

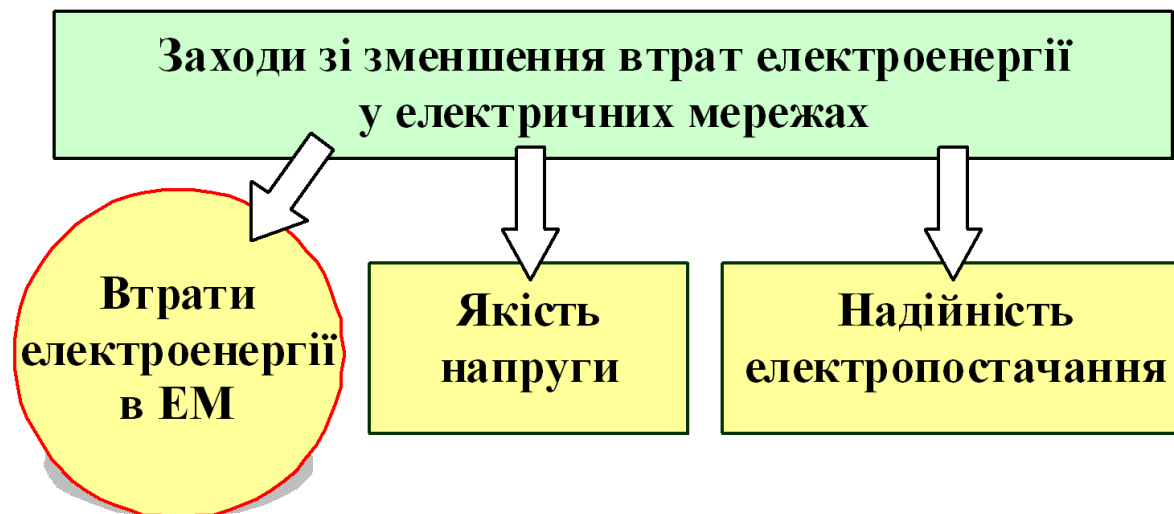
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій та систем

# **РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 110- 35КВ**

Науковий керівник: д.т.н, проф. Кулик В.В  
Підготував: ст.гр ЕСМ-18М Поліщук М.А

# ОСНОВНІ ЕЛЕКТРООЩАДНІ ЗАХОДИ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 10(6) КВ

- оптимізація схеми електричної мережі;
- встановлення та введення в роботу пристроїв компенсації реактивної потужності в електричних мережах;
- заміна проводів на перевантажених лініях електропередач;
- заміна систематично перевантажених силових трансформаторів;
- встановлення та введення в експлуатацію нових силових трансформаторів на діючих підстанціях;
- заміна недовантажених силових трансформаторів.



# РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 110-35КВ

**Мета магістерської роботи:** підвищення ефективності функціонування розподільних мереж за рахунок оптимізації перетікань реактивної потужності.

**Основні задачі дослідження:**

– аналіз існуючих методів оптимізації режимів електричних мереж за реактивною потужністю;

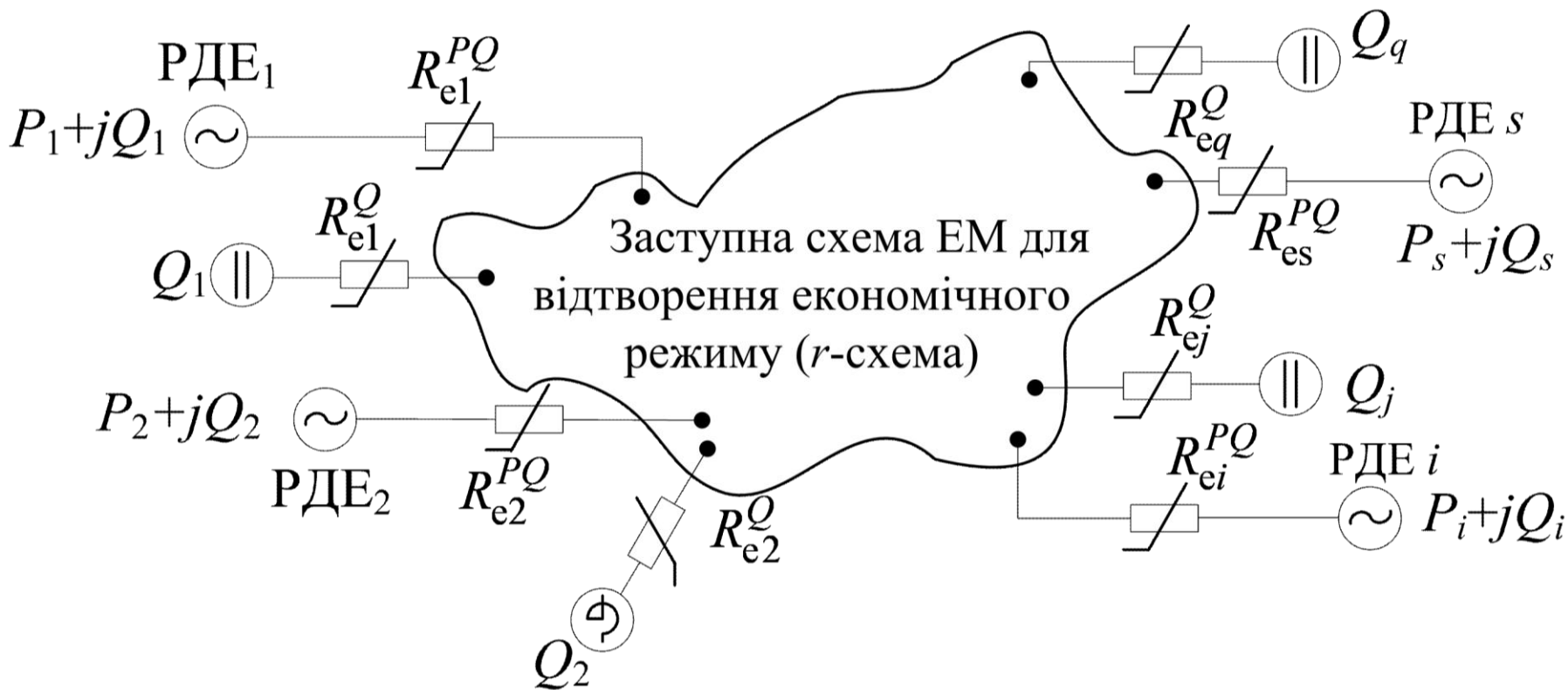
Відповідно до вказаної мети в роботі розв’язуються такі основні задачі:

- аналіз існуючих засобів компенсації реактивної потужності;
- вдосконалення методу оптимізації розміщення засобів КРП з імітацією «ідеального» струморозподілу в електромережах;
- вдосконалення методу оптимізації розміщення засобів компенсації реактивної потужності за критерієм максимуму рентабельності з урахуванням допустимих відхилень напруги.

**Об’єктом дослідження** магістерської роботи є нормальні режими розподільних електричних мереж з джерелами компенсації реактивної потужності.

**Предмет дослідження** – методи і засоби аналізу та оптимізації перетікань реактивної потужності в розподільних електричних мережах з джерелами КРП.

# ЗАСТУПНА СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ЕКОНОМІЧНИМИ ОПОРАМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ «ІДЕАЛЬНОГО» РЕЖИМУ



Для оптимізації розміщення та потужностей ДРП в електричних мережах за комплексним техніко-економічним критерієм можна застосувати імітацію режимів ЕМ, «ідеальних» за втратами електроенергії. Для урахування економічних чинників до заступної r-схеми **вводяться додаткові економічні опори**.

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ОПОРІВ ДРП ДЛЯ ВРАХУВАННЯ ВИТРАТ НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЮ У МОДЕЛІ «ІДЕАЛЬНОГО» РЕЖИМУ

Економічні опори ДРП відтворюють вплив економічних факторів, зокрема вартості ДРП, витрат на їх експлуатацію тощо. Для розрахунку вказаних опорів **складові витрат прирівнюють до вартості втрат електроенергії** в них від перетікань реактивної потужності ДРП.

Наприклад, якщо витрати на експлуатацію ДРП можна подати у вигляді вартісної характеристики  $\beta_i(Q_i)$ , то сумарні витрати за період  $T$ :

$$B_{Q_i} = \beta_i(Q_i)Q_iT. \quad (1)$$

де  $Q_i$  та  $T$  – відповідно, перетікання реактивної потужності від ДРП та тривалість періоду з умовно постійним генеруванням;

Для перерахунку витрат (1) до економічного опору їх прирівнюються до вартості втрат електроенергії від потоків реактивної потужності в вітці з опором  $R_{ei}^Q$  на відрізок часу  $T$ :

$$B_{Q_i} = V_{Q_i}Tc = \frac{Q_i^2}{U_i^2}R_{ei}^Q Tc, \quad (2)$$

де  $V_{Q_i}$ ,  $U_i$  – відповідно, втрати потужності у вітці з економічним опором та напруга у місці її приєднання;  $c$  – вартість втрат електроенергії.

Виразивши  $R_{ei}^Q$ , маємо:

$$R_{ei}^Q = \frac{\beta_i(Q_i)U_i^2}{Q_i \cdot c}. \quad (3)$$

Розрахований струморозподіл у заступній  $r$ -схемі з економічними опорами **буде відповідати мінімуму витрат** на генерування реактивної потужності ДРП та компенсацію втрат електроенергії в мережах.

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ОПОРІВ ДРП ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ ЗА РЕНТАБЕЛЬНІСТЮ

Згідно нормативного документу ГКД 340.000.002-97, основним критерієм ефективності проектних рішень у електроенергетиці вважається рентабельність капіталовкладень:

$$R_i = \frac{\Pi_p + A_p}{K}, \quad (1)$$

де  $\Pi_p = \Pi_б - H_{II} - B_{кр}$  – поточний річний прибуток;  $\Pi_б = D - B_c - B_{втр} - A_p$  – балансовий прибуток за рік;  $D = (V_{Q0} - V_Q)\tau c$  – додатковий річний дохід, обумовлений зменшенням втрат електроенергії завдяки встановленню ДРП;  $B_c = \alpha_c K$  – річні експлуатаційні видатки для ДРП;

$B_{втр} = \alpha_{втр} \tau c \sum_{i=1}^{n_q} Q_i$  – вартість втрат електроенергії в ДРП;  $A_p = \alpha_p K$  – додаткові річні амортизаційні відрахування на реновацію;  $H_{II} = \alpha_{II} \Pi_б$  –

податок на прибуток;  $B_{кр} = \alpha_{кр} K$  – річні витрати на обслуговування кредиту;  $K = \sum_{i=1}^{n_q} K_i$  – капіталовкладення для впровадження ДРП;  $V_{Q0}$  – втрати

потужності в характерному режимі ЕМ до встановлення додаткових ДРП;  $\tau$  – час максимальних втрат.

Після підстановки та нескладних перетворень вираз (1) можна подати у вигляді:

$$R_i = V_{Q0} \tau \frac{c}{K} - V_Q \tau (1 - \alpha_{II}) \frac{c}{K} - \left( \alpha_c + \alpha_{втр} \sum_{i=1}^{n_q} Q_i \tau \frac{c}{K} + \alpha_p \right) (1 - \alpha_{II}) - \alpha_{кр} - \alpha_p. \quad (2)$$

Прийнявши капіталовкладення у ДРП умовно сталими, задачу пошуку максимуму рентабельності  $R_i$  можна звести до ітеративного пошуку мінімуму функції відносних експлуатаційних витрат в ЕМ:

$$B_* = V_Q \tau (1 - \alpha_{II}) \frac{c}{K} + \left( \alpha_c + \alpha_{втр} \sum_{i=1}^{n_q} Q_i \tau \frac{c}{K} + \alpha_p \right) (1 - \alpha_{II}) + \alpha_{кр} + \alpha_p \rightarrow \min. \quad (3)$$

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ОПОРІВ ДРП (продовження)

Розділивши вираз витрат на умовно постійний коефіцієнт  $b_{втр} = \tau(1 - \alpha_{п}) \frac{c}{K}$ , отримано функцію еквівалентних втрат потужності у ЕМ після встановлення додаткових ДРП:

$$V_{Q_{екв}} = V_Q + \alpha_{втр} \sum_{i=1}^{n_q} Q_i + \sum_{i=1}^{n_q} K_i \frac{(\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_{п}) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c(1 - \alpha_{п})} \rightarrow \min. \quad (1)$$

$$G = \sum_{j=1}^{n_{pq}} Q_j + \sum_{i=1}^{n_q} Q_i - \sum Q_{п} - \Delta Q(Q_i) = 0, \quad (2)$$

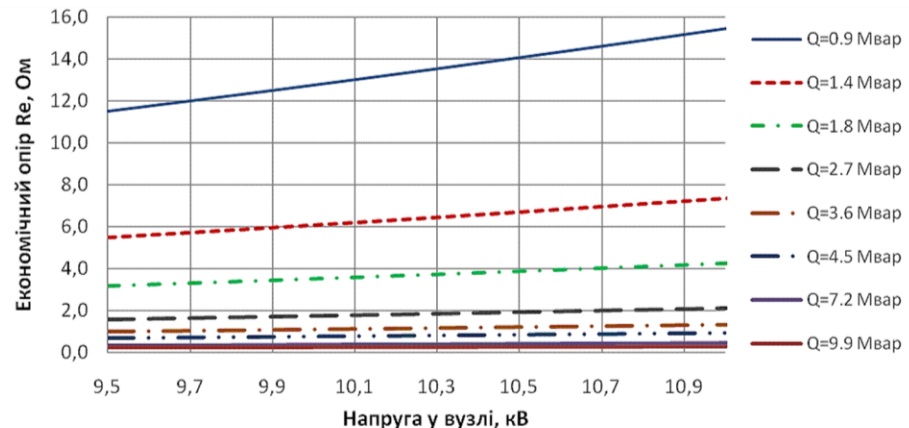
Її мінімізація у полі балансових обмежень (2) та обмежень на параметри з послідовним уточненням капіталовкладень  $K$  дозволить отримати значення потужностей  $Q_i$ , близькі до розв'язків задачі максимізації рентабельності.

Для врахування у заступній схемі «ідеального» режиму ЕМ додаткових втрат  $V_{дод} = V_{Q_{екв}} - V_Q$ , що пов'язані зі встановленням та експлуатацією ДРП, було визначено відповідні економічні опори:

$$R_{ci}^Q = \frac{U_i^2}{Q_i} \left[ \alpha_{втр} + \frac{K_i (\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_{п}) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{Q_i \tau c(1 - \alpha_{п})} \right], \quad (3)$$

Співвідношення для визначення економічних опорів  $R_{ci}^Q$  містять змінні параметри. **Отже опори потребують ітераційного уточнення.**

## Значення економічних опорів для ДРП 10 кВ





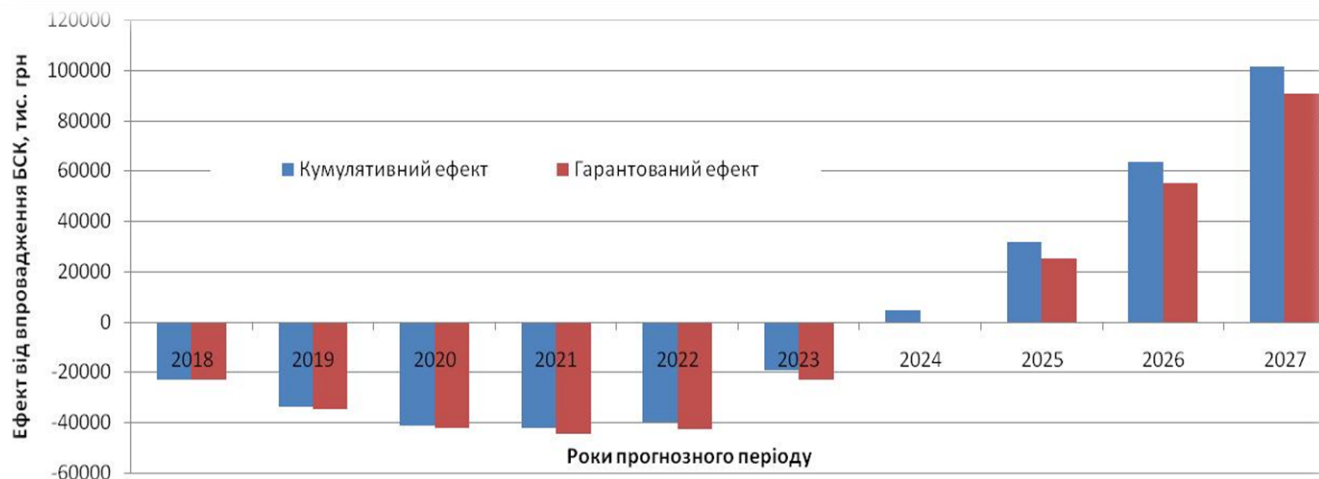
# ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ОПОРІВ ДРП ДЛЯ МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ

Джерело реактивної потужності	Постановка задачі оптимізації	Вираз для визначення економічного опору
Спеціалізовані установки (КУ, СТК) на балансі енергокомпанії	Пошук оптимальних потужностей наявних ДРП за критерієм мінімуму втрат електроенергії в мережах	$R_{ei}^Q = 0$
Спеціалізовані установки (КУ, СТК) на балансі енергокомпанії	Пошук оптимальних потужностей наявних ДРП за критерієм мінімуму експлуатаційних видатків	$R_{ei}^Q = \frac{\beta_i(Q_i)U_i^2}{Q_i \cdot c}$
Спеціалізовані установки (КУ, СТК) на балансі енергокомпанії	Пошук оптимального місця встановлення та потужності ДРП за критерієм максимуму рентабельності впровадження	$R_{ei}^Q = \frac{U_i^2}{Q_i} \left[ \alpha_{\text{втр}} + \frac{K_i (\alpha_c + \alpha_p)(1 - \alpha_{\text{II}}) + (\alpha_{\text{кр}} + \alpha_p)}{\tau c (1 - \alpha_{\text{II}})} \right]$
Електричні станції (ЕС), зокрема розосереджені джерела енергії	Пошук оптимальних потужностей ЕС за критерієм мінімуму втрат з урахуванням компенсації недовідпуску енергії ЕС	$R_{ei}^Q = \begin{cases} 0, \text{ якщо } Q_i \leq Q_{i\text{max}}; \\ \frac{\beta_{Pi} P_{\text{пви}}(Q_i) U_i^2}{Q_i^2 c}, \text{ якщо } Q_i > Q_{i\text{max}}. \end{cases}$
Електричні станції (ЕС), зокрема розосереджені джерела енергії	Пошук оптимальних потужностей ЕС за критерієм мінімуму втрат з урахуванням вартості послуги генерування дод. реактивної потужності	$R_{ei}^{PQ} = \frac{U_i^2}{(P_i^2 + Q_i^2)} \frac{\beta_{Qi} Q_{\text{Ді}}}{c}$



# РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ОСНАЩЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 110-35 КВ ПАТ «ВІННИЦЯОБЛЕНЕРГО» УСТАНОВКАМИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

За умови, що впровадження БСК у електромережах 110-35 кВ ПАТ «Вінницяобленерго» буде виконуватися згідно визначеної схеми, повна окупність проекту за кумулятивним ефектом, тобто без урахування надійності електромереж, якості електроенергії та точності інформаційного забезпечення очікується протягом 6 років. Однак, врахування означених факторів зумовлює зниження розрахункового ефекту з 101,6 млн. грн. до 90,6 млн. грн. (обґрунтований ефект) та підвищення терміну окупності до 7 років.



Зниження втрат електроенергії в розподільних мережах є однією з основних задач енергопостачальних компаній. В значній мірі цього зниження можна досягти за рахунок встановлення конденсаторних установок в цих мережах.

Впровадження конденсаторних установок (КУ) в електричних мережах промислових підприємств дозволяє суттєво знизити втрати електричної енергії, тому досить актуальною проблемою є підвищення ефективності використання КУ для дотримання нормативів по режимним параметрам розподільних електричних мереж 35-110 кВ.

Показано доцільність використання економічного струморозподілу для підвищення надійності та швидкодії розв'язання задачі оптимізації розміщення ДРП у електричних мережах з РДЕ за критерієм максимуму рентабельності капіталовкладень. Використання моделі «ідеального» режиму EM дозволило звести означену задачу нелінійної оптимізації до задачі пошуку екстремального струморозподілу в заступній r-схемі мережі, що є принципово простішою.

Запропоновані у роботі алгоритми були використані для техніко-економічного обґрунтування заходів з компенсації реактивної потужності в електромережах 110-35 кВ ПАТ «Вінницяобленерго». За результатами досліджень визначено оптимальну послідовність впровадження ДРП, яка характеризується високою рентабельністю. Очікувана окупність встановлення 56 ДРП за кумулятивним ефектом не перевищує 6 років. Однак, врахування надійності електромереж, якості електроенергії та точності інформаційного забезпечення призвело до зниження розрахункового ефекту на 12% та підвищення терміну окупності до 7 років.

Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт пов'язаних з монтажем та ремонтом електрообладнання розподільних мереж 35-110кВ. Також було досліджено стійкість роботи розподільної мережі щодо дії іонізуючих випромінювань та стійкості в умовах надзвичайних ситуацій.