

# ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З АСИНХРОННИМИ МАШИНАМИ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Денисюк П.Л., к.т.н., доц., Куник Ю.І., студентка, Сова О.М., студент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

**Вступ.** Наявність в електроенергетичній системі (ЕЕС) вітрових електричних станцій (ВЕС) на основі асинхронних машин вимагає розробки відповідних алгоритмів розрахунку усталених режимів. Причина - залежність характеристик асинхронних машин від напруги, яку розраховують.

**Метою роботи** являється розробка та дослідження алгоритмів розрахунку усталених режимів мережі ЕЕС з асинхронними генераторами вітрових електричних станцій (ВЕС) і потужними споживачами електричної енергії, якими являються асинхронні двигуни (АД).

**Матеріали і результати досліджень.** Режим ЕЕС визначається рівнем напруги та потужністю в вузлах мережі.

Повна потужність  $j$ -го вузла ЕЕС

$$\dot{S}_j = P_j \pm jQ_j,$$

де:  $P_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} P_i + \sum_{i=1}^{n_{син}} P_i + P_{jcm}$  - активна складова потужності  $j$ -го вузла, яка включає сумарну активну потужність  $n_{ac}$  асинхронних,  $n_{син}$  синхронних машин та статичне навантаження  $P_{jcm}$ ;

$Q_j = \sum_{i=1}^{n_{ac}} Q_i + \sum_{i=1}^{n_{син}} Q_i + Q_{jcm}$  - реактивна складова потужності  $j$ -го вузла, яка включає сумарну реактивну потужність  $n_{ac}$  асинхронних,  $n_{син}$  синхронних машин та статичне навантаження  $Q_{jcm}$ ;

Активну та реактивну потужність  $i$ -ї асинхронної машини  $j$ -го вузла можна описати рівняннями:

$$P_i = U_j^2 \frac{\beta}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad (1)$$

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

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

$\alpha = X_s'' + \frac{N}{1 + s^2 T_1^2} + \frac{M}{1 + s^2 T_2^2}$  - реактивна складова повного опору асинхронної машини;

$$\beta = \frac{sNT_1}{1+s^2T_1^2} + \frac{sMT_2}{1+s^2T_2^2} - \text{активна складова повного опору асинхронної}$$

машини;

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

$s$  – ковзання ротора асинхронної машини;

Напруга  $j$ -го вузла в усталеному режимі визначається за формулою:

$$\dot{U}_j = \left( \frac{\dot{S}_j}{\dot{U}_j} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{z_{j-k}} \right) / \sum_{i=1}^m \frac{1}{z_{j-k}}, \quad (3)$$

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

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

$m$  - число вузлів, з якими зв'язаний вузол  $j$ .

Розрахунок усталеного режиму мережі ведеться ітераційним методом з використанням формули (3). Запропонований алгоритм передбачає в якості критерія точності розрахунку режиму використовувати відхилення модуля напруги в заданому вузлі  $j$  від ітерації  $(n-1)$  до ітерації  $(n)$ .

$$\left| (U_{j(n)} - U_{j(n-1)}) \right| \leq \varepsilon.$$

Якщо відхилення менше заданого  $\varepsilon$ , можна вважати розрахунок режиму мережі закінченим.

Провідність статичного навантаження  $j$  вузла після розрахунку усталеного режиму електричних машин можна визначити за формулою:

$$\dot{y}_{наej} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{\dot{z}_{j-k}} - \dot{y}_{екej} + \left( \dot{E}_{екej} - \sum_{i=1}^m \dot{U}_k \frac{1}{\dot{z}_{j-k}} \right) / \dot{U}_j, \quad (4)$$

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

$\dot{E}_{екej} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{E}_i''}{\dot{z}_{emi}}$  - 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.

В формулі (4) врахована похибка розрахунку усталеного режиму мережі, що дає можливість провідність статичного навантаження вузла задавати величиною  $Y_{навj}$ .

Формула розрахунку напруги  $j$ -го вузла в перехідному режимі методом вузлових потенціалів має вигляд:

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

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 (4) і враховує похибку розрахунку усталеного режиму електричної мережі.

Для розробки комплексу програм аналізу перехідних режимів мереж ЕЕС з ВЕС був використаний описаний вище алгоритм розрахунку початкового (усталеного) режиму електричної мережі.

В якості демонстрації можливостей розробленого комплексу програм були поведені розрахунки режимів реальної розподільної мережі ЕЕС з ВЕС.

Для обґрунтування правильності вибору запропонованого алгоритму проведено порівняння результатів розрахунків усталеного режиму електричної мережі ЕЕС з використанням розробленого комплексу програм та на основі PowerFactory [2].

**Висновки.** Порівняння результатів розрахунків, проведених з використанням розробленого на основі запропонованого алгоритму комплексу програм, з результатами моделювання режимів роботи електричних мереж з допомогою PowerFactory показує задовільне, в межах інженерної похибки, їх співпадіння.

#### 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 XXI столітті. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції. Київ 2017 р.- с. 234-237.