

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ВІТРОТУРБИНИ

Шубенко О.В., студент, Король С.В., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. На сьогоднішній день вітроенергетика є досить перспективним напрямом в енергетиці. Створюються все нові й нові технології, за допомогою яких перетворення енергії вітру стає все більш ефективним та конкурентоспроможним у порівнянні з традиційними джерелами.

Для перетворення енергії вітру в електрику було розроблено багато типів систем генерування, а саме: генератори з фіксованою та змінною швидкостями обертання. Використання вітрових турбін з генераторами змінної швидкості обертання дозволяють підвищити енергетичну ефективність, знизити механічні навантаження, поліпшити якість виробництва енергії і відповідати вимогам споживаної мережі [1]. Тому розробка систем керування кутовою швидкістю генераторів, які підвищують енергетичну ефективність вітрової установки є актуальною задачею.

Мета роботи. Дослідження ефективності роботи системи з екстремальним керуванням потужністю вітротурбіни при варіації швидкості вітру.

Математична модель вітрової турбіни не має точного опису, тому не можливо отримати точну модель вітрового колеса, крім того його характеристики можуть змінюватися з часом. Причиною зміни механічних характеристик є зміна параметрів механічної частини вітрової установки, а саме: деформація та зношення частин вітрового колеса. Зміна форми лопатей впливає на ККД вітрової турбіни і положення робочої точки, в якій турбіна буде видавати максимальну потужність. Тому досягнення максимальної потужності протягом всього часу експлуатації не можливе без корегування закону залежності кутової швидкості від швидкості вітру.

Для вирішення цієї задачі запропоновано використати метод екстремального керування. Задачею екстремального керування є визначення закону зміни швидкості генератора, що забезпечить максимальне значення механічної потужності вітрової турбіни. Вітрова турбіна має різні механічні характеристики для різних швидкостей вітру і кожна з характеристик має свій екстремум. Тому у випадку вітрової турбіни, буде використовуватися онопараметричне керування, в якому керуючим параметром буде швидкість обертання генератора. Рівняння однопараметричного екстремального керування має вигляд:

$$P_m = f(\omega, C_{p_max}), \quad (1)$$

де P_m – механічна потужність вітрової установки, ω – кутова швидкість обертання вітрового колеса, C_{p_max} – коефіцієнт використання повітря на

оптимальній швидкості, який залежить від параметрів вітроколеса і з часом може змінюватися.

За допомогою методу екстремального керування можна побудувати систему керування кутовою швидкістю вітроколеса, яка буде забезпечувати найбільшу вихідну потужність при кожній швидкості вітру.

Механічні характеристики вітрових генераторів представляють собою залежності вихідної потужності P_m від кутової швидкості обертання вітрового колеса ω при різних значеннях вітрового потоку V .

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 V^3, \quad (2)$$

де R – радіус ротор вітрової турбіни, V – швидкість вітрового потоку, ρ – щільність повітря, C_p – коефіцієнт використання повітря. Залежно від діаметра і кількості лопатей оберти вітроколеса при одній і тій же швидкості вітру будуть різні. Кожна вітрова установка характеризується швидкохідністю Z , яка розраховується як відношення швидкості лопаті до швидкості вітру:

$$Z = \frac{V_{\text{лон}}}{V} = \frac{\omega R}{V}. \quad (3)$$

Номінальна швидкохідність Z_n визначається конструкцією вітрової установки. Ще одним конструктивним параметром турбіни являється синхронна швидкохідність Z_0 , при якій $C_p=0$. Механічні характеристики вітрової турбіни для кожної швидкості вітру є нелінійними [2]. Для їх побудови розраховуються права і ліва вітки характеристики $C_p = f(Z)$. Права вітка C_p розраховується в межах швидкохідності Z_n до Z_0 ($Z_n < Z < Z_0$), за формулою 4:

$$C_p = C_{p_max} - \frac{C_{p_max}}{(Z_0 - Z_n)^2} (Z - Z_n)^2 \quad (4)$$

де C_{p_max} - максимальний коефіцієнт використання енергії вітру.

Ліва вітка розраховується в межах 0 до Z_n ($Z < Z_n$), за формулою 5:

$$C_p = C_{p_max} \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^2 \left[-2 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) + 3 \right] \quad (5)$$

Дослідження системи керування швидкістю вітрової турбіни проводилося на основі вітрової установки WINDERT T 20 з наступними параметрами: $P_{ном} = 2$ кВт, $V_{ном} = 9$ м/с, $R_{ротора} = 1.6$ м, $i = 3$, $Z_n = 7.5$, $Z_0 = 14.5$, $\omega_{ном} = 200$ рад/с.

На основі відомої математичної моделі вітрової турбіни [3], була побудована модель вітрової установки функціональна схема якої зображена на рисунку 1:

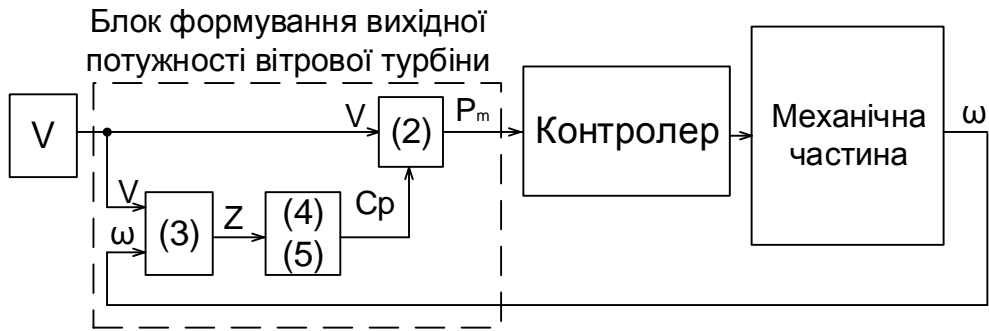


Рисунок 1 – Функціональна схема системи керування швидкістю вітрової турбіни

Блок V формує ступінчатий закон зміни швидкості вітру, де початкове значення вітру 3 м/с і змінюється з часом до 9 м/с . Обведений штриховою лінією блок розрахунку вихідної потужності турбіни. Блок контролер – блок екстремального регулятора, який визначає кутову швидкість вітроколеса, що забезпечує найбільшу вихідну потужність кожній швидкості вітру [3].

Моделювання системи виконувалося для наступних швидкостей: $V = 5, 7, 8, 9 \text{ м/с}$. Були побудовані графіки швидкості генератора ω , моменту вітровою колеса M , потужності вітровою колеса P_m та швидкохідності Z . Результати моделювання приведені на рисунку 2.

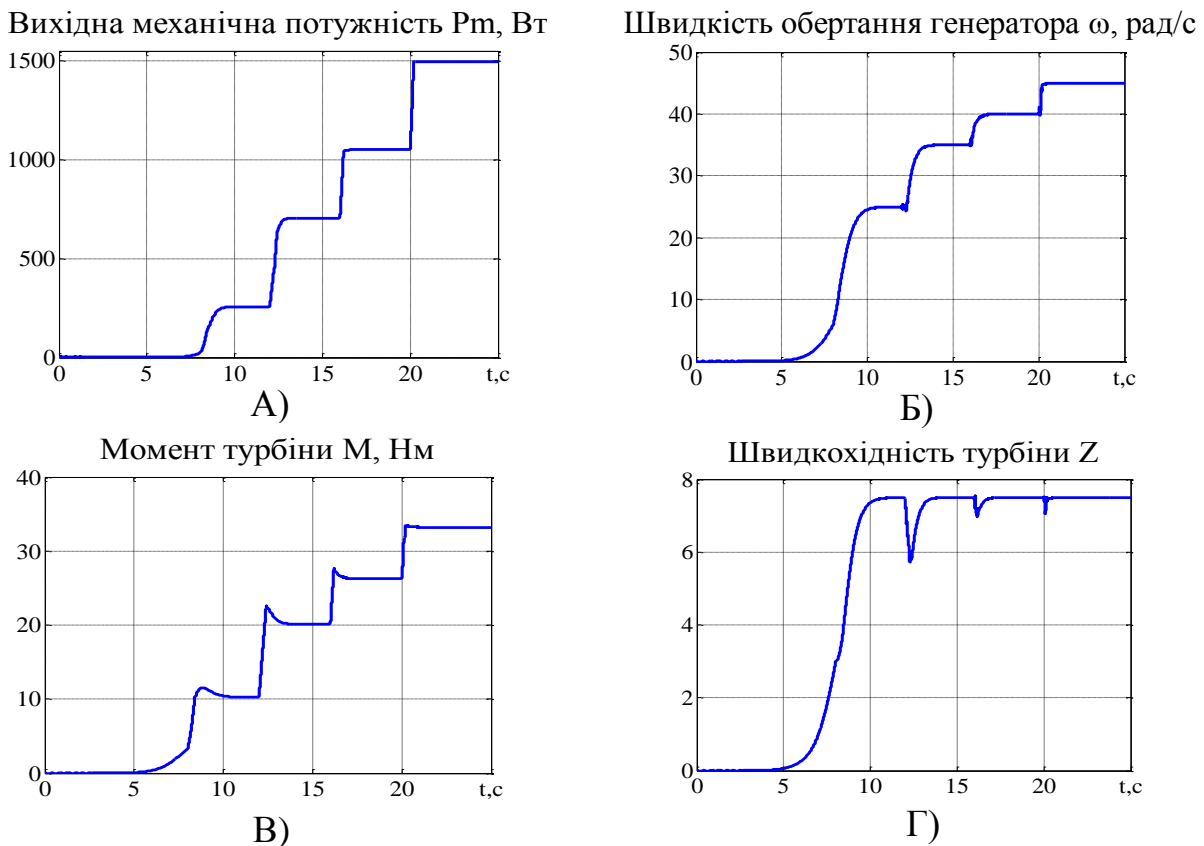


Рисунок 2 – А) Механічні характеристики вітрової турбіни
 Б) Швидкість обертання генератора
 В) Момент вітрової турбіни
 Г) Швидкохідність вітрової турбіни

З графіка на рисунку 2а, видно що: вихідна потужність турбіни збільшується ступінчасто зі збільшенням швидкості вітру відповідну. При цьому швидкість та момент також збільшуються ступінчасто досягаючи номінальних значень при номінальній швидкості вітру 9 м/с.

Номінальне значення швидкохідності для обраної вітрової установки $Z_n = 7.5$. На графіку $Z(t)$ видно, що значення швидкохідності підтримується на номінальному рівні. В моменти часу коли виникає зміна вітру швидкохідність відхиляється від номінального, але з часом повертається до номінального значення. Відхилення швидкохідності обернено пропорційне зміні швидкості вітру.

Висновки. Результати дослідження показують, що при варіації швидкості вітру в робочому діапазоні, екстремальне керування кутовою швидкістю вітроколеса забезпечує максимізацію вихідної потужності. Використання розглянутої системи керування забезпечить оптимальний режим роботи вітрової турбіни при зміні швидкості вітру незалежно від варіації її параметрів. Результати дослідження можуть бути використанні при розробці контуру регулювання швидкості в системі керування вітрогенератором.

Перелік посилань

1. Щур В. І. енергоефективне керування вітроустановками малої потужності для генерування електричної і теплової енергії : дис. – Національний університет «Львівська політехніка», 2017.
2. Обухов С.Г. Метод моделирования механических характеристик ветротурбин малой мощности // НТИПУ. – Томск: НТИПУ. – 2011. – С. 15.
3. Зінько Р. В. Використання графів при дослідженні роботи автономної тихохідної вітроенергетичної установки //Вісник Хмельницького національного університету.–Сер.: Технічні науки.–Хмельницький: Вид-во ХНУ. – 2012. – №. 3. – С. 189.