння класів напруги живлення заводу

Проводимо необхідні розрахунки для обох обраних класів напруг [5].

Для подальшого розрахунку необхідно виконати поаеродній вибір перерізу ліній живлення на обох класах напруг. Вибір виконуємо за величиною допустимого струму а для цього знаходимо значення розрахункового струму лінії живлення:

$$I_p = \frac{S_p / 2}{\sqrt{3} U_{ном}} \text{ (A)}, \quad (1.2)$$

$$I_{p35} = \frac{8458,41 / 2}{\sqrt{3} \cdot 35} = 69,76 \text{ (A)},$$

$$I_{p110} = \frac{8458,41 / 2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 22,2 \text{ (A)}.$$

В якості повітряної лінії 110 кВ приймаємо алюмінієвий провід АС 3(1х240) [6], допустимий струм якого 605 А.

В якості повітряної лінії 35 кВ приймаємо алюмінієвий провід АС 3(1х300) [6], допустимий струм якого 710 А.

Здійснюємо розрахунок величини капітальних вкладень та заносимо результати до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Розрахунок капітальних вкладень

Перелік елементів схем	Вартість	35 кВ		110 кВ	
		Кількість	Вартість	Кількість	Вартість
Лінії електропередавання, км	тис.грн. за 1 км КЛ	км	тис.грн.	км	тис.грн.
ПЛ 35 кВ АС 3×300	223,00	5,6	1248,80		
ПЛ 110 кВ АС 3×240	147,00			6	882,00
ВСЬОГО по лініях			1248,80		882,00
Підстанції	тис.грн. за одиницю ПС.	штук	тис.грн.	штук	тис.грн.
Спорудження ПС 35 кВ 2×6,3 МВ*А	48964	1	48964		
Спорудження ПС 110 кВ 2×6,3 МВ*А	88340			1	88340
ВСЬОГО по ПС			48964		88340
ВСЬОГО			50212,80		89222,00

Для висначення величини втрат активної енергії необхідно скористатися наступною формулою, яка враховує параметри живлення:

$$\Delta W_a = \Delta P_m \cdot \tau = 3 I_m^2 R_e \cdot 10^{-3} \cdot \tau \text{ (кВт·год/рік)}, \quad (1.3)$$

Тоді величина втрат в лінях живлення відносно класу напруги становитиме:

$$C_{\Delta W_{110}} = 2 \cdot 3 \cdot 22,2^2 \cdot 0,122 \cdot 3,0 \cdot 10^{-6} \cdot 3410,9 \cdot 5,195 = 19,17 \text{ (тис.грн./рік)},$$

$$C_{\Delta W_{35}} = 2 \cdot 3 \cdot 69,76^2 \cdot 0,099 \cdot 2,8 \cdot 10^{-6} \cdot 3410,9 \cdot 5,195 = 143,44 \text{ (тис.грн./рік)}.$$

Також необхідно визначити річні витрати відповідно класу напруги. Дані витрати повині враховувати амортизаційні відрахування, оплату технічному персоналу а також вартість втрат. Результат даного розрахунку показано в таблиці 1.4. Також для даного розрахунку доцільно врахувати різницю в оплаті за електроенергію оскільки один із варіатів належить до I класу оплати а інший варіант до II класу оплати за електроенергію.

Таблиця 1.4 – Витрати протягом року відповідно класу напруги

Перелік витрат протягом року	Варіанти	
	35 кВ	110 кВ
Витрати на технічне обслуговування і ремонт:		
ПЛ – 110 кВ, 1,2% від К		10,58
ПЛ – 35 кВ, 1,2% від К	14,99	
ПС 110 кВ, 2,4% від К		2120,16
ПС 35 кВ, 2,4% від К	1175,14	
Разом, ВО тис.грн.	1190,12	2130,74
Амортизація:		
ПЛ – 110 кВ, 2% від К		17,64
ПЛ – 35 кВ, 2% від К	24,98	
ПС 110 кВ, 3,6% від К		3180,24
ПС 35 кВ, 3,6% від К	1807,66	
Всього щорічні витрати на амортизацію, Ва тис.грн.	1832,64	3197,88
Тариф на ЕЕ, грн./кВт*год	5,195	5,195
Вартість величини втрат ЕЕ в ЛЕП, ВΔW тис.грн.	143,44	19,17
ВСЬОГО щорічні витрати (В) тис.грн.	3166,20	5347,80

Зведені річні витрати доцільно визначати за допомогою формул:

$$З = E_n \cdot K + B, \quad (1.4)$$

де E_n – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень в об'єкти СЕП ($E_n = 0,1$ [5]); K – капітальні вкладення в СЕП; B – щорічні витрати на експлуатацію СЕП.

Зведені річні витрати складають:

$$Z_{110} = 0,1 \cdot 89222,00 + 5347,8 = 14269,998 \text{ (тис.грн.)},$$

$$Z_{35} = 0,1 \cdot 50212,8 + 3166,2 = 8187,48 \text{ (тис.грн.)},$$

Згідно розрахунків вигіднішим є варіант 35 кВ. Отже живлення підприємства буде здійснено на напрузі 35 кВ. Для цього на території підприємства необхідно спорудити головну понижувальну підстанцію (ГПП) 35/10 кВ.

1.5 Вибір трансформаторів ГПП

На ГПП встановлюємо два трансформатори однакової потужності такої величини, щоб під час відключення одного із трансформаторів, другий трансформатор, яки залишився діючим зміг забезпечити роботу основних споживачів на період коли перший трансформатор буде знову задіяним.

Номінальна потужність трансформаторів двотрансформаторної ГПП:

$$S_H = (0,5 \div 0,7) \cdot S_p = (0,5 \div 0,7) \cdot 8371,29 = 4,19 \div 5,86 \text{ (МВА)}. \quad (1.5)$$

Вибираємо два трансформатори ТМ 6300/35 [8]. Номінальні параметри яких представлені в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 - Номінальні параметри трансформаторів ГПП

Марка	S_H , кВА	U_{BH} , кВ	U_{HH} , кВ	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_K , кВт	I_{XX} , %	U_K , %
ТМ-6300/35	6300	35,75	10,5	7,5	33,5	0,9	7,5

Здійснюємо перевірку допустимості аварійного перевантаження при відмові трансформатора ГПП. Для цього скористаємося типовим графіком навантаження заводу [9], який зображено на рис. 1.3.

Проведемо лінію номінального навантаження:

$$S_{\text{НОМ.Т\%}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}}}{S_M} \cdot 100\% = \frac{6300}{8371,29} \cdot 100\% = 75,3 \%, \quad (1.6)$$

З графіка випливає, що тривалість перевантаження $h' = 13$ год. Визначимо коефіцієнт початкового навантаження:

$$K_1 = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}, \quad (1.7)$$

$$K_1 = \frac{1}{75,3} \cdot \sqrt{\frac{45^2 \cdot 2 + 50^2 \cdot 1 + 60^2 \cdot 1 + 65^2 \cdot 3 + 75^2 \cdot 4}{11}} = 0,818$$

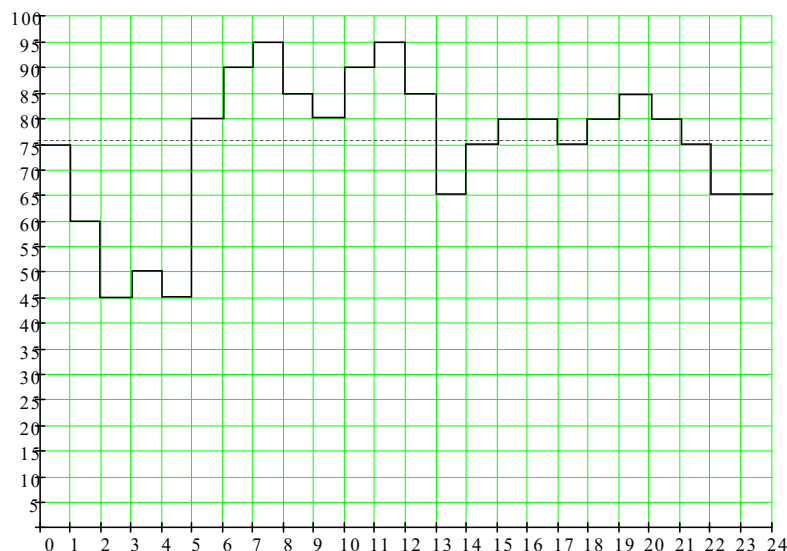


Рисунок 1.3 – Типовий добовий графік навантаження для даного підприємства

Коефіцієнт перевантаження (середньоквадратичне значення):

$$K_2' = \frac{1}{S_{\text{НОМ.Т\%}}} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot \Delta h_i}{\sum \Delta h_i}} = \frac{1}{75,3} \cdot \sqrt{\frac{95^2 \cdot 2 + 90^2 \cdot 2 + 80^2 \cdot 6 + 85^2 \cdot 3}{13}} = 1,131, \quad (1.8)$$

Максимальне навантаження:

$$K_{\text{MAX}} = \frac{S_{\text{М}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{8371,29}{6300} = 1,328. \quad (1.9)$$

Оскільки $K_2' = 1,131 > 0,8 \cdot K_{\text{MAX}} = 0,9 \cdot 1,328 = 1,06$, то приймаємо $K_2 = K_2' = 1,131$ і $h = h' = 13$ год.

Значення $K_2 = 1,131 < 1,2$, є меншим чим допустиме перевантаження, значення якого наведено в [9, таблиця 2.2].

1.6 Проектування трансформаторних підстанцій

Для СЕП підприємств кількість трансформаторів має вибиратися на основі відповідності класу надійності споживача згідно ПУЕ [2].

Потужність трансформаторів двотрансформаторних підстанцій повинна відповідати, як нормальній експлуатації так і можливостям роботи в післяаварійному режимі.

Враховуючи розташування та потужність об'єктів проектування заводу розподіляємо навантаження рівномірно між ЦТП, таким чином що мінімізувати втрати пов'язані з перетоками потужності. Результат розподілення показано на рисунку 1.4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	№ ТП	№ цеху	Назва цеху	Розрахункова активна потужність Pp, кВт	Розрахункова реактивна потужність Qp, кВАр	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Pс, кВт	Середня реактивна потужність Qс, кВАр	Повна середня потужність Sc, кВА
1									
2	ТП1	1	Складальний цех	1664,352	1648,07136	2342,265311	1538,352	1500,65136	2149,065234
3		4	Адміністративно-побутовий к	83,56224	38,3317632	91,93460732	79,56224	36,4117632	87,49838017
4			Всього по ТП1	1747,91424	1686,403123	2428,818578	1617,91424	1537,063123	2231,638307
5	ТП2	2	Механічний цех	1713,4	1920,762	2573,920399	1513,4	1686,762	2266,174222
6			Всього по ТП2	1713,4	1920,762	2573,920399	1513,4	1686,762	2266,174222
7	ТП3	3	Заготівельний цех	737,76	528,4368	907,4884403	671,76	478,9368	825,0102763
8		5	Будівля ЦТНС	33,62192	17,5164256	37,91119452	32,24192	16,6608256	36,29221011
9		6	Ковальсько-пресова дільниця	375,75936	427,9765248	569,525243	384,75936	438,5065248	583,3761543
10		7	Інструментальний цех	136,624	204,34832	245,8136556	115,624	168,01832	203,958489
11		8	Гальванічна дільниця	201,3408	167,576544	261,9542247	186,3408	154,376544	241,9814271
12		9	Експериментальний цех	99,6992	68,470656	120,9469355	91,6992	62,470656	110,9564155
13			Всього по ТП3	1584,80528	1414,32527	2124,128938	1482,42528	1318,96967	1984,254445
14	ТП4	10	Котельня	29,09792	18,9121056	34,70384253	27,49792	17,7121056	32,70862714
15		11	Цех товарів народного спожив	343,0784	185,523712	390,0279942	368,0784	201,023712	419,3950898
16		12	Насосна станція	9,576	6,42168	11,5298634	8,976	5,97168	10,78098038
17		13	Відділ головного механіка	127,856	84,41808	153,2108644	116,356	75,79308	138,8643572
18		14	Ливарний цех	819,39264	601,9388352	1016,727427	754,39264	553,1888352	935,4817704
19		15	Нафтова ловушка	8,18544	3,9037392	9,068660747	8,06544	3,8137392	8,921655064
20		16	Транспортна дільниця	14,94144	11,7528192	19,00987608	13,86144	10,4892192	17,38284322
21		17	Компресорна станція	24,70656	17,3438208	30,18645768	23,02656	16,0838208	28,087573
22		18	Газорозподільний пункт	2,34048	1,0664064	2,57197769	2,25048	1,0232064	2,472167383
23			Всього по ТП4	1379,17488	931,2811984	1664,153845	1322,50488	885,0993984	1591,357943

Рисунок 1.4 - Розподіл об'єктів проектування заводу між чотирма ЦТП

Використовуємо електронний процесор EXCEL для автоматичного рішення задачі вибору оптимальної потужності трансформаторів ЦТП за критерієм зведених витрат та можливості подальшого розвитку виробничих потужностей заводу:

1) коефіцієнт, який враховує ефективність капіталовкладень в об'єкти СЕП $E_c=0,1$;

2) Амортизаційні відрахування трансформаторних підстанцій $E_a=0,066$;

3) Значення ефективної температури приймаємо: $\theta_e = \theta + \Delta\theta = 10,7 + 6 = 16,7^\circ\text{C}$;

- коефіцієнт навантаження ТП для нормального режиму роботи: $k_n=0,91$, так як трансформатори розміщені в приміщенні.

4) коефіцієнт навантаження, який враховує особливості роботи в післяаварійному режимі:

- для даного регіону максимальна температура навколишнього середовища приймається $\approx 30^\circ\text{C}$;

- коефіцієнт навантаження трансформаторів під час післяаварійного режиму роботи приймається $k_{па}=1,3$ згідно [8].

5) Для СЕП заводу можливим є відключення 20% навантаження споживачів, тому коефіцієнт $k_{ппа}=0,8$ для післяаварійного режиму роботи.

Всі формули, необхідні для побудови математичної моделі [3] вибору потужності трансформатора, наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 Формули для визначення оптимальної потужності трансформаторів

Назва параметра	Формула
Річні приведені затрати в ТП, грн	$Z(S_T) = B_{ТП}(S_{ТП}) + B_B(S_{ТП});$ $Z(S_T) = (E_a + E_e) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
Вартість річних втрат електроенергії, грн	$B_B(S_T) = [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{КЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
Річна приведена вартість капіталовкладень, грн	$B_{ТП}(S_{ТП}) = (E_a + E_e) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T)$
Обмеження, які накладаються на керовану змінну	$S_T \cdot k_T \cdot k_n \geq S_{ТП};$ $k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТП} \cdot k_{ппа}$
Втрати активної потужності, кВт	$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$
Втрати реактивної потужності, квар	$\Delta Q_{тр} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$

Результат автоматизованого вибору являється проектне рішення по застосуванню для ЦТП 1-4 комплектних ТП з трансформаторами 2х1600 кВА [11].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ТП1 за мінімумом затрат														
2	Дані нормального режиму														
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	2428,819			
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	2231,638			
5	Кількість трансформаторів										kt=	2			
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	0,91			
7	Дані післяаварійного режиму														
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійному режимі										kpa=	1,3			
9	Доля навантаження в п.а. режимі										knpa=	0,8			
10	Економічні характеристики														
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo=	22679,3			
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1			
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea=	0,036			
14															
15	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPxx, кВт	Kтп, тис. грн.	E*К, тис. грн.	dPзм, кВт	dPнс, кВт	dP, кВт	Vв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2
16		63	1,28	0,24	209,28	28,46208	951,2376	0,48	951,7176	21584,29	---	---	---	---	---
17		100	1,97	0,33	259,42	35,28112	581,0672	0,66	581,7272	13193,17	---	---	---	---	---
18		160	3,1	0,51	297,134	40,41022	357,1757	1,02	358,1957	8123,627	---	---	---	---	---
19		250	4,2	0,74	376,159	51,15762	198,2118	1,48	199,6918	4528,869	---	---	---	---	---
20		400	5,9	0,95	496,386	67,5085	108,7658	1,9	110,6658	2509,822	---	---	---	---	---
21		630	8,5	1,31	636,887	86,61663	63,16812	2,62	65,78812	1492,029	---	---	---	---	---
22		1000	10,5	2,1	936,3536	127,3441	30,97059	4,2	35,17059	797,6443	---	---	---	---	---
23	V	1600	18	2,8	1377,542	187,3457	20,73923	5,6	26,33923	597,3553	784,701	V	+	+	+
24		2500	23,5	3,85	1493,518	203,1184	11,09042	7,7	18,79042	426,1536	799,272		+	+	+
25										Змін=	784,701				
26							Опт. Пот. Трансформатора			St*=	1600				

Рисунок 1.5 – Вибір потужності ТП1

В таблиці 1.7 представлені результати вибору оптимальної потужності ТП.

Таблиця 1.7 – Оптимальні потужності трансформаторних підстанцій

№ ТП	Марка ТП	Потужність, кВА	Кількість ТП	Доля нав. в п.а.
ТП-1	ТМ - 1600	1600	2	0,8
ТП-2	ТМ - 1600	1600	2	0,8
ТП-3	ТМ - 1600	1600	2	0,8
ТП-4	ТМ - 1600	1600	2	0,8

Проектування або впровадження надійної та економічної конфігурації схеми електропостачання на етапі капітального ремонту, сучасного і дуже економічного способу передачі електроенергії від джерела вироблення до вузла споживання, що забезпечує реалізацію балансу реактивної потужності і можлива мінімізація втрат досягається шляхом оптимізації методів при проектуванні СЕП [1,10].

1.7 Визначення оптимального перерізу лінії живлення

СЕП заводу доцільно під'єднати до підстанції 35/10, яка знаходиться на відстані 2.8 км від заводу. На території підприємстві встановлюємо ГПП 35/10 кВ з двома секціями розподільних шин.

За допомогою лектронної таблиці для вибору оптимального перерізу зовнішньої лінії живлення, яка містить у собі стандартні перерізи ПЛ, та допустимі для них струми Здійснюємо вибір оптимального перерізу зовнішньої ПЛ, що показано на рисунку 1.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Початкові дані																			
2	Економічні характеристики																			
3	Питома вартість втрат, грн/кВт					В ₀ = 22679,29857					Поправочні коефіцієнти									
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень					Е _е = 0,1					Коефіцієнт середовища					1				
5	Коефіцієнт вирахувань на амортизацію					Е _а = 0,03					Коефіцієнт прокладки					1				
6	Нормальний режим																			
7	Максимально доп. коефіцієнт навантаження в н.режимі					К _{доп} = 1					к _{доп} = 1									
8	Напруга, кВ					U _н = 35														
9	Довжина ПЛ, км					l= 2,900														
10	Активна розрахункова потужність, кВт					P= 6245,028314														
11	Реактивна потужність, квар					Q= 6182,998014														
12	Розрахунковий струм окремого кабелю, А					I _л = 253,689185														
13	Кількість ПЛ					k= 2														
14	Мінімально допуст. переріз ПЛ за умовою механ. міцності					F _{мех} = 70														
15	Допустима втрата напруги в ПЛ, %					ΔU _{доп} = 5														
16	Аварійний режим																			
17	Струм КЗ на початку лінії, кА					I _{кз} = 1,439377402														
18	Приведений час КЗ, с					t _п = 1,5														
19	Тепловий коефіцієнт C, (A°c°(1/2))/мм²					C = 90														
20	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм²					F _{кз} = 19,58744546														
21	Після аварійний режим																			
22	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження					K _{пл} = 1														
23	Доля навантаження в післяаварійному режимі					K _{пл} = 0,8														
24	Допустима втрата напруги в ПЛ, %					ΔU _{доп} = 5														
25																				
26																				
27	F, мм²	R ₀ , Ом/км	X ₀ , Ом/км	I _{доп} , А	δU _н , %	δU _{па} , %	K ₀ , тис.грн/км	dP, кВт	K	E*K, т.грн	B _в , т.грн	З, т.грн	Доп	K _{доп} *I _{доп} >= I _л	K _{пл} *K _{доп} >= K _{пл} *I _л *K _л	ΔU _н <= ΔU _{доп}	ΔU _{па} <= ΔU _{падоп}	F >= F _{мех}	F >= F _{кз}	
28	10	2,766	0,4123	84	2,34641549	3,754264785	51,3172	3097,47	148,82	19,34667	70248,5	-	недоп	-	-	+	+	-	-	
29	16	1,801	0,3986	111	1,623033098	2,596852957	57,8354	2016,83	167,72	21,80404	45740,2	-	недоп	-	-	+	+	-	-	
30	25	1,176	0,3855	142	1,151438595	1,842301752	59,5467	1316,93	172,69	22,4492	29867	-	недоп	-	-	+	+	-	+	
31	35	0,79	0,3731	175	0,857068624	1,371309798	61,694	884,672	178,91	23,25874	20063,7	-	недоп	-	-	+	+	-	+	
32	50	0,603	0,3648	210	0,712703299	1,140325279	65,509	675,262	189,98	24,697	15314,5	-	недоп	-	-	+	+	-	+	
33	70	0,428	0,354	265	0,575448563	0,920711701	70,7519	479,29	205,18	26,67358	10870	-	недоп	+	-	+	+	+	+	
34	95	0,31	0,3434	330	0,480456236	0,768729978	77,1066	347,15	223,61	29,06931	7873,11	-	недоп	+	-	+	+	+	+	
35	120	0,25	0,3359	390	0,430656179	0,689049887	82,0661	279,959	237,99	30,93905	6349,28	-	недоп	+	-	+	+	+	+	
36	150	0,199	0,3296	450	0,388359724	0,621375559	89,4345	222,848	259,36	33,71695	5054,03	5087,7	доп	+	+	+	+	+	+	
37	185	0,158	0,3226	520	0,35288611	0,564617776	92,6718	176,934	268,75	34,93742	4012,75	4047,7	доп	+	+	+	+	+	+	
38	240	0,122	0,3139	605	0,319897936	0,511836698	117,0878	136,62	339,56	44,14229	3098,45	3142,6	доп	+	+	+	+	+	+	
39	300	0,099	0,3073	710	0,29805701	0,476891216	125,1538	110,864	362,95	47,18319	2514,32	2561,5	доп	+	+	+	+	+	+	
40	мін затрати										2561,5									
41	Опт. Переріз ПЛ										300									
42	R _{опт} =										0,099									
43	X _{опт} =										0,3073									

Рисунок 1.6 – Вибір оптимального перерізу зовнішньої ПЛ

Для зовнішньої лінії живлення доцільно вибрати повітряну лінію марки АС перерізом 300 мм², при цьому мінімальне значення приведених затрат становлять 2561,5 тис. грн.

Для живлення ТП на стороні 10 кВ доцільно використати броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвЭгаПу-10 прокладання яких здійснено в траншеях.

Визначаємо значення розрахункових струмів для вибору ліній живлення:

а) ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2428,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 85,9 \text{ (А)},$$

$$I_{pa} = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2428,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 171,8 \text{ (A)},$$

б) ТП2:

$$I_p = \frac{2573,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 91,0 \text{ (A)},$$

$$I_{pa} = \frac{2573,9}{\sqrt{3} \cdot 10} = 182,0 \text{ (A)},$$

в) ТП3:

$$I_p = \frac{2124,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 75,1 \text{ (A)},$$

$$I_{pa} = \frac{2124,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 150,2 \text{ (A)},$$

г) ТП4:

$$I_p = \frac{1664,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 58,8 \text{ (A)},$$

$$I_{pa} = \frac{1664,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 117,6 \text{ (A)},$$

$$I_{max} = \frac{1,3 \cdot S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,3 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 120,1 \text{ (A)}.$$

Живлення ТП виконано КЛ типу АПвЭгаПу-10 перерізом $3 \times 95 \text{ мм}^2$ з $I_{доп} = 221 \text{ А}$ [11].

Аналогічно виконуємо розрахунок та вибір КЛ для усіх інших під'єднань на напрузі 10 кВ. Результат даного розрахунку та вибору представлено в таблиці 1.4.

Найбільший робочий струм наявний на ТП-2, тому проводимо вибір та перевірку КЛ для живлення даного вузла навантаження:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}, \quad (1.10)$$

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує температуру навколишнього середовища;
 k_2 - коефіцієнт, що характеризує глибину прокладення кабелів в землі;
 k_3 - коефіцієнт, що характеризує питомий термічний опір ґрунту;
 k_4 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в землі;
 k_5 - коефіцієнт враховує кількість паралельно прокладених кабелів в повітрі;
 k_6 - коефіцієнт, що характеризує вплив перерізу екрана.

$$182,0 \text{ (A)} \leq 1,04 \cdot 0,95 \cdot 1,18 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,96 \cdot 221 = 210,2 \text{ (A)}.$$

Отже за попередньою перевіркою за величиною розрахункового струму обрані КЛ проходять. Окрім цього необхідно провести перевірку КЛ на термічну стійкість до струмів КЗ [13].

1.8 Вибір високовольтного захисного обладнання

Все електрообладнання підбирається відповідно до характеру установки, номінальним струмом і напругою, і відповідно до всіх раніше встановлених стандартів використання електрообладнання необхідно провести теплові і динамічні перевірки в умовах роботи в СЕП заводу.

$$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.мережі}}, \quad (1.11)$$

$$I_{\text{ном.в}} \geq I_{\text{max}}, \quad (1.12)$$

На стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВРС-10 [12]. Значення номінального струму даних силових вимикачів $I_{\text{ном.в}} = 630 \text{ A} > I_{\text{м.ав}}$ для всіх приєднань до ЦРП. Обрані високовольтні електричні апарати наведені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 Вибір високовольтного обладнання СЕП

Лінія	I_p , А	$I_{па}$, А	Вимикач	$I_{\text{ном}}$, А	Провідник	S , мм ²	$I_{\text{доп}}$, А
С-ГПП	69,7	139,4	ВГБ-35-12,5/1000	1000	АС	3×300	710
ГПП-ТП-1	85,9	171,8	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвЭгаПу-10	3×95	221
ГПП-ТП-2	91,0	182,0	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвЭгаПу-10	3×95	221
ГПП-ТП-3	75,1	150,2	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвЭгаПу-10	3×95	221
ГПП-ТП-4	58,8	117,6	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПвЭгаПу-10	3×95	221

1.9 Перевірка вибраного електрообладнання

З метою перевірки раніше обраних силових вимикачів та ліній живлення необхідно здійснити розрахунок струмів КЗ [13]. Розрахункова схема представлена на рисунку 1.7.

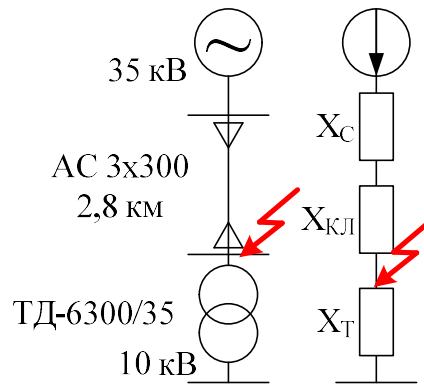


Рисунок 1.7 – Розрахункова та заступна схеми

Формули згідно [13] та результати розрахунку наведені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Розрахунок струмів КЗ в точці К

Назва параметра	Формула	Розрахунок
Опір системи, Ом	$X_c = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot I_k}$	$X_c = \frac{37 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6329} = 3,375$
Опір лінії живлення, Ом	$X_{л} = X_0 l \left(\frac{U_{с.н.}}{U_{с.н.л}} \right)^2$	$X_{л} = 0,099 \cdot 2,8 \cdot \left(\frac{37}{35} \right)^2 = 0,31$
Сумарний опір від системи до точки К, Ом	$X_{\Sigma} = X_c + X_{л}$	$X_{\Sigma} = 3,375 + 0,31 = 3,685$
Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА	$I_{п0} = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}}$	$I_{п0} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 3,685} = 5,797$
Постійна часу затухання аперіодичної складової струму, с	$T_{ac} = \frac{X_{\Sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\Sigma}}$	$T_{ac} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032$
Час вимкнення КЗ, с	$t_{вим} = t_{pz.min} + t_{в.в.}$	$t_{вим} = 0,5 + 0,1 = 0,6$
Аперіодична складова струму КЗ	$i_{ат.C} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{\frac{-t_{вим}}{T_{ac}}}$	$i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 5,797 \cdot e^{\frac{-0,6}{0,032}} = 0,94$
Ударний струм КЗ, кА	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{\frac{-\tau}{T_{ac}}} \right)$	$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,797 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,032}} \right) = 14,1$
Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$	$B_k = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac})$	$B_k = 5,797^2 \cdot (0,6 + 0,032) = 21,2$

Здійснюємо перевірки згідно [12] раніше обраних вимикачі типу ВРС-10 на необхідні параметри роботи, а результати даної перевірки представимо в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Формули для перевірки обраного типу вимикачів

ГПП - 35 кВ	ВГБ-35-12,5/1000	D BF-35/4000 T1
$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 0,022 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 4000 \text{ А}$
$I_{\text{п.}\tau} = 5,797 \text{ кА}$	$I_{\text{відк.НОМ}} = 50 \text{ кА}$	-
$i_{\text{а.}\tau} = 0,94 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{відк.НОМ}} \cdot \beta_{\text{н}} =$ $= \sqrt{2} \cdot 50 \cdot 0,33 = 23,3 \text{ кА}$	-
$I_{\text{п.0}} = 5,797 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$	-
$i_{\text{y}} = 14,1 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 160 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 160 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 21,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 512 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Отже необхідні умови перевірки силових вимикачів виконуються.

Переріз ПЛ за термічною стійкістю до дії струмів КЗ [4]:

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_{\text{к}} \sqrt{t_{\text{вим}}}}{C_{\text{т}}}; \quad (1.13)$$

$$s = 300 \left(\text{мм}^2 \right) \geq s_{\min} = \frac{5,797 \sqrt{0,6}}{94} = 151,1 \left(\text{мм}^2 \right).$$

Таким чином, вибрані ПЛ умовам термічної стійкості до дії струму КЗ задовольняють.

1.10 Вибір місця розташування ЦРП

ТП заводу отримують живлення від ГПП 35 кВ, тому ГПП доцільно розташувати в центрі енергетичних навантажень, що дозволить уникнути додаткових втрат викликаних перетоком потужності.

В якості керуючої змінної для вирішення даної задачі доцільно взяти координати місцезнаходження ГПП - (x_0, y_0) .

Показником ефективності проектного рішення необхідно взяти вартість СЕП.

Для рішення цієї задачі використовуємо наступну математичну модель яка наведена в [3]:

$$Z(x_0, y_0) = \left[(E_e + E_{аж}) \cdot (a_{ж} + K_0(F_{ж})) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_{ж}) \cdot B_0 \right] \cdot k_{ж} \cdot L_{ж} + \\ + \sum_{i=1}^n \left[(E_e + E_a) \cdot (a + K_0(F_i)) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_i) \cdot B_0 \cdot k_i \right] \cdot L_i \rightarrow \min, \quad (1.14)$$

$$X_{\min} \leq X_0 \leq X_{\max},$$

$$Y_{\min} \leq Y_0 \leq Y_{\max}.$$

де $Z(x_0, y_0)$ - річні приведені затрати;

$K_0(F_i)$ - питома вартість КЛ перерізом F_i ;

I – струм окремої лінії;

B_0 - питома вартість втрат активної потужності грн/кВт;

E_a - Коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$F_{ж}$ - переріз живлячої кабельної лінії;

F_i - переріз i -тої кабельної лінії;

L_i - довжина i -тої розподільної лінії;

$X_0; Y_0$ - координати центру мережі;

Таблична форма в якій автоматизовано процес вибору ЦМ за мінімумом річних приведених затрат наведена на рисунку 1.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Технічні характеристики мережі											
2	Напруга зовнішньої лінії живлення, кВ									U _ж =	10	
3	Метрика зовнішньої лінії (Е чи НЕ)									МетрикаЖ =	Е	
4	Метрика розподільної мережі (Е чи НЕ)									МетрикаР =	НЕ	
5												
6	Економічні характеристики мережі											
7	Питома втрата, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км									a=	7	
8	Питома втрата, які не залежать від перерізу зовнішньої ПЛ тис.грн/км									аж=	10	
9	Питома вартість втрат, грн/кВт									B ₀ =	22679,30	
10	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень									E _е =	0,1	
11	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію									E _а =	4,00%	
12	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію живлячої лінії									E _{аж} =	3,00%	
13												
14												
15	Лінії живлення	X, м	Y, м	F, мм ²	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	R ₀ , Ом/км	K ₀ , т.грн/км	L, м	З, тис. грн
16	ЖЛ	226	294	300	2	2118,96	2085,00	85,82	0,099	125,1538	100,01	11,679
17	ТП1	203	210	95	2	456,5289	384,9149	17,24	0,326	322,356	77,18	8,059
18	ТП2	280	180	95	2	524,8244	619,693	23,44	0,326	322,356	29,82	3,448
19	ТП3	386	132	95	2	608,4044	750,1084	27,88	0,326	322,356	183,82	23,110
20	ТП4	428	256	95	2	610,5976	516,0199	23,08	0,326	322,356	194,18	22,305
21						Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.						68,601431
22					Координати ЦЕМ, м				X ₀ =	280	Y ₀ =	210

Рисунок 1.8 – Находження координат ЦЕН

Мінімальним затратам будуть досягатися при розміщені ГПП в координатах: $x=280$ м; $y=210$ м а затрати рівні 68,601 тис. грн.

На рисунку 1.9 наведено генплан заводу з ГПП, ТП та РП та лініями живлення.

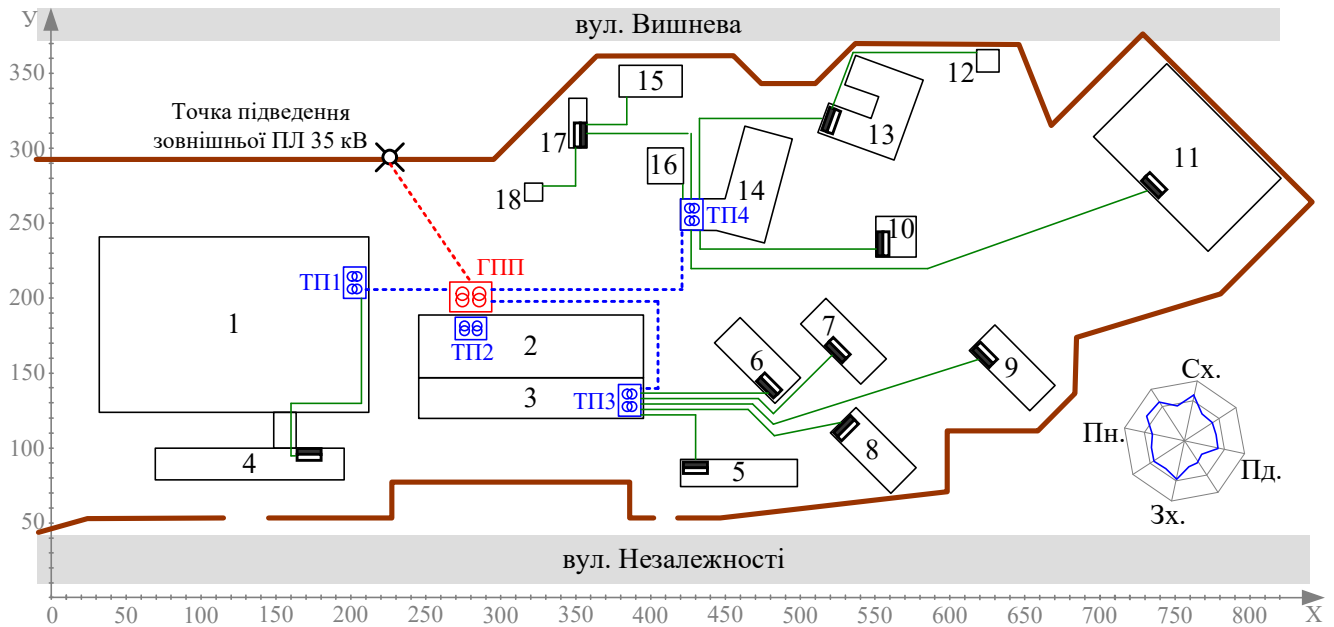


Рисунок 1.9 – Розміщення ГПП та ЦТП

1.11 Релейний захист та автоматика

Струмова відсічка (СВ). Розглянемо захист КЛ 10 кВ ділянки ГПП-ТП1.

СВ виконується зі струмовими реле типу РТ-40 КА1 і КА2 [10]:

$$I_{\text{св}} = k_{\text{нКЛ}} \cdot k_{\text{нТр-р}} \cdot I_{\text{к max ВН}}^{(3)} = k_{\text{нКЛ}} \cdot k_{\text{нТр-р}} \cdot \frac{100}{U_{\text{кТр-р}}} \cdot I_{\text{ном.Тр-р}}, \quad (1.15)$$

де $I_{\text{к max ВН}}^{(3)}$ – значення струму трифазного КЗ;

$k_{\text{н}}$ – коефіцієнт надійності: 1,3—1,4 – для реле двного типу;

$$I_{\text{св}} = 1,3 \cdot 1,3 \cdot \frac{100}{5,5} \cdot 37,17 = 1183 \text{ (А)},$$

Струм спрацювання реле буде визначатися за наступним відношенням:

$$I_{cp} = \frac{I_{cb}}{n_{TC}} = \frac{1183}{20} = 59,15 \text{ (A)},$$

де n_{TC} – коефіцієнт трансформації ТС який рівний 100/5 відповідно паспортних даних.

Доцільно обрати реле типу РТ-40/200 у якого, межі уставок струму спрацьовування реле 100—200 А.

Витримка часу вибирається за умовами селективності:

$$t_{сзКЛ} = t_{свТр-р} + \Delta t' = 0,0 + 0,5 = 0,5(\text{с}).$$

Реле часу доцільно обрати типу ЕЧ-114 з межею 0,1 –1,3 с.

Визначимо струм трифазного КЗ:

$$I_{K3} = \frac{1,05 \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (1.16)$$

де U – напруга, кВ;

Z – повний сумарний опір живлячої лінії та системи, Ом.

$$Z = \sqrt{R_{л}^2 + (X_{л} + X_{г})^2}, \quad (1.17)$$

$$X_{г} = \frac{x_d'' \cdot U_{cp}^2}{S_{ном.г}}, \quad (1.18)$$

$$X_{г} = \frac{0,121 \cdot 6,3^2}{7,5} = 0,64 \text{ (Ом)},$$

$$Z = \sqrt{0,024^2 + (0,0047 + 0,64)^2} = 0,645 \text{ (Ом)},$$

$$I_{K3} = \frac{1,05 \cdot 6300}{\sqrt{3} \cdot 0,645} = 5959 \text{ (A)},$$

$$k_{ч} = \frac{I_{к}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{0,865 \cdot 5959}{1183} = 4,35 > 1,5.$$

Максимальний струмовий захист (МСЗ). Схема МСЗ приймається двофазною з трьома реле типу РТ40 (КА1, КА2, КА3).

Уставка по струму для реле даного типу вибирається з наступних умов:

а) неспрацьовування захисного апарату під час післяаварійних перевантаженнях:

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{сзп} \cdot I_{роб\max}}{k_{пов}} \quad (1.19)$$

$$I_{сз} = \frac{1,3 \cdot 3,0 \cdot 1,4 \cdot 72,83}{0,8} = 497,06 \text{ (A)}.$$

б) за умовами селективності з попереднім захистом:

$$I_{сз} = k_{нс} \cdot I_{сзТр} = 1,3 \cdot 497,03 = 646,18 \text{ (A)}.$$

Приймається уставка $I_{сз} = 646,18 \text{ (A)}$.

в) визначається чутливість захисту при двофазному КЗ:

$$k_{ч} = \frac{I_k^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{0,865 \cdot 5959}{646,18} = 7,97 > 1,5.$$

г) струм спрацьовування реле:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_{ТС}} = \frac{646,18}{20} = 32,3 \text{ (A)},$$

Доцільно взяти реле типу РТ 40/100.

д) час спрацьовування захисту:

$$t_{сзКЛ} = t_{сзМСЗтр} + \Delta t' = 1,2 + 0,4 = 1,6 \text{ с}.$$

Приймається реле часу типу ЕТ-124 з межами уставок 0,25—3,5с.

Захист від однофазних замикань на землю

У мережі з ізольованою нейтраллю струм замикання на землю рівний:

$$I_3^{(1)} = 3 \cdot I_{0c} = \frac{U_{мф} \cdot l}{10}. \quad (1.20)$$

Струм замикання кабельної лінії:

$$I_{\text{КЛ}} = 3 \cdot I_{\text{ОКЛ}}^{(1)} = \frac{k_{\text{рем}} \cdot U_{\text{мф}} \cdot l}{10} = \frac{0,54 \cdot 10 \cdot 0,02}{10} = 0,0108 \text{ (A)}.$$

Струм замикання на землю всієї кабельної мережі 10 кВ:

$$3I_{\text{ОКЛмережі}}^{(1)} = \frac{k_{\text{рем}} \cdot U_{\text{мф}} \cdot l}{10} = \frac{0,54 \cdot 10 \cdot 0,055}{10} = 0,03 \text{ (A)},$$

Струм спрацьовування захисту:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{відл}} \cdot k_{\text{стр}} \cdot 3I_{\text{ОКЛ}}^{(1)}}{10} = \frac{1,1 \cdot 4 \cdot 0,03}{10} = 0,0132 \text{ (A)},$$

де $k_{\text{відл}}$ – коефіцієнт відлаштування, береться в межах 1.1—1.2;

Коефіцієнт чутливості:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{ОКЛмережі}}^{(1)} - 3I_{\text{ОКЛ}}^{(1)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{0,03 - 0,0108}{0,0132} = 1,45 > 1,25.$$

Отже для захисту лінії 10 кВ обрано всі необхідні захисні апарати.

1.12 Висновки до розділу 1

Для оптимізації процесу електроспоживання на ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» доцільно виконати наступні проектні рішення:

- кількість ТП для енергоефективного електропостачання повинна бути рівна чотирьом, а потужність та тип трансформаторів ТМ 2х1600/10;
- переріз зовнішньої повітряної лінії повинен бути 3×300 мм², повітряною лінією типу АС на напрузі 35 кВ. Для живлення ТП оптимальним рішенням буде використання кабелів типу АПвЭгаПу-10 з перерізом ліній 3×95 мм²;
- також в цьому розділі був проведений аналіз і вибір типу захисту електрообладнання в аварійному режимі роботи.

Отже в цілому для заводу розроблено систему електропостачання, що відповідає сучасним стандартам і оптимальна з точки зору економічних показників

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНИХ ТЕРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ

2.1 Установки дугового електрозварювання (УДЕ)

З точки зору споживання УДЕ є електропримачами змінного струму, що працюють в повторно-короткочасному режимі [14].

Особливостями УДЕ є поштовхи струму $I_{зб}$ під час збудження дуги, широкі межі зміни зварювального струму дуги I_d та тривалостей увімкнення $TU_{зб}$ та TU_d . Для випрямних зварювальних агрегатів (ВЗА) із зовнішньою полого спадною характеристикою:

$$I_d = (0,6 \dots 0,65) I_{дк}, \quad (2.1)$$

де $I_{дк}$ – струм у разі КЗ електродів.

Для дуги з круто спадною характеристикою:

$$I_d = (0,2 \dots 0,65) I_{дк}. \quad (2.2)$$

Тривалість циклу $t_{ц}$ має бути обмеженою. Тому в паспорті УДЕ обов'язково наводиться максимальна величина циклу $t_{ц}$.

Для ручного дугового електрозварювання беруть загальну тривалість увімкнення $TU = TU_{зб} + TU_d = 60 \% (t_{зв} = 3 \text{ хв.}; t_{ц} = 2 \text{ хв.}; t_{д} = 5 \text{ хв.})$.

Основними електромагнітними завадами, які створюють УДЕ, є ВГ струму. Установки дугового електрозварювання змінного струму генерують 3-ю, 5- у і 7-у ВГ. Їх струми розраховують за формулою:

$$I_{(n)c} = \frac{S_{пасп} \cdot K_3 \sqrt{TU_{\phi}}}{U_{ном} \cdot n^2}. \quad (2.3)$$

де $S_{пасп}$ – паспортна повна потужність УДЕ; K_3 - коефіцієнт його завантаження; TU_{ϕ} – фактична тривалість увімкнення.

Зварювальні машини постійного струму і ВЗА, що мають трифазну схему випрямлення, генерують 5-у, 7-у і 11-у ВГ. Діючі значення окремих ВГ для них розраховують за виразом [15]:

$$I_{(n)c} = \frac{S_{\text{пер}} \cdot K_3 \sqrt{TU_{\Phi}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n} \quad (2.4)$$

де $S_{\text{пер}}$ – потужність перетворювача.

Для КРП в цехах з різкозмінним навантаженням застосовують конденсаторні установки з тиристорними ключами. До таких відносять також цеха з великою кількістю установок для дугового електрозварювання.

Для КРП можуть використовуватися індивідуальні установки паралельної та поздовжньої компенсації (для потужних УДЕ) або групові установки паралельної компенсації (для великої кількості УДЕ малої потужності). В останньому випадку одночасно можуть частково вирішуватися проблеми КРП та симетрування ЕН.

Крім того, зварювальні пости повинні оснащуватись фільтро-компенсуючими пристроями ФКП – для забезпечення на межі балансової належності ПЯЕЕ, згідно з нормами [16].

2.2 Загальний аналіз динамічної компенсації реактивної потужності

Динамічна компенсація реактивної потужності - це тип корекції коефіцієнта потужності, який використовується для запобігання коливанням напруги в мережах з навантаженнями, що змінюються.

Принцип динамічної компенсації полягає в тому, що разом з нерегульованою конденсаторною батареєю використовується електронний компенсатор реактивної потужності, що забезпечує випередження або запізнення реактивних струмів щодо напруги. В результаті виходить швидкодіюча компенсація, що змінюється, добре підходить для таких навантажень, як ліфти, дробарки, апарати точкового зварювання і т. д.

Пристрої динамічної компенсації належать до керованих систем передачі змінного струму (FACTS) [17].

Керована система передачі змінного струму також гнучка система передачі змінного струму (англ. Flexible alternating current transmission system, FACTS [17]) -

це система, яка використовується для передачі змінного струму, як правило, в таких системах застосовується силова електроніка.

Принцип застосування пристроїв FACTS полягає в тому, що вони трансформують електричну мережу з неактивного пристрою транспорту електроенергії на активний пристрій, який бере участь в управлінні режимами роботи СЕП. Це дозволяє відповідно темпу процесу технологічного управління змінювати пропускну здатність ПЛ, найбільш оптимально перерозподіляючи між паралельними ПЛ перетікання активної потужності. У післяаварійних режимах це дозволяє розподіляти потужність по неушкодженим після аварії ПЛ, не порушувати стійкість і забезпечувати тим самим підвищення надійності електропостачання споживачів.

Класифікація пристроїв FACTS наведена малюнку 2.1 [17].

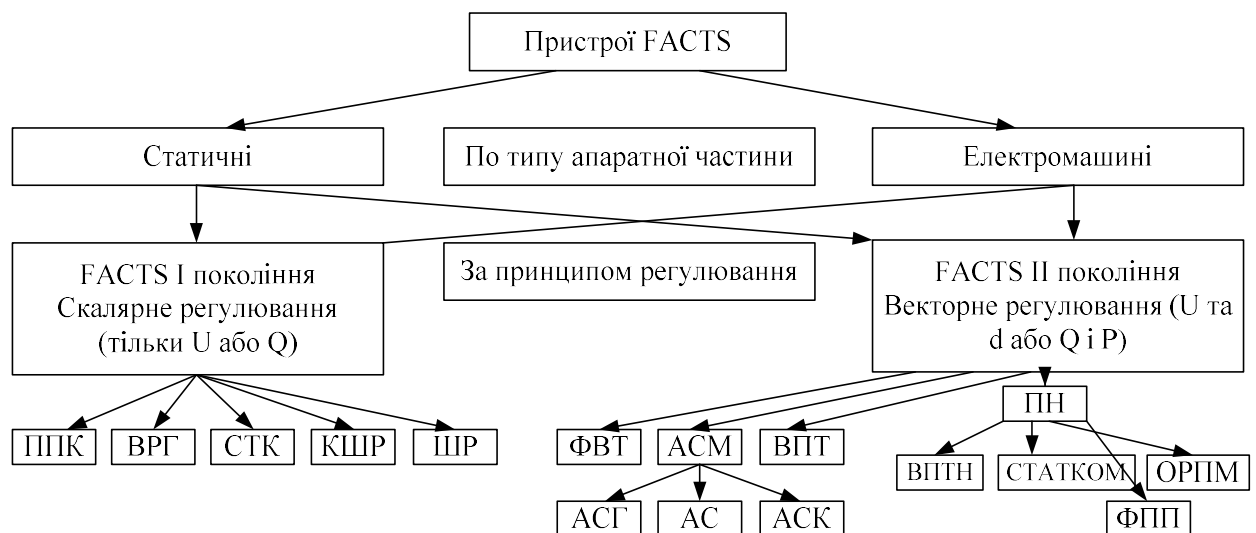


Рисунок 2.1. Пристрої FACTS та їх ієрархія

Пристрої FACTS за принципом дії поділяються на:

1. Статичні – пристрої FACTS, які не мають рухливих елементів. До цього типу пристроїв відносяться:

БСК – батареї статичних конденсаторів;

ШР - шунтуючі реактори, що забезпечують ступінчасте регулювання реактивної потужності;

ППК - пристрої поздовжньої компенсації;

ВРГ - реакторні групи, що комутуються вакуумними вимикачами;

КШР - керовані шунтуючі реактори;

СТК – статичні тиристорні компенсатори, являються динамічним компенсаторами РП;

СТАТКОМ – статичні компенсатори реактивної потужності, виконані з урахуванням сучасної силової електроніки.

2. Електромашинні – пристрої FACTS, основу яких лежать електричні машини. До цього типу пристроїв відносяться:

СК – синхронні компенсатори;

АСК – асинхронізовані компенсатори.

Прилади, що застосовуються для послідовної компенсації:

- статичний синхронізований послідовний компенсатор (SSSC);

- конденсатори, контрольовані тиристорами (TCSC): кілька конденсаторів, шунтуватися котушкою, яка управляється тиристорами

- котушки, керовані тиристорами (TCSR): кілька котушок, шунтуватися котушкою, яка управляється тиристорами;

- конденсатори, що перемикаються тиристорами (TSSC): кілька конденсаторів, шунтуватися котушкою, яка перемикається тиристорами;

- котушки, що перемикаються тиристорами (TSSR): кілька котушок, шунтуватися котушкою, яка перемикається тиристорами.

Гнучка система передачі змінного струму при послідовному включенні змінює імпеданс лінії: X знижується, а передана активна потужність підвищується
 рисунок 2.2.

$$P = \frac{2 \cdot V^2}{X} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right); \quad (2.5)$$

$$Q = \frac{4 \cdot V^2}{X} \left[1 - \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \right]; \quad (2.6)$$

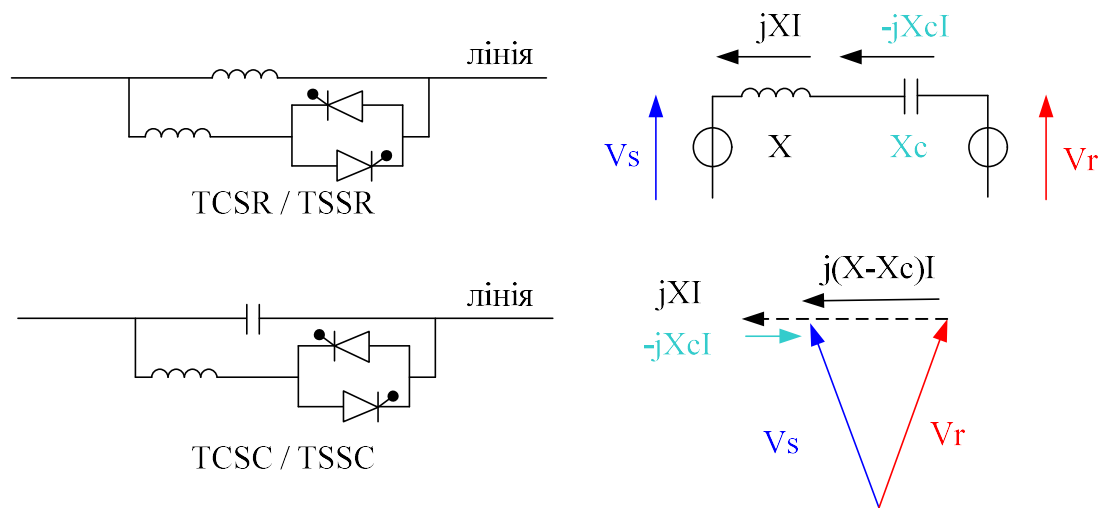


Рисунок 2.2 – Пристрої послідовної компенсації

Прилади, що застосовуються для паралельної компенсації:

- статичний синхронізований компенсатор (STATCOM);
- статичний компенсатор реактивної потужності (SVC). Як правило, складаються з:
 - котушки, керованої тиристором (TCR): котушка підключається послідовно з тиристорами, включеними в обидві сторони. Тиристори є фазоуправляемими. Це дозволяє безперервно управляти реактивною потужністю;
 - котушки, що перемикаються тиристорами (TSR): схожий на TCR, однак тиристори можуть бути або повністю відкриті, або повністю закриті. Реактивна потужність можна регулювати із кроком;
 - конденсатори, що перемикаються тиристорами (TSC): конденсатор підключається послідовно з тиристорами, включеними в обидві сторони. Тиристори можуть бути або повністю відкриті, або повністю закриті. Реактивна потужність можна регулювати із кроком;
 - конденсатори, що перемикаються механічно (MSC): конденсатор перемикається механічним ключем.

Реактивний струм передається в лінію для підтримки значення напруги. Передана активна потужність зростає, але вона підтримується реактивною потужністю рисунок 2.3.

$$P = \frac{2 \cdot V^2}{X} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right); \quad (2.7)$$

$$Q = \frac{4 \cdot V^2}{X} \left[1 - \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \right]; \quad (2.8)$$

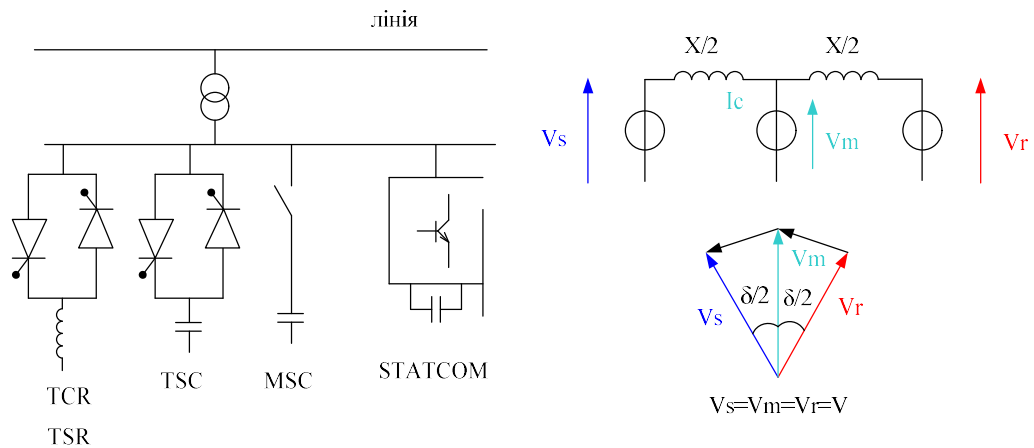


Рисунок 2.3 – Пристрої паралельної компенсації

Статичні конденсаторні установки реактивної потужності складаються з статичних компонентів (індуктивностей і ємностей), з швидкодіючим управлінням за допомогою напівпровідникових пристроїв (тиристорів). Перевагами статичних компенсаторів є більш низькі вимоги до технічного обслуговування (немає рухомих частин), просте трифазне або однофазне управління, інші опційні можливості управління, а також менша вартість при тих же номінальних параметрах. На рисунку 2.4 показано типовий пристрій статичного компенсатора [18].

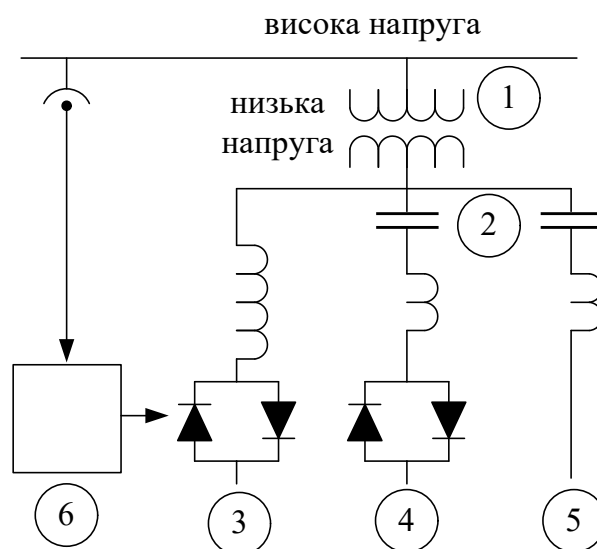


Рисунок 2.4 - Під'єднання статичної конденсаторної установки

Позначення на рисунку 2.4: 1 - понижаючий трансформатор; 2 - шина низької напруги; 3 - реактор із тиристорним керуванням; 4- конденсатор із тиристорною комутацією; 5 – ланцюг фіксованого фільтра; 6 – блок керування.

Вольт-амперна характеристика СТК має нахил, який визначається заданими умовами точності підтримки напруги і наявною потужністю компенсатора рисунок 2.5 [9].

Існує три робочі області, які визначають сталий режим роботи СТК^

1) Діапазон регулювання, в якому підтримується задана напруга в точці підключення СТК;

2) Область високої напруги - ВС. в цій області компенсатор працює в максимально індуктивному режимі, подібно до нерегульованого реактора;

3) область низької напруги - ОА. В цій області компенсатор працює в ємнісному режимі, наскільки це можливо, і подібний до нерегульованого БК. Варто зазначити, що в цьому режимі для КТК характерний від'ємний ефект регулювання напруги, притаманний БК [18].

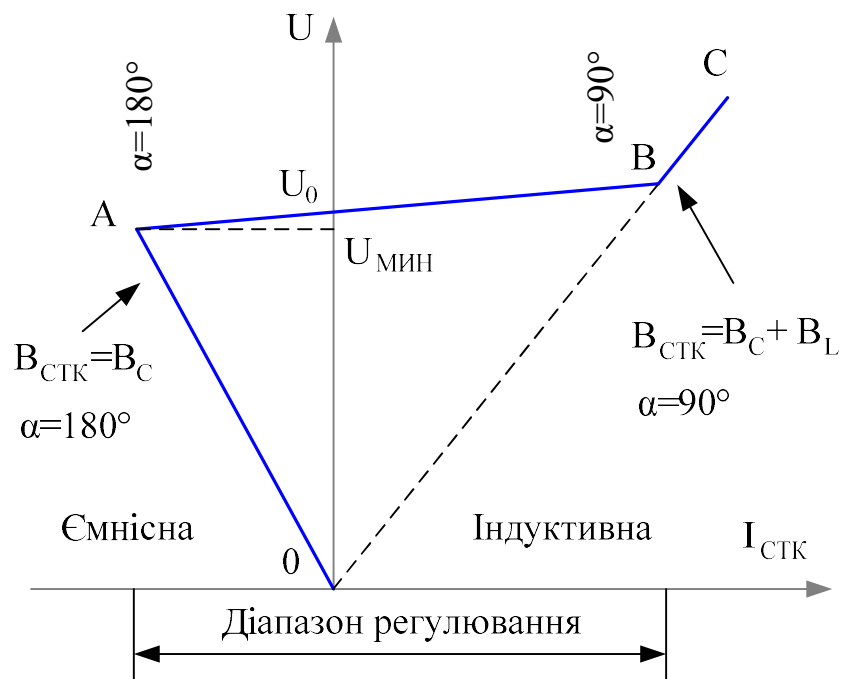


Рисунок 2.5 - Вольт-амперна характеристика СТК

Використання СТК в цілому збільшує надійність систем передачі змінного струму, а також знижує втрати при передачі енергії. Використання СТК покращує

якість передачі і підвищує ефективність передачі енергії шляхом подачі індуктивної або реактивної енергії в енергосистему [19].

2.3 Аналіз статичного тиристорного компенсатора

Статичний тиристорний компенсатор - це регульоване джерело реактивної потужності, підключене безпосередньо до шини споживача; реактивна потужність СТК генерується конденсатором фільтра високих частот і дорівнює максимальній реактивній потужності, необхідній споживачеві. Реактивна потужність регулюється стаціонарним тиристорним компенсатором, який контролює струм реактора і компенсує надлишок реактивної потужності в конденсаторі мережевого фільтра.

В [20] запропоновано компенсатор реактивної потужності, що складається з тиристорно-реакторної схеми ТРК, активного фільтра та регулятора Р (рис. 2.6).

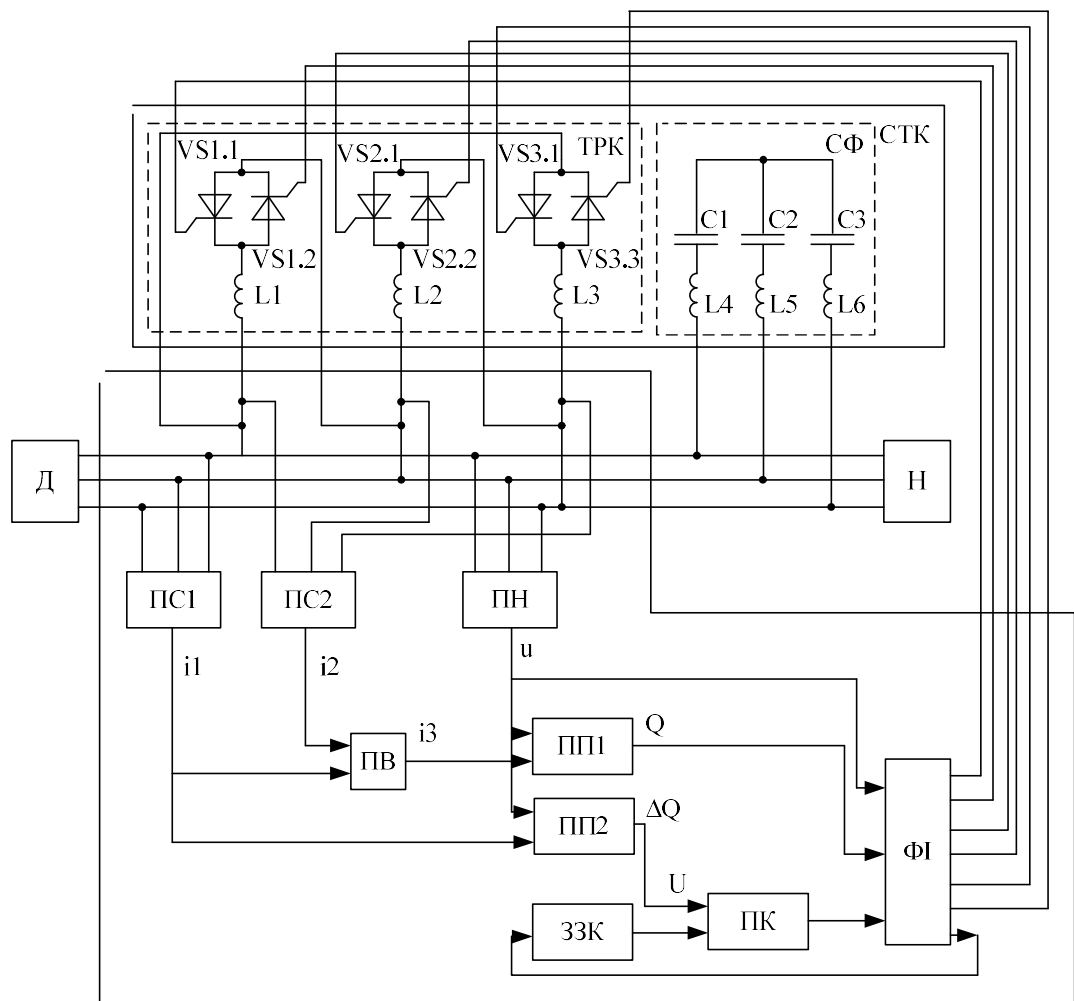


Рисунок 2.6 – Пристрій СТК

Тиристорно-реакторна схема КРП складається з послідовно з'єднаних дроселів $L1...L3$. $L3$ та обернено паралельно з'єднаних тиристорів $VS1... VS3$, які утворюють трикутну схему з'єднання. Трифазний силовий фільтр SF складається з послідовно з'єднаних конденсаторів $C1.... C3$ і фільтруючих реакторів $L4... L6$ утворюють три контури, з'єднані в конфігурації "зірка".

Пристрій СТК має контур керування тиристорно-реакторною групою компенсатора. Блок управління P складається з вимірювального каналу та системи імпульсного фазового керування. Вимірювальний канал складається з вимірювального перетворювача напруги VC , що містить три однофазні трансформатори напруги, двох вимірювальних перетворювачів струму. Система імпульсного фазового керування складається з компенсатора ПК, визначника зони регулювання ЗЗК і формувача трифазних імпульсів ФІ.

Робота пристрою полягає в наступному: кожен трифазний активний фільтр компенсатора СТК відводить струми вищих гармонік зі спектра навантаження N і тиристорно-електричного кола (ТРК) на частоті, на яку він налаштований, а конденсатори силового фільтра $C1...C3$ є джерелами реактивної потужності. СТК У компенсаторі кожна фаза тиристорно-реакторної схеми ТРК, $L1.... L3$ компенсуючого реактора, відповідний тиристор $VS1. VS3$ вмикаються, подається відповідна мережева напруга. Кут керування γ тиристорів розраховується від позитивного максимуму анодної напруги тиристора і змінюється від нуля до $\pi/2$.

$$Q = \frac{U_{\max}^2}{2\omega L} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{\pi} \right). \quad (2.9)$$

де $U_{\max}$ – значення амплітуди лінійної напруги мережі.

РП компенсатора на основі тиристорів залежить від величини кута керування тиристорів $VS1...VS3$.

Слід врахувати, що керування фазами тиристорно-реакторного кола здійснюється згідно з наступними інтегральними виразами:

$$\begin{aligned}
Q_{AB} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n}^{t_n+T/2} (U_{BC}i_{3A} + U_{CA}i_{3B} + U_{AB}i_{3C}) dt}{T/2}, \\
Q_{BC} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n+T/6}^{t_n+2T/3} (U_{CA}i_{3B} + U_{AB}i_{3C} + U_{BC}i_{3A}) dt}{T/2}, \\
Q_{CA} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\int_{t_n+T/3}^{t_n+5T/6} (U_{AB}i_{3C} + U_{BC}i_{3A} + U_{CA}i_{3B}) dt}{T/2}.
\end{aligned} \tag{2.10}$$

де t_n – момент максимуму півхвиль лінійної напруги.

На відміну від установок з контакторами тиристорні конденсаторні установки мають швидкодію на 2 порядки вище, оскільки не потрібна затримка спрацьовування на час розряду конденсатора. Затримка вмикання не більш 20 мс.

2.4 Висновки по розділу 2

На підприємстві ПАТ «Калиновський МБЗ» присутня велика кількість установок дугового електрозварювання, робота яких негативно впливає на ефективність роботи СЕП ведучи до погіршення показників якості електроенергії та збільшення величини втрат електроенергії.

Питання компенсації реактивної потужності завжди займало важливе місце в комплексі проблем, пов'язаних з підвищенням ефективності передачі, розподілу та споживання електроенергії. Правильне вирішення цих проблем дозволяє значно підвищити якість електропостачання та заощадити фінансові та матеріальні ресурси.

Питання КРП слід розглядати в світлі останніх поглядів і новітніх технологічних розробок в області електропостачання.

Використання тиристорно-керованих батарей статичних конденсаторів дає змогу мінімізувати негативний вплив викликаний роботою УДЕ та підвищити ефективність роботи СЕП.

3 ВИКОРИСТАННЯ КРП ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕП ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Розрахунок потужності конденсаторних батарей

Компенсація реактивної потужності (КРП) – це спосіб знизити втрати в енергосистемі великих і малих промислових підприємств та заводів. Даний спосіб можна повністю віднести до енергозберігаючих технологій.

Що вирішити задачу знаходження оптимальної потужності засобів КРП складаємо однолінійну схему зображену на рисунку 3.1, та схему заміщення мережі заводу рисунок 3.2.

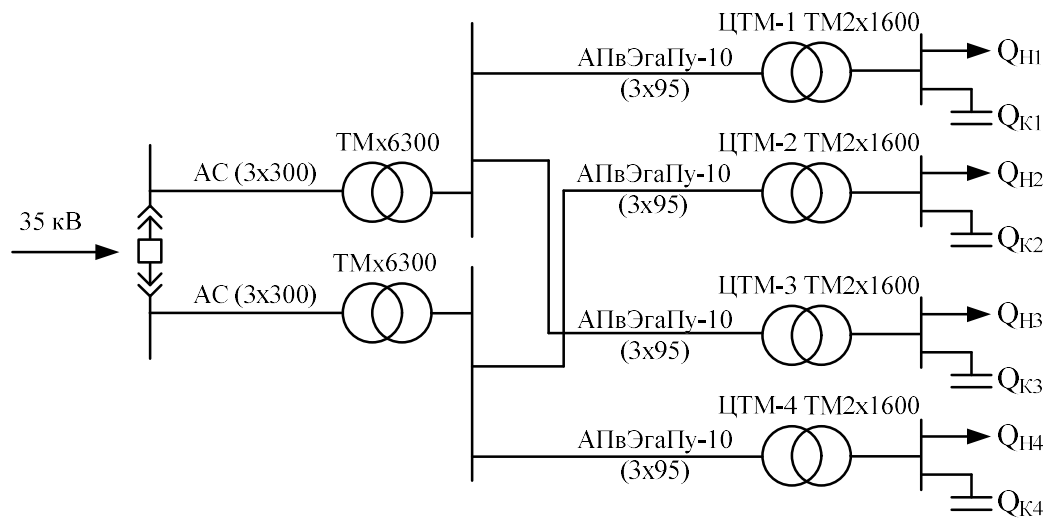


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема електропостачання

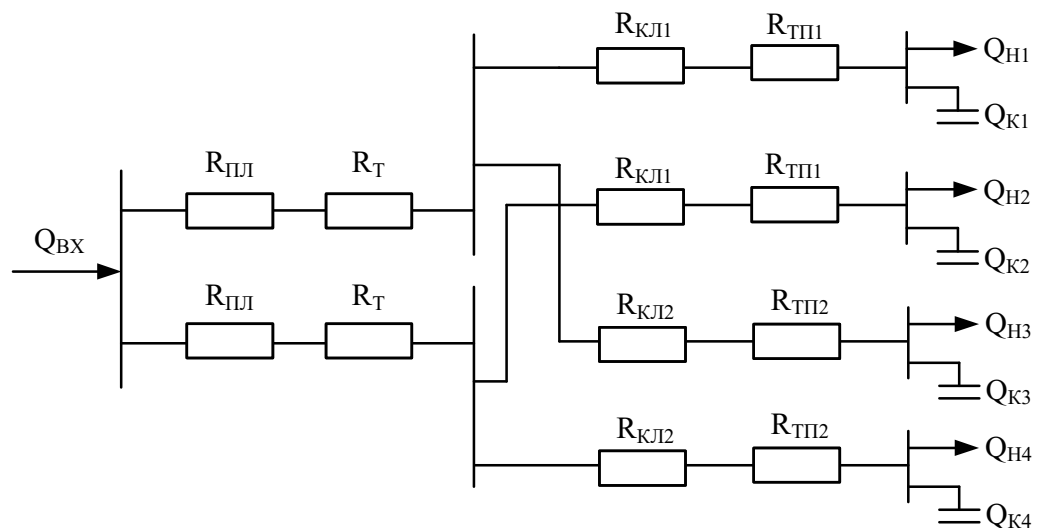


Рисунок 3.2 – Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Математична модель для даного розрахунку має наступний вигляд [3]:

$$\begin{cases} 3(Q_K) = \frac{B_0}{U^2} \times \sum_{i=1}^n \left[(Q_{Hi} - Q_{Ki})^2 (R_{KLi} + R_{Ti}) \right] \rightarrow \min_{Q_K}; \\ Q_{Ki} \geq 0, i=1, 2..n; \\ \sum_{i=1}^n Q_{Ki} = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} - Q_{BX} \end{cases} \quad (3.1)$$

Для даної математичної моделі керовані змінні – потужність батарей у вузлах навантаження $q_K = (q_{K1}, q_{K2}, \dots, q_{Kn})$.

де B_0 – питома вартість втрат активної потужності;

U – номінальна напруга, до якої приведені активні опори схеми заміщення;

n – кількість ЦТП;

Q_{Hi} – реактивне навантаження окремої лінії живлення i -тої ЦТП;

Q_{Ki} – потужність КУ окремої секції шин НН i -тої ЦТП;

$R_{KLi} = r_{oKLi} \cdot L_{KLi}$ – активний опір окремої лінії;

R_{Ti} – активний опір окремого трансформатора i -тої ЦТП;

Q_{BX} – вхідна реактивна потужність.

На листі САПР MathCad проводимо розрахунок згідно моделі (3.1). Створена математична модель представлена на рисунку 3.3.

Результат розрахунку показав що на ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» оптимально використати регульовані конденсаторні установки типу АУКРМ-0,4 та тиристорно-керовані УКРМТ для кожного вузла відповідної потужності [10]:

ЦТП-4: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-150-25-УХЛ4;

ЦТП-3: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-250-25-УХЛ4;

ЦТП-2: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-400-25-УХЛ4;

ЦТП-1: 4 КУ типу УКРМТ-0,4-350. Дана ТП живить електроприймачі Складального цеху (№1 на генплані) в якому присутня велика кількість установок дугового електрозварювання. Робота даних апаратів негативно впливає на показники якості електричної енергії що в цілому веде до зниження ефективності роботи всієї СЕП.

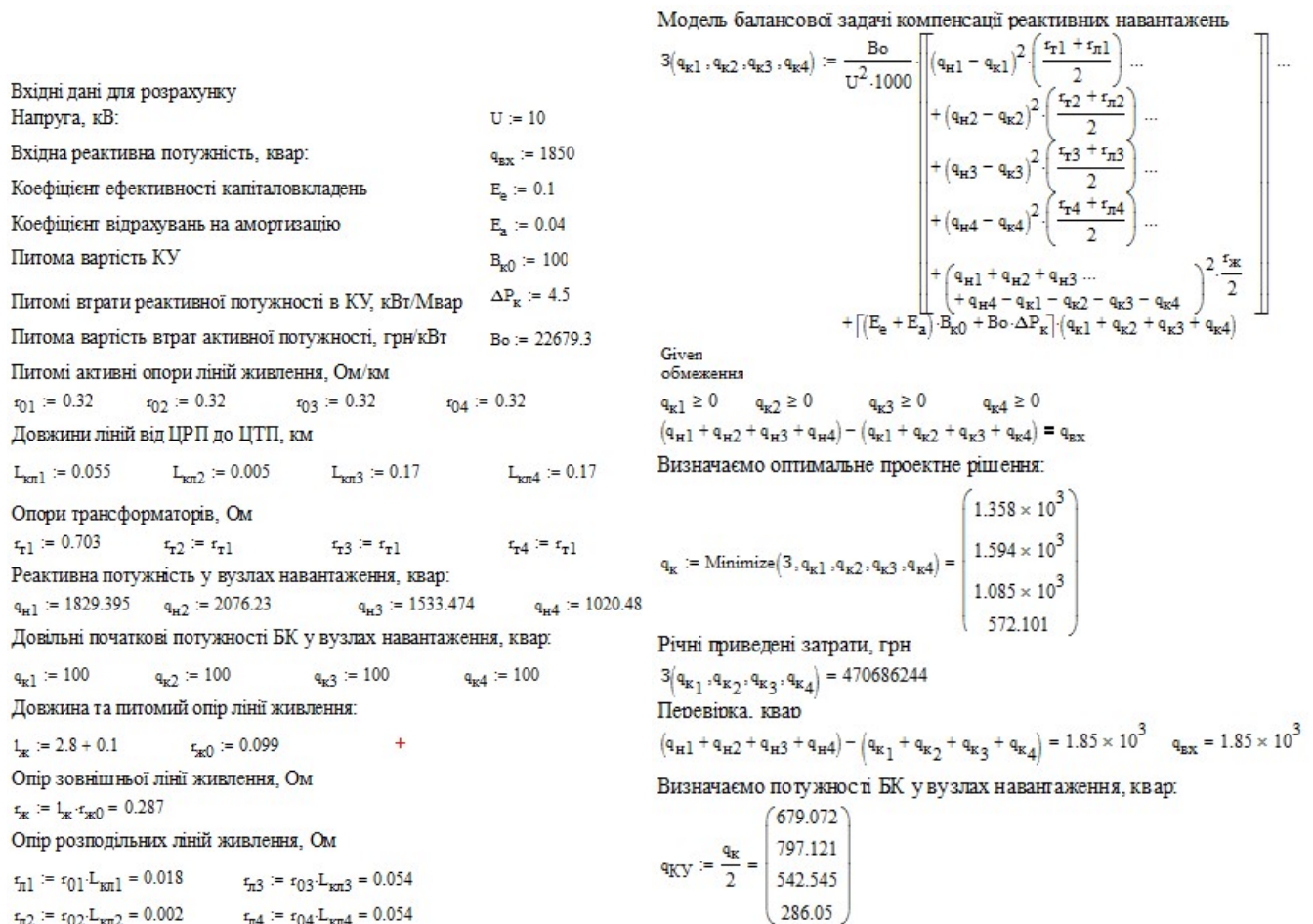


Рисунок 3.3 – Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

Для підвищення ефективності роботи СЕП пропонується на ТП-1 використати СТК типу УКРМТ-0,4-175, що дозволить вирішити наступні задачі [9]:

- збільшення $\cos\phi$, що зменшує теплові втрати струму і знижує витрати на електроенергію;
- зменшення навантаження на елементи розподільчої мережі;
- підвищення надійності та продуктивності технічних засобів за рахунок зменшення аварійності;
- підвищення ефективності роботи розподільчої мережі і, як наслідок, зниження експлуатаційних витрат;
- привести рівні завад вищих гармонійних складових, у відповідність до критеріїв СОУ 03.120.4-14:2021 [19].

Для перевірки ефективності використання СТК в умовах СЕП даного підприємства необхідно здійснити розрахунок та моделювання режимів роботи компенсатора.

3.2 Підвищення ефективності СЕП засобами КРП

Дане підприємство являється споживачем реактивної енергії. Для зменшення втрат електричної енергії пропонується розглянути компенсацію реактивної потужності за допомогою регульованих установок типу АУКРМ та тиристерно-керованих УКРМТ встановлених вузлах трансформаторни ТП на стороні 0,4 кВ.

В таблиці 3.1 представлені результати розрахунку потужностей підприємства з використанням пристрою КРП.

Таблиця 3.1 – Результати використання пристроїв БСК та СТК

№ ТП	Sp, кВА	Pp, кВт	Qp, кВар	Qкрп, кВар	Тип КУ	Q2, кВар	Sкрп, кВА
ТП1	2548,463	1774,253	1829,395	1400	УКРМТ-0,4-350	429,395	1825,474
ТП2	2710,408	1742,291	2076,230	1600	АУКРМ-0,4-400-25	476,230	1806,204
ТП3	2220,729	1606,268	1533,474	1000	АУКРМ-0,4-250-25	533,474	1692,539
ТП4	1728,017	1394,511	1020,480	600	АУКРМ-0,4-150-25	420,480	1456,525

Виконуємо розрахунок втрат електроенергії в лініях і результати заносимо до таблиця 3.2.

Таблиця 3.2 – Втрати електроенергії в лініях до встановлення БСК та СТК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R, Ом	τ, год./рік	R _{пит} , Ом/км	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,055	73,57	0,018	3410,93	0,32	1949,45
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,005	78,24	0,002	3410,93	0,32	200,462
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,17	64,11	0,054	3410,93	0,32	4575,44
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,7	49,88	0,054	3410,93	0,32	2770,37
Разом								9495,7

Таблиця 3.3 – Втрати електроенергії в лініях після встановлення БСК та СТК

Лінія	Марка кабелю	N, шт.	L, км	I _м , А	R, Ом	τ, год./рік	R _{пит} , Ом/км	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,052	52,70	0,018	3410,93	0,32	1000,25
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,110	52,14	0,002	3410,93	0,32	89,0218

ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,052	48,86	0,054	3410,93	0,32	2657,78
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 3х95	2	0,110	42,05	0,054	3410,93	0,32	1968,24
Разом								5715,3

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Втрати енергії в трансформаторах до встановлення БСК та СТК

№	Тип	шт	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	2548,463	1600	126937,09
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	2710,408	1600	137149,67
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	2220,729	1600	108193,98
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1728,017	1600	84863,28
разом							457144,02

Таблиця 3.5 – Втрати енергії в трансформаторах після встановлення БСК та СТК

№	Тип	шт	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1825,474	1600	89016,11
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1806,204	1600	88176,91
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	1692,539	1600	83408,05
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	1456,525	1600	74495,66
разом							335096,73

Загальна величина втрат електроенергії в СЕП підприємства до та після використання пристроїв БСК та СТК, кВт·год./рік:

$$E = \Delta E_d + \Delta E_T ;$$

$$E = 9495,7 + 457144,02 = 466639,74 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$E_{\text{КРП}} = 5715,3 + 335096,73 = 340812,02 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E = 466639,74 - 340812,02 = 125827,73 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Отже використання пристрів БСК та СТК в СЕП даного підприємства дозволяє підвищити енергоефективність шляхом зменшення втрат в лінії живлення та трансформаторних підстанціях.

3.3 Розробка цифрової модель управління компенсатором реактивної потужності

Оскільки компенсатори працюють при досить високих струмах і напругах, а вартість їх основних елементів досить висока, корисно вивчити режим роботи за допомогою математичних або комп'ютерних моделей, перш ніж приступати до реальних випробувань.

Сучасні системи управління конденсаторних установок мають різноманітні функції і дозволяють повністю інтегруватися в цифрову систему. На рисунку 3.4 показана схема блоку управління, що включає в себе різні функції управління і замкнуту петлю зворотного зв'язку [18].

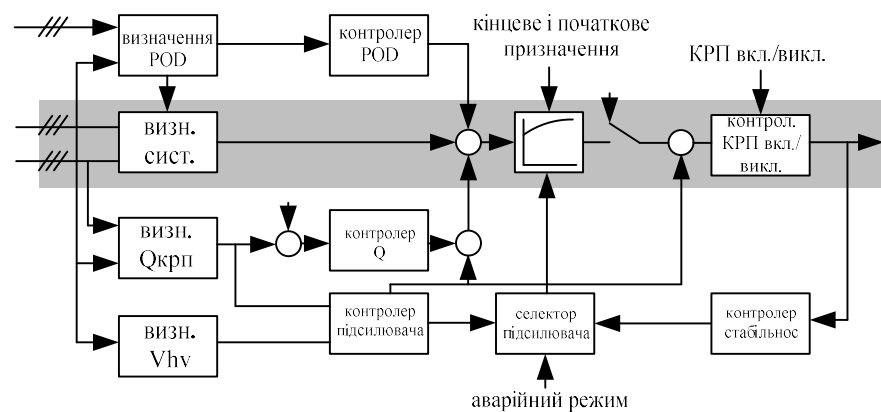


Рисунок 3.4 – Система управління компенсатором

Виділена на рисунку частина схеми показує проходження сигналу управління напругою. Сигнал управління напругою може бути модульований швидкодіючим сигналом управління для усунення коливань потужності (POD) в разі серйозних проблем зі стабільністю роботи після аварії системи.

Обчислення миттєвих значень компенсаційного струму $i_c(t)$ відбувається за формулою:

На рисунку 3.6 зображено модель регульованого джерела реактивної потужності в середовищі MATLAB.

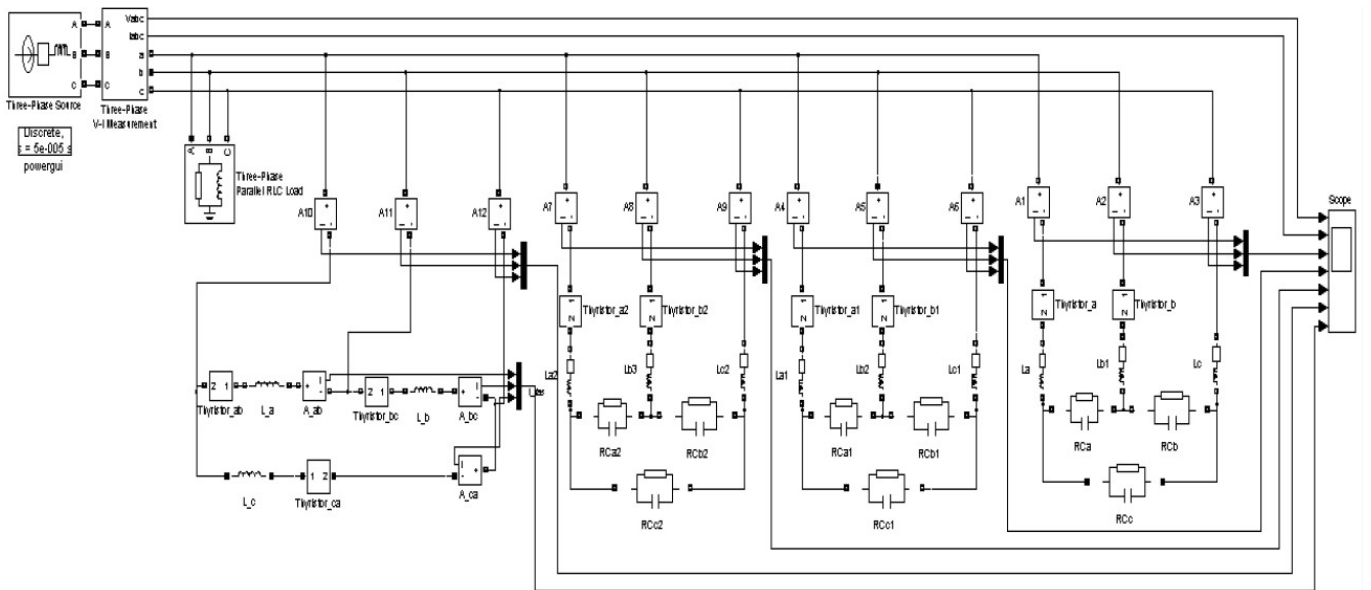


Рисунок 3.6 – Модель СТК

Модель має структуру, що складається з декількох підсистем: підсистеми, що моделює мережу, силову частину компенсатора, його систему керування та навантаження. Загальний вигляд моделі представлений на рисунку 3.7, схема компенсатора на рисунку 3.8.

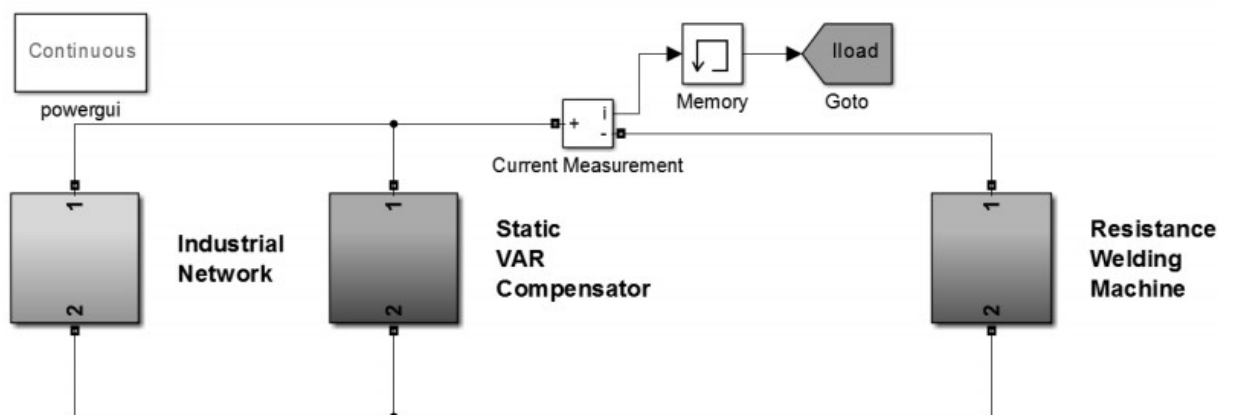


Рисунок 3.7 - Модель системи мережа - компенсатор – навантаження

На рисунку 3.8 показана силова частина компенсатора.

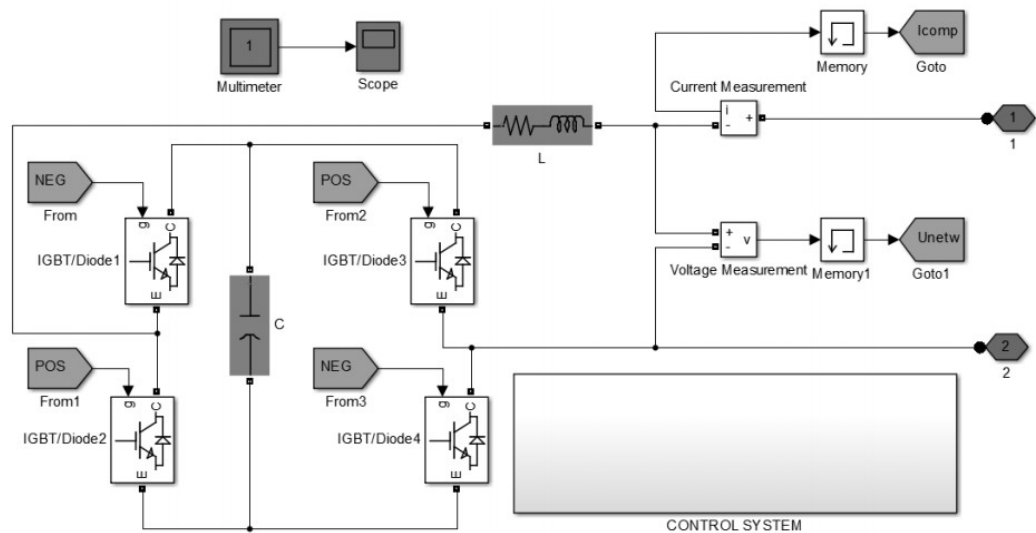


Рисунок 3.8 - Схема напівпровідникового компенсатора

На рисунку 3.9 представлена система управління СТК.

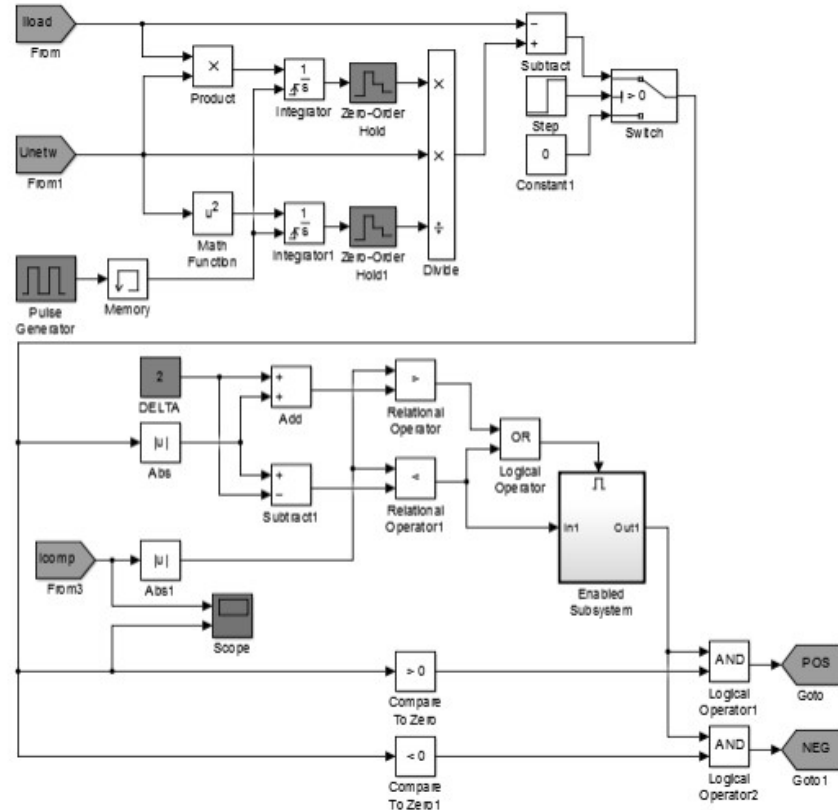


Рисунок 3.9 - Система управління СТК

Таким чином, комп'ютерна модель дуже корисна тим, що дозволяє користувачеві перевірити роботу компенсатора в різних режимах, задаючи час вмикання і вимикання для конкретних агрегатів. Всі параметри комп'ютерної моделі можна змінювати довільно [21].

3.4 Моделювання основних режимів роботи СТК

Параметри компенсатора були обрані на основі електромагнітної сумісності з реальною промисловою мережею та можливості фізичної реалізації. Реактивний опір компонентів компенсатора розраховується виходячи з необхідних значень коливань струму і напруги та тривалості перехідних процесів, при цьому ефективний опір мінімізується [14].

Величина активних втрат елемента перетворювача становить менше 1% від його загальної потужності, тому при моделюванні електромагнітного процесу втратами можна знехтувати. Фазні реактори, конденсаторні батареї та обмотки перетворювача в моделі перетворювача представлені ідеальними електричними елементами: індуктивністю, ємністю та ідеальними провідниками [22].

На рисунку 3.10 а, б представлені часові графіки миттєвих значень лінійних напруг U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} до та після включення СТК відповідно. На рисунку 3.3 в показано графік зміни реактивної потужності СТК $Q_{ст}$ (у квар).

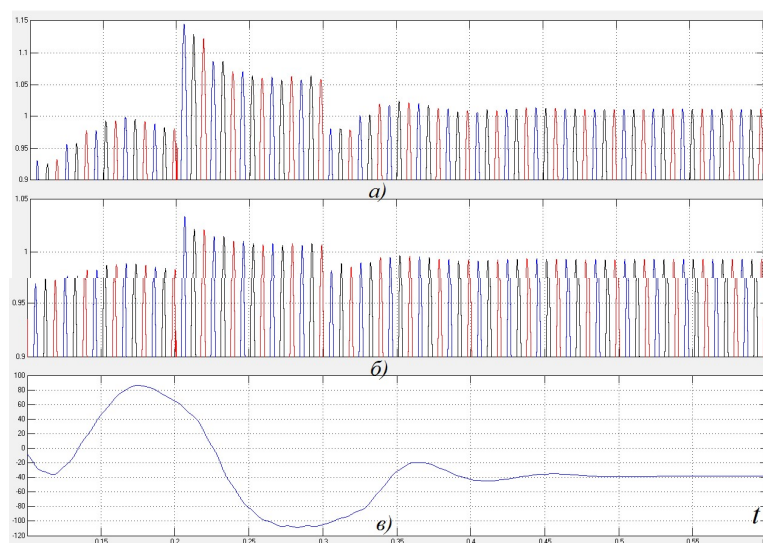


Рисунок 3.10 – Часові залежності миттєвих значень лінійних напруг

З розгляду рисунку 3.10 б видно, що при увімкненому СТК «провали» напруг і «тимчасові перенапруги» стають значно меншими порівняно з наведеними на рисунку 3.3 а, що свідчить про ефективність роботи СТК цього типу.

На рисунку 3.11 представлена робота системи промислова мережа - навантаження установки для компенсації.

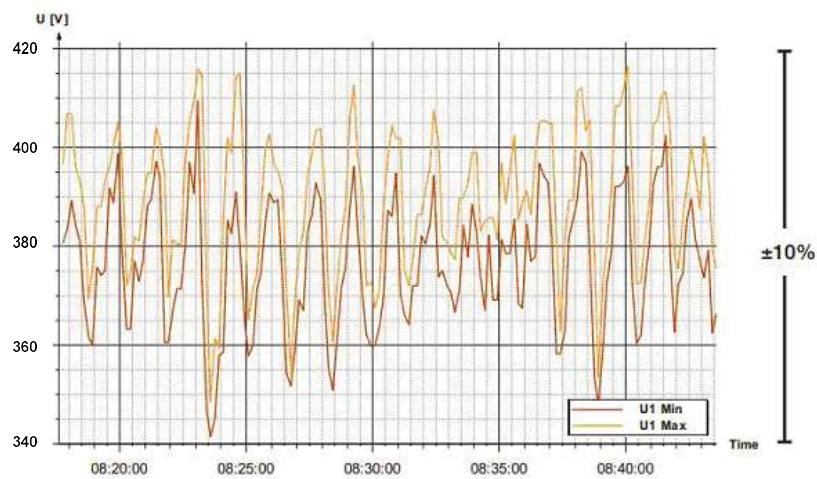


Рисунок 3.11 - Діаграма напруги системи промислова мережа - навантаження до компенсації

Після установки СТК діаграма напруги набуває вигляду рисунок 3.12.

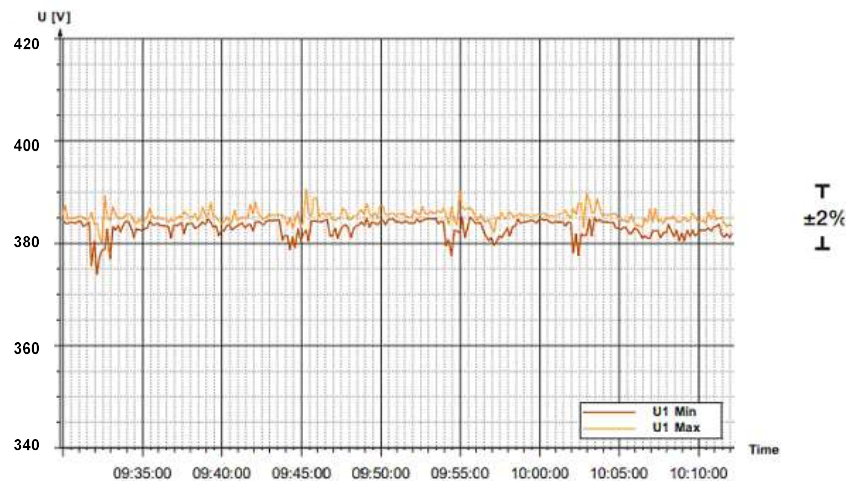


Рисунок 3.12 - Діаграма напруги системи промислова мережа - компенсатор - завантаження

Як видно з графіка, динамічна поведінка навантаження викликає сильні коливання напруги без компенсації. Встановлення напівпровідникових компенсаторів дозволяє зменшити коливання напруги з 10% до 2%, що відповідає нормованим значенням [19].

На рисунку 3.13 представлені криві, відповідні режиму споживання номінальної РП перетворювачем в умовах симетричної мережі. Верхня діаграма показує криву фазного струму інвертора. Нижній графік показує лінійну напругу між інвертором і мережею. Перша гармоніка напруги інвертора нижча за напругу

мережі, що відповідає режиму споживання реактивної потужності. Відносна похибка модуляції струму рівна $\approx 0,4\%$.

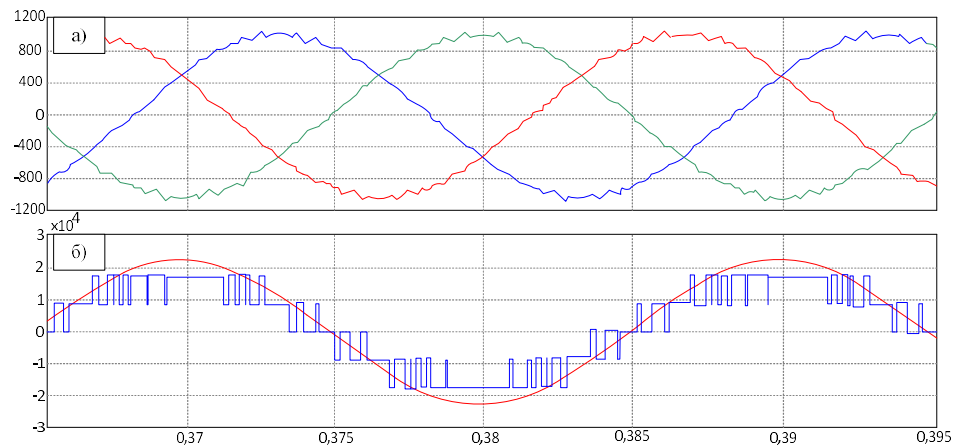


Рисунок 3.13 – Режим споживання номінальної реактивної потужності
а) фазні струми; б) лінійна напруга перетворювача
(синій колір) і лінійну напругу мережі (червоний колір)

На рисунку 3.14 (де (а) - лінійні мережеві напруги в точці включення ПН; (б) - фазні струми) представлено найбільш складний режим з точки зору роботи СТК без відключення керуючих імпульсів, режиму, в якому сталося міжфазне коротке замикання безпосередньо на шинах РП. До короткого замикання компенсатор працював у режимі, який генерував номінальну РП. Коли сталося коротке замикання, СТК залишився в робочому режимі, оскільки різких змін фазних струмів не відбулося.

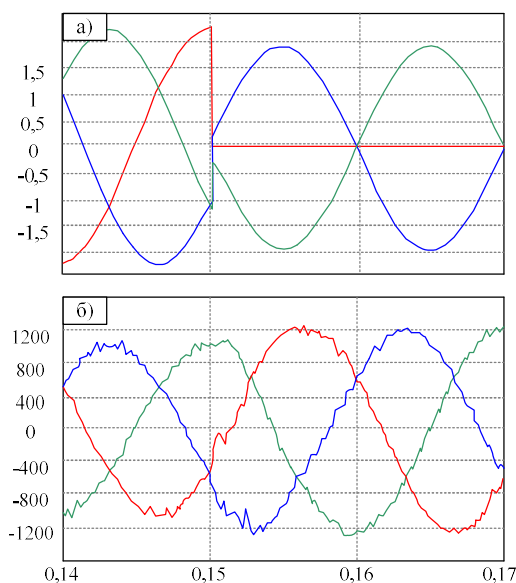


Рисунок 3.14 – Дослід міжфазного КЗ в точці підключення СТК

З рисунку 3.14 видно, що після виникнення короткого замикання рівень реактивної потужності знизився і завданням СТК в цьому режимі є підтримання рівня реактивної потужності в мережі. Регулятор реактивної потужності досягає максимально можливого рівня амплітуди фазного струму (1000 А). Компенсатори в цьому режимі можуть стабільно працювати тривалий час.

3.5 Висновки по розділу 3

У даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розраховано та обрано оптимальну потужність та тип пристроїв для КРП задіяних в СЕП заводу. Розраховано економічний ефект від встановлення пристроїв КРП. Розрахунок показав що використання БСК та СТК дозволить збільшити ефективність спроектованої СЕП шляхом зменшення втрат електричної енергії.

На підприємстві ПАТ «Калиновський МБЗ» серед ЕП Складального цеху (№1 на генплані) присутня велика кількість установок дугового електрозварювання, робота яких негативно впливає на ефективність роботи СЕП ведучи до погіршення показників якості електроенергії та збільшення величини втрат електроенергії.

Розроблено модель СТК в середовищі MatLAB, Simulink, яка дає змогу дослідити ефект від використання компенсатора в СЕП підприємства. Моделювання режимів роботи СТК показали, що використання теристорно-керованих батарей статичних конденсаторів дає змогу мінімізувати негативний вплив викликаний роботою УДЕ та підвищити ефективність роботи СЕП.

Система управління компенсатором дозволяє підтримувати на заданому рівні дійсне значення напруги мережі на навантаженні протягом усього часу роботи пристрою, здійснюючи, таким чином, стабілізацію параметрів роботи. Додатково система управління виконує пуско-захисні функції. У ній передбачена аварійна зупинка схеми при перевищенні допустимих параметрів струму. У всіх режимах роботи система сигналізує про несправності.

4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередачі виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання, які наведені в табл. 4.3 і табл. 4.4 [5].

Капітальні вкладення для ліній електропередачі:

$$K_{\text{л}} = (K_{\text{пит}} \cdot n + K_{\text{прок}}) \cdot L, \quad (4.5)$$

де $K_{\text{пит}}$ - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км [5];

$K_{\text{прок}}$ - питома вартість прокладання, тис. грн./км;

L - довжина лінії електропередачі, км.

n – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1 в ґрунті II категорії без врахування переходів:

$$K_{\text{л1}} = (419,00 + 71,23) \cdot 0,075 = 68,19 \text{ (тис.грн.)}$$

Для інших ліній розрахунки виконуються аналогічно, результати розрахунків заносимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередачі

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{\text{пит}}$, тис.грн	$K_{\text{прок}}$, тис.грн	$K_{\text{л}}$, тис.грн
ЦРП-ТП1	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,055	237,78	11,889	26,81
ЦРП-ТП2	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,005	237,78	11,889	2,44
ЦРП-ТП3	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,170	237,78	11,889	82,87
ЦРП-ТП4	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,170	237,78	11,889	82,87
Разом						194,98

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^l K_{\text{псі}} + K_{\text{пост}}, \quad (4.6)$$

де $K_{\text{псі}}$ – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн. [7];

$K_{\text{пост}}$ - постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов'язані з устроєм території, зі створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис. грн. Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій, наприклад, для ТП-1:

$$K_{\text{пс1}} = 636,89 + 108,27 = 745,16 \text{ (тис.грн),}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип т-ра	Кількість	Код, тис.грн	$K_{\text{пост}}$, тис.грн	$K_{\text{пс}}$, тис.грн
КТП-1	ТМ-1600	2	936,35	187,27	1123,62
КТП-2	ТМ-1600	2	936,35	187,27	1123,62
КТП-3	ТМ-1600	2	936,35	187,27	1123,62
КТП-4	ТМ-1600	2	936,35	187,27	1123,62
Разом:					4494,5

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, зображеної на рис.1, кількість вимикачів 10 кВ – 7 шт.. Відповідно до рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною (68–84) тис. грн.. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{\text{В}} = 11 \cdot 75 = 825 \text{ (тис. грн.),} \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{\text{пс}} = 4494,5 + 825 = 5319,5 \text{ (тис.грн.),} \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 194,98 + 5319,5 = 5514,48 \text{ (тис.грн.).} \quad (4.9)$$

4.2 Розрахунок поточних витрат

4.2.1 Розрахунок потреби в робочій силі

Планова трудомісткість визначається як, люд.-год./рік:

$$T = \Pi \cdot t_{\text{норм}} \cdot h, \quad (4.10)$$

де Π – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$ – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год. [7];

h – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 3.6.

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (4.11)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$ – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год [5];

$K_{\text{ср}}$ – коефіцієнт складності ремонту, який показує частку трудомісткості поточного ремонту, необхідну для технічного обслуговування енергетичного обладнання і мереж на кожен місяць планованого року, 1/міс, $K_{\text{ср}} = 0,1$.

h – кількість обладнання в групі.

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість поточного ремонту та огляду

Обладнання	п, шт	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на оди-ницю облад-нання рем/рік	Норма трудо-міст-кості люд.-год.	Заг. трудоміст-кість люд.-год.	К-сть на оди-ницю облад-нання огл./рік	Норма трудо-міст-кості люд.-год.	Заг. трудо-міст-кість люд.-год.
Вимикач 10кВ	11	1	16	176	12	1	132
ТМ-1600	8	0,33	160	422,4	12	20	1920
Кабельна лінія 95 мм ² , км	0,8	1	54	43,2	1	13,5	10,8
Разом:				641,6			2062,8

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-сть, шт.	Технічне обслуговування				Загальна трудоміст-кість обслу-говування люд.-год.
		Змін-ність робо-ти	Коеф. склад. ремонтів К _{ср}	К-сть міся-ців в році	Загал. трудо-місткість люд.-год.	
Вимикач 10кВ	11	2	0,1	12	422,4	554,4
ТМ-1600	8	2	0,1	12	3072	4992
Кабельна лінія 95 мм ² , км	0,8	2	0,1	12	103,68	114,48
Разом:					3598,08	5660,88

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$H_{\text{обс}} = \frac{5660,88}{1900 \cdot 1,05} = 2,84. \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$H_{\text{тр}} = \frac{641,6}{1900 \cdot 1,1} = 0,31. \quad (4.13)$$

Приймаємо за нормами ПУЕ $H_{\text{тр}} = 3$ чол., $H_{\text{обс}} = 2$ чол.

4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_e = H_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d, \quad (4.14)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

$$t_{\text{ге}} = ((K3 + K4)/2) \cdot C_I, \quad (4.15)$$

де $K3, K4$ – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [5];

C_I – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{Z_{\min} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H}, \quad (4.16)$$

$$C_I = 8000 \cdot 1/176 = 45,45 \text{ (грн./год.)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{\text{ге}} = ((1,18 + 1,27)/2) \cdot 45,45 = 55,682 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 3 \cdot 0,9 \cdot 55,682 \cdot 1900 = 285647,727 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

б) для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{\text{пр}} \cdot t_{\text{гр}}, \quad (4.19)$$

$$t_{\text{гр}} = ((K4 + K5)/2) \cdot C_I, \quad (4.20)$$

де $K4, K5$ – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [5].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{\text{гр}} = ((1,27 + 1,36)/2) \cdot 45,45 = 59,77 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 641,6 \cdot 59,77 = 38350,18 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1+0.05+0.01+\alpha), \text{ (грн./рік)}, \quad (4.21)$$

де Φ - тарифний фонд Φ_e експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати Φ_p ремонтного персоналу, грн./рік;

0.01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0.05 - частка доплат за роботу в нічний час;

α - частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 285647,73 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 359916,14 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 38350,18 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 413903,56 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15% від фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15, \quad (4.24)$$

$$\Phi_{оед} = 359916,14 \cdot 1,15 = 413903,56 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 50238,74 \cdot 1,15 = 57774,55 \text{ (грн./рік)}.$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні лікування й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Отже, витрати по заробітній платі ($C_{зп}$) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{\text{зп}} = \Phi_{\text{об}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{п}} + \beta_{\text{з}} + \beta_{\text{с}}}{100} \right), \quad (4.25)$$

де $\beta_{\text{п}}$ - нарахування в пенсійний фонд, $\beta_{\text{п}} = 33\%$;

$\beta_{\text{з}}$ - нарахування у фонд зайнятості, $\beta_{\text{з}} = 1,5\%$;

$\beta_{\text{с}}$ - нарахування на соціальне страхування, $\beta_{\text{с}} = 1,5\%$.

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{\text{зпе}} = 413903,56 \cdot \left(1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 562908,84 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 57774,55 \cdot \left(1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 78573,39 \text{ (грн./рік)}.$$

4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Необхідні для розрахунку дані заносимо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. На 100 люд.-год. Трудомісткості ремонту і тех. Обслуговування				Вартість матеріалу, грн.			
		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Силові трансформатори		1000	1600	2500	10000	1000	1600	2500	10000
Сталь сортова, кг	7,5	6	7	7	10	44,95	52,44	52,44	74,91
Провід установлюваний, м	3,1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,55	1,55	1,55	1,55
Мідь-алюміній (гола), кг	69,8	62	73	73	79	4324,5	5091,75	5091,75	5510,25
Картон електроізоляційний, кг	33,6	1,4	1,6	1,6	1,7	47,08	53,81	53,81	57,17
Лакотканина (ширина 700мм), м	93,3	0,2	0,21	0,21	0,3	18,65	19,59	19,59	27,98
Кабельний папір, кг	27,5	0,6	0,6	0,6	0,6	16,5	16,5	16,5	16,5
Стрічка кіперна, кг	336,3	40	41	41	42	13452	13788,3	13788,3	14124,6
Стрічка тафтяна, кг	249,8	18	24	24	28	4497,12	5996,16	5996,16	6995,52
Стрічка азбестова, м	7,4	0,05	0,08	0,08	0,09	0,37	0,59	0,59	0,66
Лаки ізоляційні, кг	40,2	1,5	1,6	1,6	1,8	60,35	64,37	64,37	72,41
Емалі ґрунтові, кг	44,1	2,5	3,1	3,1	3,2	110,33	136,8	136,8	141,22
Масло трансформаторне, кг	13,6	0,58	1,2	1,2	1,3	7,91	16,36	16,36	17,73

Бензин, кг	6,9	0,7	0,9	0,9	1	4,84	6,23	6,23	6,92
Розчинники кг	19,5	0,8	1	1	1,2	15,6	19,5	19,5	23,4
Маслостійка гума, кг	50	0,4	0,5	0,5	0,6	20	25,01	25,01	30,01
Гума профільна, кг	50	0,13	0,09	0,09	0,09	6,5	4,5	4,5	4,5
Припій олов'яно-свинцевий, кг	476,1	0,02	0,02	0,02	-	9,52	9,52	9,52	-
Припій мідно-фосфорний, кг	88,5	0,03	0,03	0,03	-	2,66	2,66	2,66	-
Електроди, кг	16,4	0,15	0,2	0,2	0,3	2,47	3,29	3,29	4,93
Засоби кріплення, кг	20,9	2	2,5	2,5	3	41,88	52,35	52,35	62,82
Дріт кручений,	2,7	0,3	0,3	0,3	0,37	0,82	0,82	0,82	1,01
Матеріали обтиску, кг	27,3	0,4	0,5	0,5	0,5	10,91	13,64	13,64	13,64
Разом:						22696	25376	25376	27188
Кабельні лінії									
Сталь сортова, кг	7,5	2				15			
Електроди, кг	16,5	0,1				1,6			
Разом:						16,6			

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \cdot \left(\sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{л0} \right), \quad (4.26)$$

де C_{oi} – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування i -го виду трансформаторів,

T_i – трудомісткість обслуговування i -го виду трансформаторів,

L – сумарна довжина кабелів,

$C_{л0}$ – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів на ремонт: $C_{мпр} = 107195,4$ (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування: $C_{мто} = 1266789$ (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. грн/рік:

$$C_{обс} = C_{зпе} + C_{мто}, \quad (4.27)$$

$$C_{обс} = 562908,84 + 1266788,92 = 1829697,76 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{пр} = C_{зпр} + C_{мпр}, \quad (4.28)$$

$$C_{\text{пр}} = 78573,39 + 107195,4 = 185768,78 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою:

$$C_a = a \cdot K, \quad (4.29)$$

де a – норма амортизації, %

K – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 5514479,75 = 330868,785 \text{ (грн/рік)}.$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

$$C_{\text{іп}} = \beta_{\text{іп}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a); \quad (4.30)$$

де $\beta_{\text{іп}}$ - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{\text{іп}} = 0,25 \cdot (1829697,76 + 185768,78 + 330868,785) = 586583,83 \text{ (грн/рік)}.$$

4.3. Розрахунок собівартості електроенергії

4.3.1 Розрахунок річного споживання і витрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання визначається, виходячи з розрахункової потужності, яка визначається як добуток установленної (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{\text{аі}} = P_p \cdot T_{\text{мі}}, = K_{\text{п}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{мі}}, \quad (4.31)$$

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для Прохідної:

$$E_{\text{аі}} = 439,175 \cdot 4000 = 1756700,16 \text{ кВт год./ рік.}$$

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.9.

Необхідно також визначити річні витрати реактивної електроенергії.

Таблиця 4.9 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

№	Назва цеху	К-сть змін	Sp, кВА	Tм, год.	cos φ	Pp, кВт	Ea, кВт·год./рік
1	Складальний цех	2	2342,27	5000	0,65	1664,35	8321760
2	Механічний цех	2	2573,92	5000	0,65	1713,40	8567000
3	Заготівельний цех	2	907,49	5000	0,8	737,76	3688800
4	Адміністративно-побутовий корпус	2	91,93	5000	0,9	83,56	417811
5	Будівля ЦТНС	2	37,91	5000	0,85	33,62	168110
6	Ковальсько-пресова дільниця	2	569,53	5000	0,65	375,76	1878797
7	Інструментальний цех	2	245,81	5000	0,5	136,62	683120
8	Гальванічна дільниця	2	261,95	5000	0,75	201,34	1006704
9	Експериментальний цех	2	120,95	5000	0,8	99,70	498496
10	Котельня	2	34,70	5000	0,8	29,10	145490
11	Цех товарів народного споживання	2	390,03	5000	0,85	343,08	1715392
12	Насосна станція	2	11,53	5000	0,8	9,58	47880
13	Відділ головного механіка	2	153,21	5000	0,8	127,86	639280
14	Ливарний цех	2	1016,73	5000	0,8	819,39	4096963
15	Нафтова ловушка	2	9,07	5000	0,8	8,19	40927
16	Транспортна дільниця	2	19,01	5000	0,65	14,94	74707
17	Компресорна станція	2	30,19	5000	0,8	24,71	123533
18	Газорозподільний пункт	2	2,57	5000	0,9	2,34	11702
	Разом					6425,294	32126472

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (4.32)$$

де $I_{\text{м}}$ – максимальний струм у лінії, А;

τ – час максимальних втрат, год./рік.

R – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$$R = r_0 \cdot L; \quad (4.33)$$

де r_0 – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км (див. табл. 10.25 [2]),

Величина τ визначається за часом використання максимального навантаження:

$$\tau_{\text{м}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4000}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2405,3 \text{ (год)}, \quad (4.34)$$

Для лінії ГПП –ТП1:

Активний опір однієї фази кабелю від ГПП до ТП1:

$$R = 0,055 \cdot 0,32 = 0,018 \text{ Ом.}$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot 2 \cdot 73,57^2 \cdot 0,018 \cdot 3410,9 \cdot 10^{-3} = 1949,5 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до таблиця 4.10.

Таблиця 4.10 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	L, км	I _м , А	R, Ом	τ, год./рік	R _{пит} , Ом/км	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,055	73,57	0,018	3410,93	0,32	1949,45
ЦРП-ТП-2	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,005	78,24	0,002	3410,93	0,32	200,462
ЦРП-ТП-3	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,170	64,11	0,054	3410,93	0,32	4575,44
ЦРП-ТП-4	АПвЭгаПу-10 (3х95)	2	0,170	49,88	0,054	3410,93	0,32	2770,37
Разом								9495,7

Втрати електроенергії в ТП визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{\text{xx}} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\phi}}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (4.36)$$

де n - кількість трансформаторів;

$\Delta P_{\text{кз}}$ і ΔP_{xx} – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 2,7 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 18 \cdot \left(\frac{2548,463}{1600} \right)^2 \cdot 3410,9 = 126937,09 \text{ (кВт}\cdot\text{год./рік)}.$$

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	Ш т	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-1600	2	2,8	18	2548,463	1600	126937,09
КТП-2	ТМ-1600	2	2,8	18	2710,408	1600	137149,67
КТП-3	ТМ-1600	2	2,8	18	2220,729	1600	108193,98
КТП-4	ТМ-1600	2	2,8	18	1728,017	1600	84863,28
разом							457144,02

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_T; \quad (4.37)$$

$$E = 32126472 + 9495,75 + 457144,02 = 32593111,74 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію на напрузі 35 кВ:

$$\Pi_1 = 5,195 \cdot 32593111,74 = 169321215,49 \text{ (грн.)}; \quad (4.38)$$

4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВт·г:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (4.39)$$

де $C_{\text{сум}}$ – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис.грн/рік;

E_a – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік:

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}}, \quad (4.40)$$

де Π – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}}$ – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік:

$$C_{\pi} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (4.41)$$

де $C_{\text{обс}}$ – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$ – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

C_a – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік;

$$C_{\pi} = 1829697,76 + 185768,78 + 330868,785 + 586583,83 = 2932919,16 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 169321215,5 + 2932919,16 = 172254134,65 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{172254134,65 \cdot 100}{32126472,0} = 536,18 \text{ (коп./кВт·год.)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 – Результати розрахунків

Показники	Позна-чення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел.енергії	Е _а	32126472	кВт·год.
Річне споживання ел.енергії із втратами	Е	32593111,74	кВт·год.
Плата за електроенергію	П ₁	169321215,5	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.енергії	С _π	2932919,16	грн.
Сумарні витрати під-ва	С _{сум}	172254134,65	грн.
Собівартість ел.енергії	С	536,18	коп/кВт·год.

В даному розділі дипломної роботи було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників спроектованої СЕП підприємства та розраховано собівартість електричної енергії яка склала 536,18 коп/кВт·год.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розробляються заходи підвищення ефективності СЕП ПАТ «Калинівський машинобудівний завод» [28].

На оперативний персонал, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.0.003-74 [27]:

фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- нестача природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може

відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;

психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово - психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга

аналізаторів).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення диспетчерського приміщення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В) [29].

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з можливістю одночасного дотику до металевих корпусів

електрообладнання та механізмів, що мають зв'язок з землею. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізолювані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту [29]. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.1.2 Технічні рішення з безпечного обслуговування електрообладнання

При виконанні персоналом ОВБ робіт, пов'язаних із доторканням до струмоведучих частин електрообладнання, необхідно на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ" [28].

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізолюваним проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає розпорядження.

Підготовка робочих місць і допуск до проведення робіт можуть провадитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає, - з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство [30].

Забороняється змінювати передбачені нарядом (розпорядженням) заходи по підготовці робочих місць. В разі виникнення сумніву в достатності і правильності заходів з підготовки робочого місця і можливості безпечного виконання роботи, ця підготовка має бути припинена.

Підготовку робочих місць, як правило, виконують два працівники, які мають право на оперативні перемикання в даній електроустановці. Дозволяється виконувати підготовку робочого місця керівнику робіт з одним із членів бригади,

якщо вони мають права на оперативні перемикання в даній електроустановці. Підготовку робочого місця може виконувати один працівник, крім встановлення переносних заземлень в електроустановках понад 1000 В і виконання перемикань, що здійснюються на двох і більше приєднаннях в електроустановках понад 1000 В, що не мають діючих пристроїв блокування роз'єднувачів від неправильних дій [28].

Допускач разом з керівником робіт повинні перевірити виконання технічних заходів по підготовці робочого місця. Якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, то таку перевірку він виконує з одним із членів бригади, який має групу III. Допуск до роботи за нарядами та розпорядженнями слід провадити безпосередньо на робочому місці. Допуск провадиться після перевірки технічних заходів з підготовки робочого місця.

В цьому разі допускач має:

- перевірити, чи відповідає склад бригади зазначеному у наряді або розпорядженні, та наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань;
- провести інструктаж: ознайомити бригаду зі змістом наряду, розпорядження; зазначити межі робочого місця і підходи до нього; показати найближче до робочого місця устаткування та струмопровідні частини приєднань, що ремонтуються, та суміжних, до яких забороняється наближатися незалежно від того, перебувають вони під напругою чи ні;
- довести бригаді, що напруга відсутня, показом встановлених заземлень та перевіркою відсутності напруги, якщо заземлення не видно з робочого місця, а в електроустановках 35 кВ і нижче (де дозволяє конструктивне виконання) з наступним дотиком рукою до струмовідних частин, після перевірки відсутності напруги.

Після інструктажу допускача бригаду повинен проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин.

Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється. Проведення інструктажу і допуску оформляються підписами допускача і керівника робіт (наглядача) в таблиці 3 наряду із зазначенням дати і часу. Допуск оформлюється в

обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускача. Коли керівник робіт суміщає обов'язки допускача, допуск оформлюють в одному примірнику наряду. Під час роботи за розпорядженням час допуску реєструють в журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [31] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	17-29	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		15-24	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [32].

Таблиця 5.2 - Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню від нього. Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.

Планувати прибирання так щоб вони приходилось на час, коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення. В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх

огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (e_n) [33]. КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та суміщеному освітленню.

Характеристика зорової роботи при виконанні - роботи високої точності;

Розряд - III;

Підрозряд зорової роботи - б;

Контраст об'єкту розпізнавання - середній;

Характеристика фону - темний;

Бокове КЕО, %:

- природне 2,0;

- суміщене 1,2.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО) [33]. Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормовані значення КЕО для будинків визначаються за формулою:

$$e_N = e_H + m_N. \quad (5.1)$$

де m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,85$.

Природне $e_N = 2,0 \cdot 0,85 = 1,7\%$.

Сумісне $e_N = 1,2 \cdot 0,85 = 1,0\%$.

Штучне освітлення. Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве [34]. Місьцеве освітлення -

освітлення, яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк: загальне - 300 лк; комбіноване – 1000 лк.

Для забезпечення нормативного значення e_{min} передбачено:

5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі [35]:

$$L = 10\lg(I/I_0) = 10\lg(p/p_0) = 10\lg(U/U_0) \quad (5.2)$$

де L - рівень шуму, дБ;

P - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньо геометричною частотою 1000 Гц, прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. [36] Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 5.2- Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація» [35]

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища [37], важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250.

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км.

По горизонталі: до 4;

По вертикалі: до 2.

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом.

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25;

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75;

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5;

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2;

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%;

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника;

Ступінь ризику для власного життя – Виключений ;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений.

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10;

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100;

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75.

Режим праці:

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7;

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни);

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи СЕП житлового мікрорайону міста Немирів в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Всі системи електропостачання мають свої слабкі ланки до і є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. СЕП є особливо уразливі через велику територію та безліч елементів можливого впливу НС. Електропостачання багатьох об'єктів є стратегічним елементом, тому і важливим є питання забезпечення високої стійкості роботи систем електропостачання, особливо заводів воєнного призначення [30].

Вплив радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища тощо. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем електропостачання. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення, блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і вигорання обмоток чи загорання трансформаторів.

Після опромінення системи електропостачання в елементах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробною і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Особливо велику загрозу для систем управління СЕП має вплив електромагнітного імпульсу, який може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, а також внести серйозні порушення в роботу цифрових і контрольних пристроїв. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання [30]. Ці наслідки в подальшому призводять до пожеж на підприємстві та вибухів. Ці вторинні фактори надто небезпечні при виникненні на воєнному заваді. Саме тому є необхідність запобіганню дії цього фактору на електричне та електронне обладнання СЕП.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання житлового мікрорайону міста Немирів в умовах дії іонізуючих випромінювань

Для визначення граничного значення дози опромінення $D_{\text{грі}}$, для елементів системи, при яких виникають незворотні зміни [30]. Отримані дані заносимо в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Граничні значення експозиційних доз елементів СЕП

№ п/п	Системи	Блок	Елементи РЕА	$D_{\text{грі}}, \text{P}$	$D_{\text{гр}}, \text{P}$
1	Пульт Керування	Блок живлення $U_{\text{ж}} = 12(\text{В})$	Транзистор IRF7640	10^3	10^3
			Конденсатор E5R101M12B	10^7	
			Діод SMBJ12CA	10^4	
2	Система збору і Обробки даних	Блок пам'яті $U_{\text{ж}} = 12(\text{В})$	Мікросхема REF5025CA	10^4	
			Мікросхема LM27313XMF	10^3	
			Транзистор IRFB3207Z	10^5	
3	Система аварійного вимикання	Блок захисту $U_{\text{ж}} = 9(\text{В})$	Діод DALC208SC6	10^6	
			Транзистор IRLML6401TRPBF	10^4	
			Фотоелемент DIR10	10^4	

Проаналізувавши дані таблиці 5.6, визначили, що самим уразливими елементами системи електропостачання з мінімальною дозою $D_{\text{грі}} = 10^3 \text{ P}$ є такі мікросхеми та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.4)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5,22 \text{ P/год}$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400 \text{ год}$ (5 років));

$t_{\text{п}}$ – час початку опромінення ($t_{\text{п}} = 1 \text{ год}$).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 1$).

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot 5,22 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{1} = 3773,97 \text{ (P)}.$$

Оскільки $D_{\text{грі}} > D_{\text{м}}$, то дана система електропостачання може вважатися

стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.5)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 5,22 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,22} = 958,85 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази $D_m = 3773,97 \text{ Р}$, а допустима - 10^4 Р . Отже, система електропостачання є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 958,85 год. при рівні радіації 5,22 Р/год, це більше ніж час морального елементів СЕП.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи електропостачання житлового мікрорайону міста Немирів в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $E_B = 10,33 \text{ кВ/м}$. $U_{ж} = 220\text{В}; 5\text{В}$.

Оцінка стійкості роботи системи електропостачання ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 10,33 \cdot 10^3 = 10,33 \text{ (В/м)};$$

2. Система електропостачання житлового мікрорайону міста Немирів розподіляється на окремі функціональні вузли, зокрема: система живлення, мікропроцесорний блок [30].

На кожній ділянці визначається максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини l_B і l_{Γ}

На ділянці системи живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{B.ж} = 0,13 \text{ м}$, $l_{\Gamma.ж} = 0,11 \text{ м}$. На ділянці мікропроцесорного блоку $l_{B.м} = 0,017 \text{ м}$, $l_{\Gamma.м} = 0,021 \text{ м}$.

3. Для кожної ділянці визначаються напруги у струмопровідних частинах.

На ділянці системи живлення:

$$U_{B.ж} = E_{\Gamma} \cdot l_{B.ж} = 10,33 \cdot 0,13 = 1,343 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.Ж} = E_B \cdot I_{Г.Ж} = 10,33 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1136,3 \text{ (В)}.$$

На ділянці мікропроцесорного блоку:

$$U_{В.М} = E_{Г} \cdot I_{В.М} = 10,33 \cdot 0,017 = 0,176 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.М} = E_B \cdot I_{Г.М} = 10,33 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 216,9 \text{ (В)}.$$

На ділянці системи живлення:

$$U_{В.Ж} = E_{Г} \cdot I_{В.Ж} = 10,33 \cdot 0,13 = 1,34 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.Ж} = E_B \cdot I_{Г.Ж} = 10,33 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1136,3 \text{ (В)}.$$

На ділянці мікропроцесорного блоку:

$$U_{В.М} = E_{Г} \cdot I_{В.М} = 10,33 \cdot 0,017 = 0,176 \text{ (В)};$$

$$U_{Г.М} = E_B \cdot I_{Г.М} = 10,33 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 216,9 \text{ (В)}.$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення

$$U_{Д} = U_{Ж} + \frac{U_{Ж} \cdot N}{100} \text{ (В)},$$

На ділянці системи живлення:

$$U_{ДЖ} = U_{Ж} + \frac{U_{Ж} \cdot N}{100} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}.$$

На ділянці мікропроцесорного блоку:

$$U_{ДМ} = U_{М} + \frac{U_{М} \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,2 \text{ (В)}.$$

5. Визначаються коефіцієнти безпеки

$$K_{БВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{В}}, \quad K_{БГ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{Д}}{U_{Г}}.$$

Для ділянки живлення

$$K_{БВЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ВЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1,08} = 46,63 \geq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ГЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1760} = -17,63 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

Для ділянки мікропроцесорного блоку

$$K_{БВМ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДМ}}{U_{ВМ}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{0,272} = 33,31 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{БГМ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДМ}}{U_{ГМ}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{336} = -28,6 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки елементів СЕП

Дільниця СЕП	U_d , В	E_B , В/м	E_G , В/м	U_B , В	U_G , В	K_{BB} , дБ	K_{BG} , дБ
Блок живлення	231	10330	10,33	1,08	1760	46,63	-17,63
Мікропроцесорний блок	5,2	10330	10,33	0,272	336	33,31	-28,6

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки.

Коефіцієнти безпеки менше 40 дБ, тому дільниці вважаються нестійкими і необхідно застосовувати екранування.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи електропостачання житлового мікрорайону міста Немирів в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначається перехідне гасіння енергії електричного поля екраном (A , дБ). Для сталевих екранів визначається за допомогою формули [30]:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, (\text{дБ});$$

де t - товщина стінки екрану, см;

f – частота $f=15000$ Гц.

Для дільниці живлення

$$A_{ГЖ}=40-(-17,63)=47,63 (\text{дБ});$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{47,63}{5,2\sqrt{15000}} = 0,074 (\text{см}).$$

Для дільниці мікропроцесорного блоку

$$A_{ГМ}=40-(-28,6)=68,6 (\text{дБ});$$

$$t = \frac{A_{ГМ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{68,6}{5,2\sqrt{15000}} = 0,11 (\text{см}).$$

В умовах дії електромагнітного імпульсу коефіцієнт безпеки СЕП для вертикальних струмопровідних частин дільниці живлення системи був більший за 40 дБ, в цьому випадку СЕП стійка. Для горизонтальних струмопровідних частин

коефіцієнт безпеки був менший за 40 дБ. Після застосування сталевих екранів коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому система електропостачання є стійкою до ЕМІ і може працювати без суттєвих збоїв.

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку курування з використанням екрану товщиною 0,140 см зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного випромінювання, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,102 см, силові елементи будуть стійкими в умовах дії електромагнітного випромінювання.

Отже, після проведених розрахунків визначено, що робота системи електропостачання при заданому рівні радіації 5,22 Р/год буде досить стійка. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування блоків СЕП суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,33 кВ/м. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу ЕМІ.

Висновки: в даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розглянуто основні заходи з охорони праці, а саме організаційні і технологічні заходи, що направлені на максимальне зниження загрозливих чинників і створення оптимальних умов роботи на підприємстві.

З'ясувалося, що об'єкт нестійкий до дії іонізуючих випромінювань. Для підвищення стійкості роботи ОГД розробляється режим радіаційного захисту персоналу, а саме використовується робота скороченими змінами. РЕА, що використовується на ОГД, є стійкими до дії іонізуючих випромінювань.

РЕА нестійка до дії ЕМІ. Тому для підвищення стійкості об'єкту доцільно розмістити плати РЕА у вертикальній площині, та використати захисне екранування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання МРК щодо підвищення ефективності системи електропостачання ПАТ «Калиновський машинобудівний завод», під час пошуку оптимальних рішень проектування СЕП підприємства із застосуванням автоматизації виконано наступні розрахунки.

Спроектовано внутрішню мережу заводу на напрузі 10 кВ. Було обрано трансформатори марки ТМ – 1600/10. Для радіальної схеми живлення ТП від ГПП 10 кВ обрано кабелі типу АПвЭгаПу-10 перерізом 3х95 мм². Техніко-економічний розрахунок показав що зовнішнє живлення підприємства необхідно виконати на напрузі 35 кВ повітряними лініями АС 3х300 мм² шляхом спорудження на території підприємства ГПП з трансформаторами 2хТМ-6300/35/10.

Для визначення місця будівництва ГПП були розраховані координати центру енергетичного навантаження. Це дозволило встановити ГПП в оптимальному місці з мінімальними витратами електроенергії.

Основним результатом наукової роботи є дослідження ефективності використання компенсації реактивної потужності для підвищення ефективності роботи СЕП підприємства шляхами зменшення втрат та покращення якості електроенергії. Для цього розраховано оптимальну потужність пристроїв КРП та місця їх встановлення. Визначено економічний ефект від встановлення засобів КРП. Розроблено модель регульованого джерела реактивної потужності з використанням засобів MatLAB, Simulink, і toolbox Sim Power Systems, що дозволяє проводити дослідження режимів роботи компенсатора в системах електропостачання промислових підприємств зі змінним навантаженням.

Промодельовано різні режими роботи джерела реактивної потужності отриманої моделі з метою налаштування цифрової системи управління при різних змінних графіках навантажень промислових споживачів електричної енергії.

Моделювання режимів роботи СТК показали, що використання теристорно-керованих батарей статичних конденсаторів дає змогу мінімізувати негативний

вплив викликаний роботою УДЕ та підвищити ефективність роботи СЕП підприємства.

Також виконані розрахунки техніко-економічних показників запропонованої СЕП ПАТ «Калиновський МБЗ». А саме розраховано витрати на електроенергію проєктованої СЕП.

В п'ятому розділі виконано аналіз норм гігієни праці та електробезпеки. Проведено аналіз стійкості роботи СЕП на робочих місцях підприємства під час впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів.

Проведені розрахунки підтверджують забезпечення максимально надійного електропостачання даного підприємства.

Аналіз отриманих результатів та розрахунків для реальних споживачів електроенергії, проведених за допомогою розробленої комп'ютерної моделі, дозволяє стверджувати, що розроблена комп'ютерна модель може бути використана в реальному процесі проєктування СЕП споживачів електроенергії. Для її використання достатньо мати програму електронної обробки даних Excel, яка є широко доступною для проєктних організацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
2. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
3. Камінський А. В. Математичне та комп'ютерне моделювання процесів оптимізації центрування електричних мереж : монографія / А. В. Камінський, Б. І. Мокін – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2005. –122с.
4. Бурбело, М. Й. Спеціальні питання електропостачання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 89 с.
5. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2006. 95 с.
6. Кабельно-провідникова продукція. URL: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189/> (дата звернення: 17.05.2024).
7. Тарифи ПАТ "Вінницяобленерго" : веб-сайт. URL: <http://www.voe.com.ua/consumers/individuals/fees> (дата звернення: 15.05.2021).
8. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>
9. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.
10. Способи економії електроенергії на підприємстві. URL: <http://vinmayak.pat.ua/> (дата звернення: 16.05.2024).
11. Офіційний сайт ПАТ «Завод Південкабель» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yuzhcable.info>
12. Вимикачі навантаження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://001.com.ua/uk/vymykachi-navantazhennya-c756>

13. ДСТУ ІЕС/TR 60909-4:2008 (ІЕС/TR 60909-4:2000, IDT): 2008. Національний стандарт України. Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання. . [Чинний від 01.01.2008]. Київ, 2008. 82 с. (Інформація та документація).
14. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2024. 159 с.
15. Чорний О.П. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін, Г. Ю. Сисюк, А. В. Садовий – Кременчук, 2001. – 376 с.
16. Удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності та методів управління ними: автор. дис. . кандидата технічних наук: 05.09.03 "Електротехнічні комплекси та системи" (технічні науки) / О.С. Савенко ; Національний університет біоресурсів і природокористування. - Київ, 2021. - 217 с.
17. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І.В. Жежеленко, Г.Г. Півняк, Г.Г. Трофімов, Ю.А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. Ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 72 с.
18. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й.Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В.– Кременчук, 2001. – 410 с.
19. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. [Чинний від 03.02.2021]. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2021. 316 с. (Інформація та документація).
20. Бурбело, М. Й. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів : монографія / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 104 с.
21. MATLAB – високорівнева мова технічних розрахунків: веб-сайт. URL:

<http://matlab.products/matlab> (дата звернення: 06.05.2023)

22. Simulink – моделювання і симуляція динамічних систем: веб-сайт. URL: <http://matlabproducts/simulink> (дата звернення: 06.05.2023)

23. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки відносно опрацювання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах и роботах студентів електротехнічних спеціальностей: навч. Посіб. Вінниця, ВНТУ, 2003. 46 с.

24. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

25. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

26. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a322_2009/1-1-0-945.

27. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

28. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

29. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

30. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

31. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

32. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

33. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

34. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

35. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

36. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

37. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

38. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

39. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ” 2024р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

“ ” 2024р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

Підвищення ефективності системи електропостачання
приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»
08-17.МКР.000.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Бурбело М.Й.

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕМ-22м

Мелінчук В.В.

(підпис)

Вінниця 2024 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № ____ від ____ . ____ .24р.

Дата початку роботи ____ . ____ .24р.

Дата закінчення роботи ____ . ____ .24р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) мета – підвищення ефективності системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

генплан підприємства (об'єкта); план цеха (об'єкта, ділянки, приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, ділянки, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) – видання третє, перероблене і доповнене, - 2014 р.

3.3. Бурбело, М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / Бурбело М. Й. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 123 с.

3.4 Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки відносно опрацювання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах и роботах

студентів електротехнічних спеціальностей: навч. Посіб. Вінниця, ВНТУ, 2003. 46 с.

3.5 Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах». – Вінниця: ВНТУ, 2006р.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження		
4.2 Проведення дослідних розрахунків		
4.3 Розробка робочих креслень		
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи		

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

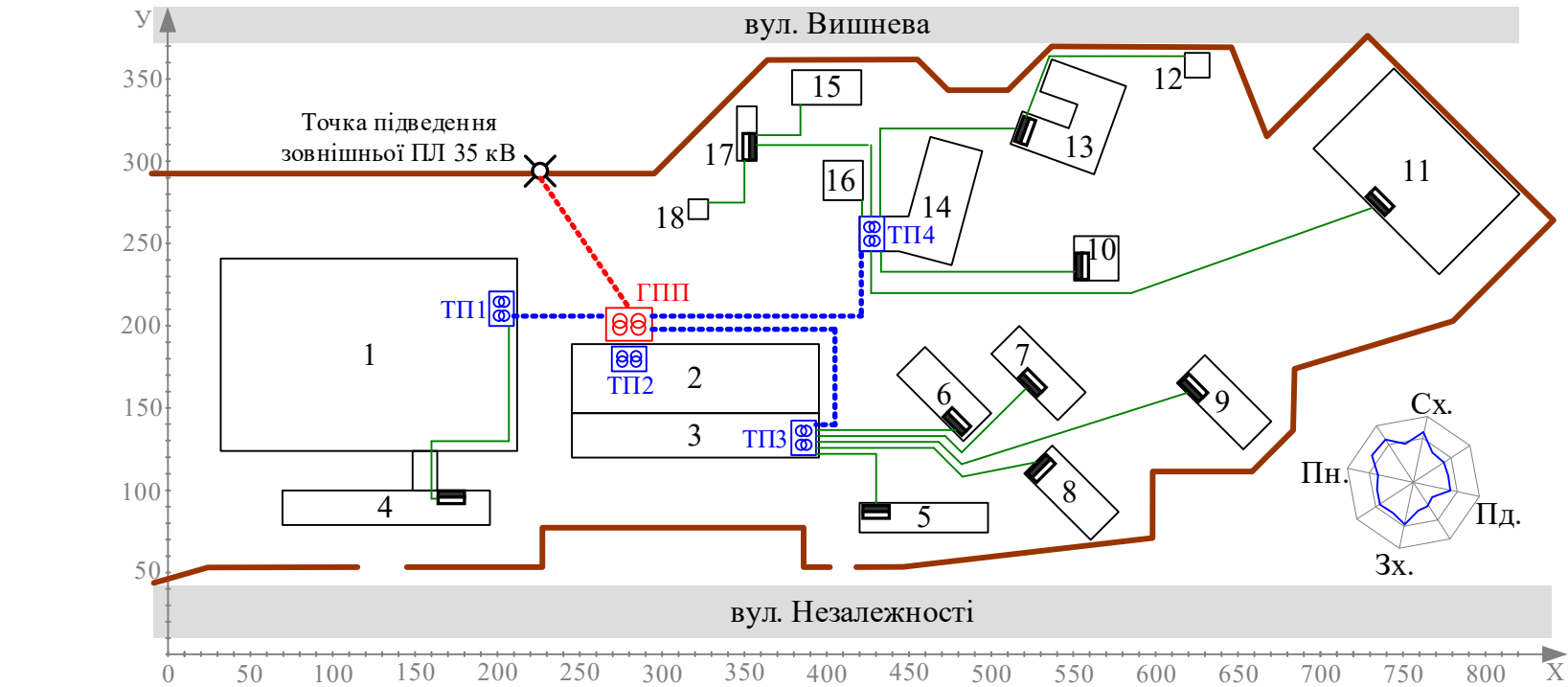
7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

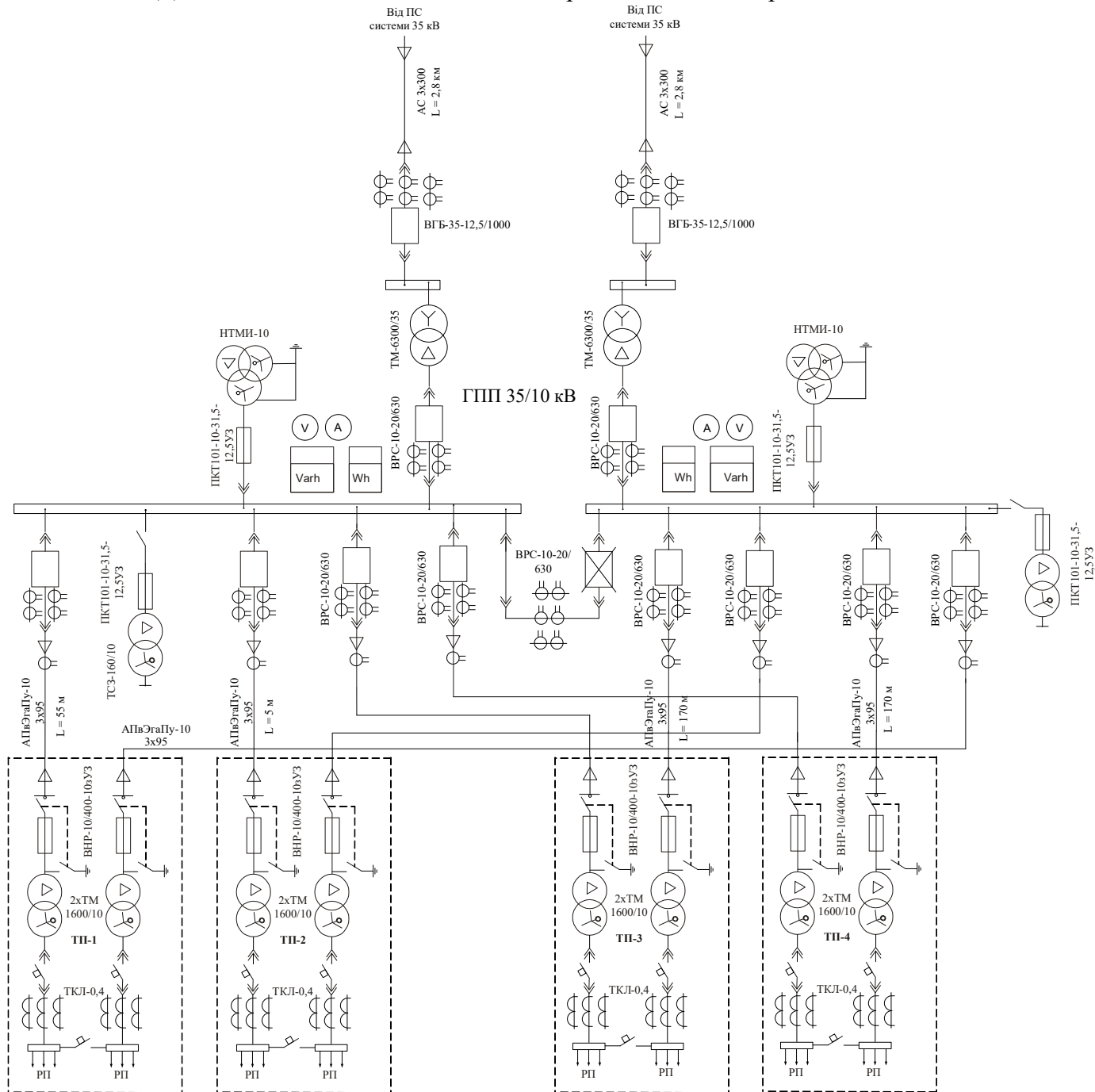
Не передбачається

Додаток Б – План підприємства із силовими та живильними мережами



№ по генплану	Найменування	Примітка Рн, кВт
1	Складальний цех	3150
2	Механічний цех	4000
3	Заготівельний цех	1100
4	Адміністративно-побутовий корпус	80
5	Будівля ЦТНС	23
6	Ковальсько-пресова дільниця	900
7	Інструментальний цех	700
8	Гальванічна дільниця	300
9	Експериментальний цех	200
10	Котельня	40
11	Цех товарів народного споживання	500
12	Насосна станція	12
13	Відділ головного механіка	230
14	Ливарний цех	1300
15	Нафтова ловушка	2,4
16	Транспортна дільниця	18
17	Компресорна станція	28
18	Газорозподільний пункт	1,5

Додаток В – Однолінійна схема електропостачання підприємства



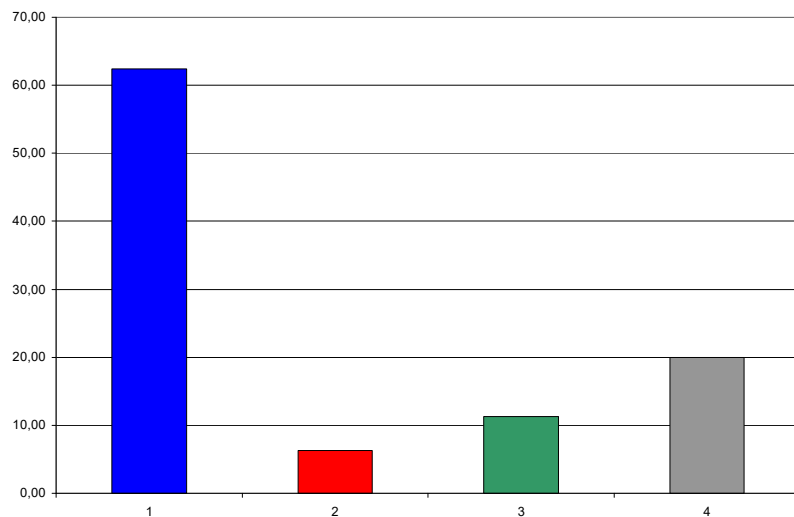
Додаток Г - Основні техніко економічні показники системи електропостачання

Сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства	5514,48 тис грн
Загальна потреба підприємства в електроенергії	32593111,74 кВт*год/рік
Тариф	5,195 грн/кВт*год
Оплата за спожиту електроенергію	169321215,49 грн
Собівартість спожитої електроенергії	536,18 грн/кВт*год

Підсумкова таблиця

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел.енергії	Е _а	32126472	кВт·год.
Річне споживання ел.енергії із втратами	Е	32593111,74	кВт·год.
Плата за електроенергію	П ₁	169321215,5	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.ен.	С _п	2932919,16	грн.
Сумарні витрати під-ва	С _{сум}	172254134,6	грн.
Собівартість ел.енергії	S	536,18	коп/кВт·год.

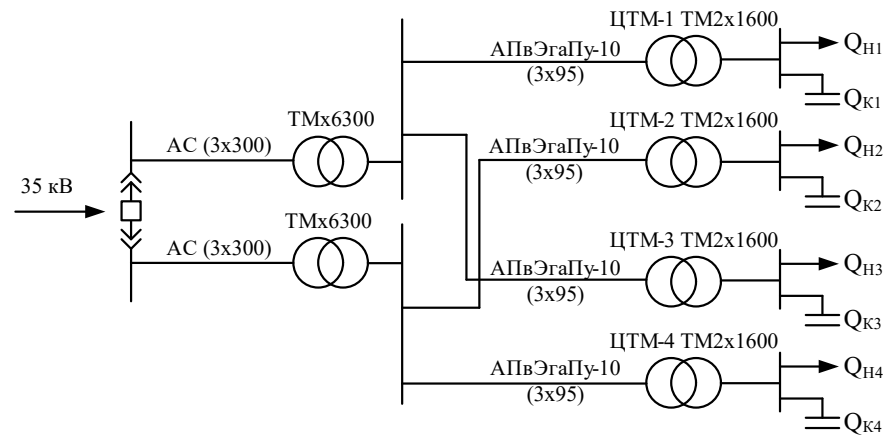
Гістограма кошторису річних поточних витрат



Таблиця кошторису річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн.	Р _н , кВт
Витрати по експлуатації обладнання	1829697,76	62,38
Витрати на поточний ремонт	185768,78	6,33
Витрати на амортизацію	330868,79	11,28
Інші витрати	586583,83	20,00
Разом	2932919,16	100

Додаток Д - Оптимальна КРП на підприємстві



Однолінійна схема електропостачання

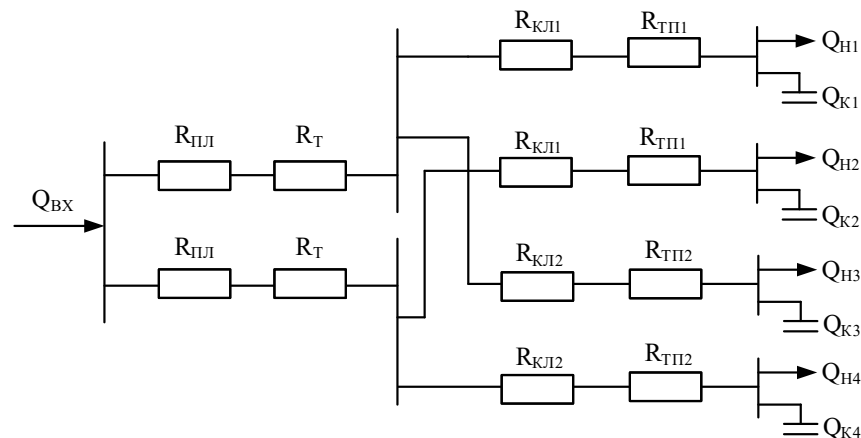


Схема заміщення мережі електропостачання підприємства

Вхідні дані для розрахунку

Напруга, кВ:

$$U := 10$$

Вхідна реактивна потужність, квар:

$$q_{BK} := 1850$$

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$E_e := 0.1$$

Коефіцієнт відрахувань на амортизацію

$$E_a := 0.04$$

Питома вартість КУ

$$B_{K0} := 100$$

Питомі втрати реактивної потужності в КУ, кВт/Мвар

$$\Delta P_K := 4.5$$

Питома вартість втрат активної потужності, грн/кВт

$$B_o := 22679.3$$

Питомі активні опори ліній живлення, Ом/км

$$r_{01} := 0.32 \quad r_{02} := 0.32 \quad r_{03} := 0.32 \quad r_{04} := 0.32$$

Довжини ліній від ЦРП до ЦТП, км

$$L_{\text{кр}1} := 0.055 \quad L_{\text{кр}2} := 0.005 \quad L_{\text{кр}3} := 0.17 \quad L_{\text{кр}4} := 0.17$$

Опори трансформаторів, Ом

$$r_{t1} := 0.703 \quad r_{t2} := r_{t1} \quad r_{t3} := r_{t1} \quad r_{t4} := r_{t1}$$

Реактивна потужність у вузлах навантаження, квар:

$$q_{H1} := 1829.395 \quad q_{H2} := 2076.23 \quad q_{H3} := 1533.474 \quad q_{H4} := 1020.48$$

Довільні початкові потужності БК у вузлах навантаження, квар:

$$q_{K1} := 100 \quad q_{K2} := 100 \quad q_{K3} := 100 \quad q_{K4} := 100$$

Довжина та питомий опір ліній живлення:

$$L_{\text{ж}} := 2.8 + 0.1 \quad r_{\text{ж}0} := 0.099$$

Опір зовнішньої лінії живлення, Ом

$$r_{\text{ж}} := L_{\text{ж}} \cdot r_{\text{ж}0} = 0.287$$

Опір розподільних ліній живлення, Ом

$$r_{n1} := r_{01} \cdot L_{\text{кр}1} = 0.018 \quad r_{n3} := r_{03} \cdot L_{\text{кр}3} = 0.054$$

$$r_{n2} := r_{02} \cdot L_{\text{кр}2} = 0.002 \quad r_{n4} := r_{04} \cdot L_{\text{кр}4} = 0.054$$

Модель балансової задачі компенсації реактивних навантажень

$$3(q_{K1}, q_{K2}, q_{K3}, q_{K4}) := \frac{B_o}{U^2 \cdot 1000} \left[\begin{aligned} &(q_{H1} - q_{K1})^2 \left(\frac{r_{t1} + r_{n1}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{H2} - q_{K2})^2 \left(\frac{r_{t2} + r_{n2}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{H3} - q_{K3})^2 \left(\frac{r_{t3} + r_{n3}}{2} \right) \dots \\ &+ (q_{H4} - q_{K4})^2 \left(\frac{r_{t4} + r_{n4}}{2} \right) \dots \\ &+ \left(\frac{q_{H1} + q_{H2} + q_{H3} \dots}{q_{H4} - q_{K1} - q_{K2} - q_{K3} - q_{K4}} \right)^2 \cdot \frac{r_{\text{ж}}}{2} \end{aligned} \right] \dots$$

Given

обмеження

$$q_{K1} \geq 0 \quad q_{K2} \geq 0 \quad q_{K3} \geq 0 \quad q_{K4} \geq 0$$

$$(q_{H1} + q_{H2} + q_{H3} + q_{H4}) - (q_{K1} + q_{K2} + q_{K3} + q_{K4}) = q_{BK}$$

Визначаємо оптимальне проектне рішення:

$$q_K := \text{Minimize}(3, q_{K1}, q_{K2}, q_{K3}, q_{K4}) = \begin{pmatrix} 1.358 \times 10^3 \\ 1.594 \times 10^3 \\ 1.085 \times 10^3 \\ 572.101 \end{pmatrix}$$

Річні приведені затрати, грн

$$3(q_{K1}, q_{K2}, q_{K3}, q_{K4}) = 470686244$$

Перевірка, квар

$$(q_{H1} + q_{H2} + q_{H3} + q_{H4}) - (q_{K1} + q_{K2} + q_{K3} + q_{K4}) = 1.85 \times 10^3 \quad q_{BK} = 1.85 \times 10^3$$

Визначаємо потужності БК у вузлах навантаження, квар:

$$q_{KY} := \frac{q_K}{2} = \begin{pmatrix} 679.072 \\ 797.121 \\ 542.545 \\ 286.05 \end{pmatrix}$$

Вигляд розрахунку задачі КРН в середовищі MathCad

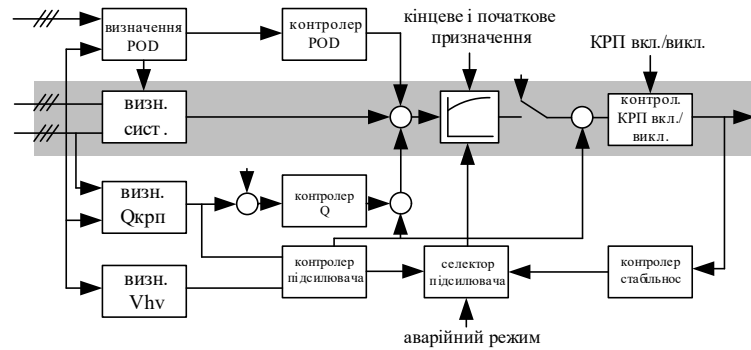
ЦТП-4: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-150-25-УХЛ4;

ЦТП-3: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-250-25-УХЛ4;

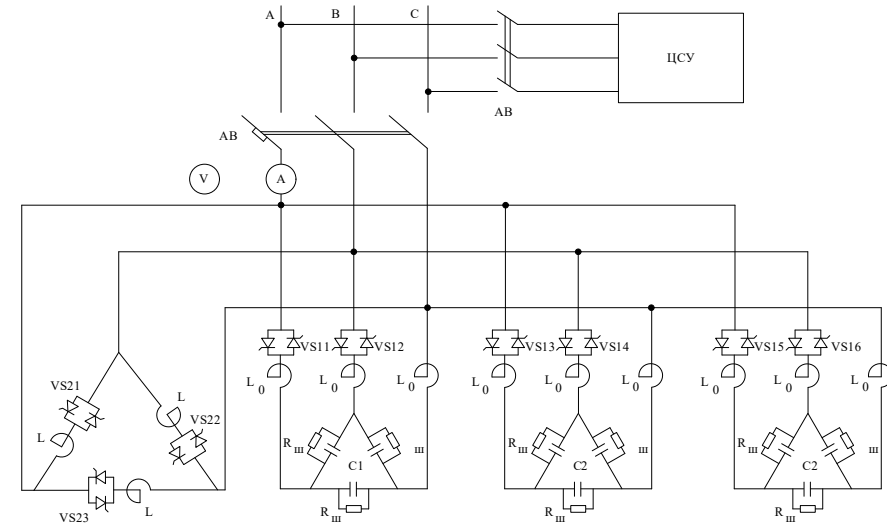
ЦТП-2: 4 КУ типу АУКРМ-0,4-400-25-УХЛ4;

ЦТП-1: 4 КУ типу УКРМТ-0,4-350.

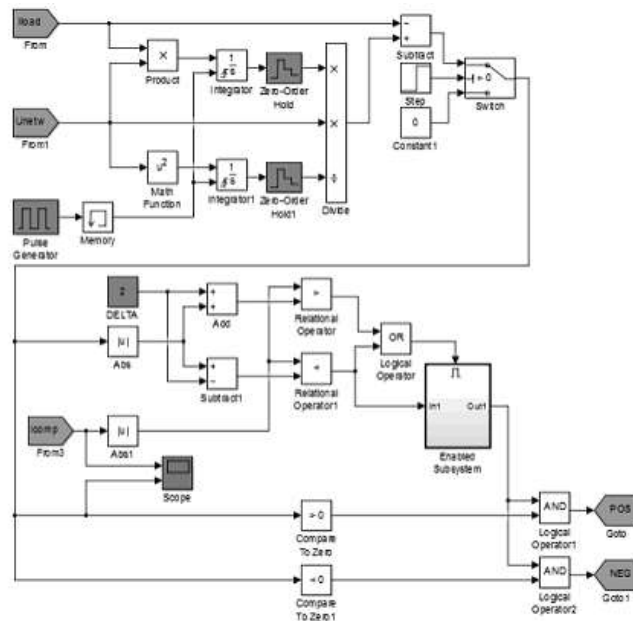
Додаток Є - Модель компенсатора в MATLAB Simulink



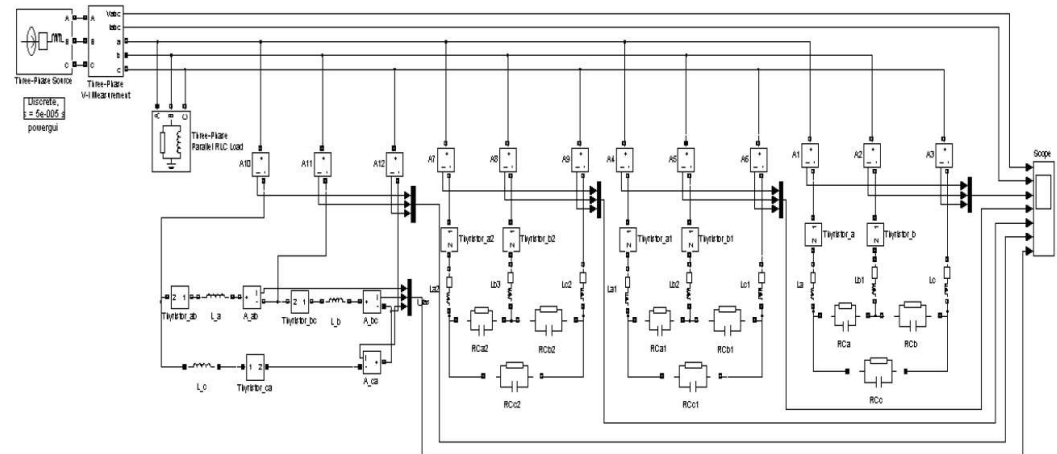
Система управління компенсатором



Принципова схема СТК

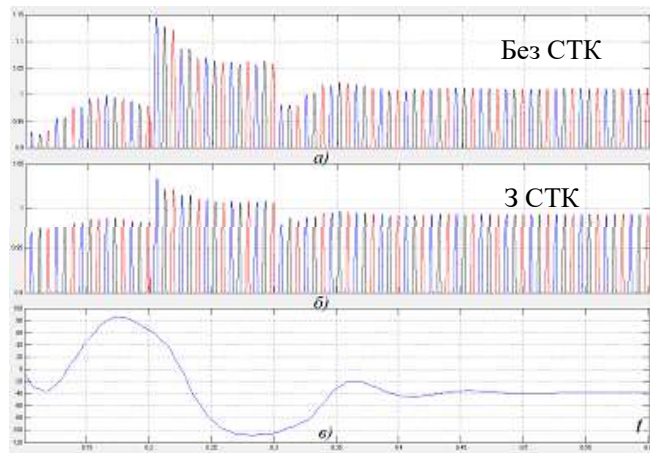


Система управління СТК

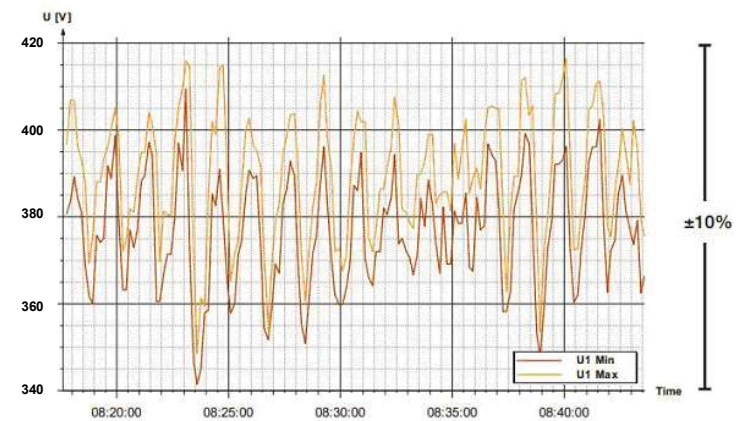


Модель СТК

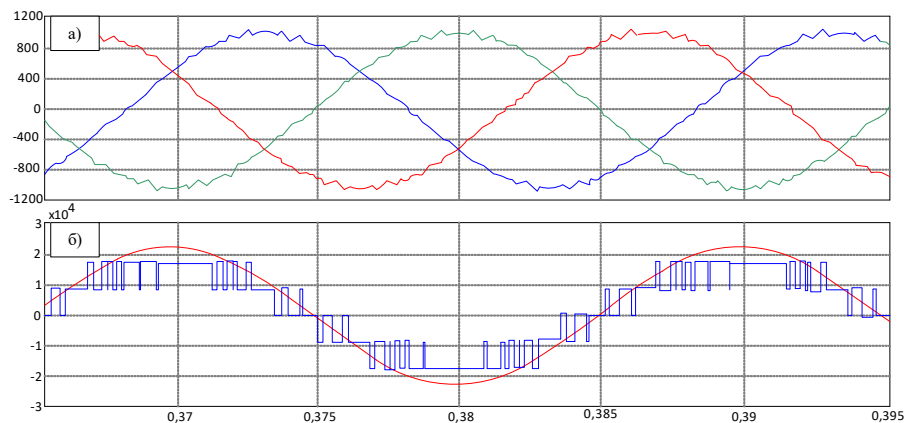
Додаток Ж - Результати моделювання основних режимів роботи компенсатора



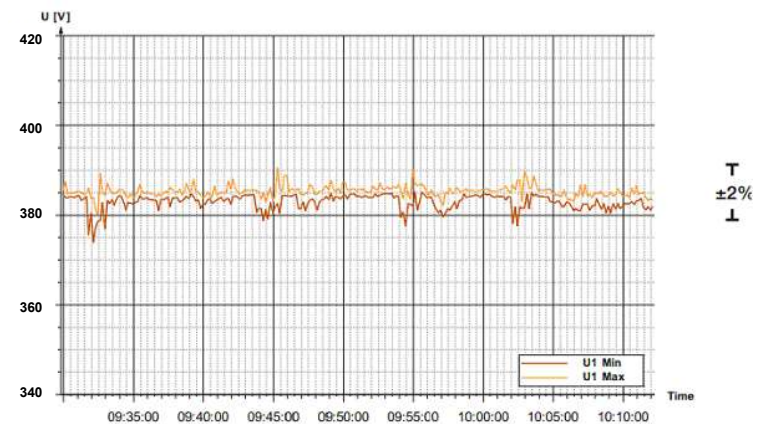
Часові залежності миттєвих значень лінійних напруг



Діаграма напруги системи промислова мережа - навантаження до компенсації



Режим споживання номінальної реактивної потужності
а) фазні струми; б) лінійна напруга перетворювача
(синій колір) і лінійну напругу мережі (червоний колір)



Діаграма напруги системи промислова мережа - компенсатор -
завантаження

Додаток 3 – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність
текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності системи електропостачання приватного акціонерного товариства «Калинівський машинобудівний завод»

Тип роботи: _____ МКР _____
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту факультет електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність _____ 86,2% _____ Схожість _____ 13,8% _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю.В. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи _____ Мелінчук В. В. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Бурбело М. Й. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)