

УДК 621.311.24:681.511.46

І.З. ЩУР, Ю.О. БЛЕЦЬКИЙ

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЕНЕРГОФОРМУЮЧЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. С. Бандери, 12, м.Львів, Україна

Анотація. Запропоновано системи поліфункціонального енергоформуючого керування навантаженням вітроелектроустановок різного виконання, що забезпечують запуск установки та оптимальну роботу системи на турбулентних і поривчастих вітрах. Приведено алгоритми роботи систем керування, а також осцилограми комп'ютерного симулювання роботи керованих вітроелектроустановок.

Ключові слова: вітроелектроустанова, синхронний генератор з постійними магнітами, енергоформуюче керування, оптимальне керування

ВСТУП

На території України, де середньорічна швидкість вітру не перевищує 3-6 м/с, доцільно використовувати спеціальні автономні вітроелектроустановки (ВЕУ) малої потужності з вертикальною віссю обертання (ВВО) та синхронним генератором на постійних магнітах (СПМ) [1]. Зважаючи на низький вітровий потенціал, непостійність та поривчастість вітрового потоку, в таких ВЕУ гостро постає проблема забезпечення максимальної енергоефективності.

Як відомо, для забезпечення максимального відбору потужності від вітру потрібно підтримувати максимальне значення коефіцієнта корисного використання енергії вітру C_{Pmax} , а отже – оптимальну для кожної швидкості вітру кутову швидкість вітроротора (ВР) ω_{opt} . Це досягається шляхом зміни навантаження генератора.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оптимального керування електричним навантаженням ВЕУ, на основі енергетичних підходів [3], було розроблено систему енерго-формуючого керування (СЕФК) [4], яка потребувала давач швидкості вітру для формування сигналів завдання на кутову швидкість генератора ω_0 та його електромагнітний момент M_{em}^* . Для забезпечення ефективного бездавачевого керування, така система була поєднана з традиційним керуванням за Morimoto та додатковим форсуванням [5]. При роботі на турбулентних вітрах запропоновані системи працюють в режимі оптимальної, з точки зору максимальної енергії на виході системи, швидкодії [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Однією із найбільших проблем у ВЕУ з ВВО, що працюють на підйомній силі лопатей, є запуск ВЕУ в роботу. СЕФК, завдяки формуванню сигналів завдання від давача швидкості вітру, має можливість здійснювати електричний запуск ВЕУ, однак через це вона є чутливою до тимчасових, слабких поривів вітру, що призводить до хибних спрацювань, і як наслідок – втрат енергії. У бездавачевій СЕФК така можливість взагалі відсутня. У ВЕУ, ВР яких спроектований з можливістю самозапуску, постійний відбір потужності уповільнює процедуру запуску, що також призводить до втрат енергії. Проблемною є також робота на поривчастих вітрах, коли може виникати постійне перемикання в роботі ВЕУ між режимом генерування, що може призвести до повної зупинки ротора, і наступним режимом повторного розгону, що є енергозатратним. Окремою проблемою є обмеження швидкохідності ВР, що переважно вирішується формуванням його аеродинамічних властивостей, проте і тут приховані резерви для додаткового використання енергії вітру.

Отже, завданням цього дослідження є вдосконалення СЕФК таким чином, щоб вони мали можливість здійснювати поліфункціональне керування різними ВЕУ, напрямлене на вирішення вищеписаних проблем.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для вирішення поставленого завдання запропоновано три варіанти системи поліфункціонального СЕФК роботою ВЕУ з ВВО: з точним давачем швидкості вітру – для здійснення найбільш ефективного керування та електричного запуску ВЕУ (система I); з індикаторним давачем швидкості вітру – тільки для електричного запуску ВЕУ (система II); без давача вітру – для ВЕУ з самозапуском (система III). Алгоритми роботи поліфункціональних СЕФК представлені на рис. 1.

Обмеження швидкохідності. При малих швидкостях вітру, коли ВЕУ відімкнена від навантаження, відбувається контроль кутової швидкості генератора, і за умови, якщо вона перевищує ω_{max} , системи I і II розпочнуть відбір енергії (в даному випадку кінетичної енергії, запасеної ВР). Відбір енергії продовжуватиметься доки кутова швидкість не зменшиться до $\omega_{max}/2$ (рис. 1). Для системи III даний вид захисту є недоцільним виходячи з алгоритму її роботи.

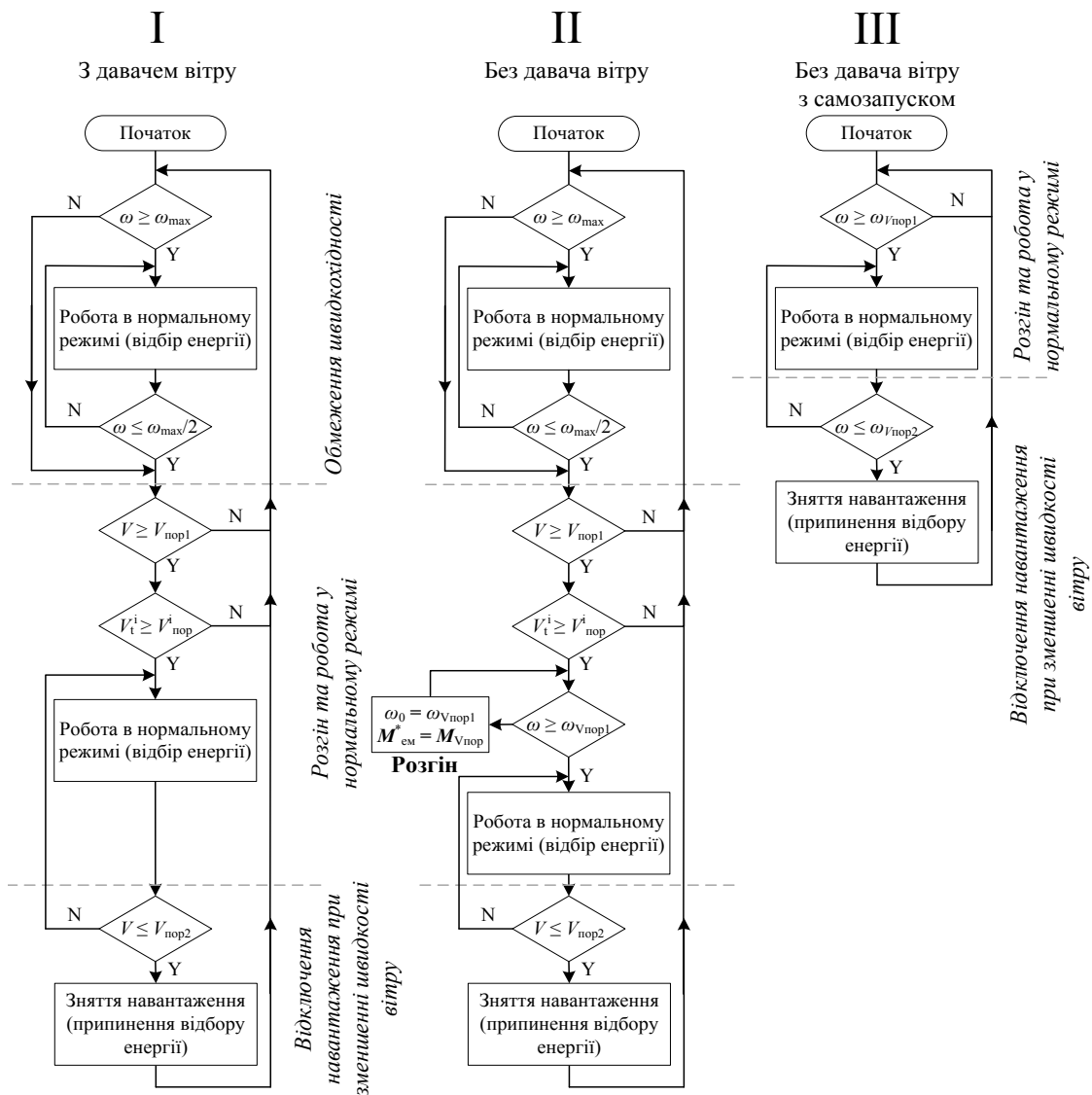


Рис. 1. Алгоритми роботи СПЕФК I, II та III-ої систем

Запуск. У системах I і II запропоновано постійно контролювати швидкість вітру, а також інтегрувати і порівнювати її інтегральне значення за заданий проміжок часу ($t = 5$ с) з пороговим $V_{пор}^1 = 10$ м, з метою аналізу вітрового потенціалу в динаміці (рис. 1.). Таким чином, коли швидкість вітру перевищить задане порогове значення $V_{пор1} = 3$ м/с, а її інтегральне значення $V_{пор}^1$, тоді ВЕУ розганяється і далі розпочинається відбір енергії. В системі I розгін до бажаної швидкості та початок нормальної роботи відбуваються автоматично. У системі II спершу формуються сигнали завдання $\omega_0 = \omega_{V_{пор1}}$ та

$M_{ем}^* = M_{V_{пор1}}^*$ на розгін до певної мінімальної кутової швидкості $\omega_{opt}(V_{пор1})$, оптимальної для порогового значення швидкості вітру, і після її досягнення розпочинається навантаження. У системі III розгін відбувається завдяки самозапуску, а відбір енергії розпочинається, коли кутова швидкість ротора досягає порогового значення $\omega_{V_{пор1}}$.

Робота на поривчастих вітрах. Коли швидкість вітру падає нижче $V_{пор1} = 2,5$ м/с, тобто стає енергетично не ефективною, (в системі III перевірка здійснюється відносно $\omega_{V_{пор2}}$), то СЕФК призупиняють відбір енергії і чекають, поки швидкість вітру знову не зросте.

З метою дослідження запропонованих поліфункціональних СЕФК була виконана комп'ютерна симуляція роботи систем I, II та III (результати на рис. 2) за допомогою MATLAB/Simulink на двомасовій моделі ВЕУ потужністю 0,5 кВт з наступними параметрами ВР: $C_{Pmax} = 0,351$ і $\lambda_{opt} = 3,67$ (для систем I і II) та $C_{Pmax} = 0,314$ і $\lambda_{opt} = 3,78$ (для системи III).

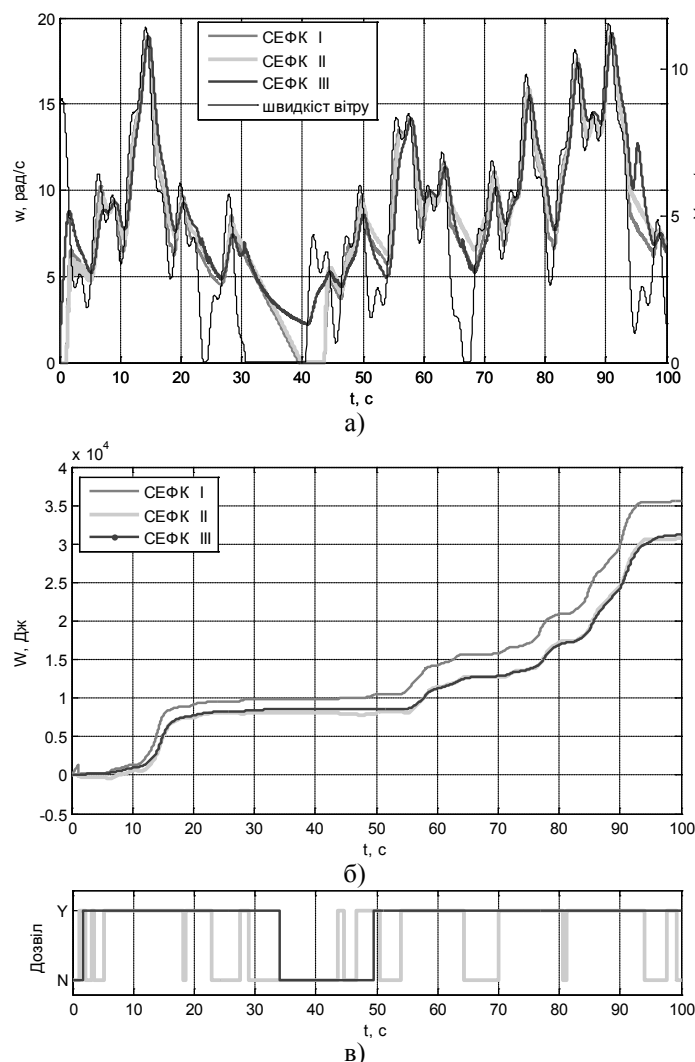


Рис. 2. Осцилограми роботи ВЕУ з СЕФК I,II та III: а) кутова швидкість ВР при відповідній швидкості вітру (шкала праворуч); б) енергія, отримана від генератора протягом дослідного періоду; в) дозвіл на відбір ВЕУ енергії

ВИСНОВОК

Розроблені поліфункціональні СЕФК ВЕУ забезпечують відбір енергії від вітру, виходячи з аналізу частоти обертання генератора, поточної швидкості вітру та зміни швидкості вітру протягом останнього часу, а також роботу в режимі оптимальної, з точки зору максимуму відбору енергії, швидкодії. Використання цих систем дає змогу відбирати від вітру до 97% максимально можливої

енергії в умовах мало потенціальних турбулентних і поривчастих вітрів та використовувати ВР без самозапуску і аеродинамічного обмеження швидкості, C_{pmax} яких є значно вищим.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щур І.З. Оптимальне керування вітроустановками різної потужності в умовах турбулентних вітрів / І. З. Щур, В. І. Щур // Вісник Націон. ун-ту “Львівська політехніка”: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Львів, 2012. – № 736 – С. 146-152.
2. Optimal control of wind energy systems / I. Muteanu, A. I. Bratcu, N. A. Cutululis, E. Ceangă. – London: Springer, 2008. – 284 p. – ISBN 978-1-84800-079-7
3. Zou. Z. Maximum output power of PMSM based on energy-shaping and PWM control principle / Z. Zou., H. Yu, Y. Tang // IEEE Intr. Conf. on Aut. and Log. – Qingdao University, 2008. – P. 1556–1560.
4. Щур І.З. Енергоформуюче оптимальне керування навантаженням вітроелектроустановки з синхронним генератором на постійних магнітах / І.З. Щур, Ю.О. Білецький // Наук. пр. Донецьк. націон. тех. ун-ту., Серія “Електротехніка і енергетика” – Донецьк, 2013. – № 2(15). – С. 280-286.
5. Білецький Ю.О. Енергоформуюче оптимальне керування синхронним генератором з постійними магнітами у складі вітроелектроустановки без давача швидкості вітру / Ю.О. Білецький // Вісн. Націон. тех. ун-ту. «ХП», Серія “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика.” – Харків, 2013. – № 36 – С. 403-407.

Надійшла до редакції 03.12.2013р.

ЩУР ІГОР ЗЕНОРОВИЧ – д.т.н., професор, професор кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна, E-mail: i_shchur@meta.ua.

БІЛЕЦЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕГОВИЧ – аспірант кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна, E-mail: biletskyi.y.o@gmail.com.