

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ БАГАТОМАШИНИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ СИНХРОННИХ МАШИН

Багнюк О.І., магістрант, Денисюк П.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Розвиток відновлюваних джерел енергії є важливим фактором підвищення рівня енергетичної незалежності, зниження використання дорогих імпортованих паливних ресурсів та зменшення негативного впливу виробництва електроенергії на навколишнє середовище. Серед напрямків нетрадиційної енергетики найбільш швидкозростаючою галуззю є вітроенергетика.

Впровадження в електроенергетичну систему (ЕЕС) вітрових електричних станцій (ВЕС), режими роботи яких визначаються характеристикою вітрового потоку на лопатях вітротурбіни, який носить змінний характер [1], ставить задачу визначення їхнього впливу на режими роботи самої ЕЕС.

Мета роботи. Моделювання режимів багатомашинних ВЕС на основі синхронних генераторів, вітротурбіни яких знаходяться в індивідуальних вітрових потоках змінного характеру, результатом чого становиться коливання потужності генераторів і напруги в вузлах приєднання електричних машин до ЕЕС.

Матеріали дослідження. Для моделювання режимів електричних машин ВЕС використана модель синхронної машини у формі ЕРС [2] з двома еквівалентними контурами на роторі. Один з них демпферний, інший - еквівалент обмотки збудження, що відповідає властивостям постійних магнітів.

$$\begin{aligned}pe''_q &= a_1 e''_q + a_2 e'_q + a_3 u_\mu + a_4 \frac{u_q}{1+s}; \\pe''_d &= a_5 e''_d + a_6 \frac{u_d}{1+s}; \\pe'_q &= a_7 e''_q - a_8 e'_q + a_3 u_\mu + a_7 u_q; \\T_j ps &= m_T - m_E; \\p\alpha &= s\omega_0,\end{aligned}\tag{1}$$

де: $a_1 \div a_8$ – коефіцієнти диференціальних рівнянь визначені за параметрами двоконтурної заступної схеми синхронної машини;

e''_q, e''_d – надперехідні ЕРС синхронної машини в осях d, q зв'язаним з її ротором;

e'_q – перехідна ЕРС по осі q , що характеризує властивості постійного магніту;

u_μ – напруга контура на роторі синхронної машини, що відповідає властивостям постійного магніту;

u_q, u_d – складові напруги вузла приєднання синхронної машини в координатах d, q синхронної машини;

T_j – механічна стала часу агрегату;

$m_E = e_q'' i_q + e_d'' i_d + (x_d'' - x_q'') i_d i_q$ – електромагнітний момент синхронної машини;

i_d, i_q – складові струму синхронної машини в координатах d, q ;

x_d'', x_q'' – надперехідні індуктивні опори синхронної машини в поперечній та поздовжній осях d, q ;

s – ковзання ротора синхронної машини по відношенні до швидкості поля в зазорі статора ω_0 , яке визначається частотою напруги в енергосистемі;

α – кут положення осі q ротора синхронної машини по відношенню до вектора напруги в базовому вузлі;

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

де: ξ – коефіцієнт, що характеризує конструкцію вітротурбіни в вітровому потоці;

R – радіус вітроколеса вітротурбіни;

$v(t)$ – миттєве значення швидкості вітру в момент часу t ;

$v(t) = v_{cep} + v_{вих}(t)$ – швидкість вітру, яка являє собою суму двох складових:

постійного середнього значення та відхилення відносно нього;

Вітротурбіна з відцентровим регулятором швидкості являє собою аеромеханічну систему регулювання з двома ступенями свободи, що описується диференціальним рівнянням:

$$J_\Sigma p^2 \gamma + K p \gamma = m_B + m_{\text{пр}}, \quad (2)$$

де: γ – кут установки лопатей турбіни;

J_Σ – сума приведених до осі ротора моментів інерції всіх елементів системи регулювання, які механічно зв'язані з ротором;

K – похідна демпфуючого моменту аеродинамічних сил;

m_B – момент регулювання;

$m_{\text{пр}}$ – момент пружини регулятора.

Для розрахунку режимів ЕЕС з ВЕС в середовищі візуального програмування Delphi з використанням запропонованих моделей був розроблений комплекс комп'ютерних програм.

В якості моделі вітрового потоку на лопатях ВЕС використана реальна залежність швидкості вітру в функції часу (рис. 1).

Для прикладу проведено розрахунки режимів ЕЕС з багатомашинною ВЕС на основі синхронних машин з постійними магнітами. Результати розрахунків показані на рис. 3, 4.

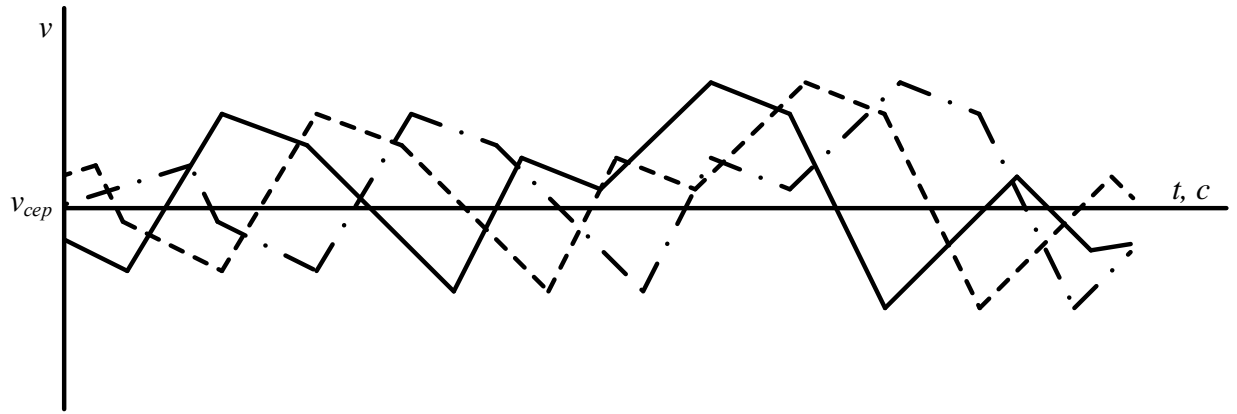


Рисунок 1 – Модель вітрового потоку для тримашинної ВЕС

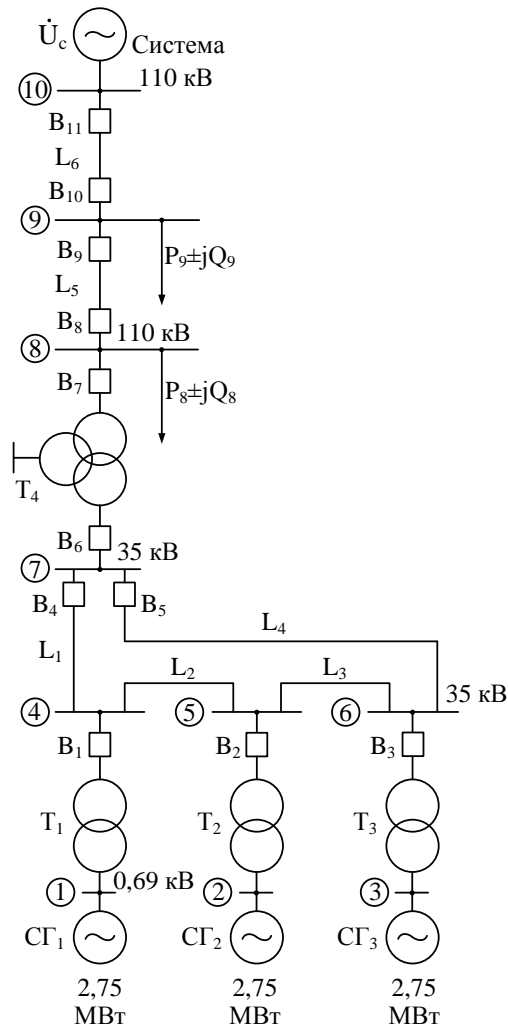


Рисунок 2 – Досліджувана схема ЕЕС з багатомашинною ВЕС

До складу багатомашинної ВЕС входять синхронні генератори потужністю $P_H = 2,75$ МВт. Загальна потужність ВЕС складає 8,25 МВт. Номінальна напруга генераторів $U_H = 0,69$ кВ. Номінальна потужність трансформаторів: $S_{HT1} = S_{HT2} = S_{HT3} = 4$ МВА, трансформатора T_4 $S_{HT4} = 40$ МВА.

На Рис. 3 показані результати розрахунку режимів ВЕС з відповідними (рис. 1) індивідуальними характеристиками вітрового потоку.

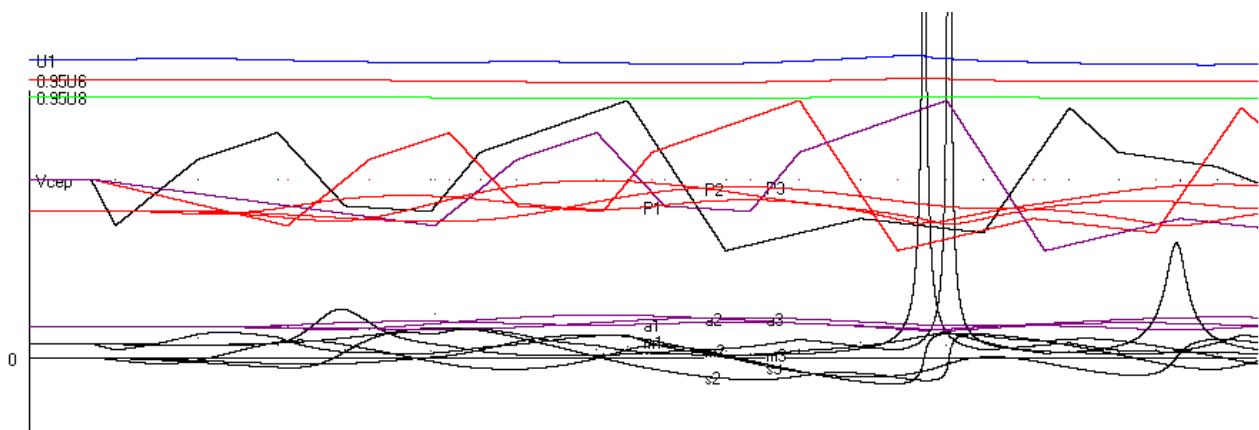


Рисунок 3 – Режими роботи багатомашинної ВЕС з відповідними індивідуальними характеристиками вітрового потоку на лопатях вітротурбін

На рис. 4 показані результати розрахунку режимів багатомашинної ВЕС при зниженні напруги на шинах 110 кВ ЕЕС на 15% протягом 40с.

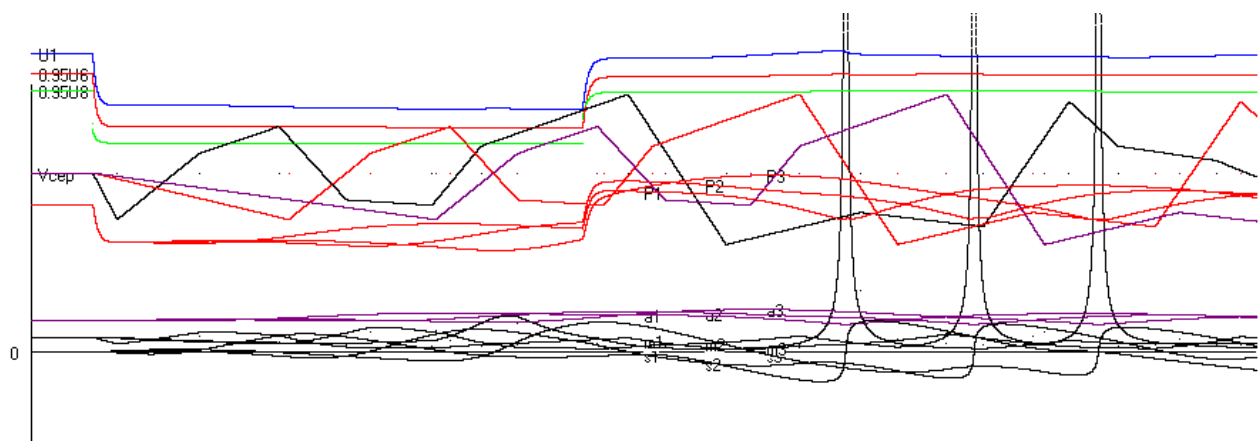


Рисунок 4 – Режими роботи багатомашинної ЕЕС з ВЕС при зниженні напруги U_0 на 15% протягом 40с

Висновки. Розроблений на основі запропонованих моделей комплекс програм дозволяє моделювати режими роботи ЕЕС з багатомашинною ВЕС. Моделі вітроагрегатів враховують індивідуальний характер вітрового потоку кожного агрегату. Результати розрахунків показують, що зміна вітрового потоку викликає коливання механічного та електромагнітного моменту електричної машини, що призводить до коливання напруги в вузлах ЕЕС.

Перелік посилань

1. Пекур П.П. Стохастичне моделювання динаміки повітряного потоку в приземному шарі атмосфери за довільної функції розподілу швидкості вітру / Відновлювальна енергетика. 2005. - № 3-4. – С. 29 – 33.
2. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме / К. : Высшая шк., 1986. – 168 с.
3. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки./ М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ. -1948. – 544 с.