

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))

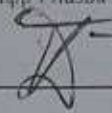
менеджменту


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності тягових мереж
Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»»


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


_____ Корженевський О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник К.Т.Н., доцент каф. ЕСЕЕМ

_____ Бабенко О. В.
(прізвище та ініціали)

« » _____ 2023 р.

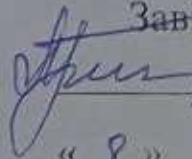
Опонент:

К.Т.Н., професор
каф. ЕСС

_____ Рубаненко О.Є.
(прізвище та ініціали)

« » _____ 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ


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

«8» 12 _____ 2023 р.

Вінниця – 2023 року

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

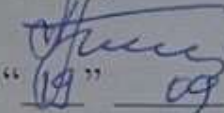
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕМ

 проф. М. Й. Бурбело

“19” 09 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Корженевському Олександрю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності тягових мереж Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

керівник роботи Бабенко Олексій Вікторович к.т.н., доц. каф. ЕСЕМ

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” вересня 2023 року № 247

2. Термін подання студентом роботи “01” грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства (Додаток Б); 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. Системи управління СТАТКОМ в умовах промисловості. Моделювання роботи СТАТКОМ. 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. Однолінійні та багатолінійні схеми електропостачання підприємства. Основні техніко-економічні показники системи електропостачання. Алгоритм управління СТАТКОМ. Цифрові моделі СТАТКОМ. Моделювання основних режимів роботи СТАТКОМ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабенко О.В., к.т.н., доц., каф. ЕСЕЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	П
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу		
2	Синтез зовнішньої СЕП		
3	Науково дослідна частина		
4	Синтез результатів наукової роботи		
5	Економічна частина		
6	Охорона праці		
7	Графічна частина		

Студент
(підпис)

Корженевський
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
(підпис)

Бабенко О.В.
(прізвище та ініціали)

Нормо контроль
(підпис)

Войтюк Ю.
(прізвище та ініціали)

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 енергоефективності тягових мереж Комунального підприємства “Вінницька транспортна компанія”

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕМ-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Корженевський О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент каф. ЕСЕЕМ

Бабенко О. В.

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2023 р.

Опонент:

_____.

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й.

(прізвище та ініціали)

« » _____ 2023 р.

Вінниця – 2023 року

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
План підприємства із силовими та живильними мережами. Однолінійна схема електропостачання підприємства. Основні техніко-економічні показники системи електропостачання. Алгоритм управління СТАТКОМ. Цифрова модель СТАТКОМ. Моделювання основних режимів роботи СТАТКОМ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабенко О.В., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулє Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства та технологічного процесу		
2	Синтез зовнішньої СЕП		
3	Науково дослідна частина		
4	Синтез результатів наукової роботи		
5	Економічна частина		
6	Охорона праці		
7	Графічна частина		

Студент _____
(підпис)

Корженевський О.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабенко О.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СПОЖИВАЧІВ ПІДПРИЄМСТВА.....	10
1.1 Характеристика підприємства	10
1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства	11
1.3 Визначення кількості, потужності та місця розташування цехових ТП.....	15
1.4 Визначення оптимального перерізу ліній живлення.....	18
1.5 Вибір високовольтних вимикачів та роз'єднувачів	18
1.6 Перевірка вибраного електрообладнання 10 кВ.....	20
1.7 Оптимізація і моделювання вибору місця розташування ЦРП.....	21
1.8 Релейний захист автомата.....	24
РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОСТІ	29
2.1 Основні властивості СТАТКОМ	29
2.2 Система управління СТАТКОМ	31
2.3 Оптиміальні схематичні рішення STATCOM.....	38
2.4 Підвищення енергоефективності підприємства засобами STATCOM	41
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ НА ПІДПРИЄМСТВІ	45
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	55
4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання	56
4.2 Розрахунок поточних витрат	57
4.2.1 Вибір системи освітлення	57
4.2.2 Розрахунок витрат по заробітній платі.....	59
4.2.3 Планування вартості матеріалів, що витрачаються	62
4.2.4 Визначення амортизаційних відрахувань і інших витрат	63
4.3 Розрахунок собівартості електроенергії.....	64
4.3.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію	64

4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії.....	67
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	69
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	69
5.1.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації робочої зони.....	69
5.1.2 Електробезпека.....	70
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	73
5.2.1 Мікроклімат.....	73
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	74
5.2.3 Виробниче освітлення.....	75
5.2.4 Виробничий шум.....	76
5.2.5 Виробничі вібрації.....	78
5.2.6 Психофізичні фактори.....	80
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах надзвичайних ситуацій.....	80
5.3.1 Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах впливу іонізуючих випромінювань.....	81
5.3.2 Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	82
5.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	83
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88
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 – Алгоритм управління СТАТКОМ	
Додаток Є – Цифрова модель СТАТКОМ	
Додаток Ж – Моделювання основних режимів роботи СТАТКОМ	

АНОТАЦІЯ

Корженевський Олександр Олександрович. Підвищення енергоефективності тягових мереж Комунального підприємства “Вінницька транспортна компанія”. МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2023 – 90 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання щодо підвищення енергоефективності КП «Вінницька транспортна компанія».

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, вибір кількості та потужності підстанцій, фідерних ліній, релейного захисту та автоматики.

В другому розділі проведений аналіз використання СТАТКОМ в умовах промисловості.

У третьому розділі розроблена науково-дослідна робота. Знайдено способи знаходження оптимальних режимів роботи СТАТКОМ 10 кВ встановленого на ЦРП підприємства.

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

У п'ятому розділі проаналізовано питання охорони праці.

Ключові слова: підстанція, реактивна потужність, електричні мережі.

Рисунків – 27

Таблиць - 24

Бібліографій – 36

ABSTRACT

Korzhenevsky Oleksandr Oleksandrovych. Increasing the energy efficiency of traction networks of the Vinnytsia Transport Company utility company. MTW. Specialty 141 - Vinnytsia: VNTU, FEEM, ESEEM department, 2023 - 90 p.

In the master's qualification work, the issue of increasing the energy efficiency of KP "Vinnytsia Transport Company" was considered.

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

In the first section of the qualification work, design decisions are considered, such as the calculation of enterprise loads, the selection of the number and capacity of substations, feeder lines, relay protection and automation.

In the second chapter, an analysis of the use of STATKOM in industrial conditions is carried out.

In the third chapter, the research work is developed. Methods of finding the optimal operating modes of the 10 kV STATKOM installed on the CDR of the enterprise have been found.

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

In the fifth chapter, the issues of labor protection are analyzed.

Keywords: substation, reactive power, electrical networks.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ПС - підстанція;
ЛЕП - лінія електропередачі;
АП - активна потужність;
РП - реактивна потужність;
ПН - перетворювач напруги;
СГ - синхронний генератор;
ПП - пряма послідовність;
ЗП - зворотна послідовність;
КБ - конденсаторна батарея;
ШР - шунтуючі реактори;
БСК - батарея статичних конденсаторів;
ППК - пристрій поздовжньої компенсації;
ССК - статичний синхронний компенсатор;
ШІМ - широтно-імпульсна модуляція;
СТК - статичний тиристорний компенсатор;
IGCT - тиристор, що замикається;
IGBT - біполярний транзистор з ізольованим затвором;
ТРГ - тиристорно-реакторні групи;

ВСТУП

Актуальність теми. Оптимальне функціонування всього підприємства значною мірою залежить від правильного вибору та інтеграції системи електропостачання підприємства. 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 [7].

Порушення надійності електропостачання призводить до значних збитків і виводить з ладу електрообладнання та технологічні процеси [4]. Критерієм ефективності забезпечення надійності електропостачання є економічний збиток. Основним завданням управління надійністю електропостачання є прогнозування збитків, спричинених можливими перервами в електропостачанні. Такі прогнози можуть бути використані для обґрунтування цін на електроенергію, оцінки прийнятності рівня витрат на забезпечення прийнятності рівня надійності електроспоживання та обґрунтування страхових тарифів.

Компенсація реактивної потужності за допомогою автоматичних конденсаторних установок використовується для забезпечення балансу реактивної потужності в енергосистемі без нанесення економічних збитків споживачам електроенергії та для контролю якості електроенергії з боку постачальника на прийнятному рівні.

Мета і задачі дослідження. Метою проведеної роботи є підвищення енергоефективності КП «Вінницька транспортна компанія». Загальний аналіз ефективності використання СТАТКОМ в системі електропостачання КП «Вінницька транспортна компанія». Провести аналіз системи електропостачання підприємства на основі діючих методик 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 робіт необхідно виконати наступні задачі:

- досягнення енергоефективності шляхом вибору оптимального класу напруги живлення та забезпечення вимог надійності системи електропостачання;
- оптимальний вибір кількості та потужності трансформаторів і компенсаторів реактивної потужності.

Об'єкт дослідження – СЕП КП «ВТК».

Предмет дослідження – аналіз використання СТАТКОМ в СЕП КП «ВТК».

Методи досліджень. У якості методів для виконання поставлених задач у роботі задіяні загальноприйняті методики та засоби розрахунку.

Наукова новизна. Основним результатом проведеної наукової роботи являється удосконалення математичної моделі імітації роботи СТАТКОМ. Розроблена модель дає змогу оптимального вибору параметрів СТАТКОМ який буде задіяних в мережах промислових підприємств чи комунальних споживачів. Удосконалена математична модель дає змогу визначити оптимальні параметри СТАТКОМ для вузлів його підключення та оптимальні параметри його роботи. Використання СТАТКОМ дозволить зменшити величину втрат електричної енергії в СЕП, що призведе до підвищення енергоефективності підприємства.

Практична цінність. В роботі представлені цифрові моделі системи управління СТАТКОМ. Використання розроблених цифрових систем управління в організаціях, що займаються експлуатацією таких пристроїв, дозволяє вибрати параметри пристрою, які будуть оптимально використовуватися по відношенню до параметрів місця його установки.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні положення й найвагоміші практичні результати виконаного дослідження було обговорено на науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ у 2023р. За результатами опубліковані тези доповідей [33] - посилення в квадратних дужках.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Характеристика підприємства

КП «Вінницька транспортна компанія» по категорії надійності електропостачання [1] необхідно віднести до споживачів II категорії. Генеральний план КП «ВТК» зображено на рисунку 1.1, Вся необхідна фактична інформація про електричні навантаження КП «ВТК» наведена в таблиці 1.1.

Відстань від КП «ВТК» до підстанції енергосистеми від якої відбувається живлення рівна 0,8 км.

Потужність КЗ зі сторони 10 кВ складає $S_{кз}=50$ МВА.

Вхідна РП складає $Q'_{вх} = 233$ квар.

Час використання максимального навантаження $T_m=4500$ год/рік.

Час максимальних втрат рівний $\tau_m= 2886,21$ год/рік.

Тариф за активну електроенергію $t= 6,6949$ грн/кВт*год.

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження КП «ВТК»

	Найменування	P_n , кВт
1	Продуктовий магазин	3
2	Столярний цех	75
3	Електроцех 1	70
4	Електроцех 2	65
5	Побутові приміщення	20
6	Управління ТТУ	90
7	Цех планового ремонту	190
8	Механічний цех	220
9	Цех технічного огляду	26
10	Механічна майстерня	143
11	Пилорама	24
12	Ділянка щоденних оглядів	15
13	Склад	3
14	Гараж	1,5
15	Шиномонтажний цех	5
16	Допоміжні будівлі	75

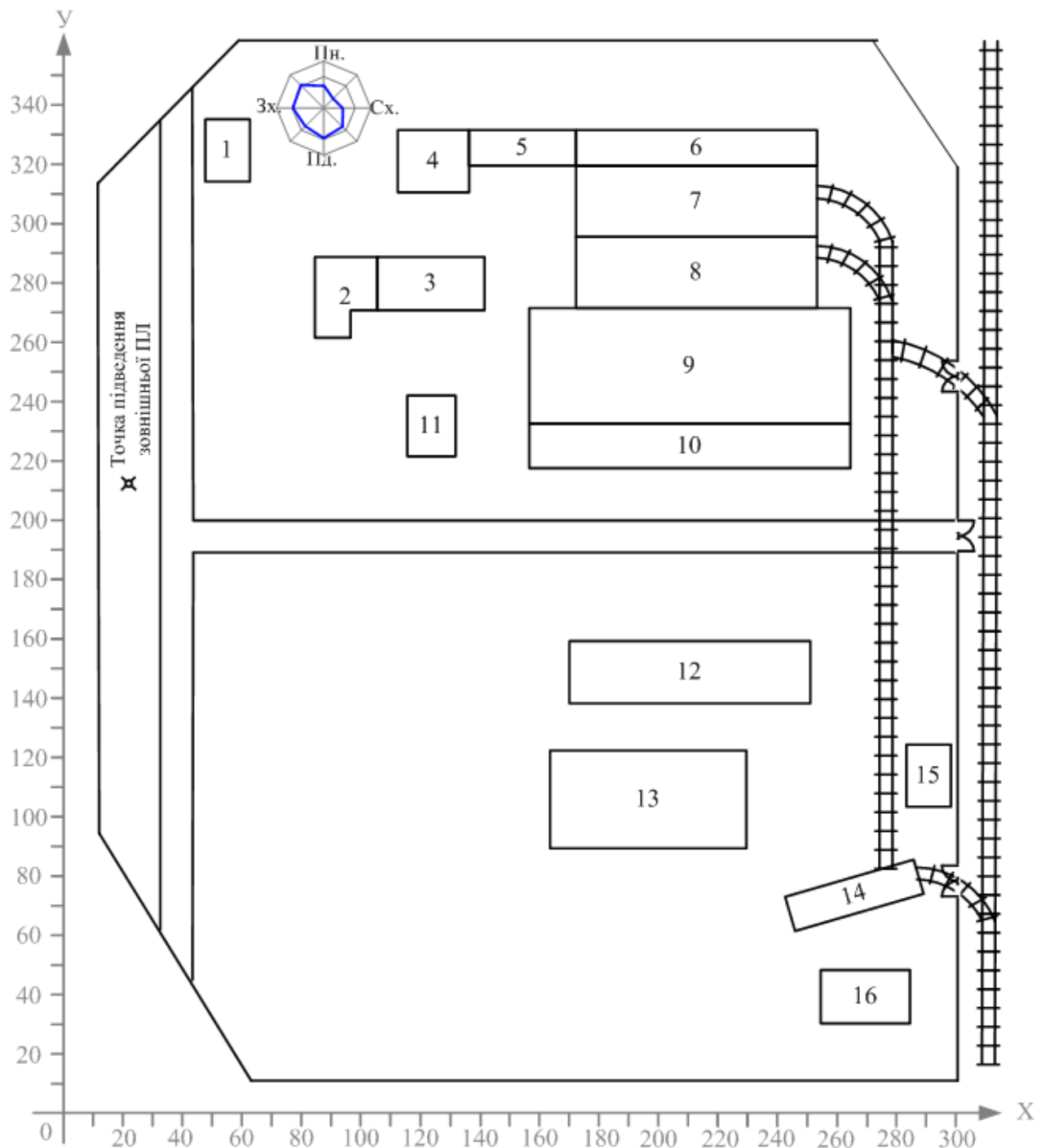


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

1.2 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Використовуючи поетапний розрахунок, за допомогою формул наведених в таблиці 1.2, електричних та освітлювальних навантажень методом коефіцієнта використання k_v та попиту $k_{п}$ [8] для електромережі КП «ВТК». Результати даних розрахунків занесені в табличну форму, яка представлена на рисунку 1.2.

Таблиця 1.2 – Формули розрахунку навантажень КП «ВТК»

Назва параметра	Формула	Приклад розрахунку для – Електроцех 1
Коефіцієнт реактивної потужності	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(\varphi))$	$\operatorname{tg}(\varphi) = \operatorname{tg}(\arg \cos(0,85)) = 0,6$
Розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po} = F \cdot k_{no} \cdot k_{пра} \cdot P_{штo}$	$P_{po} = 648 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 0,02 = 13,22$
Розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$	$Q_{po} = 13,22 \cdot \operatorname{tg}(0,48) = 6,35$
Середня активна потужність, кВт	$P_c = k_b \cdot P_n + P_{po}$	$P_c = 0,25 \cdot 70 + 13,22 = 30,72$
Середня реактивна потужність, квар	$Q_c = k_b \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_c = 0,25 \cdot 70 \cdot 0,6 + 6,35 = 17,19$
Середня повна потужність, кВА	$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$	$S_c = \sqrt{30,72^2 + 17,19^2} = 35,2$
Розрахункова активна потужність, кВт	$P_p = k_n \cdot P_n + P_{po}$	$P_p = 0,55 \cdot 70 + 13,22 = 51,72$
Розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_p = k_n \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + Q_{po}$	$Q_p = 0,55 \cdot 70 \cdot 0,6 + 6,35 = 30,21$
Розрахункова повна потужність, кВА	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$	$S_p = \sqrt{51,72^2 + 30,21^2} = 59,89$
Розрахунковий струм, А	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U}$	$I_p = \frac{59,89}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 91,0$
Питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho = \frac{S_p}{F}$	$\rho = \frac{59,89}{648} = 0,09$

Продовження таблиці 1.2

Назва параметра	Формула	Приклад розрахунку для – Електроцех 1
Сумарна розрахункова активна потужність освітлення, кВт	$P_{po\Sigma} = \sum_1^N P_{po}$	$P_{po\Sigma} = 319,01$
Сумарна розрахункова реактивна потужність освітлення, квар	$Q_{po\Sigma} = \sum_1^N Q_{po}$	$Q_{po\Sigma} = 153,12$
Сумарна розрахункова активна потужність, кВт	$P_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N k_n \cdot P_n + P_{po\Sigma}$	$P_{p\Sigma} = 0,95 \cdot 482,95 + 319,01 = 777,81$
Сумарна розрахункова реактивна потужність, квар	$Q_{p\Sigma} = k_o \cdot \sum_1^N P_n \cdot K_n \cdot tg + Q_{po\Sigma}$	$Q_{p\Sigma} = 0,95 \cdot 493,478 + 153,12 = 621,93$
Сумарна розрахункова повна потужність, кВА	$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}$	$S_{p\Sigma} = \sqrt{777,81^2 + 621,93^2} = 995,88$
Сумарна питома густина навантажень, кВА/м ²	$\rho_{\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{F_{\Sigma}}$	$\rho_{\Sigma} = \frac{995,88}{18687} = 0,05$

На рисунку 1.2 показана таблиця в електронному процесорі Excel, в якій виконуються автоматичні обчислення.

Енергоефективне функціонування кожного підприємства в значній мірі залежить від синтезу системи електропостачання конкретного підприємства та вірного вибору обладнання. Тому актуальним питанням є обґрунтування вибору оптимальних конфігурацій систем живлення, новітнього мікропроцесорного електричного обладнання, провідниково-кабельної продукції, оптимізація роботи існуючих електричних мереж.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Світло			M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
										Рн, кВт	cos	tg											Кп
1																							
2	Цех	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
3																							
4	1	Продуктовий магазин	3	0,65	1,2	0,35	0,1	315	0,8	0,02	1,2	0,48	2,90	6,05	6,35	3,25	7,13	7,10	4,13	8,21	12,48	0,03	
5	2	Столярний цех	75	0,8	0,8	0,6	0,35	489	0,85	0,02	1,2	0,48	4,79	9,98	36,23	24,48	43,72	54,98	38,54	67,14	102,01	0,14	
6	3	Електроцех 1	70	0,85	0,6	0,35	0,25	648	0,85	0,02	1,2	0,48	6,35	13,22	30,72	17,19	35,20	51,72	30,21	59,89	91,00	0,09	
7	4	Електроцех 2	65	0,8	0,8	0,35	0,25	504	0,85	0,02	1,2	0,48	4,94	10,28	26,53	17,12	31,58	46,03	31,75	55,92	84,96	0,11	
8	5	Побутові приміщення	20	0,8	0,8	0,8	0,15	432	0,85	0,02	1,2	0,48	4,23	8,81	11,81	6,48	13,47	24,81	16,23	29,65	45,05	0,07	
9	6	Управління ТТУ	90	0,75	0,9	0,8	0,15	972	0,85	0,02	1,2	0,48	9,52	19,83	33,33	21,42	39,62	91,83	73,02	117,32	178,25	0,12	
10	7	Цех планового ремонту	190	0,85	0,6	0,5	0,2	1944	0,6	0,02	1,2	0,48	13,44	27,99	65,99	36,99	75,65	122,99	72,31	142,68	216,77	0,07	
11	8	Механічний цех	220	0,5	1,7	0,35	0,35	1944	0,6	0,02	1,2	0,48	13,44	27,99	104,99	146,80	180,49	104,99	146,80	180,49	274,22	0,09	
12	9	Цех технічного огляду	26	0,6	1,3	0,3	0,25	4212	0,6	0,02	1,2	0,48	29,11	60,65	67,15	37,78	77,05	68,45	39,51	79,04	120,09	0,02	
13	10	Механічна майстерня	143	0,5	1,7	0,3	0,35	1620	0,6	0,02	1,2	0,48	11,20	23,33	73,38	97,89	122,34	66,23	85,50	108,15	164,32	0,07	
14	11	Пилорама	24	0,7	1	0,6	0,35	333	0,85	0,02	1,2	0,48	3,26	6,79	15,19	11,83	19,26	21,19	17,95	27,77	42,20	0,08	
15	12	Ділянка щоденних оглядів	15	0,65	1,2	0,5	0,1	1701	0,85	0,02	1,2	0,48	16,66	34,70	36,20	18,41	40,61	42,20	25,42	49,27	74,85	0,03	
16	13	Склад	3	0,65	1,2	0,45	0,15	2178	0,85	0,02	1,2	0,48	21,33	44,43	44,88	21,85	49,92	45,78	22,91	51,19	77,78	0,02	
17	14	Гараж	1,5	0,65	1,2	0,3	0,1	540	0,6	0,02	1,2	0,48	3,73	7,78	7,93	3,91	8,84	8,23	4,26	9,26	14,07	0,02	
18	15	Піномонтажний цех	5	0,55	1,5	0,4	0,15	315	0,9	0,02	1,2	0,48	3,27	6,80	7,55	4,40	8,74	8,80	6,30	10,83	16,45	0,03	
19	16	Допоміжні будівлі	75	0,7	1	0,35	0,25	540	0,8	0,02	1,2	0,48	4,98	10,37	29,12	24,11	37,80	36,62	31,76	48,47	73,64	0,09	
20	Всього по підприємству		1025,5					18687					153,12	319,01	593,36	493,92	775,11	777,81	621,93	995,88	1513,09	0,05	

Рисунок 1.2 - Розрахунок навантаження підприємства

1.3 Проектування трансформаторних підстанцій

При виборі трансформаторної підстанції (ТП) для живлення окремої групи споживачів підприємства слід дотримуватися наступних вимог [8]:

- показником ефективності при виборі ЦТП повинна бути річна приведена вартість витрат;
- стандартна потужність обраних трансформаторів не повина перевищувати дві величини потужності (максимум три).

Кількість трансформаторів ЦТП повинна відповідати класу надійності споживача згідно ПУЕ [1]. Потужність обраного трансформатора повинна відповідати нормальній експлуатації та післяаварійної роботи, виконуючи умову, що у разі виходу з ладу одного трансформатора двотрансформаторної ЦТП, трансформатор, який не вийшов з ладу, витримає розрахункові навантаження першої та другої категорії споживачів трансформатора який був відключени у зв'язку з аварійною ситуацією.

Беручи до уваги особливості підприємства, навантаження розподіляється між ЦТП оптимальним чином результат такого розподілі представлено на рисунку 1.3.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	№ 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	8	Механічний цех	104,9936	146,8048402	180,4863351	104,9936	146,8048402	180,4863351
3		9	Цех технічного огляду	68,4528	39,513344	79,03853606	67,1528	37,78001067	77,0508128
4		10	Механічна майстерня	66,228	85,50241964	108,1517996	73,378	97,88658292	122,3360699
5		11	Пилорама	21,1932	17,95167448	27,77434685	15,1932	11,83045011	19,25598287
6		12	Ділянка щоденних оглядів	42,2004	25,42466363	49,26750735	36,2004	18,40988633	40,61271814
7		13	Склад	45,7812	22,90530089	51,19151377	44,8812	21,8530843	49,91872802
8		14	Гараж	8,226	4,258588298	9,262972001	7,926	3,907849433	8,837010987
9		15	Шиномонтажний цех	8,804	6,30288238	10,82759171	7,554	4,404780892	8,744427409
10		16	Допоміжні будівлі	36,618	31,75699661	48,47045242	29,118	24,10546615	37,80120927
11				Всього по ТП1	402,4972	380,4207101	553,8266089	386,3972	366,982951
12	ТП2	1	Продуктовий магазин	7,098	4,130626028	8,21240984	6,348	3,253778865	7,133314861
13		2	Столярний цех	54,9756	38,538288	67,13803868	36,2256	24,475788	43,71908386
14		3	Електроцех 1	51,7192	30,20537303	59,89357402	30,7192	17,19074192	35,20214278
15		4	Електроцех 2	46,0316	31,747668	55,91799909	26,5316	17,122668	31,5770733
16		5	Побутові приміщення	24,8128	16,230144	29,64949609	11,8128	6,480144	13,47347431
17		6	Управління ТТУ	91,8288	73,01585547	117,3194087	33,3288	21,4237049	39,62050026
18		7	Цех планового ремонту	122,9936	72,31264015	142,6763595	65,9936	36,98721286	75,6518946
19				Всього по ТП2	399,4596	266,1805947	480,0209173	210,9596	126,93403855

Рисунок 1.3 - Розподіл споживачів підприємства між двома ЦТП

Електронний процесор EXCEL використовується для автоматичного вирішення завдання вибору джерела живлення трансформатора відповідно до наступних даних:

- 1) нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень $E_c=0,1$;
- 2) величина коефіцієнта амортизації $E_a=0,066$;
- 3) коефіцієнт навантаження в нормальному режимі:
 - річна температура для Вінницької області $\theta=10,7^\circ\text{C}$;
 - значення ефективної температури: $\theta_e = \theta + \Delta\theta = 10,7 + 6 = 16,7^\circ\text{C}$;
 - коефіцієнт навантаження для нормального режиму роботи: $k_n=1$.
- 4) коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі роботи.
Максимальна температура навколишнього середовища $\approx 30^\circ\text{C}$;
Коефіцієнт навантаження для післяаварійного режиму роботи $k_{па}=1,3$.
- 5) допускаєть відключити 10% навантаження споживачів, тому коефіцієнт $k_{ппа}=0,9$ для післяаварійного режиму роботи.

Робота силових трансформаторів характеризується наявністю втрат, які зростають в періоди неробочого навантаження в основному за рахунок збільшення величини втрат холостого ходу (втрати активної потужності в трансформаторі, кВт) [2] та зниження навантаження відносно номінального через збільшення споживання реактивної енергії (ефективні втрати міді в обмотці трансформатора).

Робота силового трансформатора характеризується наявністю втрат, що характеризуються збільшенням величини незавантаження протягом періоду, в основному за рахунок збільшення величини втрат холостого ходу (втрати реактивної потужності трансформатора в сталі, кВт) [8], а також зниження навантаження щодо номінальної через збільшення неприпустимого енергоспоживання (активні втрати в мідних обмотках трансформатора).

Економічний режим роботи трансформатора включає в себе оцінку кількості одночасно працюючих трансформаторів, які забезпечують найменші втрати потужності серед них [8] якщо підстанція оснащена трансформатором того ж типу і тієї ж потужності.

Усі необхідні формули для побудови математичної моделі вибору потужності трансформаторів наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Формули для автоматичного вибору потужності трансформаторів

Назва параметра	Формула
Річні приведені затрати в ТП, грн	$Z(S_T) = B_{ТП}(S_{ТП}) + B_B(S_{ТП});$ $Z(S_T) = (E_a + E_e) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{KЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
Вартість річних втрат електроенергії, грн	$B_B(S_T) = [\Delta P_{XX}(S_T) + \Delta P_{KЗ}(S_T) \cdot k_3^2] \cdot k_T \cdot B_0$
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 зміню	$S_T \cdot k_T \cdot k_n \geq S_{ТП};$ $k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТП} \cdot k_{нпа}$
Втрати активної потужності, кВт	$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{XX} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{KЗ} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$
Втрати реактивної потужності, квар	$\Delta Q_{тр} = n \cdot \frac{I_{XX}}{100} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{KЗ}}{100} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2$

Таблична форма за допомогою якої здійснюється автоматизований вибір найбільш економічної потужності цехової ТП згідно математичної моделі, яка наводиться в таблиці 1.3 представлена на рисунку 1.4.

Якість електропостачання визначається підтриманням значень напруги і частоти мережі на заданому рівні і обмеженням гармонійних, несинусоїдальних коливань і асиметрії напруги в мережі [11].

Надійність і якість джерела живлення тісно взаємопов'язані. Наприклад, зниження частоти напруги в енергосистемі, викликане недоліком генеруючих потужностей, може привести до відключення або обмеження деяких споживачів, тобто до зниження надійності електропостачання при безаварійній роботі обладнання. Для забезпечення безперервності виробництва і споживання електроенергії її якість визначається не тільки виробником (його пристроями вироблення, перетворення, передачі і розподілу), але і характеристиками електроприймача споживача.

Результат автоматизованого вибору являється проектне рішення по застосуванню для ЦТП 1,2 комплектних ТП з трансформаторами 2х630 кВА [11].

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Вибір оптимальної потужності ТП1 за мінімумом затрат														
2	Дані нормального режиму														
3	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	553,8266			
4	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	532,8971			
5	Кількість трансформаторів										kt=	2			
6	Допустимий коефіцієнт навантаження в нормальному режимі										kn=	1			
7	Дані післяаварійного режиму														
8	Допустимий коефіцієнт навантаження післяаварійному режимі										kпа=	1,3			
9	Доля навантаження в п.а. режимі										kпап=	0,9			
10	Економічні характеристики														
11	Питома вартість втрат, грн/кВт										Во=	19322,89			
12	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ee=	0,1			
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea=	0,036			
14															
15	*	St, кВА	dPкз, кВт	dPкх, кВт	Kтп, тис. грн.	E*К, тис. грн.	dPзм, кВт	dPнс, кВт	dP, кВт	Вв, тис. грн.	З, тис. грн.	*	X	обмеж. 1	обмеж. 2
16		63	1,28	0,24	209,28	28,46208	49,45913	0,48	49,93913	964,9682	---	---	---	---	---
17		100	1,97	0,33	259,42	35,28112	30,21231	0,66	30,87231	596,542	---	---	---	---	---
18		160	3,1	0,51	297,134	40,41022	18,57117	1,02	19,59117	378,558	---	---	---	---	---
19		250	4,2	0,74	376,159	51,15762	10,30592	1,48	11,78592	227,7381	---	---	---	---	---
20		400	5,9	0,95	496,386	67,5085	5,655222	1,9	7,555222	145,9887	213,4972	+	+	+	+
21	V	630	8,5	1,31	636,887	86,61663	3,284396	2,62	5,904396	114,09	200,7066	V	+	+	+
22		1000	10,5	2,1	936,3536	127,3441	1,610301	4,2	5,810301	112,2718	239,6159	+	+	+	+
23		1600	18	2,8	1377,542	187,3457	1,078326	5,6	6,678326	129,0445	316,3902	+	+	+	+
24		2500	23,5	3,85	1493,518	203,1184	0,576641	7,7	8,276641	159,9286	363,047	+	+	+	+
25										Змін=	200,7066				
26										Опт. Пот. Трансформатора	St*=	630			

Рисунок 1.4 – Вибір потужності ТП1

1.4 Визначення оптимального перерізу лінії живлення

Підприємство отримує живлення від п/ст 110/10, яка знаходиться на відстані 0,8 км від підприємства. Обираємо радіальну схему електропостачання напругою 10 кВ, як найбільш надійну. На території підприємстві встановлюємо ЦРП 10 кВ з двома секціями розподільних шин.

Живлення ЦТП здійснюється від ЦРП кабелями.

Для живлення КП «ВТК» обрано броньовані кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену в ПВХ оболонці типу АПвПу-10 прокладені в траншеї трикутником.

Вибір усіх живлячих ліній виконується за допустимим струмом.

Для живлення ЦРП вибираємо кабель АПвПу-10 перерізом 3х50 мм² з I_{доп} = 165 А [7].

Кабелі всіх інших ключових приєднань на напрузі 10 кВ вибираємо аналогічно, а результати заносимо в таблицю 1.4.

Визначаємо переріз провідників для живлення ЦРП:

$$I_p \leq k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot I_{\text{доп}}; \quad (1.1)$$

$$57,5 \text{ (A)} \leq 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 0,97 \cdot 165 = 163 \text{ (A)}.$$

1.5 Вибір високовольтних вимикачів та роз'єднувачів

Всі електричні апарати вибирають за характером установаження, номінальним струмом та напругою, а також перевіряють їх на термічну і динамічну стійкість згідно зі всіма встановленими нормами використання електричних апаратів.

Високовольтні силові вимикачі вибираються за величинами номінальної напруги і розрахунковим струмом в після аварійному режимі.

$$U_{\text{НОМ.В}} \geq U_{\text{НОМ.мережі}}, \quad (1.2)$$

$$I_{\text{НОМ.В}} \geq I_{\text{max}}, \quad (1.3)$$

I_{max} для нормального та післяаварійного режиму роботи:

а) ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{553,82}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 16 \text{ (А)},$$

а) ТП2:

$$I_p = \frac{S_p}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{480,02}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 14 \text{ (А)},$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 47,3 \text{ (А)}.$$

На стороні 10 кВ вибираємо вакуумні вимикачі ВРС-10. Номінальний струм силових вимикачів $I_{\text{НОМ.В}} = 630 \text{ А} > I_{\text{м.ав}}$ для всіх приєднань до ЦРП. Усі обрані електричні апарати на напрузі 10 кВ представлені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Вибір високовольтного обладнання СЕП

Лінія	I_p , А	$I_{\text{па}}$, А	Вимикач	$I_{\text{ном}}$, А	Провідник	S, мм ²	$I_{\text{доп}}$, А
С-ЦРП	28,8	57,5	ВРС-10-20/630 УЗ	630	АПВПу-10	3×50	165
ЦРП-ТП-1	16	47,3	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПВПу-10	3×25	90
ЦРП-ТП-2	14	47,3	ВРС-10-10/400 УЗ	400	АПВПу-10	3×25	90

1.6 Перевірка вибраного електрообладнання 10 кВ

Обчислюємо струм короткого замикання, щоб перевірити вибраний вимикач та кабель. Всі необхідні формули і результати їх розрахунків наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Формули розрахунку струмів КЗ

Назва параметра	Формула	Розрахунок
Базисний струм на напрузі 10 кВ, в.о.	$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}$	$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55$
Опір системи, в.о.	$X_C = \frac{S_6}{S_K}$	$X_C = \frac{1000}{200} = 5;$
Періодична складова струму трифазного КЗ в початковий момент часу, кА	$I_{ПО} = \frac{E_C}{X_\Sigma} \cdot I_6$	$I_{ПО} = \frac{1}{5} \cdot 55 = 11$
Постійна часу затухання аперіодичної складової струму, с	$T_{ac} = \frac{X_\Sigma}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_\Sigma}$	$T_{ac} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5} = 0,032$
Розрахунковий час початку розмикання контактів вим., с	$\tau = t_{pz.min} + t_{в.в.}$	$\tau = 0,01 + 0,055 = 0,065$
Аперіодична складова струму КЗ при $t = \tau = 0,065$ с, кА	$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}}$	$i_{ат.С} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot e^{-\frac{0,065}{0,032}} = 2,04$
Ударний струм КЗ, кА	$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot I_{ПО} \cdot \left(1 + e^{-\frac{\tau}{T_{ac}}} \right)$	$i_{уд.С} = \sqrt{2} \cdot 11 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,065}{0,032}} \right) = 17,6$
Час відключення, с	$t_{від} = t_{pz} + t_{пв}$	$t_{від} = 0,5 + 0,1 = 0,6$
Тепловий імпульс, $кА^2 \cdot с$	$B_K = I_{ПО}^2 \cdot (t_{від} + T_{ac})$	$B_K = 11^2 \cdot (0,6 + 0,032) = 76,5$

Перевірте комутаційну здатність і опір струму короткого замикання обраного вимикача типу ВРС-10 і наводимо результати перевірки в таблицю 1.6.

Виконуються всі необхідні перевірки, щоб можна було використовувати вимикач типу ВРС-10 для надійної роботи СЕП підприємства.

Таблиця 1.6 – Перевірка вимикача ВРС-10

Умова вибору	Номинальні параметри вимикачів	Розрахункові параметри мережі
$I_{\text{номвйд}} = I_{\text{пт.}}$	$I_{\text{номвйд}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} = I_{\text{птс}} = 11 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{номвйд}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right) \geq \geq \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}$	$\sqrt{2} \cdot 40 \cdot \left(1 + \frac{21}{100}\right) = 68,45 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 11 + 2,04 = 13,04 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 128 \text{ кА}$	$i_{\text{уд.с}} = 17,6 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{по}}$	$I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$	$I_{\text{по}} = 11 \text{ кА}$
$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 40^2 \cdot 4 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 76,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

1.7 Визначення вибору місця розташування ЦРП

ТП підприємства живиться через ЦРП 10 кВ, тому ЦРП необхідно розташувати як найближче до енергетичного центра мережі.

Керуючою змінною є координати місцезнаходження ЦРП - (x_0, y_0) .

Вартість системи електропостачання є показником ефективності рішення.

Математична модель для рішення даної задачі має наступний вигляд [8]:

$$\begin{aligned}
 Z(x_0, y_0) = & \left[(E_e + E_{\text{аж}}) \cdot (a_{\text{ж}} + K_0(F_{\text{ж}})) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_{\text{ж}}) \cdot B_0 \right] \cdot k_{\text{ж}} \cdot L_{\text{ж}} + \\
 & + \sum_{i=1}^n \left[(E_e + E_a) \cdot (a + K_0(F_i)) + 3 \cdot I^2 \cdot R_0(F_i) \cdot B_0 \cdot k_i \right] \cdot L_i \rightarrow \min, \quad (1.4) \\
 & X_{\min} \leq X_0 \leq X_{\max}, \\
 & Y_{\min} \leq Y_0 \leq Y_{\max}.
 \end{aligned}$$

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;

E_e - коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$k_{ж}$ - кількість кабелів живлячої лінії;

k_i - кількість кабелів від центру мережі до і-тої ТП;

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

F_i - переріз і-тої кабельної лінії;

a – складова питомої вартості КЛ на 1 км, яка не залежить від перерізу;

$a_{ж}$ - складова питомої вартості живлячої КЛ на 1 км;

$L_{ж}$ - довжина живлячої лінії км;

L_i - довжина і-тої розподільної лінії;

Причому довжина лінії живлення визначається за такими формулами:

$$L_i = \sqrt{(X_0 - X)^2 + (Y_0 - Y)^2} \text{ - для евклідової метрики;}$$

$$L_i = |X_0 - X| + |Y_0 - Y| \text{ - для неевклідової метрики.}$$

$X_0; Y_0$ - координати центру мережі;

$X_{\min}; Y_{\min}$ - мінімальні координати на генплані, за якими не можна розташовувати

ЦМ по осі X та Y відповідно;

$X_{\max}; Y_{\max}$ - максимальні координати на генплані, за якими не можна розташовувати

ЦМ по осі X та Y відповідно;

На рисунку 1.5 показана таблична форма в якій автоматизовано процес вибору ЦМ за мінімумом річних приведених затрат.

Генплан КП «ВТК» з розміщенням ЦРП та ТП зображено на рисунку 1.6.

розміщення ЦРП: $X_0 = 45$ м та $Y_0 = 90$ м.

1.8 Релейний захист автоматика

Струмова відсічка (СВ) для ділянки ЦРП-ТП1 яка виконана кабельною лінією 10 кВ. Конструктивно даний захист виконується двофазною дворелейною схемою зі струмовими реле типу РТ-40 КА1 і КА2. Струм спрацьовування СВ узгоджується зі струмом спрацьовування СВ трансформаторів ТП1 і вибирається за наступним відношенням [6]:

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1													
2	Технічні характеристики мережі												
3	Напруга зовнішньої лінії живлення, кВ										Uж=	10	
4	Метрика зовнішньої лінії (Е чи НЕ)										Метрикаж =	Е	
5	Метрика розподільної мережі (Е чи НЕ)										МетрикаР =	НЕ	
6													
7	Економічні характеристики мережі												
8	Питомі втрати, які не залежать від перерізу КЛ 10кВ, тис.грн/км										a=	6	
9	Питомі втрати, які не залежать від перерізу зовнішньої ПЛ тис.грн/км										аж=	7	
10	Питома вартість втрат, грн/кВт										Во=	19322,89	
11	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень										Ее=	0,1	
12	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Еа=	4,00%	
13	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію живлячої лінії										Еаж=	3,00%	
14													
15													
16	Лінії живлення	X, м	Y, м	F, мм ²	k	P, кВт	Q, кВт	I, А	R ₀ , Ом/км	К ₀ , т.грн/км	L, м	З, тис. грн	
17	ЖЛ	22	212	300	2	788,80	695,77	30,36	0,099	125,1538	147,49	4,095	
18	ТП1	213	208	50	2	408,4016	419,0095	16,89	0,62	173,4299	52,00	3,635	
19	ТП2	169	310	50	2	404,5469	301,4386	14,56	0,62	173,4299	110,00	7,111	
20													
21	Сумарні річні приведені затрати в мережу, тис.грн.											14,84088	
22	Кординати ЦЕМ, м										X ₀ =	169	200
23	Оптимальні координати ЦЕМ, м										161	214	

Рисунок 1.5 – Таблична форма для визначення центру мережі

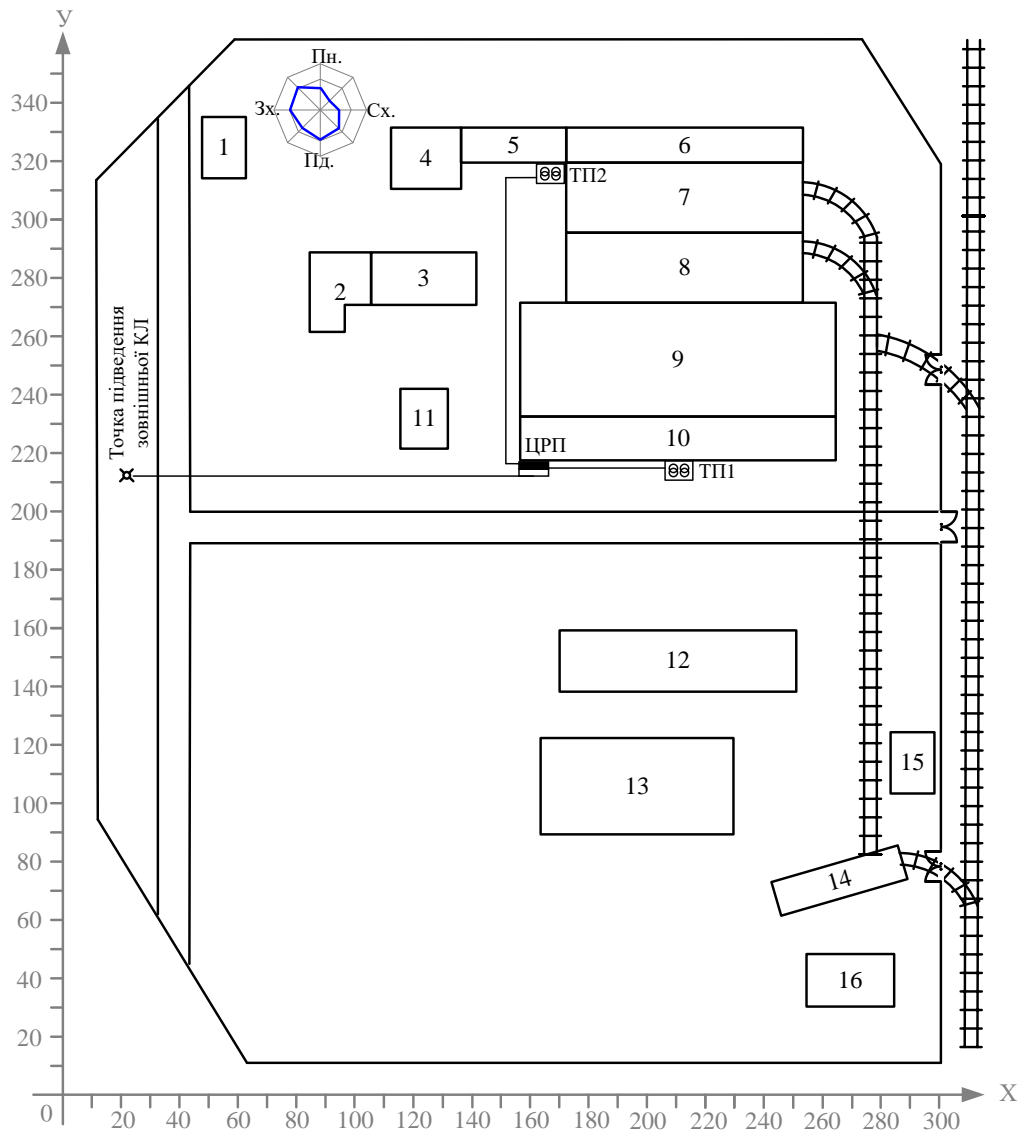


Рисунок 1.6 – Розміщення ЦРП та ЦТП на території підприємства

$$I_{св} = k_{нКЛ} \cdot k_{нГр-р} \cdot I_{к\max\text{ВН}}^{(3)} = k_{нКЛ} \cdot k_{нГр-р} \cdot \frac{100}{U_{кГр-р}} \cdot I_{ном.Гр-р}, \quad (1.5)$$

де $I_{к\max\text{ВН}}^{(3)}$ – величина максимального струму трифазного КЗ поза зоною дії відсічки, приведеної до сторони ВН трансформатора, А;

k_n – коефіцієнт надійності, значення якого залежать від типу використаних струмових реле: 1,3—1.4 – для реле типу РТ-40;

$I_{ном.Гр-р}$ – номінальний струм трансформатора на ВН ($I_{ном.Гр-р} = 37,17$ А);

$U_{кГр-р}$ – напруга короткого замикання трансформатора ($U_{кГр-р} = 5,5\%$).

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

Струм спрацювання реле визначається з виразу:

$$I_{ср} = \frac{I_{св}}{n_{ТС}} = \frac{1183}{20} = 59,15 \text{ (А)},$$

де $n_{ТС}$ – значення коефіцієнта трансформації трансформатора струму ТС приймається рівним 100/5.

Обираємо для даного місця підключення реле типу РТ-40/200 у якого з'єднання котушок паралельне. Номінальні межі уставок струму спрацювання для даного реле становлять 100—200 А.

Витримку часу необхідно вибирати узгоджуючи її з часом спрацювання СВ трансформатора 630 кВА ТП1, тобто на ступінь селективності вище – 0,5с:

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

У якості реле часу приймається ЭВ-114 з номінальною межею уставок за часом 0,1 – 1,3 с.

Визначимо струм трифазного КЗ. Схема заміщення зображена на рисунку 1.7.

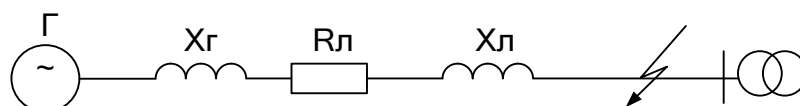


Рисунок 1.7 – Схема заміщення для розрахунку струму к.з.

$$I_{кз} = \frac{1,05 \cdot U_{н}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (1.6)$$

де U – напруга, кВ;

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

$$Z = \sqrt{R_{л}^2 + (X_{л} + X_{г})^2}, \quad (1.7)$$

$$X_{г} = \frac{x_d'' \cdot U_{сп}^2}{S_{ном.г}}, \quad (1.8)$$

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

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

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

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

Максимальний струмовий захист (МСЗ). Схема МСЗ приймається двофазною з трьома реле типу РТ40 (КА1, КА2, КА3) що зображено на рисунку 1.8.

Для даного апарату уставка по струму вибирається з наступних умов:

а) При післяаварійних перевантаженнях неспрацьовування захисту за виразом:

$$I_{сз} = \frac{k_{н} \cdot k_{сзп} \cdot I_{роб\max}}{k_{пов}} \quad (1.9)$$

$k_{сзп}$ - коефіцієнт самозапуску навантаження ($k_{сзп} = 3$);

$k_{пов}$ - коефіцієнт повернення реле ($k_{пов} = 0,8$).

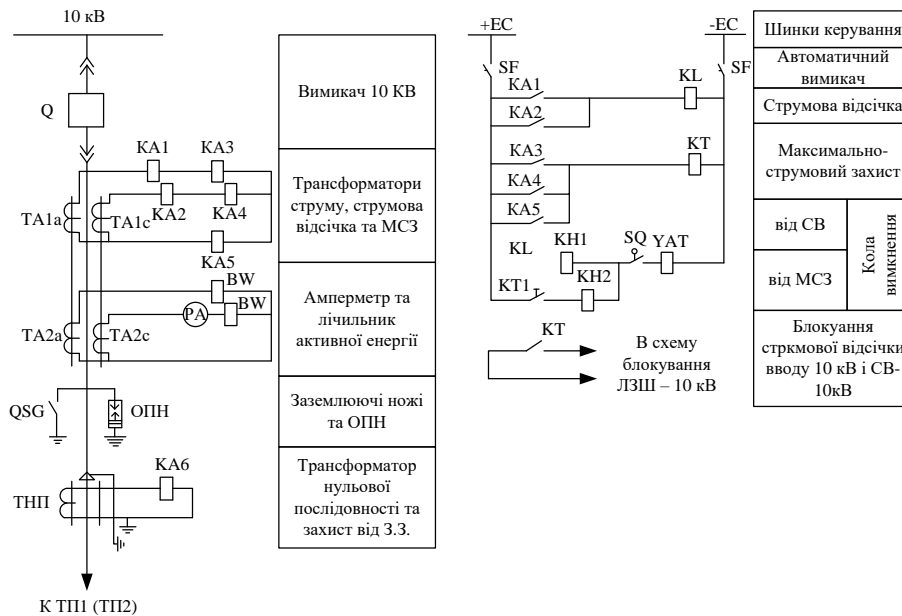


Рисунок 1.8 – Схема захисту кабельної лінії 10-6 кВ

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

б) за узгодженням з попереднім захистом:

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

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

в) чутливість захисту визначається для двофазного КЗ на шинах 10 кВ ТП1:

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

г) струм спрацьовування реле:

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

де $n_{ТС}$ – коефіцієнт трансформації ТС рівний 100/5.

Приймається реле типу РТ 40/100.

д) час спрацьовування захисту визначається за узгодженням з МСЗ трансформаторів ТП1, що має час спрацьовування – 1,2с.

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

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

Захист від однофазних КЗ на землю. Для мереж з ізольованою нейтраллю струм КЗ на землю визначається за наступною формулою:

$$I_3^{(1)} = 3 \cdot I_{0c} = \frac{U_{\text{мф}} \cdot l}{10}. \quad (1.10)$$

У непошкоджених лініях струм $3 \cdot I_{0c}$, який протікає через місце установки захисту, рівний: $3 \cdot I_{0c} = \frac{U_{\text{мф}} \cdot l}{10}$ і направлений до шин.

В пошкодженій лінії струм $3 \cdot I_{0c} = 3 \cdot I_{0c\text{Мережі}} - 3 \cdot I_{0c\text{КЛ}}$ і направлений до шин.

Струм замикання кабелю, на якому встановлений захист:

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

Струм замикання на землю всієї кабельної мережі 10 кВ:

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

де $U_{\text{мф}}$ – міжфазна напруга, кВ;

l – довжина мережі, км;

$k_{\text{рем}}$ – коефіцієнт, що враховує ремонтний режим.

У разі виникнення переривчастої дуги в точці замикання на землю струм, що протікає через ємність неушкодженої лінії, може перевищувати усталене значення цього струму в чотири-п'ять разів, тому струм захисного відключення визначається наступним чином:

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

де $k_{\text{відл}}$ – коефіцієнт відлаштування, що приймається рівним 1.1-1.2;

$k_{\text{стр}}$ – коефіцієнт стрибка, що враховує стрибок струму ємності, що приймається рівним 4-5, якщо захист діє без витримки в часі.

Коефіцієнт чутливості захисту:

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

Струмове реле в місці установки захисту приймається РТЗ-51.

Висновки. У цьому розділі магістерської роботи проаналізовано систему електропостачання КП «Вінницька транспортна компанія». Результати показують, що розроблена система електропостачання підприємства є надійною, економічною та сучасною. Обладнання системи електропостачання забезпечує надійну роботу в нормальному, аварійному та післяаварійному режимах.

Аналіз споживачів СЕП підприємства також показує, що серед споживачів наявні потужні споживачі реактивної потужності з нелінійним графіком навантаження. Тому для забезпечення більш якісного електропостачання доцільно використовувати динамічні компенсатори реактивної потужності, такий як СТАТКОМ.

РОЗДІЛ 2

ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОСТІ

2.1 Основні властивості СТАТКОМ

Прогрес в області електропостачання в розвинених країнах спрямований на впровадження в електроенергетику технології Smart Grid для досягнення надійного, стабільного та ефективного енергопостачання за допомогою використання принципу гнучкої взаємодії між усіма видами генерації, електромережею та споживачами на основі єдиної інтелектуальної ієрархічної системи управління. Дана система управління досягається шляхом використання сучасної силової та інформаційної електроніки, які дозволяють забезпечити технічну, економічну ефективність та оптимальне управління енергосистемою [12].

Статичний синхронний компенсатор (СТАТКОМ) також static synchronous compensator (STATCOM) - це пристрій на основі статичного перетворювача, який працює як статичний компенсатор реактивної потужності, ємнісний або індуктивний вихідний струм якого може змінюватися незалежно від напруги мережі змінного струму [16].

STATCOM можуть бути використані для вирішення наступних завдань:

- стабілізація та регулювання напруги;
- компенсація реактивної потужності;
- симетрування навантаження шляхом споживання активної потужності з однієї фази та подачі її в іншу фазу;
- згладжування графіків навантаження при наявності накопичувачів енергії великої потужності на стороні випрямленої напруги.

STATCOM здійснює регулювання реактивної потужності в широких межах ($\pm 100\%$), в режимах споживання і генерування реактивної потужності має відносно високу швидкість роботи, в одночас має відносно малі габарити конструкції та може бути використаним практично в будь-яких електричних мережах. STATCOM можна використовувати для збільшення пропускної здатності мережі та оптимізації потоку електроенергії, а також для регулювання напруги [15].

Розроблені різноманітні схеми реалізації STATCOM. Загальна схема заміщення STATCOM представлена на рисунку 2.1 [16].

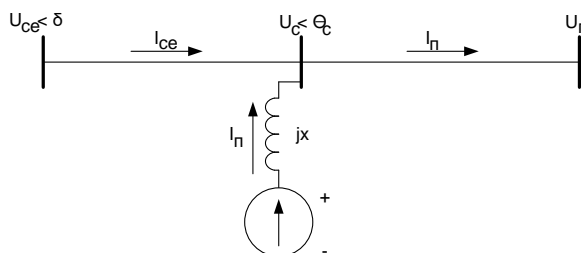


Рисунок 2.1 – Схема заміщення STATCOM при підключенні до електричної мережі

Активна і реактивна потужність мережі визначаються виразами:

$$P = \frac{U_{ce} \cdot U_{\pi}}{x_t} \cdot \sin \delta_{\pi}; \quad (2.1)$$

$$Q = \frac{U_{ce} \cdot (U_{ce} - U_{\pi} \cdot \cos \delta_{\pi})}{x_t}. \quad (2.2)$$

Вихідний струм перетворювача:

$$I_{\pi} = \frac{U_{\pi} - U_c}{jx_t}. \quad (2.3)$$

У трифазній мережі:

$$\dot{U} = \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}; \quad \dot{U} = \begin{bmatrix} U_{a\pi} \\ U_{b\pi} \\ U_{c\pi} \end{bmatrix}; \quad \dot{I} = \begin{bmatrix} I_{a\pi} \\ I_{b\pi} \\ I_{c\pi} \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

Повна потужність, що видається STATCOM:

$$S = \dot{U}_c \cdot \dot{I}_{\pi} = \frac{\dot{U}_c \cdot (\dot{U}_{\pi}^* - \dot{U}_c^*)}{-jx_t} = \frac{\dot{U}_c \cdot \dot{U}_{\pi}^* - \dot{U}_c^2}{-jx_t}. \quad (2.5)$$

Для активної і реактивної потужності отримаємо:

$$P_{\pi} = \frac{-U_c \cdot U_{\pi} \cdot \sin(\theta_c - \theta_{\pi})}{x_t}; \quad (2.6)$$

$$Q_{\pi} = \frac{U_c \cdot (U_{\pi} \cdot \cos(\theta_c - \theta_{\pi}) - U_c)}{x_t}. \quad (2.7)$$

Прийнявши, що струм, який подається від STATCOM в мережу, залежить від різниці напруг між мережею і самим STATCOM матимемо:

$$\dot{U} - \dot{U}_{\pi} = R_{\pi} \cdot I_{\pi} + L_{\pi} \frac{di_{\pi}}{dx}; \quad (2.8)$$

$$\dot{U}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} - \dot{U}_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} = R_{\pi} \cdot I_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma} + L_{\pi} \frac{d}{dx} \cdot (I_{\pi}^{(d,q)} \cdot e^{j\gamma}); \quad (2.9)$$

$$U_d - U_{nd} = R_{\pi} \cdot I_{nd} + L_{\pi} \frac{dI_{nd}}{dx} - L_{\pi} \cdot \omega \cdot I_{nq}. \quad (2.10)$$

Математична модель роботи STATCOM має вигляд:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} I_{nd} \\ I_{nq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_{\pi}}{L_{\pi}} & \omega \\ -\omega & \frac{-R_{\pi}}{L_{\pi}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{nd} \\ I_{nq} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_{\pi}} \begin{bmatrix} U_d & -U_{nd} \\ U_q & -U_{nq} \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

STATCOM має певні відмінності порівняно зі статичними компенсаторами реактивної потужності (СКРП) та найбільш широко використовуваними статичних тиристорних компенсаторів (СТК) покращеною функціональністю, вищою швидкістю і кращими динамічними характеристиками.

Основна перевага STATCOM полягає в тому, що вони можуть генерувати струми будь-якої фази відносно напруги мережі, регулюючи рівень напруги шляхом зміни величини і знака реактивної потужності, що споживається або подається в мережу, тобто є швидкодіючим джерелом індуктивної або ємнісного характеру [12].

2.2 Система управління СТАТКОМ

STATCOM - це джерело статичної напруги промислової частоти з регульованою амплітудою, що забезпечують як генерацію, так і споживання реактивну потужність.

STATCOM паралельного включення за своїми функціональними характеристиками схожий на синхронний компенсатор.

Пристрої STATCOM можуть бути використані для комплексного поліпшення якості електроенергії в системах електропостачання. Також дані пристрої можуть конкурувати з традиційними пристроями статичної компенсації на основі конденсаторів, реакторів і тиристорів, за вартісними характеристиками, та за технічними характеристиками своєї роботи [16].

Використання STATCOM дозволяє досягти наступних переваг за типових умов:

- відсутність необхідності в додаткових конденсаторних батареях;
- забезпечити достатню якість електроенергії, зменшити ємність конденсатора, підключеного до шини змінного струму, і зменшити підвищення напруги під час перехідних процесів;
- уникнення впливу на мережу змінного струму через відсутність перемикання конденсаторних батарей;
- зменшує площу, необхідну для додаткових джерел реактивної потужності.

STATCOM реалізується з наступних основних функціональних блоків (рисунок 2.2):

- комплектний розподільний пристрій;
- комутаційна апаратура;
- силовий перетворювач напруги на основі IGBT (ПН);
- фазні реактори (L1, L2, L3);
- конденсаторна батарея (КБ) постійного струму;
- шафа системи управління, регулювання, захисту і автоматики (СУРЗА);
- шафа управління і контролю високовольтних вентилів (ШУ);
- шафа живлення вентиляльної частини (ШЖВ);
- фільтро-компенсуючий пристрій (ФКУ);
- система первинних вимірювань струмів і напруг;
- система охолодження (СО);
- датчики апаратних захистів.

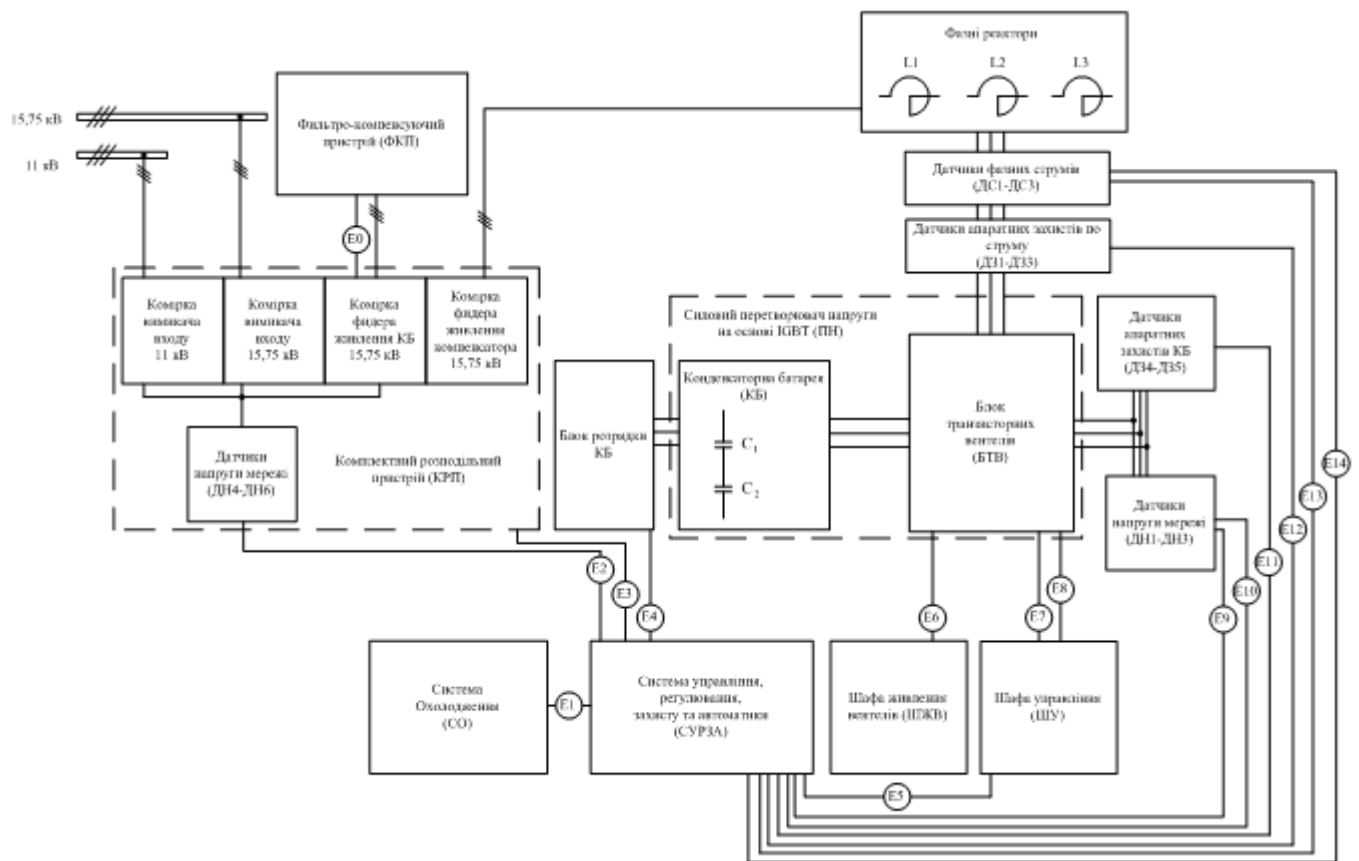


Рисунок 2.2 – Основні функціональні блоки STATCOM

Алгоритм управління STATCOM визначає найважливіші характеристики пристрою, такі як втрати потужності в енергосистемі, допустимий рівень вищих гармонік і час реакції пристрою на збурення в енергосистемі [15,16].

Узагальнена схема управління STATCOM зображена на рисунку 2.3. Алгоритми керування компенсатором умовно поділяються на два блоки: базові алгоритми керування компенсатором та алгоритми широтно-імпульсної модуляції.

Основний алгоритм управління STATCOM відповідає за розрахунок мінєвих параметрів напруги місця встановлення. Та досягнення синхронізації внутрішніх змінних системи управління з напругою мережі та розрахунок значень фазних струмів пристрою.

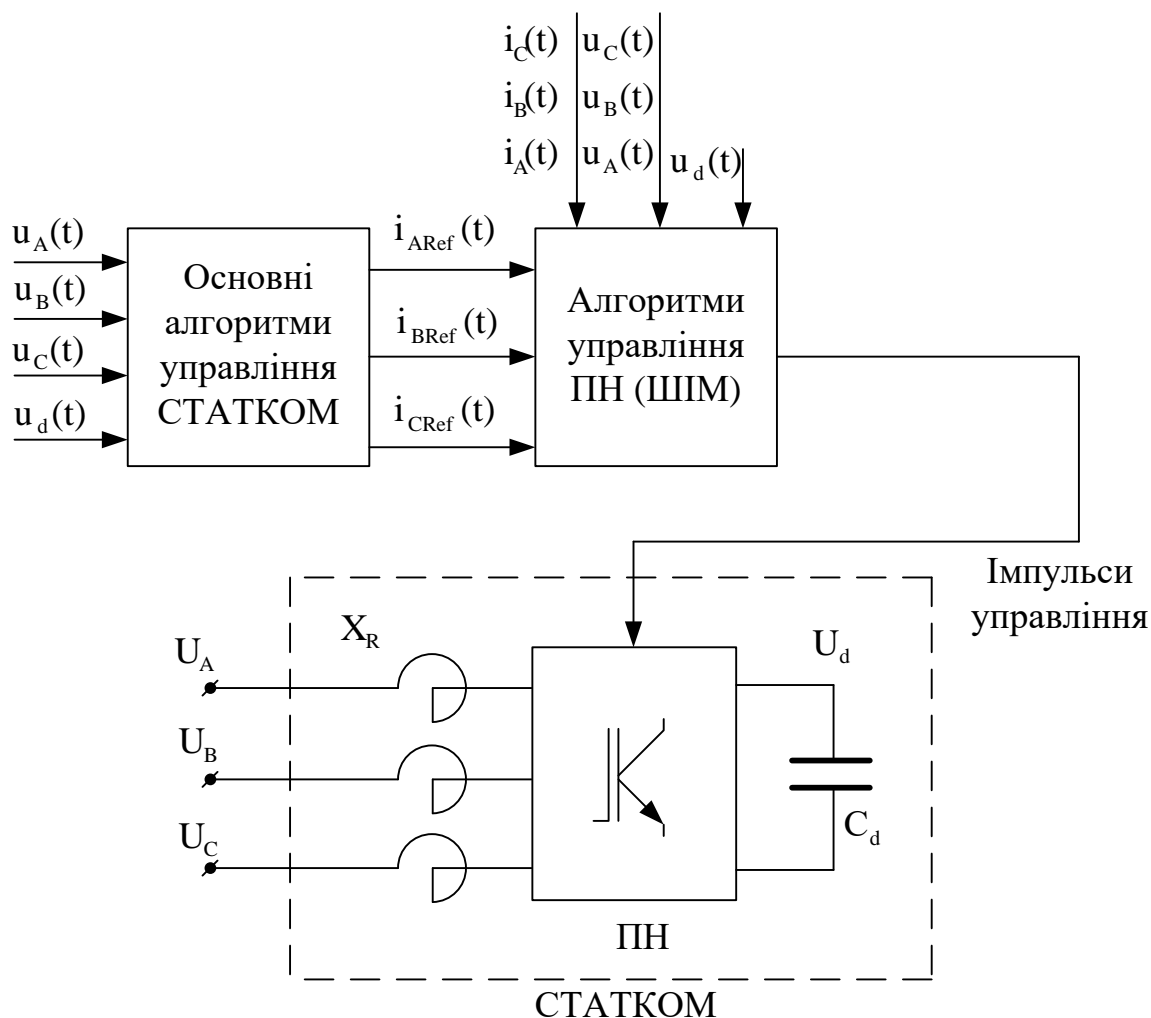


Рисунок 2.6 – Системи управління СТАТКОМ

Алгоритм ШІМ призначений для керування перемикачем навантаження для створення фазного струму в реакторі СТАТКОМ, що дорівнює заданому фазному струму, розрахованому основним алгоритмом керування СТАТКОМ. Фактичні фазні струми повинні дорівнювати заданому струму як в усталеному, так і в перехідному режимах мережі.

При розрахунку трифазних кіл можна використовувати метод симетричних складових. У цьому методі мережева напруга представляється з'єднаними прямою (ПП), зворотною (ЗП) і нульовою послідовностями (НП). Відповідно до принципу накладання симетричних складових, результат виражається як векторна сума трьох симетричних режимів. Фазні напруги мережі в комплексному вигляді мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} \dot{U}_A = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 + \dot{U}_2, \\ \dot{U}_B = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 \cdot a^2 + \dot{U}_2 \cdot a, \\ \dot{U}_C = \dot{U}_0 + \dot{U}_1 \cdot a + \dot{U}_2 \cdot a^2. \end{cases} \quad (2.14)$$

Нульова послідовність не враховується $\dot{U}_0 = 0$ так як розглядаються робота трипровідної мережі.

У загальному випадку фазні струми можна також виразити як суму прямої і зворотної послідовності:

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \\ \dot{I}_B = \dot{I}_1 \cdot a^2 + \dot{I}_2 \cdot a, \\ \dot{I}_C = \dot{I}_1 \cdot a + \dot{I}_2 \cdot a^2. \end{cases} \quad (2.15)$$

Струм прямої та зворотної послідовності:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = I_1 \cdot e^{j\gamma}, \\ \dot{I}_2 = I_2 \cdot e^{j\varphi}. \end{cases} \quad (2.16)$$

де $\gamma = \frac{2\pi}{3}$ рад.

Повна потужність фази:

$$\dot{S}_\Phi = \dot{U}_\Phi \cdot \ddot{I}_\Phi, \quad \dot{S}_\Phi = P_\Phi + j \cdot Q_\Phi. \quad (2.17)$$

де \ddot{I}_Φ - комплексно спряжене до струму фази \dot{I}_Φ ,

P_Φ , Q_Φ - активна та реактивна потужність фази відповідно.

Вирази для АП та РП усіх фаз:

$$\begin{cases} P_A = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta), \\ P_B = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi + \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta - \frac{4\pi}{3}), \\ P_C = \frac{U_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \cos(\varphi - \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \cos(\gamma - \beta + \frac{4\pi}{3}). \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\begin{cases} Q_A = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta), \\ Q_B = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi + \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta - \frac{4\pi}{3}), \\ Q_C = \frac{U_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{U_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta) + \frac{U_1 I_2}{2} \sin(\varphi - \frac{4\pi}{3}) + \frac{U_2 I_1}{2} \sin(\gamma - \beta + \frac{4\pi}{3}). \end{cases} \quad (2.19)$$

Активна і реактивна потужність трифазної системи може бути розрахована по скалярній сумі відповідної фазної потужності:

$$\begin{cases} P = P_A + P_B + P_C = \frac{aU_1 I_1}{2} \cos(\gamma) + \frac{aU_2 I_2}{2} \cos(\varphi - \beta), \\ Q = Q_A + Q_B + Q_C = \frac{aU_1 I_1}{2} \sin(\gamma) + \frac{aU_2 I_2}{2} \sin(\varphi - \beta). \end{cases} \quad (2.20)$$

Повна потужність трифазної системи дорівнює [8]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (2.21)$$

Відповідно виразам (2.14) і (2.15) зроблено висновок, що регулювання АП і РП може бути здійснено за допомогою квадратурних векторів фазного струму окремо один від одного..

Вектор активної складової фазного струму ПП збігається по фазі з вектором ПП напруги електромережі в точці включення (рисунок 2.7) [12].

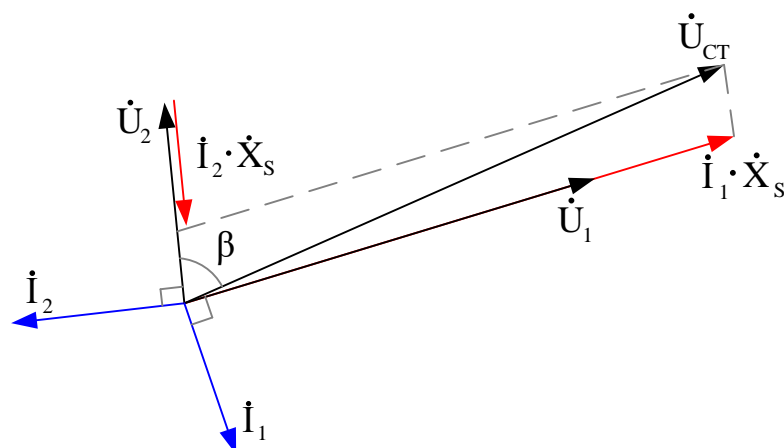


Рисунок 2.7 – Векторна діаграма роботи STATCOM

Рівні АП і РП системи управління встановлюються за допомогою алгоритму, який регулює рівні мережевої напруги і напруги на стороні постійного струму перетворювача.

Блок-схема алгоритмів управління STATCOM зображена на рисунку 2.8.

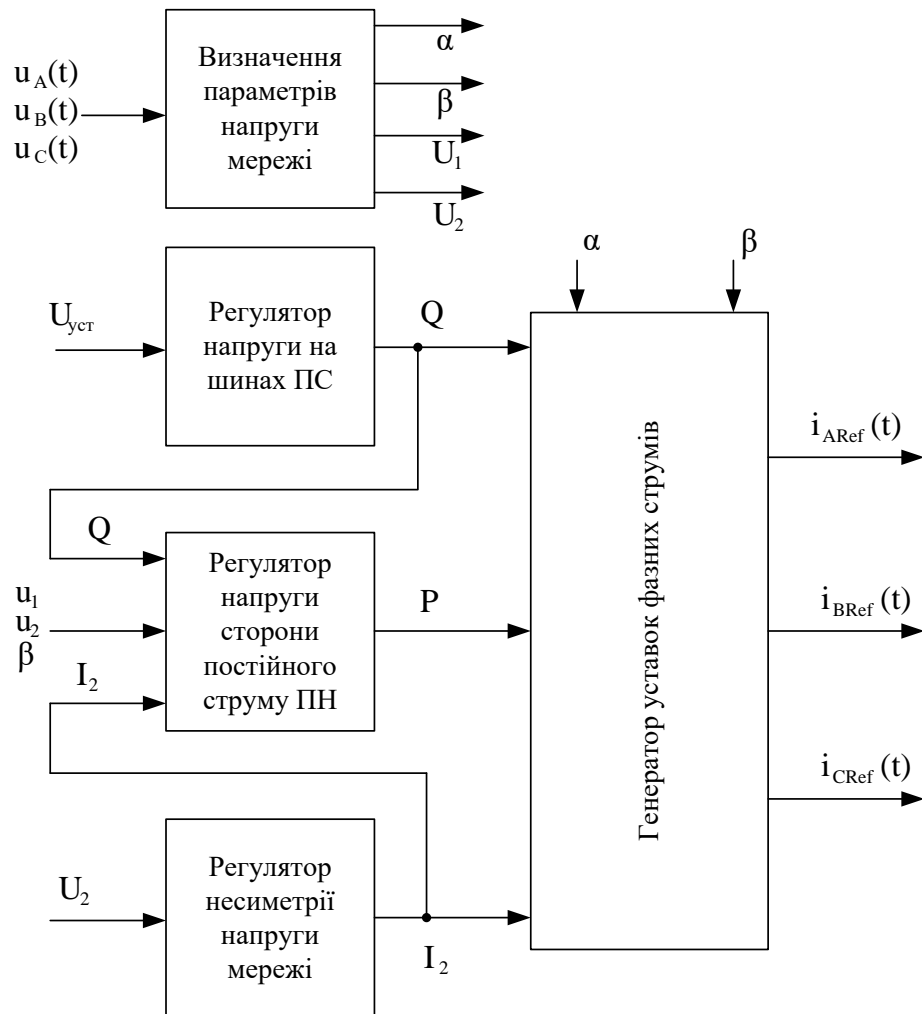


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритмів управління STATCOM

Система управління STATCOM складається з наступних основних функціональних блоків:

- блок визначення напруги мережі;
- блок регулювання напруги мережі на шинах ПС;
- блок регулювання несиметричної напруги мережі;
- блок регулювання напруги по вітці струму перетворювача U_d ;
- генератор очікуваного струму.

Блок для визначення необхідних параметрів напруги мережі визначає значення амплітуд ПП (U_{m1}) і ЗП (U_{m2}) напруги і фази ПП (α) і ЗП (β) напруги відносно оптимального вектора. Структурна схема блоку визначення напруги мережі зображена на рисунку 2.9.

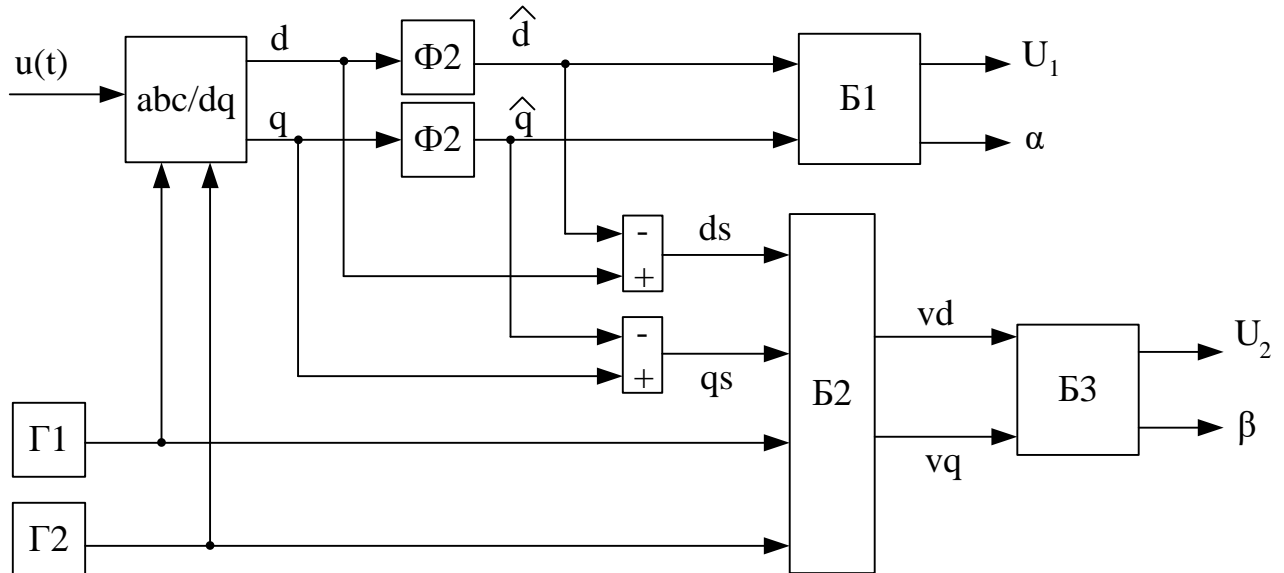


Рисунок 2.9 – Структурна схема блоку визначення напруги мережі

На вхід подається поточне значення основної фазної напруги. Блоки $\Gamma 1$ і $\Gamma 2$ виконують функцію послідовної генерації одиночних синусоїд і косинусоїд прямої послідовності.

2.3 Оптимальні схематичні рішення STATCOM

Схематичні рішення STATCOM можуть мати різноманітну реалізацію. Пристрій STATCOM є багатофункціональним і може використовуватися як самостійно, так і в якості основного блоку при використанні інших пристроїв FACTS.

У роботі [15] наведена універсальна новітня схема мостового трирівневого 18-ти вентильного STATCOM рисунок 2.10.

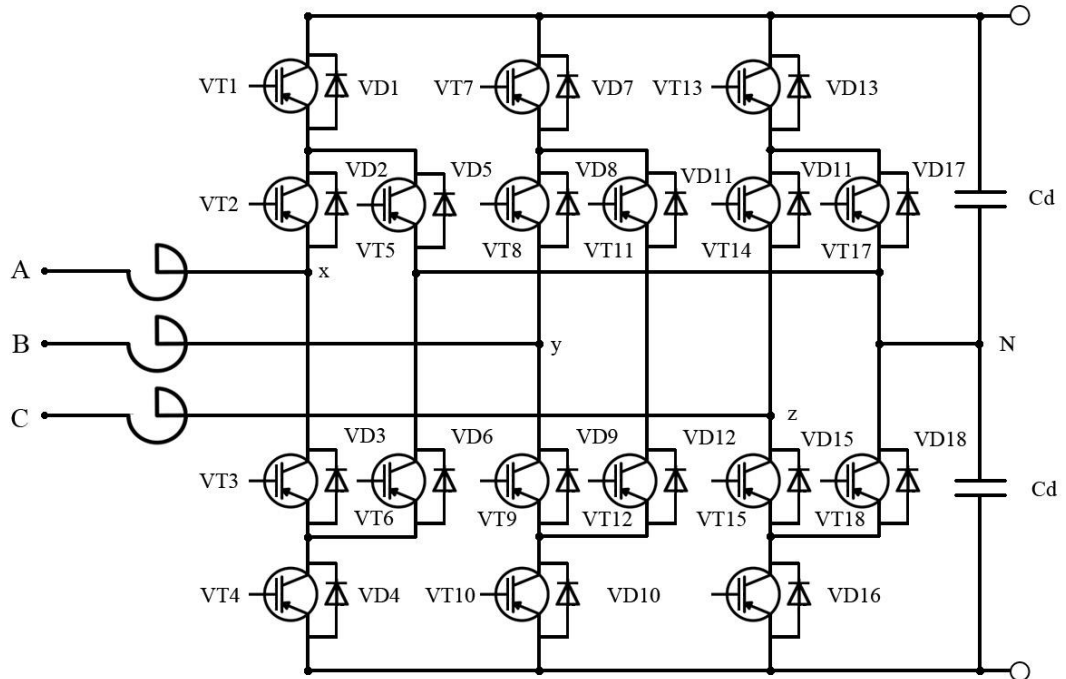


Рисунок 2.11 – Схема перетворювача для STATCOM

Номінальна напруга STATCOM може бути змінена відповідною зміною числа послідовних з'єднань високовольтних модулів в вентилях перетворювача.

У роботі [15] представлена схема безтрансформаторного STATCOM 10 кВ на базі п'ятирівневого інвертора рисунок 2.12.

Особливістю цієї конструкції STATCOM 10 кВ є одночасне використання двох імпульсних вирівнюючих регуляторів невеликої потужності і необхідного ШІМ-алгоритму в силовій частині 5-рівневого перетворювача. Кожен IGBT-модуль має вбудований реверсивний діод, а відсікаючий діод має такі ж характеристики, як і реверсивний діод.

Пульсації напруги є невід'ємною характеристикою 5-рівневих перетворювачів. Асиметрія напруги (і проблеми з вирівнюванням напруги) означає, що постійна складова напруги на конденсаторі відхиляється від $1/4$ номінальної напруги ланки постійного струму.

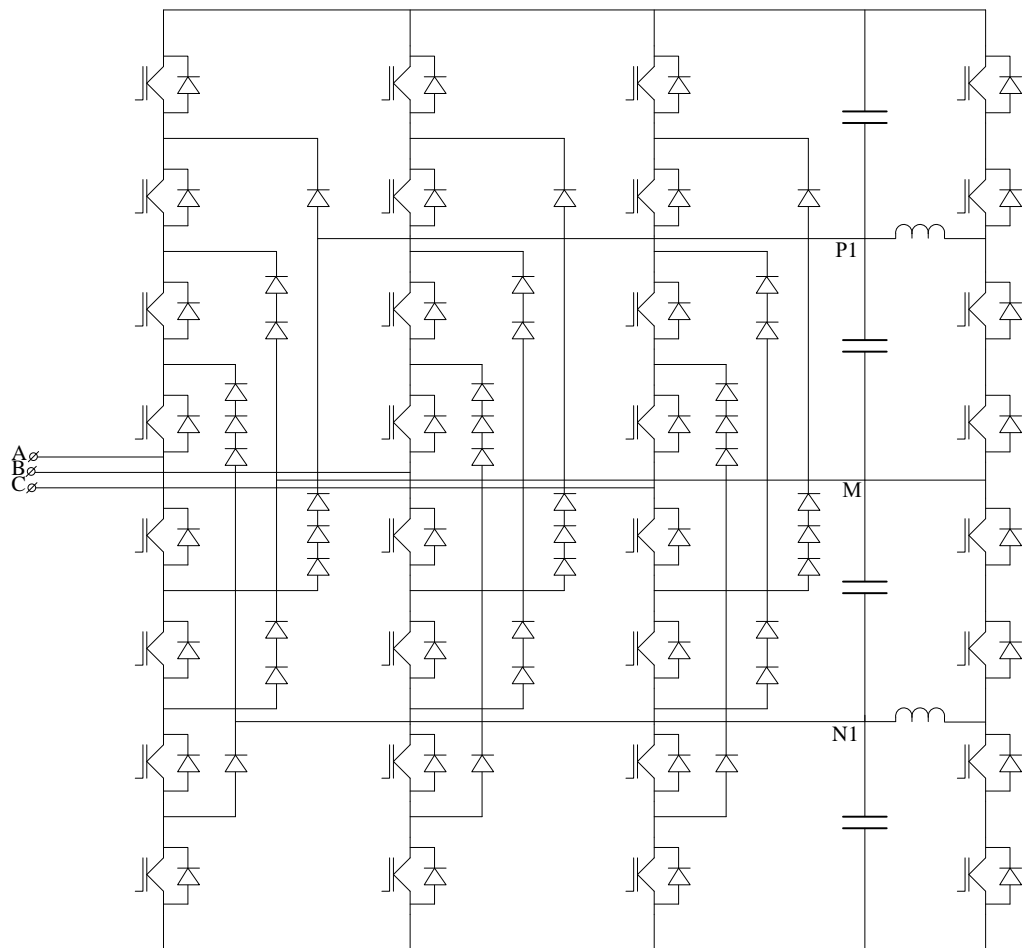


Рисунок 2.12 – П'ятирівневий безтрансформаторний STATCOM
на напругу 10 кВ

П'ятирівневі перетворювачі генерують набагато менше гармонік і електромагнітних перешкод, ніж трирівневі. Недоліком, однак, є потреба в додаткових конденсаторах і діодах. Додавання діодів збільшує вартість компонентів і всього обладнання в цілому. Наявність додаткових конденсаторів призводить до проблем з вирівнюванням напруги. З іншого боку, підвищена вартість може бути компенсована відмінними показниками електромагнітної сумісності.

На Рисунку 2.13 використовуються наступні позначення:

(0) - нейтральна точка по відношенню до джерела змінного струму;

(S11, S14), (S21, S24) і (S31, S34) - основні транзистори, що діють як перемикачі для ШІМ;

(S12, S13), (S22, S23) і (S32, S33) - додаткові транзистори, разом з діодами (D11-D32), для фіксації граничного потенціалу виходу на потенціалі нейтральної точки [38].

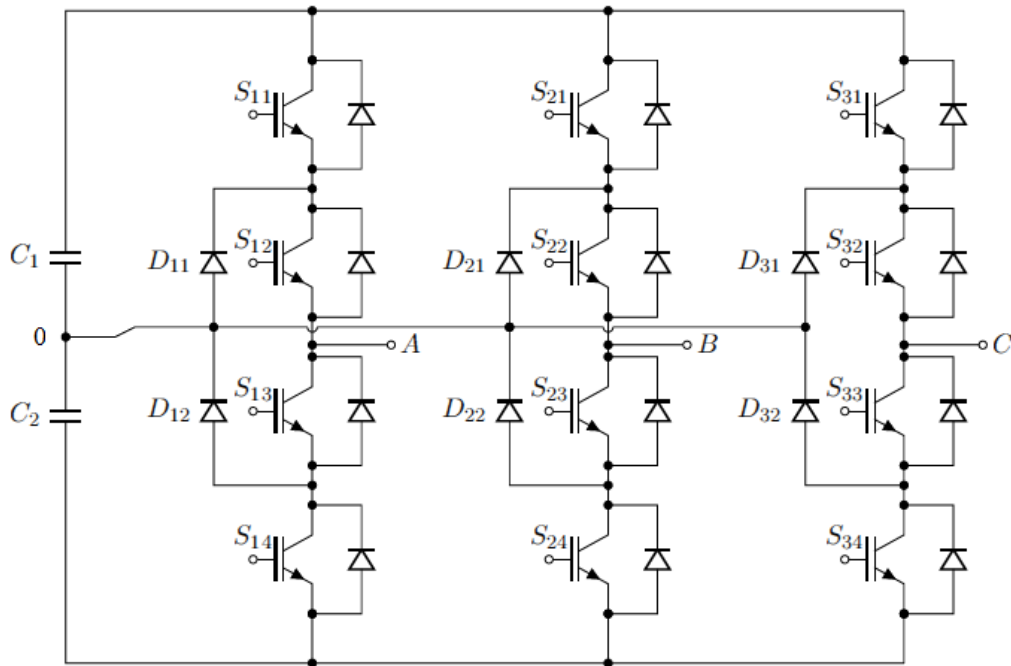


Рисунок 2.13 – Схема інвертора NPC-ШІМ

2.4 Підвищення енергоефективності підприємства засобами STATCOM

Дане підприємство являється споживачем реактивної енергії. Для зменшення втрат електричної енергії пропонується розглянути компенсацію реактивної потужності за допомогою пристрою STATCOM встановленого на ЦРП 10 кВ.

В таблиці 2.1 представлені результати розрахунку потужностей підприємства з використанням пристрою STATCOM.

Таблиця 2.1 – Результати використання пристрою STATCOM

№ ТП	S _p , кВА	cos φ	P _p , кВт	Q _p , кВар	Q _{крп} , кВар	Q ₂ , кВар	S _{крп} , кВА
ТП1	553,82	-	402,49	380,42	250	130,42	423,09
ТП2	480,02	-	399,45	266,18	150	113,18	415,17

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{M}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3},$$

де I_M – максимальний струм у лінії, А;

$$I_M = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k} = \frac{553,82}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 15,99 \text{ (А)},$$

$$I_{M.крп} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U \cdot k} = \frac{423,09}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 12,21 \text{ (А)}.$$

τ – час максимальних втрат, год./рік.

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

$$R = r_0 \cdot L ;$$

де r_0 – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км (див. табл. 10.25 [1]),

Для лінії ЦРП –ТП1:

Активний опір однієї фази кабелю від ЦРП до ТП1.:

$$R = 0,052 \cdot 0,62 = 0,032 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_n = 3 \cdot 2 \cdot 15,99^2 \cdot 0,032 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 142,7 \text{ (кВт·год./рік)},$$

$$\Delta E_{л.крп} = 3 \cdot 2 \cdot 12,21^2 \cdot 0,032 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 83,283 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до таблиця 2.2.

Таблиця 2.2 – Втрати електроенергії в лініях до встановлення STATCOM

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	L, км	I_M , А	R, Ом	τ , год./рік	R _{пит} , Ом/км	$\Delta E_{л.}$, кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвПу-10 3х25	2	0,052	15,99	0,032	2886,21	0,62	142,702
ЦРП-ТП-2	АПвПу-10 3х25	2	0,110	13,86	0,068	2886,21	0,62	226,778
Разом								369,48

Таблиця 2.3 – Втрати електроенергії в лініях після встановлення STATCOM

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	L, км	I _M , А	R, Ом	τ, год./рік	R _{пит} , Ом/км	ΔE _л , кВт·год.
ЦРП-ТП-1	АПвПу-10 3х25	2	0,052	12,21	0,032	2886,21	0,62	83,2834
ЦРП-ТП-2	АПвПу-10 3х25	2	0,110	11,98	0,068	2886,21	0,62	169,642
Разом								252,93

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

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

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 1,31 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 8,5 \cdot \left(\frac{553,82}{630} \right)^2 \cdot 2886,2 = 32430,43 \text{ (кВт·год/рік)}.$$

$$\Delta E_{T.КРП} = 2 \cdot 1,31 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 8,5 \cdot \left(\frac{423,09}{630} \right)^2 \cdot 2886,2 = 28483,44 \text{ (кВт·год/рік)}.$$

Для інших ТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Втрати енергії в трансформаторах до встановлення STATCOM

№	Тип	шт	ΔP _x , кВт	ΔP _к , кВт	S _p , кВА	S _н , кВА	ΔE _T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-630	2	1,31	8,5	553,82	630	32430,43
КТП-2	ТМ-630	2	1,31	8,5	480,02	630	30072,42
разом							62502,85

Таблиця 2.5 – Втрати енергії в трансформаторах після встановлення STATCOM

№	Тип	шт	ΔP _x , кВт	ΔP _к , кВт	S _p , кВА	S _н , кВА	ΔE _T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-630	2	1,31	8,5	423,09	630	28483,44
КТП-2	ТМ-630	2	1,31	8,5	415,17	630	28278,26
разом							56761,7

Загальна величина втрат електроенергії в СЕП підприємства до та після використання пристрою STATCOM, кВт·год./рік:

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

$$E = 369,48 + 62502,85 = 62872,33 \text{ (кВт·год./рік),}$$

$$E_{\text{крит}} = 252,93 + 56761,7 = 57014,63 \text{ (кВт·год./рік),}$$

$$\Delta E = 62872,33 - 57014,63 = 5857,7 \text{ (кВт·год./рік).}$$

Отже використання пристрою STATCOM в СЕП даного підприємства дозволяє підвищити енергоефективність шляхом зменшення втрат в лінії живлення та трансформаторних підстанціях.

Висновки. 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 компенсації реактивної потужності слід розглядати в світлі останніх поглядів і новітніх технологічних розробок в області електропостачання.

Наразі існує низка заходів компенсації реактивної потужності, які використовуються на практиці. Тому серйозною проблемою є попередній вибір найбільш підходящого пристрою, який може зменшити матеріальні витрати на його встановлення в системі.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СТАТКОМ НА ПІДПРИЄМСТВІ

На рисунку 3.1 показана цифрова модель лінії електропередачі середньої напруги зі змінним навантаженням (наприклад, малі або середні електродугові печі (ЕДП)) та кількома незмінними навантаженнями. Лінія електропередачі також обладнана STATCOM, призначеним для роботи в розподільчій мережі.

Ця імітаційна модель включає: блок, що імітує трифазне джерело живлення 10 кВ потужністю 10 МВА; блоки, що імітують фідери 0,8 км та 0,15 км; блок, що імітує роботу трифазного узгоджувального трансформатора 10кВ/900В потужністю 0,63 МВА; постійні навантаження; установки, що імітують змінні навантаження з керованими джерелами струму; установки, що імітують роботу "розподільного" STATCOM (блок D –STATCOM на рисунку 3.1). Цей тип STATCOM реалізує алгоритм регулювання напруги в мережі [13].

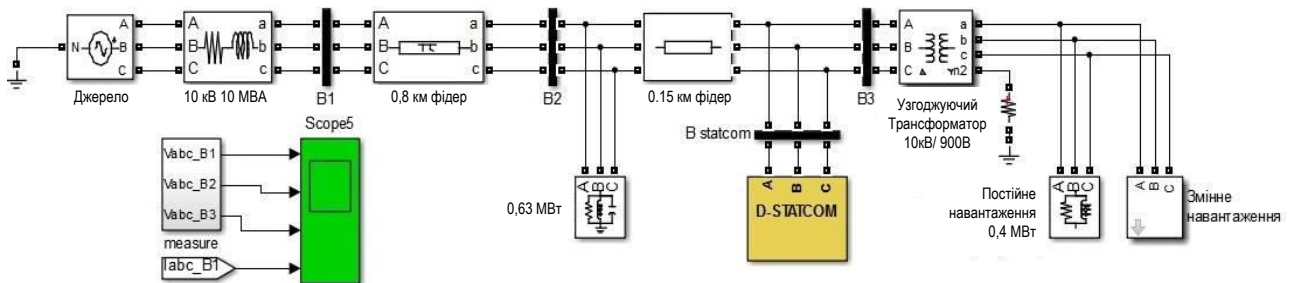


Рисунок 3.1 –Модель лінії електропередачі середньої напруги

На рисунку 3.2 а, б та в представлені часові діаграми для миттєвих лінійних напруг U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} джерела живлення для STATCOM у відключеному режимі. Виміряні напруги в точках B1, B2 і B3 мають значну амплітудну модуляцію на частотах 5 Гц, наприклад, понад ± 1450 В у вузлі B2, дане значення значно перевищує допустимі рівні коливань напруги, які спричиняють появу низькочастотного явища флікера.

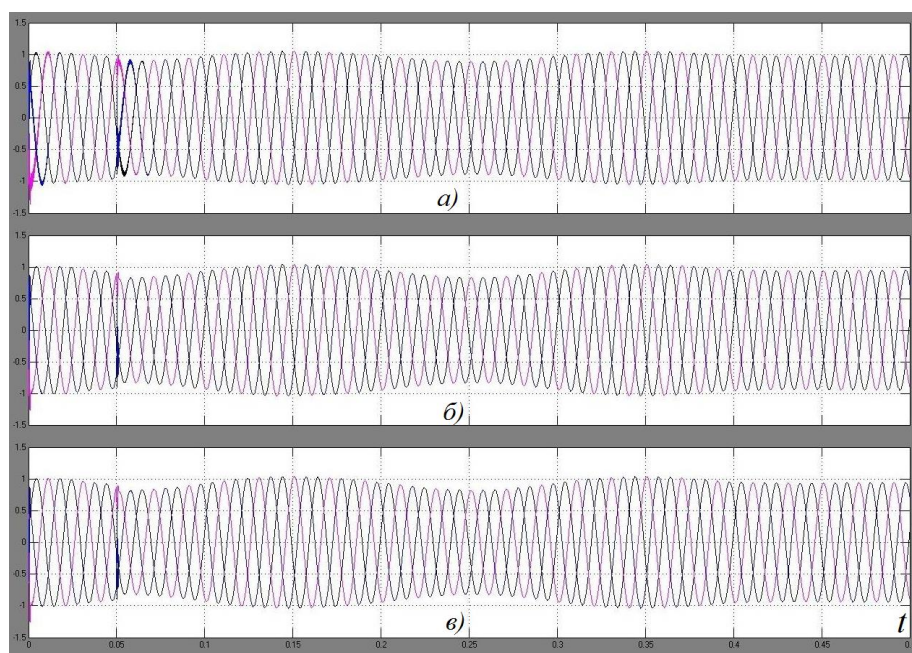


Рисунок 3.2– Часові графіки миттєвих значень лінійних напруг мережі при відключеному STATCOM

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

З розгляду рисунку 3.3 б видно, що при увімкненому STATCOM «провали» напруг і «тимчасові перенапруги» стають значно меншими порівняно з наведеними на рисунку 3.3 а, що свідчить про ефективність роботи STATCOM цього типу в мережі напругою 10 кВ.

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 [14].

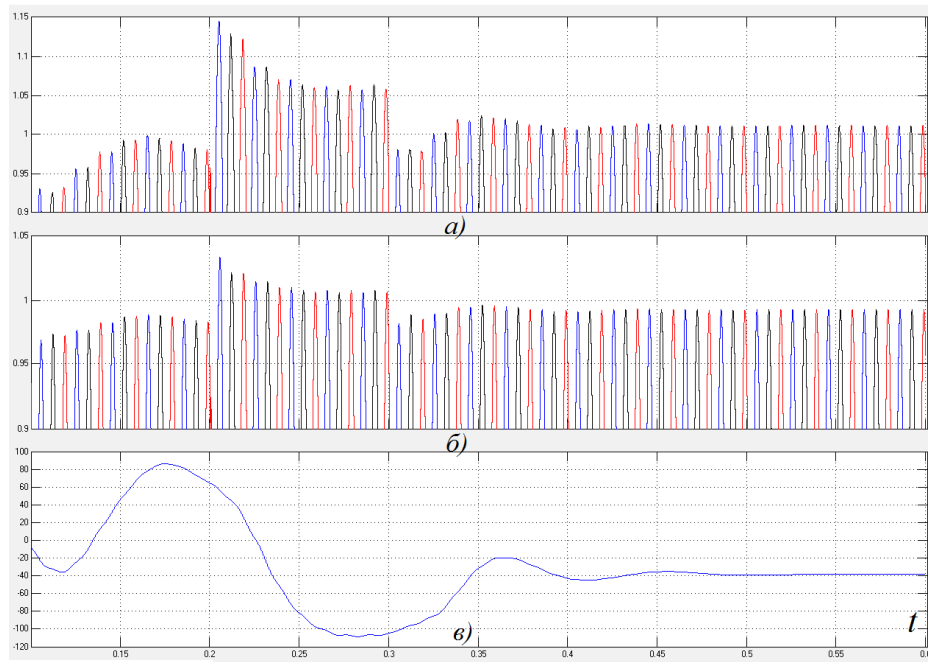


Рисунок 3.3 – Часові залежності миттєвих значень лінійних напруг

Математична модель яка імітує роботу STATCOM реалізована в середовищі Matlab Simulink. Та реалізується за допомогою поєднання роботи трьох основних блоків (рисунок 3.4 де PS - модель енергосистеми; CS – система управління компенсатором; M1 і M2-вимірювачі струмів і напруг).

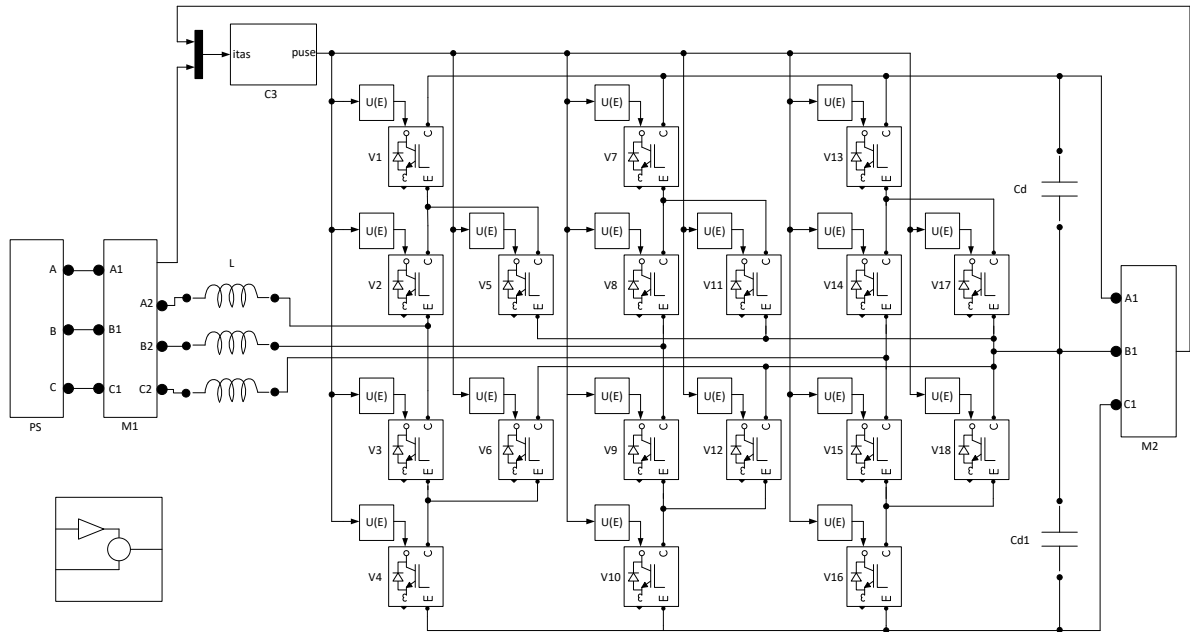


Рисунок 3.4 – Математична модель яка імітує роботу STATCOM

IGBT транзистор змодельований за допомогою послідовно включеними опором R_{on} , індуктивністю L_{on} , джерелом постійної напруги V_f та ідеальним ключем, який управляється відповідним логічним сигналом (рисунок 3.5) [18].

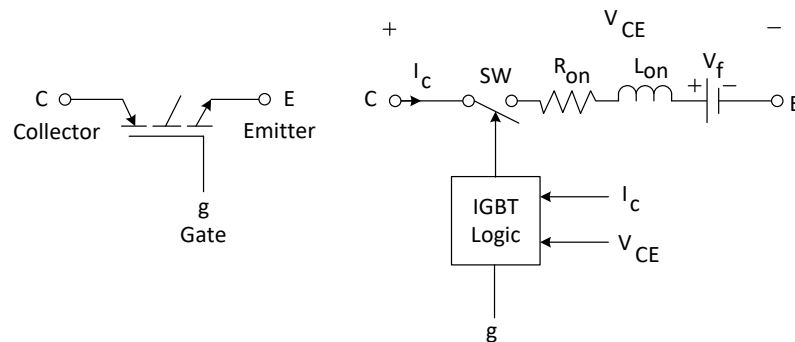


Рисунок 3.5 – Модель IGBT транзистора

IGBT транзистор замикає ключ, коли напруга колектор-емітер V_{CE} більша за V_f при цьому на вхід подається сигнал $g > 0$. Транзистор розмикає ключ коли $V_{CE} < V_f$ і $g < 0$. Та знаходиться в непровідному стані при $V_{CE} < 0$.

Детальна схема моделі системи управління (CS) показана на рисунку 3.7 [14] (де VS - блок обчислення основних параметрів мережі, QR - регулятор напруги, Sim - регулятор несиметрії напруги, CL - обмежувач фазного струму, RCG - генератор фазного струму. Вхідними змінними є миттєві значення мережевої напруги, фазного струму та напруги на плечах конденсаторної батареї.

VS (блок для визначення основних параметрів мережі) визначає значення амплітуди прямої U_{m1} і зворотної U_{m2} послідовностей напруги мережі.

Блок QR (стабілізатор напруги) виконує функцію стабілізатора напруги в точці підключення до електромережі. Формуючи рівень і знак реактивної потужності, напруга підтримується в заданому діапазоні.

Блок PR (стабілізатор напруги КБ) призначений для підтримки напруги в ланцюзі постійного струму на заданому рівні в статичному і динамічному режимах при зміні напруги мережі.

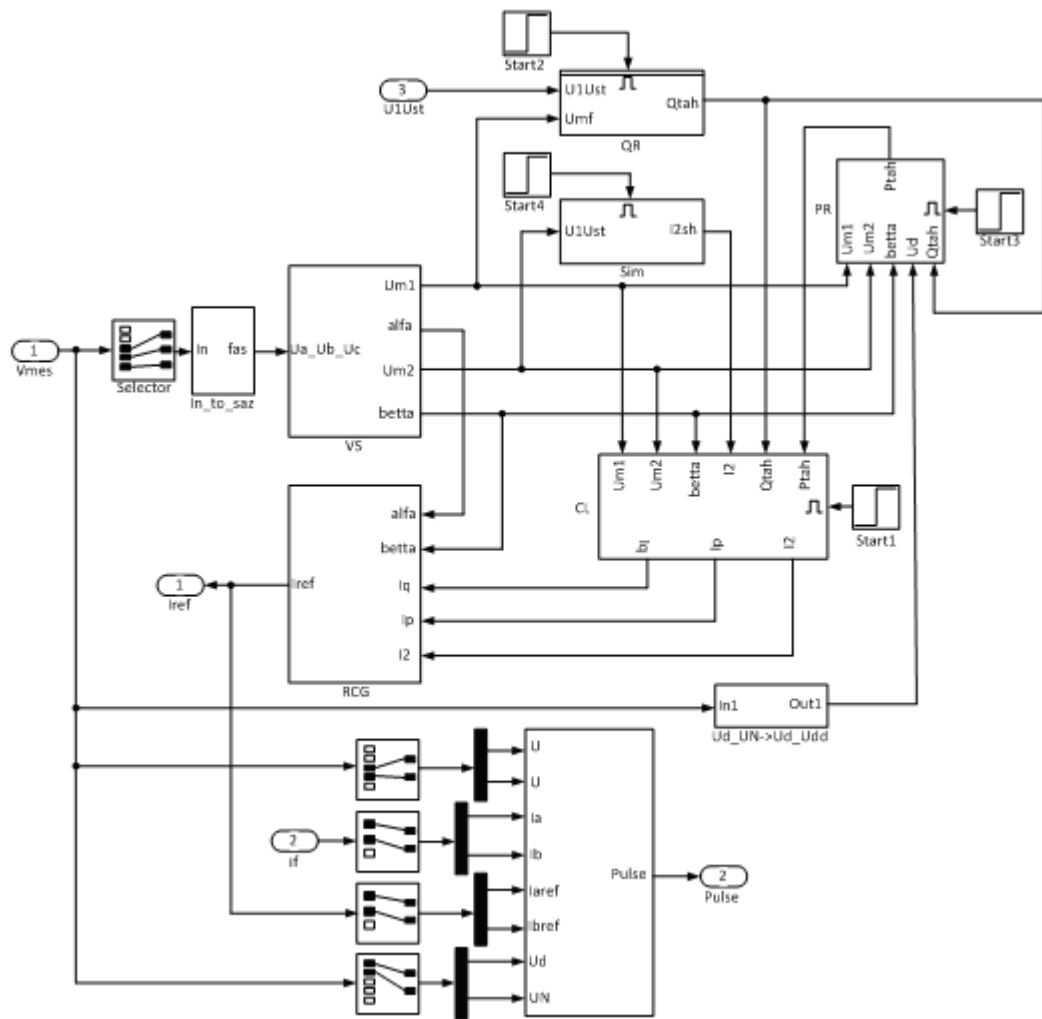


Рисунок 3.7 – Детальна схема системи управління

Блок Sim (контролер несиметрії напруги) обчислює значення амплітуди імітованого струму джерела живлення на основі амплітуди зворотної послідовності мережевої напруги.

Блок CL (обмежувач фазного струму) обмежує модуль фазного струму, якщо в будь-якій фазі перевищено максимально допустимий струм I_{\max} .

Пристрій RCG є генератором еталонного струму. Опорний вектор першої гармоніки фазного струму розраховується шляхом підсумовування векторів активної, реактивної та симетричної складових струму.

Момент перемикання клапана розраховується ШІМ-модулятором (блоком ШІМ) на основі поточного значення опорного струму, мережевої напруги, заплічної напруги конденсаторної батареї і фактичного фазного струму.

Відносна точність розрахунків у MatLab задається на рівні 0,01% [13].

В ході дослідження були розглянуті режими роботи компенсатора, характерні для СЕП підприємства:

- номінальна генерація та споживання РП при роботі перетворювача в симетричній системі;
- статичні компенсатори в несиметричних мережах;
- реверс потужності статичних компенсаторів;
- падіння напруги в точці приєднання компенсатора;
- міжфазне коротке замикання в точці з'єднання компенсатора.

На рисунку 3.8 представлені криві струму та напруги, відповідні режиму роботи по генерації номінальної реактивної потужності СТАТКОМ в умовах симетричної мережі. Відносна похибка модуляції струму дорівнює $\approx 0,4\%$ [13].

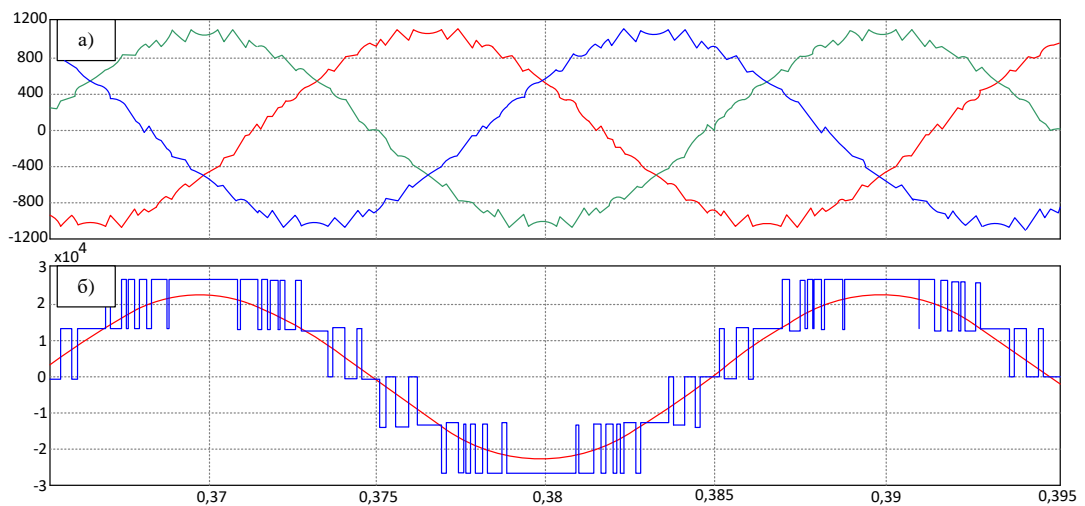


Рисунок 3.8 – Номінальна генерація та споживання РП
а) фазні струми; б) лінійна напруга перетворювача
(синій колір) і лінійну напругу мережі (червоний колір)

На рисунку 3. 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 $\approx 0,4\%$.

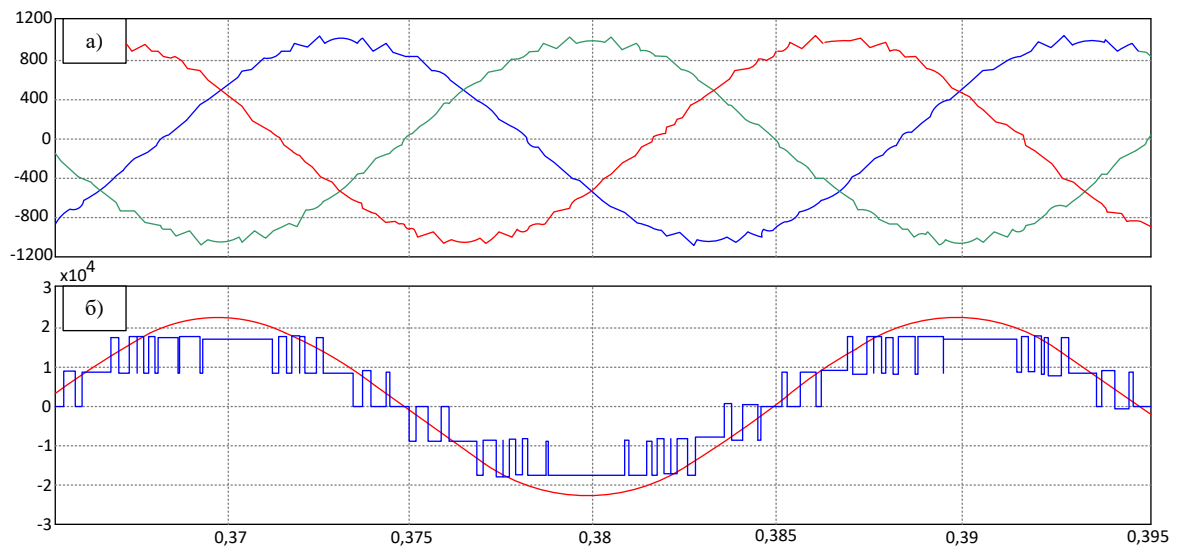


Рисунок 3.9 – Режим споживання номінальної реактивної потужності
 а) фазні струми; б) лінійна напруга перетворювача
 (синій колір) і лінійну напругу мережі (червоний колір)

На рисунку 3.10 показані криві струму та напруги при роботі компенсатора в несиметричній мережі. Спочатку STATCOM працює в режимі ХХ, з вимкненим контролером мережевої напруги. Для розглянутого режиму значення амплітуди ПП $U_{M1} = 12,88$ кВ, амплітуди ЗП $U_{M2} = 0,25$ кВ. Коефіцієнт зворотної послідовності зменшився до значення рівному $k_{ns} \approx 1,9\%$, що відповідає зоні допустимих значень [13].

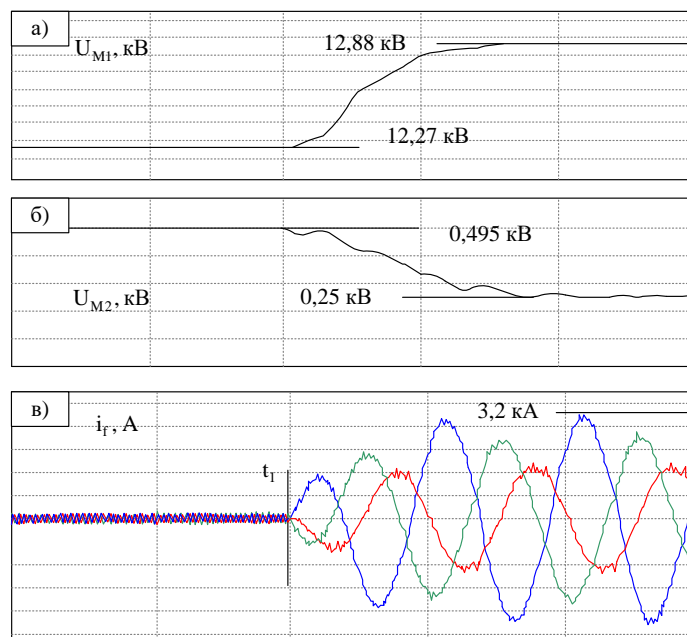


Рисунок 3.10 – Підключення STATCOM в несиметричну мережу

Для оцінки швидкості системи управління для регулювання РП був проведений дослід реверсу потужності STATCOM з режиму споживання в режим генерування номінальної РП (рисунок 3.11 перехід від режиму споживання до режиму генерування РП установкою). Обробка перехідного процесу зайняла 0,03 с, що є достатнім часом для виконання різних завдань, які зазвичай покладаються на статичні компенсатори.

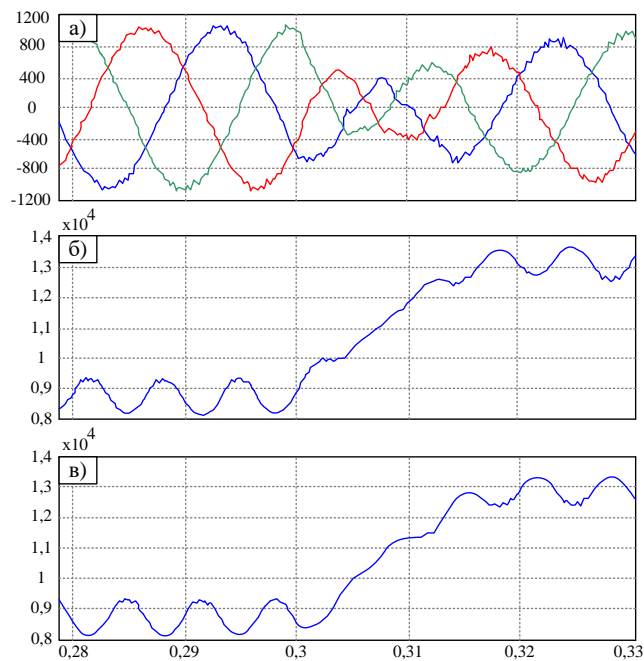


Рисунок 3.11 – Реверс потужності STATCOM

На рисунку 3.12 зображені діаграми дослід трифазного КЗ в енергосистемі. До виникнення короткого замикання, рівень напруги мережі перевищував задану установку, STATCOM у відповідності зі своєю регульовальною характеристикою знаходився в режимі споживання РП. Провал напруги в точці включення до рівня 50% від номінального значення, викликаний віддаленим КЗ ($t = 0,21$ с), привів до зміни установки РП STATCOM. Після відновлення напруги STATCOM повернувся до первісного режиму по потужності.

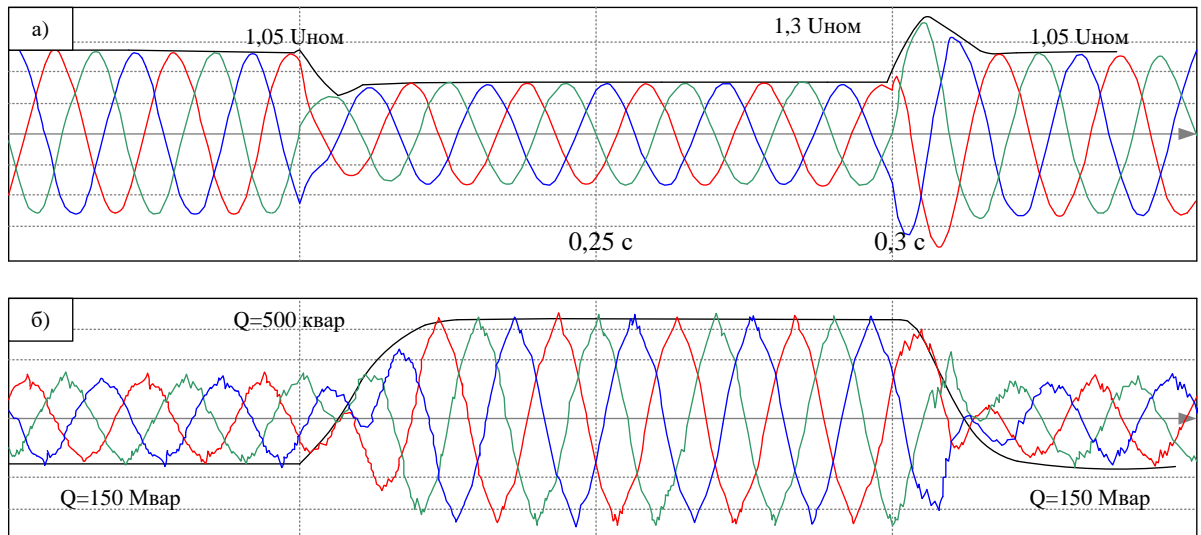


Рисунок 3.12 – Діаграми дослід трифазного КЗ в енергосистемі

На рисунку 3.13 (де (а) - лінійні мережеві напруги в точці включення ПН; (б) - фазні струми) представлено найбільш складний режим з точки зору роботи STATCOM 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, STATCOM залишився в робочому режимі, оскільки різких змін фазних струмів не відбулося. Після виникнення короткого замикання рівень реактивної потужності знизився і завданням STATCOM 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.

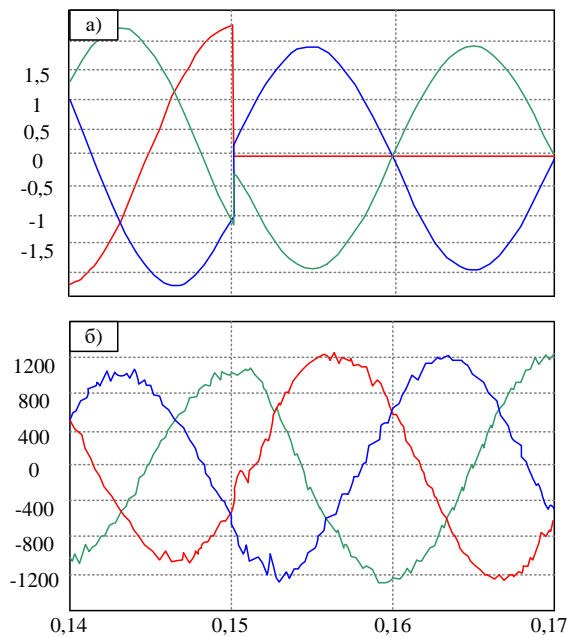


Рисунок 3.13 – Дослід межфазного КЗ в точці підключення STATCOM

В даному розділі МКР здійснювалось удосконалення математичної моделі для STATCOM у середовищі MatLAB, Simulink. Розроблена модель STATCOM дозволяє проводити дослідження режимів роботи установки в системі підприємств з присутнім змінним навантаженням. Були досліджені основні режими роботи STATCOM на отриманій моделі з метою проведення налаштування цифрової системи управління при різних змінних графіках навантажень промислових споживачів електричної енергії.

Удосконалена математична модель дає змогу визначити оптимальні параметри СТАТКОМ для місця його приєднання та оптимальні режими його роботи.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рисунку 4.1, та вихідних даних, приведених у таблицях 4.1, 4.2, виконуємо усі необхідні розрахунки техніко-економічних показників спроектованої СЕП.

Таблиця 4.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Факт. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-630	2	553,82
ТП 2	ТМ-630	2	480,02

Таблиця 4.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, м	Марка кабелю	К-сть
ЦРП - ТП1	52	АПвПу-10 (3х25)	2
ЦРП - ТП2	110	АПвПу-10 (3х25)	2

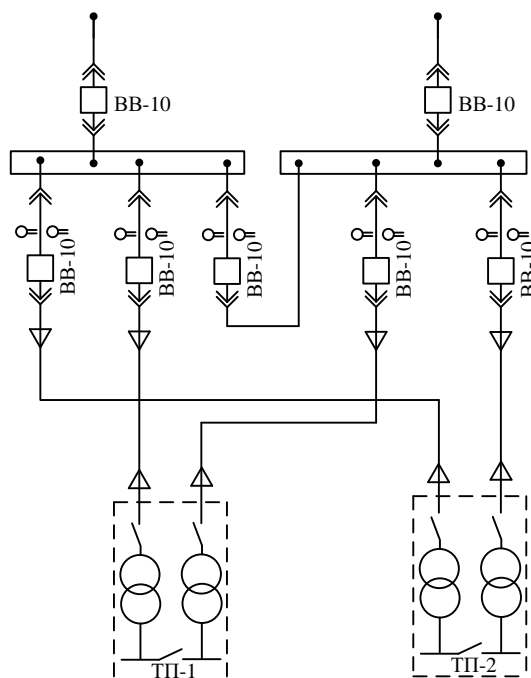


Рисунок 4.1 – Схема електропостачання підприємства

4.1 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач виконуємо за вартістю кабелів та їх прокладання, які наведені в табл. 4.3 і табл.4.4 [7].

Капітальні вкладення для ліній електропередач:

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

де $K_{пит}$ - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км [7];

$K_{прок}$ - 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:

$$K_{л1} = (98,8 + 11,55) \cdot 0,052 = 10,88 \text{ (тис.грн.)}$$

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

Таблиця 4.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, км	$K_{пит}$, тис.грн	$K_{прок}$, тис.грн	Кл, тис.грн
ЦРП-ТП1	АПвПу-10 3х25	2	0,052	98,80	11,55	10,88
ЦРП-ТП2	АПвПу-10 3х25	2	0,110	98,80	11,55	23,01
Разом						33,88

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

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

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

$K_{пост}$ - 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	Кпост, тис.грн	Кпс, тис.грн
КТП-1	ТМ-630	2	636,89	108,27	745,16
КТП-2	ТМ-630	2	636,89	108,27	745,16
Разом:					1490,32

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 (68–74) тис. грн.. Сумарна вартість вимикачів:

$$K_{\text{в}} = 7 \cdot 70 = 490 \text{ (тис. грн.),} \quad (4.7)$$

Вартість підстанцій з вимикачами:

$$K_{\text{пс}} = 1490,32 + 490 = 1980,32 \text{ (тис.грн.),} \quad (4.8)$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 33,88 + 1980,32 = 2014,2 \text{ (тис.грн.).} \quad (4.9)$$

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 [7];

$K_{\text{ср}}$ – 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	n, 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	7	1	16	112	12	1	84
ТМ-630	4	0,33	120	158,4	12	20	960
Кабельна лінія 25 мм ² , км	0,324	1	54	17,496	1	13,5	4,374
Разом:				287,896			1048,374

Таблиця 4.6 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К-сть, шт.	Технічне обслуговування				Загальна трудомісткість обслуговування люд.-год.
		Змінність роботи	Коеф. склад. ремонтів К _{ср}	К-сть місяців в році	Загал. трудомісткість люд.-год.	
Вимикач 10кВ	7	2	0,1	12	268,8	352,8
ТМ-630	4	2	0,1	12	1152	2112
Кабельна лінія 25 мм ² , км	0,324	2	0,1	12	41,9904	46,3644
Разом:					1462,79	2511,16

Відповідно знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$N_{\text{обс}} = \frac{2511,16}{1900 \cdot 1,05} = 1,26. \quad (4.12)$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$N_{\text{тр}} = \frac{287,896}{1900 \cdot 1,1} = 0,14. \quad (4.13)$$

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

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

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою:

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

де $K3, K4$ – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно, [7];

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

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

$$C_I = 7100 \cdot 1/176 = 40,34 \text{ (грн./год.)}$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме:

$$t_{re} = ((1,18+1,27)/2) \cdot 40,34 = 49,418 \text{ (грн./год.)}, \quad (4.17)$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 49,418 \cdot 1900 = 169008,239 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.18)$$

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

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

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

де $K4, K5$ – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно, [22].

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{гр} = ((1,27+1,36)/2) \cdot 40,34 = 53,05 \text{ (грн./год.)},$$

$$\Phi_p = 287,896 \cdot 53,05 = 15272,39 \text{ (грн./рік)}.$$

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:

$$\Phi_{oc} = 169008,24 \cdot (1+0,05+0,01+0,2) = 21295,38 \text{ (грн./рік)}, \quad (4.22)$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 15272,39 \cdot (1+0,05+0,01+0,25) = 20006,83 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.23)$$

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:

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

$$\Phi_{оод} = 21295,38 \cdot 1,15 = 244892,94 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{орд} = 20006,83 \cdot 1,15 = 23007,86 \text{ (грн./рік)}.$$

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:

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

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

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

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

Розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{зпе} = 244892,94 \cdot \left(1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 333054,4 \text{ (грн./рік)},$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 23007,86 \cdot \left(1 + \frac{33 + 1,5 + 1,5}{100} \right) = 31290,69 \text{ (грн./рік)}.$$

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
Розчиники 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:

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

де C_{0i} – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування i -го виду трансформаторів,

T_i – трудомісткість обслуговування i -го виду трансформаторів,

L – сумарна довжина кабелів,

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

Отже, вартість матеріалів на ремонт: $C_{мпр} = 35953,37$ (грн/рік);

і вартість матеріалів на технічне обслуговування: $C_{мто} = 479347,2$ (грн / рік).

Отже, можна розрахувати:

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

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

$$C_{обс} = 333054,4 + 479347,22 = 812401,61 \text{ (грн/рік);}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

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

$$C_{пр} = 31290,69 + 35953,57 = 67244,06 \text{ (грн/рік).}$$

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.

$$C_a = 0,06 \cdot 2014204,9 = 120852,294 \text{ (грн/рік).}$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат є інші витрати:

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

де β_{ip} - коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip}=0,25 \cdot (812401,61 + 67244,06 + 120852,294) = 250124,49 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустаткування і мереж	812401,61	64,96
Витрати на поточний ремонт	67244,06	5,38
Витрати на амортизацію	120852,29	9,66
Інші витрати	250124,49	20,00
Разом	1250622,45	100

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 установленої (номінальної) потужності усіх електроприймачів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, тис. кВт·год./рік:

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{п} \cdot P_{ном} \cdot T_{mi}, \quad (4.31)$$

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для Продуктового магазину:

$$E_{a1} = 7,098 \cdot 4500 = 31941 \text{ кВт год./ рік .}$$

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	Продуктовий магазин	1	8,21	4500	0,65	7,10	31941
2	Столярний цех	1	67,14	4500	0,8	54,98	247390
3	Електроцех 1	1	59,89	4500	0,85	51,72	232736
4	Електроцех 2	1	55,92	4500	0,8	46,03	207142
5	Побутові приміщення	1	29,65	4500	0,8	24,81	111658
6	Управління ТТУ	1	117,32	4500	0,75	91,83	413230
7	Цех планового ремонту	1	142,68	4500	0,85	122,99	553471
8	Механічний цех	1	180,49	4500	0,5	104,99	472471
9	Цех технічного огляду	1	79,04	4500	0,6	68,45	308038
10	Механічна майстерня	1	108,15	4500	0,5	66,23	298026
11	Пилорама	1	27,77	4500	0,7	21,19	95369
12	Ділянка щоденних оглядів	1	49,27	4500	0,65	42,20	189902
13	Склад	1	51,19	4500	0,65	45,78	206015
14	Гараж	1	9,26	4500	0,65	8,23	37017
15	Шиномонтажний цех	1	10,83	4500	0,55	8,80	39618
16	Допоміжні будівлі	1	48,47	4500	0,7	36,62	164781
	Разом					801,957	3608806

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 [1]),

Величина τ визначається за часом використання максимального навантаження:

$$\tau_{\text{м}} = \left(0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ (год)}, \quad (4.34)$$

Для лінії ЦРП –ТП1:

Активний опір однієї фази кабелю від ЦРП до ТП1.:

$$R = 0,052 \cdot 0,62 = 0,032 \text{ Ом.}$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\gamma} = 3 \cdot 2 \cdot 15,99^2 \cdot 0,032 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 142,7 \text{ (кВт·год./рік).}$$

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	АПвПу-10 3х25	2	0,052	15,99	0,032	2886,21	0,62	142,702
ЦРП-ТП-2	АПвПу-10 3х25	2	0,110	13,86	0,068	2886,21	0,62	226,778
Разом								369,48

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

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

де n - кількість трансформаторів;

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

T_p - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

S_φ - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

S_H - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах ТП-1:

$$\Delta E_T = 2 \cdot 1,31 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 8,5 \cdot \left(\frac{553,82}{630} \right)^2 \cdot 2886,2 = 32430,43 \text{ (кВт·год./рік).}$$

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

Таблиця 4.11 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип	шт	ΔP_x , кВт	ΔP_k , кВт	S_p , кВА	S_n , кВА	ΔE_T , кВт*год./рік
КТП-1	ТМ-630	2	1,31	8,5	553,82	630	32430,43
КТП-2	ТМ-630	2	1,31	8,5	480,02	630	30072,42
разом							62502,85

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

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

$$E = 3608805,6 + 369,48 + 62502,85 = 3671677,93 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Оплата за спожиту електроенергію:

$$П_1 = 6,6949 \cdot 3671677,93 = 24581516,56 \text{ (грн.)}; \quad (4.38)$$

4.3.2 Розрахунок собівартості електроенергії

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВтг:

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

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:

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

де $П$ – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{п}$ – 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;

$$C_{\Pi} = 812401,61 + 67244,06 + 120852,294 + 250124,49 = 1250622,45 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 24581516,56 + 1250622,45 = 25832139,01 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{25832139,01 \cdot 100}{3608805,6} = 715,81 \text{ (коп./кВтгод.)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в таблицю 4.12.

Таблиця 4.12 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел.енергії	E_a	3608805,6	кВт·год.
Річне споживання ел.енергії із втратами	E	3671677,93	кВт·год.
Плата за електроенергію	Π_1	24581516,56	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.ен.	C_{Π}	1250622,45	грн.
Сумарні витрати під-ва	$C_{\text{сум}}$	25832139,01	грн.
Собівартість ел.енергії	S	715,81	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 46,32 коп/кВт·год.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випусковій кваліфікаційній роботі розробляється система електропостачання КП «Вінницька транспортна компанія». КП «Вінницька транспортна компанія» є деревообробним підприємством, яке займає значну територію, має у своєму складі велику кількість обладнання з різними виробничими потужностями, умовами експлуатації, та характером середовища, в якому встановлене дане обладнання. Підприємство відноситься до I категорії електропостачання [3].

На оперативно-ремонтний персонал, який здійснює технічне обслуговування та експлуатацію електричного обладнання цеху з виробництва гранульованого палива (пелет), впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [28]:

а) фізичні:

- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря у робочій зоні;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- підвищена запыленість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;

підвищений рівень шуму на робочому місці;

небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;

підвищений рівень вібрації,

в) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні та статичні)
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць.

Схема робочого приміщення одного з цехів зображена на рисунку 5.1. Загальна площа приміщення 105м^2 , висота стелі 5 м. У приміщенні знаходиться 4 електропривода. Кожен станок має окреме робоче місце для працівника.

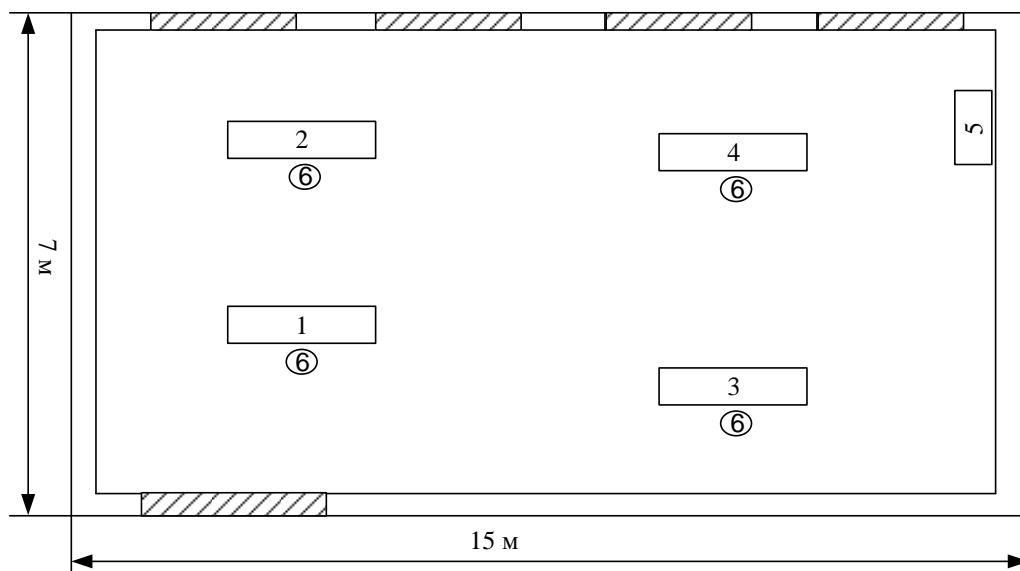


Рисунок 5.1. Робоче приміщення

Умовні позначення: 1,2 – станок круглопильний; 3 – станок фугувальний; 4 – станок свердлильний; 5 – витяжка; 6 – робочі місця працівників.

5.1.2 Електробезпека

Живлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні цеху використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з [31] умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці.

Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривід насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ [2] і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустановками використовуються основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачів навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди" [31].

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивіщується плакат "Працювати тут".

На стругальних деревообробних верстатах ножові вали повинні бути збалансовані, мати циліндричну форму, а також пристрої для швидкого та надійного закріплення ножів на ножовому валу — для запобігання вилітання ножів. Вставні стружколамачі повинні щільно прилягати до поверхні ножів по всій їхній довжині, бути однакової форми і не мати вироблених та вищерблених ділянок. Механізм подавання заготовок повинен бути заблокований з ножовими валами верстата так, щоб зупинення будь-якого з них викликало зупинення механізму подавання оброблюваного матеріалу.

У разі стругання на верстатах з ручним подаванням заготовок найменша довжина оброблюваного матеріалу повинна на 100 мм перевищувати відстань між осями подавальних пристроїв. Стругання на таких верстатах заготовок коротше 400, вужче 50 або тонше 30 мм повинно виконуватись із застосуванням спеціальних колодок-штовхачів.

Поздовжньо-фрезерні стругальні верстати повинні мати обмежувачі граничного перерізу заготовок, що пропускаються через верстат. Обмежувачі повинні установлюватись перед подавальними пристроями. Подавальні механізми необхідно закривати щитками або кожухами, а неробочу частину нижніх ножових валів — висувним огородженням відповідно до ширини оброблюваного матеріалу. Леза ножів не повинні виступати за краї стружколамачів більше ніж на 1,5 мм і повинні описувати коло одного діаметра.

Верстати, обладнані заточувальними пристроями, повинні мати блокувальний пристрій, — для унеможливлення ввімкнення привода шліфувального круга та переміщення каретки цього пристрою під час обертання ножового вала. У разі відсутності на фугувальному верстаті автоподавача за готової робоча частина

ножового вала повинна бути повністю закрита автоматично діючим огороженням, яке повинно відкривати ножовий вал тільки на ширину оброблюваної деталі. Неробоча частина різального інструмента фугувальних та чотиристоронніх стругальних верстатів повинна бути повністю закрита висувним огороженням відповідно до ширини оброблюваних заготовок.

Забороняється закріплювати напрямну лінійку струбцинами.

Краї столів біля щілини ножового вала фугувальних верстатів необхідно забезпечити закріпленими врівень з поверхнею стола сталевими гостроскошеними накладками, які повинні мати рівні, без вищербин та зазубрин краї. Відстань між кромками накладок та траєкторією, що описується лезами ножів, не повинна перевищувати 3 мм. Рейсмусові та чотиристоронні стругальні верстати повинні мати блокувальний пристрій — для запобігання можливості переміщення стола по висоті механічним приводом під час обертання ножового вала. Для безпечного пропускання через рейсмусовий верстат одночасно кількох заготовок, що відрізняються за товщиною, передні подавальні вальці та передні притискачі повинні бути секційними. Незалежно від наявності чи відсутності секційних подавальних вальців усі верстати повинні мати запобіжні упори. На передньому краю стола рейсмусового верстата повинна бути додатково встановлена завіса із затримувальних хитних планок. У разі вимкнення противикидних пристроїв повинен автоматично вимикатись привод подавання заготовок у напрямку обробки.

Чотиристоронні стругальні верстати повинні мати реверсування – для виведення оброблюваної заготовки. Рейсмусові верстати повинні мати вбудоване пристосування – для встановлювання, заточування та виправлення ножів. Неробочу частину шліфувального круга заточувального пристосування необхідно повністю обгородити.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [34].

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Робота оператора верстата відноситься до категорії Іб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією становлять - до 140-174 Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1- Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	Іа	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При деревообробці виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [32] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні верстатника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення [30]:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлені безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення.

Підприємство знаходиться у Вінницькій області, система природного освітлення цеху деревообробки відноситься до бокової. Характеристика робіт у фарбувальній камері - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [36] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в» таблиця 5.3.

Таблиця 5.3 - Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк			
						Штучне освітлення		Природне	Сумісне
						Комбіноване	Загальне		
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV I	в	Середній, малий	Середній, темний	450	200	1,5	0.5

Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

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

де m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,95$.

Природне $e_N = 1,5 \cdot 0,95 = 1,425$.

Сумісне $e_N = 0,5 \cdot 0,85 = 0,425$.

Природне освітлення одностороннє і здійснюється через вікна, які орієнтовані на схід.

Штучне освітлення.

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні занесені до таблиці 6.2

Для освітлення вибираємо світильники прямого світла ЛПО-02 з двома люмінесцентними лампами. Висота підвісу світильників над поверхнею 4,5 м.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

На деревообробному комбінаті джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати - механічний шум (постійний та непостійний).

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності [37].

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед

осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Відповідно до [37] рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

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

де L - рівень шуму, дБ;

p - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, 5-10 м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^5$ Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

нормування за гранично допустимим спектром шуму;

нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкопasmовий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 5.4 .

Таблиця 5.4 - Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці).

Таблиця 5.5 - Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	108	99	93	92	92	92				

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10-2, знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

5.2.6 Психofізичні фактори

Маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг. складає:

для чоловіків – до 30;

для жінок – до 7.

Робоча поза.

Перебування в незручній та/або фіксованій позі більше 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (на колінах, навпочіпки тощо) більше 25% часу зміни

перебування в позі «стоячи» більше 80 % часу зміни. Що перевищує допустимі норми, і є критичними.

Нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну 101-300, що також критично.

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

По горизонталі – до 12;

По вертикалі – до 8; що у свою чергу є критичним .

Характер виконуваної роботи, робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності.

Сенсорні навантаження.

Навантаження на слуховий аналізатор при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів складає від 50% до 70% що у свою чергу є незначним перевищенням допустимої норми.

Організм людини може безхворобливо переносити вплив небезпечних та шкідливих чинників тільки доти, доки вони не перевищують оптимальних і допустимих рівнів та часу витривалості, що зумовлено функціональними можливостями людського організму.

Дослідження фізіології праці показують, що для виконання тривалої фізичної роботи вибрано важкі величини темпу і навантажень, при цьому стомлення буде виникати швидше, що у свою чергу відобразиться на робочому персоналі.

При роботі в умовах перевищення гігієнічних нормативів відбувається зниження працездатності та втоми, яке суб'єктивно сприймається як втома.

Для зменшення дії психофізіологічних чинників небезпеки в процесі праці необхідно переглянути технологічний процес, та умови праці робочого персоналу. Провести зміну умов праці шляхом зменшення часу перебування персоналу під дією шкідливих факторів а саме:

збільшення кількості змін працівників,

зміна технологічного процесу;

Для збереження високої і стійкої працездатності потрібно застосувати дві

взаємодоповнюючі форми чергування періодів праці і відпочинку на виробництві:

1 – обідня перерва в середині робочого дня;

2 – технологічні короткочасні перерви.

При виконанні особливо важких робіт більш ефективним є сполучення роботи протягом 15...20 хв із відпочинком такої ж тривалості.

При роботах, що вимагають великої нервової напруги й уваги, швидких і точних рухів рук, доцільне введення більш частих, але більш коротких перерв тривалістю 5...10 хв.

Організація процесу трудової діяльності людини логічно зв'язана також з виникненням ще одного виду технологічних перерв – мікропауз. Це нерегламентовані перерви, що виникають об'єктивно між послідовними наступними операціями і діями людини.

Таким чином, мікропаузи виникають мимовільно і, у свою чергу, забезпечують підтримку оптимального темпу роботи і високого рівня працездатності. Статистика показує, що у залежності від характеру і важкості праці мікропаузи складають 9...10 % робочого часу.

Варто враховувати індивідуальні якості працюючого, оскільки помилки на виробництві, а також нещасні випадки є наслідком зіткнення якостей людини з особливостями конкретної професійної діяльності. З метою поліпшення безпеки і захисту здоров'я працівників під час роботи необхідно проводити професійний психофізіологічний відбір для широкого кола професій.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах надзвичайних ситуацій

В елементній базі СЕП під дією іонізуючих випромінювань можлива зміна майже всіх електричних і експлуатаційних характеристик, що залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів.

В блоках СЕП можуть початися відновлювані чи не відновлювані зміни через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях радіації значно нижчих від критичних. Імпульсна напруга найбільш легко виникає в високоомних неекранових і несиметричних колах. В результаті наявності таких кіл імпульсу струму чи напруги проникає в систему і спричинює пошкодження, ступінь яких залежить від чутливості складових системи вузлів.

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від дії інших уражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що ЕМІ проникає в захищені блоки апаратури і вона може вийти з ладу, знаходячись в надійно захищених спорудах. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях тощо. Найбільш часто виходять з ладу напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. В резисторах електромагнітний імпульс викликає іскріння в міжконтактних з'єднаннях, що приводить до локального нагріву і порушує опір покриття. В конденсаторах електромагнітний імпульс викликає нагрів шару металізації і його вигорання, порушення контактів між обкладинками і виводами.

5.3.1 Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах впливу іонізуючих випромінювань

Нормальна робота СЕП буде залежати від таких елементів, як транзистори, мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди.

За критерій безпеки роботи електричного обладнання в цих умовах приймається таке значення граничного значення рівня радіації (Рзв, Р/год), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але система буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Граничні рівні радіації для обладнання СЕП

Блоки СЕП	Елементи пристрою	Р _{гр1} , Р/год	Р _{гр} , Р/год
Блок живлення	Мікросхема 78В05	105	
	Транзистор СП1-10,	105	
Блок керування	Діод Д220А	104	

Продовження таблиці 5.6

	Конденсатор X7R	106	
	Резистор R12	107	104
Силові елементи	Транзистори, T143-1000	105	
	Дросель TPA11	105	
	Реактор ВР2МС	105	

Визначаємо граничне значення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання – $P_{гр}$, по мінімальних значеннях коефіцієнта послаблення радіації $K_{посл}$, та потужності експозиційної дози $P_{зв}$.

$$P_{гр} = P_{зв} \cdot K_{посл} \cdot K_{н}; \quad (5.3)$$

$$P_{гр} = 104 \cdot 1 \cdot 0,9 = 9000 \text{ (Р/год)}.$$

Можлива експозиційна доза опромінення в заданих умовах:

$$D_{м} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{посл}}; \quad (5.4)$$

Допустимий час роботи СЕП визначається за формулою:

$$t_{доп} = \left(\frac{D_{гр} \cdot K_{посл} + 2 \cdot P_{1max} \sqrt{t_p}}{2 \cdot P_{1max}} \right)^2; \quad (5.5)$$

$$t_{доп} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,73 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,73} \right)^2 = 743,94 \text{ (год)}.$$

Отже, допустимий час роботи системи електропостачання складатиме 743,94 годин при рівні радіації 9000 Р/год.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

$$U_{д} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N; \quad (5.6)$$

де $U_{ж}$ – напруга живлення, В;

N – допустиме відхилення напруги, %.

$$U_d = 220 + \frac{220}{100} \cdot 15 = 253 \text{ (В)}.$$

Вертикальна складова напруги наведення на струмопровідних частинах СЕП:

$$U_v = \frac{U_d}{100} = 2,53 \text{ (В)}.$$

Знаходимо горизонтальну складову напруженості електричного поля, при якому коефіцієнт безпеки знаходиться в межах допустимого:

$$U_v = E_{\Gamma} \cdot l_B; \quad (5.7)$$

Звідки:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_v}{l_B}; \quad (5.8)$$

$$E_{\Gamma} = \frac{2,53}{2,2} = 1,15 \text{ (В/м)}.$$

Знаходимо вертикальну складову напруженості електричного поля, при якому коефіцієнт безпеки знаходиться в межах допустимого:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_v; \quad (5.9)$$

Звідки:

$$E_v = \frac{E_{\Gamma}}{10^{-3}}; \quad (5.10)$$

$$E_v = \frac{1,15}{10^{-3}} = 1150 \text{ (В/м)}.$$

Отже, обладнання СЕП буде безпечно працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати 1150 В/м.

5.4 Розробка заходів по підвищенню безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В даному розділі було проведено оцінку безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії загрозливих чинників НС.

Розглянемо способи підвищення безпеки роботи обладнання системи електропостачання.

Для боротьби з впливом іонізуючого опромінення використовують алюмінієві сплави, леговані елементами з високим атомним номером (лантаноїдами і

рідкоземельними елементами), сплави на основі тугоплавких і рідкоземельних елементів і багатошарові матеріали. Також для боротьби з впливом іонізуючого випромінювання можна використати новітній вітчизняний метод, що полягає в захисному покритті радіоелектронної апаратури, що розміщується на поверхнях даних елементів, які піддаються впливу іонізуючого випромінювання, відмінним тим, що захисне покриття виконане у вигляді наноструктури, яка включає сукупність атомів рідкоземельних елементів, введених в структуру армованої атомно-молекулярної металічної матриці, або утворює її захисний шар.

Для захисту апаратури від ЕМІ застосовуються різної конструкції екрани і кожухи. Найважливіші вимоги до матеріалів, з яких виготовляються захисні пристрої, такі: до складу матеріалів повинні входити елементи з великою атомною масою; захисні матеріали повинні включати легкі елементи.

Для підвищення безпеки роботи системи електропостачання в умовах дії ЕМІ застосовують: раціональне просторове розміщення вузлів і схем системи; вибір найбільш стійких до впливу ЕМІ функціональних елементів систем; створення стійких електронних схемних рішень; застосування заходів спеціального захисту; зміна порядку функціонування системи при подачі сигналу повітряної тривоги.

Для підвищення безпеки роботи обладнання системи електропостачання в умовах дії ЕМІ проводимо розрахунок захисного екрану.

Визначаємо перехідне гасіння електричного поля екраном зі сталі:

$$A = 40 - K_{\text{бмін}}; \quad (5.11)$$

$$A_1 = 40 + 21,2 = 61,2 \text{ (дБ)};$$

$$A_2 = 40 + 27,6 = 67,6 \text{ (дБ)};$$

$$A_3 = 40 + 18,3 = 68,3 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,02 \cdot \sqrt{f}}; \quad (5.12)$$

де A - перехідне затухання екрану, дБ;

f - найбільш характерна частота, (15 кГц).

$$t_1 = \frac{61,2}{5,02 \cdot \sqrt{15000}} = 0,09 \text{ (см)};$$

$$t_2 = \frac{67,6}{5,02 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)};$$

$$t_3 = \frac{68,3}{5,02 \cdot \sqrt{15000}} = 0,12 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення з використанням екрану товщиною 0,09 см зі сталі, блоку керування з використанням екрану товщиною що дорівнює 0,1 см, силових елементів 0,12 см, система електропостачання буде стійко працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також, у даному розділі проведено оцінку безпеки роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій та розроблено заходи по підвищенню безпеки роботи обладнання системи.

В умовах дії іонізуючих випромінювань обладнання СЕП буде безпечно працювати до рівня радіації 9000 Р/год, при допустимому часі роботи апаратури протягом 743,94 год.

Оцінюючи безпеку роботи СЕП КП «Вінницька транспортна компанія» в умовах дії електромагнітного імпульсу, доведено, що система буде злагоджено працювати, якщо вертикальна складова напруженості електричного поля не буде перевищувати: 1150 (В/м).

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 енергоефективності об'єктів КП «Вінницька транспортна компанія», в процесі автоматизованого пошуку оптимальних рішень проектування СЕП підприємства здійснено наступні оптимальні проектні рішення за критерієм енергоефективності:

Для підприємства проведено розрахунок навантаження споживачів та освітлювальних установок. Спроектовано внутрішню заводську мережу 10 кВ. Було обрано трансформатори марки ТМ – 630/10. Для радіальної схеми живлення ЦТП від ЦРП 10 кВ обрано кабельні лінії АПвПу-10 перерізом 25 мм². Для живлення самого підприємства від ПС 110/10 мережі доцільно використати кабельні лінії марки АПвПу-10 3x50+1x25 мм² L = 0,8 км

Координати центру енергетичного навантаження були розраховані для розміщення ЦРП. Дане розміщення дозволяє встановити ЦРП в оптимальному місці з мінімальними витратами енергії.

В науковій частині магістерської кваліфікаційної роботи удосконалено математичну модель, яка дає змогу оптимального вибору параметрів СТАТКОМ який буде задіяний в мережах промислових підприємств чи комунальних споживачів. Удосконалена математична модель дає змогу визначити оптимальні параметри СТАТКОМ для місця його приєднання та оптимальні режими його роботи.

Визначено вимоги до СТАТКОМ та системи керування ним для роботи в різних режимах в мережі. Досліджено алгоритм керування СТАТКОМ в мережі, ефективність якого дозволила використовувати СТАТКОМ в аварійних та післяаварійних режимах в мережі; успішно вирішено задачі регулювання напруги та симетрування напруги в енергосистемі з використанням СТАТКОМ. Дослідження показало високу ефективність роботи СТАТКОМ з розробленою системою керування.

Четвертий розділ роботи був присвячений економічним розрахункам спроектованої СЕП. Тобто економічної доцільності будівництва пропонованого проекту. Визначено очікувану вартість електроенергії у мережі.

У п'ятому розділі були проаналізовані стандарти охорони праці та електробезпеки. Проведено аналіз стабільності роботи бота на робочому місці підприємства під впливом іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів.

Виконані розрахунки дозволять забезпечити максимально надійне електропостачання цього підприємства.

Аналіз отриманих результатів і розрахунків для реальних споживачів електроенергії, виконаних за допомогою розробленої комп'ютерної моделі, дозволяє стверджувати, що розроблена комп'ютерна модель може бути використана в реальному процесі проектування СЕП споживачів електроенергії. Щоб використовувати його, досить мати програму електронної обробки даних Excel, яка широко доступна для проектної організації.

Для розроблення дипломного проекту були виконані вимоги ПУЕ, ПТЕ та інших нормативних документів по надійності і якості електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). – Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017, 617 с.
2. ДСТУ 3463-96: 1999. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів. [Чинний від 01.01.1999]. Київ, 1999. 204 с. (Інформація та документація).
3. Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 148 с.
4. 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).
5. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків» Вінниця: ВНТУ, 2005р.
6. 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).
7. Демов О.Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
8. 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.
9. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Моделювання та оптимізація режимів систем енергопостачання та електроспоживання : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 183 с.

10. Кабельно-провідникова продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ibud.ua/ua/catalog/kabelno-provodnikovaya-produktsiya-1189>

11. Трансформатори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.budnet.com.ua/aboutcommodity.php?FirmCommodityID=4099>

Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 159 с.

13. MATLAB – високорівнева мова технічних розрахунків: веб-сайт. URL: <http://matlab.products/matlab> (дата звернення: 06.05.2023)

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

15. 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.

16. Васильєв А.С., Боровиков Ю.С., Прохоров А.В. Спеціалізовані гібридні процесори для всережимного моделювання в реальному часі пристроїв FACTS / Енергетика очима молоді: Наукові праці III міжнародної науково-технічної конференції - Єкатеринбург, 22-26 жовтня 2012 р.

17. 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.

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

19. 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->

20. 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.

21. 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.

22. 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>.

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

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

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

26. 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>.

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

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

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

30. 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>.

31. 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.

32. 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.

33. Корженевський О.О., Бабенко О.В., Войтюк Ю.П. Переваги використання statcom в електричних мережах промислових підприємств. Матеріали ІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). Збірник наукових праць [Електронний ресурс], Вінниця: ВНТУ, 2023-2024. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19674/16285>

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ____ ” _____ 2023р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

д.т.н., проф. Бурбело М.Й. _____
“ ____ ” _____ 2023р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

Підвищення енергоефективності тягових мереж Комунального підприємства
“Вінницька транспортна компанія”

08-17.МКР.000.00.000 ТЗ

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Бабенко О.В. _____
(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕМ - 22м

Корженевський О.О. _____
(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 247 від 18 .09.23р.

Дата початку роботи 01. 10. 23р.

Дата закінчення роботи 05 . 12 .23р.

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

а) мета – аналіз ефективності використання СТАТКОМ в системі електропостачання КП «Вінницька транспортна компанія»;

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 проєктів (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. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4 ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

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	01.10	20.10
4.2 Проведення дослідних розрахунків	20.10	20.11
4.3 Розробка робочих креслень	20.11	22.11
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	22.11	05.12

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

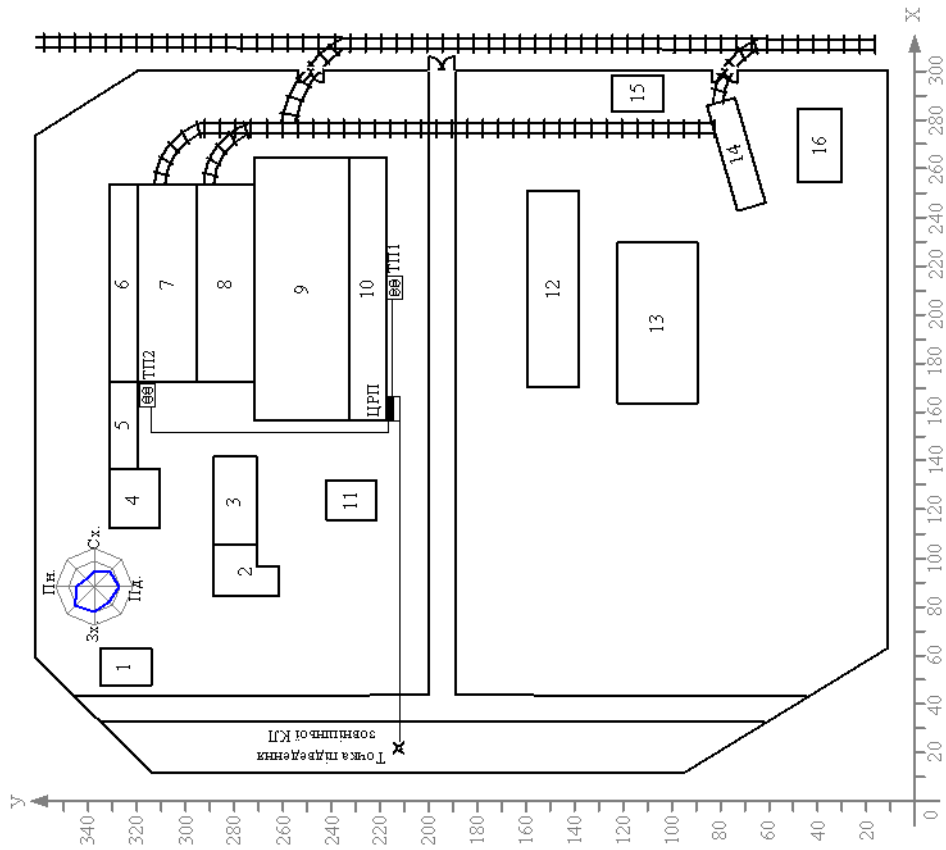
7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

Додаток Б – Вихідні дані



№ на генплані	Найменування	Примітка
1	Продуктовий магазин	R _н = 3
2	Стеларний цех	R _н = 75
3	Електроцех №1	R _н = 70
4	Електроцех №2	R _н = 65
5	Побутові приміщення	R _н = 20
6	Управління ТТУ	R _н = 90
7	Цех планового ремонту	R _н = 190
8	Механічний цех	R _н = 220
9	Цех технічного огляду	R _н = 26
10	Механічна майстерня	R _н = 143
11	Пилорама	R _н = 24
12	Длянка шодених оглядів	R _н = 15
13	Склад	R _н = 3
14	Гараж	R _н = 1,5
15	Шинномонтажний цех	R _н = 5
16	Допоміжні будівлі	R _н = 75
	ЦРП	
	ТП2	ТМ 2х630
	ТП3	ТМ 2х630

Номинальна поужитність цехів R_н задана в кВт

Умовні позначення

- Двотрансформаторна ТП
- ЦРП 10 кВ
- Точка підведення зовнішньої ПЛЛ
- КЛ 10 кВ

Додаток В – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності об'єктів Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

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

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 80,7% Схожість 19,3%

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 Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Корженевський О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Бабенко О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

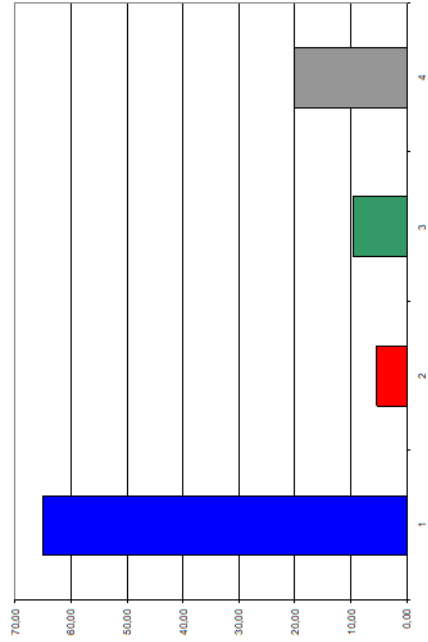
Техніко-економічні показники СЕП

Підсумкова таблиця

Сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства	2014,2 тис грн
Загальна потреба підприємства в електроенергії	3671677,93 кВт*год/рік
Тариф	6,6949 грн/кВт*год
Оплата за спожиту електроенергію	24581516,56 грн
Собівартість спожитої електроенергії	715,81 грн/кВт*год

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
К-сть корисно спожитої ел енергії	Ea	3608805,6	кВт год.
Річне споживання ел енергії із втратами	E	3671677,93	кВт год.
Плата за електроенергію	П ₁	24581516,56	грн.
Витрати на передачу і розподіл ел.ен.	C _п	1250622,45	грн.
Сумарні витрати під-ва	C _{сум}	25832139,01	грн.
Собівартість ел енергії	S	715,81	коп/кВт год.

Гістограма кошторису річних поточних витрат

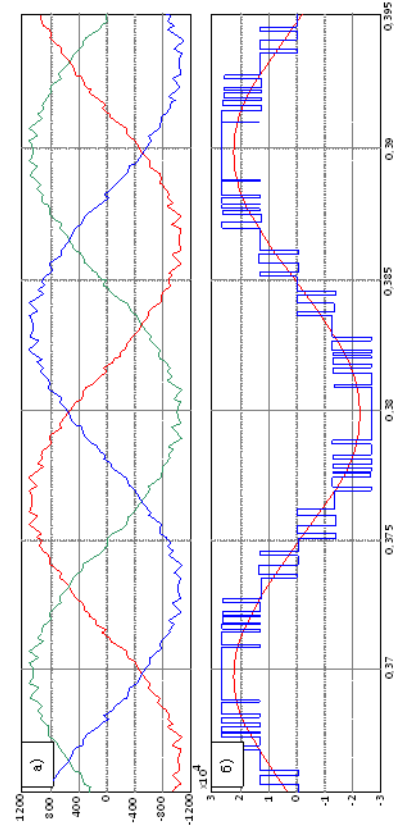


Таблиця кошторису річних поточних витрат

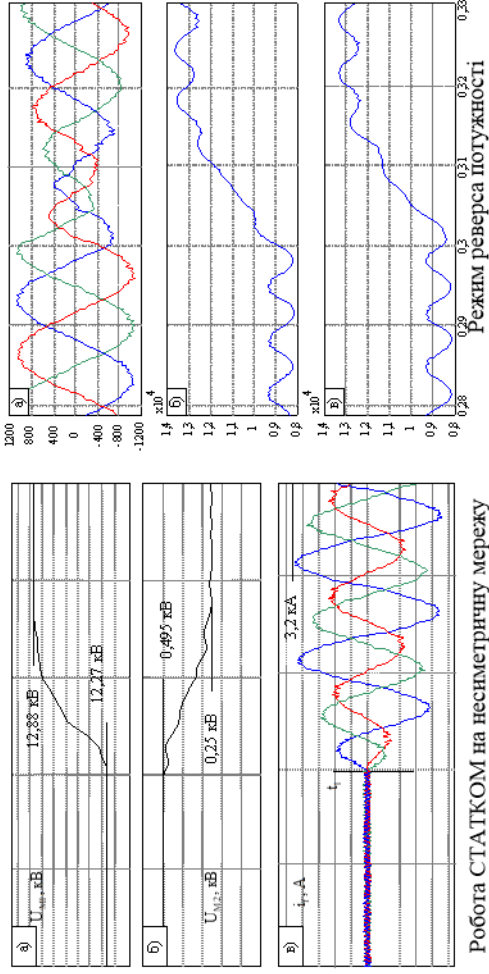
Стаття витрат	Величина витрат, грн.	Рн. кВт
Витрати по експлуатації обладнання	812401,61	64,96
Витрати на поточний ремонт	67244,06	5,38
Витрати на амортизацію	120852,29	9,66
Інші витрати	250124,49	20,00
Разом	1250622,45	100



Моделювання основних режимів роботи СТАТКОМ

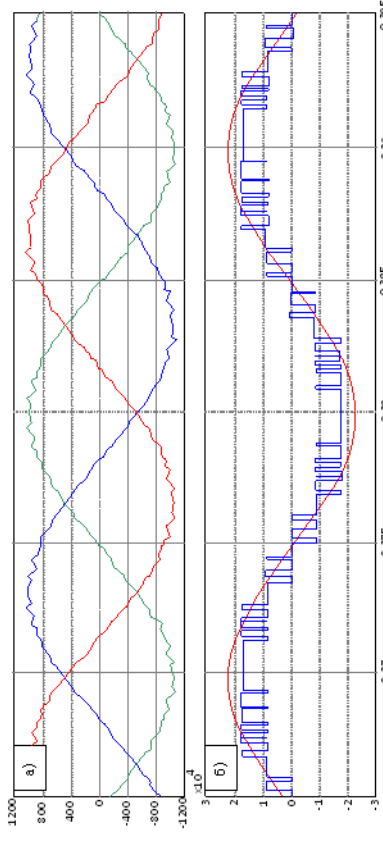


Режим генерації номінальної реактивної потужності

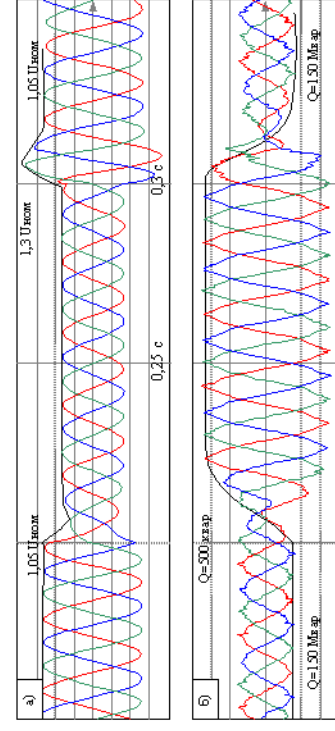


Робота СТАТКОМ на несиметричну мережу

Режим реверса потужності



Режим споживання номінальної реактивної потужності



Посадка напруги при виникненні трифазного КЗ в мережі