

Вінницький національний технічний університет

Дослідження компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах

Доповідач:
Науковий керівник:

Никитенко Ю.В.
к.т.н., доцент Демов О.Д.

Вінниця 2015

Актуальність дослідження

- ▶ Встановлення компенсуючих установок (КУ) в розподільних електричних мережах споживачів дозволяє значно знизити втрати електричної енергії, що потребує відповідного визначення потужностей КУ і містить їх встановлення. В існуючих методах вважається, що підприємства, на балансі яких знаходяться мережі, мають можливість установити всі КУ одночасно відповідно результатам розрахунків, а проміжні кроки по впровадженню результатів при цьому не розглядаються. В дійсності таке встановлення неможливе, оскільки фінансові можливості енергетичних та промислових підприємств, як правило, обмежені, і це унеможлиблює процес встановлення КУ в усіх вузлах розподільних мереж одночасно, що в свою чергу потребує розподілення їх впровадження в часі.
- ▶ Додаткового зниження втрат можна досягнути не лише шляхом встановлення нових КУ, а також більш ефективним використанням існуючих, що потребує відповідного вдосконалення їх роботи. Зокрема в існуючих способах управління потужностями не в повній мірі враховується взаємний вплив КУ різних вузлів, що знижує на ефективність цих КУ.

Коротка характеристика існуючих методів розрахунку КРП в РЕМ

	Ознака методу	Сутність методу
1	Системні, локальні	Системні: розв'язання задачі в окремих частинах розподільних мереж з врахування впливу інших . Локальні: розв'язання задачі в окремих частинах розподільних мереж без врахування впливу інших .
2	За критерієм оптимізації	Забезпечення мінімумів втрат активної потужності або приведених затрат на генерацію та передачу реактивної потужності , підтримання заданих рівнів напруги.
3	За балансовою приналежністю	Розподільні мережі споживачів, та енергопостачальних компаній.
4	За постановкою задачі	Проектні: вибір місць розташування та потужностей КУ; експлуатаційні: підвищення ефективності використання існуючих КУ
5	За використанням математичного апарату	Метод дискретної оптимізації, градієнтний та ітераційний методи.

Оптимізація процесу впровадження в розподільні мережі споживачів

$$p_{ks}^{\max} = \frac{\delta P_{pc} T \tau + \Delta \Pi(Q_k)}{c_k Q_k}; \quad \Pi_Q = (k-1) \Pi; \quad k = \left(\frac{\cos \varphi_{\Pi}}{\cos \varphi_{до}} \right)^2.$$

Надбавка враховує віддаленість споживачів від джерел реактивної потужності і визначається на основі врахування загальнодержавних інтересів. При значеннях $\cos \varphi$ менше нормованого, споживач сплачує надбавку до тарифу, при вищих – одержує знижку до тарифу.

$$\Pi_i = \Delta U_{*i} T W_{Qi}$$

Це дозволяє визначити плату за реактивну енергію споживачем, підключеним до i -го вузла живлячої мережі, по відносним спадам напруги в вузлах.

Інформація про діапазон зміни відносних спадів напруги є доступною для споживачів, що дає можливість споживачам контролювати плату за реактивну енергію.

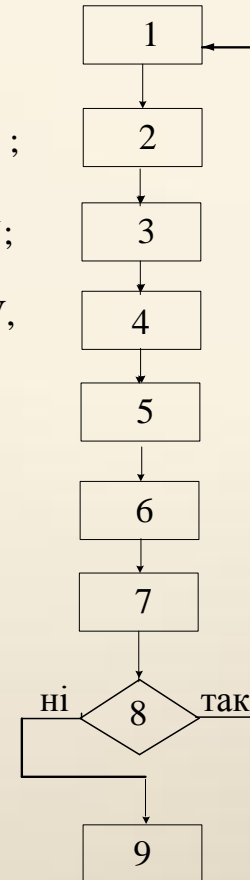
Максимальне значення економічної ефективності за певний період впровадження буде в тому випадку, якщо забезпечити максимальне значення ефективності на кожному етапі впровадження.

$$p_{km}^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ki}^{\max}}{m} \quad Q_{kme} = p_3^{-1}(Q_{km\Sigma}),$$

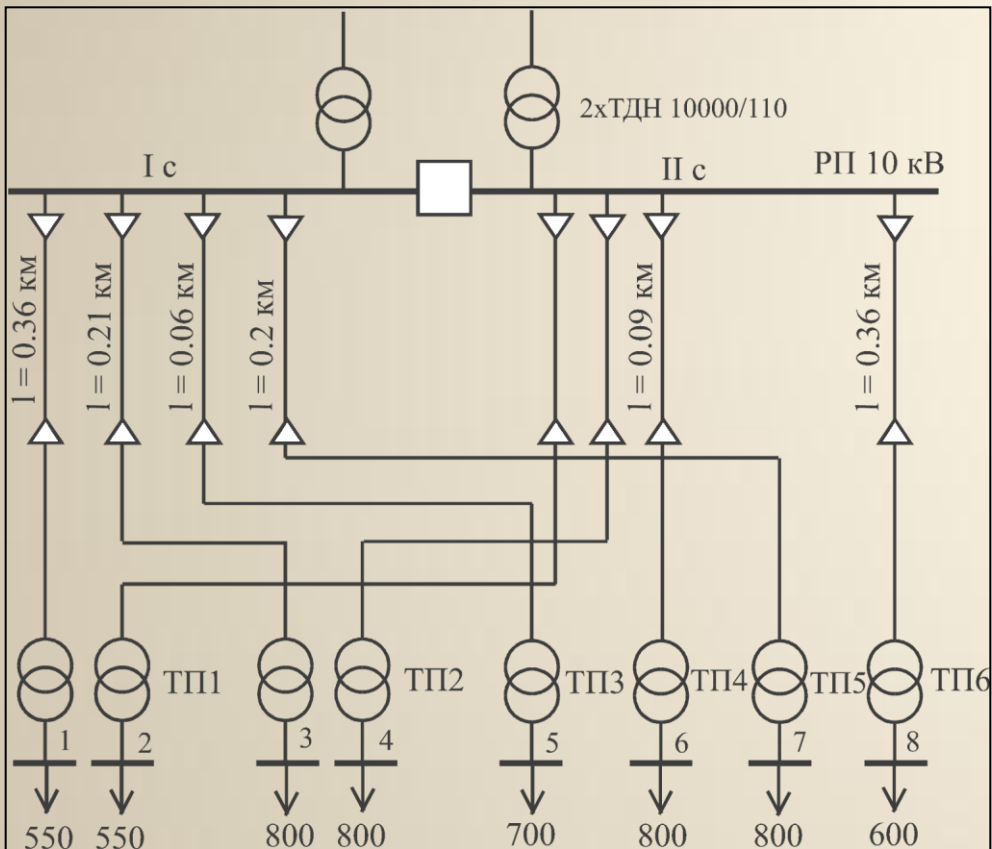
Оптимізація процесу впровадження в розподільні мережі споживачів

Алгоритм розрахунку впровадження КУ при заданій економічній ефективності

1. Розраховуємо P_{k1j} для всіх n вузлів;
2. Вибираємо вузол з максимальним значенням ефективності P_{k1}^{\max} ;
3. Розраховуємо максимальне середнє значення ефективності P_{k1c}^{\max} ;
4. Зменшуємо реактивне навантаження вузла, де встановлюється КУ, на величину Q_{kij} ;
5. Визначаємо залежність $P_{kmc}^{\max}(Q_{km\Sigma})$;
6. Використовуючи залежність $P_{kmc}^{\max}(Q_{km\Sigma})$, розраховуємо $Q_{kme} = p_{\text{квз}}^{-1}(Q_{km})$;
7. Величина потужності, знайдена в результаті виконання пункту 6 розподіляється у відповідності з попередніми розрахунками;
8. Перевірка виконання нерівності $Q_{cij} - Q_{kij} > 0$;
9. Кінець розрахунків.



Розрахункова схема заводської мережі.



$$1. \quad p_{kij} = \frac{\delta P_{ij} \sum T_{\tau} + \Delta \Pi}{c_{ki} Q_{kij}}$$

$$p_{k11} = \frac{2 \times 4000 \times 1,5 \times 10^{-3}}{10^2 \times 200} [(550 - 50) \times 0,85 + (800 + 700 + 600) \times 0,058] + \frac{0,001 \times 4000}{200} \cdot 0,17 = 0,358.$$

$$p_{k12} = 0,416; \quad p_{k13} = 0,366; \quad p_{k14} = 0,424; \quad p_{k15} = 0,356; \\ p_{k16} = 0,436; \quad p_{k17} = 0,413; \quad p_{k18} = 0,363.$$

2.

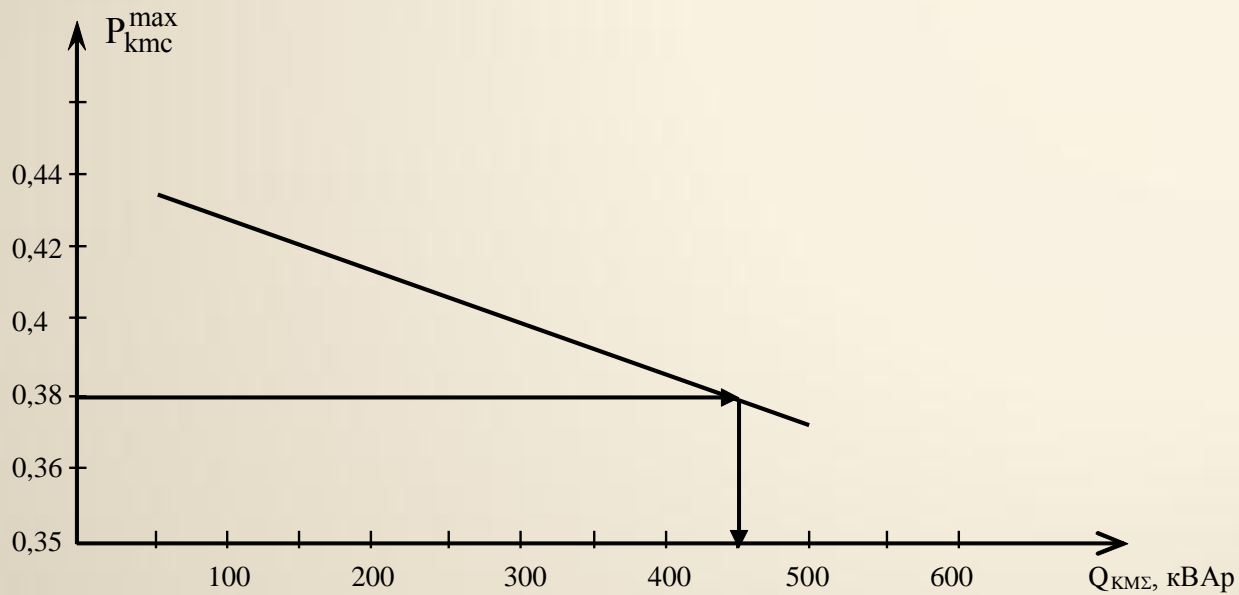
$$p_{k1}^{\max} = \max\{0,358; 0,416; 0,366; 0,424; 0,356; 0,436; 0,413; 0,363;\} = 0,436.$$

$$3. \quad p_{k1c}^{\max} = 0,436$$

$$4. \quad Q_{c26} = 900 - 50 = 850 \text{ кВАр}$$

Послідовність вузлів для встановлення: 6-4-3-6-4-3-6-4-3

Залежність максимального середнього значення ефективності устанавлення КУ від їх потужності



Моделі та пристрої підвищення ефективності використання існуючих КУ при заданій вхідній реактивній потужності

№ 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, порівнюючи з існуючими методами
2	Забезпечення в.р.м. 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.м. по максимуму зниження втрат для радіальних	$\frac{2Q_{ci} R \sum_{i=1}^m Q_i - Q_{ci}^2 R}{U^2} + \frac{(2Q_i Q_{ci} - Q_{ci}^2) R_i}{U^2} \rightarrow \max$	Додаткове зниження втрат

4	Забезпечення в.р.м. 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
5	Забезпечення ВРП по мінімуму втрат для мереж довільної структури	$\frac{1}{U_n^2} Q_n^2 \Pi R \Pi Q_n \rightarrow \min$	Додаткове зниження втрат
6	Забезпечує максимальне зниження втрат і значення напруги в допустимих межах.	$\Delta U_*^{\max} = \max_{i=1}^m \left\{ \frac{U_0 - U_i}{U_i} \right\}$	Управління проводиться по інтегральному показнику, який одночасно оцінює втрати активної потужності і напруги.
7	Забезпечення в.р.м. для споживачів з несиметричними навантаженнями	$y_o + \Delta y_x = \frac{1}{U_n^2} \left[-\frac{1}{3}(Q - Q_{c2}^o) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_B - P_C) \right]$ $y_o + \Delta y_{CA} = \frac{1}{U_n^2} \left[-\frac{1}{3}(Q - Q_{c2}^o) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_C - P_A) \right]$ $y_o + \Delta y_{AB} = \frac{1}{U_n^2} \left[-\frac{1}{3}(Q - Q_{c2}^o) - \frac{2}{3\sqrt{3}}(P_A - P_B) \right]$	Додатковий економічний ефект

Підвищення ефективності використання синхронних машин для компенсації реактивної потужності

Розроблені методи підвищення ефективності використання генераторів місцевих електростанцій, установлених в мережах споживачів, для компенсації реактивної потужності цих споживачів. Задачу розв'язана для двох випадків:

$$1. \Delta P = \sigma Q_{ек} + \frac{\delta}{2} Q_{ек}^2 + \frac{D_1}{Q_H} Q_{ме} + \frac{D_2}{Q_H^2} Q_{ме}^2 + \frac{Q_{ме}^2}{U_H^2} \cdot r \rightarrow \min.$$

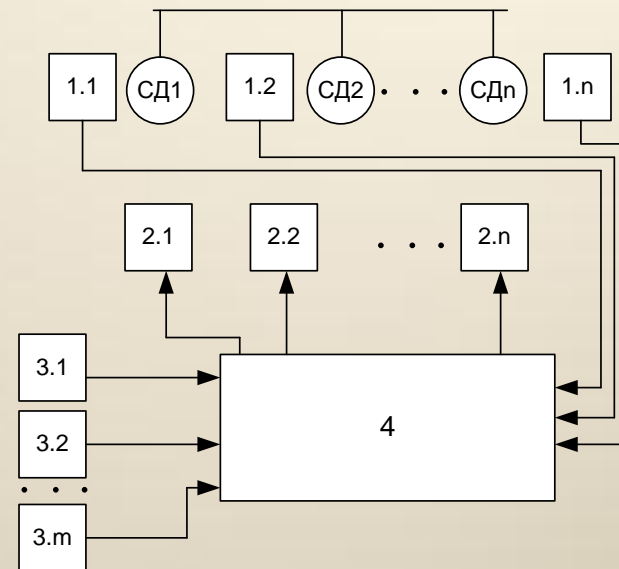
$$2. \Pi = \alpha T [\sigma(Q_{ек} - Q_{ме}) + \frac{\delta}{2} (Q_{ек} - Q_{ме})^2] + \beta T (\frac{D_1}{Q_H} Q_{ме} + \frac{D_2}{Q_H^2} Q_{ме}^2 + \frac{Q_{ме}^2}{U_H^2} \cdot r) \Rightarrow \min.$$

Розроблено декомпозиційну модель автоматичного регулювання реактивного навантаження підприємства з допомогою групи синхронних двигунів з врахуванням зміни втрат в мережах ЕК

$$\Delta P_{\Sigma} (Q_i) = \sum_{i=1}^n \frac{D_{1i}}{Q_{Hi}} \cdot Q_i + \sum_{i=1}^n \frac{D_{2i}}{Q_{Hi}^2} \cdot Q_i^2 + \sum_{i=1}^n r_i \cdot Q_i^2 +$$

$$+ \frac{2}{U_H^2} \cdot (Q_H - \sum_{i=1}^n Q_i) \cdot \sum_{j=1}^m R_{jA} \cdot Q_j +$$

$$\frac{1}{U_H^2} \cdot (Q_H - \sum_{i=1}^n Q_i)^2 \cdot \sum_{j=1}^m R_{jA} \rightarrow \min.$$



Висновки

Таким чином проведені дослідження в роботі дозволяють зробити наступні висновки:

- розрахунок впровадження КУ доцільно проводити поетапно, що дає можливість визначати максимальну ефективність цього впровадження на кожному з етапів.
- економічну ефективність впровадження КУ можна значно змінювати за рахунок зміни їх потужностей та місць установа.
- величина потужності КУ, яку доцільно установити в мережах підприємства, визначається економічними можливостями підприємства в виробничій та комерційній діяльності.
- поетапний розрахунок впровадження КУ дає можливість враховувати їх дискретність, що підвищує точність розрахунків.
- запропоновано спрощену систему оплати за реактивну енергію на основі нормованих коефіцієнтів потужності, що дає можливість підприємству прогнозувати результати впровадження КУ і контролювати правильність розрахунків за реактивну енергію;
- запропоновано комплексне використання КУ для компенсації реактивної потужності та симетрування навантажень при розрахуванні вхідної реактивної потужності споживача, що забезпечує додаткове зниження втрат в живильних мережах.

Висновки

Розроблено методи підвищення ефективності існуючих КУ, що дозволяє:

- використовувати оперативний резерв потужності КУ одних вузлів для компенсації реактивних навантажень інших вузлів, що знижує плату за електроенергію;
- додатково знижувати втрати при забезпечуванні заданої величини вхідної реактивної потужності споживачів;
- враховувати зміну втрат в мережах ЕК при використанні синхронних двигунів споживачів для КРП, що зменшує втрати в мережах ЕК.

Дякую за увагу!