

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U001593

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 18-04-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** №НСВС/53/24 від 27.06.2024



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лук'янов Микола Олексійович

2. Lukianov Mykola Oleksiyovych

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 171

**Назва наукової спеціальності:** Електроніка

**Галузь / галузі знань:** електроніка та телекомунікації

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Електроніка

**Дата захисту:** 07-06-2024

**Спеціальність за освітою:** Електроніка

**Місце роботи здобувача:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.139; ID 5362

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 45.37

**Тема дисертації:**

1. Розосереджена система живлення електротранспорту на основі сонячних панелей
2. Distributed power supply system for electric transport based on solar panels

**Реферат:**

1. Лук'янов М.О. Розосереджена система живлення електротранспорту на основі сонячних панелей. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 – Електроніка. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2024. Дисертаційна робота присвячена розвитку теорії керування модульними перетворювачами сонячних панелей на основі корекції сигналів зворотного зв'язку. Отримані результати вносять значний внесок в розвиток відновлювальних джерел енергії і систем живлення електротранспорту. У першому розділі проаналізовано сучасні задачі під'єднання сонячних панелей до ліній живлення електротранспорту різних рівнів змінної й постійної напруги. Показано, що підключення відновлюваних джерел енергії до тягових ліній дозволяє знизити навантаження на

централізовані підстанції, а також покращити якість електроенергії. Для визначення точки під'єднання сонячних панелей порівняно різні методи підключення з використанням низькочастотних трансформаторів, інтеграції в ланки постійного струму кондиціонерів потужності, додаткового обладнання тягових ліній, систем акумулювання енергії. На основі огляду сучасних трендів в фотовольтаїчних системах і перетворювальній техніці було визначено актуальну наукову задачу розробки модульної системи перетворювачів, що включає в себе вибір топології перетворювачів, методики їх під'єднання для ефективного масштабування потужності сонячної станції й узгодження напруги масивів фотовольтаїчних панелей з тяговою мережею. У другому розділі на основі розробленої методики порівняння, що базується на відносній оцінці ціни і втрат в напівпровідникових елементах порівнюються популярні топології перетворювачів, використовуваних в фотовольтаїці. Як результат, обирається топологія комірки модульного перетворювача. Також приводиться оцінка економічної вигоди встановлення систем, що складаються з декількох послідовно з'єднаних перетворювачів, перетворювачів з гальванічною ізоляцією, а також гібридних багатопортових перетворювачів, що дозволяють інтегрувати накопичувачі енергії. Як результат, отримано відносну оцінку вартості і втрат для класичних ФВ рішень і для запропонованої модульної системи перетворювача. У третьому розділі приводиться структура запропонованого модульного перетворювача і проводиться розробка універсальної системи керування для такого перетворювача. Для цього проводиться аналіз стійкості вбудованої системи керування обраного для тестів перетворювача, а також визначається вплив розроблюваної системи керування коміркою на загальну стійкість системи. Визначаються параметри регуляторів задля забезпечення роботи перетворювача з необхідними запасами по стійкості. У четвертому розділі проводиться моделювання й експериментальна перевірка розроблюваного модульного перетворювача. Для перевірки отриманих теоретичних результатів було побудовано модель в середовищі Simulink для різних типів підключення модульних перетворювачів – паралельно/послідовно по входу/виходу й виміряно дисбаланси струмів й напруг кожного модуля. Моделювання показало коректність теоретичних розрахунків, а також здатність розробленої системи керування прибрати дисбаланс струмів/напруг як для послідовно так і для паралельно з'єднаних перетворювачів, забезпечивши дисбаланс між параметрами на рівні <math><5\%</math>. У роботі вирішена науково технічна задача зменшення розбалансування струмів і напруг комірок модульної системи живлення електротранспорту на основі сонячних панелей шляхом впровадження розробленої теорії керування системи, що базується на корекції сигналу зворотного зв'язку перетворювачів. Ключові слова: перетворювачі електроенергії, модульні ФВ перетворювачі, мережа живлення електротранспорту.

2. Lukianov M.O. Distributed Power Supply System for Electric Transport Based on Solar Panels. – Qualifying scientific work, the manuscript. Thesis for the degree of Philosophy Doctor, in specialty 171 - Electronics. –National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024. The dissertation focuses on advancing the control theory for modular solar panel converters through feedback signal correction. The achieved outcomes significantly contribute to the progress of renewable energy sources and power supply systems for electric transport. In the first chapter, the analysis of contemporary challenges in connecting solar panels to power lines of electric transport with various levels of AC and DC voltage is conducted. It is demonstrated that connecting renewable energy sources to traction lines allows reducing the load on centralized substations and improving the quality of electrical energy. Various methods of connecting solar panels are compared, including the use of low-frequency transformers, integration into DC power conditioner units, additional equipment for traction lines, and energy storage systems. Based on a review of current trends in photovoltaic systems and conversion technology, the relevant scientific problem of developing a modular converter system is identified. This system involves selecting converter topologies and connection methods for efficient power scaling of the solar station and aligning the voltage of photovoltaic panel arrays with the traction network. In the second chapter, a methodology for comparing popular converter topologies used in photovoltaics is developed based on relative assessment of cost and losses in semiconductor elements. The chosen topology for the modular converter cell is determined as a result. An economic analysis is provided for the installation of systems consisting of multiple connected converters, converters with galvanic isolation, and hybrid multi-port

converters integrating energy storage. Relative cost and loss evaluations are obtained for classical photovoltaic solutions and the proposed modular converter system. The third chapter presents the structure of the proposed modular converter and the development of a universal control system for such a converter. Stability analysis of the embedded control system for the tested converter is conducted, along with the impact of the developed control system on the overall stability of the system. Regulator parameters are determined to ensure the converter's operation with necessary stability margins. In the fourth chapter, modeling and experimental verification of the developed modular converter are carried out. A Simulink model is constructed to test different types of connection for modular converters - parallel/series at the input/output. Imbalances in currents and voltages of each module are measured. Simulation results validate theoretical calculations and demonstrate the ability of the developed control system to eliminate imbalances in currents/voltages for both sequentially and parallel-connected converters, ensuring imbalances below 5%. The scientific and technical task of reducing imbalances in currents and voltages of cells in the modular power supply system for electric transport based on solar panels is successfully addressed in this work through the implementation of the developed control theory, relying on feedback signal correction of converters. Keywords: power converters, modular PV converters, power supply network for electric transport.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- 1. М. О. Лук'янов, Є. В. Вербицький, і А. Блінов, «Система акумулювання сонячної електростанції», Мікросист., Електрон. та Акуст., т. 26, вип. 2, с. 236748–1, Сер 2021, doi:10.20535/2523-4455.me.236748
- 2. I. Verbytskyi, M. Lukianov, K. Nasserredine, B. Pakhaliuk, O. Husev, R.M. Strzelecki, «Power Converter Solutions for Industrial PV Applications—A Review», *Energies* 2022, 15, 3295, doi:10.3390/en15093295
- 3. M. Lukianov, I. Verbytskyi, N. Strzelecka, R. Strzelecki, «Power converter interface for urban DC traction substations - solutions and functionality», *Przegląd elektrotechniczny*, 2023, 11, p. 134, doi:10.15199/48.2023.11.23
- 4. K. Nasserredine, M. Turzynski, M. Lukianov, N. Strzelecka, «Key activities to improve energy management in DC microgrids connected by urban traction», *Przegląd elektrotechniczny*, 2023, 12, doi:10.15199/48.2023.12.01
- 5. M. Lukianov, I. Verbytskyi, E. R. Cadaval and R. Strzelecki, "Bidirectional EV charger integration into LV DC traction grid," 2023 IEEE 17th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Tallinn, Estonia, 2023, pp. 1-8, doi: 10.1109/CPE-POWERENG58103.2023.10227489.
- 6. VI міжнародна науково-технічна конференція «SMART-ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕЛЕКТРОНІЦІ – 2021» (STEE-2021), 15 – 21 серпня 2021 р, смт. Лазурне.
- 7. Doctoral School of Energy And Geotechnology III, 21st International Symposium Topical Problems In The Field Of Electrical And Power Engineering “Power Converter Solutions for Industrial PV Applications”, Parnu 2022.
- 8. M. LUKIANOV, W. MATELSKI, A. KRAHEL, I. VERBYTSKYI, R. STRZELECKI, “Hybrid distribution transformer with MV side control and DC bus for connecting an EV charger”, *SENE* 2022, Łódź, 2022.
- 9. XI Konferencja Naukowo-Techniczna Innowacyjne Materiały i Technologie w Elektrotechnice i-MITEL, 2023, 12-14 kwietnia, 2023, Sulęcín, „Wyzwania w dobie transformacji energetycznej” Mykola LUKIANOV,

Ievgen VERBYTSKYI, Natalia STRZELECKA, Ryszard STRZELECKI «LV DC traction substation with connected bidirectional EV chargers and improved functionality»

- 10. I. Verbytskyi, M. Lukianov and R. Strzelecki, "Feature of Solar Radiation Forecast Services Use for Solar Plants," 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 108-111, doi: 10.1109/ESS57819.2022.9969258.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** пристрої; технології

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів; економія матеріалів

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Вербицький Євген Володимирович
2. Ievgen Verbytskyi

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.09.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7275-5152

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Обрубів Андрій Валерійович
2. Andrii Obrubov

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.09.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-9667-1703

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Код за ЄДРПОУ:** 02066753

**Місцезнаходження:** проспект Героїв України, буд. 9, Миколаїв, Миколаївський р-н., 54007, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Городній Олексій Миколайович

2. Oleksii M. Horodnii

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.09.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5303-9564

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Чернігівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 05460798

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 95, Чернігів, Чернігівський р-н., 14035, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Пілінський Володимир Володимирович

2. Volodymyr Pilinsky

**Кваліфікація:** к. т. н., професор, 05.09.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2569-9503

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Бондаренко Олександр Федорович

2. Oleksandr Bondarenko

**Кваліфікація:** к. т. н., доц., 05.09.12

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-4276-1145

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Жуйков Валерій Якович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Жуйков Валерій Якович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Лук'янов Микола Олексійович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна