

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ СХЕМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Запропоновано новий метод еквівалентування схеми, який спрощує розрахунки еквівалентних опорів усієї схеми. Розроблені математичні моделі дозволяють здійснити розрахунок повної матриці еквівалентних опорів з використанням розширеної та доповненої першої матриці інцидентності.

**Ключові слова:** електрична мережа, еквівалентування, схема заміщення, віртуальні вітки, балансування.

### Abstract

A new method of circuit equivalence is proposed, which simplifies the calculation of equivalent resistances of all circuits. The developed mathematical models allow to calculate the complete matrix of equivalent resistances using the extended and supplemented first incidence matrix.

**Keywords:** electrical network, equivalence, substitution scheme, virtual branches, balancing.

Електроенергетичній системі здебільшого властива структура, що зумовлює складність математичних моделей та заступних схем з великим обсягом елементів, які, в свою чергу, характеризуються низкою інформаційних параметрів, обумовлених виникненням процесів, що не піддаються аналізу без прийняття певних допущень [1]. Для спрощення математичних та графічних моделей розроблено метод еквівалентування, що полягає в побудові моделей електричної мережі, які характеризують реальний її стан та дозволяють спростити її схему заміщення, створивши ефективні засоби обробки даних.

Для визначення еквівалентного опору між 1 та 2 вузлом вектор задаючих струмів подається:

$$J_{12}^T = [-1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0].$$

Враховуючи те, що одиничний струм протікає в колі опору  $R_{12}$ , еквівалентний опір між вузлами 1 та 2 може бути визначений з наступного виразу:

$$I_e \cdot R_e = 1 \cdot R_e = U_e = U_{12} = R_{12} \cdot I_{12},$$

де  $I_{12}$  – значення струму, отримане з рівняння стану.

Узагальнюючи для усіх віток схеми, отримаємо розширену матрицю інцидентності  $M^{\text{don}}$ :

$$M^{\text{don}} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_3 & \dots & J_{m+m_v} \end{bmatrix}.$$

Виконавши поелементне множення рядків оберненої матриці коефіцієнтів методу рівноважного балансування [2]  $B = A_s^{-1}$  на значення опору вітки  $Z_i$ , отримаємо матрицю опорів схеми:

$$D_{i,j} = B_{i,j} \cdot Z_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Для розрахунку усіх еквівалентних опорів доповнюється матриця  $D$  рядками, що враховують вітки, які з'єднують вузли, що поєднані більш ніж однією віткою через інші проміжні вузли:

$$D_{m+1,j} = Q_{m+1,k} \cdot D_{k,j} + Q_{m+1,i} \cdot D_{i,j},$$

де  $Q_{m+1,k}$ ,  $Q_{m+1,i}$  – знакові коефіцієнти  $\pm 1$  відповідно до напрямку  $k$ -ої та  $i$ -ої віток.

Розрахунок матриці еквівалентних опорів визначається:

$$R = D \cdot M^{\text{don}}.$$

Значення еквівалентних опорів віток розміщені на діагоналі цієї матриці. Підвищення ефективності методу досягається оптимізацією алгоритму розрахунку шляхом знаходження найбільш інформативних діагональних елементів даної матриці:

$$R_{i,i} = \sum_{j=1}^n D_{i,j} \cdot M_{j,i}^{\text{don}}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Розроблений новий метод еквівалентування схеми спрощує розрахунки еквівалентних опорів усієї схеми завдяки використанню методології рівноважного балансування, що дозволяє провести розрахунки з урахуванням взаємовпливів усіх віток схеми. Розроблені математичні моделі дозволяють здійснити розрахунок повної матриці еквівалентних опорів з використанням розширеної та доповненої першої матриці інцидентності, що вперше репрезентує повну характеристику електричної мережі з врахуванням віртуальних віток та, базуючись на методології рівноважного балансування, використовує для розрахунку усі рівняння першого закону Кірхгофа.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] П. Л. Воронов, В. А. Щедрин «Эквивалентирование и упрощение сложных электрических систем по частям при моделировании», Вестник чувашского университета, № 1, с. 44-54, 2015.

[2] С. В. Бевз, С. М. Бурбело, В. В. Войтко «Метод рівноважного балансування та автоматизація розрахунків усталеного режиму електричної мережі засобами MathCAD» Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, № 4, С. 36–44, 2020.

**Бевз Світлана Володимирівна** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [bevz@vntu.edu.ua](mailto:bevz@vntu.edu.ua)