

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

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
магістр
(освітній ступінь)

на тему: Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних
мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕМ-19м
Спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр, назва)

Освітня програма «Енергетичний менеджмент»
(шифр, назва)

Ткачук В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Демов О.Д.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2020 року

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Енергетичний менеджмент»
Освітній ступінь магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСЕЕМ
проф. М. Й. Бурбело
“ ___ ” _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ткачуку Вадиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця
керівник роботи Демов Олександр Дмитрович к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затвержені наказом по ВНТУ від «25» вересня 2020 року №214.

2. Термін подання студентом роботи «10» грудня 2020 року.

3. Вихідні дані до роботи: директивні матеріали по розрахунку компенсації реактивної потужності, схеми електропостачання підприємства, література по розрахунку компенсації реактивної потужності електричних мереж.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах. 2. Методи розрахунку впровадження конденсаторних установок в розподільчі мережі енергопостачальних компаній. 3. Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця. 4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

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

Матеріали, що ілюструють отримані результати досліджень та розробки для їх практичного використання.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Демов О.Д., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.п.н., професор		
Нормоконтроль	Войтюк Ю.П., к.т.н., доц., каф. ЕСЕМ		

7. Дата видачі завдання «10» вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності	15.10-26.10	
2	Огляд методів розрахунку впровадження конденсаторних установок	26.10-07.11	
3	Обґрунтування методу оптимізації впровадження КУ по мінімуму прнведених затрат	07.11-14.11	
4	Економічна частина	14.11-26.11	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	26.11-30.11	

Студент _____ Ткачук В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Демов О.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	
АННОТАЦІЯ	
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	9
1.1 Аналіз існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності в електричних мережах.....	9
1.2 Аналіз методів по розв'язанню задач в розподільних мережах енергопостачальних компаній та споживачів з врахуванням їх взаємного впливу.....	13
Висновки.....	18
2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В РОЗПОДІЛЬЧІ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ.....	19
2.1 Формування функцій зниження втрат активної потужності від установлення КУ.....	19
2.2 Покроковий розрахунок компенсації реактивної потужності в розподільних мережах.....	25
Висновки.....	32
3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ МІКРОРАЙОНУ ВИШЕНЬКА, МІСТО ВІННИЦЯ...	33
3.1 Метод оптимізації впровадження КУ по мінімуму приведених затрат...	33
3.2 Корегування вхідних реактивних потужностей в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька	41
3.3 Економічна частина. Економічне визначення послідовності встановлення КУ.....	45

Висновки.....	85
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	86
4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта.....	87
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	88
4.2.1 Мікроклімат.....	88
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	89
4.2.3 Освітлення робочої зони.....	90
4.2.4 Виробничий шум.....	93
4.2.5 Вібрація.....	94
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії загрозливих чинників НС.....	95
4.3.1 Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	96
4.3.2 Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії ЕМІ.....	98
4.4 Розробка заходів по підвищенні стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька у надзвичайних ситуаціях.....	100
Висновки.....	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
Додаток А – Технічне завдання	
Додаток Б – Блок-схема аналізу існуючих методів компенсації реактивної потужності в електричних мережах	
Додаток В – Розрахункова схема при оптимізації потоків реактивної потужності в розподільних електричних мережах	
Додаток Г – Розрахункова схема ділянки РМ мікрорайону Вишенька	

УДК 621.316

АНОТАЦІЯ

Ткачук В.С. Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця. МКР. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2020 - 107 с.

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено процес оптимізації впровадження компенсувальних установок в розподільчі електричні мережі мікрорайону Вишенька, розроблено моделі та алгоритми для його здійснення.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: компенсувальна установка, мережі споживачів, реактивна потужність, втрати електричної енергії.

Рисунків - 20

Таблиць - 14

Бібліографій – 59

УДК 621.316

Аннотация

Ткачук В.С. Компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях микрорайона Вишенка, город Винница. МКР. Специальность 141 - Винница: ВНТУ, ФЕЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2020 – 107с. В магистерской квалификационной работе исследован процесс оптимизации внедрения компенсирующих установок в распределительные электрические сети микрорайона Вишенка, разработаны модели и алгоритмы для его осуществления.

Рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: компенсирующая установка, сети потребителей, реактивная мощность, потери электрической энергии.

Рисунков - 20

Таблиц - 14

Библиографий - 59

ВСТУП

Актуальність роботи. Компенсуючі установки (КУ) в електричних розподільчих мережах потребують відповідного значення потужностей КУ і місць їх установлення, це дозволяє значно зменшити втрати електроенергії. Щоб врахувати економічно доцільний рівень даної компенсації існує ряд способів по розв'язанню даної задачі. Представлені методи розраховують дану задачу КРП в електричних мережах, враховують оцінку початкового (відсутності компенсуючої установки) та кінцевого (наявності компенсуючої установки в усіх вузлах навантаження) стану мережі. Шлях, за допомогою якого можна пройти з початкового стану в кінцевий не враховується. Тобто, можна вважати, що мережі можуть установити всі КУ одночасно аналогічно результатам розрахунків, здійсненим по вказаним методам, а проміжні кроки по затвердженню результатів при цьому не враховуються. Вказані методи розрахунку КРП в електричних розподільчих мережах основані на одночасному розрахунку задачі для енергетичних системи та споживачів, що дозволяє підтримати інтереси як одних так і інших. Такий метод доцільно використовувати, коли розподільні електричні мережі енергосистеми та споживачів перебувають на балансі держави. На ринку ця умова не завжди є справедливою, тому що енергосистема та споживачі перебувають у відносинах виробника та споживача такого унікального товару, як реактивна енергія. Яку необхідну кількість цього товару використовувати (купувати) вирішує сам споживач.

В ринкових умовах розподільні електричні мережі можуть економічно впроваджувати КУ незалежно одне від одного, хоча фізично це єдиний метод. Важкість у проведенні розрахунків по КРП вже існуючими методами веде до складності у прогнозуванні і контролі формування плати за реактивну енергію, що не сприяє встановленню КУ. Дані обставини зумовлюють потребу розділення електричної мережі під час розрахунку КРП.

Мета дослідження. Додаткове зниження втрат електроенергії за рахунок вдосконалення та впровадження методів розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця та їх реалізації.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Проведення аналізу існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності та використання КУ в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, показати необхідність розробки системи комплексного впровадження КУ в ці мережі.

2. Розробка моделі та методів впровадження КУ в розподільчі мережі мікрорайону Вишенька з врахуванням впливу КУ споживачів.

3. Корегування потоків реактивних потужностей в мережі при підключенні до неї нових споживачів.

Об'єкт дослідження. Розподільні електричні мережі 6-10 кВ мікрорайону Вишенька.

Предмет дослідження. Процеси впровадження компенсуючих приладів та їх використання в розподільних електричних мережах 6-10 кВ мікрорайону Вишенька, місто Вінниця.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено новий метод розрахунку послідовності установа високоевольтних КУ, який на відміну від існуючих забезпечує використання нерегульованих високоевольтних конденсаторних установок і відповідно зниження затрат на їх монтаж та експлуатацію.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Результати роботи на конференціях не доповідались, публікації по темі роботи відсутні.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Аналіз існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах

Питання зменшення втрат в електричних мережах України є однією з основних задач цих мереж. Останнім часом ці втрати зросли до рівня, який майже вдвічі перевищує аналогічні показники західних країн. Технологічні втрати активної електроенергії разом з так званими “комерційними втратами” станом на 2019 рік склали 14,7% при нормативних технологічних втратах 13,9%. Значного зниження цих втрат можна досягти за рахунок компенсації реактивної потужності (КРП) в них. Відомо, що в електричних мережах біля 80% ефекту від заходів по енергозбереженню приходиться на КРП. На сьогоднішній день існує ряд методів по розрахунку КРП в електричних мережах. Їх можна поділити на три напрямки: розрахунок в живильних, розподільних та одночасний розрахунок в перших і других мережах.

Розрахування компенсації реактивної потужності в електричних мережах електропостачальних компаній полягає у визначенні таких потужностей і місць установки компенсуювальних установок, які б забезпечили якнайкраще значення вибраного показника оптимальності. Такими показниками виступають баланс генерування і споживання реактивної потужності, приведені витрати на генерування і передавання реактивної потужності, втрати активної потужності при передаванні реактивної. Відповідно проведемо аналіз існуючих методів розрахунку компенсації реактивної потужності в електричних мережах блок-схеми, рис.1.1.



Рис. 1.1 - Блок-схема аналізу існуючих методів компенсації реактивної потужності в електричних мережах

Стан компенсації реактивних навантажень в мережах ВАТ АК «Вінницяобленерго».

Про необхідність і доцільність компенсації реактивних навантажень в мережах «Вінницяобленерго».

Загальновідомо, що компенсація реактивних навантажень (КРН) є найбільш ефективна енергозберігаюча технологія в електричних мережах [1]. Якщо впровадити всі відомі заходи з енергозбереження в електричних мережах, то 80 % зниження втрат електроенергії приходить на КРН [2].

На перший погляд представляється парадоксальним той факт, що обленерго не використовують КРН повною мірою для зниження технологічних втрат електроенергії (тільки нормативні технологічні втрати установлюються в межах 15-

18 %, що майже в два рази більше фактичних втрат в мережах бувшого СРСР (9-10 %)) [3]. Основні причини такого “парадоксу” наступні:

1. Несприятливі економічні умови впровадження КРН (з одного боку надто дорогі засоби компенсації, в основному імпортного виробництва, з іншого – занижена вартість втрат, для визначення якої використовують оптовий тариф замість роздрібного, і суттєве зниження активних і реактивних навантажень і, відповідно, втрат від перетікань реактивної енергії);

2. Застосування для розрахунку КРН відомих методик в зазначених вище економічних умовах дозволяє обґрунтувати низький рівень КРН при значних строках окупності (до 10 і більше років) або економічну недоцільність КРН;

3. Відсутня офіційна методика розрахунку КРН, яка б враховувала додатковий ефект від компенсації (підвищення передавальної здатності трансформаторів і мереж і віддалення строків їх реконструкції, зменшення потужності трансформаторів і мереж або їх кількості (при проектуванні), врахування доходу від реалізації реактивної енергії споживачам і т. п.) і дозволяла обґрунтувати більш високий рівень КРН і прийнятні строки окупності, навіть в зазначених вище несприятливих умовах.

Незважаючи на викладені вище несприятливі фактори, установка компенсуювальних пристроїв (КП) в електричних мережах обленерго стає економічно доцільною, установка КП в мережах обленерго дозволяє знизити технологічні втрати активної електроенергії від перетікань реактивної на 2-3 % без зниження доходу від реалізації реактивної енергії споживачам (в такі умови поставлені всі обленерго нині діючим нормативним документом).

Сприятливими умовами впровадження КРН в мережах обленерго є наявність розгалужених мереж 10 кВ і значної кількості трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ (ЗТП, РТП). Їх значна електрична віддаленість від вузлових підстанцій зумовлює значну ефективність КРН.

В мережах обленерго, особливо в міських, є кабельні лінії і трансформатори, передавальна здатність яких вичерпана, КРН в таких мережах і трансформаторах дозволяє віддалити строк їх реконструкції і покращити рівні напруги у споживачів.

Проблема завищення рівнів напруги в період зони “ніч” вирішується застосуванням спеціально створених для мереж обленерго автоматичних регуляторів, які управляють компенсувальними установками за параметрами: протягом зони “день” – за величиною реактивної потужності; протягом зони “ніч” – за рівнем напруги у вузлі.

Слід зазначити, що підвищення цін на електроенергію і збільшення реактивних навантажень споживачів підвищує ефективність установлених КП і зменшує строки їх окупності.

Про стан КРН в мережах ВАТ АК «Вінницяобленерго»

Стан КРН в цілому по АК «Вінницяобленерго» до деякої міри характеризує коефіцієнт оснащення мереж компенсувальними установками:

$$K_{\text{осн}} = \frac{Q_{\text{ку}}}{P_{\text{м}}} \quad (1.1)$$

де $P_{\text{м}}$ – максимум активного навантаження мереж, МВт; $Q_{\text{ку}}$ – установлена потужність КУ, включених в роботу, Мвар.

Значення коефіцієнта $K_{\text{осн}}$ за період з 2016 по 2019 р.р. представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Значення коефіцієнта $K_{\text{осн}}$

Роки	2016	2017	2018	2019
$P_{\text{м}}$, МВАТ	641	558	490	483
$K_{\text{осн}}$, %	37,3	43,2	48,2	48,9

Аналіз даних таблиці 1.1 показує, що $K_{\text{осн}}$ зі року в рік зростає. В той же час видно, що із в року в рік зменшується максимум активного навантаження. Тобто має

місце штучне підвищення величини $K_{осн}$. Можна передбачити, що даний показник знаходиться в межах 40-45%. Розрахунки показують, що наведені в таблиці фактичні значення $K_{осн}$ можна збільшити до величини економічно обґрунтованих:

$$K_{осн} = \frac{75,142}{176,911} 100 = 42,5\%$$

Таблиця 1.2 - Значення $\cos\phi$ по окремим підстанціям

Підстанція	Південна 110/35/10 кВ	Північна 110/10 кВ	Східна 110/10 кВ	Нова 110/10 кВ	Промислова 110/10 кВ	Західна 110/10 кВ	Центральна 35/10 кВ	Технологічна 110/10 кВ	ВЗГА 110/10 кВ	ДПЗ-18 110/10 кВ	Хімік 110/10 кВ	Водоканал 110/10 кВ	АВІС 110/10 кВ
$\cos\phi$	T1: 0,947 T2: 0,956	T1: 0,92 T2: 0,92	T1: ,957 T2:0,957	T1:0,856 T2:0,9	T1:0,7 T2:0,7	T1:0,9 T2:0,91	T1:0,958 T2:0,93	T1:0,92 T1:0,92	T1:0,92		T1: T2:0,99	T1:0,92	T1:0,92

З таблиці 1.2 видно, що величина $\cos\phi$ знаходиться в межах 0,7-0,99, що також свідчить про необхідність докомпенсації реактивних навантажень мереж Вінницьких РЕМ.

1.2 Аналіз методів по розв'язанню задач в розподільних мережах енергопостачальних компаній та споживачів з врахуванням їх взаємного впливу

Компенсація реактивної потужності в розподільних мережах ЕК дає зниження втрат не тільки в цих мережах, а і в – живлячих [3]. Тобто існує вплив компенсації реактивної потужності в розподільних мережах на величину втрат в мережах ЕК. З іншої сторони компенсація реактивної потужності в мережах ЕК впливає на втрати, які створюють споживачі в цих мережах [45]. В існуючих методах ці задачі розв'язуються окремо.

Крім того фізично будь-яке рішення по компенсації реактивної потужності в мережах споживачів впливає на рішення цієї задачі в мережах енергосистеми і навпаки, а з іншої сторони енергетичні та промислові підприємства є незалежними економічними суб'єктами, які самостійно вирішують доцільність інвестування різних напрямків своєї діяльності, в тому числі придбання компенсувальних установок. Таким чином виникає необхідність в розробці методу розрахунку комплексного впровадження компенсувальних установок в мережі ЕК і споживачів, який би враховував взаємний вплив рішень по компенсації реактивної потужності в живлячих мережах ЕК, розподільних мережах ЕК та мережах споживачів, їх економічну незалежність і в цілому сприяв впровадженню КУ. При цьому необхідно врахувати наступні особливості розподільчих мереж енергопостачальних компаній:

1. Енергопостачальні компанії не можуть установити КУ в усіх вузлах одночасно по причині дефіциту коштів.
2. Розподільчі мережі енергопостачальних компаній живлять одночасно промислових і комунально-побутових споживачів.

В теперішній час на Україні для виробництва електроенергії широко використовуються місцеві електростанції. В роботах [21, 32, 46] показана доцільність виробництва реактивної енергії на цих електростанціях, генератори яких можуть покривати значне реактивне навантаження споживачів РМ і знижувати втрати електроенергії в мережах 35, 110 кВ.

Зокрема у вказівках [25], за якими проводився розрахунок КРП з 1961 року по 1974 рік рекомендоване значення коефіцієнта потужності для споживачів, які живились безпосередньо від МЕ, рівнялось 0,85. Тим самим однозначно визначалась доцільність використання цих електростанцій для КРП. Також у вказівках [21], відповідно яких проводився розрахунок КРП з 1974 року по 1991 рік, вказані принципи врахування МЕ, а в інструкції [47] вхідну реактивну потужність для більшості споживачів, які мають синхронні машини, рекомендується знаходити як:

$$Q_B = Q_\phi - 0,7 \cdot Q_{cm}, \quad (1.2)$$

де Q_ϕ – фактичне реактивне навантаження споживача, Q_{cm} – реактивна потужність синхронних машин.

Формула (1.1) однозначно визначає доцільність використання МЕ для КРП. Таким чином використання реактивної потужності МЕ для більшості підприємств Радянського Союзу було доцільним.

З іншої сторони в існуючих методах по розрахунку КРП на основі системного підходу [30] не показано, яким чином проводити розрахунок вказаного використання МЕ. Тому сьогодні виникає необхідність в розробці відповідного методу.

Розглянемо розв'язання задачі в розподільних мережах споживачів.

Існуючі методи розрахунку компенсації реактивної потужності в мережах споживачів вирішують завдання у двох постановках: економічної і балансової. У першому випадку забезпечується мінімум наведених витрат на передачу і генерацію реактивної потужності при дотриманні технічних обмежень [21, 28], у другому випадку - мінімум зазначених наведених витрат або втрат активної потужності при дотриманні умови балансу реактивної потужності та інших технічних обмежень [28, 47].

У зазначених роботах вихідними даними на проектування установок компенсації реактивної потужності є схема заводської мережі, її параметри і вимоги енергосистеми. Описані методи дозволяють визначити такі місця встановлення конденсаторних установок, а також їх потужності, які забезпечують оптимальні рішення відповідно до одного із зазначених вище критеріїв.

Крім того, необхідно зазначити наступне. Більшість відомих методів розрахунку компенсації реактивної потужності в заводських мережах базуються на одночасному вирішенні завдання для енергосистеми і підприємства [22, 32]. Таким

чином, враховуються інтереси енергосистеми та підприємства. Розроблені методи такого обліку мають сенс, коли у енергосистеми і підприємства один власник, наприклад, держава. В умовах ринку між енергосистемою і підприємством встановлені відносини виробника і споживача такого специфічного товару, як реактивна енергія. Яка кількість цього товару споживати (купувати) вирішує підприємство, а енергосистема вирішує, за якою ціною (тарифом) та на яких умовах продавати цю енергію. Тарифи на реактивну енергію та умови її споживання визначаються директивними документами. Таким чином, доцільність встановлення КУ в мережах більшості підприємств визначається в умовах ринку економічними інтересами самих підприємств, а інтереси енергосистеми при цьому враховуються величиною тарифів на реактивну енергію. Іншими словами, в ринкових умовах багато підприємств впроваджують КУ у відповідності зі своїм фінансовим становищем і заданими тарифами на реактивну енергію, що також необхідно враховувати при розробці відповідних методів впровадження КУ.

Як зазначалося, критерієм оптимальності більшості існуючих методів проектування компенсації реактивної потужності в заводських мережах є мінімум приведених затрат. Наведені затрати характеризують відносну економічну ефективність капітальних вкладень, тобто вони дозволяють вибрати найкращий варіант інвестування за умови, що необхідність інвестування вже доведена [16]. Однак у сьогodнішніх ринкових умовах підприємству якраз в першу чергу необхідно проводити розрахунок доцільності інвестування КУ. Такий розрахунок необхідно проводити відповідно з показниками, які визначають загальний економічний стан підприємства (економічна ефективність використання капітальних вкладень, прибуток, рентабельність) [26, 31]. Відповідно виникає необхідність детального аналізу зазначених економічних показників впровадження і використання КУ в промислових електричних мережах. При цьому не враховуються обмежені фінансові можливості підприємств для впровадження проектних рішень і ринкові відносини з енергосистемою.

Крім того, розроблені методи у [3, 21, 29] на основі системного підходу намагаються одночасно враховувати інтереси енергосистеми і підприємства. Таке урахування має сенс, коли у енергосистеми і підприємства один власник, наприклад, держава. В умовах ринку між енергосистемою і підприємством встановлені відносини виробника і споживача такого специфічного товару, як реактивна енергія. Яку кількість цього товару споживати (купувати) вирішує підприємство, а енергосистема вирішує, за якою ціною (тарифом) і на яких умовах продавати цю енергію. Тарифи на реактивну енергію і умови її споживання визначаються директивними документами. Таким чином, доцільність установки КУ в мережах більшості підприємств визначається в умовах ринку економічними інтересами самих підприємств, а інтереси енергосистеми при цьому враховуються величиною тарифів на реактивну енергію. Іншими словами, в ринкових умовах багато підприємств впроваджують КУ відповідно до свого фінансового становища і заданих тарифів на реактивну енергію, що також необхідно враховувати при розробці відповідних методів впровадження КУ.

При цьому необхідно відмітити таке: фізично будь-яке рішення по КРП в мережах споживачів впливає на рішення цієї задачі в мережах енергосистеми і навпаки. Відповідно основою існуючих методів розрахунку КРП є системний підхід, як вже відмічалось раніше, на основі якого ці розрахунки потрібно проводити одночасно як для мереж енергосистеми так і споживачів. З іншої сторони енергетичні та промислові підприємства є незалежними економічними суб'єктами, які самостійно вирішують доцільність інвестування різних напрямків своєї діяльності, в тому числі придбання КУ.

До електричних мереж підключені як споживачі з симетричними навантаженнями, так і несиметричними. Наявність споживачів з несиметричними навантаженнями в мережах призводить до явищ негативного характеру: з'являються додаткові втрати активної потужності і електричної енергії, погіршуються показники якості електроенергії, що в свою чергу веде до погіршення роботи

електроприймачів [10]. В таких умовах доцільно використовувати КУ комплексно для компенсації реактивних навантажень та їх симетрування [48-49]. В існуючих методах розрахунку впровадження компенсувальних установок з врахуванням їх впливу на мережі ЕК таке використання не враховується. Тобто в існуючих роботах по розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах споживачів розроблені основні положення. Але при цьому не враховано наступні особливості:

1. Споживачі не можуть установити КУ в усіх вузлах одночасно по причині дефіциту коштів.
2. Розподільчі мережі енергопостачальних компаній живлять одночасно промислових і комунально-побутових споживачів.

Таким чином, виникає необхідність в розробці методу розрахунку впровадження КУ в мережі ЕК і споживачів, який би враховував взаємний вплив рішень по КРП в ЕК та споживачів, їх економічну незалежність і в цілому сприяв впровадженню КУ.

Висновки

Приведений аналіз дозволяє сформулювати задачі, які показані на рис. 1.2.

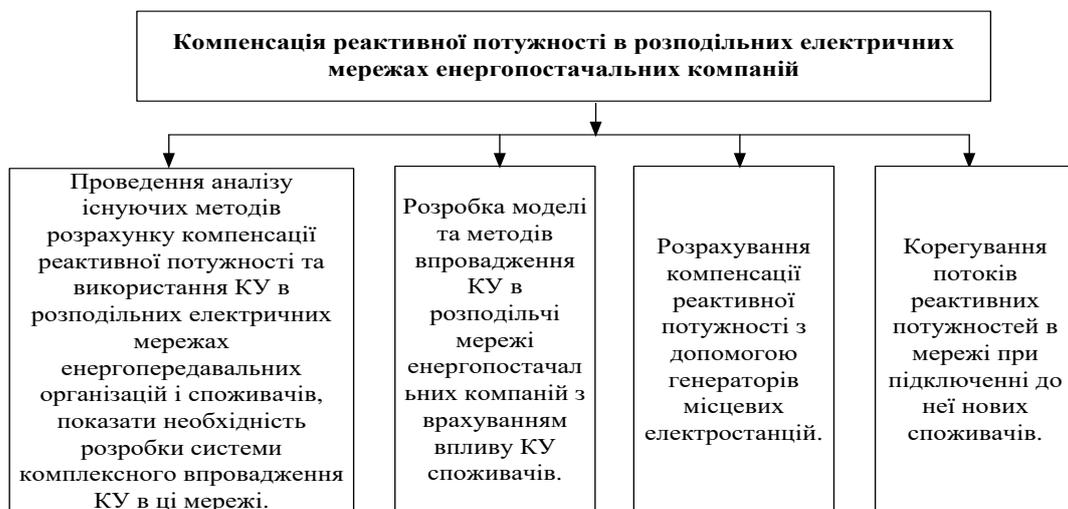


Рис. 1.2 – Задачі оптимізації процесу впровадження конденсаторних установок

2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В РОЗПОДІЛЬЧІ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНИХ КОМПАНІЙ

Максимального зниження втрат електроенергії за період впровадження можна досягнути при максимальному зниженні цих втрат на кожному етапі впровадження, що дає можливість поетапно впроваджувати КУ.

Основним критерієм оптимізації впровадження КУ є величина зниження втрат в електричних мережах від їх установлення. Зниження втрат в розподільних мережах мікрорайону Вишенька потребує розробки методу, який дозволив би визначити такі послідовності місць установлення та потужності КУ, які забезпечують мінімум втрат активної потужності як на кожному етапові, так і за весь період впровадження.

Розв'язувати задачу таким чином складно, оскільки:

1) електрична мережа є ієрархічною системою, в якій її частини можуть приймати рішення відповідно до своїх економічних інтересів окремо від інших частин;

2) розв'язання задачі в цілому потребує значних затрат на збір інформації.

Отже, з однієї сторони, виникають техніко-економічні складності розрахунку КРП одночасно для всієї мережі, а з іншої – існує певна незалежність частин електричної мережі при такому розрахунку.

2.1 Формування функцій зниження втрат активної потужності від установлення КУ

Розв'язання задачі потребує формування функції зниження втрат в залежності від величин потоків реактивних потужностей в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька. Аналіз вказаної функції проведемо

для розрахункової схеми, яка представлена на рис. 2.1.

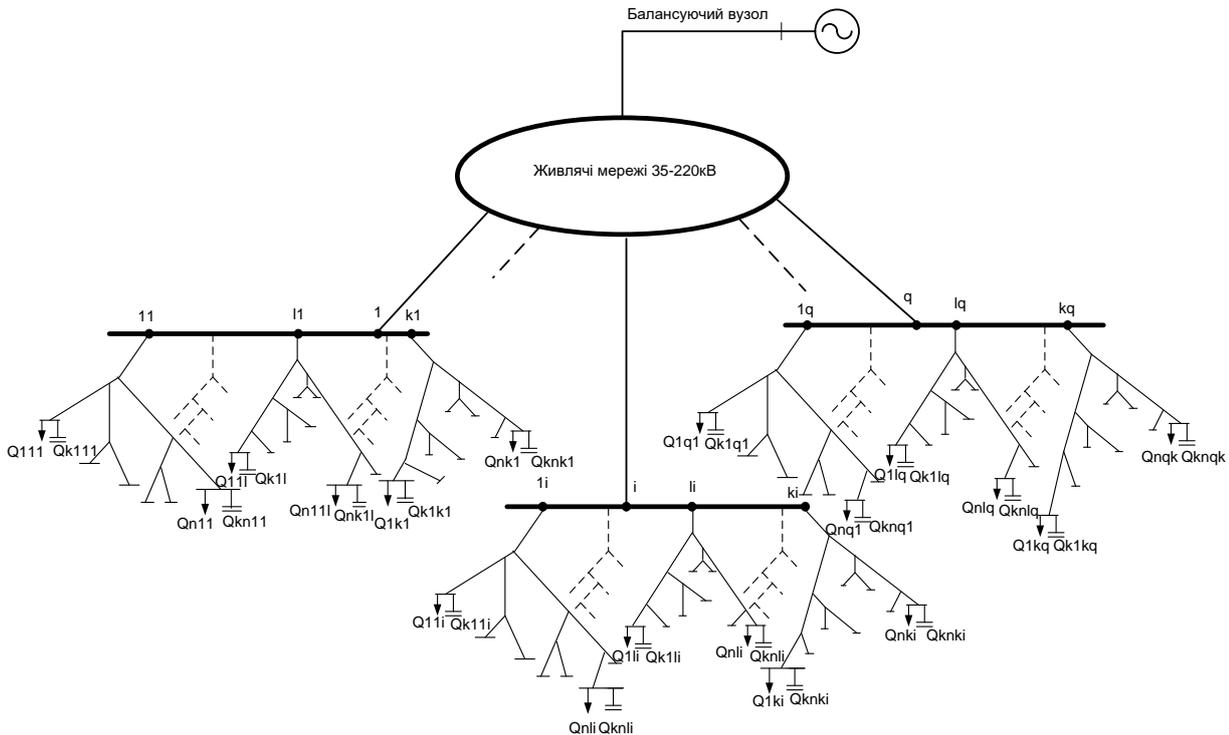


Рис. 2.1 - Розрахункова схема при оптимізації потоків реактивної потужності в розподільних електричних мережах

Ця схема представлена як дві підсистеми: живильні та розподільчі мережі. З рисунка видно, що розподільчі мережі складаються з q розподільчих підсистем, $i = 1, \dots, q$, а i -та розподільча підсистема складається з k_i розподільчих дерев, $l_i = 1, \dots, k_i$. Мережа дерева $l_i \in$ розімкнutoю і має n_{li} навантажувальних вузлів, $s_{li} = 1, \dots, n_{li}$.

Сумарні втрати потужності в розрахунковій схемі від реактивних навантажень розподільчих мереж можна представити як

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ж}} + \Delta P_{\text{р}}, \quad (2.1)$$

де $\Delta P_{\text{ж}}, \Delta P_{\text{р}}$ - відповідно величини втрат в живильчій та розподільчих мережах від реактивних навантажень розподільчих мереж.

Втрати в живильній мережі від реактивних навантажень мереж розподільних

підсистем:

$$\Delta P_{\text{ж}} = \frac{1}{U_{\text{н}}^2} Q_{\text{ж}}^t R_{\text{ж}} Q_{\text{ж}}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{ж}} = \begin{vmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_i \\ \vdots \\ Q_q \end{vmatrix}$ - матриця реактивних навантажень живильної мережі;

$R_{\text{ж}}$ - матриця вузлових активних опорів живильної мережі.

Реактивне навантаження i – ого живильної мережі

$$Q_{\text{жі}} = \bar{1} Q_{\text{лі}},$$

де $Q_{\text{лі}} = \begin{vmatrix} Q_{1\text{лі}} \\ Q_{2\text{лі}} \\ \cdot \\ \cdot \\ Q_{n\text{лі}} \end{vmatrix}$ - матриця реактивних навантажень 1 дерева i -ої розподільчої

підсистеми.

Втрати в мережах 1 дерева i -ої розподільчої підсистеми можна записати як:

$$\Delta P_{\text{лі}} = \frac{1}{U_{\text{н}}^2} Q_{\text{лі}}^t R Q_{\text{лі}}, \quad (2.3)$$

де $R_{\text{лі}}$ – матриця вузлових активних опорів 1 дерева i -ої розподільчої підсистеми;

U_H – номінальна напруга мережі.

Втрати потужності в мережах i -ої розподільчої підсистеми, яка складається з k_i дерев, можна представити як:

$$\Delta P_{pi} = \sum_{l_i=1}^{l_i=k_i} \Delta P_{pli} . \quad (2.4)$$

Сумарні втрати в розподільчих мережах можна представити як:

$$\Delta P_p = \sum_{i=1}^q \Delta P_{pi} = \sum_{i=1}^q \sum_{l_i=1}^{k_i} \Delta P_{pli} , \quad (2.5)$$

або

$$\Delta P_p = \sum_{i=1}^q \sum_{l=1}^{l=k_i} \mathbf{Q}_{li}^t \mathbf{R} \mathbf{Q}_{li} . \quad (2.6)$$

Відповідно сумарні втрати потужності в розрахунковій схемі:

$$\Delta P = \frac{1}{U_H^2} (\mathbf{Q}_j^t \mathbf{R}_j \mathbf{Q}_j + \sum_{i=1}^q \sum_{l_i=1}^{l_i=k_i} \mathbf{Q}_{li}^t \mathbf{R} \mathbf{Q}_{li}) \quad (2.7)$$

З формули (2.7) видно, що установлення КУ в розподільних мережах мікрорайону Вишенька зумовлює зміну втрат активної потужності, як в живильних так і розподільних мережах. Впровадження КУ повинно відповідати максимальному зниженню втрат в розрахунковій схемі. Знайдемо величину зниження втрат при установленні КУ в s -ому вузлі КУ l_i дерева в живильних та розподільних мережах. Для цього використаємо метод декомпозиції.

Зниження втрат в живильній мережі при установленні КУ в в s-ому вузлі l_i дерева потужністю Q_{ksl_i} і розподільчої мережі:

$$\delta P_{\text{ж}} = \frac{1}{U_{\text{н}}^2} \cdot \left(Q_{ksl_i} \cdot \left(2 \sum_{i=1}^q Q_i \cdot R_{ij}^{\text{ж}} + \sum_{i=1}^n Q_i \cdot R_{ij} \right) + R_{ii} \cdot \left(2 \cdot Q_i \cdot Q_{ksl_i} - Q_{ksl_i}^2 \right) \right), \quad (2.8)$$

де $Q_i = \sum_{li=li}^{ni} Q_{li}$, Q_i - реактивне навантаження i -ої розподільчої підсистеми

$R_{ij}^{\text{ж}}$ - спільний опір i -го та j -го вузлів живильній мережі;

R_{ii} - вхідний опір i -го вузла.

Топологічна модель формули представлена на рис.2.2.

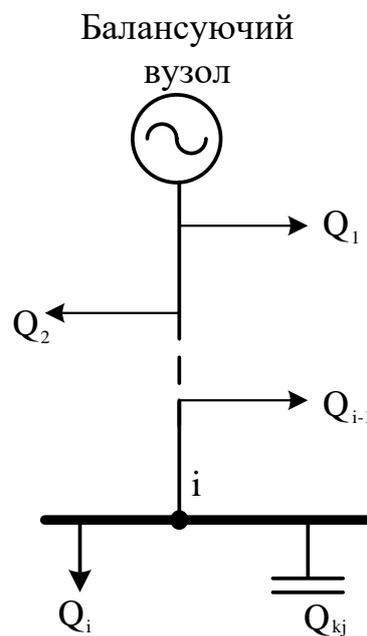


Рис. 2.2 - Топологічна модель живлячих мереж.

Q_1, Q_2, \dots, Q_i - реактивні навантаження розподільчих підсистем;

$Q_i = \sum_{li=li}^{ni} Q_{li}$, Q_i - реактивне навантаження i – ої розподільчої підсистеми

Зниження втрат в розподільній мережі li – дерева при установленні КУ в s_{li} – му вузлі li – дерева i – ої розраховується аналогічно попередньому зниженню:

$$\delta P_p = \frac{1}{U_H^2} \cdot \left(Q_{ks_{li}} \cdot 2 \cdot \sum_{\substack{p_{li}=n_{li} \\ p_{li}=1 \\ p_{li} \neq s_{li}}} Q_{p_{li}} \cdot R_{ps_{li}} + R_{s_{li}s_{li}} \cdot \left(2 \cdot Q_{s_{li}} \cdot Q_{ks_{li}} - Q_{ks_{li}}^2 \right) \right). \quad (2.9)$$

Топологічна модель цієї формули показана на рис. 2.3.

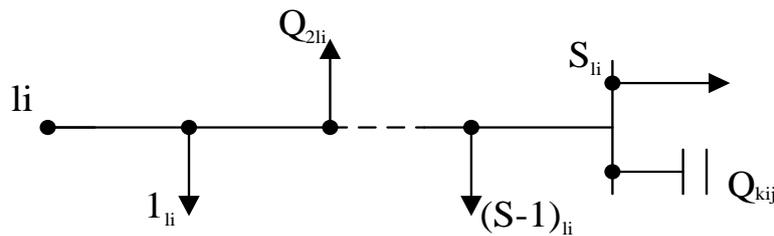


Рис. 2.3 - Топологічна модель формули 2.9

Сумарне зниження втрат визначається як δP_Σ :

$$\delta P_\Sigma = \frac{2Q_{ks_{li}}}{U_H^2} \cdot \left(\sum_{\substack{s_{li}=n_{li} \\ s_{li}=1}} Q_{s_{li}} \cdot R_{ps_{li}} + R_{s_{li}s_{li}} \cdot \left(Q_{s_{li}} - \frac{Q_{ks_{li}}}{2} \right) + \sum_{f=1}^{f=p} Q_p \cdot R_{pf}^{\text{ж}} + R_{pp}^{\text{ж}} \cdot \left(Q_p - \frac{Q_{ks_{li}}}{2} \right) \right). \quad (2.10)$$

З формули (2.10) видно, що установлення КУ в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька потужністю $Q_{ks_{li}}$ в різних вузлах дає різну величину δP_Σ . Це дає можливість вибрати таке місце установлення КУ, яке забезпечує найбільше зниження втрат.

2.2 Покроковий розрахунок компенсації реактивної потужності в розподільних мережах

Вибір місць установлення КУ в розподільних мережах мікрорайону Вишенька не може проводитися одночасно в усіх вузлах по наступним причинам:

- дефіцит коштів;
- розподільні мережі належать різним підприємствам з різними фінансовими можливостями.

З іншої сторони:

- можливість розв'язання задачі в окремих частинах мережі не залежить або мало залежить від її розв'язання в інших частинах мережі;
- найкращий розв'язок для окремої частини мережі створює передумови для найкращого результату для всієї мережі: це забезпечує оптимальність процесу поетапного установлення КУ для всієї розрахункової мережі.

Доцільно розглянути установлення КУ в розподільних мережах даного району наступних частинах цієї схеми:

1. Мереж одного дерева (це можуть бути тільки мережі споживача), рис. 2.4;
2. Мереж кількох дерев однієї підстанції, рис. 2.5;
3. Мереж кількох дерев різних підстанцій, рис. 2.6;
4. Для всієї розрахункової схеми, рис. 2.1.

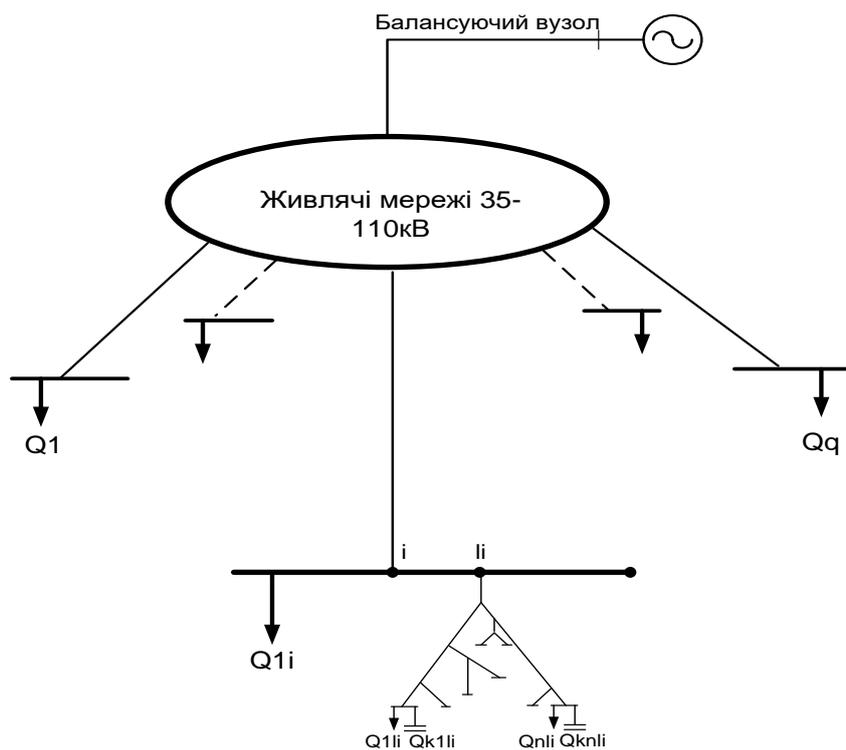


Рис. 2.4 - Розрахункова схема при розв'язанні задачі для двох дерев

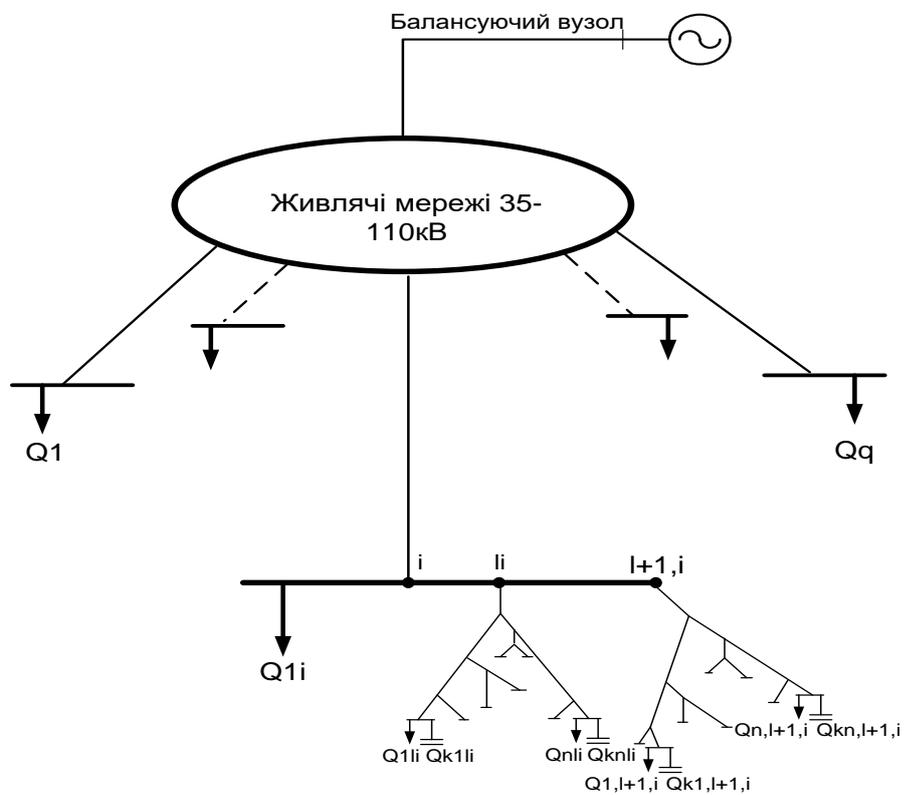


Рис. 2.5 - Розрахункова схема при розв'язанні задачі для двох дерев

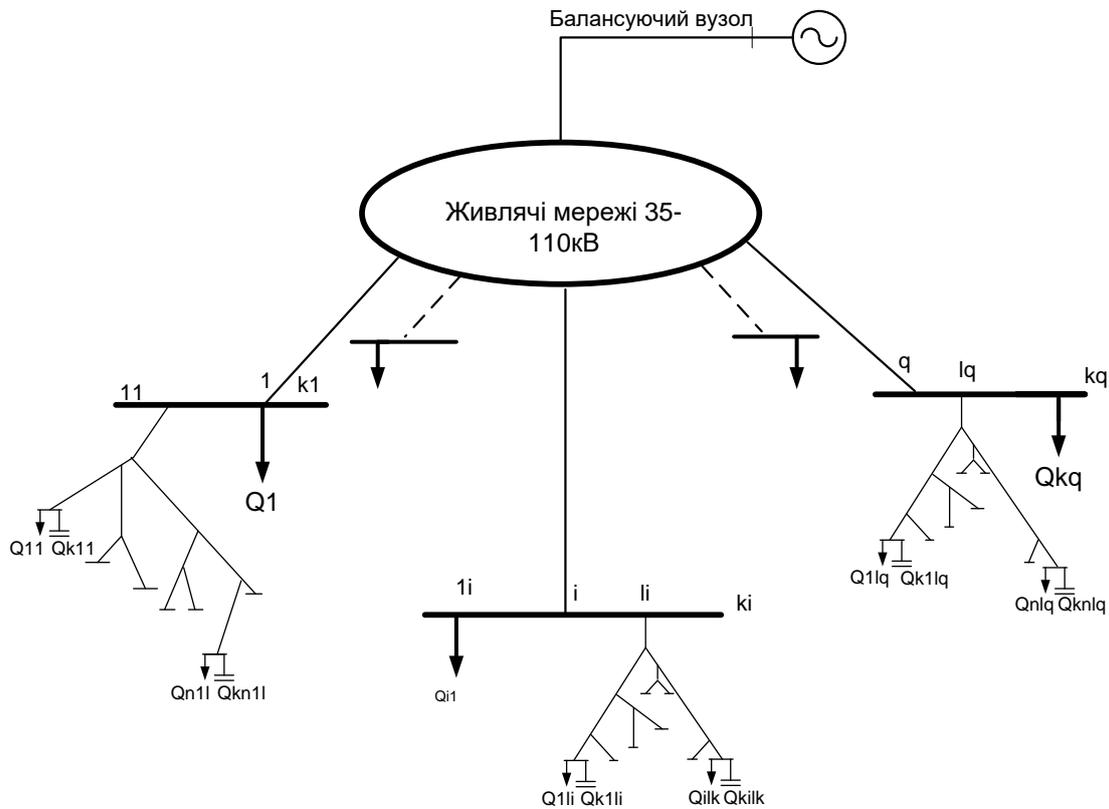


Рис. 2.6 - Розрахункова схема при розв'язанні задачі для дерев різних підстанцій

Проведемо розрахунок компенсації реактивної потужності в межах мереж l_i - го фідера (дерева), рис.2.3. Така задача може виникати:

- при установленні в силу фінансових обмежень тільки в вузлах одного фідера;
- на практиці при спорудженні нового фідера (його реконструкції).

Оптимальним процесом впровадження КУ будемо вважати таку послідовність їх установлення, яка досягається максимальним зниженням втрат електроенергії за період впровадження, при заданій сумарній потужності КУ.

Розглядаємо першу частину комплексної задачі зниження втрат та покращення рівнів напруги за рахунок раціонального вибору місць розташування та

потужностей КУ в електричній мережі. Задачу зниження втрат з допомогою КУ можна вважати відносно самостійною [22].

З формули (2.10) видно, що установлення КУ потужністю Q_{kps_i} в різних вузлах дерева l_i дає різну величину δP_{Σ} . Це дає можливість вибрати таке місце установлення КУ, яке забезпечує найбільше зниження втрат. При цьому необхідно врахувати, що в більшості вузлів розподільчих мереж установлення КУ неможливе по технічним причинам. Таким чином максимальне зниження втрат на i -ому етапі розрахунку визначається покроковим перебором всіх можливих місць установлення КУ

$$\delta P_{ps_{li}}^{\max} = \max_{s_{li}=1}^{n_{li}} (\delta P_{ps_{li}}), \quad (2.11)$$

Один крок розв'язання задачі полягає в розрахунку зниження втрат при установленні КУ в s_{li} -му вузлі l_i – дерева. Етап розрахунку – це сукупність кроків по визначенню місця установлення і потужності КУ, яка забезпечує максимальне зниження втрат на цьому етапі. При впровадженні етап має часову інтерпретацію.

При переборі здійснюється перевірка виконання наступних обмежень.

1. Неможливість зворотніх перетоків реактивної потужності:

$$\sum_{p=1}^m Q_{kps_{li}} < Q_{s_{li}}, \quad (2.12)$$

2. Величина потужності Q_{kij} на q -ому етапові розрахунку узгоджується з фінансовими можливостями мережі:

$$\sum_{j=1}^q \sum_{s_{li}=1}^{n_{li}} Q_{ks_{li}} c_k \leq B_3, \quad (2.13)$$

де c_k - питома вартість КУ,

B_3 - задана величина коштів, яка визначає задану величину потужності КУ $Q_{кз}$.

3. Допустимість рівнів напруги в вузлах установаження КУ:

$$U_{s_{li}} < U_{\text{доп}}, \quad (2.14)$$

де $U_{\text{доп}}$ - допустимий рівень напруги.

При цьому необхідно врахувати, що в більшості вузлів розподільчих мереж установаження КУ неможливе по технічним причинам.

Якщо вважати, що оптимальне установаження КУ на j -ому етапі розрахунку не впливає на оптимізацію $j+1$ - ому етапі, то сумарне максимальне зниження втрат $\delta P_{\Sigma}^{\text{max}}$ визначиться як

$$\delta P_{\Sigma}^{\text{max}} = \sum_{j=1}^m \delta P_j^{\text{max}}. \quad (2.15)$$

Сума величин δP_j^{max} на q -ому кроці відповідно (2.15) дозволяє знайти максимальне зниження втрат за всі попередні етапи, включаючи q -ий, за рахунок потужності Q_{kq} :

$$\delta P_{\Sigma}^{\text{max}}(Q_{kq}) = \sum_{j=1}^{j=q} \delta P_j^{\text{max}}, \quad (2.16)$$

$$\text{де } \sum_{j=1}^q Q_{ks_{li}j} = Q_{kq}.$$

Результати розрахунків по формулах (2.9-2.16) дозволяють побудувати залежність $\delta P_{\Sigma}^{\max} = f(Q_{kq})$. Функція $f(Q_{kq})$ відображає залежність максимального зниження втрат на кожному етапі від величини сумарної потужності Q_{kq} . Наявність цієї залежності дозволяє знайти максимально можливе зниження втрат від заданої величини коштів (сумарної потужності КУ) $Q_{k\Sigma}$ $\delta P_3^{\max} \stackrel{x}{=} f(Q_{kq})$ і навпаки оптимальну сумарну потужність КУ $Q_{k\Sigma}^0$ для забезпечення заданої величини втрат f_3 :

$$Q_{k\Sigma}^0 = f_3^{-1}(Q_{k\Sigma}),$$

де $f_3^{-1}(Q_{k\Sigma})$ значення функції, оберненої $f_3(Q_{k\Sigma})$, при заданій величині втрат f_3 [5].

Залежність $f_3(Q_{k\Sigma})$ можна інтерпретувати як траєкторію оптимального процесу устанавлення КУ. Координати якої дають можливість знаходити оптимальне розв'язання задачі компенсації реактивної потужності в електричних мережах при заданій величині коштів:

Згідно приведених положень на рис. 2.7 представлено алгоритм розрахунку траєкторії оптимального процесу поетапного впровадження КУ в розподільній мережі енергопостачальних компаній при умові дефіциту коштів.

Для розрахунку компенсації реактивної потужності в межах мереж двох дерев і-ої розподільної підсистеми (однієї підстанції) будується розрахункова схема і проводиться розрахунок відповідно алгоритму, рис. 2.7. На кожному кроці ми розглядаємо тільки один вузол одного дерева, тому алгоритм розрахунку такий же, як і в попередньому випадку.

1. Визначаємо вузли, в яких можна установити КУ
2. Розрахуємо δP_{ij}^P
3. Розрахуємо $\delta P_{i,jk}$
4. Розрахуємо δP_{ij}^Σ
5. Вибираємо вузол з максимальним значенням δP_{ij}^{\max}
6. Перевіряємо обмеження $\sum_{i=1}^m Q_{kij} < Q_{cj}$,
7. $Q_{kij} = Q_{cj}$
8. Перевіряємо обмеження $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{kij} c_k \leq B_3$
9. $Q_{kij} = Q_{kz}$
10. Будуємо залежність $\delta P_{\Sigma q}^{\max} (Q_{kq})$
11. Кінець розрахунку

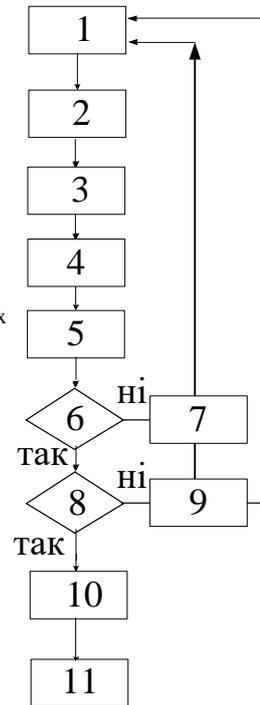


Рис. 2.7 - Алгоритм розрахунку траєкторії оптимального процесу поетапного впровадження КУ в розподільній мережі енергопостачальних компаній при умові дефіциту коштів

Очевидно для двох фідерів і більше різних підсистем задачу можна вирішувати також таким же чином як і для одного фідера. Тобто ми застосовуємо поетапну оптимізацію. При цьому на кожному кроці також використовується декомпозиція. Аналогічно проводиться розрахунок для мереж дерев різних підстанцій

Такий підхід дає можливість вирішувати задачу в цілому для всієї розрахункової мережі, враховуючи тільки частину мережі (декомпозиція мережі).

Приведені дослідження дають можливість сформулювати алгоритм оптимального впровадження КУ в розподільній мережі мікрорайону Вишенька таким чином:

1. Визначаємо підсистеми та дерева в них, в вузлах яких доцільно проводити

впровадження КУ.

2. Перевіряємо технічні умови установлення в вибраних вузлах.

3. Відповідно п. 1, 2 формуємо розрахункову мережу.

4. Для одержаної розрахункової мережі проводимо розрахунок по алгоритму, рис. 2.4.

В результаті ми одержуємо таку послідовність етапів установлення КУ в розрахунковій схемі, якій на кожному етапові відповідає максимальне зниження втрат електроенергії.

Висновки

1. При розв'язанні задачі компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах доцільно проводити їх декомпозицію, яка полягає в розділенні функції втрат потужності на дві складові: першу – зумовлену власне реактивними навантаженнями вузлів (власна складова втрат) та другу – зумовлену накладанням реактивних навантажень вузлів (спільна складова втрат).

2. Розроблено декомпозиційний метод впровадження КУ в розподільчі мережі енергопостачальних компаній, який дозволяє проводити розрахунок КРМ в окремих частинах розподільних мереж, враховуючи їх взаємний вплив та вплив живлячих мереж.

3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ МІКРОРАЙОНУ ВИШЕНЬКА, МІСТО ВІННИЦЯ

3.1 Метод оптимізації впровадження КУ по мінімуму приведених затрат

Інвестування впровадження КУ в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька може бути визнаним як один з шляхів пріоритетного зниження втрат або його необхідність може визначатися директивно, виходячи з інтересів держави. В такому випадку найкращий варіант впровадження КУ визначається по мінімуму приведених затрат на передачу та генерацію реактивної потужності як по мережам мікрорайону так і споживачів при відомій величині коштів на КУ.

Застосування показника приведених затрат доцільно застосовувати, коли всі мережі знаходяться на балансі однієї організації і задана нормативна величина економічної ефективності. Цей показник дає можливість вибрати найкращий варіант вкладання коштів в КУ при заданій величині економічної ефективності (заданому терміну окупності).

Розглянемо розв'язання задачі по мінімуму затрат на передачу та генерацію реактивної потужності в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька. Розрахункова схема для цього випадку представлено на рис. 3.1.

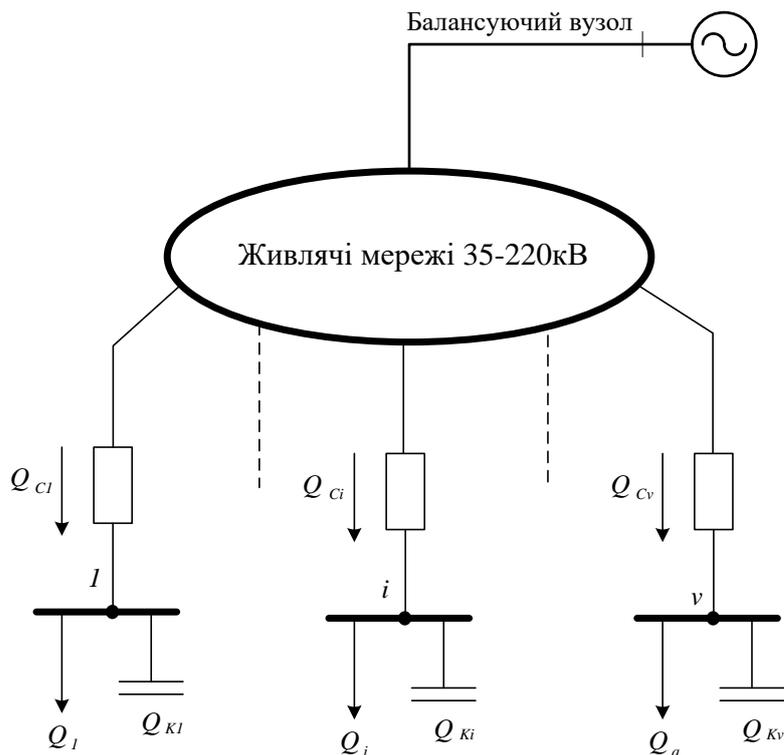


Рис. 3.1 - Розрахункова схема визначення вхідних реактивних потужностей

В розподільчих мережах в якості компенсуючих установок використовуємо конденсаторні установки (КУ), які встановлюються на шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ.

За розрахунковий режим приймаємо режим максимальних активних навантажень енергосистеми, тобто при розрахунках враховуємо реактивні навантаження i -их підсистем в період максимальних активних навантажень енергосистеми Q_i .

Критерієм оптимальності вхідних реактивних потужностей є мінімум приведених затрат на передачу та генерацію реактивних потужностей.

В цьому випадку математична модель розв'язання задачі запишеться таким чином:

$$Z = \frac{c_0}{U_H^2} \left(\mathbf{Q}_c^t \cdot \mathbf{R}' \cdot \mathbf{Q}_c + \sum_1^N Q_{ci}^2 R_{ei} \right) + 3_{BK} \sum_1^N (Q_i - Q_{ci}) \rightarrow \min \quad (3.1)$$

за умови

$$Q_{ci} \leq Q_i, \quad (3.2)$$

де $\mathbf{R}_ж$ - матриця вузлових активних опорів живлячої мережі;

\mathbf{Q}_c - матриця потоків реактивних потужностей, які передаються від ЕК (енергосистеми) до живлячих вузлів, тобто матриця вхідної реактивної потужності;

Q_i - розрахункові реактивні навантаження живлячих вузлів у період максимуму активних навантажень енергосистеми;

c_0 - вартість втрат активної потужності [21];

$Z_{КУ}$ - питомі затрати на установку і експлуатацію КУ.

Питомі затрати $Z_{КУ}$ відповідно [21] визначаються як:

$$Z_{КУ} = (p_H + p_\Sigma) \cdot c_k + c_0 p_{КУ},$$

де c_k – питома вартість КУ;

p_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

p_Σ - коефіцієнт сумарних відрахувань на амортизацію та обслуговування КУ;

$p_{КУ}$ – питомі втрати активної потужності в КУ.

Диференціюючи функцію (3.1) по незалежним змінним Q_{ci} одержимо систему лінійних рівнянь:

$$\begin{aligned} R_{ж11}Q_{c1} + R_{ж12}Q_{c2} + \dots + R_{ж1N}Q_{cN} + R_{e1}Q_{c1} &= C; \\ R_{ж21}Q_{c1} + R_{ж22}Q_{c2} + \dots + R_{ж2N}Q_{cN} + R_{e2}Q_{c2} &= C; \\ \dots & \\ \dots & \\ R_{жN1}Q_{c1} + R_{жN2}Q_{c2} + \dots + R_{жNN}Q_{cN} + R_{eN}Q_{cN} &= C, \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\text{де } C = \frac{3_{\text{КУ}} \cdot U_{\text{Н}}^2}{2c_0}.$$

В матричній формі (3.3) буде виглядати як:

$$RQ_c = C, \quad (3.4)$$

де R - матриця вузлових активних опорів, сформована по відношенню до вузлів навантаження; $R_{ii} = R_{\text{жii}} + R_{\text{ei}}$; $R_{ij} = R_{\text{жij}}$;

C - стовпчикова матриця, всі елементи якої C .

Відповідно знаходимо матрицю оптимальних значень вхідної реактивної потужності:

$$Q_c^{\text{опт}} = R^{-1}C \quad (3.5)$$

Для потужних промислових підприємств мікрорайону Вишенька, які живляться від мереж (35-220) кВ, визначені величини Q_{ci} є оптимальними величинами в.р.п. Для підприємств, які живляться від мереж (6-10) кВ, розрахунки необхідно продовжити.

Розрахунок вхідних реактивних потоків для кожного вузла зводиться до мінімізації втрат активної потужності від перетоків реактивної потужності:

$$\Delta P_{li} = \frac{1}{U_{\text{Н}}^2} Q_{li}^t R_{li} Q_{li} \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

за виконання умов

$$Q_{s_{li}}^{ек} \leq Q_{s_{li}}, s_{li} = 1, \dots, n_{li}; \quad (3.7)$$

$$\sum_{s_{li}=1}^{n_{li}} Q_{s_{li}}^{ек} = Q_{ci}^{опт}, \quad (3.8)$$

де $Q_{s_{li}}$ - в р.п. s_{li} -го вузла кількість підприємств, і-ої підсистеми.

Відповідно визначається матриця вхідної реактивної потужності для окремих вузлів:

$$q_{ci} = A^{-1}B, \quad (3.9)$$

де A і B - матриці, елементи яких визначаються через величини активних опорів і-ої підсистеми, U_n та $Q_{ci}^{опт}$.

При визначенні в.р.п. по формулах (3.6, 3.9) доцільно використовувати еквівалентний опір R_e , розрахований шляхом паралельно-послідовного додавання активних опорів елементів розглянутої мережі [51]. Запропонований метод може використовуватися як для еквівалентування розподільчих мереж 6-10 кВ енергосистеми, так і для внутрішніх розподільчих електричних мереж мікрорайону Вишенька.

Функція затрат на передачу та генерацію реактивної потужності має пологий характер в зоні оптимального розв'язку. Це вносить певні особливості при розв'язанні задачі. Зокрема викладений метод не враховує те, що до мереж ЕК постійно приєднуються нові споживачі, що потребує коригування ВРП для усіх вузлів. Практично такі коригування реалізувати складно, оскільки це пов'язано з установленням нових секцій конденсаторних установок (КУ) або демонтажем частини існуючих секцій КУ і потребує додаткових затрат. У зв'язку з цим необхідна розробка такого методу коригування ВРП споживачів, який забезпечував би економічно прийнятні результати шляхом мінімальної кількості цих коригувань.

Матриця величин потужностей КУ, які доцільно установити в вузлах мереж, запишеться таким чином:

$$Q_{KY} = Q - R^{-1}C, \quad (3.10)$$

де Q – матриця, елементи якої є величини Q_i .

При приєднанні до мережі ЕК нового споживача матриця оптимальних значень КУ $Q_{KY\Pi}$ запишеться:

$$Q_{KY\Pi} = Q_{\Pi} - (R_{\Pi}^{-1}) \cdot C \quad (3.11)$$

де Q_{Π} , R_{Π} – відповідно матриці Q , R після приєднання нового споживача.

Очевидно, оптимальні значення потужностей КУ у вузлах діючих споживачів до і після приєднання нового споживача не рівні між собою:

$$Q_{KYi} \neq Q_{\Pi KYi}, \quad (3.12)$$

Відповідно необхідно змінювати їх потужність на значення:

$$\Delta Q_{KYi} = \left| Q_{KYi} - Q_{\Pi KYi} \right|. \quad (3.13)$$

Такі зміни доцільно проводити з урахуванням економічної стійкості оптимального розв'язання задачі компенсування реактивної потужності, яка запишеться так:

$$\frac{Z_{\Pi}}{Z_{\text{опт}}} - 1 < \xi_d, \quad (3.14)$$

де Z_{Π} – поточне значення затрат на передавання та генерування реактивної потужності в електричній мережі, що відповідає частковому коригуванню ВРП, $Z_{\text{опт}}$ – значення цих затрат, що відповідає коригуванню ВРП усіх споживачів (оптимальному розв’язуванню задачі після приєднання нового споживача), $\xi_{\text{д}}$ – задана величина відхилення поточних затрат від оптимальних [39, 52].

Виконання нерівності (3.14) дозволяє проводити коригування ВРП не для всіх споживачів, а тільки для їх певної кількості.

Завдяки економічній стійкості оптимального розв’язання задачі компенсування реактивної потужності можна визначити ВРП для нового споживача при незмінності потужностей КУ всіх діючих споживачів. Якщо після цього умова (3.14) не виконується, то необхідно коригувати ВРП існуючих вузлів. Виникає питання: яким чином проводити це коригування, щоб забезпечити економічно-прийнятне рішення?

Очевидно, коригування ВРП необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити максимальне зниження затрат при мінімальній кількості таких коригувань. Відповідно математична модель оптимізації процесу коригування ВРП запишеться так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^p \delta z_i^{\max}(Q_{ki}) \rightarrow \max, \\ p \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^p \delta z_i^{\max}(Q_{ki}) > Z_{\text{пот}} - Z_{\text{опт}}(1 + \xi_3), \end{array} \right. \quad (3.15)$$

де $\delta z_i^{\max}(Q_{ki})$ – максимальне зниження затрат на i -ому кроці коригування ВРП; Q_{ki} – значення потужності КУ в i -ому вузлі після коригування; p – кроки коригування ВРП.

Таким чином першим кроком в розв'язанні математичної моделі (3.15) є знаходження максимального значення затрат $\delta Z_i^{\max}(Q_{ki})$ при мінімальній кількості коригувань. Далі знаходимо вузол, для якого коригування ВРП дає найбільше зниження затрат на і-ому кроці коригування:

$$\delta Z^{\max} = \max[\delta Z_1, \delta Z_2, \dots, \delta Z_n]. \quad (3.16)$$

Після чого розраховуємо значення поточних затрат після вказаного коригування ВРП і перевіряємо умову (3.14). Якщо ця умова не виконується, то відповідно (3.16) знаходимо вузол, в якому необхідно проводити коригування.

Відповідно до приведених положень на рис. 3.2 представлено алгоритм коригування ВРП з урахуванням впливу економічної стійкості [53-55].



Рис. 3.2 - Блок-схема алгоритму коригування ВРП з урахуванням економічної стійкості

3.2 Корегування вхідних реактивних потужностей

Визначити доцільність коригування ВРП для споживачів розподільчої мережі 10 кВ мікрорайону Вишенька, заступна схема якої наведена на рис. 3.3, при приєднанні до неї нового споживача. На схемі показані існуючі потоки реактивної потужності до приєднання нового споживача, реактивні навантаження споживачів в кварах і

величини активних опорів елементів в Ом, приведені до напруги 10 кВ. Мережа приєднана до шин 10 кВ підстанції 110/10 кВ, яка живиться лінією 110 кВ. Також до шин 10 кВ приєднані інші споживачі з реактивним навантаженням $Q_{ін} = 6059,5$ квар. Допустиме відхилення затрат від оптимального значення $\xi_{д} = 0,05$. Питома вартість КУ – 60 грн./квар, час найбільших втрат активної енергії для даної мережі $\tau = 2800$ год., тариф на активну енергію $T = 0,23$ грн./кВт·год, $p_{н} = 0,1$, $p_{\Sigma} = 0,05$.

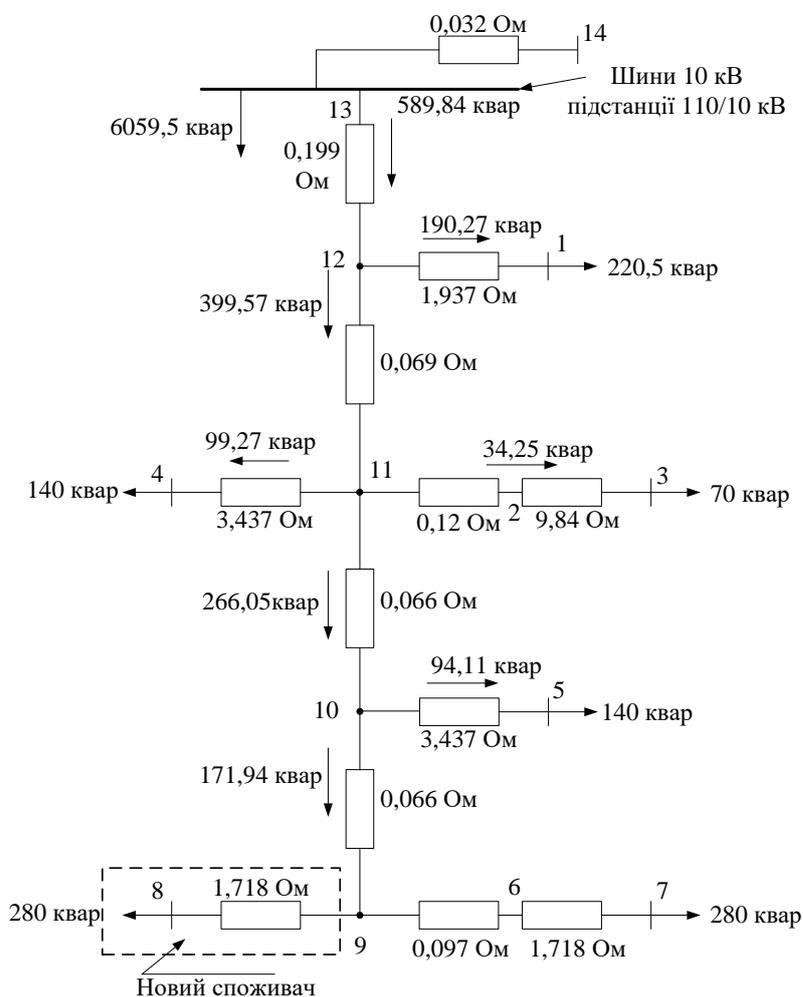


Рис. 3.3 - Заступна схема електричної мережі мікрорайону Вишенька

Розв'язування:

Знаходимо значення еквівалентного опору з новим споживачем:

$$Y_{14-15} = \frac{1}{R_{9-6} + R_{6-7}} + \frac{1}{R_{8-9}} = \frac{1}{0,097 + 1,718} + \frac{1}{1,718} = 6,717 \text{ (} \frac{1}{\text{Ом}} \text{)},$$

$$R_{14-15} = \frac{1}{Y_{14-15}} = \frac{1}{6,717} = 0,149 \text{ (Ом)},$$

$$Y_{15-16} = \frac{1}{R_{14-15} + R_{9-10}} + \frac{1}{R_{5-10}} = \frac{1}{0,149 + 0,066} + \frac{1}{3,437} = 4,942 \text{ (} \frac{1}{\text{Ом}} \text{)},$$

$$R_{15-16} = \frac{1}{Y_{15-16}} = \frac{1}{4,942} = 0,202 \text{ (Ом)},$$

$$Y_{16-17} = \frac{1}{R_{15-16} + R_{10-11}} + \frac{1}{R_{4-11}} + \frac{1}{R_{2-11} + R_{2-3}} = \frac{1}{0,202 + 0,066} + \frac{1}{3,437} + \frac{1}{0,12 + 9,84} = 4,123 \text{ (} \frac{1}{\text{Ом}} \text{)},$$

$$R_{16-17} = \frac{1}{Y_{16-17}} = \frac{1}{4,123} = 0,243 \text{ (Ом)},$$

$$Y_{17-18} = \frac{1}{R_{16-17} + R_{11-12}} + \frac{1}{R_{1-12}} = \frac{1}{0,243 + 0,069} + \frac{1}{1,937} = 3,721 \text{ (} \frac{1}{\text{Ом}} \text{)},$$

$$R_{17-18} = \frac{1}{Y_{17-18}} = \frac{1}{3,721} = 0,269 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{екв}} = R_{17-18} + R_{12-13} = 0,269 + 0,199 = 0,468 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо реактивну потужність після приєднання нового споживача:

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{3_K \cdot (p + p_\Sigma) \cdot U^2 \cdot 10^3}{2 \cdot (R_{\text{екв}} + R_{\text{ж}}) \cdot T \cdot \tau} - \frac{Q_{\text{ж}} \cdot R_{\text{ж}}}{R_{\text{екв}} + R_{\text{ж}}} = \\ &= \frac{120 \cdot 0,15 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{2 \cdot (0,032 + 0,468) \cdot 3000 \cdot 0,42} - \frac{8190 \cdot 0,052}{0,032 + 0,468} = 648,24 \text{ (ВАр)}. \end{aligned}$$

Визначаємо значення затрат, що відповідає оптимальному розв'язуванню задачі

після приєднання нового споживача:

$$Z_{\text{опт}} = \frac{Q_c^2 \cdot R_{\text{екв}} \cdot T \cdot \tau}{U^2} + Z_k \cdot (p + p_\Sigma) \cdot (\sum Q - Q_c) = \frac{648,24^2 \cdot 0,468 \cdot 3000 \cdot 0,4}{10^2 \cdot 10^3} +$$

$$+ 120 \cdot 0,15 \cdot (220,5 + 140 + 70 + 140 + 280 + 280 - 648,24) = 2369 \text{ (грн)}.$$

Знаходимо значення еквівалентного опору без нового споживача:

$$Y_{14-15} = \frac{1}{R_{9-6} + R_{6-7} + R_{9-10}} + \frac{1}{R_{5-10}} = \frac{1}{1,718 + 0,097 + 0,066} + \frac{1}{3,437} = 0,823 \text{ (1/Ом)},$$

$$R_{14-15} = \frac{1}{Y_{14-15}} = \frac{1}{0,823} = 1,215 \text{ (Ом)},$$

$$Y_{15-16} = \frac{1}{R_{14-15} + R_{10-11}} + \frac{1}{R_{5-11} + R_{2-3}} + \frac{1}{R_{4-11}} = \frac{1}{1,215 + 0,066} + \frac{1}{0,12 + 9,84} + \frac{1}{3,437} = 1,172 \text{ (1/Ом)},$$

$$R_{15-16} = \frac{1}{Y_{15-16}} = \frac{1}{1,172} = 0,853 \text{ (Ом)},$$

$$Y_{16-17} = \frac{1}{R_{15-16} + R_{11-12}} + \frac{1}{R_{1-12}} = \frac{1}{0,853 + 0,069} + \frac{1}{1,937} = 1,601 \text{ (1/Ом)},$$

$$R_{16-17} = \frac{1}{Y_{16-17}} = \frac{1}{1,601} = 0,625 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{екв}} = R_{16-17} + R_{12-13} = 0,625 + 0,199 = 0,824 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо реактивну потужність після приєднання нового споживача:

$$Q_c = \frac{Z_k \cdot (p + p_\Sigma) \cdot U^2 \cdot 10^3}{2 \cdot (R_{\text{екв}} + R_{\text{ж}}) \cdot T \cdot \tau} - \frac{Q_{\text{ж}} \cdot R_{\text{ж}}}{R_{\text{екв}} + R_{\text{ж}}} =$$

$$= \frac{120 \cdot 0,15 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{2 \cdot (0,032 + 0,468) \cdot 3000 \cdot 0,42} - \frac{8190 \cdot 0,052}{0,032 + 0,468} = 378,645 \text{ (ВАр)}.$$

Відповідно розраховуємо поточне значення затрат на передавання та генерування реактивної потужності в електричній мережі:

$$Z_1 = \frac{Q_c^2 \cdot R_{\text{екв}} \cdot T \cdot \tau}{U^2} + Z_k \cdot (p + p_\Sigma) \cdot (\sum Q - Q_c) = \frac{378,645^2 \cdot 0,824 \cdot 3000 \cdot 0,4}{10^2 \cdot 10^3} + \\ + 120 \cdot 0,15 \cdot (220,5 + 140 + 70 + 140 + 280 + 280 - 378,645) = 1431 \text{ (грн)}.$$

Знаходимо значення відхилення поточних затрат від оптимальних:

$$\xi = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_{\text{опт}}} - 1 = \frac{1431 + 947,476}{2369} - 1 = 0,004.$$

Оскільки $\xi < \xi_{\text{д}}$, то у даному випадку недоцільно коригувати ВРП діючих споживачів.

3.3 Економічна частина. Економічне визначення послідовності встановлення КУ

На рис.3.4 показана розрахункова схема ділянки РМ мікрорайону Вишенька та її основні параметри. Розрахункові реактивні навантаження задані в кВАрах. В табл. 3.1 приведені величини активних опорів елементів заданої схеми, приведених до номінальної напруги мережі $U_n=10$ кВ. Коефіцієнти потужності всіх навантажень рівні 0,9.

Знайти послідовність установлення КУ, яка забезпечує максимальне зниження втрат, якщо фінансові можливості РМ дозволяють установити КУ потужністю 230 кВАр.

Таблиця 3.1 - Приведені величини активних опорів елементів заданої схеми

Назва елемента на схемі	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-630	Ділянки кабельних ліній			
				9-10	9-8	8-7	7-6
Активний опір елемента, Ом	6	3,7	1,9	0,032	0,73	0,05	0,13

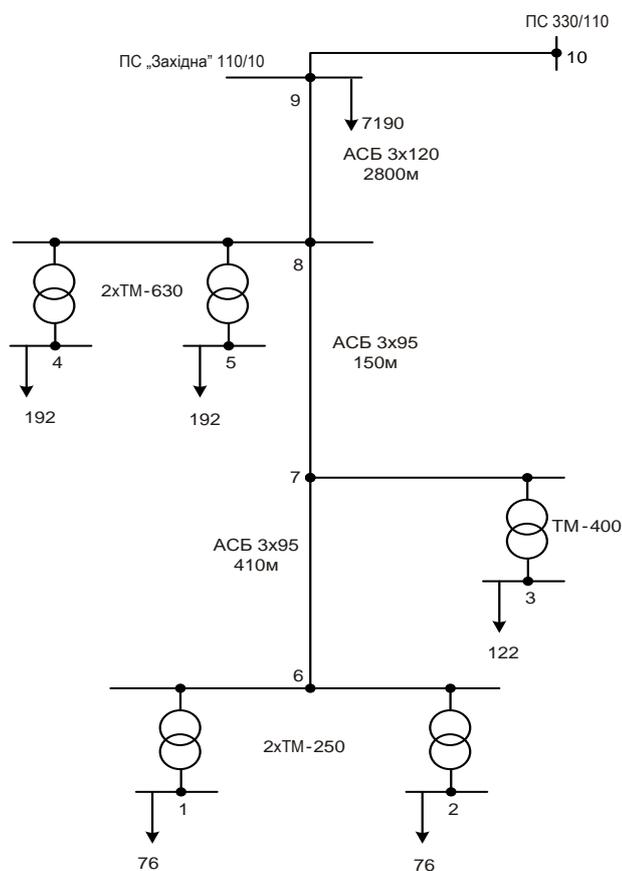


Рис.3.4 - Розрахункова схема ділянки РМ мікрорайону Вишенька

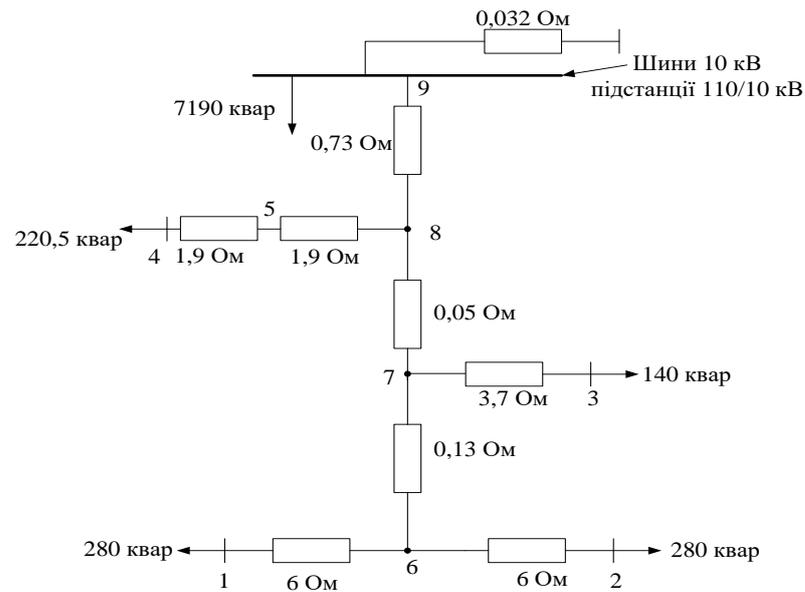


Рис.3.5 – Схема заміщення ділянки РМ мікрорайону Вишенька

При установленні КУ в 1 – му вузлі відповідно розробленого методу декомпозиції, розрахункова схема буде мати вигляд, рис.3.6.

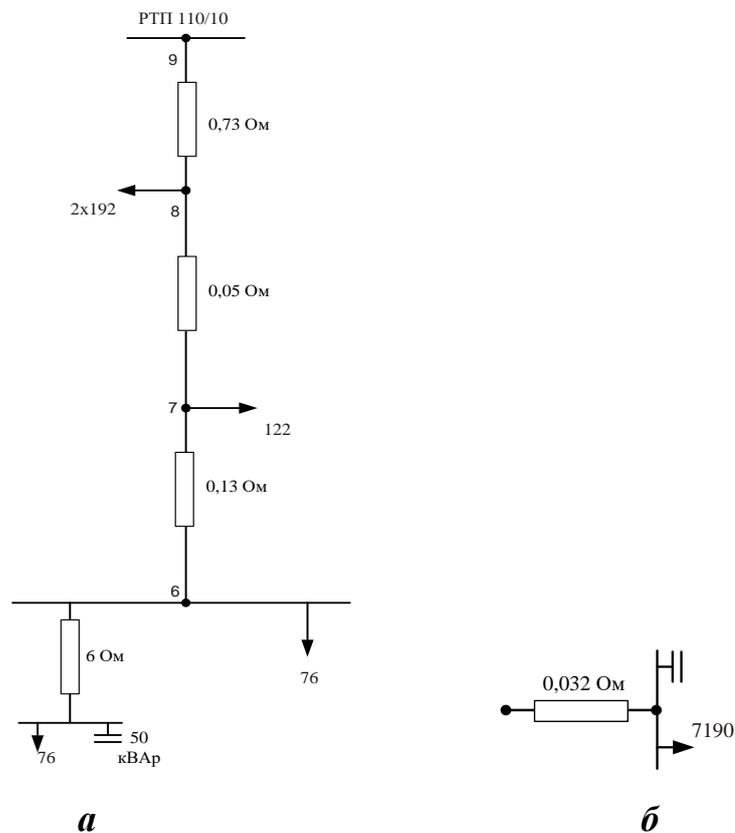


Рис. 3.6 - Розрахункова схема відповідно розробленого методу декомпозиції:

а) – розподільні мережі; б) – живильні мережі.

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{11} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 122 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 797,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{12} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 122 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 797,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{13} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 122 \cdot 50 - 50^2) = 853,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{14} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 122 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 192 \cdot 50 - 50^2) = 812,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{14} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 122 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 192 \cdot 50 - 50^2) = 812,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Потужність КУ, яка встановлюється на кожному кроці оптимізації впровадження приймемо $Q_{kij}=50$ кВАр.

Отже, на першому етапі розрахунків РМ мікрорайону Вишенька можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 3-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 3-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_3 = 122 - 50 = 72 \text{ (квар)}$$

На другому етапі аналогічно перераховуємо зниження втрат активної потужності вже з встановленою КУ в 3-му вузлі.

Другий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{21} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 758,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{22} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 758,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{23} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 629,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{24} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 192 \cdot 50 - 50^2) = 773,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{25} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 192 \cdot 50 - 50^2) = 773,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 4-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 4-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_4 = 192 - 50 = 142 \text{ (квар)}$$

Третій етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{31} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ &+ (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 721,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{32} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ &+ (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 721,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{33} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 192 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 592,7 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{34} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 192 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 642,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{35} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 192 \cdot 50 - 50^2) = 737,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 5-му вузлі, оскільки саме в ньому

найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 5-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_4 = 192 - 50 = 142 \text{ (квар)}$$

Четвертий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{41} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ &+ (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 685,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{42} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ &+ (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 685,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{43} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 556,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{44} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 605,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{45} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 605,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 1-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 1-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_1 = 76 - 50 = 26 \text{ (квар)}$$

П'ятий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{51} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 339,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{52} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 76 \cdot 50 - 50^2) = 639,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{53} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 510,7 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{54} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 560,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{55} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 76 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 560,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 2-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 2-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_2 = 76 - 50 = 26 \text{ (квар)}$$

Шостий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{61} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 294,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{62} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 294,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{63} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 465,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{64} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 514,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{65} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 514,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 4-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 4-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_4 = 142 - 50 = 92 \text{ (квар)}$$

Сьомий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{71} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 257,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{72} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ &+ (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 257,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{73} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 142 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 428,7 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{74} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 142 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 383,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{75} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ &+ 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 142 \cdot 50 - 50^2) = 478,35 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 5-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 5-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_5 = 142 - 50 = 92 \text{ (квар)}$$

Восьмий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{81} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KV1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 221,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{82} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KV1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 221,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{83} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KV1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 72 \cdot 50 - 50^2) = 392,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{84} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KV1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 346,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{85} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KV1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 72 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 346,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 3-му вузлі, оскільки саме в ньому

найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 3-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_3 = 72 - 50 = 22 \text{ (квар)}$$

Дев'ятий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{91} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 182,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{92} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 182,05 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{93} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 22 \cdot 50 - 50^2) = 168,2 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{94} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 307,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{95} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + \\ & + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 307,85 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 4-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 4-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_4 = 92 - 50 = 42 \text{ (квар)}$$

Десятий етап

Визначимо зниження втрат активної потужності в 1-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{101} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{1-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 42 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 145,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 2-му вузлі:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{102} = & \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + \\ & + (R_{2-6} + R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + \\ & + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 42 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (6 + 0,13 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 26 \cdot 50 - 50^2) = 145,55 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

Зниження втрат активної потужності в 3-му вузлі:

$$\delta(\Delta P)_{103} = \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{3-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 42 \cdot 0,73 + 92 \cdot 0,73)] + (3,7 + 0,05 + 0,73) \cdot (2 \cdot 22 \cdot 50 - 50^2) = 131,7 \text{ (Вт)}$$

Зниження втрат активної потужності в 4-му вузлі:

$$\delta(\Delta P)_{104} = \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_5 \cdot (R_{8-9})) + (R_{4-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 92 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 42 \cdot 50 - 50^2) = 176,35 \text{ (Вт)}$$

Зниження втрат активної потужності в 5-му вузлі:

$$\delta(\Delta P)_{105} = \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY1} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_2 \cdot (R_{6-7} + R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_3 \cdot (R_{7-8} + R_{8-9}) + Q_4 \cdot (R_{8-9})) + (R_{5-8} + R_{8-9}) \cdot (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY1} - Q_{KY1}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 26 \cdot (0,13 + 0,05 + 0,73) + 22 \cdot (0,05 + 0,73) + 42 \cdot 0,73)] + (1,9 + 0,73) \cdot (2 \cdot 92 \cdot 50 - 50^2) = 271,35 \text{ (Вт)}$$

Отже, за проведеними розрахунками на другому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 5-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 5-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_5 = 92 - 50 = 42 \text{ (квар)}$$

На кожному кроці було знайдено максимальні зниження втрат і відповідні місця установлення КУ. В результаті отримано, що КУ доцільно установлювати послідовно в таких вузлах: 3–4–5 – 1 – 2 – 4 – 5 – 3 – 4 – 5.

При установленні на першому кроці в живильній мержі КУ потужністю 50 квар зниження втрат активної потужності в цій мережі визначиться як:

$$\delta(\Delta P)_1 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 50 - 50^2) \cdot 0,032 = 229,28 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_2 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 100 - 100^2) \cdot 0,032 = 456,96 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_3 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 150 - 150^2) \cdot 0,032 = 683,04 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_4 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 200 - 200^2) \cdot 0,032 = 907,52 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_5 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 250 - 250^2) \cdot 0,032 = 1130,4 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_6 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 300 - 300^2) \cdot 0,032 = 1351,68 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_7 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 350 - 350^2) \cdot 0,032 = 1571,36 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_8 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 400 - 400^2) \cdot 0,032 = 1789,44 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_9 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 450 - 450^2) \cdot 0,032 = 2005,92 \text{ (Вт)}.$$

$$\delta(\Delta P)_{10} = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{KV1} - Q_{KV1}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 500 - 500^2) \cdot 0,032 = 2220,8 \text{ (Вт)}.$$

Результати розрахунків 2-го та інших етапів заносимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків зниження втрат активної потужності в розподільних мережах

Етапи	Вузли					№ вузла, в якому встановлюємо КУ
	1	2	3	4	5	
1	797,05	797,05	853,2	812,85	812,85	3
2	758,05	758,05	629,2	773,85	773,85	4
3	721,55	721,55	592,7	642,35	737,35	5
4	685,05	685,05	556,2	605,85	605,85	1
5	339,55	639,55	510,7	560,35	560,35	2
6	294,05	294,05	465,2	514,85	514,85	4
7	257,55	257,55	428,7	383,35	478,35	5

Продовження таблиці 3.2

8	221,05	221,05	392,2	346,85	346,85	3
9	182,05	182,05	168,2	307,85	307,85	4
10	145,55	145,55	131,7	176,35	271,35	5

На кожному кроці було знайдено максимальні зниження втрат і відповідні місця установлення КУ в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця. В результаті отримано, що КУ доцільно установлювати послідовно в таких вузлах: 3– 4– 5 – 1 – 2 – 4 – 5 – 3 – 4 – 5.

При установленні на першому кроці в живильній мержі КУ потужністю 50 квар зниження втрат активної потужності в цій мережі визначиться як:

$$\delta(\Delta P)_1 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot Q_{\text{КУ1}} - Q_{\text{КУ1}}^2) \cdot R_{9-10} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7190 \cdot 50 - 50^2) \cdot 0,032 = 229,28 \text{ (Вт)}.$$

Аналогічно знаходимо величини $\delta(\Delta P)$ для потужностей 100, 150, 200, 250,300,350, 400, 450, 500 кВАр.

Отримані значення занесемо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків зниження втрат активної потужності в живильних мережах

Етапи	$\delta(\Delta P)$
1	229,28
2	456,96
3	683,04
4	907,52
5	1130,4
6	1351,68
7	1571,36
8	1789,44
9	2005,92
10	2220,8

За результатами розрахунків на рис.3.7. приведено залежність зниження втрат від сумарної потужності КУ в електричних мережах мікрорайону Вишенька (1,2,3 - графіки функції зниження втрат відповідно в розподільних, живлячих мережах та їх сумарного зниження від сумарної потужності КУ).

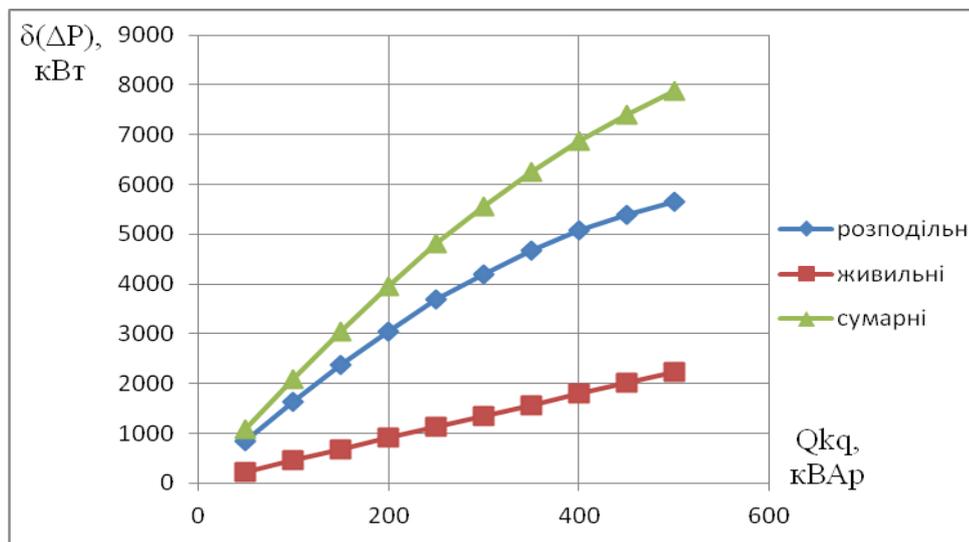


Рис. 3.7 - Графіки функції зниження втрат відповідно в розподільних, живлячих мережах та їх сумарного зниження від сумарної потужності КУ в електричних мережах мікрорайону Вишенька

На рис.3.8 показана розрахункова схема ділянки РМ та її основні параметри. Розрахункові реактивні навантаження задані в кВАрах. В табл. 3.4 приведені величини активних опорів елементів заданої схеми, приведених до номінальної напруги мережі $U_n=10$ кВ. Коефіцієнти потужності всіх навантажень рівні 0,9.

Знайти послідовність установа КУ, яке забезпечує максимальне зниження втрат.

Таблиця 3.4 - Приведені величини активних опорів елементів заданої схеми

Назва елемента на схемі	ТМ-250	ТМ-400	ТМ-600	ТМ-630	Ділянки кабельних ліній				
					13-14	12-13	11-12	10-11	9-10
Активний опір елемента, Ом	9,84	3,437	1,937	1,718	0,032	0,199	0,069	0,066	0,066

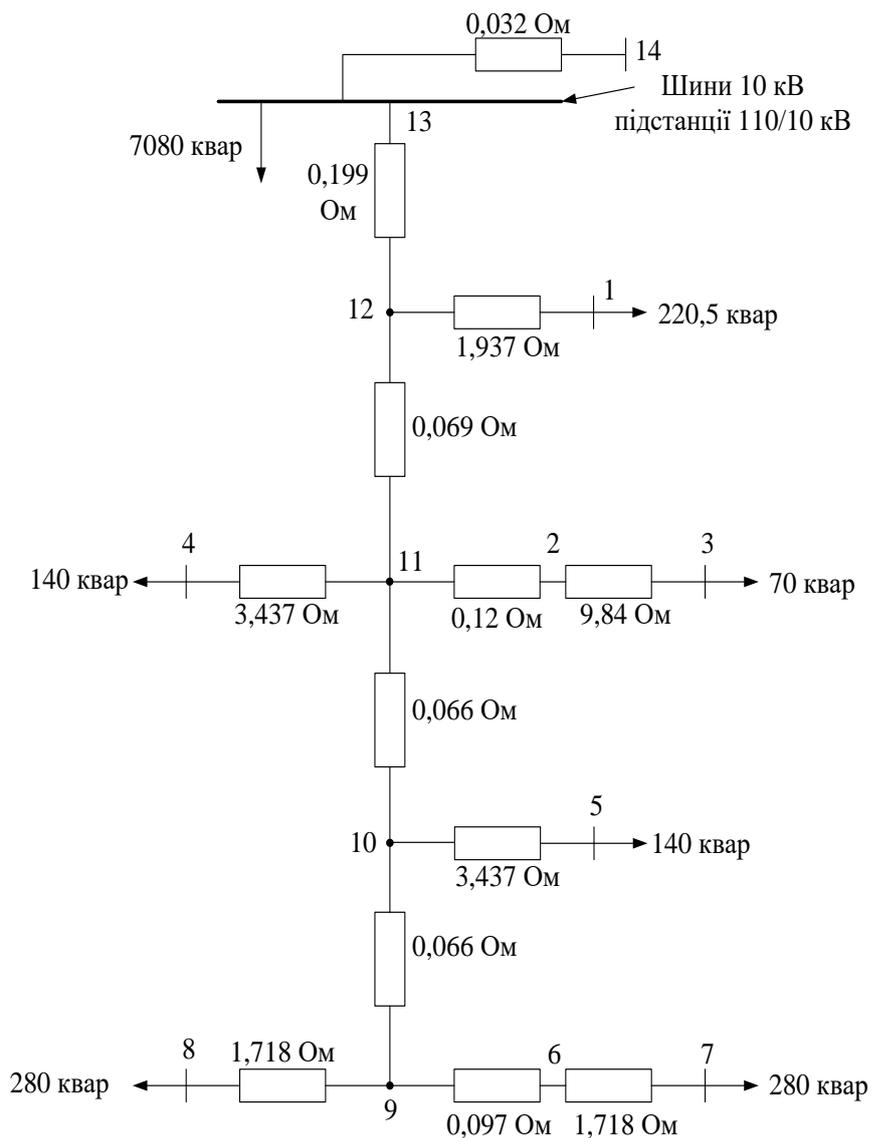


Рис.3.9 – Схема заміщення ділянки РМ

При установленні КУ в 1 – му вузлі відповідно розробленого методу декомпозиції, розрахункова схема буде мати вигляд, рис.3.10.

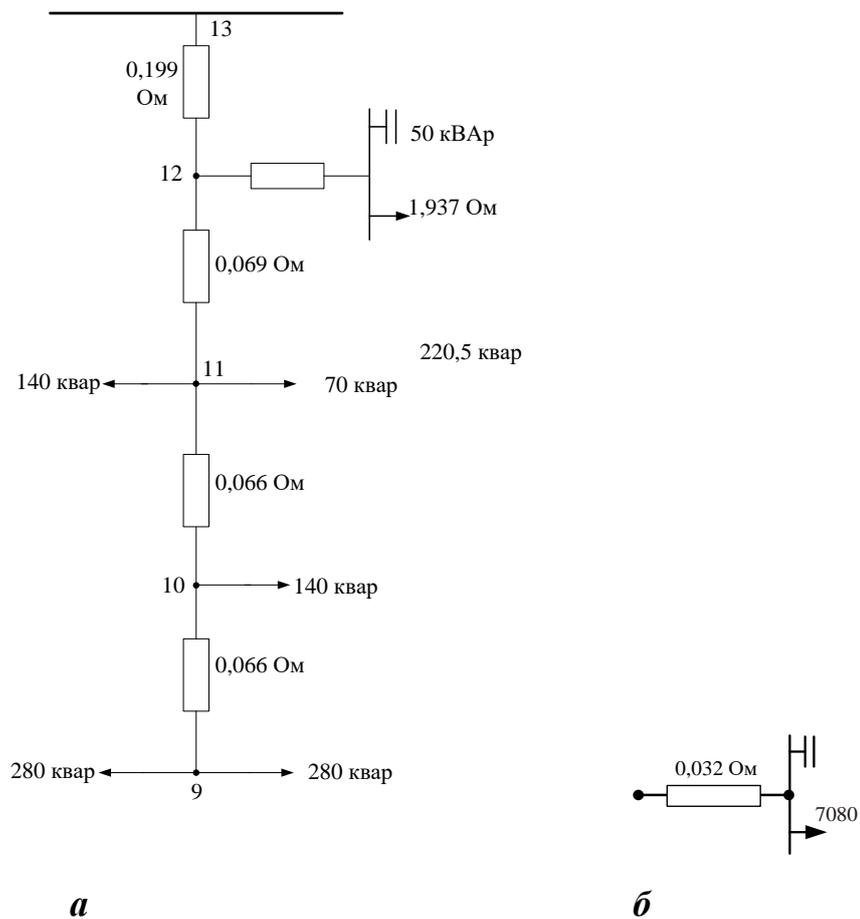


Рис. 3.10 - Розрахункова схема відповідно розробленого методу декомпозиції:
а) – розподільні мережі; б) – живильні мережі.

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{11} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (70 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 780,188 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{12} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 140 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 70 \cdot 50 - 50^2)] = 839,58 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{13} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 70 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 795,034 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{14} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 70 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 793,385 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{15} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{КУ} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{КУ} - Q_{КУ}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 70 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 280 \cdot 50 - 50^2)] = 832,144 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{16} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{КУ} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{КУ} - Q_{КУ}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 70 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 280 \cdot 50 - 50^2)] = 834,57 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Потужність КУ, яка встановлюється на кожному кроці оптимізації впровадження приймемо $Q_{kij}=50$ кВАр.

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 2-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 2-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_3 = 122 - 50 = 72 \text{ (квар)}$$

На другому етапі аналогічно перераховуємо зниження втрат активної потужності вже з встановленою КУ в 2-му вузлі.

Другий етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{21} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + 140 \cdot (0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 760,79 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{22} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937)) + 140 \cdot (0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 328,18 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{23} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13})) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937)) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 775,635 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{24} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 773,985 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{25} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 280 \cdot 50 - 50^2)] = 832,144 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{26} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 280 \cdot 50 - 50^2)] = 815,17 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 5-му вузлі, оскільки саме в ньому

найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 5-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_5 = 280 - 50 = 230 \text{ (квар)}$$

Третій етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{31} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 735,94 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{32} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 140 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 303,33 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{33} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 750,784 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{34} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 749,135 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{35} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 280 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 701,995 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{36} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 280 \cdot 50 - 50^2)] = 790,32 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 6-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 6-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_6 = 280 - 50 = 230 \text{ (квар)}$$

Четвертий етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{41} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 715,94 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{42} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 140 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 283,33 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{43} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 730,784 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{44} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 729,135 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{45} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937)) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 681,995 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{46} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937)) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 140 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 684,42 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 3-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 3-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_3 = 140 - 50 = 90 \text{ (квар)}$$

П'ятий етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{51} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 702,54 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{52} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 90 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 269,93 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{53} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 90 \cdot 50 - 50^2)] = 545,534 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{54} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 140 \cdot 50 - 50^2)] = 715,735 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{55} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 668,595 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{56} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 140 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 671,019 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 4-му вузлі, оскільки саме в ньому

найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 4-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_4 = 140 - 50 = 90 \text{ (квар)}$$

Шостий етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{61} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + 90 \cdot (0,069 + 0,199) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 220,5 \cdot 50 - 50^2)] = 685,84 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{62} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937)) + 90 \cdot (0,069 + 0,199) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 253,23 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{63} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 90 \cdot 50 - 50^2)] = 528,834 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{64} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 90 \cdot 50 - 50^2)] = 527,184 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{65} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 651,894 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{66} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (220,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 654,319 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на першому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 1-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 1-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_1 = 220,5 - 50 = 170,5 \text{ (квар)}$$

Сьомий етап

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 1-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{71} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{1-12} + R_{12-13}) \cdot (2 \cdot Q_1 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (1,937 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 170,5 \cdot 50 - 50^2)] = 579,04 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 2-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{72} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{2-3}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_2 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (170,5 \cdot (1,937) + 90 \cdot (0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (9,84 + 0,12 + 0,069 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 20 \cdot 50 - 50^2)] = 243,28 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 3-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{73} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{11-12} + R_{12-13} + R_{4-11}) \cdot (2 \cdot Q_3 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \\ &= \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (170,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,069 + 3,437 + 0,199) \times \\ &\times (2 \cdot 90 \cdot 50 - 50^2)] = 518,885 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 4-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{74} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + \\ &+ Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{5-10}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_4 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (170,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,069 + 0,199 + 3,437) \times \\ &\times (2 \cdot 90 \cdot 50 - 50^2)] = 517,235 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 5-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{75} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_6 \cdot (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{6-7} + R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_5 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (170,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 641,944 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Знайдемо величину зниження втрат активної потужності $\delta(\Delta P)$ для 6-го вузла:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta P)_{76} &= \frac{1}{U_H^2} \cdot [Q_{KY} \cdot 2 \cdot (Q_1 \cdot (R_{12-13}) + Q_2 \cdot (R_{2-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_3 \cdot (R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ Q_4 \cdot (R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13}) + Q_5 \cdot (R_{6-9} + R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13})) + \\ &+ (R_{9-10} + R_{10-11} + R_{11-12} + R_{12-13} + R_{8-9}) \times \\ &\times (2 \cdot Q_6 \cdot Q_{KY} - Q_{KY}^2)] = \frac{1}{10^2} \cdot [50 \cdot 2 \cdot (170,5 \cdot (1,937) + 20 \cdot (0,12 + 0,069 + 0,199)) + \\ &+ 90 \cdot (0,069 + 0,199) + 90 \cdot (0,066 + 0,069 + 0,199) + \\ &+ 230 \cdot (0,097 + 0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199)) + (0,066 + 0,066 + 0,069 + 0,199 + 1,718) \times \\ &\times (2 \cdot 230 \cdot 50 - 50^2)] = 644,37 \text{ (Вт)}. \end{aligned}$$

Отже, за проведеними розрахунками на цьому етапі можна зробити висновок, що КУ потрібно встановлювати у 6-му вузлі, оскільки саме в ньому найбільше зниження втрат активної потужності. Це означає, що втрати реактивної потужності в 6-му вузлі зкомпенсуються:

$$Q_6 = 230 - 50 = 180 \text{ (квар)}$$

Результати розрахунків 2-го та інших етапів заносимо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків зниження втрат активної потужності в розподільних мережах

Етапи	Вузли						№ вузла, в якому встановлюємо КУ
	1	2	3	4	5	6	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	780,19	839,58	795,034	793,385	832,144	834,57	2
2	760,79	328,18	775,635	773,985	812,745	815,17	5
3	735,94	303,33	750,784	749,135	701,995	790,32	6
4	715,94	283,33	730,784	729,135	681,995	684,42	3
5	702,54	269,93	545,534	715,735	668,595	671,019	4
6	685,84	253,23	528,834	527,184	651,894	654,319	1
7	579,04	243,28	518,885	517,235	641,944	644,37	6
8	559,04	223,28	498,885	497,234	621,944	538,469	5
9	534,19	198,43	474,034	472,385	511,195	513,62	1
10	427,39	188,48	464,084	462,434	501,244	503,669	6
11	407,39	168,48	444,084	442,434	481,244	397,769	5
12	382,54	143,63	419,234	417,584	370,494	372,919	3
13	369,14	130,23	233,985	404,184	357,094	359,519	4
14	352,44	113,53	217,285	215,635	340,394	342,82	1
15	245,64	103,58	207,335	205,685	330,445	332,869	6
16	225,64	83,58	187,335	185,685	310,445	226,97	5
17	200,79	58,73	162,484	160,835	199,695	202,12	6
18	180,79	38,73	142,484	140,835	179,695	96,22	1
19	73,988	28,779	132,535	130,885	169,745	86,269	6

На кожному кроці було знайдено максимальні зниження втрат і відповідні місця установлення КУ. В результаті отримано, що КУ доцільно встановлювати послідовно в таких вузлах: 2-5-6-3-4-1-6-5-1-6-5-3-4-1-6-5-6-1-6.

При установленні на першому кроці в живильній мержі КУ потужністю 50 квар зниження втрат активної потужності в цій мережі визначиться як:

$$\delta(\Delta P)_1 = \frac{1}{U_H^2} \cdot (2 \cdot 7080 \cdot Q_{\text{КУ1}} - Q_{\text{КУ1}}^2) \cdot R_{13-14} = \frac{1}{10^2} \cdot (2 \cdot 7080 \cdot 50 - 50^2) \cdot 0,032 = 225,76 \text{ (Вт)}.$$

Аналогічно знаходимо величини $\delta(\Delta P)$ для потужностей 100, 150, 200, 250,300,350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950 кВАр. Отримані значення занесемо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунків зниження втрат активної потужності в живильних мережах

Етапи	$\delta(\Delta P)$
1	2
1	225,76
2	449,92
3	672,48
4	893,44
5	1113
6	1330,56
7	1546,72
8	1761,28
9	1974,24
10	2185,6
11	2395,36
12	2603,52
13	2810,08
14	3015,04
15	3218,4
16	3420,16
17	3620,32
18	3818,88
19	4015,84

За результатами розрахунків на рис.3.11 приведено залежність зниження втрат від сумарної потужності КУ (1,2,3 - графіки функції зниження втрат відповідно в розподільних, живлячих мережах та їх сумарного зниження від сумарної потужності КУ).

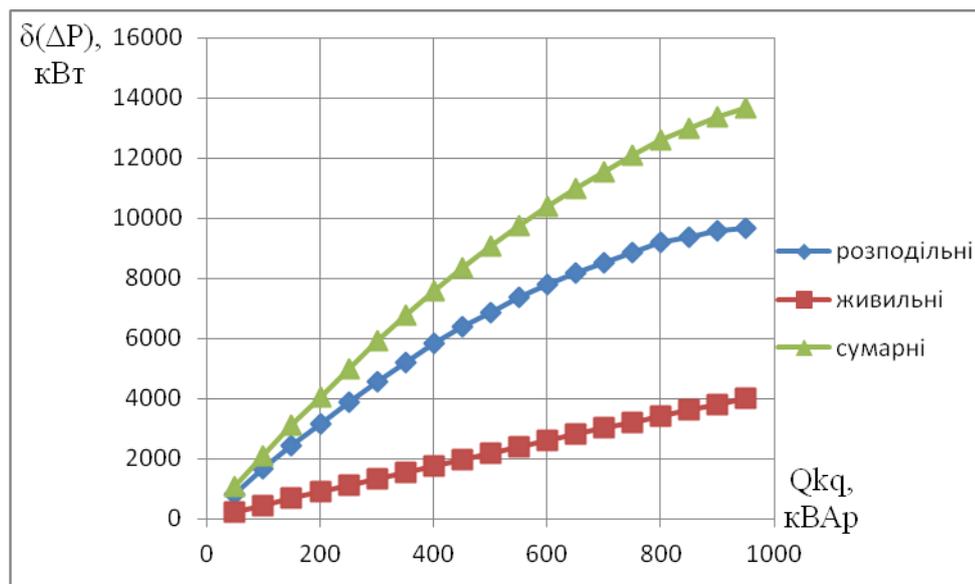


Рис. 3.11 - Графіки функції зниження втрат відповідно в розподільних, живлячих мережах та їх сумарного зниження від сумарної потужності КУ

Висновки до розділу

1. Приєднання нових споживачів до електричної мережі мікрорайону Вишенька, місто Вінниця потребує коригування вхідних реактивних потужностей.

2. Коригування вхідних реактивних потужностей доцільно проводити з урахуванням економічної стійкості оптимального розв'язання задачі компенсування реактивної потужності, що дозволить зменшити кількість коригувань і відповідно затрати на їх реалізацію.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Розглядаються умови охорони праці в приміщенні диспетчерського пункту розподільчих електричних мереж. В приміщенні диспетчерського пункту встановлені схеми-стенди для керування електричним обладнанням, два персональні комп'ютери та системи контролю і запису оперативних переговорів. При роботі в диспетчерському пункті на людину згідно з ГОСТ 12.0.003-73 впливають наступні небезпечні та шкідливі фактори:

1. фізичні:

- підвищена та понижена температура робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- недостатність природного освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищена та понижена швидкість руху повітря;
- рухомі частини обладнання;

2. хімічні:

- загальнотоксичні речовини (оксиди вуглецю, оксиди азоту...);

3. психофізіологічні:

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

4.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

Для живлення обладнання диспетчерського пункту використовується трьохпровідна однофазна електромережа з глухозаземленим нульовим проводом напругою 220В.

Для запобігання електротравм, пов'язаних з пошкодженням ізоляції та переходом напруги на нормально неструмоведучі елементи, використовується захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання нормально неструмоведучих частин електрообладнання із "землею" чи її еквівалентом. Також використовується занулення – навмисне електричне з'єднання нормально неструмоведучих елементів устаткування із заземленим нульовим проводом. При зануленні пробій на корпус призводить до короткого замикання (К.З.) фази (коло: нульовий провідник – фаза – фазний провідник – корпус споживача – нульовий провідник). Спрацьовує захист від короткого замикання (автомат з струмовим захистом чи плавкі запобіжники) – і пошкоджений споживач відключається від мережі.

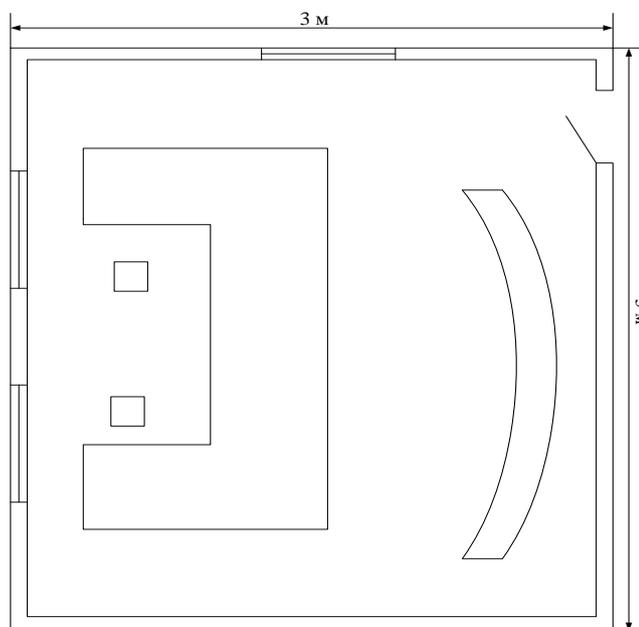


Рисунок 4.1 – План диспетчерського пункту

Будівля диспетчерського пункту споруджуються згідно з вимогами будівельних і санітарних норм (СНиП 2.09.02-85, СНиП 2.09 04-87, ДНАОП 0.03-3.01-71, ДНАОП 0.03-3.18-88). Об'єм виробничих приміщень на одного працівника складає 15 м^3 , а площа приміщень — не менше $4,5 \text{ м}^2$. Інтер'єр приміщень видавництва має відповідати СН 181-70, гама кольорів витримуватися в спокійних тонах з незначним їх контрастом залежно від орієнтації вікон відносно сторін світу. Підлога встановлена відповідно проекту. Розміщення робочих місць і проходи між робочими місцями встановлені відповідно стандартам. Робоча поверхня стола має знаходитися на висоті $0,70\text{—}0,77 \text{ м}$. ширина стола не менше $0,5 \text{ м}$. Висота сидіння стільця має бути $0,40\text{—}0,43 \text{ м}$.

Для зручного і безпечного обслуговування схеми-стенда, повинна бути наявна стрем'янка, яка має на кінцях резинові вкладки. Стрем'янка 1 раз на пів року перевіряється на відповідність їх технічним вимогам і випробовуються на міцність щаблі і цятина.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Відповідно до методичних вказівок параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t , $^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м).

Оптимальні (допустимі) параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт Іб) відповідно до наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Параметри мікроклімату в диспетчерському пункті

Період року	Категорія робіт	Допустима температура, °С	Допустима відносна вологість	Допустима швидкість руху кисню, м/с
Холодний	Легка: Іб	20-24	75	не більш 0,2
Теплий	Легка: Іб	21-28	55 при 27°С	0,1-0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату у приміщенні влаштовується припливно-витяжна вентиляція.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні диспетчерського пункту працює акумуляторна батарея, яка забезпечує безперервний запис оперативних переговорів. Вона виділяє такі шкідливі речовини, як оксиди вуглецю, оксиди азоту, сірчистий ангідрид та інші.

Інтенсивність теплового опромінювання працюючих від нагрівних поверхонь технологічного обладнання не повинна перевищувати 100 Вт/м^2 - при випромінюванні не більше 25 % поверхні тіла.

З метою профілактики теплових травм температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання не повинна перевищувати 45 С .

Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони котельні не повинна перевищувати ГДК. В таблиці 4.2 наведено ГДК шкідливих речовин, що є забруднювачами повітря робочої зони диспетчерського пункту.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери (ГДК)

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Азоту двоокис N ₂ O	0,085	0,085	2
Ангідрид сірчаний SO ₂	0,5	0,05	3
Вуглець (окис CO)	3	1	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони у приміщенні влаштовується припливно-витяжна вентиляція

4.2.3 Освітлення робочої зони

Приміщення диспетчерського пункту повинно бути забезпечене природнім освітленням, а в нічний час — електричним освітленням.

Місця, які з технічних причин не можна забезпечити природнім освітленням, повинні мати електричне освітлення. Освітленість повинна відповідати Сніп 11-4-79 "Природне та штучне освітлення".

Крім робочого освітлення в диспетчерських повинно бути резервне електричне освітлення.

Робоче і аварійне освітлення, електричне устаткування і його заземлення повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок.

Характеристика зорової роботи - загальні спостереження за проведенням виробничого процесу (постійне).

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення - (КПО) або e .

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{зов}}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де $E_{\text{вн}}$ - внутрішня природна освітленість у приміщенні в місці, що розглядається, лк; $E_{\text{зов}}$ - зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, заміряна одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості визначається за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (4.2)$$

де e_N – значення КПО;

m_N – коефіцієнт теплового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

$$e_N = 2 \cdot 0,9 = 1,8(\%).$$

Працівники диспетчерського пункту ведуть постійний нагляд за процесами, слідкують за показаннями приладів. Характеристика зорової роботи персоналу – високої точності. Контраст об'єкту розпізнавання з фоном – середній, фон – світлий. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, розряд зорової роботи III, підрозряд «г». При штучному загальному освітленні освітленість – 150 лк, при комбінованому освітленні – освітленість – 300 лк.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, люмінесцентні лампи, що обумовлюється наступними перевагами:

високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення грає важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Експлуатація електричних пристроїв включає:

- регулярне очищення віконних проїм будівель від забруднень;
- своєчасну заміну перегорілих ламп і контроль за рівнем напруги в освітлювальній мережі;
- реалізацію заходів, що сприяють зменшенню забруднення скла, як, наприклад, покриття скла спеціальними прозорими плівками, що легко видаляються при очищенні тощо;
- підвищення загального рівня культури експлуатації будівель, що забезпечує чистоту повітря у приміщенні і відсутність викиду в атмосферу пилу, а також регулярне фарбування та побілку.
- очищення скла у приміщеннях, де ведуться роботи з незначними виділеннями пилу, проводяться не рідше одного разу в рік, а побілка стелі і стін приміщень не рідше одного разу в три роки.

Очистку світильників рекомендується проводити не рідше двох разів на місяць. Ця робота може бути доручена тільки електрикам і повинна провадитися при відключеній напрузі в електромережі.

4.2.4 Виробничий шум

Джерелом шуму в приміщення диспетчерського пункту є шум від радіостанцій, вентиляторів і електричного обладнання.

В таблиці 4.3 наведено допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочому місці.

Таблиця 4.3 - Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку на робочому місці.

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньогометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на те- риторії підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Діючий рівень звуку в приміщенні становить 76 - 78 (А), що знаходиться в межах норми.

Захист від шуму повинен досягатись розробкою шумобезпечної техніки застосуванням засобів індивідуального захисту, а також будівельно-акустичними методами.

Основні технічні міри по зменшенню шуму:

- правильність проектування масивних фундаментів під віброактивне обладнання (дробинки, сепаратори, нагнітачі) з урахуванням динамічних навантажень;

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

- Основними методами боротьби з вібрацією устаткування є зниження вібрації впливом на джерело збудження, відхилення від режиму резонансу, динамічне гасіння коливань. Для зменшення вібрації обладнання встановлюється на гумові віброізолятори.

- існують наступні методи боротьби з вібрацією:

- віброізоляційний захист (зменшення передачі вібрації від джерела збудження за допомогою віброізоляторів);

- віброгасіння (зменшення рівня вібрації від джерела збудження за допомогою введення в систему додаткових реактивних опорів);

- вібропоглинання (застосовується для зменшення вібрації кожухів, коливання яких виникає в резонансовому режимі).

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії загрозливих чинників НС

В умовах зростання дефіцитності енергоносіїв і істотне підвищення їх вартості споживання вимагає посиленої уваги до енергозбереження та підвищення рівня енергобезпеки. Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів зумовлює для підприємств якісне виробництво, прийнятний рівень собівартості продукції, економічна самостійність та безпека.

На сучасному етапі розвитку наша держава, на жаль, залишається однією з найбільш енергоємних країн світу. А енергоємність валового внутрішнього продукту – основний показник ефективності економіки. В Україні цей показник у

кілька разів вищій, ніж у промислово розвинених країнах, що є наслідком технологічної відсталості, недосконалої галузевої структури вітчизняної економіки. Водночас невирішеним залишається питання надійності зберігання, транспортування та використання енергетичних ресурсів. Значну увагу слід приділяти впровадженню енергозберігаючих технологій та обладнання, стимулюванню економії енергоресурсів і запобіганню їх втратам.

Головну небезпеку для розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька становить землетрус, ударна хвиля, вторинні вражаючі. Приймачами ЕМІ являються предмети, які проводять електричний струм: лінії електропередач, управління, конденсаторні батареї, кабельні лінії, системи релейного захисту. Апаратура, яка не оснащена спеціальним захистом може бути пошкоджена внаслідок ЕМІ. Внаслідок проходження гамма-випромінювання через елементи електронної апаратури. Внаслідок переміщення вільних зарядів може виникнути імпульс який може призвести до хибного спрацювання пристроїв. Також наслідком такого опромінення є підвищення провідності матеріалів, збільшення протікання струму і зменшення опору, в газорозрядних приладах зменшується напруга запалення. Таким чином елементи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька можуть раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації. Визначимо два фактори найнебезпечніших.

4.3.1 Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо експозиційні дози, при яких в елементах РЕМ можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю 4.5.

Самий уразливий елемент системи – фотодіоди блоку управління релейного захисту і автоматики.

Визначаємо можливу дозу опромінення:

$$D_M = \frac{2P_1(\sqrt{t_K} - \sqrt{t_{II}})}{K_{\text{посл}}}, \quad (4.3)$$

де $K_{\text{посл}}$ - коефіцієнт послаблення, 1

t_K - час початку опромінення, 1 рік

t_{II} - максимальна тривалість роботи до 20 років

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,29(\sqrt{175200} - \sqrt{1})}{1} = 3583 (P) .$$

Таблиця 4.5 – Експозиційні дози елементів підсистем ЕМ

Підсистеми	Елементи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька	$D_{\text{грн i, (P)}}$	$D_{\text{гр, P}}$
Блок управління автоматизованими ділянками	Контролер	10^6	10^3
	Діод	10^4	
	Мікросхеми	10^5	
	Перетворювач струму	10^5	
	Нормативний перетворювач швидкості	10^5	
Система керування РЗ та автоматики	Магнітний пускач	10^5	
	Тумблер	10^2	
	Транзистори	10^4	
	Конденсатор	10^7	
Мікропроцесорна система	Мікросхема П1 регулятор струму	10^4	
	Блок РЗ	10^5	
	Тахогенератор	10^4	

Визначаємо допустимий час роботи обладнання:

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{посл}} + 2 \cdot P_1 \sqrt{t_n}}{2P_1} \right)^2, [\text{год}] \quad (4.4)$$

$$t_{\text{дон}} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4,29 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,29} \right)^2 = 13818, (\text{год}) .$$

Порівняємо отримані дані:

$$D_{гр} = 103 (P) < D_M = 3583 (P).$$

Отже, так як $D_{гр} = 10^3 P < D_M = 3583 P$, то для забезпечення стійкості роботи розподільних електричних мереж $K_{посл}$ потрібно збільшити в 3,5 рази. Робота обладнання буде стійкою протягом 13818 годин.

4.3.2 Дослідження стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька в умовах дії ЕМІ

При дослідженні стійкості роботи електричних мереж проводиться аналіз і ризику відказів роботи всіх елементів, що піддаються дії ЕМІ. Забезпечення високої надійності роботи електротехнічної і електронної апаратури, кабельних і повітряних ліній може бути досягнуто при наявності високого перехідного затухання в захисних екранах.

За критерій безпеки роботи в умовах дії ЕМІ можна прийняти коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{б(в,г)} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_d}{U_{(г)}} \right) \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (4.1)$$

де U_d – допустима напруга живлення, В;

$U_{г}$ – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань горизонтальних струмоведучих частин, В;

Визначимо допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\partial} = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot n = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В)}$$

де n – допустиме коливання напруги ($n = \pm 5\%$);

$U_{жс}$ – напруга живлення ($U_{жс} = 12 \text{ В}$).

Горизонтальна складова напруженості електричного поля:

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_{\text{вмакс}} = 11,78 \text{ (В/м)}.$$

Значення максимальних довжин струмопровідних частин (в горизонтальних і вертикальних частинах) на кожній ділянці $l_{\text{в}}$, l_{Γ} зведемо в таблицю. Визначаємо горизонтальну і вертикальну напругу наводки на струмоведучих частинах та відповідні коефіцієнти безпеки:

Для блоку живлення:

$$U_{\text{в}} = E_{\Gamma} \cdot l_{\text{в}} = 11,78 \cdot 0,2 = 2,36 \text{ (В)},$$

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot l_{\Gamma} = 11,78 \cdot 1,1 = 12,96 \text{ (кВ)},$$

$$K_{\text{бв}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{12,6}{2,36}\right) = 14,55 \text{ (дБ)},$$

$$K_{\text{бг}} = 20 \cdot \lg\left(\frac{12,6}{12,53}\right) = -0,24 \text{ (дБ)}.$$

Для всіх інших блоків розрахунків проводиться аналогічно і результати заносимо в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Дані розрахунку по різним блокам ЕМ

Елемент ЛЕС	l_{Γ} , (м)	$l_{\text{в}}$, (м)	$K_{\text{бв}}$, (дБ)	$K_{\text{бг}}$, (дБ)	Стан об'єкта
Блок живлення	0,2	1,1	14,56	-0,24	не стійкий
Релейний захист та автоматика	0,12	0,36	19,00	9,46	не стійкий
Блок прийому і передачі	1,2	0,95	-1,00	1,03	не стійкий
Вимірювальні трансформатори	0,41	1,3	8,33	-1,69	не стійкий
Диференціальний захист підстанцій та РП	0,24	0,42	12,98	8,12	не стійкий
Струмовий захист підстанцій та РП	0,36	0,63	9,46	4,60	не стійкий

Так як $K_{6(B,r)} < 40\text{дБ}$, то апаратура буде не стійка в роботі і тому є потреба проводити екранування.

4.4 Розробка заходів по підвищенні стійкості роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька у надзвичайних ситуаціях

Для забезпечення якомога швидшого відновлення виробництва на випадок виходу з ладу основних джерел енергоживлення повин бути створений резерв джерел (пересувні електростанції і насосні агрегати з автономними двигунами).

Стійкість систем електропостачання об'єктів підвищують, підключаючи його до декількох джерел живлення, віддалених одне від одного на відстань.

Для забезпечення надійного управління діяльністю об'єкта у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу в одному із сховищ обладнується пункт управління. Диспетчерські пункти і радіовузли розміщують по можливості у найміцніших спорудах і підвальних приміщеннях. Повітряні лінії зв'язку до найважливіших виробничих ділянок переводять на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку можна підвищити прокладанням енергопостачальних фідерів на автоматичну телефонну станцію (АТС) та радіовузлу об'єкта, підготовкою пересувних електростанцій для заряджання акумуляторів АТМ і для живлення радіовузла при відключенні основних джерел електропостачання. При розширенні мережі підземних кабельних ліній необхідно прокладати дводровові, захищені екранами від впливу ЕМІ.

Для цього проведемо розрахунок товщини стінки екрану. Вибираємо сталевий екран $K_e = 5,2$.

Система живлення:

$$t = \frac{A_e}{K_e \cdot \sqrt{f}}; \quad (4.2)$$

$$t_1 = -\frac{-0,24 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,063 \text{ (см)};$$

Релейний захист та автоматика:

$$t_2 = -\frac{9,46 - 40}{5,2 \sqrt{15000}} = 0,048 \text{ (см)};$$

Блок прийому і передачі:

$$t_3 = -\frac{1,03 - 40}{5,2 \sqrt{15000}} = 0,061 \text{ (см)};$$

Вимірювальні трансформатори:

$$t_4 = -\frac{-1,69 - 40}{5,2 \sqrt{15000}} = 0,065 \text{ (см)};$$

Диференціальний захист підстанцій та РП:

$$t_5 = -\frac{8,12 - 40}{5,2 \sqrt{15000}} = 0,05 \text{ (см)};$$

Струмовий захист підстанцій та РП:

$$t_6 = -\frac{4,6 - 40}{5,2 \sqrt{15000}} = 0,056 \text{ (см)}.$$

Таким чином при екрануванні системи живлення з використанням екрану товщиною 0,063 см з сталі, система автоматики буде стійкою в умовах дії ЕМІ. При екрануванні схем релейного захисту використанням екрану товщиною 0,048 см з сталі, схеми постійного струму будуть стійкими в умовах ЕМІ. Для схем блоку прийому передачі потрібен екран товщиною 0,061 см, для схем вимірювальних трансформаторів потрібен екран товщиною 0,065 см, для схем диференціального захисту потрібен екран товщиною 0,05 см та для схем струмового захисту потрібен екран товщиною 0,056 см.

Висновки

Отже, в даному розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було розглянуто іонізуючі випромінювання та електромагнітний імпульс, які

найбільше впливають на роботу елементів станції, тому оцінка безпеки роботи розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька є необхідною.

Для безпечної роботи в умовах електромагнітного імпульсу необхідно провести розрахунок при коефіцієнті безпеки, за якого умови сприятливі і не впливають на здоров'я працюючих. Розрахунки показали, що в умовах дії електромагнітних випромінювань, безпечна робота розподільних електричних мереж мікрорайону Вишенька гарантується при розрахованих значеннях горизонтальних і вертикальних складових напруженості електричного поля.

За умови застосування всіх розроблених заходів по підвищенню стійкості роботи розподільних електричних мереж в умовах надзвичайних ситуацій робота всіх блоків буде стійкою, а виробничий процес не буде перериватись.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі отримали подальший розвиток методів розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах, що полягає в розробці декомпозиції цих мереж при розв'язанні задачі.

1. Розроблено декомпозиційні методи розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах, які порівняно з існуючими методами, дозволяють зменшити об'єм вхідної інформації необхідної для розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних мережах енергопостачальних компаній.

2. Приєднання нових споживачів до мереж енергопостачальних компаній потребує корегування вхідних реактивних потужностей. Декомпозиція мережі дозволяє зменшити кількість корегувань і відповідно затрати на їх реалізацію.

3. Розглянуто основні питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях і проведено аналіз найважливіших факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы): [учеб. пособие для вузов] – М. : Высшая школа, 1975.–280с.
3. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.
4. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей.– М. : Энергоатомиздат, 1990.–200 с.
5. Демов А.Д. Определение входных реактивных мощностей для городских потребителей электроэнергии. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Киевск. политехн. ин-т. – К., 1984. – 15 с.
6. Григораш Ю. А., Демов О. Д., Бандура О. І. Розрахунок поетапного впровадження конденсаторних установок в розподільні мережі енергопостачальних компаній // Проблеми і перспективи енергозбереження комунального господарства і промислових підприємств: міжнар. наук. сем. : тези допов. – Луцьк, 2010. – С. 65-68.
7. Павловський В.В., Куденко Г. Е. Инженерный расчет потерь мощности и энергии в электрических сетях, основанный на моделировании установившихся режимов. // Электрические сети и системы. – 2004. – № 3. – С. 17-22.
8. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях. – М. : Энергоиздат, 1981. – 216 с.
9. Козлов В.А. Городские распределительные электрические сети. – Л. : Энергия, 1971. – 280 с.
10. Мельников Н.А. Электрические сети и системы. – М. : Энергия, 1969. – 456 с.
11. Солдаткина Н.А. Электрические сети и системы. – М. : Энергия, 1972. –272 с.
12. Маркович И.М. Режимы электрических систем . – [изд 4-е, переработ. и доп.] – М. : Энергия, 1969. – 352 с.
13. Электрические системы, Т.2. Электрические сети / под ред. В.А. Веникова. – М. : Высшая школа, 1971. – 438 с.
14. Холмский В.Г., Щербина В.Г., Колесников С.В. Решение проектной задачи оптимального распределения реактивных мощностей методом потенциалов затрат // Электрические сети и системы. – 1968. – Львов : Вища школа – вип.4 – С. 69.
15. Мельников Н.А., Солдаткина Н.А. Регулирование напряжения в электрических сетях – М. : Энергия, 1968. – 124 с.

16. Економіка підприємства. Під ред. С.Ф. Покропивного. В 2 т. К.: Хвиля-Прес. – 1995. – 782 с.
17. Железко Ю.С. Стратегия снижения потерь и повышения качества электроэнергии в электрических сетях // Электричество. – 1992. – №5. – С. 6 – 12.
18. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – Москва : ЭНАС, 2009. – 456 с.
19. Глазунов А. А. Электрические сети и системы : – [изд 4-е, переработ. и доп.] / А. А. Глазунов, А. А. Глазунов. – Москва : Госэнергоиздат, 1960. – 368 с.
20. Зорин В.В. Моделирование и оптимизация режимов электрических сетей. Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.14.02/ Моск. энерг. ин-т. – М., 1983. – 34 с.
21. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях [Утв. Госэнергонадзором СССР 30.08.73] –М.: Энергия, 1974. – 73 с.
22. Основы построения промышленных сетей / Г.М. Каялов, Є.А.Каждан, И.Н.Ковалев, Э.Г.Куренный. – М.: Энергия, 1978 – 112 с.
23. Гительсон С.М. Экономические решения при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1971. –256 с.
24. Грейсх М.В., Лазарев С.С. Расчеты по электроснабжению промышленных предприятий: Энергоатомиздат , 1971 – 312 с.
25. Руководящие указания по повышению коэффициента мощности в установках потребителей электрической энергии. – М.: Госэнергоиздат, -1961.
26. Гудко Є.І., Демов О.Д., Терешкевич Л.Б. Про доцільність установлення конденсаторних батарей у промислових електричних мережах у сучасних економічних умовах // Енергетика и електрифікація, 1997. – №2 – С. 12
27. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
28. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2006. – 236с.
29. Рогальський Б.С. Методи розрахунку електроспоживання і компенсуючих установок та системи управління ними(на промислових підприємствах, включаючи нерудні кар'єри). Дис. д-ра техн. наук: 05.09.03 – Дніпропетровськ, 1999. – 301с.
30. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами// Офіційний вісник України. – 2002. – №6. – С. 25 – 31.
31. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача)[Затверджено наказом № 1 Міністерством палива та енергетики України від 05.01.2006 р.]

32. Карпов Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М. : Энергия, 1975. – 184 с
33. Козырь В.Н. Исследования условия оптимальной компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 / Моск. энерг. ин-т. – М., 1973. – 29с.
34. Д.А. Арзамасцев, А.В. Липес, А.Л. Мызин Модели оптимизации развития энергосистем. – М. : Высшая школа, 1987. – 272 с.
35. Дале В.А., Кришан З.П., Паэгле О.Г. Динамическое программирование в расчетах развития электрических сетей. Рига, 1969. – 120 с.
36. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики / Мелентьев Л. А. – М. : Высшая школа, 1976. – 336 с.
37. Веников В. А., Журавлев В. Г., Филиппова Т. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем – Москва : Энергоиздат, 1981. – 464 с.
38. Горнштейн В. М., Мирошниченко Б. П., Пономарев А. В. Методы оптимизации режимов энергосистем. - М. : Энергия. – 1981. – 336с.
39. Веников В. А. Электрические системы. Кибернетика электрических систем / Под ред. Веникова В. А. – М. : “Высшая школа”, 1974. – 328 с.
40. Горбачов В. О. Технології моделювання систем. Харків “Компанія СМІТ”, 2005. – С. 180.
41. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
42. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И. В. Лекции по теории сложных систем – М. : Советское радио, 1973 – 440с.
43. Журавлев В.Г., Арион В.Д. Применение принципа сокращения схемы для наивыгоднейшего размещения источников реактивной мощности. // Промышленная энергетика – 1976. – № 4. – С. 36-39.
44. Сиуда И.П., Свешников В. И. Алгоритм расчета мощности компенсирующих устройств в сетях электроэнергетических систем. // Известия академии наук СССР, 1978. – № 2. – С. 148 - 152.
45. Зорин В. В., Демов А. Д. Особенности определения мест установки и мощности батарей конденсаторов в узлах городской сети. Республиканский межведомственный научно–технический сборник: Электрические сети и системы. – Львов: Вища школа, 1981, вып. 17.
46. Инструкция по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях. // Промышленная энергетика. – 1990 г. – №7. – 50-55 с.
47. Инструкция по системному расчету реактивной мощности в электрических сетях. – М. : Союзтехэнерго, 1981. – 25с

48. Шидловский А.К., Борисов Б.П. Симметрирование однофазных и двухплечевых электротехнологических установок. – К.: Наукова думка, 1977. – 160с.
49. Шидловский А.К., Музыченко О.Д. Симетруючі пристрої. К.: Техніка, 1970. – 164с.
50. Толасов А.Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена. // Электрические станции. – 2002 – №1. – 20-25 с.
51. Демов О.Д. Планування електроспоживання промислових підприємств та управління ним. Монографія : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2001. – 103с
52. Черемісін М.М., Романченко В.І. Економічні розрахунки в інженерній діяльності (на прикладах задач електроенергетики). – Харків “Факт”, 2006. – с. 168.
53. Демов О.Д., Свиридов М.П., Паламарчук О.П., Захаров В.В. Метод коректування вхідних реактивних потужностей //Електронний журнал “Наукові праці Вінницького національного університету”.-2008.- №1.
54. Демов О. Д. Паламарчук О. П. Коригування вхідних реактивних потужностей споживачів з урахуванням економічної стійкості. // Технічна електродинаміка, 2009. – № 5. – С. 44 – 47.
55. Демов О. Д., Паламарчук О. П. Оптимізація процесу коректування вхідних реактивних потужностей споживачів // Тези доп. ІХ міжнар. конф. КУСС – 2008. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – С. 151.
56. Дюбин Г. Н., Суздаль В. Г. Введение в прикладную теорию игр. / М. : Наука. – 1981. – 336 с.
57. Демов О.Д., Гуменна Н.М., Паламарчук О.П., Захаров В.В. Використання сільських електростанцій для зниження втрат електроенергії в електричних мережах. „Енергетика і електрифікація” № 8, 2007. С. 37-40.
58. Використання місцевих електростанцій для компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров, Н. М. Гуменна. // Промелектро, 2007.–№ 3.–С.23 – 26.
59. Ще раз про доцільність використання місцевих електростанцій для компенсації реактивної потужності в розподільчих мережах енергопостачальних компаній / О. Д. Демов, О. П. Паламарчук, В. В. Захаров, Н. М. Гуменна. // Промелектро, 2008. – № 2. – С. 44 – 46.

ДОДАТКИ

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

УЗГОДЖЕНО
Головний інженер

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМ

“ ” _____ 2020 р.

“ ” _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

«Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах
мікрорайону Вишенька, місто Вінниця»

08-17.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник проекту

к.т.н., доцент Демов О.Д.

Виконавець: ст. гр. ЕМ-19м

Ткачук В.С.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МКР

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за №_____ від _____ 2020 р.

Дата початку роботи 25 вересня 2020 р.

Дата закінчення роботи 10 грудня 2020 р.

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

Компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах мікрорайону Вишенька, місто Вінниця

Вихідні дані для проектування:

- а) Генплан мікрорайону Вишенька;
- б) Електричні навантаження мікрорайону;

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
2. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навчальний посібник / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
3. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах: Навчальний посібник / О. Д. Демов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
4. Бабенко О.В. Енергетичний аудит. Курсове проектування: навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 63 с
5. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження	10.10.2020
4.2 Проведення дослідних розрахунків	25.10.2020
4.3 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	10.12.2020

5. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Діапазон обмеження потужності, яка постачається:

5.2 Номінальна та встановлена потужність споживачів підприємства:

5.3 Номінальна потужність котельні підприємства:

5.4 Перелік об'єктів, що проектується:

6. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ. ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ

Розробка декомпозиційних методів розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах, які порівняно з існуючими методами, дозволяють зменшити об'єм вхідної інформації необхідної для розрахунку компенсації реактивної потужності в розподільних мережах енергопостачальних компаній.

7. МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЇЇ ЕТАПІВ / розрахунково-пояснювальна записка /

8. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ РОБОТИ ТА ЇЇ ЕТАПІВ
Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

9. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ
Присутнє.

9.1 ДАНІ ПРО ПАТЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ
Оформлення патентів не передбачається.

10.1. ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ
Присутній.

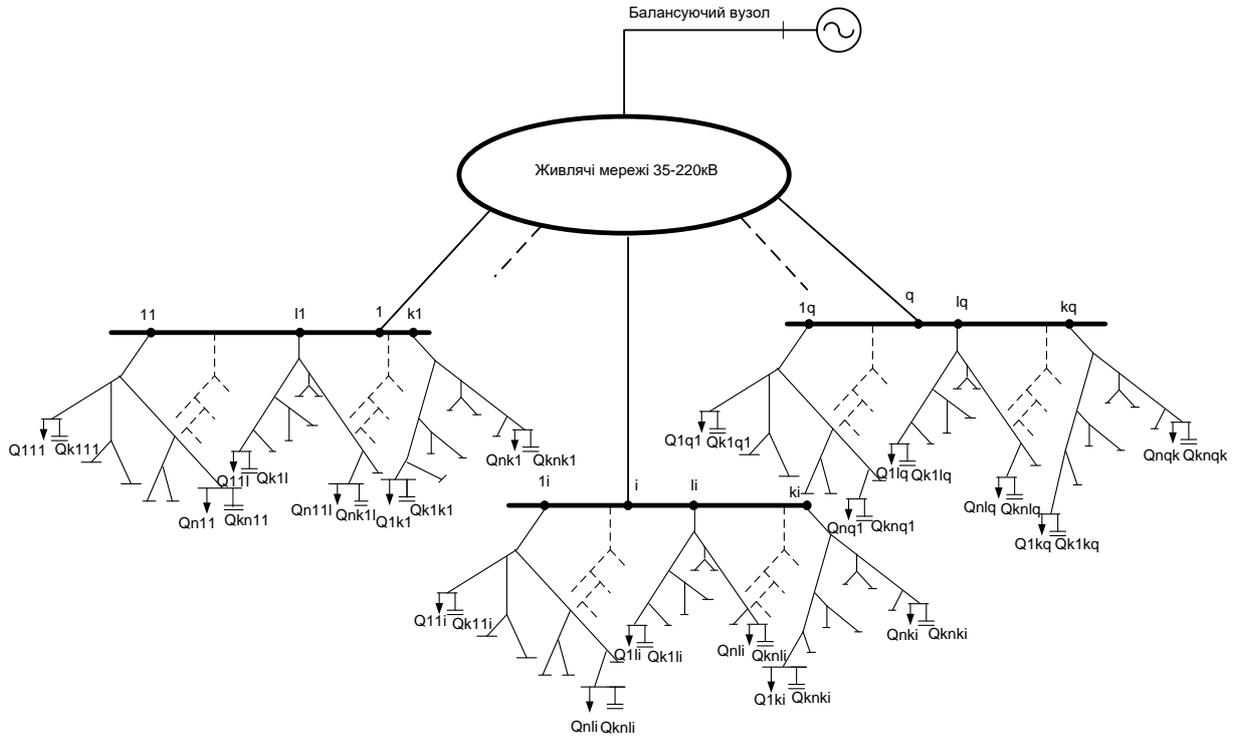
Додаток Б

Блок-схема аналізу існуючих методів компенсації реактивної потужності в електричних мережах



Додаток В

Розрахункова схема при оптимізації потоків реактивної потужності в розподільних електричних мережах



Додаток Г

Розрахункова схема ділянки РМ мікрорайону Вишенька

