



Вінницький національний технічний університет

# МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНОСТЯМИ КОМПЕНСУЮЧИХ УСТАНОВОК В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Доповідач:

ст.гр. ЕСС-17м

*Рисюк В.І.*

Науковий керівник :

к.т.н., доцент

*Демов О. Д.*

## МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності використання компенсувальних установок за рахунок використання оперативних надлишків та підвищення ефективності роботи існуючих компенсувальних установок реактивної потужності.

**Задачі,** які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

1. Вдосконалити моделі управління конденсаторними установками при заданій вхідній реактивній потужності.
2. Розробити метод використання оперативних надлишків компенсувальних установок в мережах споживачів.
3. Розробити метод вдосконалення генераторів місцевих електростанцій для компенсації реактивних навантажень розподільчих мереж.

Підвищення ефективності існуючих конденсаторних установок

Використання оперативних  
налишків існуючих КУ

Підвищення ефективності  
використання КУ в мережах  
споживачів при заданій вхідній  
реактивній потужності

Підвищення ефективності  
використання синхронних  
машин

Розв'язання задачі  
для радіальних  
електричних мереж  
з спільним опором

Розв'язання задачі  
для магістральних  
електричних  
мереж

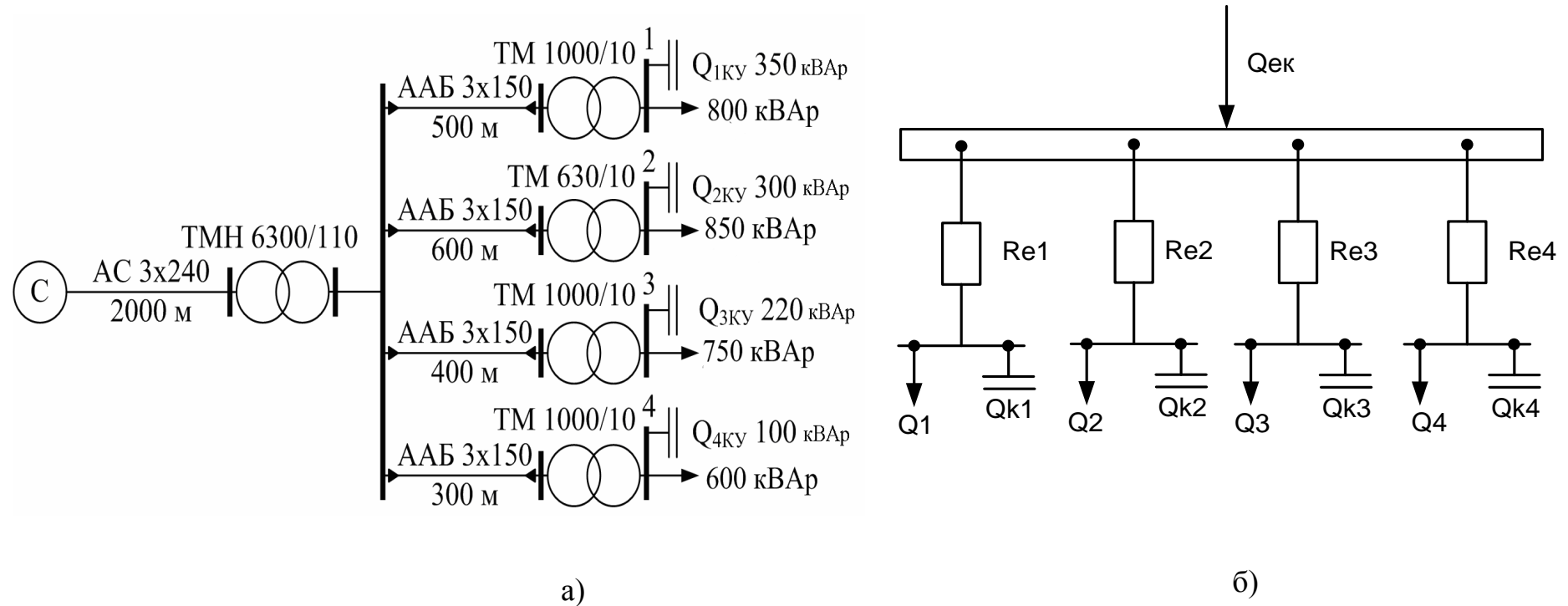
Підвищення  
ефективності  
використання  
синхронних  
двигунів

Підвищення  
ефективності  
використання  
генераторів місцевих  
електростанцій

Таблиця 1 – Моделі керування потужностями конденсаторних установок

№ п/п	Коротка характеристика методу	Аналітична модель керування	Переваги методу
1	Забезпечення в.р.м. по мінімуму втрат мереж окремого дерева	$Q_i^2 R_i \rightarrow \min$	Додаткове зниження втрат
2	Забезпечення в.р.п. по прогнозованому максимуму зниження втрат для радіальних мереж	$\frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_i}{U^2} \rightarrow \max$	Додаткове зниження втрат
3	Забезпечення в.р.п. по максимуму зниження втрат для радіальних мереж з спільним опором	$\frac{2Q_{ci} R \sum_{i=1}^m Q_i - Q_{ci}^2 R}{U^2} + \frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_i}{U^2} \rightarrow \max$	Додаткове зниження втрат
4	Забезпечення в.р.п. по максимуму зниження втрат для магістральних мереж	$\frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_{ii}}{U^2} + \frac{1}{U^2} \cdot 2Q_{ci} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Q_j R_{ji} \rightarrow \max$	Додаткове зниження втрат

# ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТІ ЗА РАХУНОК КЕРУВАННЯ ПОТУЖНОСТЯМИ КУ



а) схема розподільчої мережі; б) Схема заміщення розподільчої мережі

Втрати активної потужності визначаються за формулою :

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n Q_i^2 r_i / U^2 \quad (6.1)$$

Виконаємо розрахунки з відключенням на кожній КУ по 50 кВАр для визначення втрат активної потужності

$$\Delta P_1 = \frac{1,163 \cdot (800 - 300)^2}{10^2} = 2,91 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_2 = \frac{2,024 \cdot (850 - 250)^2}{10^2} = 7,29 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_3 = \frac{1,142 \cdot (750 - 170)^2}{10^2} = 3,84 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_4 = \frac{1,12 \cdot (600 - 50)^2}{10^2} = 3,39 \text{ (кВт)}$$

Визначимо величину збільшення втрат внаслідок відключення КУ.

$$\Delta P_{11} = 2,91 - 2,36 = 0,55 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_{21} = 7,29 - 6,14 = 1,148 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_{31} = 3,84 - 3,21 = 0,63 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_{41} = 3,39 - 2,8 = 0,59 \text{ (кВт)}$$

Визначимо втрати активної потужності від перетоків реактивної енергії

$$\Delta P_1 = \frac{1,163 \cdot (800 - 350)^2}{10^2} = 2,36 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_2 = \frac{2,024 \cdot (850 - 300)^2}{10^2} = 6,14 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_3 = \frac{1,142 \cdot (750 - 220)^2}{10^2} = 3,21 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_4 = \frac{1,12 \cdot (600 - 100)^2}{10^2} = 2,8 \text{ (кВт)}$$

виконаємо розрахунки із включенням по 50 кВАр на кожній КУ

$$\Delta P_1 = \frac{1,163 \cdot (800 - 400)^2}{10^2} = 1,86$$

$$\Delta P_2 = \frac{2,024 \cdot (850 - 350)^2}{10^2} = 5,1$$

$$\Delta P_3 = \frac{1,142 \cdot (750 - 270)^2}{10^2} = 2,63$$

$$\Delta P_4 = \frac{1,12 \cdot (600 - 150)^2}{10^2} = 2,27$$

Визначимо величину зменшення втрат внаслідок додаткового включення КУ.

$$\Delta P_{12} = 2,36 - 1,86 = 0,5 \text{ (кВт)}$$

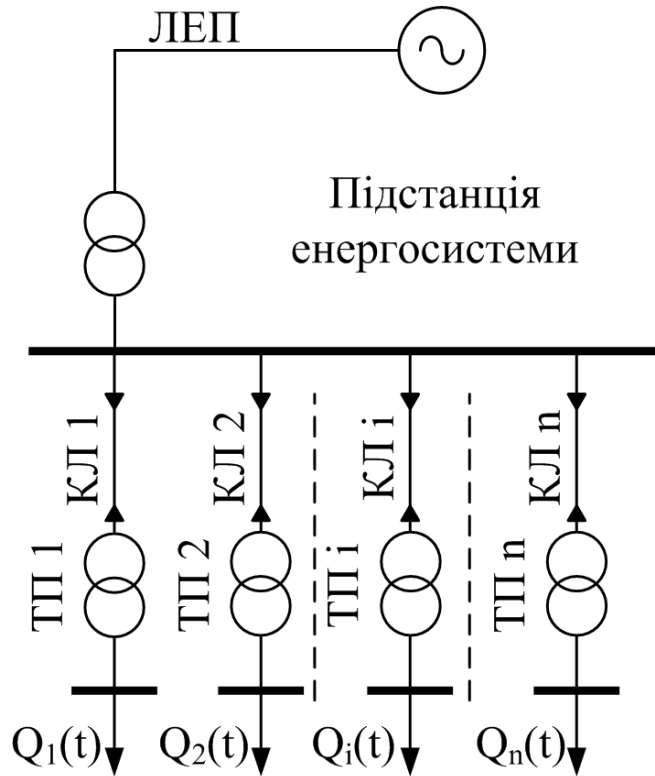
$$\Delta P_{22} = 6,14 - 5,1 = 1,04 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta P_{31} = 3,21 - 2,63 = 0,58 \text{ (кВт)}$$

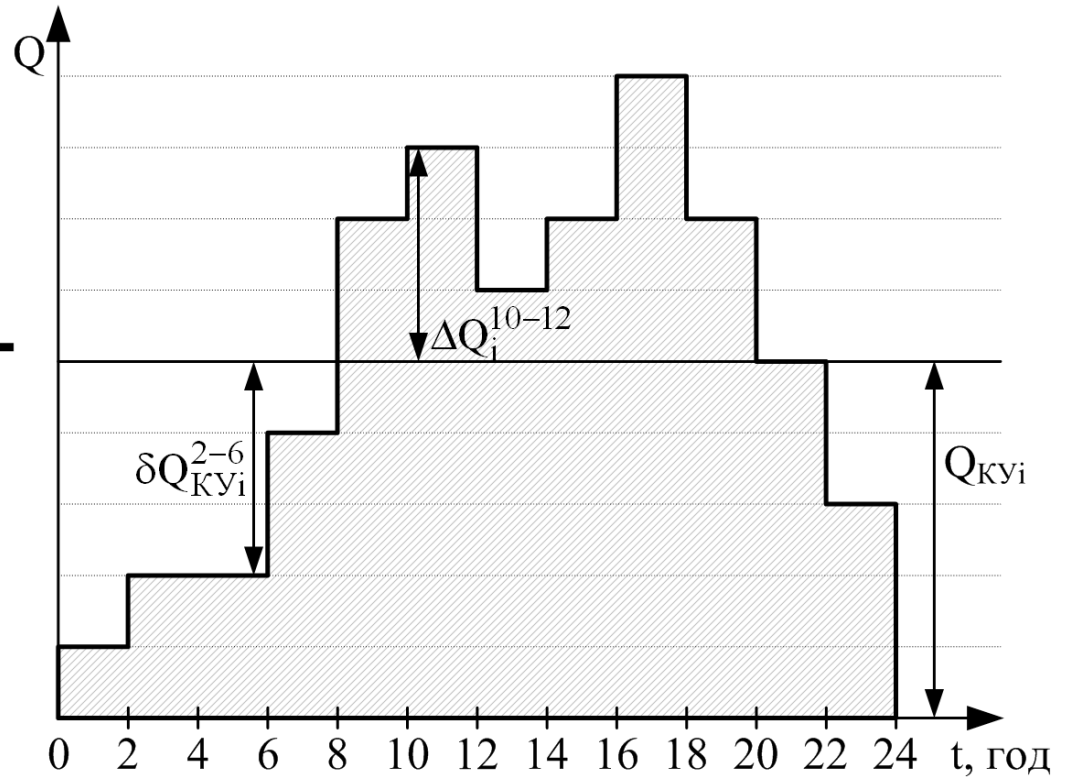
$$\Delta P_{41} = 2,8 - 2,27 = 0,53 \text{ (кВт)}$$

# МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТИВНИХ НАДЛИШКІВ КОМПЕНСУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

7



а)



б)

а) схема розрахункової мережі; б) графік споживання реактивної потужності  $i$ -им споживачем (ЛЕП – лінія електропередачі; КЛ – кабельна лінія; ТП – трансформаторна підстанція;  $Q_{КУi}$  – потужність КУ, встановлених в  $i$ -му вузлі)

**Надлишки реактивної потужності КУ:**

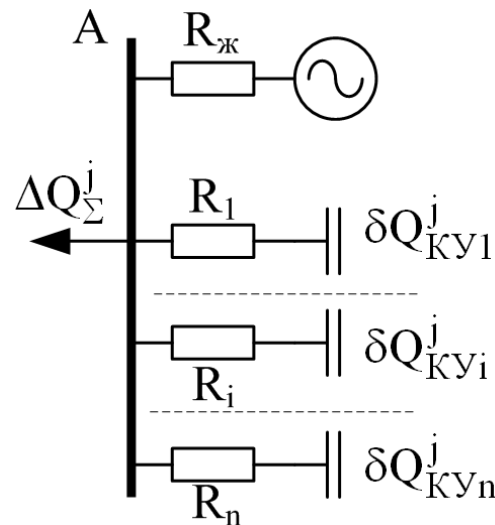
$$\delta Q_{КУi}^j = Q_{КУi}^j - Q_i^j > 0, i = 1..n, j = 1..m, \quad (8.1)$$

**Дефіцит реактивної потужності:**

$$\Delta Q_k^j = Q_k^j - Q_{КУk}^j > 0, k = 1..q, \quad (8.2)$$

**Надлишок реактивної потужності для компенсації дефіциту реактивної потужності:**

$$\Delta Q_{\Sigma}^j = \sum_{k=1}^q \Delta Q_k^j. \quad (8.3)$$



Заступна схема ( $R_i$  – сумарний активний опір лінії та трансформатора, що живить  $i$ -й вузол;  $R_{ж}$  – сумарний активний опір лінії живлення та трансформатора підстанції)



**Зниження плати за електроенергію визначається:**

$$\Delta \Pi = \sum_1^q \Delta \Pi_p \tag{9.1}$$

де  $\Delta \Pi_p$  – зниження плати на  $p$ -ому кроці;  $q$  – кількість кроків для пошуку оптимального розв’язку.

**Математична модель керування оперативним надлишком КУ**

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \max_{i=1}^{i=m} (\Delta \Pi_i)_1 \\ f_2 &= f_1 + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta \Pi_i)_2 \\ &\dots\dots\dots \\ f_p &= f_{p-1} + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta \Pi_i)_p \\ &\dots\dots\dots \\ f_q &= f_{q-1} + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta \Pi_i)_q \end{aligned} \right\} \tag{9.2}$$

де  $f_p$  – максимальна величина зниження плати за електроенергію на  $p$ -ому кроці.

**Обмеження на підвищення напруги в місці встановлення КУ:**

$$U_{ni} \leq U_{дон} \tag{9.3}$$

де  $U_{ni}$ ,  $U_{дон}$  – відповідно поточний та допустимий рівні напруги в  $i$ -му вузлі.

# Алгоритм керування оперативним надлишком КУ в і-их вузлах

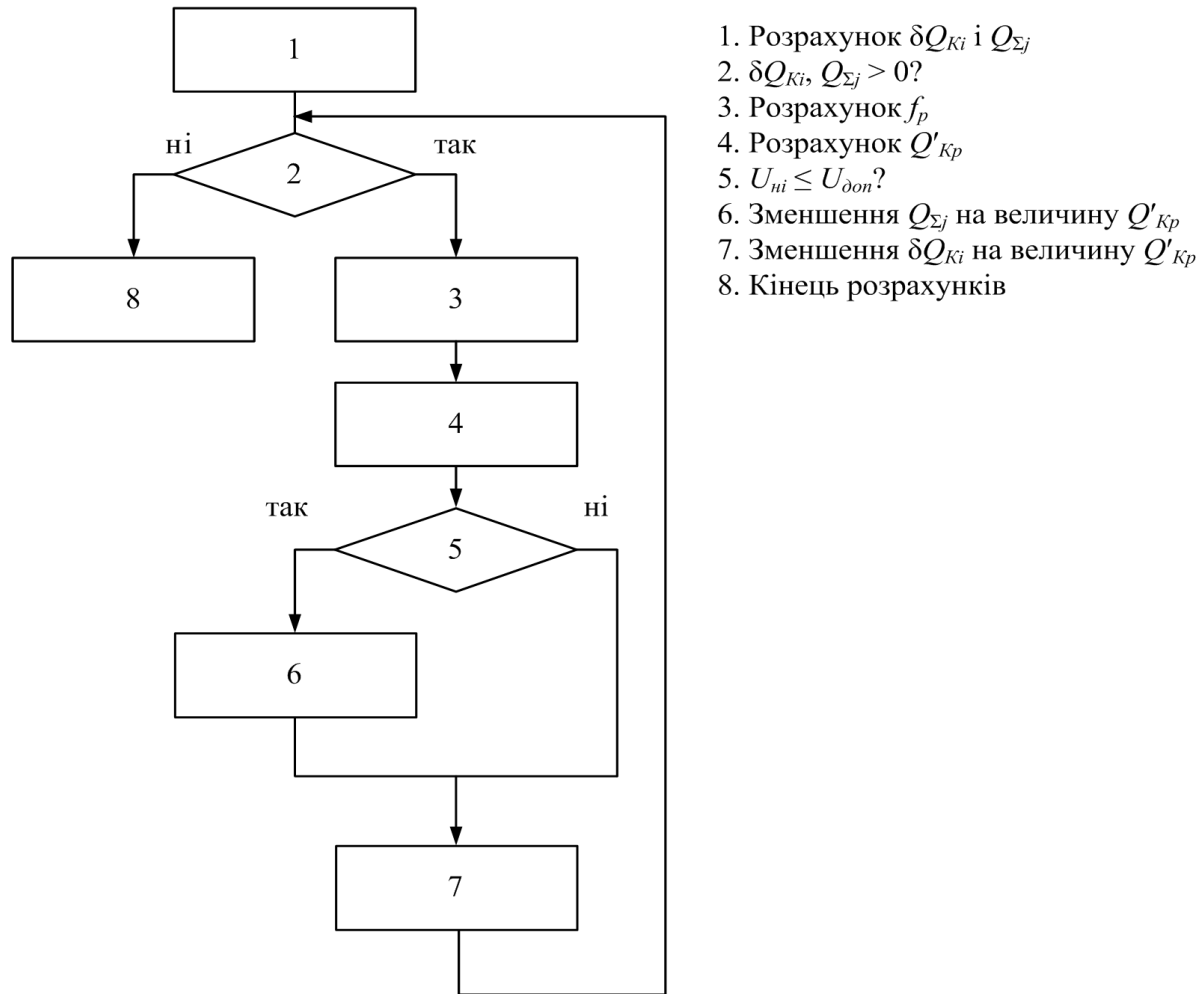


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму керування оперативним надлишком КУ

# ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТИВНИХ НАДЛИШКІВ КОМПЕНСУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

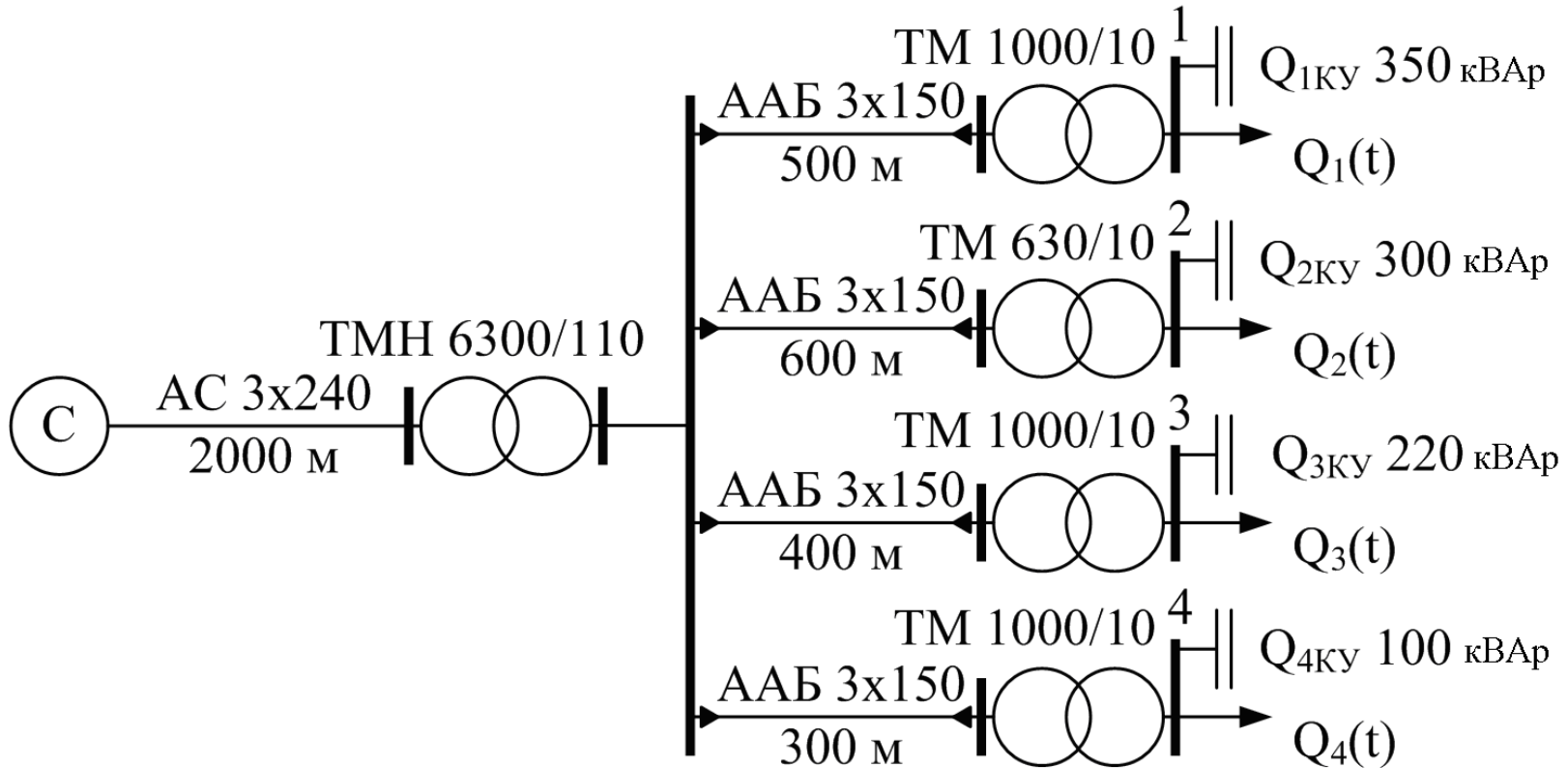
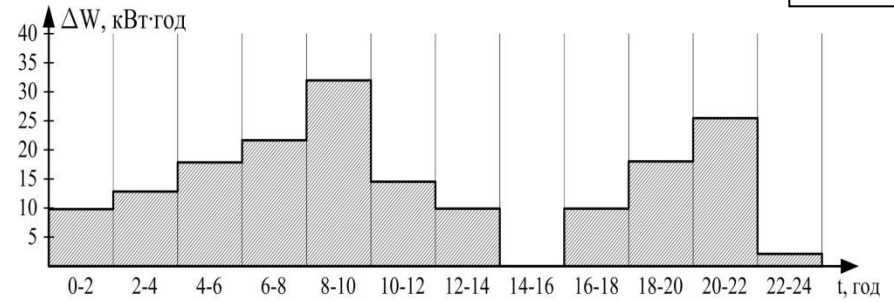
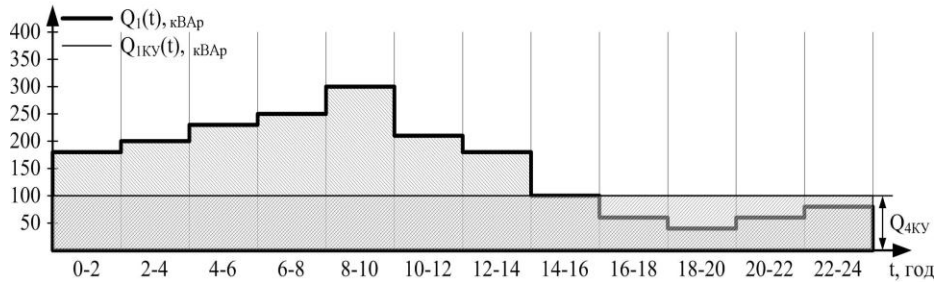
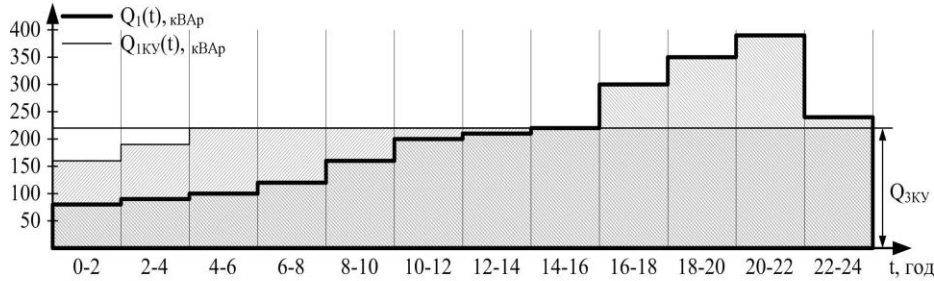
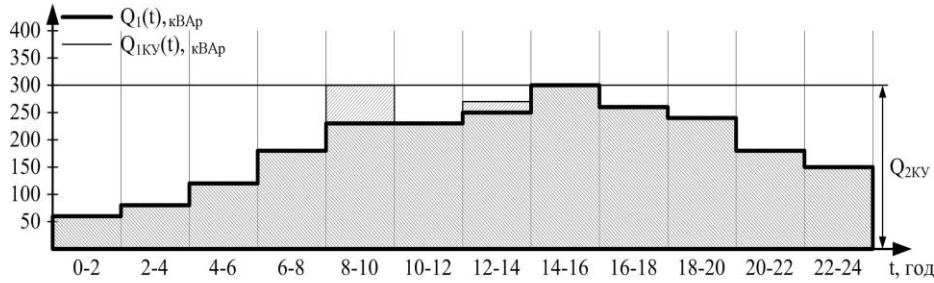
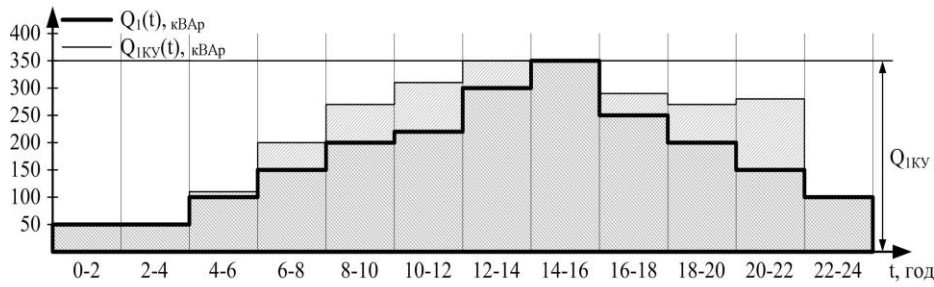


Схема розподільчої мережі

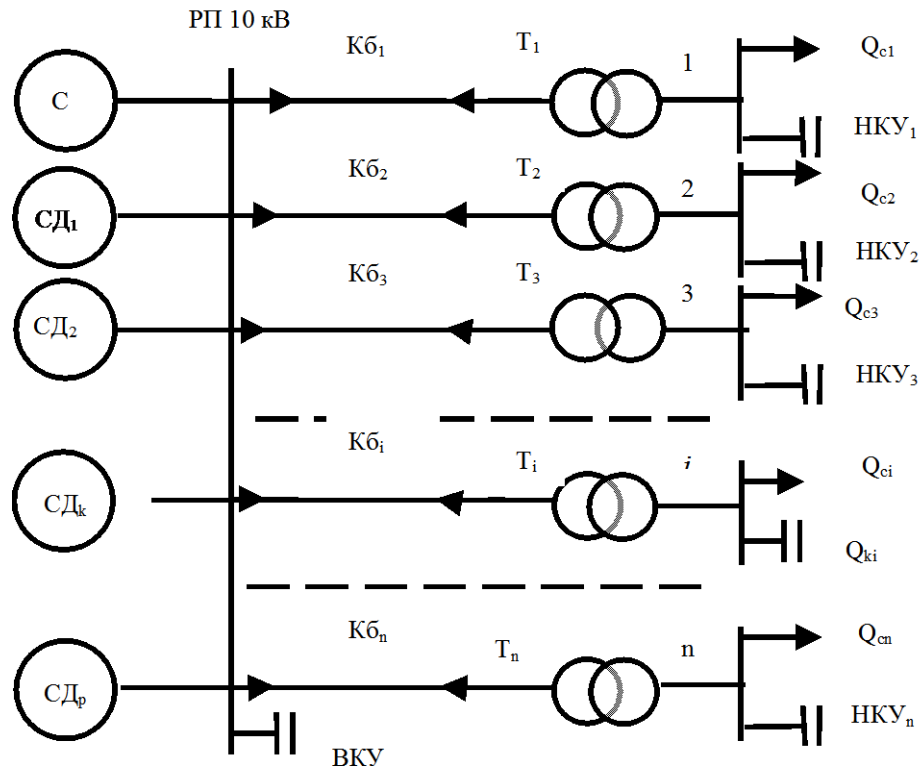


Зниження втрат активної енергії протягом доби

Використання оперативних надлишків КУ на даному підприємстві дасть можливість зекономити 46850 кВт·год. протягом року.

Графіки реактивних навантажень та ввімкнених потужностей КУ

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІСНУЮЧИХ СИНХРОННИХ МАШИН



Розрахункова схема заводської мережі при управлінні компенсуючими установками

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ РЕАКТИВНИМИ ПОТУЖНОСТЯМИ СД

$$J = \{ \beta Q_B + \left[ \sum_{k=1}^p \left( \frac{D_{1k}}{Q_{нк}} Q_{лк} + \frac{D_{2k}}{Q_{нк}^2} (Q_{лк})^2 \right) \alpha \right] \Delta t_q \}$$

$$Q_B + \sum_{k=1}^p Q_{лк} = \Delta Q_c$$

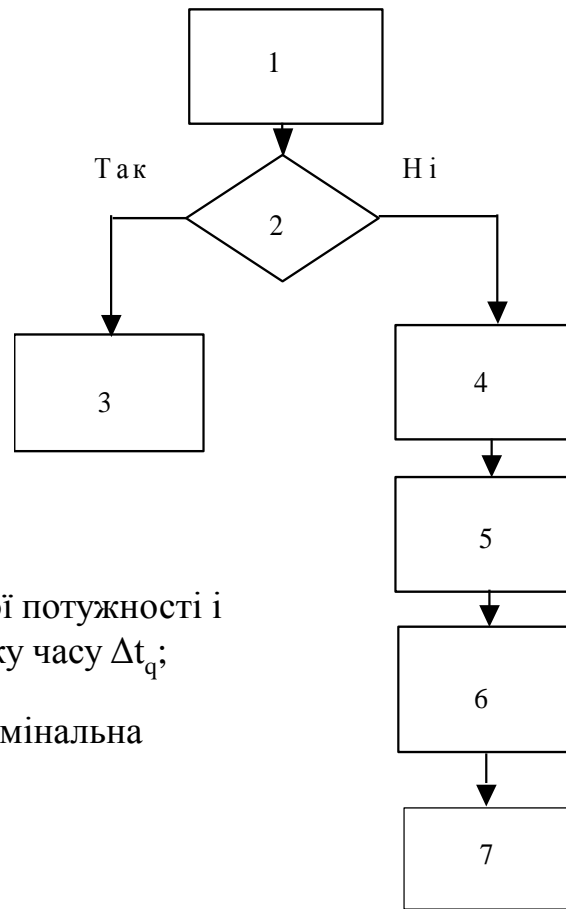
$$0 < Q_{лк} \leq Q_{нк}$$

$$Q_B > 0$$

де  $\alpha, \beta$  - величини тарифів відповідно на активну і реактивну енергію

$Q_B, Q_{лк}$  – середні величини вхідної реактивної потужності і СД впродовж проміжку часу проміжку часу  $\Delta t_q$ ;

$D_{1k}, D_{2k}$  і  $Q_{нк}$  – технічні характеристики і номінальна реактивна потужність к-го СД.



1. Визначення реактивного навантаження  $Q_c$

2.  $Q_{нкУ} + Q_{вкУ} \geq Q_c$  ?

4. Розрахунок  $\Delta Q_c$

3. Кінець розрахунку

5. Розрахунок  $Q_{л\Sigma}^m$

6. Розрахунок  $Q_{л\Sigma}^o$

7. Розрахунок  $Q_B^o$

Блок-схема алгоритму розрахунків  
оптимального управління компенсуючими  
установками в мережах

## ВИСНОВКИ

Проведені в магістерській роботі дослідження показали, що необхідно комплексно впроваджувати нові та підвищувати ефективність існуючих компенсувальних установок. При цьому одержані наступні результати:

1. Вдосконалено моделі управління компенсувальними установками при заданій вхідній реактивній потужності дозволяє максимально зменшити втрати активної енергії.

2. Використання оперативних надлишків реактивної потужності компенсувальних установок протягом доби дозволяє додатково знизити втрати електроенергії в електричних мережах. Пошук найкращого варіанту використання оперативного надлишку КУ доцільно здійснювати з допомогою динамічного програмування, що дозволяє враховувати дискретність потужностей КУ. Впровадження запропонованого методу керування оперативним надлишком потужності КУ дозволяє підприємству знизити плату за електроенергію. Проведені розрахунки по використанню оперативних надлишків компенсувальних установок на підприємстві з установленою потужністю 3630 кВА показали можливість додаткового зниження втрат 46850 кВт·год.

3. Використання синхронних машин для компенсації реактивної потужності дає можливість зменшити втрати активної потужності, що поведе за собою зниження плати за активну енергію. Проведені розрахунки по використанню синхронних машин підтвердили зниження плати на 19720 грн, це свідчить про доцільність використання генераторів місцевих електростанцій в живлячих мережах 35кВ і вище..

*Дякую за увагу !*