

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ НА ОСНОВІ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА РЕЖИМИ РОБОТИ СПОЖИВАЧІВ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Бровко О.В., магістрант, Денисюк П.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Впровадження вітрової електричної станції (ВЕС) в розподільну мережу електроенергетичної системи (ЕЕС) максимально наближає джерело електричної енергії до споживача, що вимагає додаткового аналізу впливу ВЕС на режими роботи споживачів в таких системах. Режими роботи вітрових електричних станцій (ВЕС) характеризуються змінним характером вітрового потоку [1] на лопатях вітротурбіни, що призводить до коливання механічного і електромагнітного моменту на валу генератора і тим самим напруги в вузлах розподільної мережі ЕЕС, що суттєво впливає на роботу споживачів таких як асинхронні двигуни.

Метою роботи є моделювання режимів роботи ВЕС на основі асинхронних машин в розподільній мережі ЕЕС з потужними споживачами електроенергії, такими як асинхронні двигунами з відповідним механічним навантаженням.

Матеріали і результати досліджень. Для вирішення цієї задачі була використана модель асинхронної машини у формі *EPC* з двома короткозамкненими контурами на роторі [2].

Модель генератора:

$$\begin{aligned}\frac{de'_{ds}}{dt} &= -a_4 \cdot e''_{ds} - e'_{ds} + s \cdot e'_{qs} \cdot T_1 + a_4 \cdot u_{ds}; \\ \frac{de'_{qs}}{dt} &= -a_4 \cdot e''_{qs} - e'_{qs} - s \cdot e'_{ds} \cdot T_1 + a_4 \cdot u_{qs}; \\ \frac{de''_{ds}}{dt} &= -a_1 \cdot e''_{ds} + a_2 \cdot e'_{ds} + s \cdot e''_{qs} \cdot T_2 + a_3 \cdot u_{ds}; \\ \frac{de''_{qs}}{dt} &= -a_1 \cdot e''_{qs} + a_2 \cdot e'_{qs} - s \cdot e''_{ds} \cdot T_2 + a_3 \cdot u_{qs}; \\ T_j \frac{ds}{dt} &= m_T - m_e ;\end{aligned}\tag{1}$$

де: $e''_{ds}, e''_{qs}, e'_{ds}, e'_{qs}, u_{ds}, u_{qs}$ – складові *EPC* та напруги в осях $d-q$ асинхронної машини;

s - ковзання ротора асинхронної машини;

x''_s – надперехідний опір асинхронної машини;

$a_1 - a_4, T_1, T_2$ - коефіцієнти рівнянь визначені за параметрами двоконтурної заступної схеми [3];

$m_e = (-e''_{qs} u_{ds} + e''_{ds} u_{qs}) / x''_s$ - електромагнітний момент асинхронної машини;

$m_T = \frac{K_{sy} \cdot v(t)^3}{\theta \cdot (1+s)}$ - механічний момент вітротурбіни на роторі асинхронного генератора; $v(t)$ - швидкість вітрового потоку; K_{sy} - коефіцієнт, що враховує конструкцію вітротурбіни та властивості повітряного потоку; θ - кут повороту лопаті вітроколеса.

Модель вітрового потоку задається в вигляді графіку швидкості вітру $v(t)$ [1]

Динаміка регулятора повороту лопатей вітротурбіни описується рівнянням:

$$T_k \frac{d\theta}{dt} = -s_0 + s. \quad (2)$$

Ковзання ротора асинхронного двигуна описується рівнянням:

$$T_j \frac{ds}{dt} = m_e - m_c, \quad (3)$$

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

Модель мережі ЕЕС має вигляд [4]:

$$\dot{U}_i = \frac{\dot{E}_i \dot{y}_i + \dot{U}_j \dot{y}_{ij}}{\dot{y}_i + \dot{y}_{ij} + \dot{y}_{наав}}, \quad (4)$$

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

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

n - кількість електричних машин i -го вузла;

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

$\dot{z}_k = 0 + jx''_s$ - опір k -ої асинхронної машини;

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

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

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

Статичне навантаження вузла енергосистеми може задаватися в вигляді

$P, Q = const$, або $P, Q = f(U)$.

На основі запропонованих моделей було розроблено комплекс програм аналізу режимів ВЕС на основі асинхронних машин в розподільній мережі ЕЕС з її промисловим навантаженням в вигляді асинхронних двигунів з відповідними характеристиками приводних механізмів.

Для схеми на рис. 1 був проведений розрахунок режиму зниження напруги на шинах 110 кВ ЕЕС до $0.35U_c$ на протязі $\Delta t = 20$ с. Результати розрахунків показані на рис. 2.

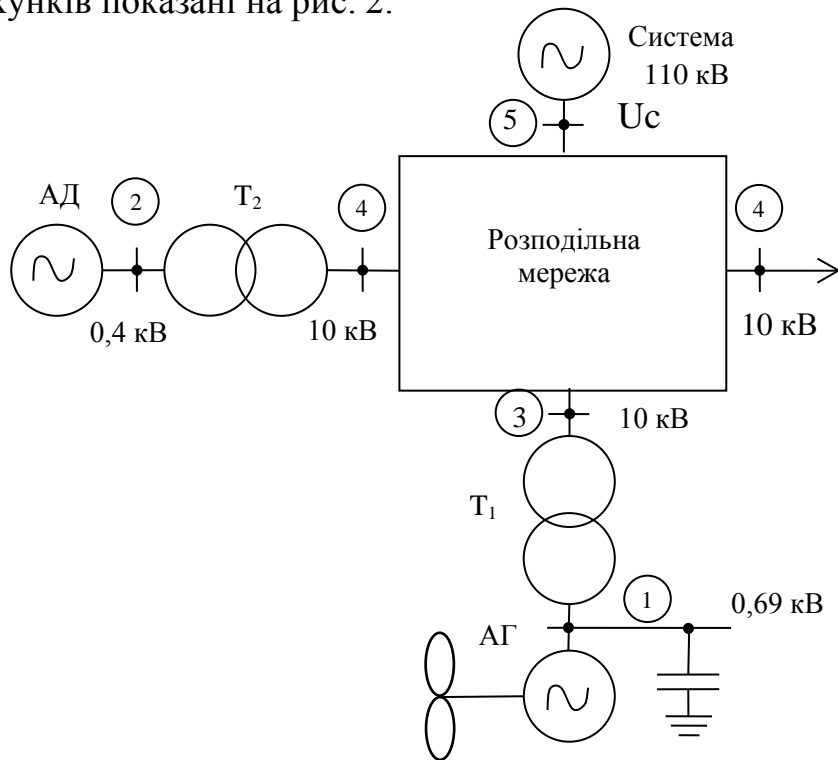


Рисунок 1 – Розподільна мережа з ВЕС на основі асинхронного генератора (АГ) і асинхронним двигуном (АД)

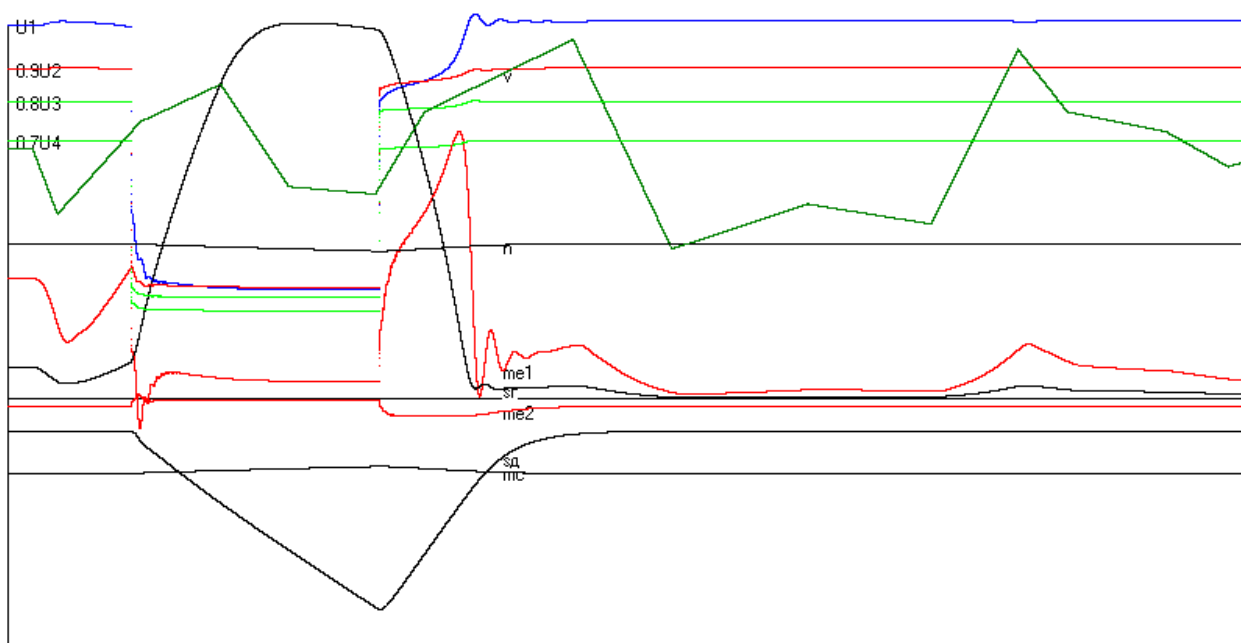


Рисунок 2 – Результати розрахунку перехідного режиму розподільної

мережі ЕЕС з ВЕС на основі асинхронної машини

На рис. 2: v – швидкість вітру; m_{e1} – електромагнітний момент асинхронного генератора; m_{e2} – електромагнітний момент асинхронного двигуна; n – швидкість двигуна; s_g – ковзання ротора асинхронного генератора; s_d – ковзання ротора асинхронного двигуна; m_c – момент опору асинхронного двигуна; U_1, U_2, U_3, U_4 – напруга відповідного вузла.

Висновки. На основі запропонованих моделей розроблено комплекс програм аналізу впливу ВЕС на основі асинхронних машин на режими роботи розподільної мережі ЕЕС з її промисловим навантаженням. Модель ВЕС враховує реальну форму вітрового потоку на лопатях вітротурбіни, яка носить змінний характер.

Розроблений комплекс програм дозволяє більш повно враховувати властивості розподільної мережі з її промисловим навантаженням в вигляді асинхронних двигунів з відповідними характеристиками механізмів. Модель асинхронного двигуна враховує залежність механічного моменту механізму від швидкості його обертання.

В якості вихідної інформації для моделювання асинхронних машин використовувалися доступні паспортні дані.

Аналіз результатів розрахунку показує повну електромагнітну сумісність розподільної мережі ЕЕС з вітроелектростанцією на основі асинхронних машин.

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. – 168 с.
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. 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.