

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ В УМОВАХ ВАРІАЦІЇ АКТИВНОГО ОПОРУ РОТОРА

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація

Представлено дослідження динамічних характеристик системи генерування з алгоритмом векторного керування асинхронним генератором (АГ) з пропорційно-інтегральними регуляторами струму та напруги в умовах варіації активного опору ротора. Показано, що при варіації активного опору порушується асимптотичне відпрацювання модуля вектора потокозчеплення ротора та напруги ланки постійного струму.

Ключові слова: система генерування, варіація опору ротора.

Abstract

The study of the dynamic characteristics of generation systems with a vector control algorithm for an induction generator with proportional-integrated current and voltage regulators in conditions of changing the active resistance of the rotor is presented. It is shown that in the variation of the active resistance, an asymptotic development of the module of the flow vector of the rotor and voltage of the direct current link is disturbed.

Keywords: generating system, rotor resistance variation.

Вступ

Синтез алгоритмів векторного керування АГ здійснювався на основі припущень про те, що параметри генератора відомі та сталі. У цьому випадку гарантується досягнення асимптотичного відпрацювання напруги ланки постійного струму та потокозчеплення ротора. Але, навіть у випадку, коли параметри генератора початково точно відомі, деякі з них, наприклад, активний опір ротора змінюється в результаті нагрівання та є недоступним для вимірювання. Зокрема, відомо, що активний опір роторного кола в процесі тривалої роботи в навантаженому стані змінюється в 1.5 – 2 рази. Варіації активного опору ротора призводять до порушення умов полеорієнтування і, як наслідок, до деградації динамічних показників якості керування та зниження енергетичної ефективності процесів електромеханічного перетворення енергії.

Результати дослідження

Рівняння досліджуваного алгоритму непрямого векторного керування АГ з пропорційно-інтегральними регуляторами визначені в [3]. Параметри досліджуваного АГ серії 4A90L4Y3, у якого номінальна потужність 2.2 кВт, активний опір статора $R_1 = 3.5$ Ом, активний опір ротора $R_2 = 2.2$ Ом, індуктивність статора $L_1 = 0.287$ Гн, індуктивність ротора $L_2 = 0.287$ Гн, індуктивність намагнічуючого контуру $L_m = 0.27$ Гн, кількість пар полюсів ..., ємність в ланці постійного струму $C = 1000$ мкФ, повний момент інерції системи $J = 0.002$ кг·м². Налаштування системи керування здійснено з наступними параметрами: $k_{id} = k_{iq} = 500$, $k_{ii} = k_{id}^2/2$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових регуляторів струму; $k_v = 0.2$, $k_{vi} = 15$ – коефіцієнти пропорційної та інтегральної складової регулятору напруги ланки постійного струму.

У динамічних режимах важливим для працездатності всієї системи є максимальні значення похибок регулювання вихідних координат, а також час перехідного процесу. В умовах дослідження первинний рушій обертає вал АГ з номінальною кутовою швидкістю 140 рад/с; початкова напруга ланки постійного струму дорівнює $V_{dc}(0) = 310$ В; в початковий інтервал часу 0...0.25 с відбувається збудження генератора з значення $\psi(0) = 0.02$ Вб до 0.5 Вб; починаючи з 2-ої секунди завдання для моду-

ля вектора потокозчеплення збільшується до номінального значення 0.96 Вб; до $t = 1$ с задана напруга в ланці постійного струму дорівнює 310 В; починаючи з $t = 1$ с за 0.5 с завдання напруги ланки постійного струму збільшується з початкового значення до номінального 540 В; в момент часу $t = 3$ с відбувається під'єднання резистивного номінального навантаження в ланці постійного струму величиною 174 Ом (струм навантаження 3.1 А); в момент часу $t = 4.5$ с навантаження від'єднується. Варіація активного опору ротора задавалася в діапазоні $0.73 \leq k_\alpha \leq 1.6$, де $k_\alpha = \hat{\alpha}/\alpha$ – співвідношення між оціненим значенням величини оберненої до сталої часу роторного кола $\hat{\alpha} = \text{const}$ та її реальним значенням α .

Перехідні процеси в системі генерування з алгоритмом [3] при врахуванні кривої намагнічування як в моделі генератора, так і в алгоритмі керування для випадку $\hat{\alpha} = \alpha$, тобто в умовах точно відомого значення активного опору ротора, представлено на рис. 1. З рис. 1 слідує, що після завершення процесів збудження (після 2.5 с.) забезпечується асимптотичне регулювання модуля вектора потокозчеплення та напруги ланки постійного струму.

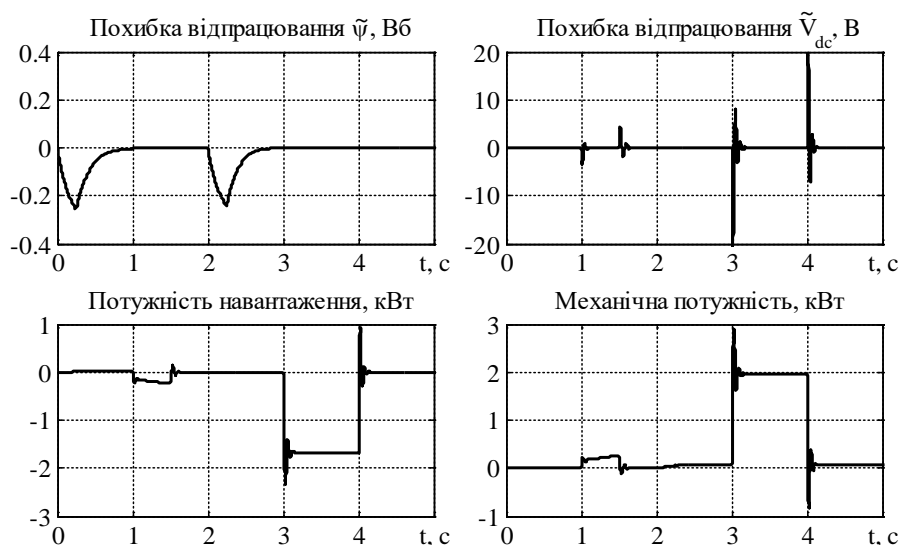


Рисунок 1 – перехідні процеси в системі керування з алгоритмом векторного керування з пропорційно-інтегральними регуляторами струму та напруги для $\hat{\alpha} = \alpha$

Перехідні процеси в системі для $\hat{\alpha} = 1.6\alpha$ та $\hat{\alpha} = 0.73\alpha$ показано на рис. 2 і рис. 3.

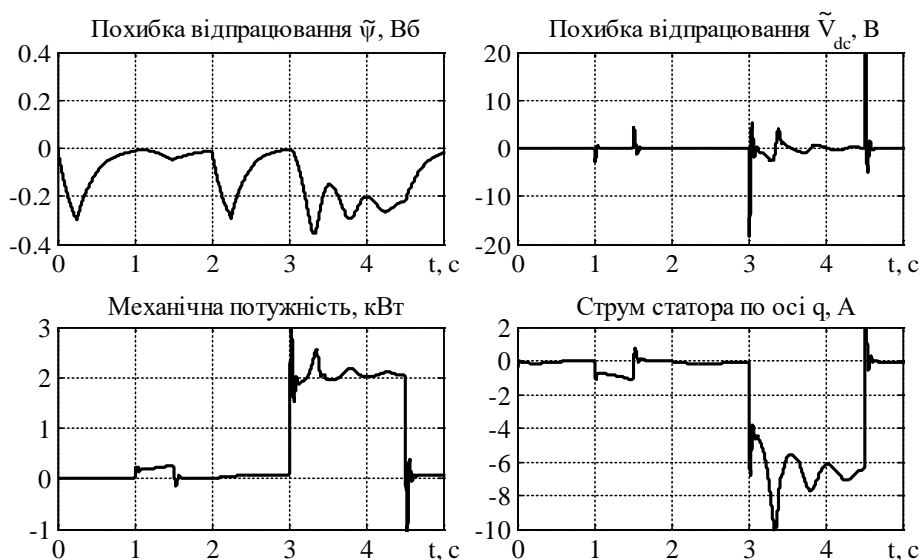


Рисунок 2 – перехідні процеси в системі для $\hat{\alpha} = 0.73\alpha$

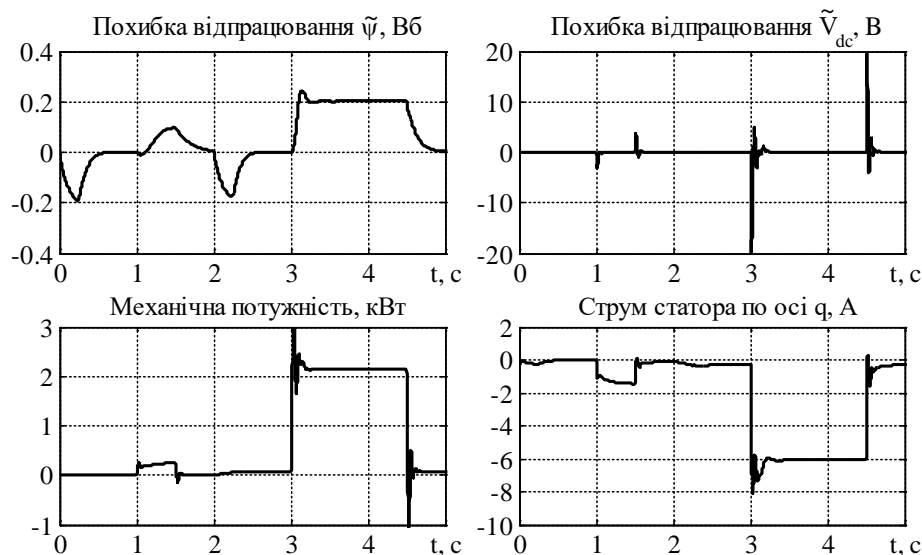


Рисунок 3 – Перехідні процеси в системі для $\hat{\alpha} = 1.6\alpha$

З графіків на рис. 2, рис. 3 слідує, що при варіації активного опору ротора порушується асимптотичність полеорієнтування. В умовах $k_\alpha = 0.73$ статична похибка складає $\tilde{\psi} \cong -0.23$ Вб (+ 24 %), тобто реальний модуль зменшується до 0.73 Вб, що призводить до збільшення струму статора по осі q до 6.54 А (+ 30 %) та вхідної механічної потужності до 2051 Вт (+ 4.9 %). Відбувається також деградація динаміки процесів регулювання. Перехідні процеси при накиданні навантаження набувають коливального характеру, а подальше зменшення $\hat{\alpha}$ так, що $k_\alpha < 0.73$ призводить до втрати стійкості. В умовах варіації активного опору ротора для $k_\alpha = 1.6$ похибка відпрацювання модуля вектора потокозчеплення $\tilde{\psi} = 0.2$ Вб (+ 21 %), моментоутворююча компонента струму i_q збільшується до 6.1 А (+ 29 %), а вхідна механічна потужність збільшується до 2047 Вт (+ 4.7 %).

Висновки

В результаті дослідження встановлено, що при варіації активного опору ротора в системі генерування з АГ та пропорційно-інтегральними регуляторами струму та напруги порушується асимптотичне відпрацювання модуля вектора потокозчеплення ротора та напруги ланки постійного струму. Для значень з $k_\alpha < 1$ спостерігається суттєва деградація показників якості керування, а для $k_\alpha < 0.7$ навіть втрата стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Peresada S., Kovbasa S., Korol S., Pechenik N., Zhelinskyi N. Indirect field oriented output feedback linearized control of induction generator. *2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. Kiev, 2016. P. 187–191.
2. Peresada S., Kovbasa S., Korol S., Zhelinskyi N. Feedback linearizing field-oriented control of induction generator: theory and experiments. *Технічна електродинаміка*. 2017. № 2. P. 48–56.
3. Peresada S., Zhelinskyi M., Kovbasa S., Korol S. Indirect field oriented control of the saturated induction generators with linear PI regulators. *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. Kyiv, 2019. P. 138–143.

Бабко Кирил Михайлович – студент групи ЕП-п81, факультет електроенерготехніки та автоматики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: babko.kirilo@iit.kpi.ua

Димко Сергій Сергійович – к.т.н., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: sdymko@ukr.net.

Желінський Микола Миколайович – асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: mykola.zhelinskyi@gmail.com.

Kirill Babko – Student, Faculty of Electric Power Engineering and Automatics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: babko.kirilo@iit.kpi.ua.

Serhii Dymko – Ph.D., Faculty of Electric Power Engineering and Automatics, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: sdymko@ukr.net.

Mykola Zhelinskyi – Research Assistant, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, e-mail: mykola.zhelinskyi@gmail.com.