

# АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ НА ОСНОВІ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

**Журавльов А.В., магістрант, Денисюк П.Л., к.т.н., доц.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії*

**Вступ.** Режими роботи вітрових електричних станцій (ВЕС) визначаються характеристикою вітрового потоку на лопатях вітротурбіни, який носить змінний характер [1], що призводить до коливання механічного моменту на валу синхронного генератора (СГ) і напруги на його зажимах, що впливає на роботу споживачів розподільної мережі електроенергетичної системи (ЕЕС). Асинхронний двигун відноситься до категорії споживачів найбільш чутливих до зміни напруги на шинах його приєднання до електричної мережі.

**Метою роботи** являється аналіз впливу ВЕС на основі синхронних машин на режими роботи споживачів розподільної мережі, а саме, асинхронних двигунів.

**Матеріали і результати досліджень.** Для вирішення поставленої задачі була використана модель асинхронного двигуна в формі *EPC* з двома короткозамкнутими контурами на роторі [2].

$$\begin{aligned}
 p e'_d &= -a_4 \cdot e''_d - e'_d + s \cdot e'_q \cdot T_1 + a_4 \cdot u_d; \\
 p e'_q &= -a_4 \cdot e''_q - e'_q - s \cdot e'_d \cdot T_1 + a_4 \cdot u_q; \\
 p e''_d &= -a_1 \cdot e''_d + a_2 \cdot e'_d + s \cdot e''_q \cdot T_2 + a_3 \cdot u_d; \\
 p e''_q &= -a_1 \cdot e''_q + a_2 \cdot e'_q - s \cdot e''_d \cdot T_2 + a_3 \cdot u_q; \\
 T_j p s &= m_e - m_c;
 \end{aligned} \tag{1}$$

де:  $s$  – ковзання ротора асинхронної машини;

$e''_d, e''_q, e'_d, e'_q, u_d, u_q$  – складові *EPC* та напруги в осях  $d$ - $q$  асинхронної машини;

$m_e$  – електромагнітний момент асинхронної машини;

$m_c$  – момент опору механізму асинхронного двигуна;

$a_1 \div a_4, T_1, T_2$  – коефіцієнти рівнянь визначені за параметрами двоконтурної заступної схеми [3].

Для синхронного генератора була використана двоконтурна модель синхронної машини в формі *EPC* [2].

$$\begin{aligned}
 p e''_q &= -a_1 \cdot e''_q + a_2 \cdot e'_d + a_3 u_\mu + a_4 \frac{u_q}{1+s}; \\
 p e''_d &= a_5 \cdot e''_d + a_6 \frac{u_d}{1+s}; \\
 p e'_q &= a_7 e''_q - a_8 e'_d + a_3 u_\mu + a_7 u_q;
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$T_j ps = m_T - m_e;$$

$$p\alpha = s\omega_0,$$

де:  $s$  – ковзання ротора синхронної машини;

$e_d'', e_q'', e_d', u_d, u_q$  – складові ЕРС та напруги в осях  $d$ - $q$  синхронної машини;

$u_\mu$  – напруга контура на роторі синхронної машини, що відповідає властивостям постійного магніту по осі  $q$ ;

$m_e$  – електромагнітний момент синхронної машини;

$a_1 \div a_8$  – коефіцієнти рівнянь визначені з двоконтурної заступної схеми;

$\alpha$  – кут повороту ротора синхронної машини по відношенню до вектора напруги в базовому вузлі;

$$m_T = \frac{\xi \pi R^2 v(t)^3}{\omega} - \text{механічний момент вітротурбіни [4],}$$

де:  $\zeta$  – коефіцієнт, що характеризує конструкцією вітроколеса та щільність вітрового потоку;

$R$  – радіус вітроколеса;

$v(t) = v_{сер} + v_g(t)$  – швидкість вітру [1], яка являє собою суму двох складових: середнього значення  $v_{сер}$  та відхилення від середнього –  $v_g(t)$ .

Модель мережі ЕЕС в перехідному режимі має вигляд:

$$\dot{U}_i = \frac{\dot{E}_i \dot{y}_i + \dot{U}_j \dot{y}_{ij}}{\dot{y}_i + \dot{y}_{ij} + \dot{y}_{инав}}, \quad (3)$$

де:  $\dot{E}_i$  – еквівалентна ЕРС синхронних та асинхронних машин;

$\dot{y}_i$  – еквівалентна провідність  $i$ -го вузла;

$\dot{U}_j$  – напруга вузлів, що зв'язані з  $i$ -им вузлом;

$\dot{y}_{ij}$  – провідність між вузлами  $i$   $j$ .

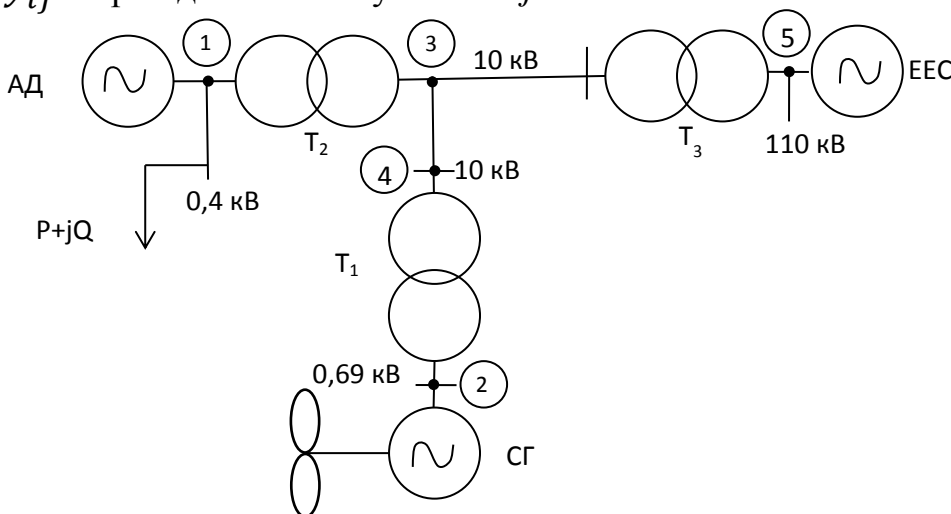


Рисунок 1 – Досліджувана розподільна мережа з синхронним генератором (СГ) і асинхронним двигуном (АД)

Для демонстрації можливостей запропонованих моделей були проведені розрахунки режимів реальної розподільної мережі ЕЕС, показаної на рис. 1.

В якості моделі вітрового потоку на лопатях ВЕС використовувалась реальна залежність швидкості вітру в функції часу [1] задана графіком  $v(t)$ .

На рис. 2 показані результати розрахунку режиму розподільної мережі при втраті зв'язку з ЕЕС на напрузі 110 кВ протягом  $\Delta t = 70$  с.

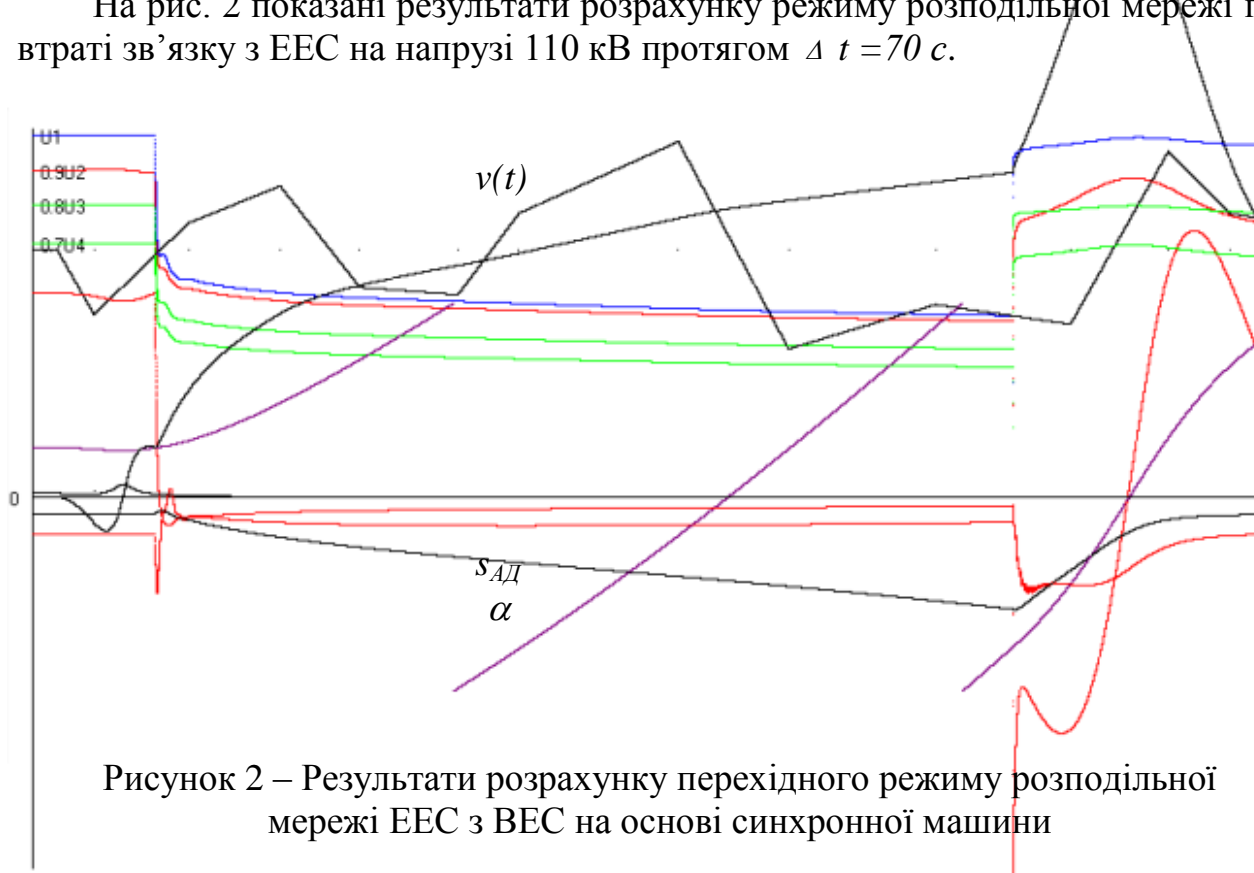


Рисунок 2 – Результати розрахунку перехідного режиму розподільної мережі ЕЕС з ВЕС на основі синхронної машини

**Висновки:** Коливання вітрового потоку на лопатях вітротурбіни СГ призводить до коливання механічного моменту синхронного генератора і, відповідно, напруги на його зажимах, що впливає на режими роботи розподільної мережі ЕЕС, основними споживачами якої являються асинхронні двигуни.

Запропоновані моделі дають можливість аналізувати вплив коливання вітрового потоку на лопатях вітротурбіни на режими роботи таких споживачів розподільної мережі ЕЕС як асинхронні двигуни.

#### 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. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме./ К.: Вища шк., 1986.

3. 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.

4. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки / М.:ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ. -1948. – 544 с.