

УДК 621.316

О. С. Яндульский, д. т. н., проф.; А. А. Марченко, к. т. н., доц.; В. С. Гулий
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІТРОТУРБІНОЮ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА

Наведено систему лінійних диференціальних рівнянь для моделювання автоматичного регулювання кутової швидкості ротора вітротурбіни з урахуванням впливу швидкості вітру, потужності навантаження і часу запізнення по регулюванню. Розроблено комп'ютерну модель системи. Виконано оптимізацію коефіцієнтів ПІД регулятора з використанням об'єктно орієнтованої бібліотеки нелінійних систем середовища *Matlab*, яка дозволяє визначити параметри регулятора, що відповідають критерію оптимальності.

Ключові слова: автоматичне регулювання, математична модель, оптимізація, моделювання, вітроенергетична установка.

Вступ

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) є альтернативними джерелами енергії, а робота в напрямку створення альтернативних джерел енергії на фоні постійного підвищення цін на природне паливо є актуальною.

Метою статті є розробка математичної моделі прогнозування кутової швидкості ротора генератора, кута атаки лопаті з урахуванням зміни потужності споживаної електроенергії та моделювання системи автоматичного регулювання з постійним запізненням, оптимізація параметрів ПІД регулятора.

Виклад основного матеріалу

Функціональну схему вітроенергетичної установки як об'єкта регулювання приведено на рис. 1., де прийнято такі позначення: $V(t)$ – швидкість вітру; $a(t)$ – кут повороту лопаті відносно осі маха; $M_{об}^J(t)$ – обертальний момент, створюваний лопаттю; $M_o^P(t)$ – сумарний обертальний момент, створюваний ротором ВЕУ, $\omega_r(t)$ – кутова швидкість обертання ротора електрогенератора; $I_n(t)$ – струм навантаження електрогенератора.

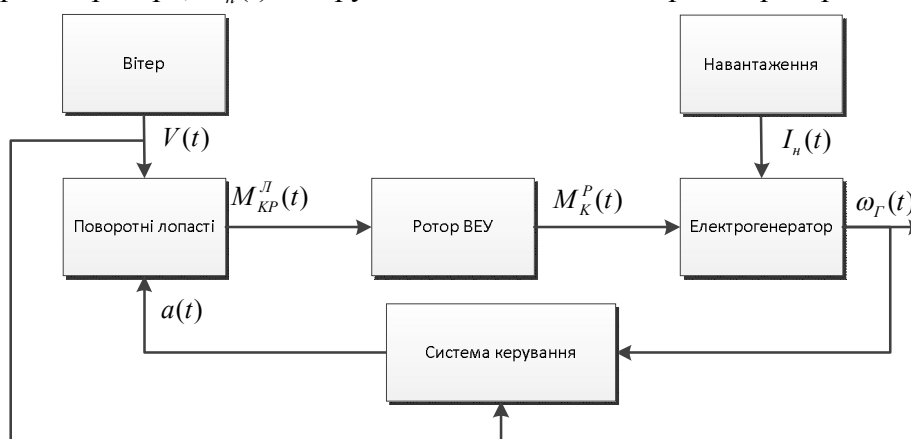


Рис. 1. Функціональна схема об'єкта регулювання

Загальний вигляд диференціального рівняння вітротурбіни [1]:

$$J \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial t} = M_{об} - M_o,$$

де J – приведений момент інерції; $M_{об}$ – обертальний момент; M_o – момент опору.

Сумарний обертальний момент дорівнює:

$$M_{об} = 0,04 \cdot \frac{V^2}{\alpha} \int_{r_0}^R r \partial r = 0,04 \cdot \frac{V^2}{\alpha} (R^2 - r_0^2) = 0,02 \frac{V^2}{\alpha} R^2$$

Система диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами для системи автоматичного регулювання має вигляд [2]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta \Omega}{\partial t} - 0,00008 \cdot \Delta \Omega = 0,000001 \cdot \Delta V - 0,0000002 \cdot \Delta \alpha - 0,0000005 \cdot \Delta P \\ \frac{\partial \Delta \alpha}{\partial t} = (\Omega_t - \Omega_n) \cdot J \end{cases}$$

де $\Delta \Omega$ – приріст значення кутової швидкості ротора генератора на проміжку часу прогнозування потужності споживаної електроенергії; ΔV – приріст швидкості вітру; $\Delta \alpha$ – приріст кута атаки лопаті; ΔP – приріст активної потужності; Ω_t – фактичне значення кутової швидкості; Ω_n – номінальне значення кутової швидкості генератора.

Математична модель оцінки часу ввімкнення двигуна приводу кута пігчу лопаті з урахуванням зміни швидкості вітру і споживаної потужності матиме такий вигляд:

$$T_{ввім.р} = t_1 + \left(\left(\ln \left(1,3 - 0,3 \frac{V_1}{V_0} \right) + \ln \left(1,3 - 0,3 \frac{P_0}{P_1} \right) \right) 0,001 \cdot J - t_{норм.час} \right)$$

З урахуванням ПІД регулятора [3] систему лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами для автоматичного регулювання з аргументом запізнення можна записати як:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta \Omega}{\partial t} - 0,00008 \cdot \Delta \Omega = 0,000001 \cdot \Delta V - 0,0000002 \cdot \Delta \alpha - 0,0000005 \cdot \Delta P \\ \Delta \alpha_{t-T_{ввім}} = \left(K_{II} \Delta \Omega + K_I \int_t \Delta \Omega \partial t + K_D \frac{\partial}{\partial t} \Delta \Omega \right) J \end{cases}$$

На рис. 2 зображено *Matlab* simulink-модель автоматичного регулювання, реалізовану на основі цієї системи рівнянь.

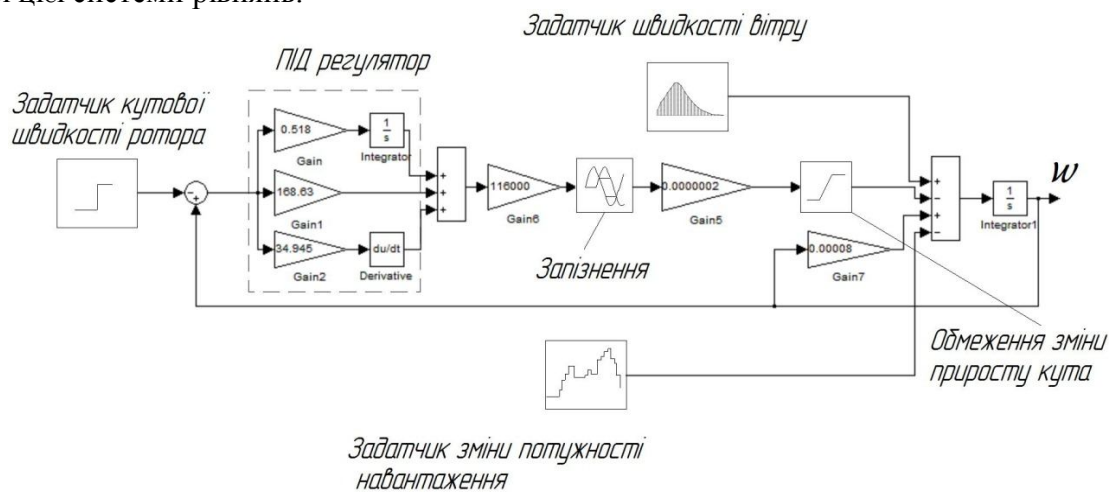


Рис. 2. Simulink-модель системи автоматичного регулювання кутової швидкості ротора генератора

Проведемо оптимізацію параметрів ПІД регулятора. Застосуємо інструмент оптимізації

NCD Output (Nonlinear Control Design) [4].

Виходячи з початкових наближень, процес пошуку оптимальних параметрів системного ПД регулятора відображується графічно шляхом побудови. Першим виводять графік, що відповідає початковим умовам оптимізації (рис. 3). Якщо в ході обчислень отримано таке значення змінної, що повністю відповідає критерію оптимізації, то процес розрахунку автоматично припиняється (рис. 3, лінія 1) за умови $K_p = 168,63$, $K_i = 0,518$, $K_d = 34,945$ для цього випадку збурення.

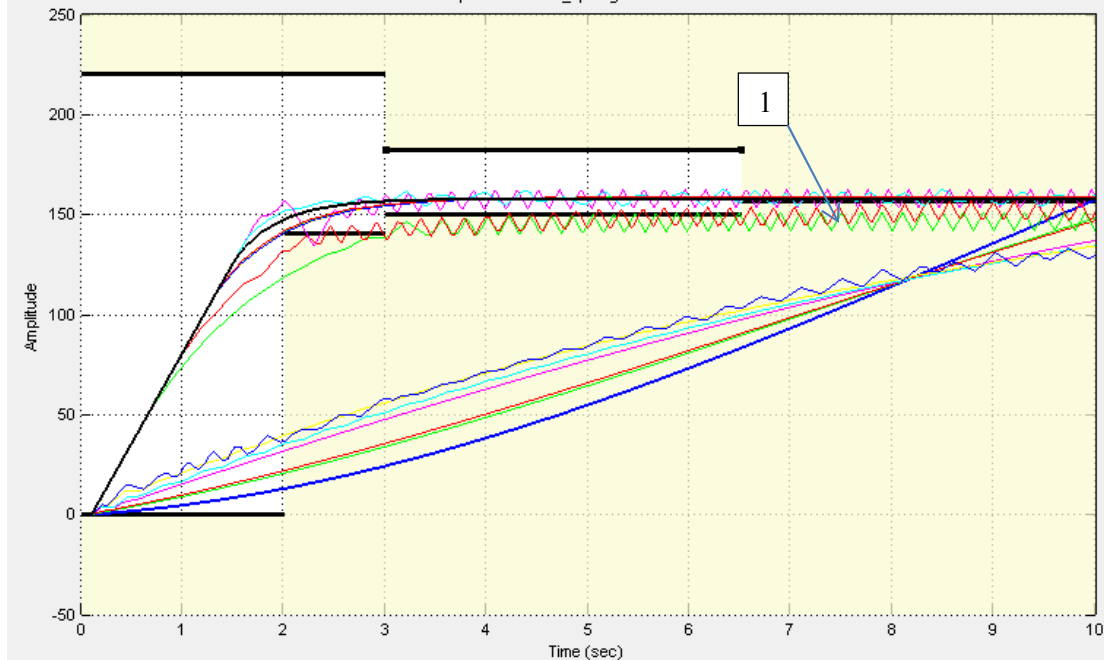


Рис. 3. Графік, що відповідає початковим умовам оптимізації

На рис. 4 представлено суміщений графік регулювання кутової швидкості ротора генератора із запізненням $t_{zan} = 0,1$ с, $t_{zan} = 0,2$ с, $t_{zan} = 0,25$ с та $t_{zan} = 0,3$ с.

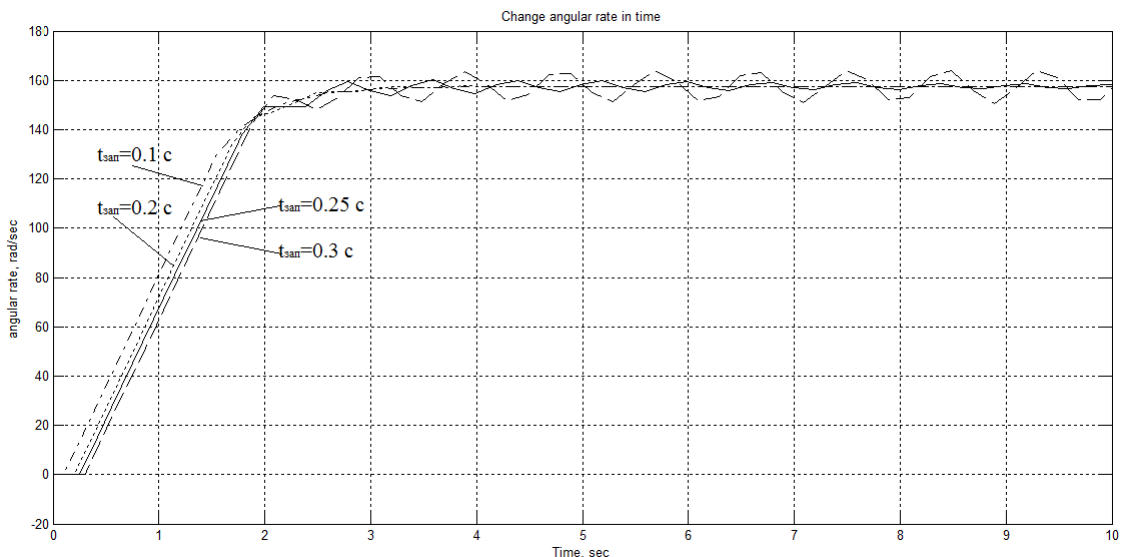


Рис. 4. Графік регулювання кутової швидкості ротора генератора із запізненням

Висновки

Для ефективного управління вітротурбіною за зміни швидкості вітру в бік збільшення або зменшення потрібно враховувати час увімкнення двигуна приводу півча. Значне збільшення запізнення призводить до більшого перерегулювання і, як наслідок, до коливання напруги й потужності, що генеруються ВЕУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кривцов В. С. Невичерпна енергія: підручник. Кн. 2. Вітроенергетика / Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. І. – Харків: Вид-во Нац. аерокосмічного ун-ту. «ХАІ», Севастополь: Севастополь. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.
2. Буяльский В. И. К вопросу оценки параметра времени включения двигателя привода пивча для ветротурбины USW56–100 / В. И. Буяльский // Вісник СевНТУ Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 106. – С. 114 – 119.
3. Резван В. Абсолютная устойчивость автоматических систем с запаздыванием / Резван В.; под. ред. В. А. Якубовича; с доп. А. П. Лихтарникова, В. А. Якубовича. – М.: Наука, 1983. – 256 с.
4. Веремей Е. И. Пособие " Nonlinear Control Design Blockset " [Електронний ресурс] / Е. И. Веремей, С. В. Погожев. – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/nonlinecondes/book1/preface.php>.

Яндутьський Олександр Станіславович – д. т. н., професор, кафедра автоматизації енергосистем, декан факультету електроенерготехніки та автоматики, тел.: (044) 236-41-11.

Марченко Анатолій Андрійович – к. т. н., доцент кафедри автоматизації енергосистем, тел.: (044) 454-93-08.

Гулий Володимир Сергійович – магістрант кафедри автоматизації енергосистем.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».