

# ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТЕЙ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ЗАСОБАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

*В роботі, на підставі методу невизначених множників Лагранжа розроблено математичну та цифрову моделі оптимального розподілу активного та реактивного навантаження ЕМ між розосередженими джерелами електроенергії. Завдяки цьому отримано метод формування перспективного плану розвитку електричних мереж з поетапним визначенням оптимальних місць приєднання ВДЕ.*

**Ключові слова:** відновлювальна енергетика, електричні мережі, «зелений» тариф, електричні мережі.

## *Abstract*

*The paper, based on the Lagrange multiplier Lagrange developed mathematical models and optimal distribution of digital active and reactive load EM between dispersed sources of electricity. Thanks to this obtained by forming long-term plan of electrical networks phased determining optimal locations joining RES.*

**Keywords:** renewable energy, electric networks, "green" tariff, electricity networks.

## **Вступ**

Розвиток відновлювальної енергетики в Україні призводить до появи нових, не типових задач проектування та експлуатації для місцевих електричних мереж (ЕМ) напругою 10-35 кВ.

Враховуючи державну підтримку розбудови відновлюваної енергетики, питанням проектування та експлуатації таких станцій приділено достатньо уваги. Однак, розглядаючи проблему інтеграції розосередженого генерування в електроенергетичну систему України, науковці часто нехтують питаннями оптимізації перспективного плану розвитку електричних мереж ліцензіатів з передачі електроенергії. Задача є достатньо складною та багатофакторною, оскільки передбачає комплексну оптимізацію параметрів та розташування відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ), місць їх приєднання до ЕМ та резервування, а також планування заходів з розвитку та реконструкції електромереж. З огляду на забезпечення ефективної роботи останніх, необхідно враховувати вплив ВДЕ на надійність електропостачання споживачів та транспортування виробленої електроенергії, на якість електроенергії в ЕМ та на втрати електроенергії. Крім того, має враховуватися короткострокова динаміка тарифів енергоринку та довгострокова динаміка «зеленого» тарифу.

## **Результати дослідження**

Таким чином, дослідження умов оптимального розподілу потужностей ВДЕ у електричних мережах ліцензіатів з передачі електроенергії враховуючи перспективний план розвитку цих мереж є досить актуальною задачею.

У випадку планування перспективного розвитку електричних мереж за умов необхідності підключення нових потужностей генерування ВДЕ, доцільно переходити до розв'язання комплексної задачі їх підключення до електричних мереж з метою зменшення втрат активної потужності на передачу електроенергії та вирівнювання режиму напруг у вузлах схеми.

При цьому приєднання нових потужностей генерування відбувається поетапно відповідно до перспективного плану розвитку електромережі. Оцінити вплив приєднання на втрати активної потужності можна за допомогою матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужностей [1]. Вказані коефіцієнти характеризують вплив потужностей вказаного вузла на втрати активної потужності у вітках заступної схеми ЕМ.

Для оцінювання ефективності варіантів під'єднання нових потужностей генерування з використанням матриці  $\mathbf{T}$  за критерієм мінімуму втрат активної потужності необхідно на

початковому етапі сформувати перелік вузлів  $\theta_v$  до яких можливе приєднання ВДЕ. З переліку вузлів  $\theta_v$  обирається такий, якому відповідає найменше значення коефіцієнта впливу потужностей вузлів на втрати активної потужності у ЕМ:

$$\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma} = \dot{\mathbf{T}}_t \cdot \mathbf{n}_v \quad (1)$$

де  $\dot{\mathbf{T}}_t$  – транспонована матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності;

$\mathbf{n}_v$  - одиничний вектор стовпець, який має розмірність по кількості вузлів у схемі .

Введення нових потужностей у обраний вузол забезпечить, з певним допущенням, мінімум втрат активної потужності.

Вектор  $\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma}$  має розмірність за кількістю вузлів. Кожен його елемент відповідає частці втрат потужності від навантаження вузла, відповідно до номеру стовпця даного елемента.

Як показано у [2], елементи матриці  $\dot{\mathbf{T}}$  є коефіцієнтами чутливості втрат потужності в  $i$ -й вітці до зміни потужності в  $j$ -му вузлі. Оскільки вектор  $\dot{\mathbf{T}}_{\Sigma}$  складається з суми елементів матриці  $\dot{\mathbf{T}}_t$  (по стовпцях), то він є вектором чутливості. Він характеризує зв'язок між змінами потужності у вузлах та приростом сумарних втрат потужності у схемі електричної мережі. Використовуючи коефіцієнт  $T_i$  можна оцінити на скільки зміняться загальномержеві втрати за рахунок запланованого приєднання ВДЕ.

Оскільки вказані коефіцієнти чутливості дозволяють оцінити також вплив зміни реактивних потужностей у вузлах споживання або генерування на режим роботи електричної мережі є доцільним їх застосування і для оцінювання впливу ВДЕ на режими напруг у вузлах схеми.

Використовуючи вектор коефіцієнтів чутливості комплексну задачу оптимізації запланованого підключення ВДЕ до електричних мереж з метою зменшення втрат активної потужності на передачу електроенергії та вирівнювання режиму напруг у вузлах схеми можна сформулювати таким чином:

мінімізувати:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_i (T_i' - T_i'' \cdot k_{tg\phi_i}) + \Delta P_{ЦЖ} + \Delta P_{УК} \rightarrow \min \quad (2)$$

де  $P_i$  – потужності керованого ВДЕ або споживача,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$k_{tg\phi_i}$  – доцільний коефіцієнт потужності джерела енергії або споживача;

$\Delta P_{ЦЖ}$  – втрати активної потужності в електричній мережі викликані перетіканнями з центру живлення;

$\Delta P_{УК}$  – втрати активної потужності в електричній мережі викликані перетіканнями з умовно керованих ВДЕ;

$T_i', T_i''$  – коефіцієнти розподілу втрат потужності.

з урахуванням балансових обмежень:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i - P_{ЦЖ} &= 0; \\ \sum_{i=1}^n (P_i \cdot k_{tg\phi_i}) - Q_{ЦЖ} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

де  $P_{ЦЖ}, Q_{ЦЖ}$  – активна та реактивна потужності, що надходять у мережу із центру живлення.

З розв'язку задачі (2), отримано рішення, якому відповідає умова рівності між собою коефіцієнтів розподілу втрат потужності :

$$T_i'' = \lambda_Q = idem; T_i' = -\lambda_P = idem.$$

З отриманого розв'язку задачі комплексної оптимізації видно, що оптимальним розподілом сукупності нових потужностей генерованих ВДЕ, відповідно до перспективного плану розвитку на

кожному етапі та обраних критеріїв оптимізації, буде такий, що відповідає однаковим коефіцієнтам чутливості втрат по вузлах заступної схеми ЕМ.

#### **Висновки**

Розв'язок задачі оптимізації перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електричних мережах дозволяє визначити оптимальні місця розташування та встановлену потужність ВДЕ у локальній електричній системі з урахуванням позитивного ефекту від їх сумісної експлуатації. Запропонована цільова функція враховує показники якості електроенергії, недотримання яких різко віддаляє отриманий розв'язок від оптимуму функції.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.

2. Лежнюк П. Д. Оцінка чутливості втрат потужності в електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Лесько. – Вінниця, ВНТУ, 2010. — 120 с.

3. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А., Матрицы и вычисления.– М.: Наука, 1984.– 320 с.

*Анна Миколаївна Герей* – студентка групи ЕС-15м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [anna\\_gerey@ukr.net](mailto:anna_gerey@ukr.net);

Науковий керівник: *Олександр Борисович Бурикін* — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

*Anna M. Gerey* - Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [anna\\_gerey@ukr.net](mailto:anna_gerey@ukr.net);

Supervisor: *Alexander E. Burykin* - Candidate. Sc. Associate Professor, Department of Electric Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.