

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЗІ ЗНАЧНОЮ ЧАСТКОЮ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

¹ Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»

Розроблено математичну модель паралельної роботи вітрової електричної станції (ВЕС) з енергосистемою та створено її комп'ютерну модель з використанням програмного забезпечення PowerFactory. Проведено дослідження та запропоновано заходи для підвищення ефективності роботи енергосистеми за значних коливань потужності генерації ВЕС.

Ключові слова: режими роботи енергосистеми, модель електричної мережі, моделювання, вітрова електрична станція.

Вступ

У відповідності з прогнозами [1] в майбутньому в електроенергетиці будуть відбуватися значні структурні зміни. Це пов'язано з реалізацією нової енергетичної стратегії, яка визначається світовою спільнотою, як стратегія «сталого розвитку». Суть цієї стратегії, в досить узагальненому вигляді, полягає у взаємоузгодженому виконанні низки основних положень, що передбачають ефективне використання традиційних та нетрадиційних джерел енергії, подальший розвиток енергозбережливих технологій, дотримання вимог з якості електричної енергії та забезпечення мінімізації впливу об'єктів енергетики на навколишнє середовище.

Якщо говорити про шляхи реалізації цієї загальної стратегії, то вони пов'язані зі збереженням та вдосконаленням традиційних систем перетворення енергії за умови паралельного нарощення темпів створення систем, що орієнтовані на використання нових нетрадиційних джерел енергії.

Наявність відновлюваних джерел енергії спричиняє зміни в структурі енергосистеми і режимах її роботи, а саме:

— більшість відновлюваних джерел електроенергії під'єднанні до розподільної мережі. Це відрізняє її від традиційних енергосистем, у яких баланс енергії підтримується переважно декількома потужними централізованими генерувальними центрами, що під'єднанні до передавальної мережі;

— потужність генерації відновлюваних джерел електроенергії визначається зовнішніми факторами (в першу чергу інтенсивністю, наприклад, вітрового потоку для вітрової електричної станції (ВЕС)) і мало залежить від режиму роботи електричної мережі, до якої вони під'єднанні;

— ВЕС, як і інші відновлювані джерела енергії, можуть мати коливальний або переривчастий характер генерації потужності. Концентрація великої кількості такого типу джерел може привести до значних коливань потужності та напруги в енергосистемі, що значно впливає на режими роботи енергосистеми і її стійкість [2].

Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року передбачає зростання сумарної встановленої потужності вітрових станцій до 5,9 ГВт до 2020 року. Збільшення частки відновлювальних джерел енергії в Україні потребує впровадження низки заходів, щодо оптимальної та надійної роботи ОЕС України.

Метою роботи є створення динамічної моделі електричної мережі (ЕМ) з ВЕС проведення моделювання і аналізу впливу ВЕС на режими роботи мережі (рівні напруг та перетоки потужності).

Результати дослідження

Моделювання впливу вітрової станції на режими роботи мережі проводились на схемі електричної мережі 330–110–10 кВ південно-східної частини ОЕС України. В ПЗ PowerFactory була створена динамічна модель енергосистеми, яка включає 9 п/ст 330 кВ, та 12 п/ст 110 кВ (рис. 1).

Ці п/ст з'єднуються між собою 15-ма ЛЕП 110 кВ, 18-ма ЛЕП 330 кВ. До найбільш електрично віддаленої п/ст 110 кВ (вузол 22) приєднана ВЕС, яка включає в себе 50 асинхронних генераторів [3] потужністю 2 МВА кожний.

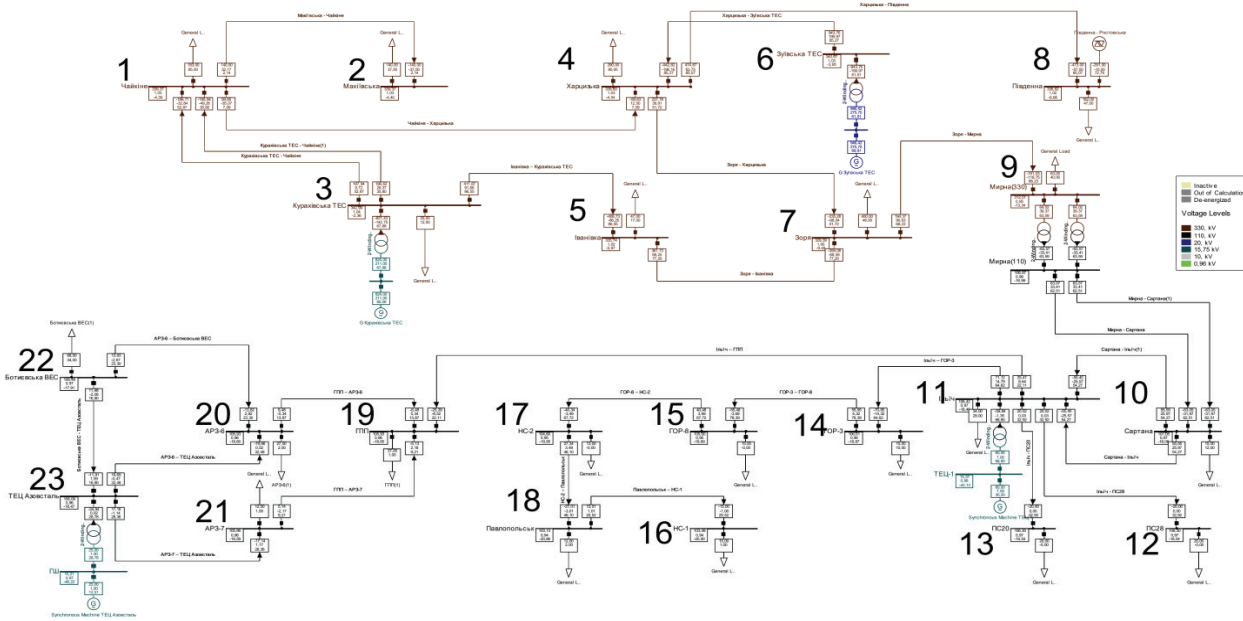


Рис. 1. Схема досліджуваної енергосистеми в програмному забезпеченні Digsilent PowerFactory

Докладніше зупинимось на моделюванні ВЕС та її системи управління.

Кінетична енергія маси повітря m , яка має швидкість v_w визначається за формулою [4]

$$E_k = \frac{m}{2} \cdot v_w^2.$$

Потужність вітрового потоку є похідною від E_k за часом і визначається

$$P_0 = \frac{\partial E_k}{\partial t} = \frac{1}{2} \frac{\partial m}{\partial t} \cdot v_w^2 = \frac{1}{2} q \cdot v_w^2,$$

де q — потік повітря, який визначається за формулою

$$q = \rho \cdot v_w \cdot A,$$

де ρ — густина повітря; A — площа, через яку проходить потік повітря.

Тільки частина загальної кінетичної енергії може бути спожита вітротурбіною і перетворена в обертаючу потужність на валу. Ця кількість енергії P_{WIND} залежить від швидкості вітру, положення лопатей, швидкості ротора та конструкції турбіни, а також коефіцієнта аеродинамічної ефективності C_p

$$C_p = \frac{P_{WIND}}{P_0}.$$

Для різноманітних вітрових турбін C_p представляється як функція від кута пітча (β) та відносної кругової швидкості (λ):

$$\lambda = \frac{\omega_{TUR} \cdot R}{v_w},$$

де R — радіус лопатей турбіни і ω_{TUR} — швидкість турбіни.

Отже, механічна енергія, яка отримується з вітру розраховується за формулою

$$P_{mech} = \frac{\rho}{2} \pi R^2 C_p (\lambda, \beta) v_w^3.$$

Блок вітрової турбіни з вхідними та вихідним сигналами зображений на рис. 2. Цей блок має

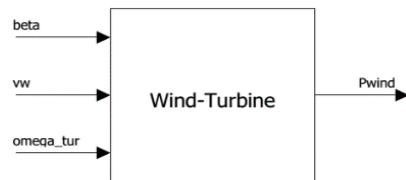


Рис. 2. Блок вітрової турбіни з вхідними та вихідним сигналами в ПЗ PowerFactory: beta — кут пітча лопаті; vw — швидкість вітру; omega_tur — кутова швидкість турбіни; Pwind — механічна потужність

такі параметри: R — радіус лопатей ротора, ρ — густина повітря, C_p — коефіцієнт аеродинамічної ефективності.

Керування кутом пітча дозволяє змінювати коефіцієнт потужності C_p і тим самим регулювати потужність, яка генерується вітротурбіною. На рис. 3 зображена блок-схема системи управління, яка складається з двох частин: самої схеми керування та сервоприводу.

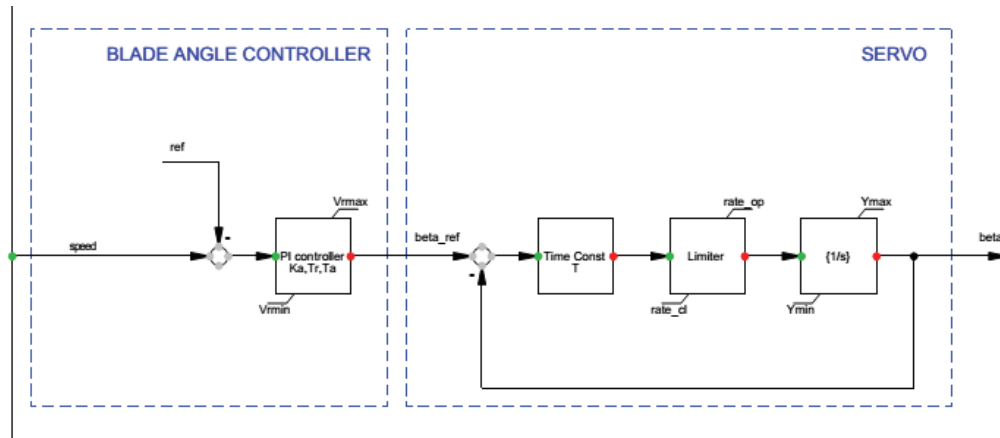


Рис. 3. Блок-схема системи управління кутом лопаті

Вхідним сигналом даного блоку є швидкість генератора speed. На виході блоку формується сигнал кута пітча beta.

Точне моделювання прискорення генератора та вітротурбіни за ненормальних режимів (наприклад КЗ в мережі) можливе лише з урахуванням механічних коливань вала вітротурбіни.

Запропонована модель представляє вал вітротурбіни як модель двох мас (рис. 4). Модель відображає інерцію турбіни, а також з'єднання турбіни з генератором. Слід зазначити, що інерція редуктора не моделюється окремо, але вона може бути включена в інерцію генератора.

Коефіцієнти пружності K та демпфування D характеризують вітротурбіну. Детальна модель вала вітротурбіни показана на рис. 5 [4]. Оптимізація параметрів регулятора виконана за рекомендаціями, наведеними в [5].

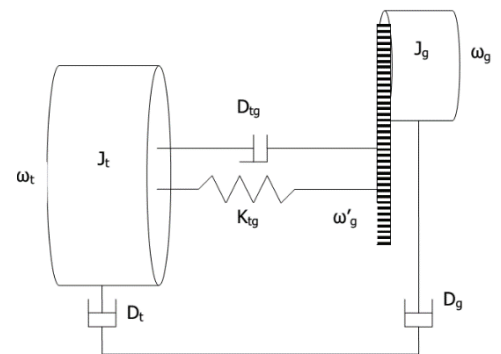


Рис. 4. Модель двох мас вала вітротурбіни

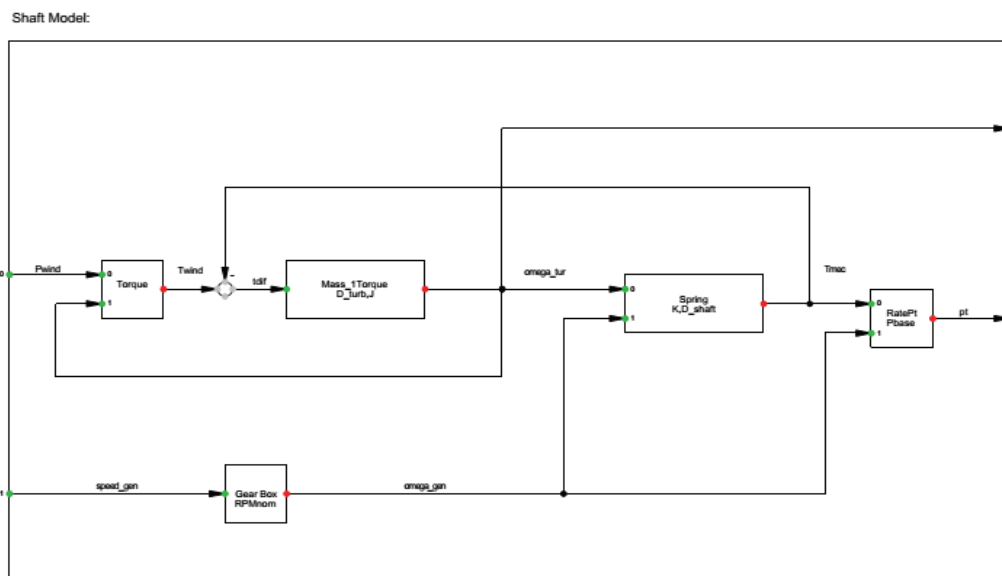
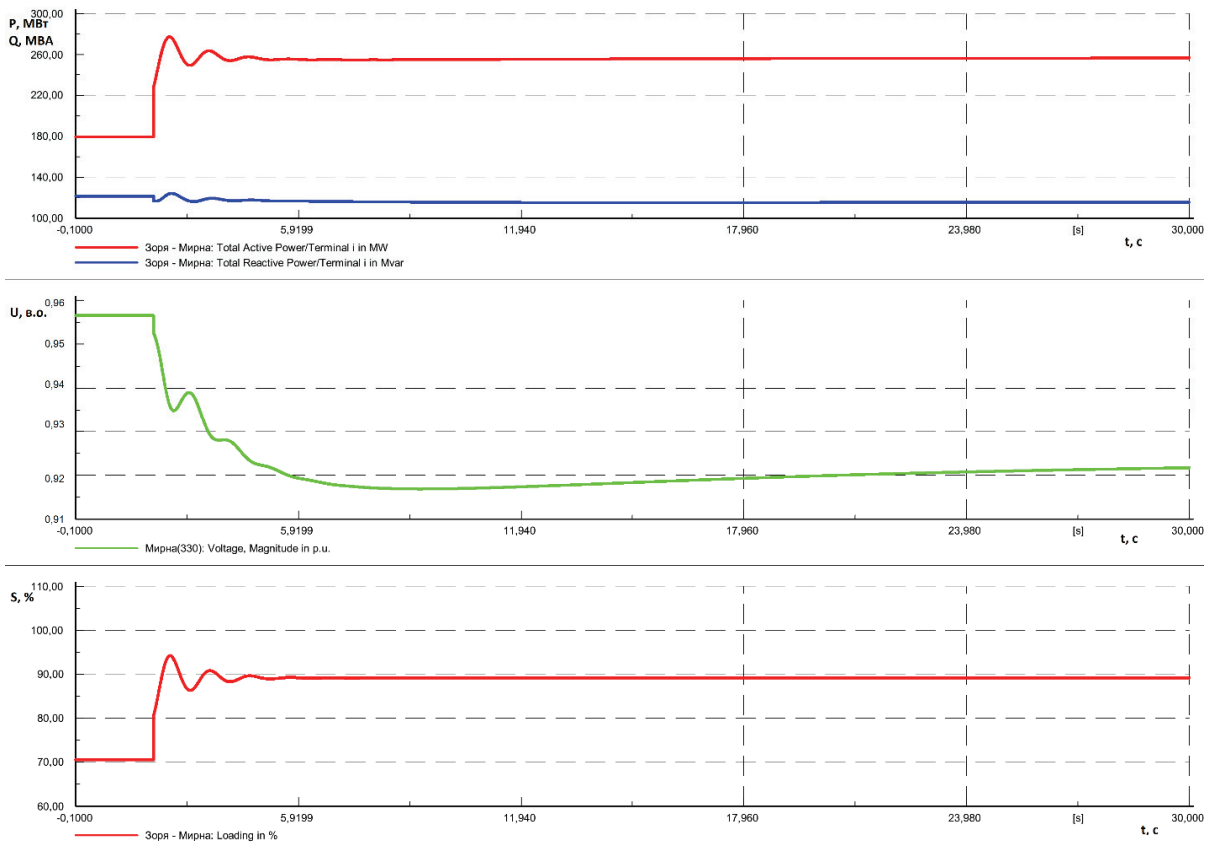
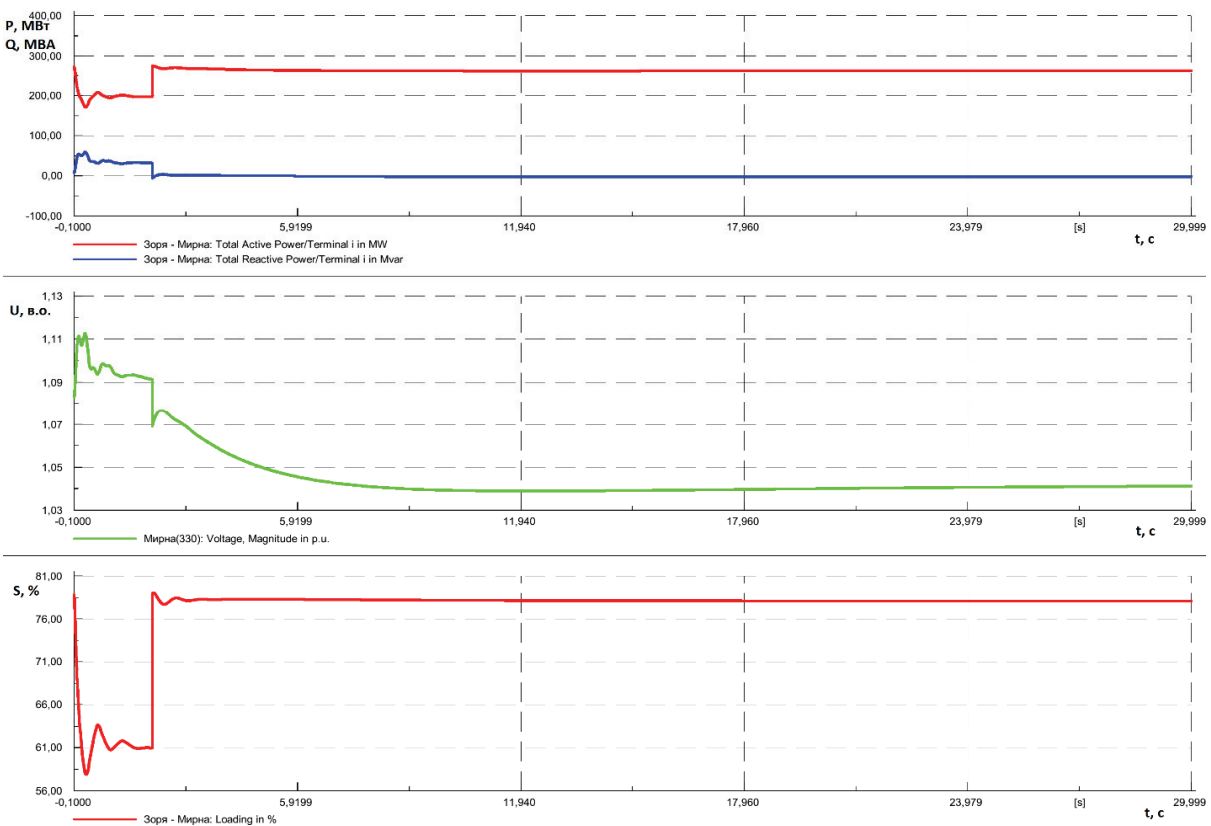


Рис. 5. Модель вала вітротурбіни в ПЗ PowerFactory

Моделювання роботи енергосистеми показало, що у разі відключення ВЕС від системи внаслідок аварії, завантаженість лінії електропередач (ЛЕП) 330 кВ (вузли 7—9, див. рис. 1) зростає до 90 %, а напруга на п/ст 330 кВ (вузол 9) (рис. 6а) виходить за допустимі межі ($< 0,95$ в. о.).



a)



б)

Рис. 6. Графік зміни перетоків потужності, напруги на п/ст та завантаженості лінії 330 кВ у разі відключення ВЕС на 2 с: а — без використання; б — з використанням ТУПК

Для збільшення пропускної здатності в лінії 330 кВ (7—9, рис. 1) необхідно використати тиристорнокеровану поздовжню компенсацію реактивної потужності (ТУПК) [6]. В дослідженні авторів, на основі серії розрахунків, запропонована 50 % компенсація. Ємнісний опір компенсатора склав 20 Ом. Результати моделювання показані на рис. 6б. Для оперативної зміни опору компенсатора необхідно в подальшому використати адаптивну систему регулювання для ТУПК. На п/ст 110 кВ (вузол 22), до якої приєднане місцеве навантаження, а також ВЕС, спостерігається зниження напруги до рівня 0,93 в. о. у разі вимкненої ВЕС (рис. 7а). Для збереження рівня напруги в допустимих межах рекомендується встановити СТК з базовим регулятором в PowerFactory. Моделювання та аналіз показав, що використання СТК з номінальною потужністю 100 МВАр, для цієї схеми, дозволяє забезпечити нормальний рівень напруги (рис. 7б) за включення та відключення ВЕС.

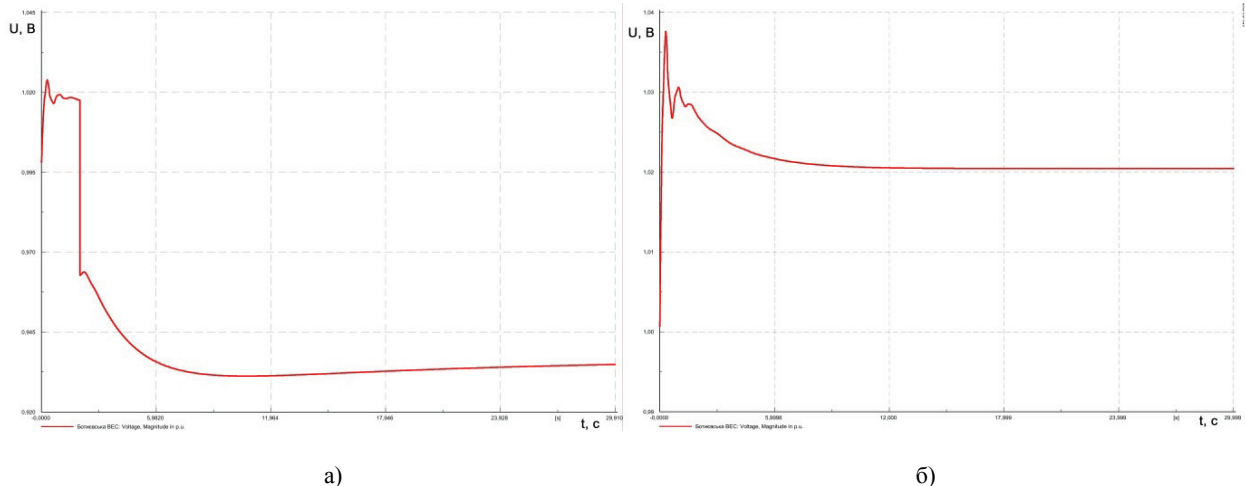


Рис. 7. Графік зміни напруги на п/ст приєднання ВЕС у разі її відключення на 2 с: а — без використання; б — з використанням СТК

Висновки

Аналізуючи результати проведених досліджень за допомогою розробленої динамічної моделі можна зробити висновок, що значні збурення, пов'язані з режимами роботи ВЕС, спричиняють значні зміни напруги у вузлах приєднання та перевантаження окремих ліній 330 кВ.

Встановлення ТУПК на лінії 330 кВ дозволяє збільшити її пропускну здатність на 15 % і, тим самим, вийти з режиму перевантаження ЛЕП, а включення СТК у вузлі приєднання ВЕС нормалізує режим роботи цього фрагмента енергосистеми за напругою, забезпечуючи задану якість електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 року. Прогнозування балансів паливно-енергетичних ресурсів. — 2006. — 129 с. — Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145.doc>.
2. Hannele Holttinen Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems, results of IEA collaboration / Hannele Holttinen, Peter Meibom, Antje Orths, Bernhard Lange // Wind Energy. — 2011. — vol. 1. — p. 179—192.
3. Thomas Ackermann. Wind Power in Power Systems, 2nd Edition / Thomas Ackermann. — Stockholm, Sweden : Royal Institute of Technology, 2012. — 1120 с.
4. Dynamic Modelling of Doubly-Fed Induction Machine Wind-Generators [Електронний ресурс] // DIgSILENT GmbH. — 2003. — Режим доступу до ресурсу : <http://faculty.mu.edu.sa/public/uploads/1338145339.5702DFIGRev1.pdf>.
5. Яндутьський О. С. Моделювання системи управління вітротурбіною та оптимізація параметрів регулятора [Електронний ресурс] / О. С. Яндутьський, А. А. Марченко, В. С. Гулий // Наукові праці ВНТУ. — 2014. — № 1. — Режим доступу до журналу : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3490>.
6. Денисюк С. П. Особливості застосування ГПЗС в сучасних електроенергетичних мережах / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'яно // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2011. — № 1. — С. 29—37.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

Яндутьський Олександр Станіславович — д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації енергосистем, декан факультету електроенерготехніки та автоматики;

Марченко Анатолій Андрійович — канд. техн. наук, доцент, в. о. зав. кафедри автоматизації енергосистем;
Гулий Володимир Сергійович — асистент кафедри автоматизації енергосистем, e-mail:
vladimir_hulyi@ukr.net;

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

O. S. Yandulskyi¹
A. A. Marchenko¹
V. S. Hulyi¹

Analysis of Operating Modes of Power System with Large Amount of Wind Power Plants

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

There has been designed the mathematical model of parallel operation of power systems with wind farms and and its computer model using software Power Factory has been created. The research has been carried and it has been suggested the arrangements to improve the efficiency of the power system with significant power fluctuations of wind farm generation.

Keywords: operating modes of power system, electrical network model, modeling, wind power plant.

Yandulskyi Oleksandr S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Automation of Power Systems, Dean of the Department of Electric Power Engineering;

Marchenko Anatolii A. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, a. i. Head of the Chair of Automation of Power Systems;

Hulyi Volodymyr S. — Assistant of the Chair of Automation of Power Systems, e-mail: vladimir_hulyi@ukr.net

A. С. Яндульский¹
A. А. Марченко¹
В. С. Гулий¹

Исследование режимов работы энергосистемы со значительной долей ветровой электрической станции

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Разработана математическая модель параллельной работы ветровой электрической станции с энергосистемой и создана ее компьютерная модель с использованием программного обеспечения PowerFactory. Проведены исследования и предложены меры по повышению эффективности работы энергосистемы при значительных колебаниях мощности генерации ВЭС.

Ключевые слова: режимы работы энергосистемы, модель электрической сети, моделирование, ветровая электрическая станция.

Яндульский Александр Станиславович — д-р техн. наук, профессор, декан факультета электро-энерготехники;

Марченко Анатолий Андреевич — канд. техн. наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой автоматизации энергосистем;

Гулий Владимир Сергеевич — ассистент кафедры автоматизации энергосистем, e-mail:
vladimir_hulyi@ukr.net