УДК 621.314.5

О. Є. Зєнович, О. О. Трисантович, М. О. Нагірняк, А. В. Шевчик

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ВІРТУАЛЬНІЙ МОДЕЛІ

Анотація. *У роботі розглянуто особливості функціонування вторинних джерел постійного струму та можливості дослідження їхніх електричних характеристик за допомогою віртуального моделювання. Метою є аналіз зміни напруги, струму та параметрів якості електроенергії залежно від навантаження і стану первинного джерела енергії. Запропоновано підхід до побудови віртуальної моделі, яка дає змогу спостерігати перехідні процеси, оцінювати параметри якості електроенергії вторинного джерела при зміні навантаження та параметрів первинного джерела енергії.. Використання моделювання сприяє безпечному й наочному вивченню процесів без потреби постійно проводити фізичні експерименти.*

Ключові слова: *вторинне джерело живлення, постійний струм, електричне навантаження, віртуальна модель.*

Annotation. *The paper considers the operating principles of secondary direct-current power sources and the use of virtual simulation to investigate their electrical characteristics. The aim is to analyze changes in voltage, current and operating modes depending on load parameters and the energy storage state. An approach to building a virtual model is proposed to observe transient processes, evaluate output-voltage stability and determine how load changes affect system operation. Simulation provides a safe and visual way to study these processes without relying exclusively on physical experiments.*

Keywords: *secondary power source, direct current, electrical load, virtual model.*

Електричні системи сучасної авіаційної техніки потребують надійних джерел живлення, здатних забезпечувати стабільні параметри електроенергії за різних умов експлуатації. До вторинних джерел постійного струму належать, в першу чергу, випрямні пристрої, а також електромашинні перетворювачі змінного струму у постійний. Їхні характеристики змінюються залежно від стану первинного джерела та режиму роботи.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розуміти поведінку вторинного джерела під час зміни навантаження і параметрів вхідної напруги . Віртуальна модель дає змогу змінювати параметри системи, відстежувати електричні величини в часі та досліджувати режими, які не завжди зручно відтворювати на реальному обладнанні.

Метою роботи є дослідження процесів функціонування вторинного джерела постійного струму на віртуальній моделі та визначення впливу параметрів навантаження і вхідного джерела на його основні вихідні електричні характеристики.

Для досягнення поставленої мети у середовищі Matlab побудована модель вторинного джерела постійного струму, параметри якої відповідають випрямному пристрою ВУ-6Б. У якості первинного джерела розглядається літакова трифазна система 208/120 В, 400 Гц, яка моделюється блоком Three-Phase Programmable Voltage Source з бібліотеки Specialized Power Systems . Трифазний силовий трансформатор з перетворювачем числа фаз моделюється блоками Three-Phase Transformer (Two Windings), випрямні діоди – блоками Diode, навантаження – блоками Series RLC Branch, комутаційні пристрої – блоками Ideal Switch. Вимірювання напруги та струму здійснюється блоками Voltage Measurement та Current Measurement. Для спостерігання за зміною вихідної напруги і струму у перехідних режимах використовується осцилограф Scope. Спектр вихідної напруги пропонується отримувати за допомогою функції FFT Analysis блоку Powergui.

Віртуальна модель може також містити акумуляторну батарею або еквівалентне джерело постійної напруги у разі їхньої паралельної роботи з випрямним пристроєм.

Дослідження доцільно проводити в кілька етапів. Спочатку визначають номінальні параметри моделі та фіксують значення напруги й струму за сталого навантаження. Далі навантаження змінюють стрибкоподібно, що дає змогу спостерігати перехідний процес і встановлення нового режиму.

Основними показниками оцінювання є рівень вихідної напруги, величина струму навантаження, тривалість перехідного процесу , відхилення напруги від усталеного значення та спектр вихідної напруги. За збільшення споживаного струму напруга на затискачах реального джерела може знижуватися через внутрішній опір та обмеження системи. Після зміни навантаження параметри встановлюються не миттєво, а відповідно до властивостей джерела, елементів кола й алгоритмів керування. Віртуальне моделювання дає змогу простежити ці зміни та порівняти їх за однакових початкових умов.

Запропонована модель також дозволяє проводити дослідження роботи пристрою при виникненні типових відмов, таких як аварійна зміна частоти і напруги первинного джерела, обриви і короткі замикання первинних і вторинних обмоток трансформатора, обриви і короткі замикання силових діодів.

Важливо враховувати, що результати моделювання залежать від точності обраної математичної моделі та параметрів її компонентів. Якщо модель не враховує температурні зміни, нелінійність характеристик елементів , отримані залежності не повністю відображатимуть поведінку реального пристрою. Тому результати віртуального експерименту слід розглядати як засіб аналізу й навчального дослідження, а за потреби підтверджувати вимірюваннями на фізичному макеті.

Список використаних джерел:

1. Системи електропостачання повітряних суден : навч. посіб. / О. Є. Зєнович, В. А. Хлоп’ячий, В. М. Кривонос та ін. Х. : ХНУПС, 2021. 216 с.
2. Chapman S. J. Electric Machinery Fundamentals. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
3. MathWorks. Simulink Documentation: Model and simulate dynamic systems. URL: https://www.mathworks.com/help/simulink/ (дата звернення: 26.10.2026).
4. Linden D., Reddy T. B. Handbook of Batteries. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

Зєнович Олександр Євгенович *- кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

Трисантович Олександра Олександрівна *- курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,м.Харків,вул.Сумська 77/79, інд 61009,e-mail:demchukoleksandra900@gmail.com*

Нагірняк Максим Олександрович *- курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: maximumm399@gmail.com*

Шевчик Антон Володимирович *- курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,м.Харків,вул.Сумська 77/79, інд 61009, e-mail: antonsevcik72@gmail.com*

Zienovych Oleksandr Yevhenovych *- PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Aircraft and Helicopter Equipment, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska Str., Kharkiv, 61009, Ukraine, e-mail: aezenovich@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9982-6274.*

Trysantovych Oleksandra Oleksandrivna *- cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: demchukoleksandra900@gmail.com*

Nahirniak Maksym Oleksandrovich *– cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: maximumm399@gmail.com*

Shevchyk Anton Volodymyrovych *- cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: antonsevcik72@gmail.com*