Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001688

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 14-05-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ №НСВС/58/25 від 15.07.2025 "Про видачу диплому доктора філософії та додатка до нього європейського зразка"

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Іванчук Владислав Юрійович
2. Vladyslav Ivanchuk

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0585-9610

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 141

Назва наукової спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Дата захисту: 25-06-2025

Спеціальність за освітою: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

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): PhD 8641

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 44.37.31, 44.41.35, 45.09.35

Тема дисертації:

1. Визначення параметрів фотоелектричних батарей в польових умовах
2. Determination of the parameters of photovoltaic modules in the field conditions

Реферат:

1. Іванчук В.Ю. Визначення параметрів фотоелектричних батарей в польових умовах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, галузь знань 14 Електрична інженерія. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2025. Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню актуального наукового завдання, що полягає в оцінці стану промислових фотоелектричних модулів в умовах їх експлуатації шляхом встановлення моделі поведінки вольт-амперних характеристик, з урахуванням впливу фізичних процесів в напівпровідникових матеріалах при різних рівнях сонячної радіації та навантаження. В роботі проведено літературно-патентний пошук за темою дисертаційного дослідження, виконано оцінку загального стану та світових тенденцій розвитку даної галузі. Розглянуто існуючі методи моделювання фотоелектричних

елементів, визначено наявні аналітичні та метаевристичні підходи до екстракції їх параметрів. Проаналізовано основні недоліки сучасних методів моделювання, а саме високі вимоги до обчислювальних ресурсів, спрощення складних фізичних процесів формування струму у фотоелектричних елементах до суперпозиційних моделей і, як результат, недостатня відповідність моделей реальним експериментальним дослідженням. Досліджено прояви резистивних втрат та рекомбінацій носіїв на вольт-амперні характеристики промислових кремнієвих фотоелектричних модулів. Розроблено та виготовлено на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi автоматизовану систему вимірювання вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів в польових умовах методом заряджання ємності разом з відповідним програмним забезпеченням. Виконано експериментальні дослідження фотоелектричних модулів в польових умовах, в результаті яких отримано більше тисячі вимірів в змінних навколишніх умовах при різному рівні іррадіаціїї від 50 до 900 Вт/м2. Для обробки експериментальних даних розроблений комплексний адаптивний робастний алгоритм фільтрації, що дозволяє усунути вплив можливих радіаційних та температурних флуктуацій, притаманних вимірюванням в польових умовах навіть на інтервалах декілька секунд. Отримано аналітичні залежності, які дозволяють при визначенні параметрів фотоелектричних модулів розділити вплив електричних втрат (послідовного опору) та рекомбінаційних процесів (фактору ідеальності та зворотного струму) на формування вольт-амперних характеристик, визначено оцінку для послідовного опору втрат. Розроблено теоретичну модель для визначення параметрів фотоелектричних модулів при різних зовнішніх умовах сонячної радіації та температури. Визначено аналітичні залежності параметрів ФМ від напруги, а саме фактору ідеальності та зворотного струму насичення, які дозволяють аналізувати особливості процесів рекомбінації носіїв та електричних втрат. Показано, що в області прямої напруги нижче точки максимальної потужності коефіцієнт ідеальності може значно перевищувати 2, що пов'язано з рекомбінацією на мікроструктурних та поверхневих дефектах промислових фотоелектричних модулях, виготовлених за сучасними технологіями. В класичних моделях рекомбінації, які не враховують перелічені дефекти, цей коефіцієнт має бути в межах від 1 до 2. Розроблено методику та програмне забезпечення, що дозволило вперше застосувати запропоновану однодіодну модель фотоелектричного елемента зі змінними параметрами та їхніми залежностями від напруги для опису вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів на відміну від загальноприйнятого використання двох- або трьохдіодних моделей з фіксованими параметрами. Останні засновані на суперпозиції діодних струмів і не відображають складного фізичного характеру формування струму в фотоелектричних елементах. Відтворення вольт-амперних характеристик фотоелектричних модулів з використанням однодіодної схеми заміщення зі змінними параметрами демонструє значення нормалізованого середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних порядку nRMSE ~ $2 \cdot 10^{-3}$ і коефіцієнт кореляції R^2 в межах 0.99994-0.99999, що перевершує результати розрахунків в рамках однодіодної моделі з фіксованими параметрами фотоелектричних модулів. Ключові слова: відновлювані джерела енергії, фотоелектрична станція, фотоелектричний модуль, сонячний елемент, вольт-амперна характеристика, дефект, система вимірювання, модель, коефіцієнт ідеальності діода, опори електричних втрат, струм короткого замикання, рекомбінація в напівпровідниках. Наукові праці в яких опубліковані основні наукові результати дисертації: Результати дисертаційного дослідження висвітлені в 7 наукових працях, в тому числі в 5 статтях у періодичних наукових фахових виданнях України (на момент опублікування) за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, які проіндексовані у базах Scopus, а також 2 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

2. Ivanchuk V.Y. Determination of the parameters of photovoltaic modules in the field conditions. – Qualifying scientific work on manuscript rights. Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics in the field of knowledge 14 Electrical engineering. National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2025. The dissertation study is devoted to solving an urgent scientific task, which is to assess the condition of industrial photovoltaic modules in their operating conditions by establishing a model of the behavior of current-voltage characteristics, taking into account the influence of physical processes in semiconductor materials at different

levels of solar radiation and load. In this work, a literature and patent search was conducted on the topic of the dissertation research, an assessment of the general state and global trends in the development of this industry was performed. The main disadvantages of modern modeling methods are analyzed, particularly their high computational requirements, the simplification of complex physical processes of current generation in photovoltaic cells into superpositional models, and, as a result, the insufficient correspondence of the models to real experimental investigations. The manifestations of resistive losses and carrier recombination effects on the current–voltage characteristics of industrial silicon photovoltaic modules are investigated. An automated system for measuring the current-voltage characteristics of photovoltaic modules in field conditions was developed and manufactured based on a Raspberry Pi microcomputer, using the capacitance charging method. Experimental studies of photovoltaic modules in field conditions were conducted, resulting in more than thousand measurements under varying environmental conditions. For processing the experimental data, a comprehensive adaptive robust filtering algorithm has been developed that eliminates the influence of possible radiation and temperature fluctuations inherent in field measurements, even over intervals of only a few seconds. Analytical dependencies have been obtained that allow separating the influence of electrical losses (series resistance) and recombination processes (ideality factor and reverse current) on the formation of current-voltage characteristics when determining module parameters. An estimation method for series resistance losses was also proposed. A theoretical model has been developed to determine the parameters of photovoltaic modules under various external conditions of solar radiation and temperature. The analytical dependences of the photovoltaic module parameters on the voltage, namely the ideality factor and the reverse saturation current, are determined, which allow us to analyze the peculiarities of the carrier recombination processes and electrical losses. It is shown that in the forward voltage region below the maximum power point, the ideality factor can significantly exceed 2, which is associated with recombination at microstructural and surface defects of industrial photovoltaics manufactured using modern technologies. In classical recombination models that do not take into account these defects, the ideality factor is typically assumed to be between 1 and 2. A methodology and software have been developed that allowed for the first time to apply the proposed single-diode model of photovoltaic cell with variable parameters and their voltage dependencies to describe the current-voltage characteristics of photovoltaic modules response, in contrast to the generally accepted use of two- or three-diode models with fixed parameters. The latter are based on the superposition of diode currents and do not reflect the complex physical nature of current generation in photovoltaic cells. The reproduction of the current–voltage characteristics of photovoltaic modules using a single-diode equivalent circuit with variable parameters demonstrates a normalized root mean square error from the experimental data on the order nRMSE ~ $2 \cdot 10^{-3}$ and a correlation coefficient R^2 ranging from 0.99994 to 0.99999, which surpasses the calculation results obtained using a single-diode model with fixed parameters.
Keywords: renewable energy sources, photovoltaic power plant, photovoltaic module, solar cell, current–voltage characteristic, defect, measurement system, model, diode ideality factor, electrical loss resistances, short-circuit current, recombination in semiconductors. The results of the dissertation research are highlighted in 7 scientific papers, including 5 articles in periodicals of scientific professional editions of Ukraine (at the time of publication) in the specialty 141 Electric power, electrical engineering and electromechanics, which are indexed in Scopus databases, as well as 2 theses at international scientific and practical conferences.

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:

- О.Ю. Гаєвський, В.Ю. Іванчук, І.О. Корнієнко та В.В. Бодняк, «Алгоритм і програмне забезпечення для Arduino-системи тестування фотоелектричних модулів», Відновлювана енергетика, вип. 1 (64), с. 42-49, Бер 2021, doi: 10.36296/1819-8058.2021.1(64).42-49.
- О.Ю. Гаєвський та В.Ю. Іванчук, «Автономна система вимірювання на основі мікрокомп'ютера для тестування фотоелектричних модулів», Відновлювана енергетика, вип. 3 (70), с. 54-61, Вер. 2022, doi: 10.36296/1819-8058.2022.3(70).54-61
- О.Ю. Гаєвський, Г.М. Гаєвська та В.Ю. Іванчук, «Резервна фотоелектрична станція в умовах періодичних відключень споживачів від електромережі», Відновлювана енергетика, вип. 1 (72), с. 27-36, Квіт 2023, doi: 10.36296/1819-8058.2023.1(72).27-36.
- О.Ю. Гаєвський, В.Ю. Іванчук та Г.М. Гаєвська, «Аналіз взаємозалежностей параметрів фотоелектричних модулів та їх змінення при різних рівнях сонячної радіації», Відновлювана енергетика, вип. 3 (74), с. 59-65, Жов 2023, doi: 10.36296/1819-8058.2023.3(74).59-65.
- О.Ю. Гаєвський та В.Ю. Іванчук, «Моделювання ВАХ фотоелектричного модуля зі змінними фактором ідеальності та зворотним струмом насичення», Відновлювана енергетика, вип. 3 (78), с. 54-61, Вер 2024, doi: 10.36296/1819-8058.2024.3(78).54-61.
- A. Gaevskii and V. Ivanchuk, "Stand-alone system on Raspberry platform for measuring the parameters of photovoltaic modules in real conditions", International scientific and technical journal "Modern problems of electric power engineering and automation", pp. 279-281, Jan 2024, available: jour.fea.kpi.ua/article/view/302496.
- В.Ю. Іванчук та О.Ю. Гаєвський. «Вимірювання характеристик двосторонніх фотоелектричних модулів в різних режимах роботи», Міжнародний науково-технічний журнал «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», с. 294-296, Січ 2024, доступно: jour.fea.kpi.ua/article/view/302501.

Наукова (науково-технічна) продукція: пристрої; методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість: економія енергоресурсів

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0118U003385, 0123U100782

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гаєвський Олександр Юлійович

2. Oleksandr Gaevskii

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6144-2441

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Соколовський Ігор Олегович
2. Ihor Sokolovskyi

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.10

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7072-6670

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Зайцев Євген Олександрович
2. Ievgen Zaitsev

Кваліфікація: д. т. н., старший науковий співробітник, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3303-471X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електродинаміки Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417236

Місцезнаходження: пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Болотний Микола Петрович

2. Mykola Bolotnyi

Кваліфікація: к. т. н., доцент, 05.14.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7366-2430

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Остапчук Олександр Володимирович

2. Oleksandr Ostapchuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.09.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3397-2423

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:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Будько Василь Іванович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Будько Василь Іванович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Іванчук Владислав Юрійович
Реєстратор	УкрІНТЕІ

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності

Юрченко Тетяна Анатоліївна