

# МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ АСИНХРОННИХ МАШИН В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

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

**Вступ.** Режим роботи вітрової електричної станції (ВЕС) визначається характеристикою вітрового потоку на лопатях вітротурбіни, який носить різкозмінний характер [1].

Впровадження ВЕС в розподільну мережу електроенергетичної системи (ЕЕС) максимально наближає джерело електричної енергії до споживача [2], що вимагає додаткового аналізу впливу ВЕС на режими роботи споживачів в таких системах.

Особливий інтерес викликають ВЕС на основі найбільш простих і надійних асинхронних машин з короткозамкнутим ротором.

**Метою роботи** являється дослідження режимів роботи ВЕС на основі асинхронної машини в розподільній мережі електроенергетичної системи з потужними споживачами електричної енергії, якими являються асинхронні двигуни з відповідним механічним навантаженням.

**Матеріали і результати досліджень.** Для вирішення поставленої задачі була використана модель асинхронного генератора в формі ЕРС з двома короткозамкнутими контурами на роторі [3].

$$\begin{aligned}\frac{de'_d}{dt} &= -a_4 \cdot e''_d - e'_d + s \cdot e'_q \cdot T_1 + a_4 \cdot u_d; \\ \frac{de'_q}{dt} &= -a_4 \cdot e''_q - e'_q - s \cdot e'_d \cdot T_1 + a_4 \cdot u_q; \\ \frac{de''_d}{dt} &= -a_1 \cdot e''_d + a_2 \cdot e'_d + s \cdot e''_q \cdot T_2 + a_3 \cdot u_d; \\ \frac{de''_q}{dt} &= -a_1 \cdot e''_q + a_2 \cdot e'_q - s \cdot e''_d \cdot T_2 + a_3 \cdot u_q; \\ T_j \frac{ds}{dt} &= m_e - m_m,\end{aligned}\tag{1}$$

де:  $a_1 \div a_4$  – коефіцієнти рівнянь визначені за параметрами двоконтурної заступної схеми [4].

Система рівнянь (1) доповнена рівняннями:

- електромагнітного моменту асинхронної машини

$$m_e = \frac{-e''_q \cdot u_d + e''_d \cdot u_q}{x''_s},\tag{2}$$

де:  $e_d'', e_q'', u_d, u_q$  – складові ЕРС та напруги в осях  $d - q$  асинхронної машини;  
 $x_s''$  – надперехідний опір асинхронної машини;

- механічного моменту турбіни на роторі асинхронного генератора;

$$m_m = \frac{K_{sy} \cdot v(t)^3}{\theta \cdot (1 + s)}, \quad (3)$$

де:  $v(t)$  – залежність швидкості вітрового потоку в часі [1];  $K_{sy}$  - коефіцієнт переводу швидкості вітру в механічний момент;

- регулятора повороту лопаток віротурбіни

$$T_k \frac{d\theta}{dt} = -s_0 + s, \quad (4)$$

де:  $\theta$  – кут повороту лопатки вітроколеса;  $s$  - ковзання ротора асинхронної машини.

Для дослідження режимів асинхронних двигунів використовується модель (1), де ковзання ротора описується рівнянням

$$T_j \frac{ds}{dt} = m_e - m_c, \quad (5)$$

де:  $m_c = b_0 + b_1(1 + s) + b_2(1 + s)^2$  – момент опору механізму асинхронного двигуна;  $b_0, b_1, b_2$  – коефіцієнти в рівнянні моменту опору механізму, отримані методом найменших квадратів.

Модель мережі для розрахунку режиму  $i$ -го вузла ЕЕС має вигляд

$$\dot{U}_i = \frac{\dot{E}_i \dot{y}_i + \dot{U}_j \dot{y}_{ij}}{\dot{y}_i + \dot{y}_{ij} + \dot{y}_{inav}}, \quad (6)$$

де:  $\dot{E}_i = \sum_{k=1}^n \frac{\dot{E}_k''}{\dot{z}_k}$  – еквівалентна ЕРС  $i$ -го вузла;

$\dot{y}_i = \sum_{k=1}^n \frac{1}{\dot{z}_k}$  – еквівалентна провідність  $i$ -го вузла;

$n$  – кількість електричних машин  $i$ -го вузла;

$\dot{U}_j$  – напруга  $j$  вузла, з яким зв'язаний  $i$ -й вузол;

$\dot{z}_k = 0 + jx_s''$  – опір  $k$ -го асинхронного двигуна ;

$\dot{E}_k'' = E_{+1} + jE_{+j}$  – ЕРС  $k$ -ої асинхронної машини в синхронних осях  $+1, +j$ .

$\dot{y}_{ij}$  – взаємна провідність мережі між вузлами  $i-j$ ;

$\dot{y}_{inav}$  – еквівалентна провідність статичного навантаження  $i$ -го вузла.

Статичне навантаження вузла енергосистеми задається в вигляді

$$P_i, Q_i = const, \text{ або } P_i, Q_i = f(U).$$

На основі описаних вище моделей розроблено комплекс програм аналізу перехідних режимів розподільних мереж ЕЕС з ВЕС. Перша складова комплексу використовується для вводу вихідної інформації та формування файлу даних для розрахунку, друга для підготовки вихідної інформації та формування файлу завдання для розрахунку відповідного режиму. Третім елементом комплексу являється програма розрахунку заданого режиму, яка використовує файли підготовлені в перших складових комплексу програм.

В якості демонстрації можливостей розробленого комплексу програм були поведені розрахунки режимів реальної ЕЕС показаної на рис. 1.

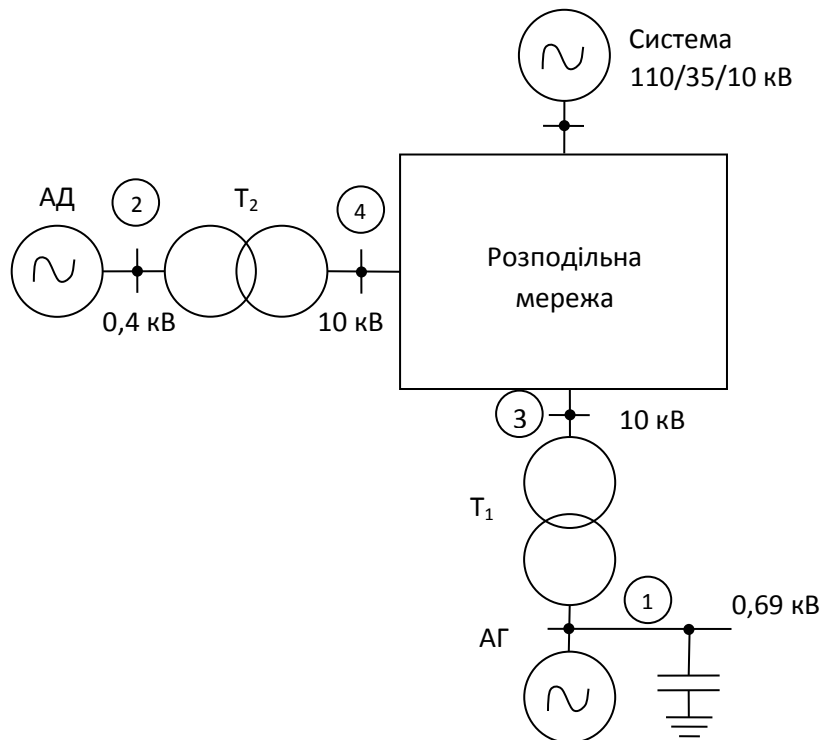


Рисунок 1 – Досліджувана розподільна мережа з асинхронним генератором (АГ) і асинхронним двигуном (АД)

Результати розрахунків в графічному вигляді показані на рис. 2.

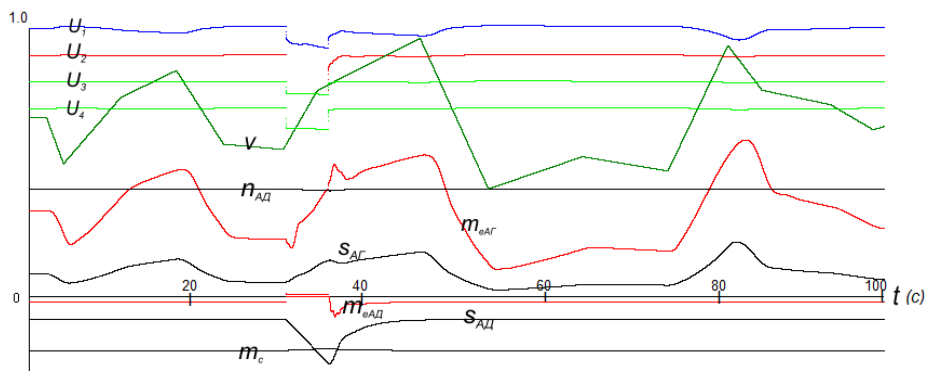


Рисунок 2 – Результати розрахунку режиму зниження напруги на зажимах асинхронного двигуна тривалістю  $\Delta t = 5c$ .

На рис. 2 показано:  $t$  – час;  $v$  – швидкість вітру;  $m_{eAG}$  – електромагнітний момент асинхронного генератора;  $m_{eAD}$  – електромагнітний момент асинхронного двигуна;  $n_{AD}$  – швидкість обертання асинхронного двигуна;  $S_{AG}$  – ковзання асинхронного генератора;  $S_{AD}$  – ковзання асинхронного двигуна;  $m_c$  – момент опору асинхронного двигуна;  $U_1, U_2, U_3, U_4$  – напруга відповідного вузла.

Збурення напруги визване трифазним коротким замиканням на шинах споживача, що зв'язаний з вузлом 2 кабельною лінією 0.4 кВ.

Для обґрунтування правильності вибору моделей і методів аналізу режимів ВЕС в розподільній мережі ЕЕС було проведено порівняння результатів розрахунків проведених з використанням розробленого комплексу програм з результатами моделювання режимів роботи електричних мереж з допомогою PowerFactory [5].

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

Проведений аналіз результатів розрахунків підтверджує електромагнітну сумісність розподільної мережі ЕЕС з вітровою електричною станцією на основі асинхронних машин.

Розроблений комплекс програм дозволяє більш повно враховувати властивості розподільної мережі з її промисловим навантаженням в вигляді асинхронних двигунів з відповідними характеристиками механізмів.

#### Перелік посилань

1. Пекур П.П. Стохастичне моделювання динаміки повітряного потоку в приземному шарі атмосфери за довільної функції розподілу швидкості вітру// Відновлювана енергетика. 2005.-№3-4. – С. 29-33.
2. Денисюк П.Л., Корнага Н.П. Електромагнітна сумісність електроенергетичних систем з вітровими електричними станціями // Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматичної. Київ, 2012 р. – С. 215-216.
3. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме./ К.: Вища шк., 1986. – 168 с.
4. 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.
5. 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.