

## ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ

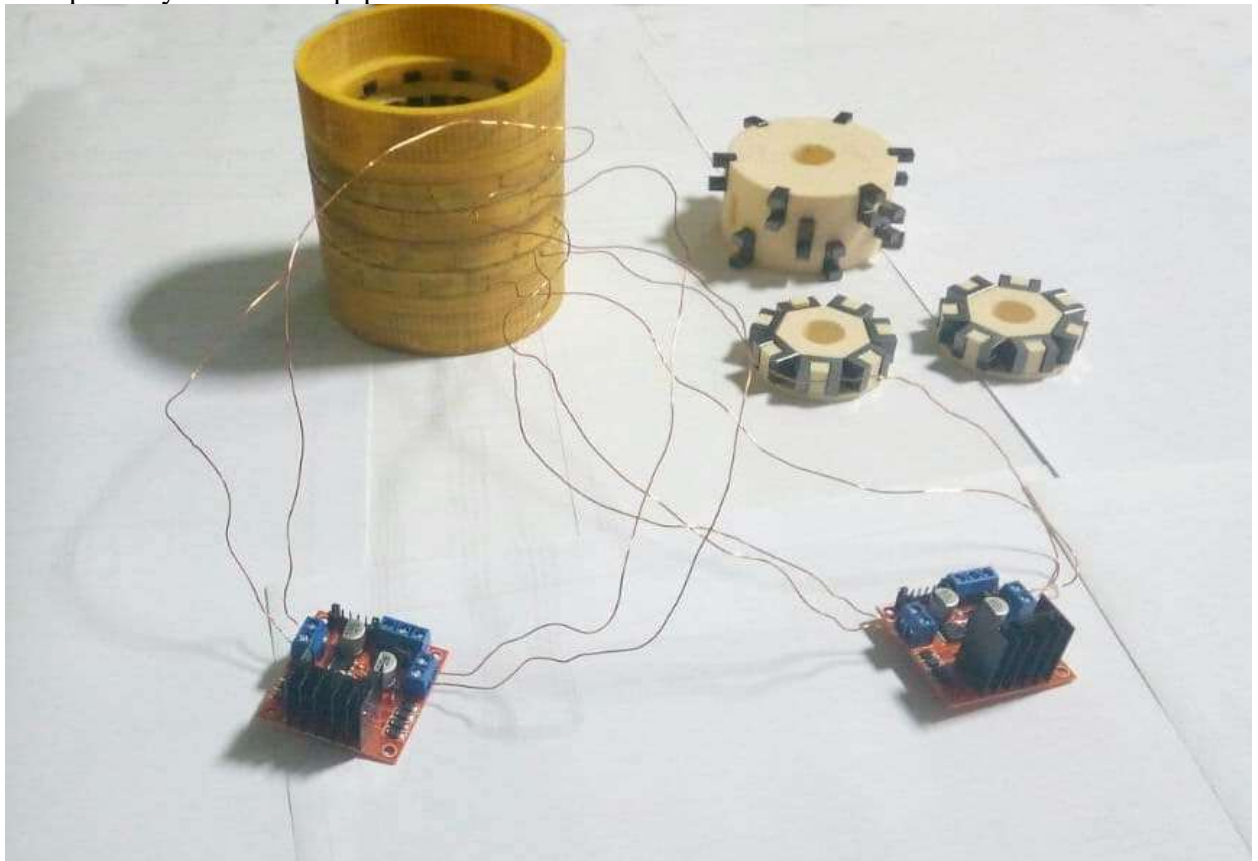
Найменування розробки: Система енергозабезпечення високочастотних вентильно-індукторних двигунів дрона з багатокомірковими перетворювачами і просторово-часовою модуляцією. Energy supply system for high-frequency drone reluctance switched motors with multi-cell converters and space-timemodulation

1. Номер державної реєстрації, номер реєстрації в університеті - 0120U102131, 2314 п.
2. Науковий керівник (вчений ступінь, звання) Вербицький Є.В., д.т.н., доц., Verbytskyi I.V., Dr. Sc., Doc.
3. Суть розробки, основні результати. *(укр., англ.; обсягом не менше 1500–2000 знаків кожною мовою).*

Дрони широко використовуються для вирішення багатьох практичних задач. Основними параметрами дронів є дальність польоту, вантажопідйомність, швидкісні та маневрові характеристики. На даний момент найкращі технічні характеристики мають дрони з двигунами на постійних магнітах та літій-полімерними акумуляторами. Розміщення на роторі більшої кількості пар полюсів дозволяє зменшити габарити двигуна при збереженні такого ж моменту, однак потребує використання складніших, просторово-часових законів модуляції напруги та багатоканальних перетворювачів електричної енергії, що дещо збільшує масу системи енергозабезпечення системи, тому через складність і невеликий вираш у масі на практиці не використовується. Запропонована конструкція вентильно-індукторного двигуна має значно меншу масу його за рахунок роботи на підвищеній частоті, що дозволяє зменшити масу двигуна в декілька разів. Метою розробки є покращення технічних показників дронів: дальності польоту, вантажопідйомності завдяки вдосконаленню електричної та електро-механічної систем; спільне використання декількох джерел енергії. Завдання, на вирішення яких спрямовано проект включають: розробка топології перетворювача з двонаправленим передаванням енергії та підвищеною струмовіддачею для комбінованого джерела енергії акумулятор-суперконденсатор; аналіз і розробка нових багатокоміркових топологій перетворювачів електроенергії та алгоритмів керування ними для формування просторово-часової модуляції напруги живлення обмоток вентильно-індукторного двигуна; вибір структури та реалізація запропонованої конструкції вентильно-індукторного двигуна, що працює на проміжній підвищеній частоті; узгодження режимів роботи джерел електричної енергії і двигуна та забезпечення їх електромагнітної сумісності.

Drones are widely used to solve many practical problems. The main parameters of drones are flight range, load capacity, speed and shunting characteristics. Currently, the best technical characteristics are drones with permanent magnet motors and lithium-polymer batteries. Placing more pairs of poles on the rotor reduces the size of the motor while maintaining the same torque, but requires the use of more complex, spatio-temporal laws of voltage modulation and multichannel power converters, which slightly increases the weight of the power supply system. not used in practice. The proposed design of switched reluctance motor has a much lower weight due to the operation at high frequencies, which reduces the weight of the motor several times. The purpose of the development is to improve the technical performance of drones: flight range, load capacity due to the improvement of electrical and electro-mechanical systems; sharing several energy sources. The tasks to be solved by the research include: development of the topology of the converter with bidirectional energy transfer and increased current transfer for the combined energy source battery-supercapacitor; analysis and development of new multi-cell topologies of power converters and algorithms for their control for the formation of spatio-temporal modulation of the supply voltage of windings; the choice of structure and implementation of the proposed design of switched reluctance motor, operating at an intermediate high frequency; coordination of modes of operation of power sources and the engine and ensuring their electromagnetic compatibility.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності – заявка на патент № u202104299 «Модульний вентиляно-індукторний двигун з полюсами П-типу». Вербицький Є.В., Батрак Л.М., 2021 р.
5. Порівняння зі світовими аналогами. Розроблена топологія вентиляно-індукторного має високий питомий момент та надійність у порівнянні зі світовими аналогами.
6. Економічна привабливість для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*). В рамках дослідження деталі двигуна друкувались на 3D принтері з достатньо великим допуском 0.5 мм, для просування на ринок необхідний пошук технологічної бази для виготовлення деталей двигуна з допуском мінімум 0.1 мм.
7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*). Підприємства з виготовлення безпілотних літальних апаратів та тягових двигунів для електротранспорту.
8. Стан готовності розробки (*лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження тощо із зазначенням технологічного рівня готовності (TRL)*). Дослідні зразки.
9. Існуючі результати впровадження. Впроваджено моделі вентиляно-індукторного двигуна в середовищі Comsol Multiphysics на підприємстві “Liwing Technology”.
10. Назва підрозділу, телефон, e-mail. Кафедра електронних пристроїв та систем, тел. 066 124 93 77, e-mail [verbytskyi.ievgen@gmail.com](mailto:verbytskyi.ievgen@gmail.com).
11. Фото (**обов'язково**) або кілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (**рекламного характеру**). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (**вагомі: монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації**).
  - Blinov, A.; Verbytskyi, I.; Zinchenko, D.; Vinnikov, D.; Galkin, I. Modular Battery Charger for Light Electric Vehicles. Energies 2020, 13, 774. <https://doi.org/10.3390/en13040774> (другий квартиль)/
  - Zinchenko D., Blinov A., Chub A., Vinnikov D., Verbytskyi I., Bayhan S. High-efficiency Single-Stage Onboard Charger for Electrical Vehicles. IEEE Transactions on Vehicular

Technology. Early Access, 2021. <https://doi.org/10.1109/TVT.2021.3118392> (перший квартал)

- High Frequency Modular Electric Drive for Switched Reluctance Motor with Reduced Torque Ripple. Ievgen Verbytskyi; Oleksandr Bondarenko; Mykola Lukianov; Valery Zhuikov; V. Fernão Pires. 2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon), Tunis, 2020. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCon48941.2020.9236601>
- Лук'янов М. О., Вербицький Є. В. Особливості проектування і керування вентильно-індукторним двигуном з мінімізацією пульсації моменту. Мікросистеми, Електроніка та Акустика, 2020, № 25(1), с 20-26. doi: 10.20535/2523-4455.me.198991.
- Лук'янов М. О. Вентильно-індукторний двигун з покращеними тяговими характеристиками. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 2 (4). С. 23-29. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.03.
- Вербицький Є. В., Гарницький А. В. Модульний зарядний пристрій акумулятора електромобіля з двостороннім передаванням енергії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 22-27. doi:10.20998/2413-4295.2020.04.03.
- Спектральний аналіз та синтез законів керування напівпровідниковими перетворювачами у базисі ряду Фур'є декількох змінних. К.: Політехніка, 2021, 292 с.
- Switched Reluctance Motor design, simulation, control, Carlsruhe 45 p. Electronic edition.

13. Надати ключові слова до розробки: система енергозабезпечення дрона, вентильно-індукторний двигун, модульна конструкція.