

# АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З АСИНХРОННИМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Шевченко І.С., магістрант, Денисюк П.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

**Вступ.** Наявність в електроенергетичній системі (ЕЕС) нелінійних споживачів або джерел електричної енергії, таких як асинхронні машини вітрових електричних станцій (ВЕС), вимагає розробки відповідних алгоритмів розрахунку усталених режимів. Причина – нелінійна залежність режимних параметрів асинхронних машин від режиму самої ЕЕС.

**Метою роботи** являється розробка та дослідження алгоритмів розрахунку усталених режимів розподільної мережі ЕЕС з такими споживачами електричної енергії, якими являються асинхронні двигуни (АД), та джерелами електричної енергії на основі асинхронних генераторів вітрових електричних станцій.

**Матеріали і результати досліджень.** Режим роботи ЕЕС визначається рівнем напруги у вузлах мережі, який залежить від потужності вузла, яка, в свою чергу, являється функцією напруги цього вузла.

Використовуючи метод вузлових потенціалів, напругу  $j$ -го вузла в усталеному режимі можна описати формулою:

$$\dot{U}_j = \left( \frac{\dot{S}_j}{\dot{U}_j} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{z_{j-k}} \right) / \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_{j-k}}, \quad (1)$$

де:  $\dot{S}_j = P_j \pm jQ_j$  - повна потужність  $j$ -го вузла;

$$P_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} P_i + \sum_{i=1}^{n_{син}} P_i + P_{jcm} - \text{активна складова повної потужності } j\text{-го вузла,}$$

яка включає сумарну активну потужність  $n_{ac}$  асинхронних,  $n_{син}$  синхронних машин та статичне навантаження  $P_{jcm}$  ;

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} Q_i + \sum_{i=1}^{n_{син}} Q_i + Q_{jcm} - \text{реактивна складова повної потужності } j\text{-го}$$

вузла, яка включає сумарну реактивну потужність  $n_{ac}$  асинхронних,  $n_{син}$  синхронних машин та статичне навантаження  $Q_{jcm}$  ;

$\dot{z}_{j-k}$  - повний опір між вузлами  $j$  і  $k$ ;

$\dot{U}_k$  - напруга  $k$ -го вузла, з яким має зв'язок вузол  $j$ ;

$m$  - кількість вузлів, з якими має зв'язок вузол  $j$ .

Активну та реактивну складову повної потужності асинхронної машини  $j$ -го вузла можна описати рівняннями:

$$P_i = U_j^2 \frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad (2)$$

$$Q_i = U_j^2 \frac{\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}, \quad (3)$$

де:  $U_j$  - модуль напруги  $j$  вузла;

$$\alpha = x_s'' + \frac{N}{1 + s^2 T_1^2} + \frac{M}{1 + s^2 T_2^2} \quad - \text{ реактивна складова повного опору}$$

асинхронної машини;

$$\beta = \frac{s N T_1}{1 + s^2 T_1^2} + \frac{s M T_2}{1 + s^2 T_2^2} \quad - \text{ активна складова повного опору асинхронної}$$

машини;

$s$  – ковзання ротора асинхронної машини;

$x_s''$ ,  $N$ ,  $M$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – параметри асинхронної машини визначені за методикою [1].

Розрахунок усталеного режиму мережі ведеться ітераційним методом з використанням формули (1). Запропонований алгоритм передбачає в якості критерія точності використовувати відхилення модуля напруги в заданому вузлі  $j$  від ітерації ( $n$ ) до ітерації ( $n+1$ ).

$$|(U_{j(n)} - U_{j(n-1)})| \leq \varepsilon. \quad (4)$$

Розрахунок усталеного режиму мережі можна вважати завершеним з заданою точністю, якщо умова (4) виконується.

Якщо визначити провідність статичного навантаження  $j$  вузла за результатами останнього ітераційного розрахунку режиму мережі, то похибка розрахунку ввійде в цю провідність і не буде провокувати збурення як для усталеного так і перехідного режимів ЕЕС.

Провідність статичного навантаження  $j$  вузла буде використана як вихідна інформація:

$$\dot{y}_{навj} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{\dot{z}_{j-k}} - \dot{y}_{еквj} + (\dot{E}_{еквj} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{\dot{z}_{j-k}}) / \dot{U}_j, \quad (5)$$

де:  $\dot{y}_{еквj} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\dot{z}_{emi}}$  - еквівалентна провідність  $n$  електричних машин  $j$  вузла;

$\dot{E}_{еквj} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{E}_i''}{\dot{z}_{emi}}$  - еквівалентна ЕРС електричних машин  $j$  вузла;

$$n = n_{ac} + n_{син};$$

$\dot{z}_{emi}$  - повний опір  $i$ -ої електричної машини  $j$ -го вузла;

$\dot{E}_i'' = E_{+1}'' + jE_{+j}''$  - надперехідна ЕРС  $i$ -ої електричної машини в

синхронних осях  $+1, +j$  ;

$\dot{U}_k$  - напруга  $k$ -го вузла, з яким зв'язаний  $j$ -й вузол.

Рівняння напруга  $j$ -го вузла в перехідному режимі методом вузлових потенціалів має вигляд:

$$\dot{U}_j = \frac{\dot{E}_{еквj} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{\dot{z}_{j-k}}}{\dot{y}_{еквj} + \dot{y}_{j-k} + \dot{y}_{навj}}, \quad (6)$$

де:  $\dot{E}_{еквj}$  - еквівалентна ЕРС електричних машин  $j$  вузла;

$\dot{y}_{еквj}$  - еквівалентна провідність електричних машин  $j$  вузла;

$\dot{y}_{j-k} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{\dot{z}_{j-k}}$  - еквівалентна провідність між вузлами, з якими вузол  $j$

має зв'язок;

$\dot{y}_{навj}$  - провідність статичного навантаження  $j$  вузла, розрахована за формулою (5), враховує похибку розрахунку усталеного режиму електричної мережі.

Для обґрунтування правильності роботи запропонованого алгоритму були проведені порівняння результатів розрахунків усталеного режиму електричної мережі ЕЕС з використанням запропонованого алгоритму та на основі PowerFactory [2].

**Висновки.** Порівняння результатів розрахунків режимів ЕЕС, проведених з використанням розробленого на основі запропонованого алгоритму комплексу програм, з результатами моделювання режимів електричних мереж з допомогою програми PowerFactory, показують задовільне співпадання в межах інженерної похибки.

#### Перелік посилань

1. Костерев Н.В., Денисюк П.Л. Оценивание параметров асинхронной машины//Моделирование и расчет на ЦВМ режимов энергетических систем./ К.: Наукова думка, 1977. – с. 66-75.

2. Денисюк П.Л., Корнага Н.П. Паралельна робота вітрової електричної станції в розподільній мережі електроенергетичної системи з асинхронними двигунами // Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті. Матеріали ХVІІІ міжнародної науково-практичної конференції. Київ 2017 р.- с. 234-237.