

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного
менеджменту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступінь)

на тему:

ВИБІР МІСЦЬ РОЗМІЩЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ З УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОСТІ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

08-17.МКР.004.01.021 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕСЕ-20м
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
Лещенко О.Р.

Керівник: д.т.н. професор Бурбело М.Й.

« _____ » _____ 2021р.

Опонент:

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
д.т.н. професор Бурбело М.Й.

« _____ » _____ 2021р.

Вінниця 2021

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
ОП «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
проф. Бурбело М.Й.

«24» вересня 2021 р

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Лещенка Олександра Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вибір місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності втрат електричної енергії

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” вересня 2021 року № 277

2. Термін подання студентом роботи “15” грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: відомості про електричні навантаження споживачів, відомості про джерела живлення та реактивної потужності, відомості та перспективу розвитку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Характеристика споживачів. Розрахунок реактивних навантажень. Огляд літератури на тему компенсації реактивної потужності. Удосконалення системи оплати за передавання реактивної потужності. Розрахунок компенсації реактивної потужності. Розробка СТАРТАП проекту. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Схеми електричних мереж. Графіки оплати за перетоки реактивної потужності. Схеми СТАТКОМ і графіки їх роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Наукова частина	Мельничук Л.М., доц., каф. ЕМСАПТ к.е.н.		
Економічна частина	Шулле Ю.А., доц., каф. ЕСЕЕМ к.т.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., зав. кафедри БЖДПБ, д.пед.н., професор		

7. Дата видачі завдання 24.09.21

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури на тему компенсації реактивної потужності	18.09.21	
2	Системи оплати за реактивну потужність	12.10.21	
3	Розрахунок компенсації реактивної потужності	05.11.21	
4	Стартап проекту	24.11.21	
5	Охорона праці	08.12.21	
6	Графічна частина	14.12.21	

Студент _____
(підпис)

Лещенко О. Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бурбело М. Й.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лещенко О.Р. Вибір місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності втрат електричної енергії. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електротехнічні системи електроспоживання. Вінниця: ВНТУ, 2021 – 95 с.

У даній магістерській роботі досліджено вплив перетоків реактивної потужності на електричні мережі, проаналізовано існуючі методи розрахунку втрат електричної енергії, а також методи оплати за перетоки реактивної потужності, оснований на різних методиках урахування втрат електричної енергії. Створено модель на основі існуючої мережі, в якій проведено розрахунок місць встановлення компенсуючих пристроїв на основі методики оплати з використанням кусочно-лінійної апроксимації, порівняно існуючі методи оплати.

Ключові слова: система електропостачання, компенсація реактивної потужності, методика оплати за реактивну потужність, кусочно-лінійна апроксимація.

рис.: 18 табл.: 21 бібл.: 30

ANNOTATION

Leshchenko OR The choice of locations compensates for the devices taking into account the nonlinearity of electricity losses. Master's qualification work in this specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, educational program - electrical systems and power consumption. Vinnytsia: VNTU, 2021 - 95 p.

In this master's work, the influence of reactive power flows on electrical networks has been investigated, existing methods for calculating electrical energy losses, as well as payment methods for reactive power flows based on different methods of accounting for electrical energy losses, have been analyzed. A model was created on the basis of the existing network, in which the calculation of the places of installation of compensating devices was made based on the payment method using piecewise linear approximation, comparatively existing payment methods.

Key words: power supply system, reactive power compensation, reactive power payment method, piecewise linear approximation.

figures: 18 tables: 21 libraries: 30

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	8
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ НА ТЕМУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	8
1.1 Методика розрахунку КРП.....	8
1.2 Оптимізація ефективності встановлення пристроїв компенсації.....	13
1.3 Огляд проблем розрахунку компенсації реактивної потужності.....	16
РОЗДІЛ 2	19
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОПЛАТИ ЗА ПЕРЕДАВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	19
2.1 Методика оплати за передавання реактивної електроенергії.....	19
2.2 Оплата за реактивну електроенергію з використанням розподілення втрат потужності між споживачами	23
2.3 Оплата за реактивну електроенергію з використанням кусочно-лінійної апроксимації втрат потужності.....	25
РОЗДІЛ 3	30
РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	30
3.1 Розрахунок оплати за передавання реактивної потужності на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока».....	30
3.2 Розрахунок місць встановлення компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока».....	37
3.3 Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л- 2 ПС-110/10 Сорока».....	40
3.4 Розрахунок терміну окупності компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока».....	42
3.5 Аналіз можливості застосування СТАТКОМ	45
Результат дослідження:.....	45

РОЗДІЛ 4	50
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	50
4.1 Вступ.....	50
4.2 Опис ідеї.....	50
4.3 Технологічний аудит ідеї проекту	51
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	52
4.5 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту	55
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проекту	56
РОЗДІЛ 5	58
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	58
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	66
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	82
Додаток А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	86
Додаток Б. СХЕМА МЕРЕЖІ	81
Додаток В. МЕТОДИКА ОПЛАТИ.....	90
Додаток Г. МОДЕЛЮВАННЯ СТАТКОМ	94
Додаток Д. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МКР	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РП – реактивна потужність

КРП – компенсація реактивної потужності

ЕЕРП – економічний еквівалент реактивної потужності

НКРЕ – національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики

КУ – конденсаторна установка

БСК – батарея статичних конденсаторів

ЕМ – електрична мережа

ТП – трансформаторна підстанція

ВКУ – високовольтна батарея конденсаторів

НКУ – низьковольтна батарея конденсаторів

ГПП – головна понижувальна підстанція

ВСТУП

Актуальність теми. Більшістю споживачів є двигуни, які споживають як корисну активну енергію так і паразитну реактивну. Реактивна енергія виникає внаслідок створення електромагнітного поля. Дана енергія створює додаткові втрати в лініях електропостачання та знижує рівні напруги. З цього випливає важливе завдання як найефективніше компенсувати дану потужність, так як в світових масштабах це є великою проблемою для людства, тому, що паливні ресурси не є нескінченними і рівень екологічної забрудненості досить великий. Компенсація дозволить знизити світове використання на суттєвий відсоток. КРП один з багатьох дієвих заходів, який збільшує ефективність використання паливних ресурсів і підвищує енергоефективність енергогосподарства України. Реактивна потужність, це частина повної потужності, що витрачається на електромагнітні процеси і має ємнісну та індуктивну складову, яка призводить до збільшення втрат і підвищення допустимих норм відхилення напруги. Основними споживачами реактивної електроенергії є асинхронні двигуни, електричні печі, перетворювачі напруги, трансформатори на всіх рівнях та лінії електропередачі.

Впровадження компенсувальних установок у розподільні електричні мережі, дозволяє значно зменшити втрати активної потужності і знизити плату за реактивну енергію. Для досягнення даної мети потрібно визначити значення потужностей конденсаторних установок і місць їх встановлення. Отже, для підвищення ефективності роботи компенсувальних установок потрібно розробити і реалізувати системи які дозволять здешевити, спростити і удосконалити методи компенсації реактивної потужності для їх раціонального впровадження та використання у розподільних електричних мережах.

На сьогоднішній день споживання активної електроенергії зростає з кожним днем, з ним і зростає споживання реактивної електроенергії, при чому плата за передавання реактивної енергії враховується в підприємствах з великим споживанням, тому енергопостачальні компанії України не зацікавлені у

зменшенні реактивної потужності для мереж з великим споживання, так як це призведе до зменшення їх заробітку.

Робота зосереджена на розробці ефективного методу компенсації реактивної потужності, з більш точними розрахунками місць встановлення, які збільшать ефективність і здешевлять заходи з компенсації.

Мета і задачі дослідження. Метою даної магістерської роботи є дослідження ефективного розрахунку місць встановлення компенсуючих установок, з використанням удосконаленої методики оплати за передачу реактивної енергії на основі кусочно-лінійної апроксимації.

Для досягнення даної мети потрібно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз існуючих методів розрахунку;
- дослідити можливість їх покращення;
- проаналізувати методики оплати за реактивну енергію;
- розробити модель мережі;

Об'єкт дослідження. Розподільні мережі електропостачання.

Предмет дослідження. Компенсація реактивної потужності.

Методи дослідження. У магістерській роботі використовуються методи розрахунку на основі теорії електричних кіл та систем електропостачання

Наукова новизна: Удосконалено метод визначення ефективного місця встановлення компенсуючих пристроїв на основі методики оплати з використанням кусочно-лінійної апроксимації залежності втрат потужності, що забезпечує підвищення ефективності використання компенсуючих пристроїв.

Практична цінність. Впровадження даного принципу дасть змогу більш точно проводити розрахунки які в свою чергу призведуть до збільшення ефективності компенсації.

Апробації результатів магістерської роботи. Тему підвищення якості електричної мережі та зменшення рівнів реактивної потужності, представлено на двох НТК викладачів та студентів ВНТУ 2020, 2021 років.

Публікації: За результатом досліджень опубліковано дві тези доповідей.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ НА ТЕМУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

1.1 Методика розрахунку КРП

У промисловій мережі зі стабільними у часі режимами електроспоживання (підприємства машинобудування, текстильні, хімічні та ін.) використовуються зазвичай три види компенсуючих пристроїв: ВБК, НБК та синхронні двигуни напругою 6 і 10 кВ.

За своєю техніко-економічною сутністю оптимізація вибору КУ в електричних мережах є багатокритеріальною. Компенсація приводить до зменшення повного струму в мережі, що супроводжується й іншими корисними можливостями: можна в низці випадків зменшити капіталовкладення в окремі елементи мережі (зменшити переріз ліній, потужність трансформаторів), домогтися належного підвищення напруги в окремих вузлах мережі. Зменшення повного струму ліній електропередачі і трансформаторів в результаті КРП створює передумови для зменшення капіталовкладень на спорудження мережі або дозволяє відкладати терміни заміни обладнання при зростанні активних навантажень за рахунок підвищення пропускної спроможності мережі.

Перший фактор – зниження номіналів встановлюваного обладнання (перерізу ліній, потужності трансформаторів, їх числа в технологічно концентрованих групах) – це проектне завдання, але, незважаючи на його очевидний фізичний сенс, реальний практичний вихід можливий лише для трансформаторів, частіше для трансформаторів напругою 6, 10 кВ. Це пояснюється труднощами розрахункового характеру при спробах врахувати системну економічну ефективність КРП споживачів у частині можливого зниження перерізів ліній у складно-замкнутій мережі. Труднощі виникають через дискретність перерізів і потужності трансформаторів і при оцінці ефективності кожної компенсуючої установки.

Другий фактор – експлуатаційний: підвищення пропускної спроможності на практиці може використовуватися по-різному в залежності від конкретних умов, врахувати ж відповідну економічну ефективність при проектуванні досить складно.

Оптимальне значення КРП визначають за мінімумом зведених річних витрат, які розраховуються як [1]:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum (Z_{\kappa 0} + Z_{ВБК1} Q_{ВБК}) + Z_{НБК1} Q_{НБК\Sigma} + \\
 & + c_0 \sum (d_1 Q_{СД} + d_2 Q_{СД}^2) + c_0 \Delta P(Q_{НБК\Sigma}; Q_{СД}) + \\
 & + Z_{T1}(Q_{НБК1}) + Z_{T2}(Q_{НБК2}),
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

при балансовій умові

$$Q_{\kappa\Sigma} = \sum Q_{ВБК} + \sum Q_{НБК} + \sum Q_{СД} = Q + \Delta Q - Q_e, \tag{1.2}$$

де втрати ΔQ задають як постійні з наступним можливим їх зменшенням.

У формулі (1.1) використані такі позначення:

$Q_{НБК\Sigma}$, $Q_{ВБК}$ – потужність низьковольтних та високовольтних батарей конденсаторів відповідно;

$Z_{НБК1}$, $Z_{ВБК1}$ – питомі витрати на встановлення, відповідно, низьковольтних та високовольтних батарей конденсаторів;

$Z_{\kappa 0}$ – витрати на комутаційний пристрій для високовольтних батарей конденсаторів з вимикачем короткого замикання;

c_0 – оптимальний ступінь компенсації СД;

$Q_{СД}$ – реактивна потужність, що генерується СД;

d_1 , d_2 – параметри втрат СД;

ΔP – втрати активної потужності в мережах;

$Z_{T1}(Q_{НБК1})$, $Z_{T2}(Q_{НБК2})$ – витрати на встановлення додаткових групових та одиночних трансформаторних підстанцій (ПС) напругою 6(10)/0,4 кВ, що залежать від потужності, відповідно, низьковольтних та високовольтних батарей конденсаторів $Q_{НБК1}$, $Q_{ВБК1}$.

Перша сума (1.1) є витратами на ВБК, що встановлюються на ГПП або РП; друга сума відноситься до кількох груп однакових по швидкохідності та потужності СД при визначенні вартості втрат у них.

Втрати ΔP розраховуються у припущенні установки НБК на шинах 0,4 кВ ПС. Облік додаткового зниження втрат у разі перенесення НБК в цеховій мережі 0,4 кВ практично нездійснений на стадії проектування мережі напругою понад 1000 В. Проаналізувати навантаження в цехових мережах, за деяким винятком, дуже важко; проектування цих мереж ведеться вже в процесі складання робочої документації, після розрахунку оптимальної структури компенсації. На практиці доцільність винесення частини НБК в цехову мережу виникає лише за наявності шинопроводів 0,4 кВ.

Мінімізація (1.1) для великих підприємств наштовхується на дві можливі проблеми. Перша – наявність проміжних вузлів, де не планується установка БК – має місце на підприємствах з двоступінчастою радіальною схемою на напрузі 6-10 кВ або із струмопроводами 6-10 кВ.

Друга можлива проблема – мережа підприємства радіальна одноступенева, але з великим числом ліній, розділених на групи за ознакою живлення територіально відокремлених споживачів. На даному етапі можна обійтися ручним розрахунком, провівши попередньо найпростіше еквівалентування.

Задана енергосистемою вхідна величина Q_e визначається в результаті системного розрахунку КРП по мережі живлення енергосистеми в припущенні, що відповідні цій потужності компенсуючі пристрої будуть встановлені у вигляді ВБК на шинах 6, 10 кВ ГПП. Існує три можливості покращити дане базове рішення: встановити НБК з метою максимального зменшення потужності одиночних трансформаторів і оптимального зменшення числа цехових трансформаторів при їх територіальній та технологічній концентрації; знизити встановлену потужність БК за рахунок генерації реактивної потужності СД; встановити НБК з метою оптимального зниження втрат в лініях 6-10 кВ та цехових трансформаторах.

Всі ці три варіанти поліпшення базового рішення припускають рівне зниження потужності ВБК, що відповідає заданій потужності Q_e .

Застосовувати ЕОМ для розрахунку радіальної системи електропостачання має сенс у тому випадку, якщо потрібно отримати не одне рішення, а множину значень при монотонно зростаючій балансовій величині $Q_{K\Sigma}$, або, навпаки, при монотонно спадній величині Q_e . Необхідність у такій багатоваріантності виникає у зв'язку з невизначеністю значення Q_e на стадії проектування підприємства. Потрібно сказати, що спектр невизначеностей для такого роду об'єктів набагато вужчий в порівнянні з мережею живлення енергосистем і обмежується, лише невизначеністю Q_e та невизначеністю часу набору підприємством проектної потужності. Обидві вони долаються одержанням зазначеної вище за серію рішень.

Назвемо структуру КРП промислового підприємства, сумарні потужності ВБК, НБК та СД, що забезпечують мінімум цільової функції (1.1) за балансової умови (1.2). Окремі складові цієї структури $q_{ij} = \psi_{ij}(Q_{K\Sigma} = \text{var})$ представляють участь i -го виду КУ j -ї підсистеми електропостачання (наприклад, головний корпус, насосна, блок допоміжного цеху, компресорна і т. д.) в покритті балансової величини $Q_{K\Sigma}$. У будь-якій точці виконується умова:

$$\sum_{ij} q_{ij} = Q_{K\Sigma}, \quad (1.3)$$

Відповідно до структури компенсації визначається економічна характеристика компенсації [1]:

$$Z^* = Z_{\min} = \varphi(Q_{K\Sigma} = \text{var}). \quad (1.4)$$

Дана формула є залежністю мінімальних зведених витрат від заданої балансової умови.

Розглянуте узагальнене вирішення питання КРП дає наглядну картину змінної структури компенсації при різних потребах енергосистеми в реактивній потужності або при різній величині сумарної реактивної навантаження

підприємства. За характеристикою Z^* та її окремим складом Z_{ij} можна оцінити економічну пропорційність різних варіантів компенсації та при орієнтовному завданні Q_e брати до уваги всю оптимальну зону рішень.

При використанні найпростішого еквівалентування розімкнених мереж та установлену пріоритетність окремих варіантів компенсації, то вдається побудувати універсальний алгоритм розрахунку КРМ у промисловій мережі, що використовує попарне порівняння між собою ВБК з НБК та ВБК з СД. Таким чином, вдалося виключити з безпосередньо розгляду економічної конкуренції СД та НБК, враховуючи її побічно.

На рис. 1.1 зображено структурну схему алгоритму розрахунку КРП [1].

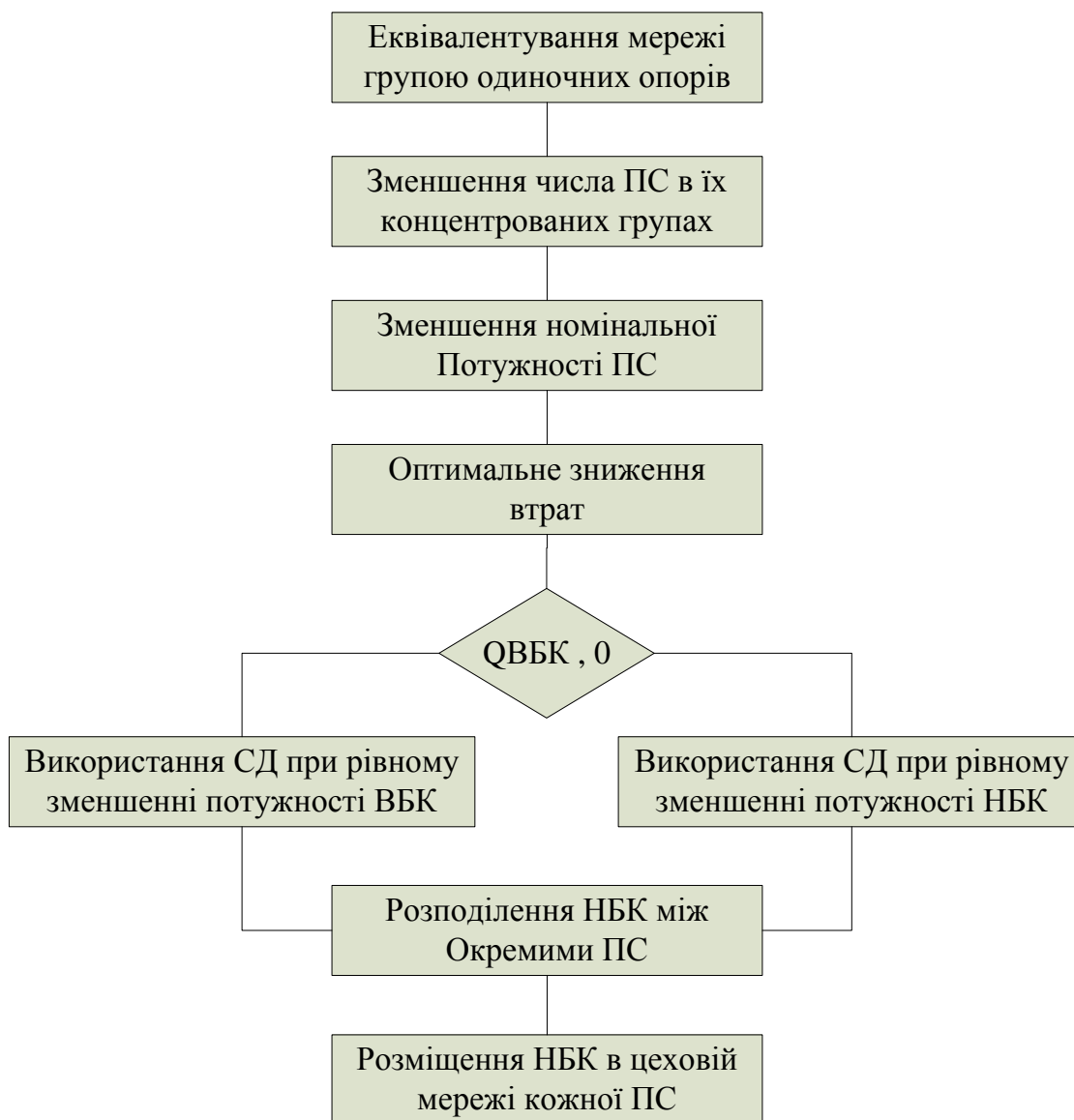


Рисунок 1.1 – Алгоритм розрахунку КРП

1.2 Оптимізація ефективності встановлення пристроїв компенсації

Оптимізація числа цехових підстанцій. За наявності на проектуваному підприємстві концентрованих груп (понад три) цехових підстанцій 6 (10)/0,4 кВ виникає питання вибору сумарної потужності НБК та економічного числа $N_{ек}$ підстанцій (ПС) у кожному такому вузлі. Припустимо, що залежно від густини навантаження у вузлі економічно оптимальна потужність трансформаторів S_T . Тоді при сумарному середньо-змінному максимальному навантаженні вузла $S = P + jQ$ мінімальна і максимальна кількість підстанцій визначається як найближчі цілі числа до величин [1]:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= P / (k\beta S_T) \\ N_2 &= S / (k\beta S_T) \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

де β – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

$$\Delta N = N_{\min} - N_1. \quad (1.6)$$

Величина ΔN укладена в діапазоні $0 \leq \Delta N \leq 1$ і істотно впливає на значення потужності Q_{ki} НБК, що вивільняється при встановленні i -ї додаткової N_{\min} підстанції. Особливо це помітно при встановленні першої додаткової ПС, Також сильно впливає на потужність НБК порядковий номер – чим він більше, тим менша потужність, що вивільняється. З урахуванням даної особливості критерієм доцільності установки додатковою ПС може бути нерівність [1]:

$$kZ_{ПС} S_T \leq \Delta Z_{НБК} Q_{ki}. \quad (1.7)$$

де $Z_{ПС}$ – питомі витрати на ПС, грн/кВ·А, з урахуванням живильної лінії;
 $Z_{НБК}$ – різниця у питомих витратах на БК напругою до 1 кВ та вище з урахуванням рівномірно розподілених постійних складових витрат.

Розрахунок виконується в такій послідовності:

1. За формулами визначають N_{min} , N_{max} та ΔN . Далі вирішують, скільки ПС з числа $n = N_{max} - N_{min}$ доцільно додати до N_{min} .

2. Послідовно для $i = 1, 2, \dots$ за формулою розраховують потужності Q_{ki} і підставляють в критерій (1.7). Економічно оптимальне число ПС дорівнює $N_{ек} = N_{min} + m$, де $m = i \leq n$. При цьому значенні m ще виконується нерівність (1.7).

Знайдемо некомпенсовану реактивну (вхідну) потужність енерговузла:

$$\begin{aligned} Q_e &= (N_{min} + m)k\beta S_T \sin \varphi_m = k\beta S_T \\ &\sqrt{(m + \Delta N)(2N_{min} + m - \Delta N)} \approx \\ &\approx k\beta S_T \sqrt{2N_{min}(m + \Delta N)}, \end{aligned} \quad (1.7)$$

Відповідно коефіцієнт реактивної потужності розраховується за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{Q_B}{P} = \frac{\sqrt{2N_{min}(m + \Delta N)}}{N_{min} - \Delta N} \approx \sqrt{\frac{2}{N_{min}}} \sqrt{m + \Delta N}, \quad (1.8)$$

Сумарну потужність НБК $Q_{км} = Q_{кл} - Q_{ке}$, що вивільняється завдяки установці m підстанцій додатково до їх мінімального числа N_{min} :

$$Q_{К min} = k\beta S_T \left[\sqrt{2N_{min}(\Delta N + m)} - \sqrt{2N_{min}N_{min}} \right], \quad (1.9)$$

Оскільки на практиці для одно- та двох-трансформаторних ПС часто використовують коефіцієнти завантажень β , рівні відповідно 1 та 0,7, визначення $N_{ек}$, згідно критерію (4) виконується вигляді рівності:

$$N_{min} = \frac{1}{4 \left[i + \Delta N - 0.5 - \sqrt{(i - 1 + \Delta N)(i + \Delta N)} \right] (\beta \beta_{nc})^2}. \quad (1.10)$$

У найзагальнішому вигляді цілі КРП можна уявити в такий спосіб.

1. Підвищення економічних показників:
 - 1.1. зменшення втрат активної потужності та електроенергії в мережі;
 - 1.2. зменшення капіталовкладень на мережу.
2. Підвищення технічних показників за рахунок зміни напруги на підстанціях у максимальному режимі роботи енергосистеми, що створює необхідні умови для подальшого покращення якості електроенергії
3. Зниження технологічної складності:
 - 3.1. Концентрація КУ споживачів у меншому числі вузлів РЕМ;
 - 3.2. Підвищення ступеня використання КУ у нормальних режимах у порівнянні з критерієм мінімальних втрат активної потужності;
 - 3.3. Спрощення систем внутрішньодобового управління потужністю за рахунок зростання втрат.

Вибір потужності КУ можна подати у вигляді три-етапної процедури, що вирішує послідовно три завдання. При цьому рішення кожної з них є необхідною, але не достатньою умовою роботи мережі в оптимальному режимі. Під останнім розуміємо дотримання мінімуму зведених витрат на спорудження та експлуатацію мережі за дотримання всіх технічних умов передачі потужності та електроенергії.

Основним показником якості електроенергії у споживача є допустиме відхилення напруги основної частоти прямої послідовності. Для цього потрібно мати, перш за все, досить високий рівень напруги у споживача, що забезпечується в якості необхідної умови високою напругою на генераторах електростанцій. У зв'язку з цим першим етапом КРП, є забезпечення системного балансу реактивної потужності в енергосистемі. Завдання системного балансу реактивної потужності в енергосистемі можна сформулювати і як завдання забезпечення допустимого рівня напруги на генераторах електростанцій, якщо це питання розглядати з позиції регулювання напруги.

Друге завдання КРП – забезпечення нижнього рівня напруги на шинах вторинної напруги районних підстанцій й або напруги на стороні вищої напруги. Дана нижня частина визначається діапазоном дії наявного у трансформатора РПН.

Найвідповідальніший момент у цій задачі гарантувати обґрунтованість капіталовкладень на КУ в умовах високої невизначеності перспективних реактивних навантажень.

1.3 Огляд проблем розрахунку компенсації реактивної потужності

Технічні проблеми:

- КРП у розподільних електричних мережах впливає на розв'язання задачі в інших частинах електричної мережі, потрібно врахувати вплив живильних електричних мереж при розрахунку КРП у розподільних електричних мережах, компенсацію потрібно проводити одночасно для споживачів та мереж енергосистеми. В [2] показано, що зменшення втрат енергопостачальних компаній залежить не лише від КУ, а і від реактивних навантажень споживачів, це дає змогу підвищити ефективність роботи КУ.

Підвищення ефективності можна досягнути використовуючи оперативні надлишки потужностей існуючих КУ одних вузлів для компенсації реактивної потужності інших, при заданій реактивній потужності враховувати, різну конфігурацію електричних мереж і взаємний вплив цих навантажень

- при розрахунку за методикою “Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами” є неточності [3]:

- Врахування техніко-економічних особливостей генерації є складною задачею, передача та споживання реактивної потужності в електричних мережах енергопостачальних компаній знижує об'єктивність результатів
- Розрахунок ускладнюється тим, що потребує значних витрат на спеціально розроблені програми та ускладнює перевірку результатів.

Виникає необхідність у розробці спрощеного методу розрахунку плати за реактивну потужність.

- КРП проводиться за двома критеріями [4]: максимального зниження втрат та забезпечення допустимих рівнів напруги. Розрахунок за даними критеріями

потребує складних математичних розрахунків, зокрема методів нелінійного програмування, результат яких складно перевірити на відповідність обом критеріям.

Нерегульовані КУ складаються з певної кількості конденсаторів сталої потужності, установлені в місцях зі сталим навантаженням, де непотрібне регулювання. Такі конденсаторні установки можуть встановлюватись в будь-якій точці. Що дозволяє розташовувати їх якнайближче до місць споживання реактивної енергії. Недоліком таких КУ є те, що вони не регулюються за величиною реактивної потужності їх можна використовувати для компенсації основної частини добового споживання.

Ступінчасто-регульовані конденсаторні установки, сконструйовані з певною кількістю конденсаторів, під'єднаних між собою за допомогою контакторів чи напівпровідникових пристроїв до загальної шини. Такі установки дозволяють ступінчасто регулювати реактивну потужність підтримуючи її у заданому діапазоні, на який налаштований блок керування. Недоліком є те, що регулювання є дискретним в наслідок цього неможливо точно регулювати значення реактивної потужності.

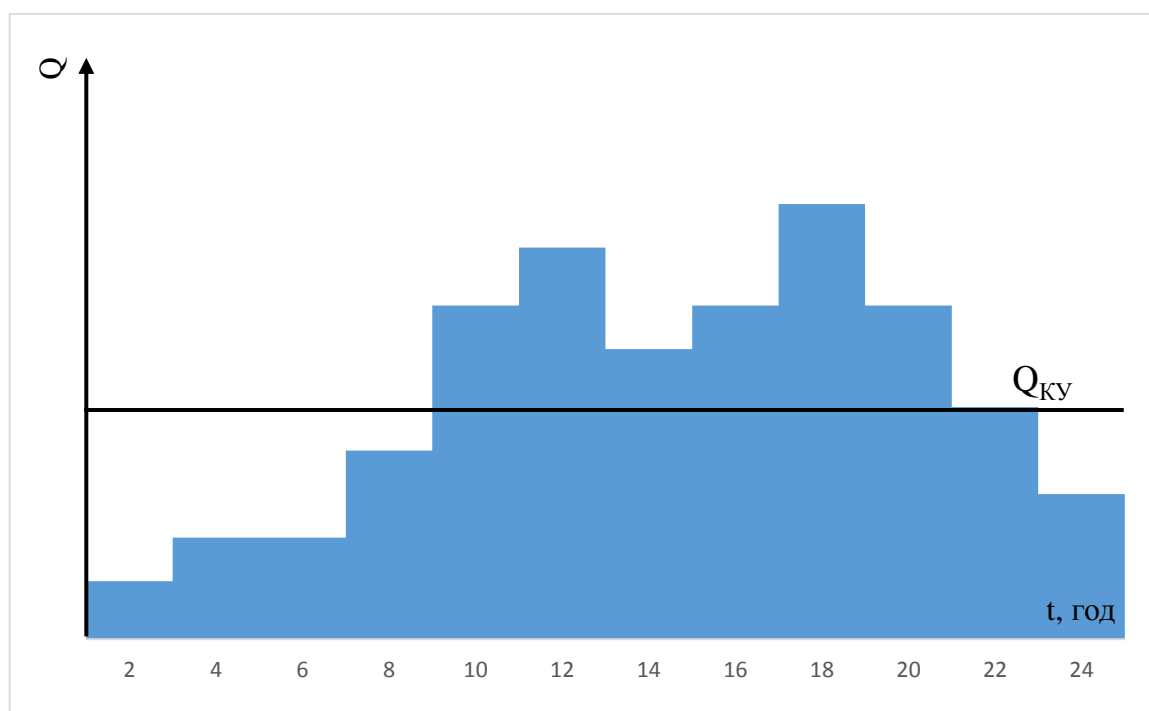


Рисунок 1.2 – Графік добового графіка споживання реактивної потужності

Економічні проблеми:

- інвестування в КУ доцільно визначати за абсолютною економічною ефективністю капітальних вкладень, або очікуваним прибутком генерації, такий підхід дозволяє керівникам підприємств порівнювати інвестування в КУ з інвестуванням в інші комерційні проекти

- в ринкових умовах не можливо встановити КУ у всі вузли одночасно, в наслідок дефіциту коштів, впровадження КУ повинно виконуватись послідовно для найефективнішого використання коштів.

Висновки по розділу:

Здійснивши аналіз літературних джерел, можна зробити висновки, що питання компенсація реактивної потужності є досить актуальним в Україні, так як значення реактивних потужностей не відповідає нормально допустимим, проаналізовано методики КРП та види пристроїв для компенсації реактивної потужності. Досліджено ефективність компенсуючих пристроїв, встановлення яких дозволяє зменшити втрати активної потужності та капітальні затрати при проектуванні ліній підстанцій і т.д. Виконано огляд проблем компенсації реактивної потужності (технічні та економічні), визначено критерії за якими виконується встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності (максимального зниження втрат та забезпечення допустимих рівнів напруги), порівняно нерегульовані КУ складаються з певної кількості конденсаторів сталої потужності та ступінчасто-регульовані конденсаторні установки. Отже компенсація питання досить неоднозначне тому потрібно створити методики які будуть спонукати споживачів до зменшення рівнів реактивної потужності.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОПЛАТИ ЗА ПЕРЕДАВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

2.1 Методика оплати за передавання реактивної електроенергії

Оплата за перетоки реактивної потужності раніше формулювалася у вигляді шкал або таблиць скидок і надбавок до тарифу на активну енергію чи тарифів на реактивну потужність і енергію. Основна їх мета – підвищення ступеня КРП і зниження втрат енергії та напруги. Як показав досвід, окрім стимулюючого фактору для споживачів, вимоги впливають також на розробку методів розрахунку КРП і засобів керування КУ.

Вимоги до компенсації реактивної потужності [2] (методів розрахунку і засобів керування компенсувальними установками, систем взаєморозрахунків за КРП) визначаються діючими нормативними документами: стосовно системного розрахунку КРП, проектування КРП в електричних мережах підприємств, ГОСТом на якість електроенергії, тарифами на активну та реактивну потужність, Законом України «Про енергозбереження». Введення в дію Закону «Про енергозбереження», розробка нової системи взаєморозрахунків за КРП і нових підходів до розрахунку КРП викликає необхідність їх уточнення та доповнення вимог щодо КРП в електричних мережах споживачів і енергосистем. Аналіз вищезгаданих нормативних документів дозволяє сформулювати такі вимоги до КРП:

1. Система взаєморозрахунків за КРП повинна відповідати вимогам і принципам закону України «Про енергозбереження», зокрема принципам комплексності та збалансованості фінансового заохочення і примушення до економії електроенергії, а також принципу рівних прав постачальників і споживачів.

2. Енергосистема, з метою досягнення оптимізації поточкорозподілу реактивної потужності в своїх мережах, повинна визначити взаємопов'язані

економічні значення вхідної реактивної потужності і енергії на вводах споживачів та вузлів своїх мереж для характерних режимів її активних навантажень. При необхідності вона може визначити технічні межі споживання і генерації реактивної потужності споживачами електроенергії для згаданих вище режимів електроспоживання.

3. Система взаєморозрахунків повинна в максимально можливих межах врахувати інтереси енергосистеми, споживачів і загально-державні інтереси шляхом:

- визначення оптимальних економічних значень вхідної реактивної потужності і енергії на вводах споживачів та вузлів енергосистеми на основі системного підходу;

- визначення оптимальних економічних значень вхідної реактивної потужності і енергії (для періодів максимальних навантажень енергосистеми) з позиції окремих споживачів;

- врахування в розрахунках можливого зниження потужності трансформаторів і ЛЕП, або віддаленості строків їх реконструкції;

- відшкодування споживачам затрат енергосистеми на виробництво і передавання реактивної потужності до споживачів

- відшкодування енергосистемою збитків споживача при відключенні ним компенсувальних установок та споживання реактивної потужності в період її мінімальних навантажень і генерації реактивної потужності в мережу енергосистеми в період її максимальних навантажень;

- запровадження скидок на оплату реактивної енергії з метою розподілу прибутку від реалізації зекономленої енергії при встановленні КУ в мережах споживачів;

- створення фонду для фінансування заходів енергозбереження

4. В цілому система взаєморозрахунків за реактивну потужність і енергію повинна служити ефективним стимулом впровадження оптимальної КРП і оптимального управління КУ.

5. Метод визначення оптимальних значень вхідної реактивної потужності повинен відрізнятися відносною простотою, враховувати конкретні особливості мереж і не поступатися за точністю відомим методам. Розрахунок КРП повинен відповідати критерію мінімуму приведених затрат і технічним обмеженням щодо рівнів напруги, струмових навантажень, величини потужності, що генерується КУ.

6. Технічні засоби управління компенсувальними установками повинні забезпечувати:

- вимоги енергосистеми до споживання реактивної потужності і енергії із її мережі;

- в період поза-пікового електроспоживання енергосистеми, а також в періоди максимуму енергосистеми максимальне використання діючих КУ для зниження втрат електроенергії;

- виконання технічних обмежень

Розробка нових систем взаєморозрахунків за КРП, методів розрахунку оптимальної КРП і технічних засобів управління КУ повинна виконуватися у відповідності вище викладеними вимогами.

Плата за передавання реактивної електроенергії промислових та непромислових споживачів відповідно до діючої “Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії...” [5, 6] залежить від їх електричної віддаленості. Врахування електричної віддаленості споживачів здійснюється за допомогою економічного еквівалента реактивної потужності (ЕЕРП) D_j , що характеризує частку впливу реактивного перетікання в точці обліку на техніко-економічні показники в розрахунковому режимі (кВт/квар) і розраховується окремо для кожного j -го споживача за формулою:

$$D_j = \frac{\Delta P_s^{(1)} - \Delta P_s^{(2)}}{\Delta Q_j} = \frac{\partial \Delta P_s}{\partial Q_j}. \quad (2.1)$$

де $\Delta P_s^{(1)}, \Delta P_s^{(2)}$ – сумарні втрати активної потужності в розрахунковій схемі для двох суміжних режимів, з реактивним навантаженням відповідно Q_j та $Q_j + \Delta Q_j$, кВт; Q_j – реактивне навантаження j -го споживача підсистеми; ΔQ_j – малий приріст реактивного навантаження j -го споживача підсистеми, квар.

Плата j -го промислового або непромислового споживача за спожиту реактивну електроенергію (за відсутності її генерування) визначається за формулою [5, 6]:

$$P_j = W_{Q_{\text{сп.}j}} \cdot D_j \cdot c_0 \cdot \left(1 + C_{\text{баз}} (\text{tg } \varphi_j - \text{tg } \varphi_{\text{гр}})^2\right). \quad (2.2)$$

де $W_{Q_{\text{сп.}j}}$ – фактичне споживання реактивної електроенергії; c_0 – прогнозована оптова ринкова ціна на закупівлю електроенергії з оптового ринку електроенергії (ОРЕ), доведена електропередавальним організаціям Постановою НКРЕ для визначення роздрібних тарифів на електричну енергію споживачам в розрахунковому періоді, грн./кВт·год.; $C_{\text{баз}}$ – нормативний коефіцієнт стимулювання капітальних вкладень у засоби КРП в електричних мережах споживача, прийнятий рівним 1,7; $\text{tg } \varphi_j$ – фактичне значення коефіцієнта реактивної потужності j -го споживача, що визначається відношенням фактичного споживання реактивної електроенергії $W_{Q_{\text{сп.}j}}$ до фактичного споживання активної електроенергії W_j ; $\text{tg } \varphi_{\text{гр}}$ – граничне значення коефіцієнта реактивної потужності.

Причому друга складова плати, що визначається доданком $(\text{tg } \varphi_j - \text{tg } \varphi_{\text{гр}})^2$, враховується якщо $\text{tg } \varphi_j \geq \text{tg } \varphi_{\text{гр}}$.

Застосування ЕЕРП вдвічі завищує плату відносно реальних втрат, і, крім того, характеризується складністю та непрозорістю розрахунків.

2.2 Оплата за реактивну електроенергію з використанням розподілення втрат потужності між споживачами

В [7] запропоновано при нарахуванні плати за спожиту реактивну електроенергію замінити значення ЕЕРП на коефіцієнт втрат d_j , який розраховують на основі пропорційного розподілення сумарних втрат активної потужності. У найпростішому випадку (за однакової електричної віддаленності споживачів) втрати активної потужності, що зумовлені реактивним навантаженням окремого споживача, визначають за формулою:

$$\Delta P_j = \Delta P_s \frac{Q_j}{Q_s},$$

де ΔP_j – втрати активної потужності, що відносять на баланс окремого споживача;

Q_j , Q_s – реактивна потужність окремого споживача та всіх споживачів.

Втрати активної потужності, що відносять на баланс окремого споживача, визначають за формулою:

$$\Delta P_j = \frac{Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n R_{ij} Q_i, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2.3)$$

де U – напруга мережі; Q_i – реактивна потужність навантаження усіх споживачів підсистеми $i = 1, \dots, n$, включаючи j -ий споживач; R_{ij} – елементи матриці вузлових активних опорів розрахункової схеми підсистеми.

З формули (2.1) можна визначити коефіцієнт розподілення втрат [8-10]:

$$d_j = \frac{1}{U^2} \sum_{i=1}^n R_{ij} Q_i = \mathbf{U}^{-2} \mathbf{R} \mathbf{Q}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.4)$$

де \mathbf{U} , \mathbf{Q} – вектори напруг і реактивних потужностей споживачів; \mathbf{R} – матриця вузлових активних опорів мережі.

Наведемо приклад розподілення втрат потужності між споживачами з урахуванням електричної віддаленості споживачів [8] в магістральній розподільній мережі (рис. 2.1) з номінальною напругою 10 кВ і значеннями активних опорів віток: $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3=1,2 \text{ Ом}$; $R_4=1,2 \text{ Ом}$; $R_5 = 1,5 \text{ Ом}$. Середні реактивні навантаження вузлів такі: $\bar{Q}_1 = 0,1 \text{ Мвар}$; $\bar{Q}_2 = 0,2 \text{ Мвар}$; $\bar{Q}_3 = 0,3 \text{ Мвар}$.

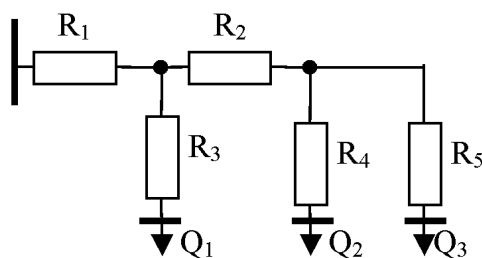


Рисунок 2.1 – Схема заміщення магістральної розподільної мережі

Матриці вузлових активних опорів та квадратів середніх реактивних навантажень в цьому випадку мають вигляд

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 3,2 & 2 & 2 \\ 2 & 4,2 & 3 \\ 2 & 3 & 4,5 \end{bmatrix} \text{ Ом}; \quad \bar{\mathbf{Q}}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 6 \\ 3 & 6 & 9 \end{bmatrix} \cdot 10^4 \text{ квар}^2.$$

Розрахункова матриця втрат потужності

$$\Delta \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 3,2 & 4 & 6 \\ 4 & 16,8 & 18 \\ 6 & 18 & 40,5 \end{bmatrix} \cdot 10^{-1} \text{ кВт}.$$

Розподілення втрат потужності між споживачами буде таким:

$$\Delta \mathbf{P}^T = [1,32 \quad 3,88 \quad 6,45]^T \text{ кВт},$$

що загалом складає 11,65 кВт.

Необхідно відмітити, що $\sum_{j=1}^n \Delta P_j = \Delta P_s$, а отже, застосування коефіцієнта

розподілення втрат d_j забезпечує можливість повного відшкодування втрат активної потужності від перетікання реактивної потужності для розрахункового режиму.

Водночас збільшення реактивного навантаження в підсистемі на 1 % викликає збільшення втрат активної потужності на 2 % і більше, що робить неможливим застосування коефіцієнта розподілення втрат для розрахунків за спожиту реактивну енергію.

Отже, одним із найбільш важливих питань є побудова такої системи тарифів, в якій повинні бути розділені складові, що відшкодовують витрати електропередавальних організацій в розрахунковому режимі та їх фактичне збільшення, і складові, які збільшують плату споживачів за неприйняття заходів щодо компенсації реактивної потужності у випадку її надмірного споживання.

2.3 Оплата за реактивну електроенергію з використанням кусочно-лінійної апроксимації втрат потужності

Втрати активної потужності, що зумовлені передаванням реактивної потужності j -споживачу, можна визначити з використанням кусочно-лінійної апроксимації для двох ділянок характеристики втрат, що розділені значенням реактивної потужності навантаження, прийнятим для розрахункового режиму [11-16]. У такому випадку втрати активної потужності, що відносяться на баланс окремого споживача, за пропорційного їх розподілення між споживачами, можна визначити за формулою:

$$\Delta P_j = \frac{Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{2\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n \Delta Q_i R_{ij}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.5)$$

де ΔQ_j – приріст реактивної потужності навантаження j -го споживача підсистеми; ΔQ_i – прирости реактивної потужності навантаження усіх споживачів підсистеми $i = 1, \dots, n$, включаючи j -ий споживач;

Розрахунок базового режиму для визначення плати за перетікання реактивної електроенергії можна виконати з використанням активних навантажень споживачів. Це можуть бути помісячні обсяги споживання електроенергії або середні значення активної потужності споживачів. Розрахункові значення реактивних потужностей та їх приростів для окремих споживачів можна визначити за формулами

$$Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi_{\text{Гр}}; \Delta Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi_i - P_i \operatorname{tg} \varphi_{\text{Гр}},$$

де $P_i, \operatorname{tg} \varphi_i$ – фактичні значення активної потужності та коефіцієнта реактивної потужності.

Для вибору розрахункового режиму можна використати граничне значення коефіцієнта реактивної потужності $\operatorname{tg} \varphi_{\text{Гр}}$, яке для мереж різних номінальних напруги може бути встановлено індивідуально, наприклад, для мереж 10 кВ це значення може бути прийнятим в діапазоні 0,1...0,15, а для мереж напругою 110 кВ – в діапазоні 0,3...0,4.

Приріст сумарних втрат потужності у разі збільшення відносно розрахункового режиму реактивного навантаження будь-якого споживача ΔQ_j має такий вигляд [15, 16]:

$$\delta P_j = \frac{2\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n Q_i R_{ij} + \frac{\Delta Q_j}{U^2} \sum_{i=1}^n \Delta Q_i R_{ij}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2.6)$$

де $\delta P_j = \Delta P_s^{(1)} - \Delta P_s^{(2)}$ – приріст сумарних втрат активної потужності в розрахунковій схемі для двох суміжних режимів, які відрізняються приростом

реактивної потужності j -го споживача.

Останній вираз можна переписати у такому вигляді:

$$\delta P_j = \Delta Q_j \left(2d_j + \sum_{i=1}^n k_i (\operatorname{tg} \varphi_i - \operatorname{tg} \varphi_{\text{ГР}}) \right), \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.7)$$

де k_i – коефіцієнт, який характеризує відношення взаємного вузлового опору

R_{ij} споживача до його опору навантаження $R_i = U^2 / P_i$ в розрахунковому режимі $k_i = R_{ij} / R_j = R_{ij} P_i / U^2$, тут P_i – активна потужність навантаження споживача, яка була прийнята для розрахункового режиму.

Втратам активної потужності (2.5) відповідає нарахування плати за перетікання реактивної електроенергії споживачів за формулою:

$$\Pi_j = \left[W'_{Q_{\text{сп.}j}} \cdot d_j + W''_{Q_{\text{сп.}j}} \cdot \left(2d_j + \sum_{i=1}^n k_i (\operatorname{tg} \varphi_i - \operatorname{tg} \varphi_{\text{ГР}}) \right) \right] \cdot c_0, \quad (2.8)$$

де $W'_{Q_{\text{сп.}j}}, W''_{Q_{\text{сп.}j}}$ – споживання реактивної електроенергії відповідно в розрахунковому режимі і внаслідок приросту реактивного навантаження відносно розрахункового режиму.

У зв'язку зі складністю врахування останньої складової в [15] запропоновано нарахування плати здійснювати за спрощеною формулою

$$\Pi_j = [W'_{Q_{\text{сп.}j}} \cdot d_j + W''_{Q_{\text{сп.}j}} \cdot C_{\text{баз}} \cdot (2d_j + k_j \cdot (\operatorname{tg} \varphi_j - \operatorname{tg} \varphi_{\text{ГР}}))] \cdot c_0, \quad (2.9)$$

де k_j – коефіцієнт, який характеризує відношення власного вузлового опору

R_{jj} споживача до його опору навантаження $R_j = U^2 / P_j$ в розрахунковому

режимі $k_j = R_{jj} / R_j = R_{jj} P_j / U^2$, тут P_j – активна потужність навантаження споживача, яка була прийнята для розрахункового режиму.

Введення коефіцієнта $C_{\text{баз}}$ дозволяє компенсувати додаткові втрати, які кумулятивно зростають у разі перевищення граничного значення коефіцієнта реактивної потужності не одним, а декількома (усіма) споживачами. В мережах 10 кВ з малим значенням $\text{tg} \varphi_{\text{гр}}$ таке спрощення може призвести до істотних помилок розрахунків.

Більш точно коефіцієнт розподілення втрат k_j , що зумовлені приростами реактивної потужності відносно базового значення, можна визначити аналогічно d_j з формули (2.2) відносно приростів реактивної потужності:

$$k_j = \frac{1}{U^2} \sum_{i=1}^n R_{ij} \Delta Q_i = U^{-2} \mathbf{R} \Delta \mathbf{Q}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2.10)$$

де $\Delta \mathbf{Q}$ – вектор приростів реактивних потужностей споживачів відносно базового режиму.

Розглянемо заступну R -схему мережі напругою 10 кВ (рис. 2.2) з такими параметрами:
 $P_1 = P_2 = P_3 = 1,0 \text{ МВт}$, $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0,15 \text{ Мвар}$,
 $\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q_3 = 0,3 \text{ Мвар}$, $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$.

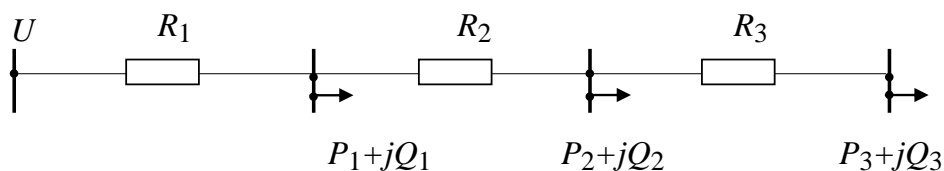


Рисунок 2.2 – Заступна R -схема мережі

Порівняння плати за спрощеною і уточненою методиками визначення k_j для трьох споживачів вказує на доцільність уточнення, оскільки помилка визначення плати зменшується до 2,5 %. Залежності плати за спрощеною (штрихові лінії) і

уточненою (суцільні лінії) методикою визначення k_j для трьох споживачів наведені на рис. 2.3.

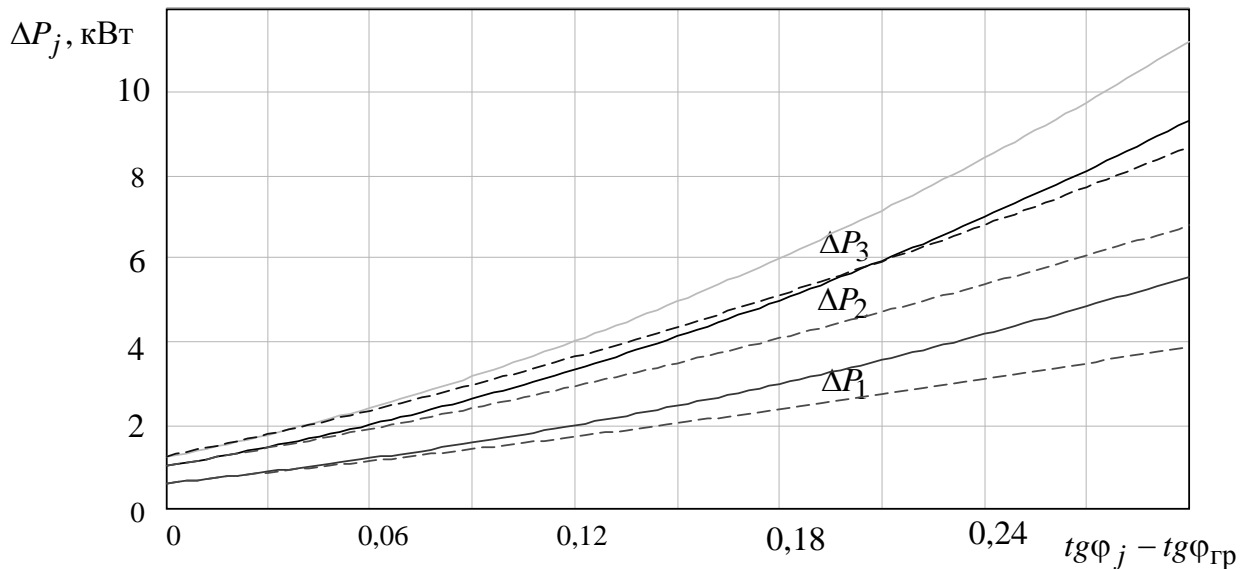


Рисунок 2.3 – Залежності плати

Застосування формули (2.7) істотно покращує точність розрахунків плати за перетікання реактивної електроенергії, робить їх відповідними реальним втратам і прозорими.

Висновки по розділу: Оплата за перетоки реактивної потужності в Україні здійснюється за “Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії...” яка використовує ЕЕРП, що вдвічі завищує плату відносно реальних втрат та не відповідає реальним втратам від передачі реактивної енергії, запропоновано методику оплати з використанням кусочно-лінійної апроксимації.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

3.1 Розрахунок оплати за передавання реактивної потужності на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока»

Промислові мережі працюють у розімкнутому режимі, що, з одного боку, дозволяє суттєво знизити струми короткого замикання та застосовувати тому дешеву комутаційну апаратуру, з іншого спрощувати релейний захист. Ці мережі зазвичай виконуються відносно короткими, але мають різноманітну структуру: пучки радіальних ліній, що живлять групи територіально концентрованих цехових трансформаторів; магістральні лінії; двоступінчасті радіальні схеми. І при ручному рахунку, і при використанні ЕОМ раціонально таку вихідну мережу еквівалентувати радіальними лініями. Можливість перетворення вихідної мережі, що живить деякий енергорайон (наприклад, цех або кілька підстанцій від однієї магістральної лінії), в одну лінію, еквівалентну і втрат потужності, і за результатами вирішення балансового або економічного завдання КРП. На рис. 3.1 зображено Лінію ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока. В табл. 3.1 наведено характеристики лінії ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока.

Для розрахунку потужності та місць встановлення конденсаторних установок використано мережу 10 кВ яка знаходиться в Вінницькій області, село Сорока.

Розрахунок здійснено і порівняно три методи оплати за передавання реактивної потужності. Згідно діючої методики оплати, ціна за передачу реактивної потужності розраховується згідно формули:

$$П1 = 2 \cdot \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{\text{сп}})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0, \quad (3.1)$$

де $T = 720 \text{ год}$ – час використання реактивної енергії;

d – коефіцієнт розподілення втрат який розраховується за формулою:

$$d = \frac{Z \cdot Q}{U^2}, \quad (3.2)$$

Оплата за передачу реактивної потужності згідно методики Б.С. Рогальського та О. М. Нанаки розраховується за формулою:

$$П2 = P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{баз} (tg - tg_{zp})^2 \right] \cdot T \cdot c_0, \quad (3.3)$$

Третій метод оплати, запропонований Л.М. Мельничук, з використанням кусочно-лінійної апроксимації розраховується згідно розрахункового режиму при $tg = 0.25$ за формулою:

$$П3 = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{zp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0, \quad (3.4)$$

Дослідження виконано за допомогою програмного комплексу MATCAD, проведено розрахунок втрат потужності при передачі реактивної для мережі 10 кВ,

Таблиця 3.1 Характеристики лінії

ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ 10 кВ	
КОД	490335302921114949001056291214391
ДИСПЕЧЕРСЬКЕ НАЙМЕНУВАННЯ ЛІНІЇ	ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока
ТИП ЛІНІЇ	Повітряна лінія
РІВЕНЬ НАПРУГИ, кВ	10
ПРОТЯЖНІСТЬ ЛІНІЇ	31.564

Вінницька Область, Іллінецький Район
Лінія ID214216 "ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока"

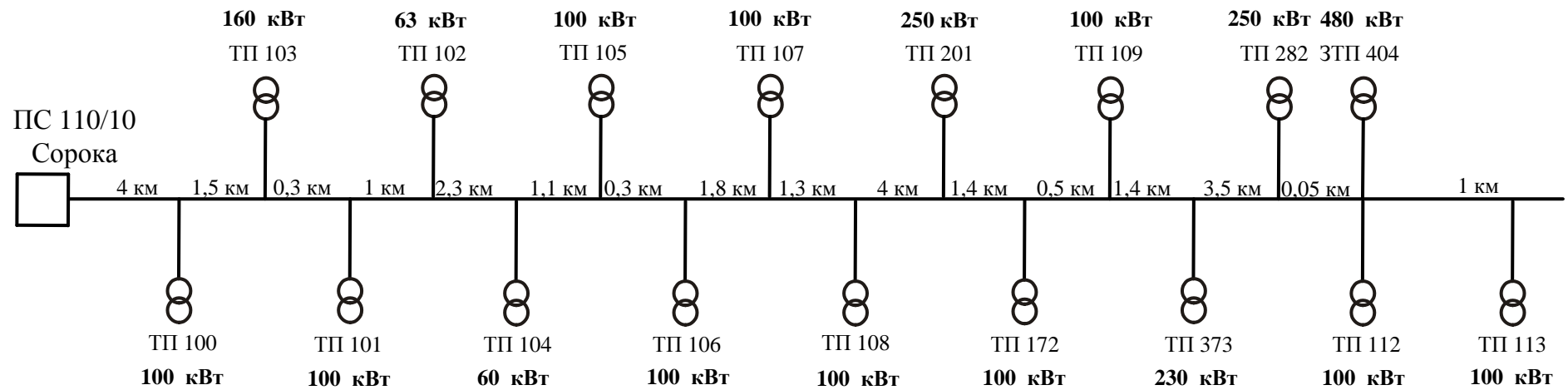


Рисунок 3.1 – Лінія ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока

Таблиця 3.2 Параметри лінії

1	ТП 100	S1=100 кВА	L1=4 км
2	ТП 103	S2=160 кВА	L2=1.5 км
3	ТП 101	S3=100 кВА	L3=0.3 км
4	ТП 102	S4=63 кВА	L4=1 км
5	ТП 104	S5=60 кВА	L5=2.3 км
6	ТП 105	S6=100 кВА	L6=1.1 км
7	ТП 106	S7=100 кВА	L7=0.3 км
8	ТП 107	S8=100 кВА	L8=1.8 км
9	ТП 108	S9=100 кВА	L9=1.3 км
10	ТП 201	S10=250 кВА	L10=4 км
11	ТП 172	S11=100 кВА	L11=1.4 км
12	ТП 109	S12=100 кВА	L12=0.5 км
13	ТП 373	S13=230 кВА	L13=1.4 км
14	ТП 282	S14=250 кВА	L14=3.5 км
15	ЗТП 404	S15=480 кВА	L15=0.05 км
16	ТП 112	S16=100 кВА	L16=0.5 км
17	ТП 113	S17=100 кВА	L17=1 км

Опори мережі розраховуються за формулою;

$$Z_v = 0.63 \cdot L, \quad (3.5)$$

де 0,63 відношення питомого опору до площі перерізу повітряної лінії.

Розрахунок вузлових провідностей буде виконуватись за формулою:

$$Y = M \cdot Z_v^{-1} \cdot M^T, \quad (3.6)$$

де M - матриця з'єднань згідно заданої мережі.

Звідси маємо значення вузлових опорів:

$$Z = Y^{-1}. \quad (3.7)$$

Значення опорів, вузлових провідностей та вузлових опорів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок опорів, вузлових провідностей та вузлових опорів

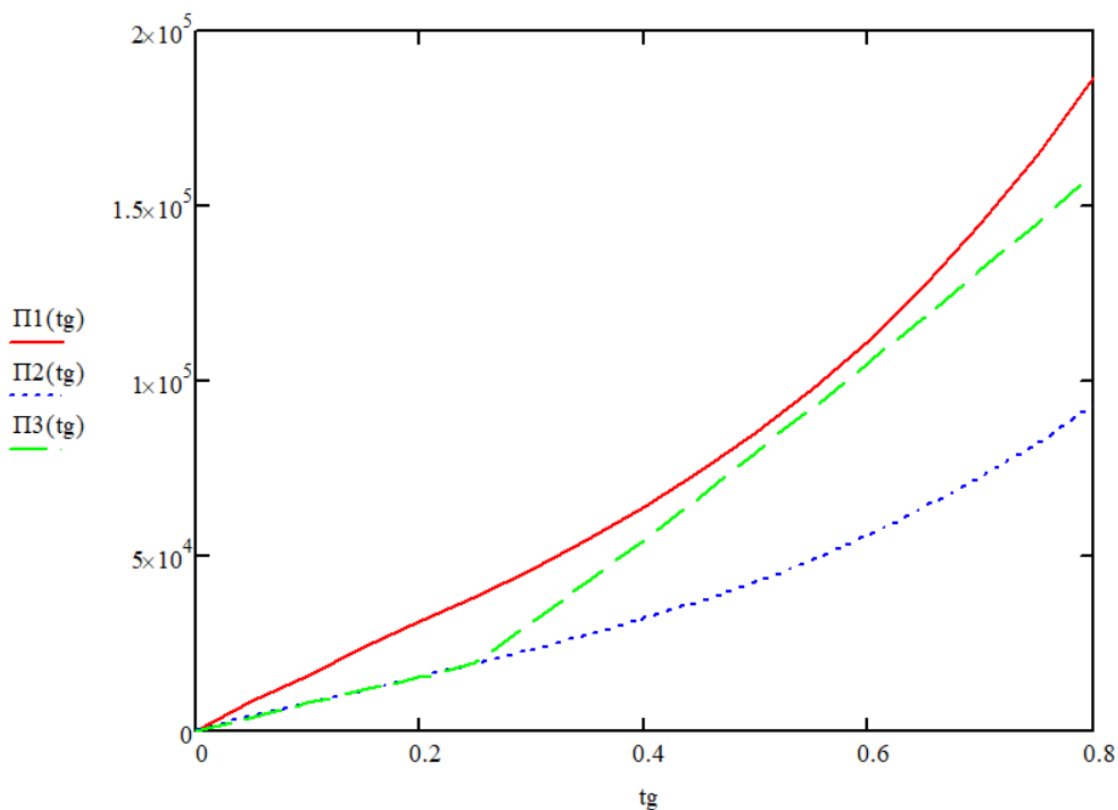
	$Z_v, \text{ Ом}$	$Y, \text{ см}$	$Z, \text{ Ом}$
1	2.520	1.455	2.520
2	0.945	6.349	3.465
3	0.189	6.878	3.654
4	0.630	2.277	4.284
5	1.449	2.133	5.733
6	0.693	6.734	6.426
7	0.189	6.173	6.615
8	1.134	2.103	7.749
9	0.819	1.618	8.568
10	2.520	1.531	11.088
11	0.882	4.308	11.970
12	0.315	4.308	12.285
13	0.882	1.587	13.167
14	2.205	32.200	15.372
15	0.032	34.921	15.403
16	0.315	4.762	15.718
17	0.630	1.587	16.348

В табл. 3.4 наведено ціну за передачу реактивної потужності по трьох методиках при допустимому $tg = 0.25$ та його перевищенні $tg = 0.6$. За результатом розрахунків наведено графік залежності оплати від tg для трьох методів рис.3.2.

Таблиця 3.4 Розрахунок ціна за передачу реактивної потужності

	$tg = 0.25$			$tg = 0.6$		
	1 метод	2 метод	3 метод	1 метод	2 метод	3 метод
1	461.56	230.78	230.78	1338.44	669.22	1218.20
2	1004.33	502.16	502.16	2912.34	1456.17	2675.11
3	658.71	329.36	329.36	1910.13	955.06	1738.96
4	477.19	238.59	238.59	1383.74	691.87	1252.93
5	586.68	293.34	293.34	1701.26	850.63	1540.24
6	1080.14	540.07	540.07	3132.2	1566.1	2854.64
7	1106.66	553.33	553.33	3209.1	1604.55	2924.95
8	1257.46	628.73	628.73	3646.39	1823.19	3325.20
9	1360.36	680.18	680.18	3944.76	1972.38	3598.61
10	4146.09	2073.04	2073.04	12022.83	6011.41	11278.79
11	1746.56	873.28	873.28	5064.69	2532.34	4627.25
12	1775.72	887.86	887.86	5149.24	2574.62	4705.33
13	4257.05	2128.53	2128.53	12344.6	6172.3	11569.84
14	5003.88	2501.94	2501.94	14510.25	7255.12	13701.83
15	9615	4807.5	4807.5	27881.58	13940.79	27554.26
16	2007.75	1003.88	1003.88	5822.08	2911.04	5333.33
17	2012.38	1006.19	1006.19	5835.51	2917.75	5349.90
Всього	38557.53	19278.77	19278.77	111809.14	55904.57	105249.37

На рисунку 3.3 показано графік оплати за реактивну потужність для всіх споживачів в залежності від дотримання нормативного значення кута навантаження та за його перевищення.

Рисунок 3.2 – Графік залежності оплати від tg

На рисунку 3.2 показано графік оплати за реактивну потужність для першого, крайнього та вузла з максимальним реактивним навантаженням:

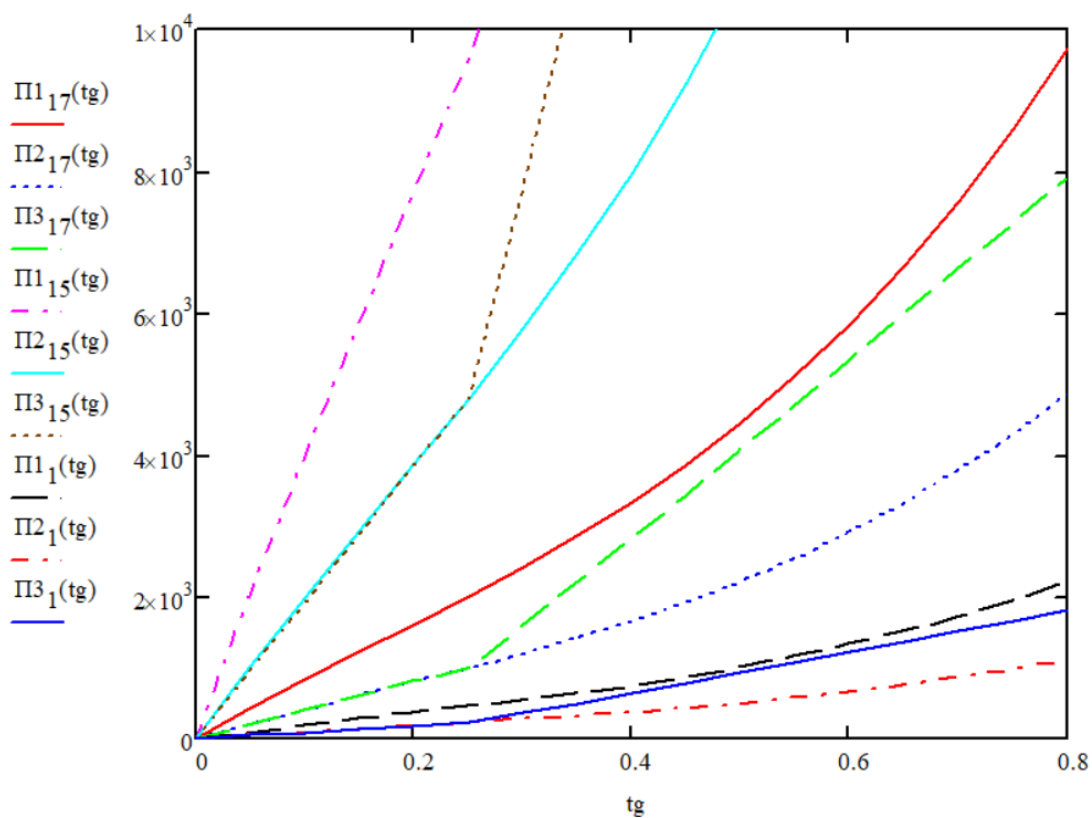


Рисунок 3.3 – Графік залежності оплати 1-го, 15-го, 17-го вузла

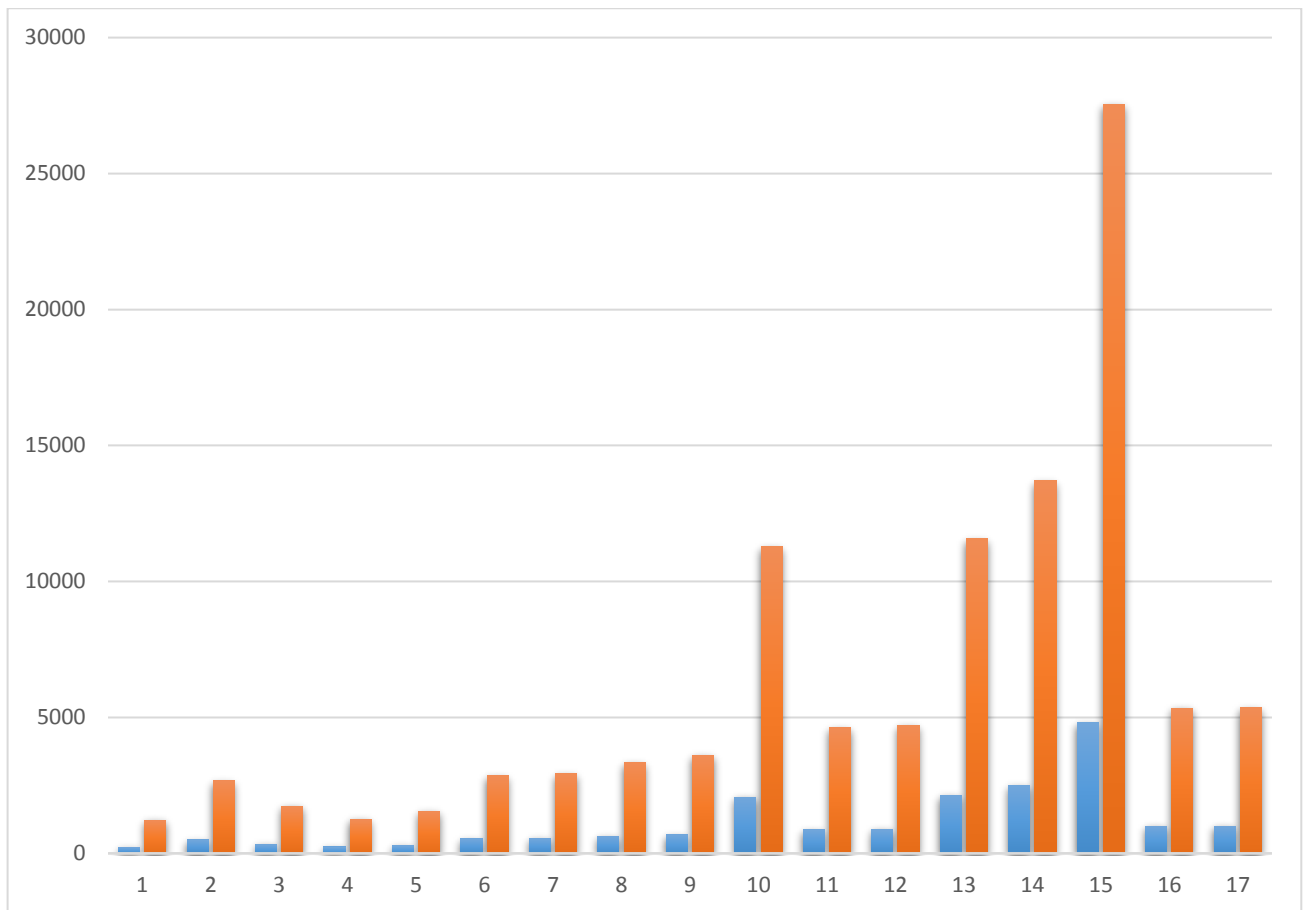


Рисунок 3.4 – Графік залежності оплати від значення кута навантаження

3.2 Розрахунок місць встановлення компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока»

Розрахунок місця встановлення пристроїв компенсації виконується згідно з третьою методикою оплати, при перевищенні допустимого значення $tg = 0.25$. для вузла з максимальною ефективністю встановлення КРП.

Порівняємо ефективність встановлення компенсаторів при $tg = 0.4$ вузлом з найбільшим реактивним навантаженням та у найвіддаленішому вузлі. Прийmemo ціну за компенсацію реактивної потужності рівною 1000грн/квар. На рисунку 3.3 показано графік оплати за реактивну потужність по третій методиці для 15-го та 17-го споживача.

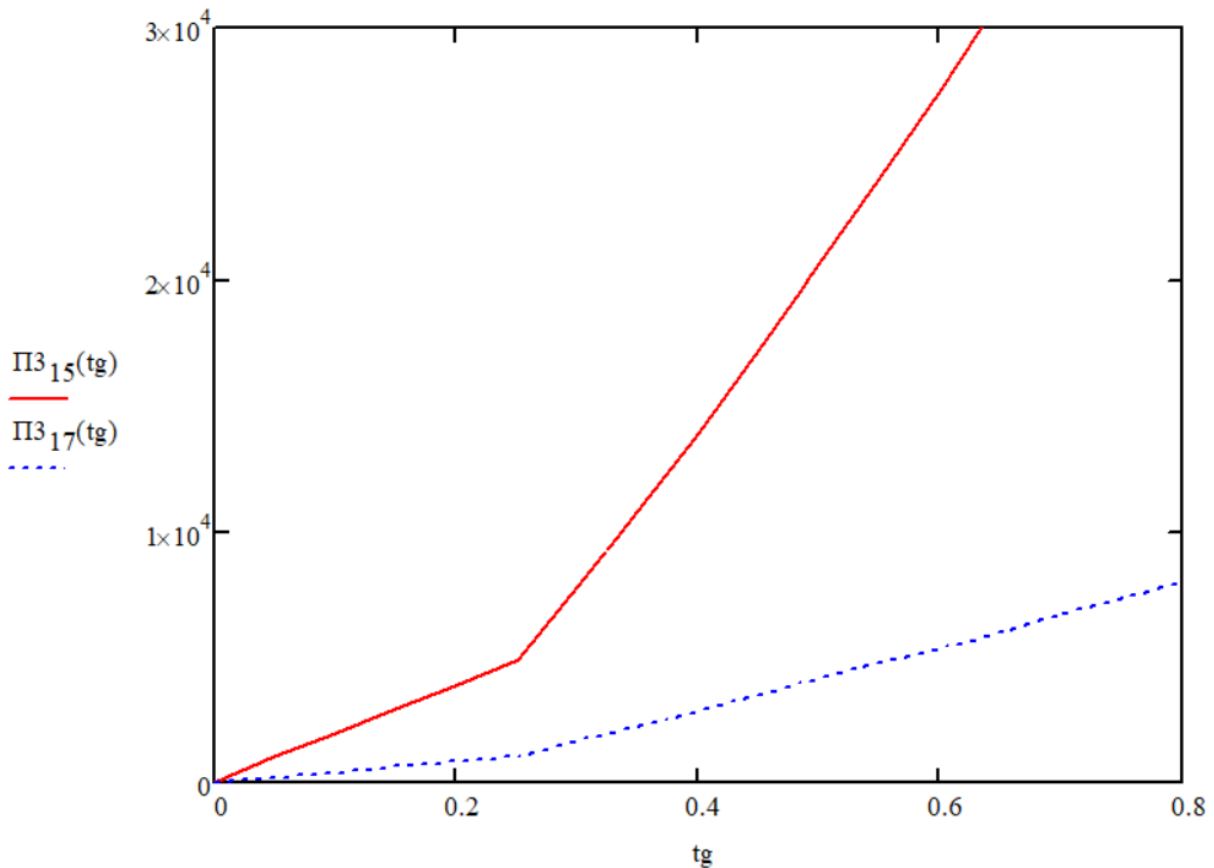


Рисунок 3.5 – Графік залежності оплати 15-го, 17-го вузла, згідно третьої методики

Згідно методики оплати з використання кусочно-лінійної апроксимації загальна сума оплати при реактивній потужності при $tg = 0,25$ дорівнює 19278,77(грн). При перевищенні нормативного значення коефіцієнта потужності до 0,4 вузлом 15 та 17 загальна плата збільшиться:

$$\Pi n_{15} = \left[\frac{P_{15} \cdot tg \cdot d_{15} + (P_{15} \cdot tg - Q_{15})}{2d_{15} + P_{15} \cdot Q_{15} (tg - tg_{sp})^2 \cdot U^{-2}} \right] \cdot T \cdot c_0 = 13930,34; \quad (3.9)$$

$$\Pi n_{17} = \left[\frac{P_{17} \cdot tg \cdot d_{17} + (P_{17} \cdot tg - Q_{17})}{2d_{17} + P_{17} \cdot Q_{17} (tg - tg_{sp})^2 \cdot U^{-2}} \right] \cdot T \cdot c_0 = 2838,9; \quad (3.10)$$

Тоді оплата за споживання реактивної потужності при перевищенні нормативного тангенса кута навантаження 15 та 17 вузлом буде рівна:

$$\begin{aligned}
 Pn &= \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{cp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot \\
 &\cdot T \cdot c_0 - P_{15} - P_{17} + Pn_{15} + Pn_{17} = 30234,37.
 \end{aligned} \quad (3.11)$$

де $P_{15} = 4807,5$; $P_{17} = 1006,2$ – плата при допустимо значенні tg для 15,17 вузлів відповідно.

Для порівняння компенсування реактивної потужності буде виконуватись на 10 квар. кожного з даних вузлів. При компенсації значення кута навантаження 15 вузла зменшиться на 0,05, звідси $tg_{15} = 0,36$; в 17 вузлі значення кута навантаження зменшиться на 0,2 тоді $tg_{17} = 0,2$, що не перевищує нормативне значення кута реактивної потужності.

В такому разі значення оплати перераховується згідно формули (3.8) та (3.9), відповідно:

$$Pk_{15} = 11302,1$$

$$Pk_{17} = 404,879$$

Розрахунок оплати після компенсації реактивної потужності здійснюється за формулою (3.10) підставивши значення Pk_{15} , Pk_{17} отримаємо значення оплати при компенсації в п'ятнадцятому та сімнадцятому вузлах та порівняємо їх:

$$\begin{aligned}
 Pkn_{15} &= \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{cp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot \\
 &\cdot T \cdot c_0 - P_{15} - P_{17} + Pn_{17} + Pk_{15} = 27606,1;
 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$Pkn_{17} = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{cp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0 - \Pi_{15} - \Pi_{17} + \Pi_{n_{15}} + \Pi_{k_{17}} = 27800.3; \quad (3.13)$$

Порівнявши дані значення отримаємо:

$$Pkn_{17} > Pkn_{15}. \quad (3.13)$$

Звідси можна зробити висновок, що встановлення пристроїв КРП для компенсації $tg = 0.4$ більш ефективно у 15 вузлі, навіть при недосягненні гранично допустимого кута навантаження, за перевищення якого нараховується додаткова оплата.

3.3 Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока»

Згідно розрахунку представленого в підрозділі 3.2 розрахунок компенсуючої потужності виконується для вузла з найбільшим реактивним навантаженням (15). КРП здійснюється з метою досягнути номінального значення кута навантаження $tg_H = 0.1 \dots 0.15$

Вхідна реактивна потужність при перевищенні нормативного значення $tg=0.4$ рівна:

$$Q_{15} = P_{15} \cdot tg = 240 \cdot 0,4 = 96(\text{квар}); \quad (3.14)$$

Реактивна потужність для досягнення номінального тангенса розраховується:

$$Q_{H15} = P_{15} \cdot tg_H = 240 \cdot 0,1 \dots 0,15 = 24 \dots 36(\text{квар}); \quad (3.15)$$

Тоді потужність конденсаторної установки яка забезпечить номінальне значення реактивної потужності рівна:

$$Q_k = Q_{15} - Q_{15H} = 60...72(\text{квар}) \quad (3.16)$$

За розрахунками доцільно використовувати установку УК-Е-04-70кВАр/4/5 [17], характеристики якої наведені в таблиці 3.5



Рисунок 3.6 – Конденсаторна установка УК-Е-04-70кВАр/4/5

Таблиця 3.5 характеристики конденсаторної установки

Потужність КУ, квар.	70
Потужність 1 ступені регулювання, квар.	5
Кількість ступенів регулювання	4
Ступінь захисту	IP 20
Температура середовища	від -20°C до +55°C
Пусковий струм	100xI _{н.макс}

При використанні даної установки значення tg буде рівним:

$$tg = \frac{Q_{15} - Q_{\kappa}}{P_{15}} = \frac{26}{240} = 0,108. \quad (3.17)$$

Отриманий tg виконує всі умови поставлені перед КРП. Результат компенсації наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 характеристики конденсаторної установки

P, кВт	До компенсації			Після компенсації		
	Q, квар	tgφ	cosφ	Q', квар	tg`φ	cos`φ
240	96	0,4	0,928	26	0,108	0,994

3.4 Розрахунок терміну окупності компенсуючих пристроїв на прикладі ліній «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока»

Термін окупності – це мінімальний період який потрібен для того, щоб сума надходжень від реалізації проекту відшкодувала суму витрат на його впровадження

Розрахунок терміну окупності вибраної установки проводиться за трьома методиками згідно даних розрахованих в підрозділах 3.2, 3.3. Вартість установки згідно якої наведена в [17], та складає 38 374 грн. На рисунку 3.4 зображено значення оплати за реактивну потужність 15-им вузлом для трьох методик оплати.

Оплата 15 вузла при перевищенні $tg=0,4$ складає:

$$П1e_{15} = 2 \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{\text{зп}})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 15972,44; \quad (3.18)$$

$$П2e_{15} = \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{\text{зп}})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 7986,22; \quad (3.19)$$

$$\Pi_{3e_{15}} = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{sp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 13930,335. \quad (3.20)$$

Оплата 15 вузла при компенсації реактивної потужності до значення $tg=0,108$ складає:

$$\Pi_{1_{KPII15}} = 2 \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{sp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 4296,06; \quad (3.21)$$

$$\Pi_{2_{KPII15}} = \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{sp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 2148,03; \quad (3.22)$$

$$\Pi_{3_{KPII15}} = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{sp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 2148,03. \quad (3.23)$$

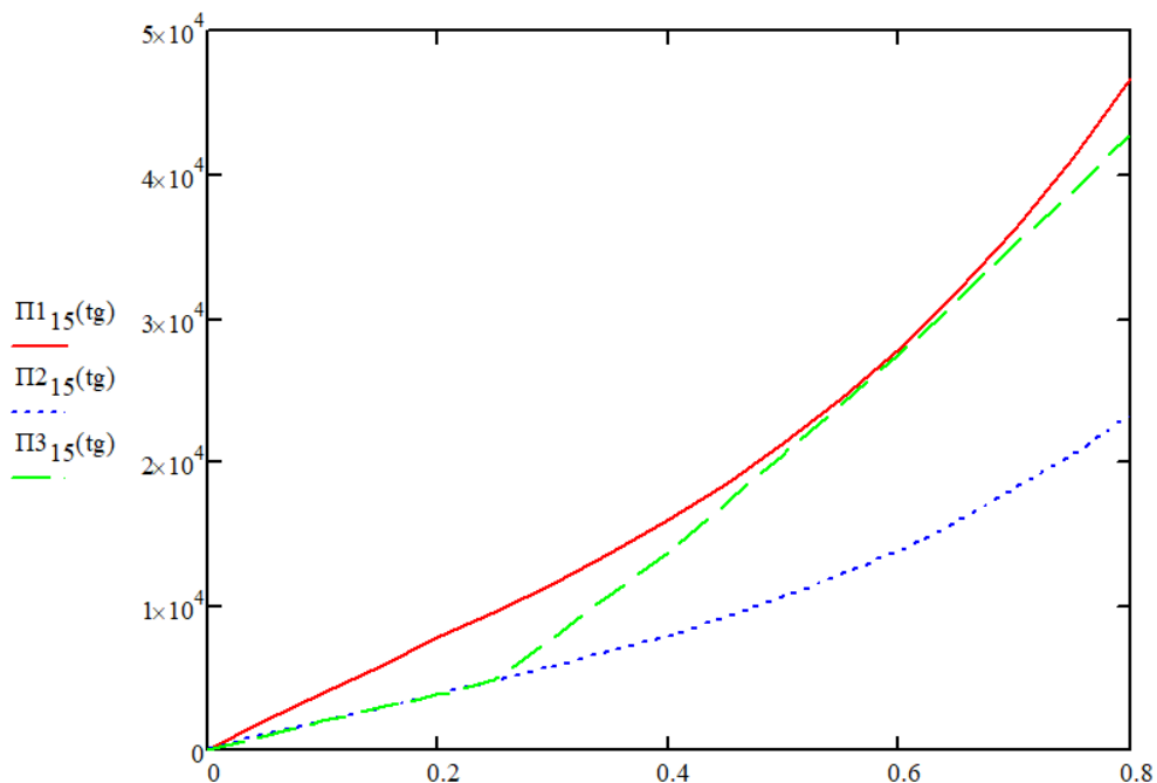


Рисунок 3.7 – Оплата за реактивну потужність 15-им вузлом

Отже, при компенсації даною установкою отримаємо такі значення зменшення оплати за розрахунковий період $T=720\text{год.}$:

$$П1_3 = П1_{e_{15}} - П1_{КРП15} = 15972,44 - 4296,06 = 11676,38; \quad (3.24)$$

$$П2_3 = П2_{e_{15}} - П2_{КРП15} = 7986,22 - 2148,3 = 5838,14; \quad (3.25)$$

$$П3_3 = П3_{e_{15}} - П3_{КРП15} = 13930,335 - 2148,03 = 11782,305. \quad (3.26)$$

Тоді період за який дана установка окупиться складає:

$$T1 = \frac{Ц_{КУ}}{П1_3} = \frac{38374}{11676,38} \approx 3,28(\text{міс.}); \quad (3.27)$$

$$T2 = \frac{Ц_{КУ}}{П2_3} = \frac{38374}{5838,14} \approx 7,4(\text{міс.}); \quad (3.28)$$

$$T3 = \frac{Ц_{КУ}}{П3_3} = \frac{38374}{11782,305} \approx 3,26(\text{міс.}). \quad (3.29)$$

Такий термін окупності при використанні кожного з методів влаштовує задачі поставлені перед КРП. При розрахунку методу з використанням кусочно лінійної апроксимації отримано найменший термін окупності, що сприяє покращенню значень реактивної потужності, так як це буде спонукати споживачів до компенсації реактивної потужності.

3.5 Аналіз можливості застосування СТАТКОМ

На рис. 3.8 зображено схему СТАТКОМ на базі трифазного мостового інвертора напруги [19, 20].

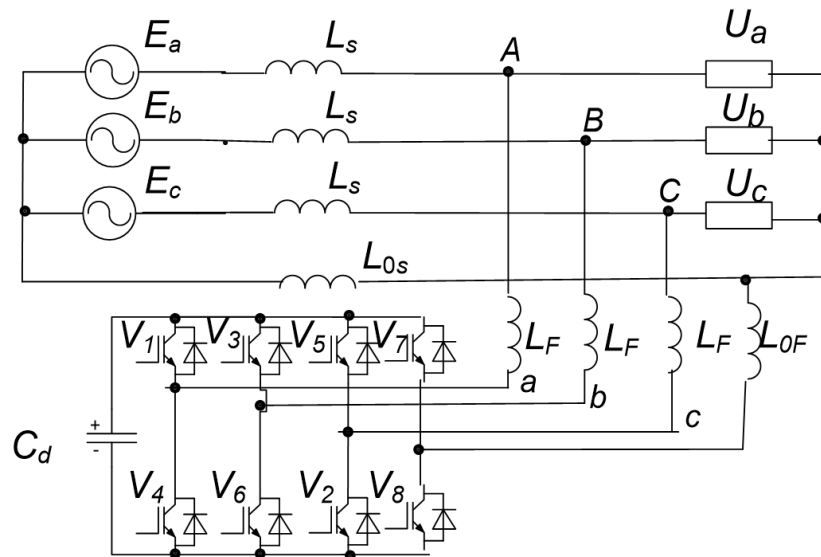


Рисунок 3.8 – Схема СТАТКОМ на базі мостового інвертора напруги

За допомогою matlab, mathcad створимо модель СТАТКОМ, а також проведемо компенсування реактивної потужності, яка генерується приладами, що мають в своєму складі випрямляч з потужним ємнісним фільтром (комп'ютери, ноутбуки, і т.д.)

Результат дослідження:

Моделювання СТАТКОМ виконано в Matlab Simulink та Mathcad.

а) Моделювання в Matlab Simulink

За результатом моделювання отримано структурну схему блоку для обчислення фазних струмів, а також блоку вимірювання рис 3.9 [21].

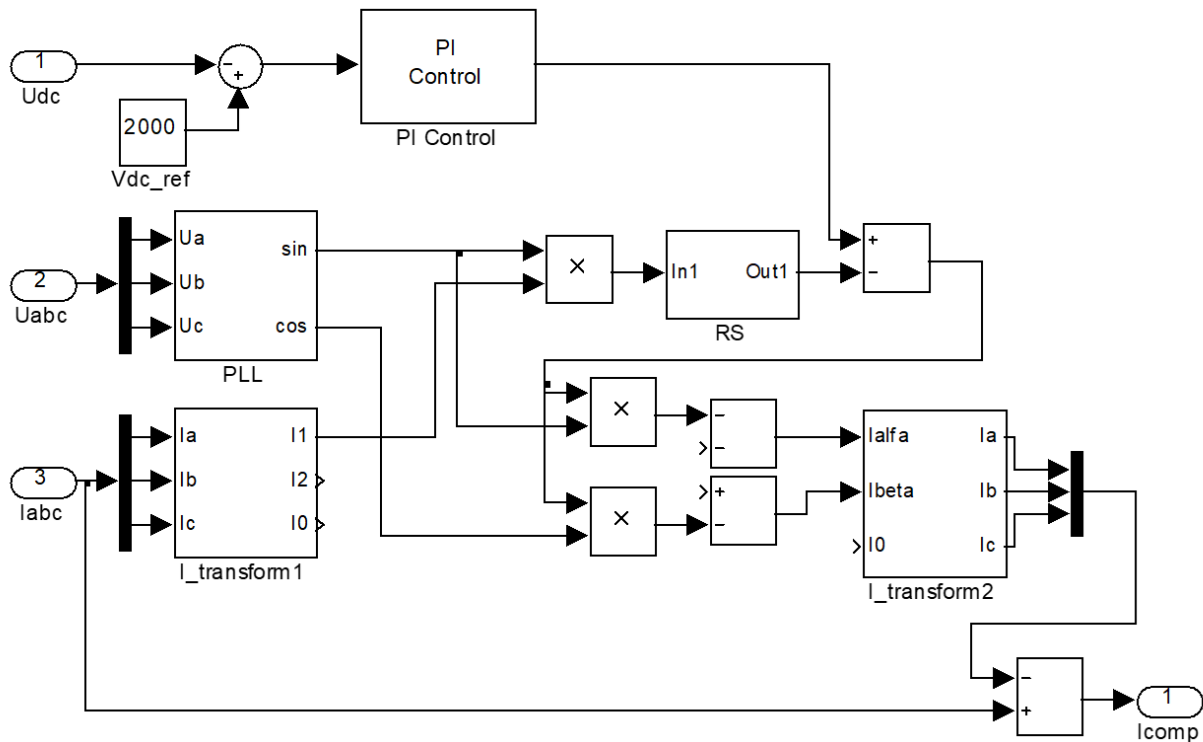


Рисунок 3.9 – Модель схему блоку вимірювання та обчислення фазних струмів СТАТКОМ

На схемі позначено: PLL – блок фазочастотного автоналагоджувача частоти; RS – блок визначення середнього значення; PI – пропорційно-інтегровальний регулятор; перетворювачі координат « $a,b,c/1,2,0$ », « $d,q/\alpha\beta$ », « $\alpha\beta0/a,b,c$ »; ШІМ-контролер

Результати моделювання наведено в таблиці.

Таблиця 3.7 – Значення фізичних величин за несиметричного несинусоїдного навантаження

Значення фізичних величин величин для несиметричного режиму	Фаза A	Фаза B	Фаза C
Діючі значення струмів навантаження (I_L , A)	$83,64 e^{-j34,7}$	$41,16 e^{j216,7}$	$41,16 e^{j97,7}$
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів навантаження (THD_I , %)	5,78	12,8	11,75
Діючі значення струмів мережі (I_S , A)	$47,34 e^{-j0,2}$	$47,25 e^{j239,6}$	$47,17 e^{j119,6}$
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів мережі (THD_I , %)	0,41	0,41	0,37

Як видно з таблиці, якість компенсації вищих гармонік за допомогою СТАТКОМ і ефективність симетрування при використанні модифікованого методу синхронного детектування достатньо високі.

б) Моделювання в Mathcad

За результатом моделювання отримано результат, який наведено на графіках залежності струму від часу при зміні параметрів налаштувань СТАТКОМ, а саме кута регулювання. В першому випадку кут дорівнює -3 , в другому 5 .

$$1) \gamma = -3.0 \text{deg} \quad I_A \text{ max} = 55.665(\text{A}) \quad I_B \text{ max} = 22.072(\text{A}) \quad I_C \text{ max} = 66.444(\text{A})$$

$$I_N \text{ max} = 2.887(\text{A});$$

$$2) \gamma = 5.0 \text{deg} \quad I_A \text{ max} = 49.241(\text{A}) \quad I_B \text{ max} = 38.338(\text{A}) \quad I_C \text{ max} = 69.831(\text{A})$$

$$I_N \text{ max} = 2.402(\text{A}).$$

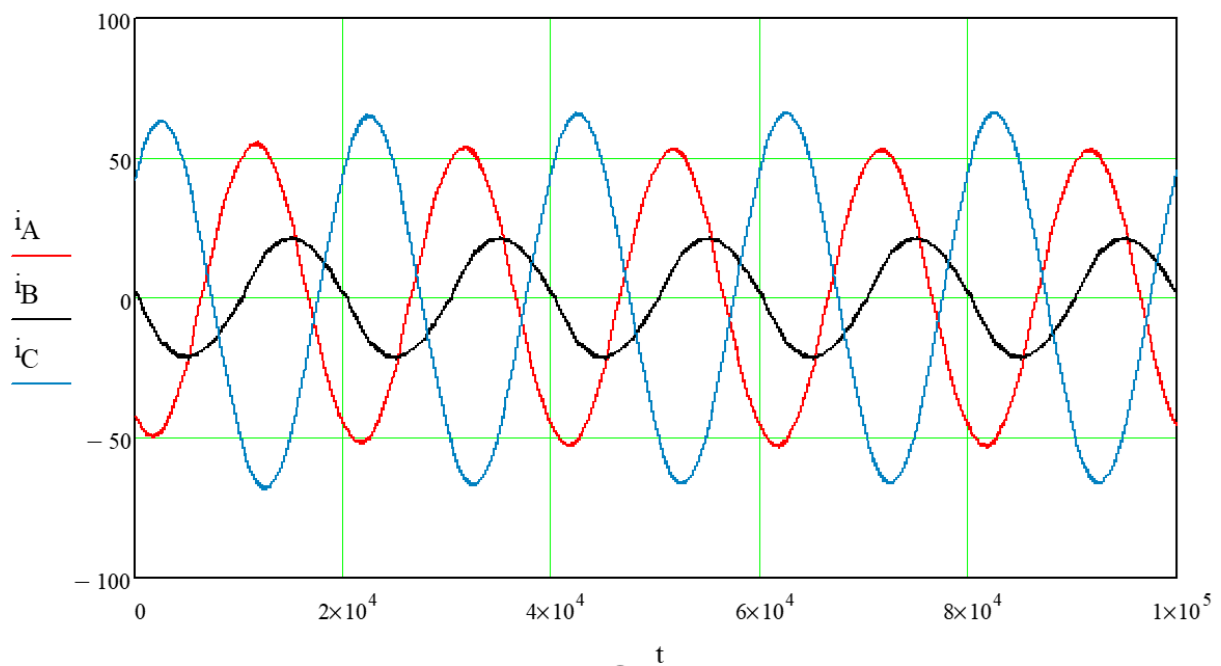


Рисунок 3.10 – Залежність фазних струмів від часу, при куті регулювання -3 ел. Граду

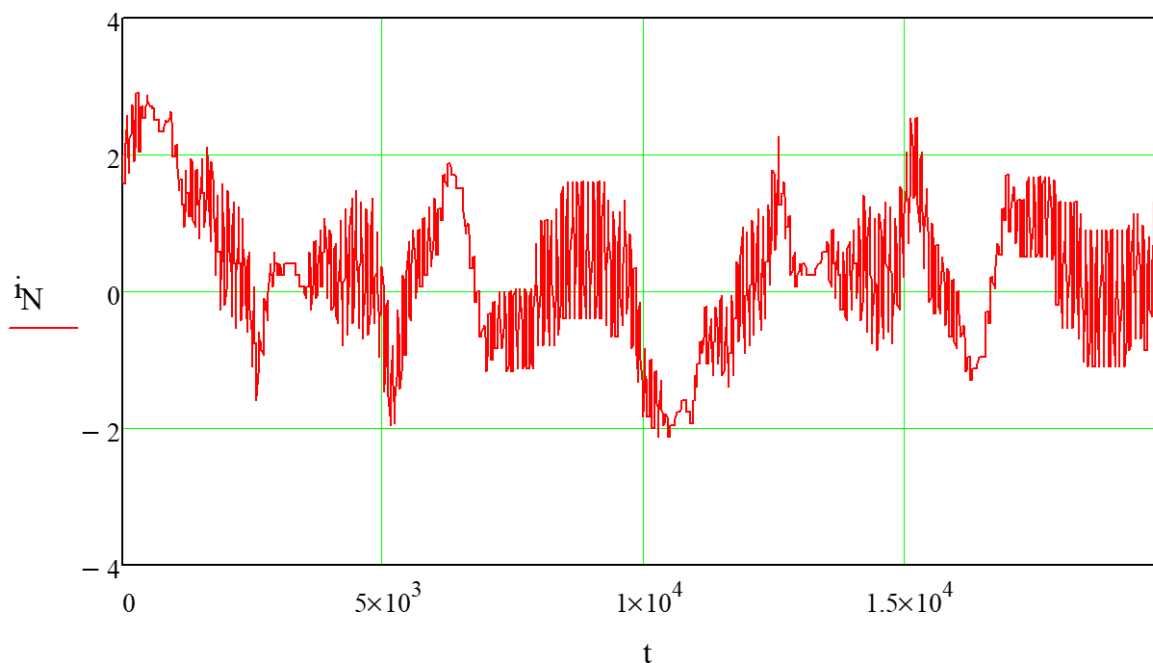


Рисунок 3.11 – Залежність струму нейтралі від часу, при куті регулювання -3 ел. градуси

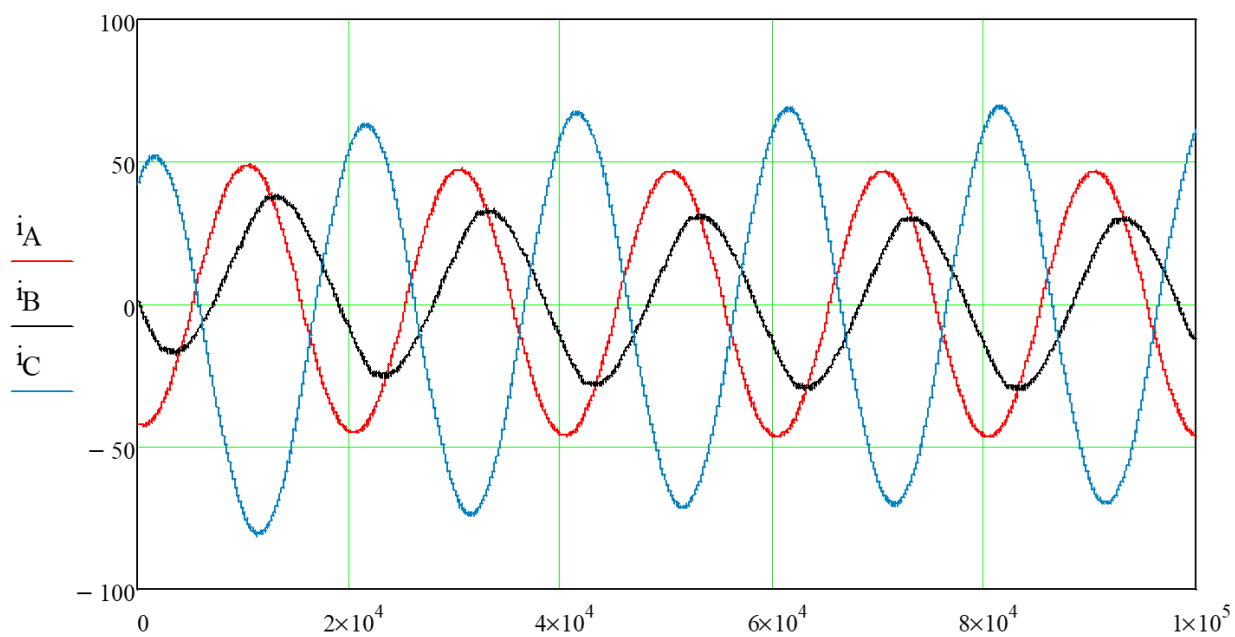


Рисунок 3.12 – Залежність фазних струмів при куті регулювання 5 ел. градуси

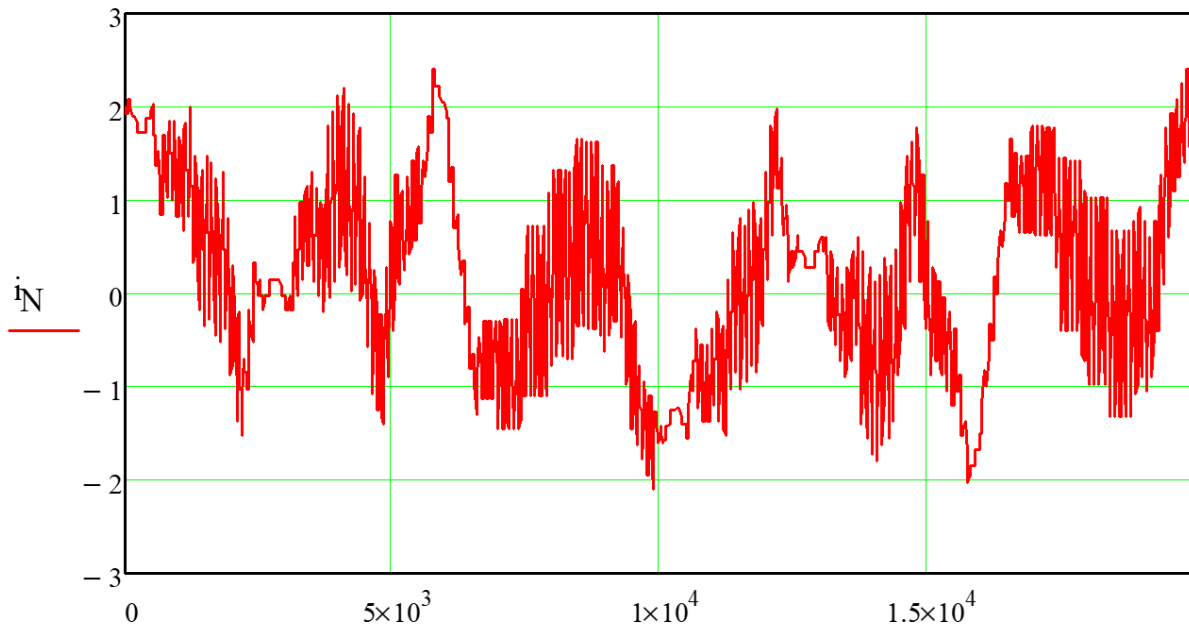


Рисунок 3.13 – Залежність струму нейтралі при куті регулювання 5 ел. градуси

Як видно з графіків струм фази А і В зменшився, а також струм нульового провідника знизився. Це означає, що даний метод симетрування є успішним, так як чим менший струм нейтралі тим менший рівень гармонік і менші втрати.

Використання СТАТКОМ для компенсації реактивної потужності [21] є ефективним так як має можливість повної компенсації реактивної потужності, але у зв'язку великою вартістю даного обладнання у порівнянні з батареями конденсаторів, доцільно використовувати СТАТКОМ, якщо якість енергії спотворюється не тільки реактивною складовою, а й іншими факторами такими як наявність несиметричного навантаження [22] та перевищенні рівнів гармонік.

Висновки по розділу: в даному розділі здійснено моделювання мережі з використанням MATCAD, виконано розрахунок оплати за передавання реактивної потужності згідно представлених методик та порівняно їх, здійснено розрахунок місць встановлення компенсуючих пристроїв, та здійснено вибір компенсуючої установки, порівняно термін окупності даної установки при використанні різних методик. Досліджено доцільність використання СТАТКОМ для компенсації реактивної енергії.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1 Вступ

Даний розділ присвячений реалізації першого етапу стартап-проекту [23], а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розробленню маркетингової стратегії. У розділі виконується оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій магістра.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатності щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині роботи.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

4.2 Опис ідеї

Діюча методика оплата за перетікання реактивної енергії в електричній мережі електропередавальних організацій до промислових та непромислових споживачів, створена на основі техніко-економічних витрат, через виникнення додаткових втрат при передачі активної електроенергії. Згідно цієї методики оплата здійснюється при використанні економічного еквівалента реактивної потужності, використання в даній системі оплати ЕЕРП не демонструє фактичних втрат активної електроенергії, в наслідок цього розрахунок оплати за передавання реактивної потужності є неточним [18].

Головним завданням визначення плати є точне компенсування витрат електропередавальних організацій і точне визначення прибутку компанії за надані послуги з передавання реактивної енергії [15].

Дослідження в технічній частині роботи ефективності використання методики оплати з використанням кусочно-лінійної апроксимації може слугувати інструментом для визначення місць розміщення компенсуючих пристроїв з втрат електричної енергії.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувачів
Впровадження системи оплати з використанням кусочно-лінійної апроксимації у в мережі 0,4-10 кВ.	Оператори системи передачі електроенергії, оператори системи розподілу електроенергії	Отримання більш точної вартості електроенергії
	Споживачі електроенергії	Інструмент для більш точного розрахунку вибору місць встановлення компенсуючих пристроїв

Реактивна потужність, створена індуктивними споживачами циркулює по електричній мережі і призводить до збільшення втрат активної енергії та не являється товарним продуктом. РП впливає на економічні показники електроенергетичної системи, тому питання з уточнення системи оплати передачі реактивної потужності залишається відкритим.

4.3 Технологічний аудит ідеї проекту

Основні задачі розділу:

- Вибір електроенергетичного об'єкту, для якого актуальне покращення характеристик мережі в результаті встановлення пристроїв з використанням

кусочно-лінійної апроксимації.

- Аналіз характерного режиму: загальні характеристики конфігурація мережі розрахунок плати за передавання реактивної енергії та інші.
- Визначення економічно доцільних місць встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в розподільчій мережі, та зниження плати за перетікання реактивної енергії в наслідок її компенсації.
- Оцінка економічної ефективності рішень, запропонованих рішень.

Для розрахунку режимів роботи було обрано лінію «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока» дослідження якої здійснено в науково технічному розділі. Визначено місце встановлення компенсуючих пристроїв та їх потужності.

У випадку зацікавленості оператора у зниженні втрат даної мережі реалізацію проекту можна представити у трьох наступних позиціях [7]:

1. Узгодження місця встановлення БСК з диспетчером та технологічними службами, оператором з розподілення електроенергії. Визначення конструктивних можливостей ТП, зручності обслуговування персоналом або оперативно-виїзними бригадами. Дорозрахунок, дооптимізація і нова оцінка ефективності.
2. Залучення до роботи відповідної ліцензованої проектною організацією, яка забезпечує розробку офіційної проектно-технічної документації та інші. Необхідна взаємодія з організацією.
3. Залучення промислових споживачів, які платять за перетоки реактивної енергії, що знаходяться у сфері дії БСК, у яких плата РЕ буде зменшена у зв'язку зі зміною $tg\varphi$ до участі у фінансуванні проекту. Необхідна оцінка рівня зниження плати і відповідне економічне обґрунтування.

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати протягом ринкового впровадження проекту, ринкових загроз, що можуть перешкодити

реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту з урахування стану ринкового середовища і потреб потенційних клієнтів.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	0
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1
3	Динаміка ринку	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Мінімальний рівень первинних інвестицій
5	Специфічні умови до стандартизації та сертифікації	ДСТУ 1255-93
6	Середня норма рентабельності галузі	90%

Важливим аспектом вдалого залучення продукту на ринок є аналіз потенційних груп клієнтів, їх вимоги до товару, так як орієнтуючись на них клієнт здобуде свою клієнтську базу

Таблиця 4.3 – Характеристика потенційних клієнтів.

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Стимулювання до компенсації реактивної потужності	Енергопостачальні компанії, споживачі електроенергії	Конфігурація КРП під конкретний об'єкт	Адаптивність, надійність, простота, ефективність, відносна дешевизна

Таблиця 4.4 – Фактор загрози

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Складне економічне становище в країні	Зменшення попиту у зв'язку з необхідними витратами	Зниження попиту
Необізнаність	Малий рівень компетенції у питаннях компенсації реактивної потужності	

Таблиця 4.5 – Фактор можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Підтримка	Подальше обслуговування після реалізації	Зростання зацікавленості
Зростання попиту на енергозбереження	Заощадження грошових коштів при споживанні електроенергії	

Крайнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT (аналіз сильних та слабких сторін, загроз та можливостей).

Таблиця 4.6 – SWOT- аналіз

Сильні сторони: індивідуальний підхід до енергосистем, швидкість і відносна простота розрахунків, мала ймовірність здійснення помилки.	Слабкі сторони: відсутні
Можливості: зниження втрат електроенергії, зниження плати за передачу реактивної енергії, впровадження нових технологій у сфері енергетики	Загрози: сповільнення розширення ринку електроенергії, невелика кількість клієнтів, конкуренція

Потенційними клієнтами можуть стати енергопостачальні компанії з споживачами низької напруги в тариф яких не входить оплата за реактивну електроенергію, та споживачі в тариф яких входить оплата за реактивну електроенергію з ціллю зменшення втрат при компенсації.

4.5 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту

Таблиця 4.7 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільових груп потенційних клієнтів	Готовність споживачів до прийняття продукту	Орієнтований попит в межах цільових груп	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Електропередавальні організації	Часткова готовність	Високий	Помірна	Складно
Проектні організації	Повна готовність	Високий	Помірна	Складно
Обслуговуючі компанії	Повна готовність	Високий	Помірна	Помірно
Підприємства	Часткова готовність	Високий	Помірна	Просто
Державні органи влади	Низька готовність	Низький	Висока	Складно

Виходячи з даного аналізу було прийнято стратегію з збільшення своєї частки ринку, мета якої полягає у подальшому підвищенні прибутковості компанії за рахунок зменшення витрат на виробництво в результаті чого збільшується обсяг виробництва

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проекту

Першим кроком під час формування маркетингової програми є створення маркетингової концепції товару.

Таблиця 4.8 – Визначення переваг концепції потенційного товару.

Потреба	Вигода яку пропонує товар	Ключові переваги
Методи вибору місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності втрат електричної енергії	Відносна дешевизна, точність, зменшення втрат енергії	Точність розрахунків, місць встановлення КРП

Розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів

Таблиця 4.9 – Концепції маркетингових комунікацій.

Специфікація поведінки нових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Пошук збільшення точності оплати за реактивну енергію	Інтернет ресурси, реклама	Ціна функціональність	Введення технологій на ринок контролю якості, надання інформації про товар	Якість, простота, залучення до технічного процесу

На даному ринку клієнти порівнюють переваги та рентабельність які можуть надати їм товари, оскільки кількість фірм які пропонують дану послугу досить велика, то особлива увага приділяється новинкам, що з'являються на зміну існуючим продуктам. Спираючись на це існує підґрунтя для комерціалізації даного проекту.

Висновки по розділу: В даному розділі проведено аналіз стартап проекту, було продемонстровано технічну сторону питання та доцільність проекту, аналіз ринкових можливостей показав, представлена методика орієнтована на широку аудиторію ринку енергетики і є вигідною для всіх груп споживачів.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Магістерська робота присвячена вибору місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності втрат електричної енергії.

Згідно ГОСТ 12.003-74, на інженерів-програмістів, які розробляють програмне забезпечення системи автоматичного обліку електроенергії за допомогою персональних комп'ютерів, впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Вимоги до організації робочого місця оператора комп'ютера

Організація робочого місця оператора повинна відповідати ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032 "ССБТ.

Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа, виділена для одного робочого місця повинна складати не менше 6 кв. м, а об'єм – не менше 20 куб м.

Робочі місця з відео-терміналами відносно світлових прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

При розміщенні робочих місць з комп'ютерами необхідно дотримуватись таких вимог:

- робочі місця з комп'ютерами розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями відео-терміналів має бути не меншою за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного відео-терміналу та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями відео-терміналів та відстані між тильною поверхнею одного відео-терміналу та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з комп'ютерами в суміжних приміщеннях, з урахуванням конструктивних особливостей стін та перегородок.

Організація робочого місця користувача ЕОМ повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 "ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования", з урахуванням характеру та особливостей трудової діяльності.

Конструкція робочого місця користувача відеотерміналу (при роботі сидячи) має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70-90 град. до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 град, відносно

горизонтальної площини, нахил голови – 15-20 град, відносно вертикальної площини.

Якщо користування комп'ютерами є основним видом діяльності, то вказане обладнання розміщується на основному робочому столі, як правило, з лівого боку. Якщо користування комп'ютерами є періодичним, то устаткування, як правило, розміщується на приставному столі, переважно з лівого боку від основного робочою столу. Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів має бути 90-140 град. Якщо використання комп'ютерів є періодичним, то дозволяється обладнувати в приміщенні, що відповідає вимогам даних Правил, окремі робочі місця колективного користування з комп'ютерами.

Висота робочої поверхні столу для відеотерміналу має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість, виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Робочий стіл для відео-терміналу повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм. Робочий стіл для відео-терміналу, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 град.

Застосування підставки для ніг тими, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози, є обов'язковим. Робоче сидіння (сидіння, стілець, крісло) оператора комп'ютера повинно мати такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. У конструкцію сидіння можуть бути введені додаткові елементи, що не є обов'язковими: підголовник та підставка для ніг. Робоче сидіння оператора комп'ютера повинно бути підйомно-поворотним, таким, що регулюється за висотою, кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників.

Регулювання кожного параметра має бути незалежним, плавним або ступінчастим, мати надійну фіксацію. Хід ступінчатого регулювання елементів сидіння має становити для лінійних розмірів 15-20 мм; для кутових – 2-5 град. Зусилля під час регулювання не повинні перевищувати 20 Н. Ширина та глибина сидіння повинні бути не меншими за 400 мм. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15 град, вперед до 5 град, назад. Поверхня сидіння має бути плоскою, передній край – заокругленим. Висота спинки сидіння має становити 300 мм, ширина – не менше 380 мм, радіус кривизни в горизонтальній площині – 400 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах 0-30 град, відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватись у межах 260-400 мм.

5.1.2 Вимоги електробезпеки до системи автоматизованого обліку електроенергії

Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати.

За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (рахуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: затискачі вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після

повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки.

Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмопровідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами.

Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

Під час перевірки кіл вимірювання, сигналізації, керування і захисту за необхідності в приміщенні електроустановок напругою понад 1000 В дозволяється залишатися одному члену бригади за умовами роботи (наприклад, регулювання вимикачів, перевірка ізоляції); працівник, який перебуває окремо від керівника робіт, повинен мати групу III.

Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

За необхідності проведення будь-яких робіт в колах чи на апаратурі РЗАіТ за умови ввімкненого основного обладнання слід вжити додаткових заходів щодо запобігання його випадковому відключенню.

Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

Перемикання, вмикання і вимикання вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, пускання і зупинення агрегатів, регулювання режиму їх роботи, необхідні під час налагодження або перевірки пристроїв РЗАіТ, провадять тільки оперативні працівники.

Записувати покази електрولیчильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ, дозволяється:

- одноособово працівникам з групою II за наявності місцевих оперативних працівників (з чергуванням двох осіб) і з групою III - без місцевих оперативних працівників;

- працівникам інших організацій з групою III у супроводі місцевого оперативного працівника.

В електроустановках до 1000 В споживачів, які не мають електротехнічних працівників, оформлення робіт нарядом (розпорядженням), підготовку робочих місць і допуск до робіт з електролічильниками, за показами яких здійснюються розрахунки за спожиту електроенергію, можуть виконувати працівники електропостачальної організації.

Встановлення і зняття електролічильників та інших вимірювальних приладів, підключених до вимірювальних трансформаторів, повинні провадити за нарядом зі зняттям напруги два працівники, один з яких повинен мати групу IV, а другий – групу III.

За наявності в колах електролічильників контактів (блоків), що дозволяють працювати без розмикання кіл, підключених до вторинних обмоток трансформатора струму, ці роботи можна виконувати за розпорядженням, не знімаючи напруги зі схеми електролічильника.

За відсутності вказаних контактів напругу і струм в колах електролічильника слід відключити.

Приєднання вимірювальних приладів, встановлення і зняття електролічильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних блоків або спеціальних затискачів, що дають змогу безпечно закорочувати кола струму, виконуються без зняття навантаження і напруги.

Встановлення і зняття електролічильників безпосереднього ввімкнення допускається провадити за розпорядженням одному працівнику з групою III.

Встановлення і зняття електролічильників, а також приєднання вимірювальних приладів виконуються зі зняттям напруги.

Роботи з електролічильниками на різних приєднаннях, розміщених в одному приміщенні, можна виконувати за одним нарядом (розпорядженням). Оформлення в наряді переходу з одного робочого місця на інше не вимагається.

В разі розміщення однофазних електролічильників безпосереднього ввімкнення в приміщеннях без підвищеної небезпеки відносно ураження людей електричним струмом, роботи з електролічильниками можуть виконуватися одноособово – без зняття напруги, але з відключенням навантаження.

Комп'ютери та устаткування для обслуговування, ремонту та їх налагодження, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, тощо) електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання

нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерів та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127В та 220В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізолюваними провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота інженерів-програмістів відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні оператора установки

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

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

Провітрювання приміщень;

Цілісність конструкції кабіни та вікон для перешкодження попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки;

Встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке попадає у приміщення через світлові пройми в зовнішніх огорожуючих конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (ϵ). КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

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

Штучне освітлення.

Штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

Нормовані значення виробничого освітлення наведені в таблиці 5.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

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

5.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (5.1).$$

де L - рівень шуму, дБ;

P - звуковий тиск, Па;

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

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі з середньгеометричною частотою 10^3 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

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

Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

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

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

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

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

Фізичні навантаження.

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

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

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

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

По горизонталі: до 4

По вертикалі: до 2

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

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

Сенсорні навантаження:

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

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

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відео-терміналів (годин на зміну) до 2

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

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

Емоційне навантаження:

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

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

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

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

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

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни)

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

Х.3 Безпека в НС

5.3. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи СЕП в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації

Техногенні, антропогенні та природні надзвичайні явища останнім часом набули глобального характеру. За даними ООН зростання кількості населення збільшує масштаби наслідків стихійних лих у зв'язку з тим, що все більше людей вимушені жити в небезпечних місцях, які знаходяться в районах затоплення, зсувів, землетрусів.

Деякі надзвичайні ситуації за масштабами поширюються майже на всі сфери життя, негативно впливають на соціально-психологічний стан і економіку нашої країни. У певних регіонах України з високою густотою населення розташовані об'єкти з підвищеною небезпекою, а це різко посилює небезпеку можливих стихійних лих, аварій і катастроф техногенного походження. Внаслідок надзвичайних ситуацій гинуть люди, завдаються матеріальні збитки населенню і державі.

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

В елементах схем РЕА можуть початися відновлювані (невідновлювані) 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. Серйозні пошкодження викликає електромагнітний імпульс в роботі цифрових і контрольних приладів.

Електромагнітний імпульс може поширюватися на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях (мережах електро- і водопостачання, провідникового зв'язку тощо), здійснюючи вплив на об'єкти там, де ударна хвиля, світлове випромінювання і проникаюча радіація втрачають своє значення як уражаючі фактори.

Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від дії інших уражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура може вийти з ладу, знаходячись в надійно захищених спорудах. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях, іонізацію діелектриків, спотворює або повністю стирає магнітний запис, лишає пам'яті ЕОМ. 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 обкладками і выводами.

5.3.1. Дослідження безпеки роботи СЕП в умовах 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 дози опромінення елементної бази ($P_{зв}$, Р/год) або граничне значення рівня ($P_{зв}$, Р/год), при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але система буде працювати з потрібною якістю. Отримані значення занесемо до таблиці 5.5

Таблиця 5.5 - Граничні рівні радіації для елементів СЕП

№	Блоки СЕП	Елементи СЕП	$P_{\text{гр1}}, P/\text{год}$	$P_{\text{гр}}, P/\text{год}$
1	Блок живлення	Мікросхема 78В05	10^5	10 ⁴
2	Блок керування	Діод Д220А	10^4	
		Випрямлячі Д226	10^5	
		Конденсатор Х7R	10^7	
		Резистор R12	10^8	
3	Силові елементи	Транзистори, Т143-1000	10^5	
		Дросель ТРА11	10^5	
		Реактор ВР2МС	10^5	

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

$$P_{\text{зр}} = P_{\text{зв}} \cdot K_{\text{нос}} \cdot K_{\text{н}} \quad [P/\text{год}]; \quad (5.2)$$

$$P_{\text{зр}} = 10^4 \cdot 1 \cdot 0,9 = 13500 \quad (P/\text{год}).$$

Можлива експозиційна доза опромінення в заданих умовах:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_{1\text{max}} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{нос}}} \quad [P]; \quad (5.3)$$

Допустимий час роботи СЕС визначається за формулою:

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{D_{\text{зр}} \cdot K_{\text{нос}} + 2 \cdot P_{1\text{max}} \sqrt{t_P}}{2 \cdot P_{1\text{max}}} \right)^2 \quad [\text{год}]; \quad (5.4)$$

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,17 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,17} \right)^2 = 658325,77(\text{год}) .$$

Отже, допустимий час роботи системи електропостачання складатиме 658325,77 годин при рівні радіації 6,17 Р/год.

5.3.2. Дослідження безпеки роботи СЕП в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N \text{ [В]} , \quad (5.5)$$

Де $U_{\text{ж}}$ – напруга живлення, В;

N – допустиме відхилення напруги, %.

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

Вертикальна складова напруги наведення на струмопровідних частинах СЕС:

$$U_{\text{в}} = \frac{U_{\text{д}}}{100} = 2,53 \text{ (В)} ;$$

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

$$U_{\text{в}} = E_{\text{г}} \cdot l_{\text{в}} \text{ [В/год]} ; \quad (5.6)$$

Звідки:

$$E_{\text{г}} = \frac{U_{\text{в}}}{l_{\text{в}}} \text{ [В/м]} ; \quad (5.7)$$

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

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

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_B, [B/M] ;$$

Звідки:

$$E_{\epsilon} = \frac{E_{\epsilon}}{10^{-3}} [B/M] , \quad (5.8)$$

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

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

5.3.3. Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи СЕП в умовах дії загрозливих чинників НС

В даному розділі було проведено дослідження безпеки роботи СЕП 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 СЕП в умовах дії ЕМІ проводимо розрахунок захисного екрану.

Визначаємо перехідне гасіння електричного поля екраном зі сталі:

$$A = 40 - K_{\text{мін}} [\text{дБ}], \quad (5.9)$$

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

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

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

Розрахуємо товщину захисного екрану:

$$t = \frac{A}{5,02 \cdot \sqrt{f}} [\text{см}], \quad (5.10)$$

де A - перехідне затухання екрану, дБ ;

f - найбільш характерна частота, (15 кГц).

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

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

$$t_3 = \frac{68,3}{5,02 \cdot \sqrt{15000}} = 0,103 \text{ (см)} .$$

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 0,103 см, система електропостачання буде стійко працювати в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Висновки по розділу: В даному розділі визначена оцінка умов праці розглянуто питання, що стосуються шкідливих та небезпечних виробничих чинників. Здійснено вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці, наведено заходи з гігієни праці і виробничої санітарії, визначено вимоги до електробезпеки до системи автоматизованого обліку електроенергії .

Також, у даному розділі проведено оцінку безпеки роботи СЕП в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій та розроблено заходи по підвищенню безпеки роботи обладнання системи електропостачання. В умовах дії іонізуючих випромінювань обладнання СЕП буде безпечно працювати до рівня радіації 6,17 Р/год, при допустимому часі роботи апаратури протягом 658325,77 годин.

Оцінюючи безпеку роботи СЕП 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 першому розділі роботи було проаналізовано літературу компенсації реактивної потужності. Проаналізовано методики розрахунку КРП. Досліджено ефективність компенсації реактивної потужності, сформовано основні цілі КРП. Здійснено аналіз проблем розрахунку компенсації реактивної потужності (технічні та економічні). Проведено дослідження рівня компенсації РП в Україні та добового графіка реактивної потужності.

В другому розділі проаналізовано діючу методику оплати з використанням економічного еквіваленту реактивної потужності (ЕЕРП) та запропоновано методику оплати за передавання реактивної потужності з використання кусочно-лінійної апроксимації, та доведено її ефективність, сформульовано вимоги до КРП.

В третьому розділі створено модель лінії «ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока» яка знаходиться в Вінницькій області, село Сорока та проведено розрахунок компенсації реактивної. Розрахунок здійснено і порівняно методи оплати за реактивну потужність (діючої методики оплати, Оплата за передачу реактивної потужності згідно методики Б. С. Рогальського та О. М. Нанаки та методики оплати, запропонованої Л. М. Мельничук, з використанням кусочно-лінійної апроксимації розраховується згідно розрахункового режиму) дослідження виконано в середовищі MATCAD, здійснено розрахунок оплати за трьома методиками при номінальному значенні кута коефіцієнта потужності та при його перевищенні наведено відповідні графіки, досліджено найефективніше місце встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності згідно перерахованих вище методів оплати РП. Розраховано потужність компенсуючих пристроїв для 15-го вузла згідно попереднього розрахунку. На основі даних розрахунків виконано аналіз терміну окупності пропонованої конденсаторної установки за трьома методиками, визначено методику яку найдоцільніше використовувати для стимулювання споживачів компенсувати реактивну потужність.

В четвертому розділі проведено розробку стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу, у розділі виконується

оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій. Проведення маркетингового аналізу здійснено за наступним кроками: опис ідеї, технологічний аудит ідеї проекту, Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту, Розроблення маркетингової програми стартап проекту.

В п'ятому розділі виконано аналіз фізичних та психофізіологічних факторів, що впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал, який буде здійснювати експлуатацію силового обладнання, описано технічні рішення з безпечної експлуатації, та рішення з гігієни праці і виробничої санітарії,

Також, у даному розділі проведено оцінку безпеки роботи СЕП в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій та розроблено заходи по підвищенню безпеки роботи обладнання системи електропостачання. Оцінюючи безпеку роботи СЕП в умовах дії електромагнітного імпульсу, доведено, що система буде працювати, при напруженості електричного не вище: 1150 (В/м).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 200 с.
2. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 236 с.
3. Оптимізація процесу впровадження компенсувальних установок у розподільних електричних мережах енергопостачальних компаній: монографія / О. Д. Демов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 97 с.
4. Оптимізація впровадження та використання компенсувальних установок у розподільних електричних мережах енергопостачальних споживачів: монографія / О. Д. Демов, Ю. Ю. Півнюк. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 80 с.
5. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Затверджена наказом Міністерства палива та енергетики України від 17 січня 2002 р. № 19. Зареєстрована в Міністерстві юстиції України 1 лютого 2002 р. за № 93/6381 // Офіційний вісник України. – 2002. – №6.
6. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Проект наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 лютого 2012 р.
7. Рогальський Б. С. Про використання економічних еквівалентів реактивної потужності для визначення плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопостачальними компаніями і їх споживачами / Б. С. Рогальський, О. М. Нанак // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2004. — № 4. — С. 44—51.
8. Рогальський Б. С. Визначення та розподілення втрат електричної енергії між споживачами / Б. С. Рогальський, Л. М. Мельничук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2004. — № 1. — С. 38—41.

9. Мельничук Л. М. Визначення та розподілення втрат електричної енергії між споживачами з урахуванням їх графіків навантажень / Л. М. Мельничук // Енергетика та електрифікація. — 2006. — № 5. — С. 19—21.

10. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах: Монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 110 с.

11. Визначення плати за передавання реактивної електроенергії з використанням квадратичного розподілення втрат активної потужності між споживачами / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук, С. А. Мусійчук // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). — 2011. — № 1. — С. 38—41.

12. Мельничук Л. М. Механізми удосконалення системи оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2013. — № 3 (34). — С. 101—105.

13. Мельничук Л. М. Визначення економічного еквівалента реактивної потужності та механізми його застосування в системі оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2014. — № 1 (25). — С. 95—101.

14. Мельничук Л. М. Удосконалення системи оплати за передавання реактивної електроенергії / Л. М. Мельничук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2014. — № 1 (46). — С. 180—183.

15. Л. М. Мельничук, «УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПЛАТИ ЗА ПЕРЕДАВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ», *Вісник ВПІ*, вип. 4, с. 36—40, Вер 2016.

16. М. Й. Бурбело, Ю. П. Войтюк, Л. М. Мельничук «Підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах: монографія» Вінниця : ВНТУ, 88 с. 2019.

17. Конденсаторна установка: веб сайт. URL: <https://watt.ua/uk/3184-kondensatornaya-ustanovka-uk-e-04-70kvar-4-5-5-10-20-35.html> (дата звернення: 29.11.2021).

18. Роздоба М. Ю. Розробка та дослідження методів класифікації втрат та розрахунків економічних еквівалентів реактивної потужності для операторів з передачі та розподілу електроенергії: магістерська кваліфікаційна робота. Київ: 2020. 94 с.

19. О. Р. Лещенко, Ю. В. Лобода, та М. Й. Бурбело, Застосування СТАТКОМ для підвищення якості електроенергії / *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. Режим доступу : <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/28765>

20. Юрій Васильович Лобода, Олександр Русланович Лещенко, Системи керування силовими активними фільтрами / *Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 2021 р.

21. Юрій Васильович Лобода. Застосування статичних синхронних компенсаторів для компенсації реактивної потужності та симетрування навантаження. *XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 2017.

22. Соломчак О. В. Проблеми розрахунку та компенсації реактивної потужності в мережах з несинусоїдним (нелінійним) навантаженням / О. В. Соломчак, І. В. Гладь // *Енергетика та електрифікація*. – 2008. – № 6. С. 27–32.

23. Гавриш О. А. Розроблення стартап-проекту: методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.

24. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра за спеціальностями 153, 163, 171 і 172 / Уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 51 с.

25. 24. Кобилянський О. В., Кобилянська І. М., Яблочников С. Л. Основи охорони праці. – Вінниця: Планер, 2007. – 171 с

26. Кобилянський О. В. Охорона праці при експлуатації електроустановок. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 125 с.

27. Кобилянський О. В. Охорона праці у галузі. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 139 с.
28. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 1. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 183 с.
29. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 2. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 171 с.
30. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

Додаток А**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

УЗГОДЖЕНО

“ ____ ” _____ 2021р.ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМд.т.н., професор Бурбело М. Й. _____
“ 24 ” вересня _____ 2021 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

Вибір місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності
втрат електричної енергії

Виконав: студент 2 курсу групи ЕСЕ-20м

Лещенко О. Р.
_____Керівник: д.т.н. професор Бурбело М. Й.

(підпис)

Вінниця 2021 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 277 від 24. 09 .21.

Дата початку роботи 24 . 09 .21р.

Дата закінчення роботи 15. 12. 21р.

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

а) мета – дослідження ефективного розрахунку місць встановлення компенсуючих установок, з використанням удосконаленої методики оплати за передачу реактивної енергії на основі кусочно-лінійної апроксимації..

б) призначення розробки – удосконалення методики вибору компенсуючих пристроїв.

в) вихідні дані для виконання МКР:

відомості про електричні навантаження споживачів, відомості про джерела живлення та реактивної потужності, відомості та перспективу розвитку; основні техніко-економічні показники.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 М. Й. Бурбело, Ю. П. Войтюк, Л. М. Мельничук «Підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах: монографія» Вінниця : ВНТУ, 88 с. 2019

3.2 Правила улаштування електроустановок. Харків: Міненерговугілля України, 2017.

3.3 Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Проект наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20 лютого 2012 р.

3.4 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 40 с.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження	01.09.21	18.09.21
4.2 Проведення дослідних розрахунків	19.09.21	5.11.21
4.3 Розробка стартап роботи і розділу з охорони праці	5.11.21	24.11.21
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	24.11.21	08.12.21

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

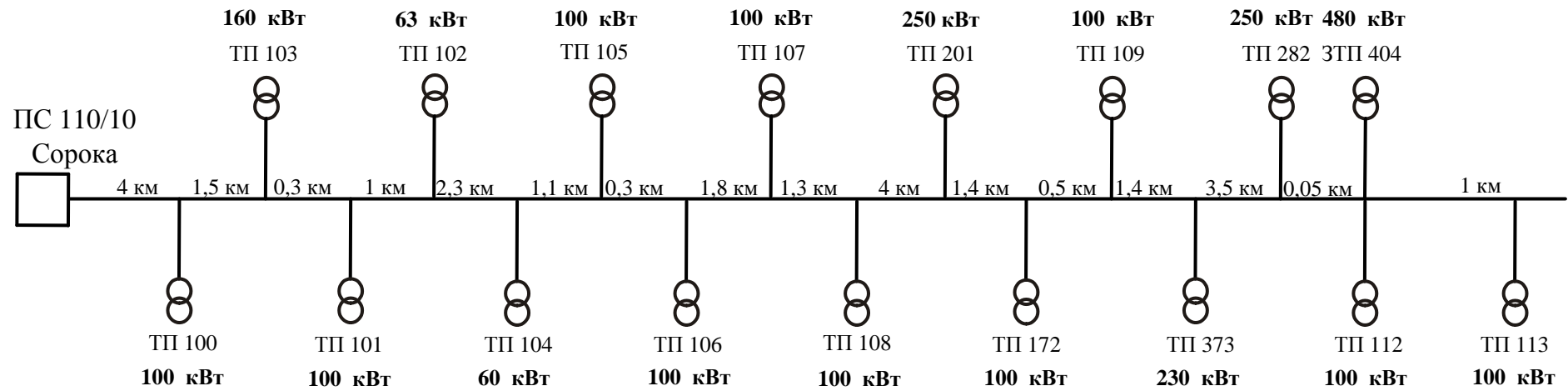
Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Не передбачається

Додаток Б

Вінницька Область, Іллінецький Район
Лінія ID214216 "ПЛ-10 Л-2 ПС-110/10 Сорока"



Додаток В

Діюча методика оплати, ціна за передачу реактивної потужності розраховується згідно формули:

$$\Pi 1 = 2 \cdot \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{zp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0,$$

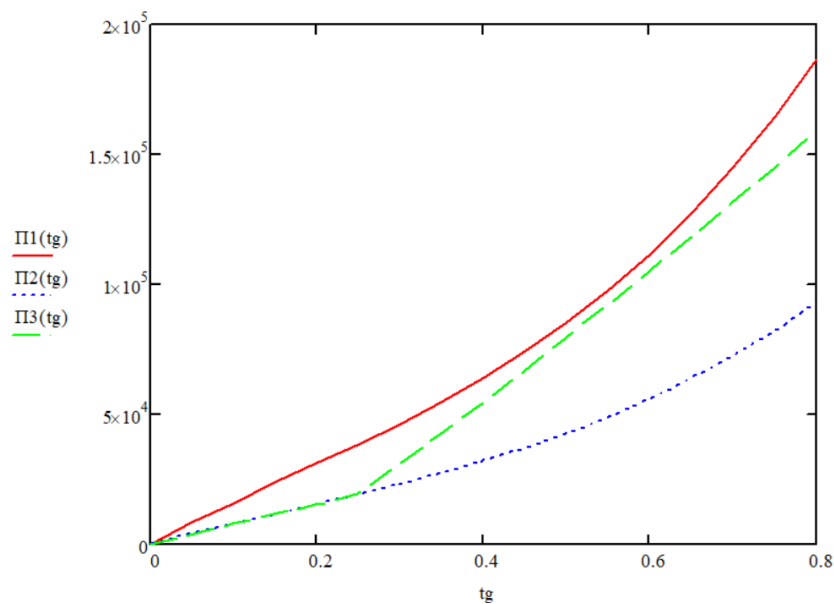
Оплата за передачу реактивної потужності згідно методики Б.С. Рогальського та О. М. Нанаки розраховується за формулою:

$$\Pi 2 = P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{zp})^2 \right] \cdot T \cdot c_0,$$

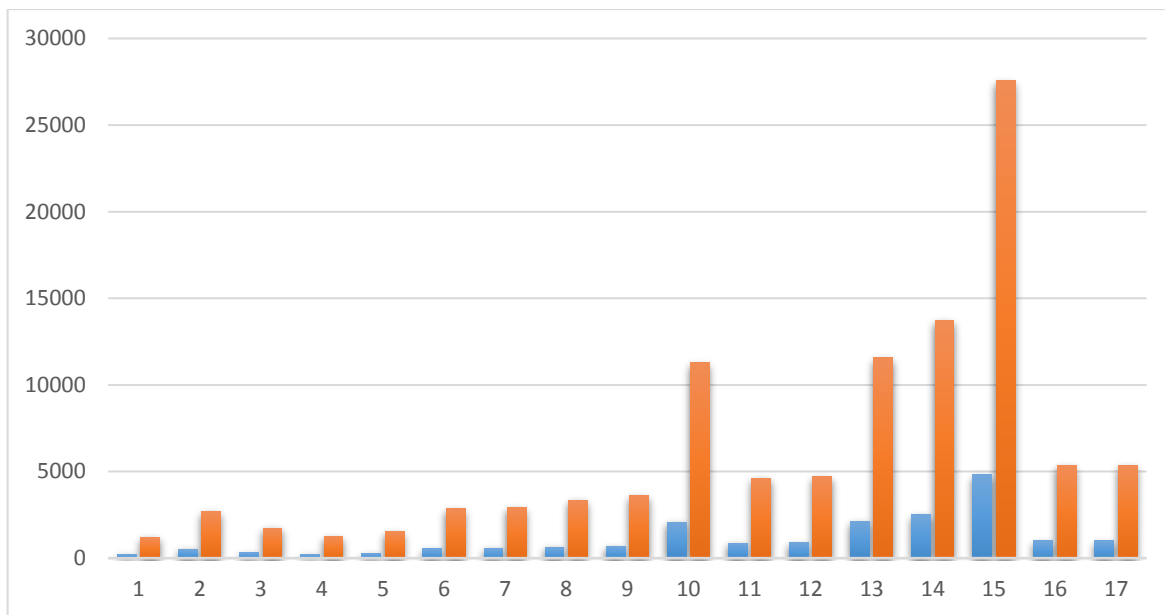
Третій метод оплати, запропонований Л.М. Мельничук, з використанням кусочно-лінійної апроксимації:

$$\Pi 3 = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{zp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0,$$

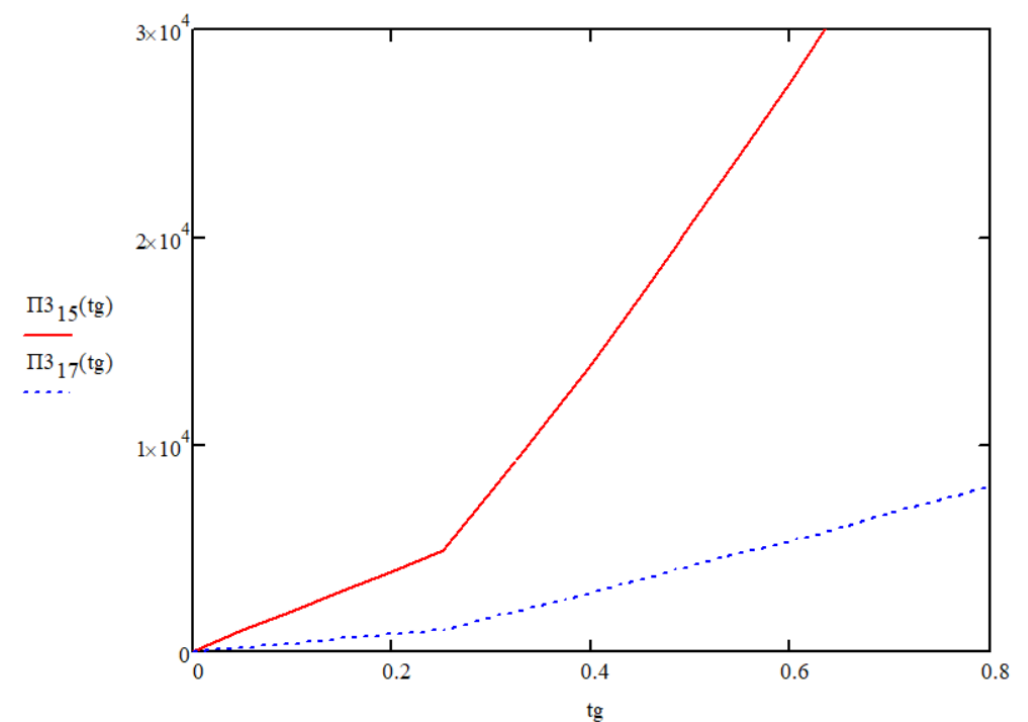
Графік оплати згідно трьох методик



Графік залежності оплати при перевищенні кута навантаження



Графік залежності оплати 15-го, 17-го вузла, згідно третьої методики



Оплата 15 вузла при перевищенні $tg=0,4$ складає:

$$\Pi_{16_{15}} = 2 \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\text{баз}} (tg - tg_{\text{зп}})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 15972,44;$$

$$\Pi 2_{e_{15}} = \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\delta_{a3}} (tg - tg_{zp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 7986,22;$$

$$\Pi 3_{e_{15}} = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{zp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 13930,335.$$

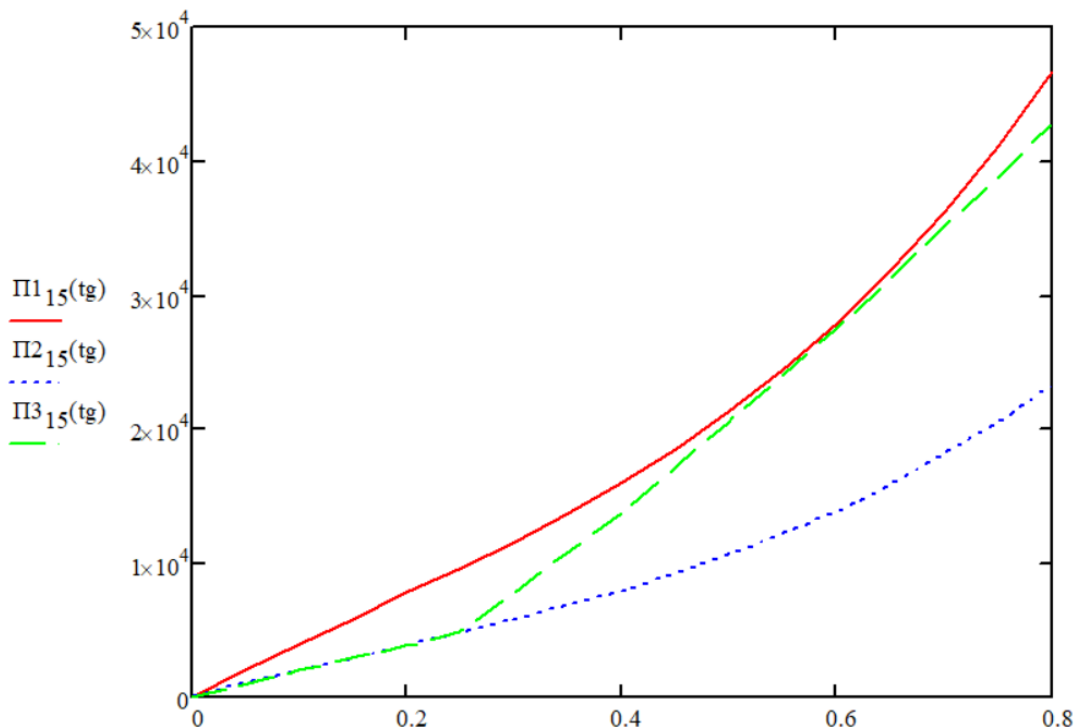
Оплата 15 вузла при компенсації до значення $tg=0,108$ складає:

$$\Pi 1_{KPII_{15}} = 2 \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\delta_{a3}} (tg - tg_{zp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 4296,06;$$

$$\Pi 2_{KPII_{15}} = \left[P \cdot tg \cdot d \left[1 + C_{\delta_{a3}} (tg - tg_{zp})^2 \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 2148,03;$$

$$\Pi 3_{KPII_{15}} = \left[P \cdot tg \cdot d + (P \cdot tg - Q) \left[2d + P \cdot Q (tg - tg_{zp})^2 \cdot U^{-2} \right] \right] \cdot T \cdot c_0 = 2148,03.$$

Оплата за реактивну потужність 15-им вузлом



При компенсації значення зменшення оплати за розрахунковий період $T=720$ год буде риним.:

$$П1_3 = П1_{в15} - П1_{КРП15} = 15972,44 - 4296,06 = 11676,38;$$

$$П2_3 = П2_{в15} - П2_{КРП15} = 7986,22 - 2148,3 = 5838,14;$$

$$П3_3 = П3_{в15} - П3_{КРП15} = 13930,335 - 2148,03 = 11782,305.$$

Тоді період за який дана установка окупиться складає:

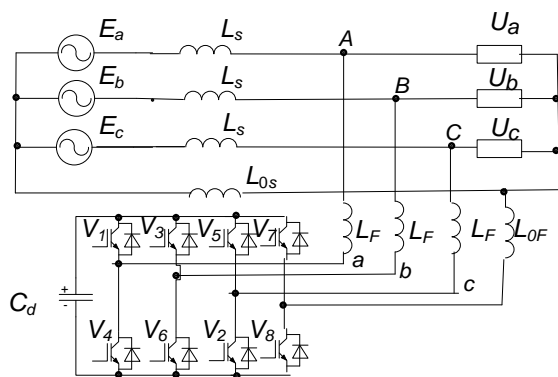
$$T1 = \frac{Ц_{КУ}}{П1_3} = \frac{38374}{11676,38} \approx 3,28(\text{міс.});$$

$$T2 = \frac{Ц_{КУ}}{П2_3} = \frac{38374}{5838,14} \approx 7,4(\text{міс.});$$

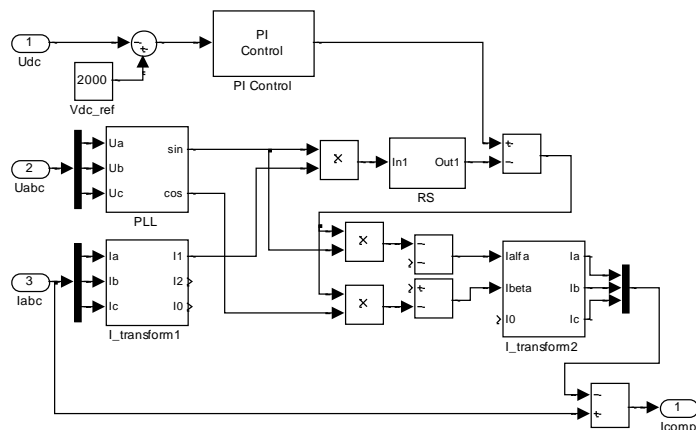
$$T3 = \frac{Ц_{КУ}}{П3_3} = \frac{38374}{11782,305} \approx 3,26(\text{міс.}).$$

Додаток Г

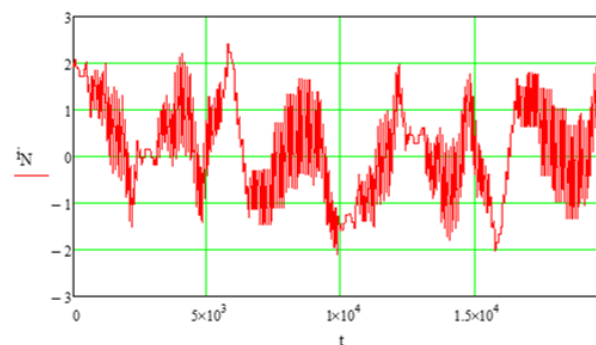
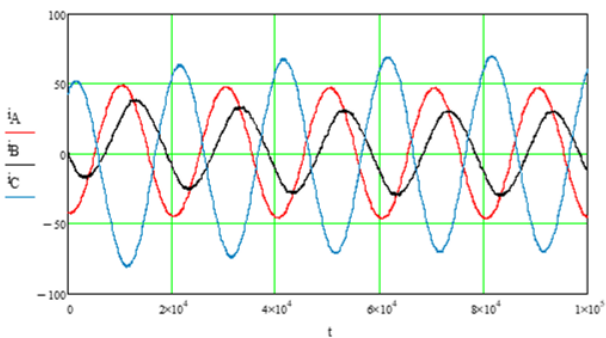
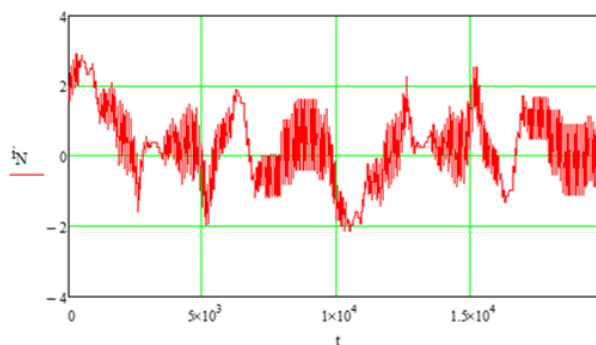
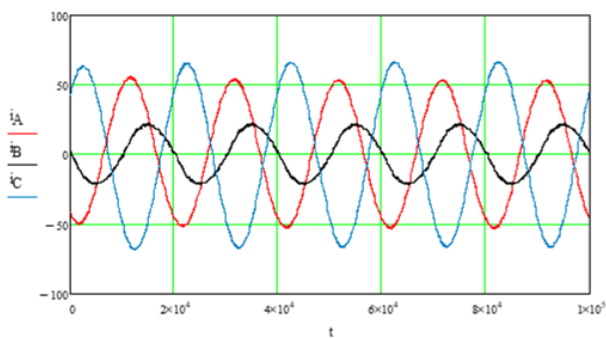
схема СТАТКОМ на базі трифазного мостового інвертора напруги



Моделювання в Matlab Simulink



Моделювання в Mathcad



Додаток Д

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Вибір місць розміщення компенсуючих пристроїв з урахуванням нелінійності втрат електричної енергії.

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота.

Підрозділ: Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Науковий керівник: д.т.н. професор Бурбело М.Й.

Показники звіту подібності	
UNICHECK	
Схожість	15,8%

Аналіз звіту подібності

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор _____ Лещенко О.Р.

Опис прийнятого рішення

Магістерська кваліфікаційна робота допускається до захисту

Особа відповідальна за перевірку _____ Лобода Ю.В.

Керівник роботи _____ Бурбело М.Й.

Експерт _____ Бурбело М.Й., зав кафедри ЕСЕМ