УДК 629.7.054:681.2

О. С. Колесник, А. Д. Грицюк, О. Є. Зєнович

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АВІАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АДАПТИВНИХ РЕГУЛЯТОРІВ НАПРУГИ

Анотація. *Проаналізовано сучасні методи стабілізації напруги авіаційних генераторів із застосуванням адаптивних, інтелектуальних та робастних регуляторів. У середовищі MATLAB розроблено моделі генератора з PID-регулятором, PID-регулятором, що самоналаштовується, та адаптивним регулятором з еталонною моделлю. Дослідження показали, що адаптивні регулятори підтримують напругу при значній зміні частоти обертання і навантаження та поліпшують перехідні процеси.*

Ключові слова: *авіаційний генератор, регулятор напруги, PID-регулятор, адаптивний регулятор, еталонна модель, якість електроенергії, перехідні процеси, MATLAB.*

Abstract. *Modern methods of aircraft generator voltage stabilization using adaptive, intelligent, and robust controllers are analyzed. MATLAB models of a generator with a PID controller, a self-tuning PID controller, and a model reference adaptive controller have been developed. The studies show that adaptive controllers maintain the voltage under significant changes in rotational speed and load and improve transient processes.*

Keywords: *aircraft generator, voltage regulator, PID controller, adaptive controller, reference model, power quality, transient processes, MATLAB.*

Для нормальної роботи обладнання повітряного судна напруга авіаційних генераторів повинна змінюватися у заданих межах незалежно від режиму польоту та величини і характеру електричного навантаження. Генератор приводиться в обертання від авіаційного двигуна, тому частота його обертання змінюється в широкому діапазоні. Навантаження бортової мережі також змінюється: вмикаються й вимикаються потужні споживачі, виникають пускові струми, змінюється співвідношення активної та реактивної складових. Вимоги до якості електроенергії при цьому не послаблюються. Відхилення напруги від норми призводить до збоїв у роботі радіоелектронного, навігаційного та пілотажного обладнання, скорочує термін служби споживачів і знижує безпеку польоту [1; 2].

Тому авіаційні генератори працюють разом із регуляторами напруги, що забезпечують стабілізацію напруги генераторів шляхом зміни магнітного потоку електричної машини. Регулятор порівнює виміряну напругу з опорним значенням і за сигналом неузгодженості змінює струм збудження, а отже, і магнітний потік. У сучасних системах електропостачання цю функцію виконують блоки керування генератором (GCU), які реалізують регулювання аналоговими або цифровими засобами [3; 4]. Для кращої якості регулювання коефіцієнт підсилення регулятора доцільно змінювати залежно від частоти обертання генератора та струму навантаження. Інакше при низьких обертах регулятор буде надто «слабким», а при високих — система може втратити стійкість [2].

В даний час на літаках та вертольотах авіації Повітряних Сил використовуються регулятори напруги, які є PID-регуляторами. Вони прості й надійні, але не завжди забезпечують необхідну якість електроенергії, оскільки динамічні властивості генератора суттєво залежать від режиму роботи. Параметри генератора змінюються зі зміною частоти обертання, навантаження та температури, тому коефіцієнти PID-регулятора, підібрані для одного режиму, в інших стають неоптимальними. Це проявляється в збільшенні перерегулювання, тривалості перехідних процесів і коливальності напруги. [5].

З метою усунення цього недоліку було проведено аналіз сучасних методів стабілізації напруги шляхом впровадження у системи електропостачання адаптивних, інтелектуальних та робастних регуляторів. Адаптивні системи автоматично змінюють параметри або структуру регулятора, пристосовуючись до зміни властивостей об'єкта. Одним із найпоширеніших підходів є керування з еталонною моделлю (MRAC). У такій системі різниця між виходом реального

об'єкта та виходом еталонної моделі за певним законом адаптації формує сигнал керування. Завдяки цьому об'єкт набуває динамічних властивостей еталонної моделі, незалежно від зміни власних параметрів [5]. Інтелектуальні методи (нечітка логіка, нейронні мережі, алгоритми машинного навчання) дозволяють будувати регулятори без точної математичної моделі об'єкта.

У середовищі MATLAB розроблені віртуальні моделі генератора з PID-регулятором напруги; PID-регулятором, що самоналаштовується; адаптивним регулятором з еталонною моделлю. MATLAB/Simulink є загальноприйнятим інструментом для моделювання авіаційних генераторних систем. Він дозволяє описати генератор рівняннями в осях d–q (перетворення Парка), підключити модель регулятора й навантаження та оцінити динаміку системи за різних умов [5]. У моделях передбачено зміну частоти обертання та величини навантаження, що відповідає реальним режимам експлуатації.

Проведено дослідження характеристик якості електроенергії при дії різних збурень. До них належать різке підключення та відключення навантаження, зміна частоти обертання генератора, зміна опорної напруги. Оцінювалися відхилення напруги в перехідному режимі, перерегулювання, час регулювання та усталена похибка. Результати дослідження показують, що застосування адаптивних регуляторів напруги дозволяє підтримувати напругу на виході генератора при значній зміні частоти обертання і навантаження [2; 3].

Таким чином, адаптивні регулятори є перспективною альтернативою традиційним PID-регуляторам у системах електропостачання повітряних суден. Їх застосування дозволяє компенсувати зміну динамічних властивостей генератора й забезпечувати стабільну напругу в усіх режимах польоту.

Список використаних джерел:

1. Li Yuren, Liang Bo, Zhang Zhihui, Lu Jiuli. A Design Method of Voltage Regulator System of Three-Stage Aircraft Generator Based on VSC with Sliding Mode // Journal of Northwestern Polytechnical University. https://journals.nwpu.edu.cn/xbgydxxb/CN/abstract/abstract6132.shtml

2. Nagem N. A., Amer R. A., Osheba S. M. Combined adaptive control and SVC for a turbogenerator // Engineering Research Journal, 2014, 37(4), pp. 397–405. DOI: 10.21608/erjm.2014.66949.

3. Патент US 5038094A. Reference trimming for a digital voltage regulator. https://patents.google.com/patent/US5038094

4. Патент US 4477765A. Voltage regulator. https://patents.google.com/patent/US4477765

5. Luo Y., Zhang C., Li S., Duan X., Zhang X., Li W. Modeling and Simulation of Three-Stage Synchronous Generator and its Voltage Regulator for Aircraft // ICEMS 2018. DOI: 10.23919/ICEMS.2018.8549126/

Колесник Олександр Сергійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: kolesniksasha678@gmail.com., ORCID https://orcid.org/0009-0005-9580-2691.*

Грицюк Андрій Дмитрович *– Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email: greka199820031@gmail.com.*

Зєнович Олександр Євгенович *– доцент кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, email: aezenovich@gmail.com.*

Oleksandr Kolesnyk *– Kharkiv National University of Military Forces. I. Kozheduba, listener of the 262C primary group, Kharkiv, Ukraine; email: kolesniksasha678@gmail.com., ORCID https://orcid.org/0009-0005-9580-2691.*

Andrii Hrytsiuk *– Kharkiv National University of Military Forces. I. Kozheduba, listener of the 262C primary group, Kharkiv, Ukraine; email: greka199820031@gmail.com.*

Oleksandr Zienovych *– Assosiate Professor, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, email: aezenovich@gmail.com.*