

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.3:004.94

Н.В. Тігова, канд. техн. наук

Бердянський університет менеджменту та бізнесу, м. Бердянськ, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВІТРОАГРЕГАТА В MATLAB/SIMULINK

Приведені результати моделювання та розрахунки вітрової турбіни вітроенергетичної установки в середовищі Matlab/Simulink. Для визначення максимальних значень потужності вітрогенератора використано алгоритм слідування за точкою максимальної потужності.

Вступ

В останні роки розвиток відновлювальних джерел енергії привертає значну увагу внаслідок стурбованості про погіршення стану навколишнього середовища, про небезпечні наслідки аварій на атомних електростанціях, стійки тенденції зростання цін на нафту та газ, бажання користуватись електричною енергією у важкодоступних місцях. На сьогодні час отримання електрики від вітру пропонує економічну перспективу у використанні вітроенергетики. Різноманітні вітроенергетичні системи, які використовуються як для індивідуального використання, так і для промислового, стають все більш популярними в Україні і світі [1-4]. Відновлювальні джерела енергії у світі зараз забезпечують майже 15-20 % від загальної потреби [5]. У деяких сповіщається про зростання енергоспоживання втричі до 2050 року [6]. Згідно з даними American Wind Energy Association, установочна ємність вітряків зростає щорічно в середньому на 29 % [7].

У роботі ми будемо вести мову про моделювання аеродинамічних параметрів вітроенергетичної установки (ВЕУ) з горизонтально-осьовим вітровим генератором на постійних магнітах, який забезпечує живлення навантаження потужністю 0,8 кВт та електричних характеристик (рис.1). Головними технічними характеристиками ВЕУ, які, як правило, наводяться в описах, є залежності потужності та місячної виробки електроенергії від швидкості вітру. При чому ці залежності мають приблизний характер, оскільки реальні значення виробленої енергії залежить від розподілу швидкостей вітру.

Метою роботи є висвітлення питань щодо моделювання та розрахунків вітрової турбіни вітроенергетичної установки в середовищі Matlab/Simulink.

Результати й обговорення

Вітряна турбіна характеризується коефіцієнтом потужності вітроколеса (C_p), який залежить від коефіцієнта швидкохідності (λ) та настановного кута між площиною обертання вітроколеса та хордою крила (β). Для того, щоб максимально використати енергію вітру, λ повинен мати оптимальне значення. Коефіцієнт швидкохідності визначається як співвідношення кутової швидкості ротору ($\varpi = 2 \times \pi \times n / 60$), де n – кількість обертів до швидкості вітрового потоку (V_B) [8], а саме:

$$\lambda = \frac{\varpi \times R}{V_B}, \quad (1)$$

де R – радіус вітроколеса. Вихідна потужність вітроколеса (P_{BK}) розраховується за допомогою наступного виразу [9]:

$$P_{BK} = \frac{1}{2} C_p \times \rho \times S \times R^2 \times V_B^3, \quad (2)$$

де $\rho = 1.293 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря, S – робоча площа лопатей. Рівняння для обертального моменту, що утворений турбіною (T_{BK}), тепер можна отримати за допомогою виразів (1) і (2):

$$T_{BK} = \frac{P_{BK}}{\varpi} = \frac{1}{2\lambda} C_p \times \rho \times S \times R^3 \times V_B^3, \quad (3)$$

Коефіцієнт потужності (C_p) визначається як [10]:

$$C_p = \left[\frac{116}{\lambda_1} - (0,4 \times \beta) - 5 \right] \times 0,5 \times e^{-16,5/\lambda_1}, \quad (4)$$

$$\text{де } \lambda_1 = \left(\frac{1}{\lambda + 0,089 \times \beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \right)^{-1},$$

де $\beta = 9^0$.

У розрахунках були використані наступні вихідні дані для ВЕУ з типом вітрогенератора PMG (permanent magnet generator – генератор на постійних магнітах): номінальна потужність – 800 Вт; діаметр вітроколеса – 3,1 м; максимальна експлуатаційна швидкість вітру – 50 м/с; стартова швидкість вітру – 2,5 м/с. На рис.1 зображена загальна блок-схема ВЕУ.

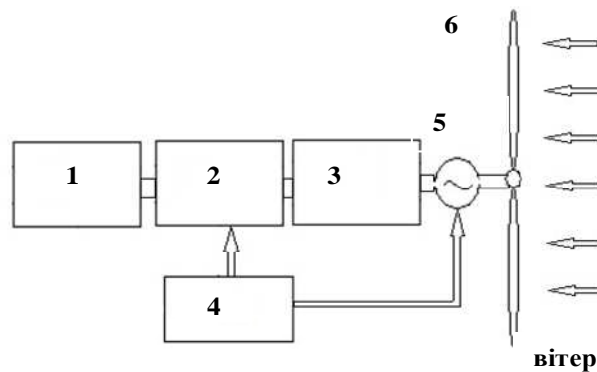


Рис.1. Блок-схема ВЕУ

1 – навантаження; 2 – підсилювач напруги; 3 – діодний випрямляч; 4 – контролер;
 5 – генератор; 6 – вітрова турбіна

Розрахунки здійснювались з використанням пакету MATLAB/SIMULINK. На основі рівнянь (1) – (4) складена модель вітряної турбіни, яка зображена на рис. 2.

Виходячи з критерію Бетца, який є справедливим для будь-якого енергетичного устаткування, обтічного вільним потоком рідини або газу, максимальне значення коефіцієнта потужності (C_p) складає 0,592. У кращих промислових ВЕУ коефіцієнт потужності досягає приблизно 0,4 [11]. На рис. 3 зображено розрахункову залежність коефіцієнта потужності від швидкості вітроколеса. Вона має форму гладкої кривої з максимумом $C_p = 0,34$ при $\lambda = 6,0$.

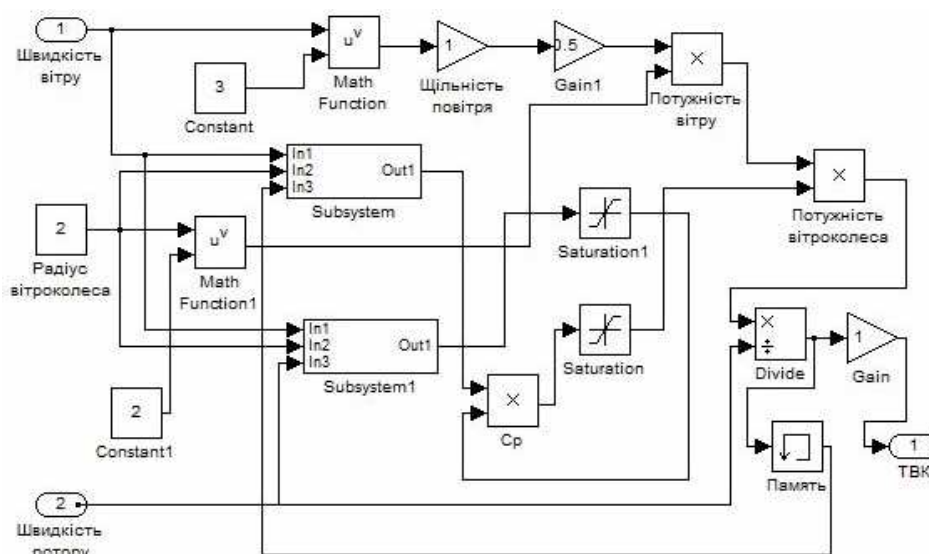


Рис.2. Модель розрахунку вітряної турбіни

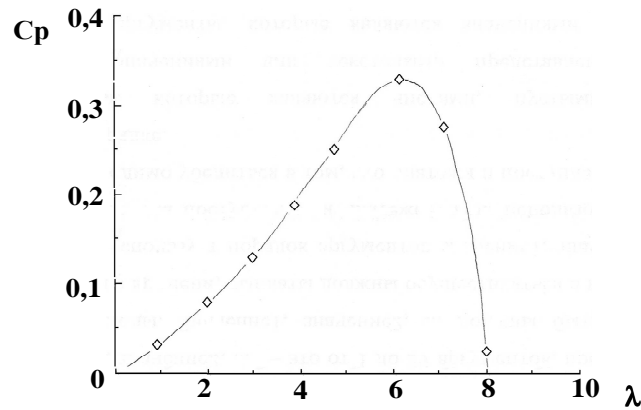


Рис.3. Залежність коефіцієнта потужності вітроколеса C_p від коефіцієнта швидкості (лямбда)

На рис. 4 наведені графіки залежності вихідної потужності вітроколеса (P_{BK}) від кутової швидкості ротора (ω) для різних значень швидкості вітру.

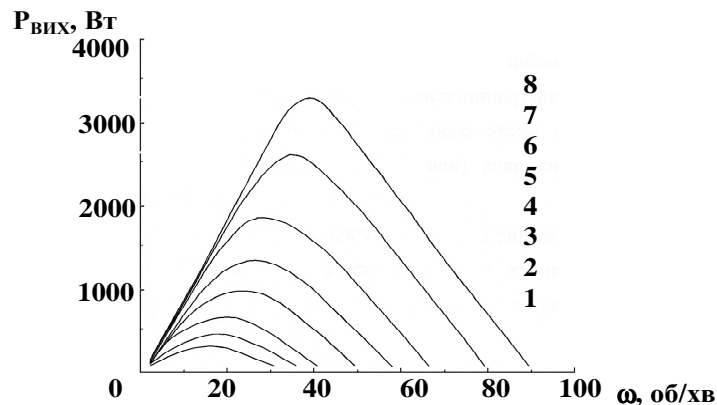


Рис. 4. Залежності вихідної потужності вітроколеса від кутової швидкості ротора для різних значень швидкості вітру (1 – 5 м/с, 2 – 7 м/с, 3 – 9 м/с, 4 – 10 м/с, 5 – 11 м/с, 6 – 12 м/с, 7 – 13 м/с, 8 – 14 м/с)

На рис. 5 зображені криві залежності обертового моменту (T_{BK}) від кутової швидкості ротора (ω) для різних значень швидкості вітру.

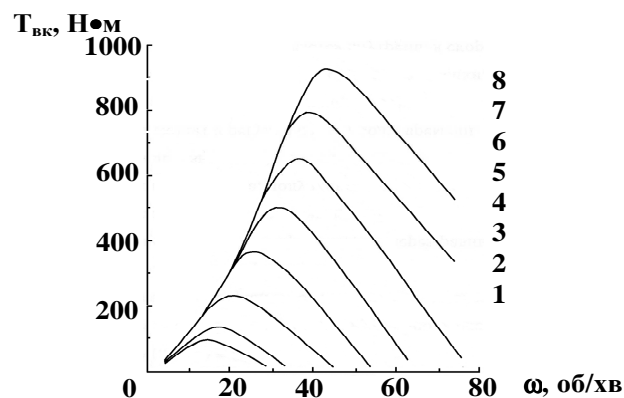


Рис. 5. Залежності обертового моменту вітроколеса від кутової швидкості ротора для різних значень швидкості вітру (1 – 5 м/с, 2 – 7 м/с, 3 – 9 м/с, 4 – 10 м/с, 5 – 11 м/с, 6 – 12 м/с, 7 – 13 м/с, 8 – 14 м/с)

Крива максимальної потужності вітроколеса зображена на рис. 6.

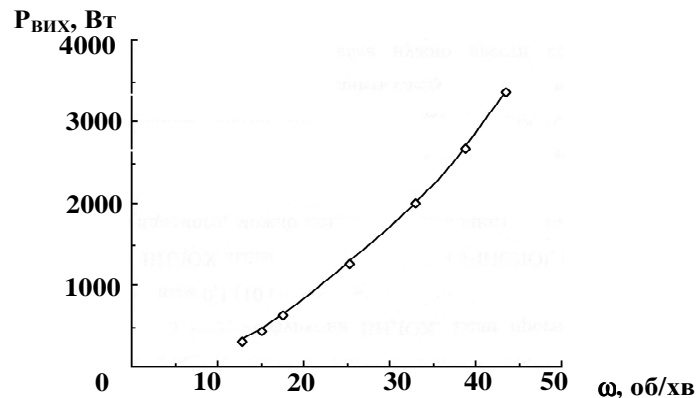


Рис. 6. Крива точок максимальної потужності вітроколеса

Швидкість ротора варіюється зі зміною швидкості повітря для турбін з аеромеханічною системою обмеження частоти обертання вітрогенератора для того, щоб утримувати оптимальний λ , тобто C_p утримує максимальне значення, поки потужність або швидкість ротора знаходяться нижче цих значень. Кут між площиною обертання вітроколеса та хордою крила при високих швидкостях вітру керується для того, щоб обмежувати вхідний потік на турбіну, коли вона досягла встановленої потужності.

Наведені показники (рис. 3-6) мають важливе значення тому, що визначають початковий обертальний момент вітрогенератора та показують на ефективність перетворення потужності вітру.

Висновки

У запропонованій моделі є можливість обирати геометричні параметри вітрової турбіни, коефіцієнт швидкохідності та коефіцієнт потужності і розраховувати динамічні характеристики ВЕУ, використовувати результати моделювання для побудови нових моделей вітроагрегатів.

Список використаних джерел

1. Ackermann T., Solder L. An overview of wind energy status// Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2002. – №6. – P.67-128.
2. Коробко Б. Энергетика та сталий розвиток: Інформаційний посібник для українських ЗМІ / Б. Коробко. – К.: ВЕГО “МАМА-86”, 2007. – 40 с.
3. Richardson R.D., McNerney G. Wind energy system //IEEE Proc. 1993. – Vol.81, No.3. – P. 378-389.
4. Generator and power electronics technology for wind turbines/ Hansen L.H., Blaabjerg F., Christensen H.C. and all// Proceedings of IECON-01. – 2001. Vol.3, – P.2000-2005.
5. El-Tamaly H.H., Mohammed A.A.E. Modeling and simulation of photovoltaic-wind hybrid electric power system// 12 International Middle-East Power System Conference MEPCON-08, – 2008. 12-15 March, – P.645-649.
6. Abbas E.A.R., Abdulsala M.A. Simulation of wind-turbine speed control by MATLAB// International Journal of Computer and Electrical Engineering. – 2010. V.2. – № 5. – P.912-915.
7. Pao L.Y, Johnson K.E. A tutorial on the dynamics and control of wind turbines and wind farms// American Control Conference Hyatt Regency Riverfront, – 2009. 10-12 June., – P.2076-2089.
8. Neammanee B., Sirisumrannukul S., Chatratana S. Development of a wind turbine simulator for wind generator testing// International Energy Journal. – 2007. – №8. – P.21-28.
9. Modeling of the wind turbine with a doubly fed induction generator for grid integration studies/ Y. Lei, A. Mullane, G. Lightbody, R. Yacamini// IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2006. – V.21. – №1. – P. 257-264.
10. Anandavel P., Rajambal K., Chellamuthu C. Power optimization in a grid-connected wind energy conversion system// IEEE Conference PEDS-2005. – 2005. 28-01 Nov., – P.1617-1621.
11. Rajambal K., Chellamuthu C. Modeling and simulation of grid connected wind electric generating systems// Proc. IEEE TENCON. – 2002. – P.1847-1852.