

УДК 621.314: 612.317

doi:10.20998/2413-4295.2025.02.04

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ПРИСТРОЇВ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ІЗОЛЯЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ 6-10 КВ

А. Ю. СТРОГІЙ, Р. О. БУЙНИЙ*

Кафедра електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій, Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, УКРАЇНА
*e-mail: buiniyroman@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянуто особливості використання малих фотоелектричних модулів (ФЕМ) для живлення пристроїв ранньої діагностики стану ізоляції повітряних ліній електропередавання напругою 6–10 кВ у мережах з ізольованою нейтраллю. Оскільки такі пристрої повинні виявляти дефекти ізоляції, ще до виникнення пошкодження, то їх неможливо живити шляхом індуктивного відбору енергії від струму однофазного замикання на землю як у випадку післяаварійного діагностування. На основі аналізу доступних технологій автономного енергозабезпечення обґрунтовано вибір фотоелектричного модуля як джерела живлення. Проведено аналіз мінімальних добових значень інсоляції за останні п'ять років у Чернігівському регіоні та розраховано відповідну еквівалентну освітленість за умов суцільної хмарності. Дану величину еквівалентної освітленості можна використовувати для моделювання умов і визначення величини згенерованої ФЕМ потужності та енергії. Експериментально визначено потужність, яку може генерувати ФЕМ в умовах мінімальної інсоляції, та показано можливість живлення пристрою ранньої діагностики ізоляції ПЛ від згенерованої потужності. Запропоновано розміщувати ФЕМ на опорі ПЛ 6-10 кВ вертикально, що дозволить забезпечити краще самоочищення від опадів та забруднень. Представлені результати можуть бути використані під час розробки енергонезалежних пристроїв моніторингу стану ізоляції ПЛ та як універсальне автономне джерело живлення для мікропроцесорних пристроїв

Ключові слова: фотоелектричний модуль; пристрій ранньої діагностики ізоляції; повітряна лінія; однофазне замикання на землю.

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING PHOTOVOLTAIC MODULES TO POWER EARLY DIAGNOSTICS DEVICES FOR THE INSULATION OF 6–10 KV OVERHEAD POWER LINES

A. STROHII, R. BUINY

Department of Electrical Power Engineering and Information Measuring Technologies, Chernihiv Politechnic National University, Chernihiv, UKRAINE

ABSTRACT The features of using small photovoltaic modules (PVMs) for powering devices for early diagnostics of the insulation condition of 6–10 kV overhead power lines (OPLs) in power networks with isolated neutral. These devices are intended to detect insulation defects before an actual fault occurs, which distinguishes them from post-fault diagnostic systems. Since early diagnostic equipment must operate continuously and independently of fault events, it cannot rely on inductive energy harvesting from the current of a single-phase earth fault, as is often used in post-event diagnostics. This limitation makes it necessary to develop an autonomous power supply system capable of providing stable energy regardless of fault presence. After analyzing various autonomous energy supply technologies, the use of a photovoltaic module was substantiated as a suitable and efficient power source. Photovoltaic modules offer advantages such as simplicity, reliability, and the ability to function in remote outdoor environments without relying on the grid or fault currents. To evaluate the applicability of this solution under real-world conditions, the study included an analysis of the minimum daily insolation levels recorded over the past five years in the Chernihiv region. Based on this data, the corresponding equivalent illuminance under conditions of continuous cloud cover was calculated. This parameter is valuable for modeling the expected operating environment of the PVM and estimating its energy output. The study also presents experimental data showing the amount of power that can be generated by a small PVM under low insolation. The results demonstrate the feasibility of using the generated power to sustain the operation of early diagnostics equipment for OPL insulation. It is recommended that PVMs be installed vertically on 6–10 kV poles to enhance self-cleaning from precipitation and contamination, ensuring more stable long-term performance. The presented findings can be used in the design of energy-autonomous insulation monitoring devices and as a universal power source for microprocessor-based systems operating in off-grid conditions.

Keywords: photovoltaic module; early insulation diagnostics device; overhead power line; single-phase earth fault.

Вступ

В Україні електричні мережі з напругою 6-10 кВ працюють у режимі ізольованої нейтралі. Це дає змогу забезпечити високий рівень надійності електропостачання споживачів оскільки у випадку

однофазного замикання на землю (ОЗЗ) споживачі не будуть відключені. ОЗЗ поширені на повітряних лініях електропередавання (ПЛ) [1-3]. Їх основними причинами є пошкодження та забруднення штирової ізоляції ПЛ [4-7], рідше – обриви проводів або їх в'язки до ізоляторів.

У працях [8-10] запропоновано систему для ідентифікації місця виникнення ОЗЗ, яка дозволяє точно визначити пошкоджену опору, що сприяє підвищенню надійності електропостачання [11]. Проте така система виявляє пошкодження вже після виникнення замикання, коли мережа працює в так званому ненормальному режимі: непошкоджені фази можуть бути під лінійною напругою, що створює ризик переходу ОЗЗ у міжфазні короткі замикання з подальшим вимкненням одного або кількох фідерів.

Мета роботи

Оцінити можливість живлення мікропроцесорного пристрою ранньої діагностики стану штирьової ізоляції ПЛ 6-10 кВ від ФЕМ малої потужності.

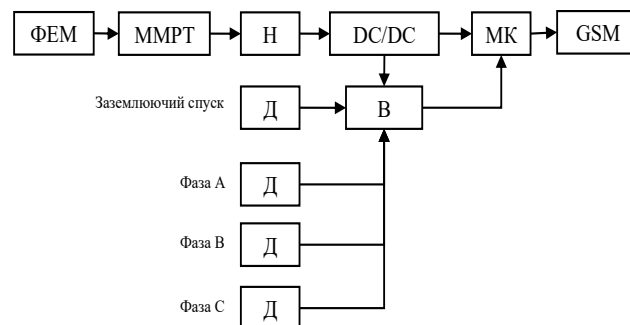
Виклад основного матеріалу

У роботі [12] запропоновано концепцію пристрою ранньої діагностики стану ізоляції ПЛ 6-10 кВ, проте у ній не розкрито питання живлення такого пристрою. Оскільки такий пристрій повинен спрацьовувати до виникнення ОЗЗ, то його живлення за допомогою індуктивного відбору енергії від струму замикання реалізувати неможливо. У результаті аналізу властивостей основних типів джерел живлення за сукупністю характеристик вибрано фотоелектричний модуль (ФЕМ) як найбільш оптимальне рішення [13].

Структурна схема пропонованого пристрою ранньої діагностики стану ізоляції зображена на рис. 1.

Використання ФЕМ у якості джерел живлення вимагає точної оцінки виробітки електроенергії задля задоволення всіх потреб пристроїв, подібних до тих, що описані у [12]. Оскільки пристрої ранньої діагностики стану ізоляції ПЛ повинні працювати за будь-яких погодних умов, а дефекти ізоляції можуть виникнути у період найменшої сонячної інсоляції (з кінця жовтня до кінця лютого), то ФЕМ повинні мати можливість живити пристрій за таких умов. Також, враховуючи те, що перехід дефектів у ОЗЗ

відбувається поступово, то відсутність достатньої сонячної інсоляції протягом двох-трьох діб не вплине на надійність виявлення критичних змін стану штирьової ізоляції. Тому для правильної оцінки потужності ФЕМ необхідно проаналізувати найменші добові значення інсоляції за останні декілька років.



ФЕМ – фотоелектричний модуль; ММРТ – перетворювач з відстеженням точки максимальної потужності; Н – накопичувач; DC/DC – перетворювач струму; МК – мікроконтролер; GSM – модуль стільникового зв'язку; В – блок вимірювань; Д – датчики

Рис. 1 – Структурна схема пристрою ранньої діагностики стану ізоляції

Загальна інсоляція складається з трьох складових: прямої, дифузної та відбитої [14]. Оцінка рівня прямої і дифузної компонент може бути виконана за допомогою аналізу даних з супутникових систем, наприклад [15,16]. Спрогнозувати вплив відбитої компоненти інсоляції у межах дня неможливо через невизначеність місцевих умов встановлення ФЕМ та погодних умов. Тому за найгіршого варіанту відбиту компоненту можна прийняти рівною нулю.

Були проаналізовані дані щодо мінімального денного значення інсоляції у місті Чернігів за останні 5 років (точка: 51,5° північної широта, 31,29° східної довготи), які зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Мінімальні значення інсоляції по компонентах за останні 5 років

Складова інсоляції	Мінімальне денне значення сонячної інсоляції, кВт·год/м ² , яке спостерігалось у році				
	20.11.2020	13.12.2021	17.01.2022	09.01.2023	21.11.2024
Сумарна	0,16	0,17	0,22	0,15	0,18
Дифузна	0,16	0,17	0,22	0,15	0,18

Як видно з табл. 1 період з найгіршими умовами освітленості за останні п'ять років для м. Чернігова знаходиться з листопада по січень. Також з таблиці видно, що дифузна компонента дорівнює сумарній інсоляції. З цього можна зробити висновок, що на момент вимірювань погодні умови

були з щільною хмарністю, яка розсіювала весь потік сонячного випромінювання.

Для оцінки дифузної компоненти інсоляції існує два типи моделей: ізотропні та анізотропні [14]. Анізотропні моделі враховують нерівномірний розподіл дифузного випромінювання по небосхилу та

положення сонця, що дозволяє досягти більшої точності в розрахунках за ясної або частково хмарної погоди. Проте вони є складнішими у реалізації та потребують додаткових вхідних даних, які не завжди доступні. Згідно аналізу даних табл. 1 та задля спрощення розрахунків використано ізотропну модель, яка припускає рівномірний розподіл дифузного випромінювання по всій небесній сфері, що є прийнятним наближенням за умов суцільної хмарності, характерно, для визначеного вище періоду в регіоні дослідження.

З точки зору зручності експлуатації ФЕМ його бажано розмістити на опорі ПЛ 6-10 кВ вертикально (рис. 2). Таке конструктивне рішення обумовлене необхідністю забезпечення ефекту самоочищення поверхні ФЕМ від снігу, дощу, пилу та бруду, що є критично важливим для безперервної роботи пристрою ранньої діагностики ізоляції впродовж усього зимового періоду без обслуговування. Незважаючи на те, що вертикальне розташування панелі зменшує загальну кількість сонячного випромінювання, яке на неї потрапляє, особливо в умовах низького положення сонця на небосхилі взимку, переваги у вигляді підвищеної надійності, зниження ризику втрати генерації через накопичення

снігу та відсутності потреби у додатковому очищенні є визначальними для реальних умов експлуатації.

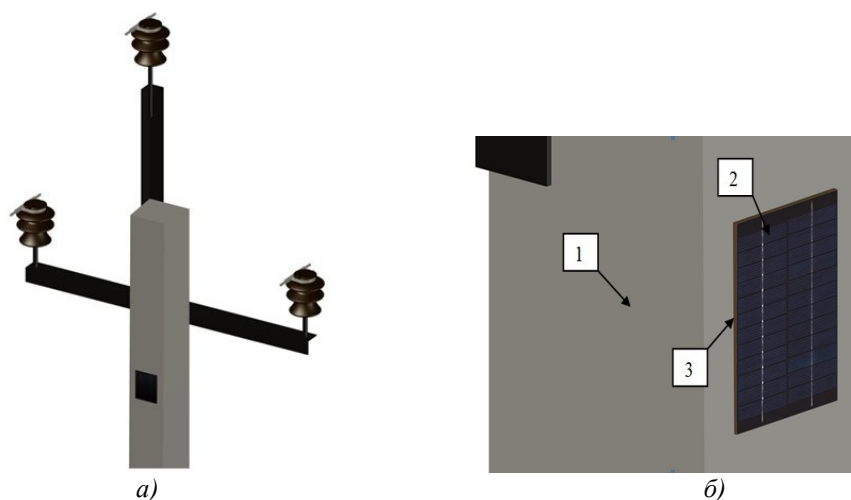
Дифузна складова інсоляції, що падає на ФЕМ за умов вертикального його встановлення може бути розрахована за формулою:

$$H_{Dt} = H_n \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2}, \quad (1)$$

де H_n – нормальна інсоляція, β – кут нахилу модуля.

В розрахунках можна не враховувати вплив температури на ККД ФЕМ через те, що з кінця листопада по кінець січня на півночі України не буває температур, за яких ККД суттєво знижується. Також можна знехтувати зменшенням ККД модуля через зміщення спектру сонячного світла із-за розсіювання.

Для живлення пристроїв ранньої діагностики ізоляції доцільно вибирати ФЕМ з номінальною напругою більшою ніж напруга живлення основних його компонентів. Це обумовлено більш ефективною роботою знижуючих DC-DC перетворювачів, порівняно з підвищуючими DC-DC перетворювачами.



1 – опора, 2 – ФЕМ, 3 – пристрій ранньої діагностики ізоляції ПЛ

Рис. 2 – Розташування пристрою на опорі (а) та його зовнішній вигляд (б)

Для тестування реальної виробітки електроенергії використано ФЕМ китайського виробника з габаритами 136x110 мм з номінальною напругою 12 В (рис. 3). Окрім вибраного модуля тестувалися також модулі з номінальними напругами 6, 9, 18 В та діапазоном потужності 0,5-3 Вт, але такі модулі є гіршими за вибраний для тестування через меншу виробітку енергії (для ФЕМ на 6 та 9 В) та погану роботу при низькій освітленості (для ФЕМ на 18 В).

Еквівалентну освітленість, що відповідає інсоляції, яка падає на поверхню ФЕМ, можна обчислити за формулою [17]:

$$E_{lx} = E_{w/m^2} \cdot 683 \cdot \eta, \quad (2)$$

де E_{lx} – еквівалентна освітленість, лк, E_{w/m^2} – інсоляція, Вт/м², 683 – світловий еквівалент потужності (лм/Вт) для довжини хвилі 555 нм, η – коефіцієнт спектральної відповідності для сонячного світла, дорівнює 0,15 в.о.

Розраховані величини еквівалентної освітленості, що відповідають фактичній інсоляції на ФЕМ у найгірші дні зимового періоду за останні 5 років, нормовані до довжини світлового дня, зведені до табл. 2.

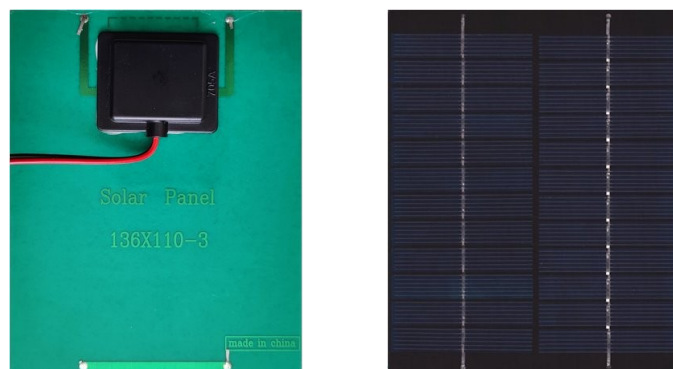
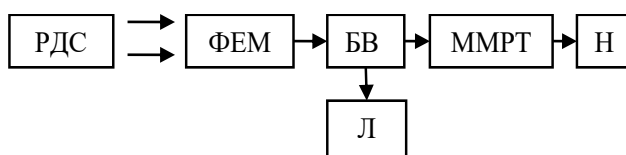


Рис. 3 – Зовнішній вигляд вибраного для тестування ФЕМ

Таблиця 2 – Мінімальні розрахункові значення інсоляції та відповідної освітленості за останні 5 років для м. Чернівці

Назва параметра	Значення параметрів, які отримані для найгіршого за освітленістю дня року				
	20.11.2020	13.12.2021	17.01.2022	09.01.2023	21.11.2024
Сумарна інсоляція на ФЕМ, кВт·год/м ² ·день	0,08	0,085	0,11	0,075	0,09
Довжина дня, год:хв	8:43	7:56	8:21	8:04	8:40
Освітленість, лк	940	1098	1350	952	1063

Для визначення реального об'єму згенерованої електроенергії було проведено експеримент (рис. 4).



РДС – регульоване джерело світла; ФЕМ – фотоелектричний модуль; БВ – блок вимірювання; ММРТ – перетворювач з відстеженням точки максимальної потужності; Н – навантаження; Л – логер

Рис. 4 – Структурна схема експериментальної установки

За допомогою експериментальної установки створено освітленість для ФЕМ, яка дорівнює найгіршому результату згідно табл. 2 (940 лк) і виміряно потужність, яку генерує модуль. Для того щоб відібрати від ФЕМ найбільшу потужність за вказаного рівня освітленості використано МТТР-контролер BQ25173 від Texas Instruments [18-20].

За зазначених умов ФЕМ, що тестується видавав потужність 53,5 мВт (8,56 В та 6,25 мА), що у 3,7 рази більше ніж варіант живлення пристрою індуктивним відбором потужності від ОЗЗ [21]. Розраховане значення енергії становить: 0,467 Вт·год/день, що є суттєвим значенням для живлення таких пристроїв.

Оскільки виміряна потужність досягається на напрузі 8,56 В, що є вищим за типову напругу живлення мікроконтролерів (3,3 В) то для живлення

останніх доцільно використовувати понижуючі DC-DC перетворювачі.

Враховуючи сучасний розвиток напівпровідникової техніки і малі струми споживання мікроконтролерів з аналогово-цифровими перетворювачами та високий коефіцієнт корисної дії понижуючих DC-DC перетворювачів даної кількості енергії буде достатньо навіть для епізодичного використання 2G/3G зв'язку для передавання інформації про утворення дефекту на штировій ізоляції ПЛ 6-10 кВ. Якщо такої кількості енергії не буде достатньо, то можна або збільшити площу ФЕМ або запровадити програмне керування функціями приладу і вмикати їх за розкладом. У випадку виникнення ОЗЗ можна реалізувати аварійне відправлення SMS-повідомлення.

Висновки

Показано можливість використання малих ФЕМ (1-3 Вт) в якості автономного джерела живлення пристрою ранньої діагностики ізоляції ПЛ 6–10 кВ. Проведений аналіз показав, що навіть за умов мінімальної зимової інсоляції можливе постійне і стабільне забезпечення енергоживлення мікропроцесорної системи. У роботі враховано особливості розміщення ФЕМ на опорах повітряних ліній задля зменшення затінення та для збільшення самоочищення від снігу та забруднень.

Запропоноване технічне рішення є перспективним для практичної реалізації завдяки дешевизні, великому терміну служби, простоті монтажу, енергонезалежності та мінімальному втручанню в існуючу інфраструктуру електропередачі.

Визначено вимоги до потужності ФЕМ та ємності накопичувача енергії для забезпечення безперервної роботи пристрою в зимових умовах.

Список літератури

1. Bupasiri R. et al. Optimal electric power distribution system reliability indices using binary programming. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*. 2003. P. 556-561. doi:10.1109/RAMS.2003.1182049.
2. Maher M. A. Al-Maghalseh. Evaluating the Reliability worth Indices of Electrical Medium Voltage Network: Case Study. *Procedia Computer Science*. 2018. Vol.130. P. 744-752. doi:10.1016/j.procs.2018.04.129.
3. Farughian A., Kumpulainen L., Kauhaniemi K. Review of methodologies for earth fault indication and location in compensated and unearthed MV distribution networks. *Electric Power Systems Research*. 2018. Vol.154. P. 373-380. doi:10.1016/j.epsr.2017.09.006.
4. Ткач В. І. Вплив однофазних замикань на землю на експлуатаційні показники надійності повітряних ліній 6-10 кВ ПАТ «Чернігівобленерго». *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. №1. С.120-126. doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.
5. Зубко В. М., Коробка В. О., Мірошник О. В. Ефективність моніторингу замикань в мережах з ізольованою нейтраллю. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка*, 2010. Вип. 102. С.21-23.
6. Ghasemi H. et al. Equipment failure rate in electric power distribution networks: An overview of concepts, estimation, and modeling methods. *Engineering Failure Analysis*. 2023. Vol. 145. 107034. doi:10.1016/j.engfailanal.2022.107034.
7. Квицинський А. О., Сантоцький В. Г. Аналіз доцільності заземлення нейтралі через високоомний резистор в мережах з повітряними лініями на залізобетонних опорах і струмами замикання на землю до 10 А. *Електричні мережі та системи*. 2016. № 4-5. С.27-32.
8. Безручко В. та ін. Використання GSM технологій при ідентифікації місць однофазних замикань на землю в електричних мережах з ізольованою нейтраллю зі штирьовою ізоляцією. *Технічна електродинаміка*. 2018. №5. С.96-99. doi: 10.15407/techned2018.05.096.
9. Bezruchko V. et al. Integration of New Single-Phase-to-Ground Faults Detection Devices into Existing SmartGrid Systems. *IEEE 6th International Conference on Energy Smart System*. Kyiv, Ukraine. 2019. P. 84-87. doi: 10.1109/ESS.2019.8764237.
10. Patero Judelyn. Electromagnetic Induction: Unraveling Faraday's Laws and their applications in generators and transformers. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*. 2023. P. 814-819. doi:10.48175/IJARSCT-12376.
11. Bezruchko V. et al. Installation of Sectionalizers in a Radial Distribution Networks to Create an Emergency Islanded Network Powered by Distributed Generators During Outages. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System*. Kremenchuk, Ukraine. 2023. P. 1-4. doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402548.
12. Буйний Р. та ін. Визначення величини ємності системи провід-ізолятор-шпир в повітряних лініях напругою 6-10 кВ для оцінки можливості ранньої діагностики стану ізоляції. *Технічна електродинаміка*. 2024. № 6. С.77-80. doi:10.15407/techned2024.06.077.
13. Fedak W. et al. The Concept of Autonomous Power Supply System Fed with Renewable Energy Sources. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2017. 5(4). P. 579-589. doi:10.13044/j.sdewes.d5.0160.
14. Гасвський О. Ю. *Фотоенергетика. Частина I. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі*. Київ. КПІ ім. І. Сікорського, 2023. 150 с.
15. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата звернення: 17.05.2025).
16. Photovoltaic Geographical Information System. URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#api_5.3.
17. CIE Publications - Premium Source for Knowledge on Light and Lighting, Colorimetry. 3rd edition. URL: <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition> (дата звернення: 17.05.2025).
18. Fast-charging a supercapacitor from energy harvesters. URL: <https://www.edn.com/fast-charging-a-supercapacitor-from-energy-harvesters/> (дата звернення: 17.05.2025).
19. Guo Kunli & Dong Yan & Fu Jianzhe. Charging Strategy of Supercapacitor in Photovoltaic Power Generation System. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1449. P. 012014. doi: 10.1088/1742-6596/1449/1/012014.
20. Texas Instruments Incorporated: Application Note. How to Quickly and Safely Charge Supercapacitors. URL: <https://www.ti.com/lit/zip/sla664> (дата звернення: 17.05.2025).
21. Ткач В. І. Система ідентифікації місць однофазних замикань на землю у повітряних електричних мережах з ізольованою нейтраллю: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Ткач Володимир Іванович; Нац. ун-т "Чернігівська політехніка". Чернігів, 2021. 21 с.

References (transliterated)

1. Bupasiri R. et al. Optimal electric power distribution system reliability indices using binary programming. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2003, pp. 556-561, doi:10.1109/RAMS.2003.1182049.
2. Maher M. A. Al-Maghalseh. Evaluating the Reliability worth Indices of Electrical Medium Voltage Network: Case Study. *Procedia Computer Science*, 2018, Vol.130, pp.744-752, doi:10.1016/j.procs.2018.04.129.
3. Farughian A., Kumpulainen L., Kauhaniemi K. Review of methodologies for earth fault indication and location in compensated and unearthed MV distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 2018, Vol.154, pp. 373-380, doi:10.1016/j.epsr.2017.09.006.
4. Tkach V. Vplyv odnofaznykh zamykan na zemliu na ekspluatatsiini pokaznyky nadiinosti povitrianykh liniy 6-10 kV PAT «Chernihivoblenerho» [The effect of single-line-to-ground faults on the operational reliability indicators of overhead lines 6-10 kV PJSC «Chernihivoblenerho»]. *Visnyk NTU «KhPI», Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh [Bulletin of the NTU "KhPI". Series: New Solutions in Modern Technology]*, 2019, 1, pp.120-126, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.14.
5. Zubko V. M., Korobka V. O., Miroshnyk O. V. Efektyvnist monitorynhu zamykan v mrezhakh z izolovanoiui neutralliu [Efficiency of fault monitoring in networks with isolated neutral]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka [Bulletin of the Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture]*, 2010, Vol.102, pp. 21–23.
6. Ghasemi H. et al. Equipment failure rate in electric power distribution networks: An overview of concepts, estimation,

- and modeling methods. *Engineering Failure Analysis*, 2023, Vol. 145, pp. 107034, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.107034.
7. Kvytsynskyi A. O., Santotskyi V. H. Analiz dotsilnosti zazemlennia neitrali cherez vysokoomnyi rezystor v merezhakh z povitrianyimi liniiami na zalizobetonnykh oporakh i strumamy zamykannia na zemliu do 10 A [Analysis of the feasibility of grounding the neutral through a high-resistance resistor in networks with overhead lines on reinforced concrete poles and ground fault currents up to 10 A]. *Elektrychni merezhi ta systemy [Electric Networks and Systems]*, 2016, No. 4–5, pp. 27–32.
 8. Bezhruchko V. et al. Vykorystannia GSM tekhnolohii pry identyfikatsii mistv odnofaznykh zamykan na zemliu v elektrychnykh merezhakh z izolovanoi neitraliui zi shtyrovoi izoliatsiiei [Use of GSM technologies for identifying locations of single-phase ground faults in electric networks with isolated neutral and pin-type insulation]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical Electrodynamics]*, 2018, No.5, pp.96–99, doi:10.15407/techned2018.05.096.
 9. Bezhruchko V. et al. Integration of New Single-Phase-to-Ground Faults Detection Devices into Existing SmartGrid Systems. *IEEE 6th International Conference on Energy Smart System*. Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 84–87, doi: 10.1109/ESS.2019.8764237.
 10. Paterno Judelyn. Electromagnetic Induction: Unraveling Faraday's Laws and their applications in generators and transformers. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*, 2023, pp. 814–819, doi:10.48175/IJARST-12376.
 11. Bezhruchko V. et al. Installation of Sectionalizers in a Radial Distribution Networks to Create an Emergency Islanded Network Powered by Distributed Generators During Outages. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System*. Kremenichuk, Ukraine, 2023, pp. 1–4, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402548.
 12. Buynyi R. et al. Vyznachennia velychyny yemnosti systemy provid-izolator-shtyr v povitrianykh liniakh napruhoiu 6–10 kV dlia otsinky mozhlyvosti rannoï diahnostryky stanu izoliatsii [Determination of the capacitance of the conductor–insulator–pin system in 6–10 kV overhead lines to assess the possibility of early insulation condition diagnostics]. *Tekhnichna elektrodynamika [Technical Electrodynamics]*, 2024, 6, pp. 77–80, doi:10.15407/techned2024.06.077.
 13. Fedak W. et al. The Concept of Autonomous Power Supply System Fed with Renewable Energy Sources. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 2017, 5(4), pp. 579–589, doi:10.13044/j.sdewes.d5.0160.
 14. Haievskyi O. Yu. Fotoenerhetyka. Chastyna I. Soniachna radiatsiia i fotoelektrychni moduli [Photovoltaics. Part I. Solar Radiation and Photovoltaic Modules]. Kyiv, Ihor Sikorskyi KPI, 150p.
 15. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 17.05.2025)
 16. Photovoltaic Geographical Information System. Available at: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#api_5.3 (accessed 17.05.2025).
 17. CIE. Colorimetry. 3rd edition. CIE Publications – Premium Source for Knowledge on Light and Lighting. Available at: <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition> (accessed 17.05.2025).
 18. Fast-charging a supercapacitor from energy harvesters. Available at: <https://www.edn.com/fast-charging-a-supercapacitor-from-energy-harvesters/> (accessed 17.05.2025).
 19. Guo Kunli & Dong Yan & Fu Jianzhe. Charging Strategy of Supercapacitor in Photovoltaic Power Generation System. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1449, pp. 012014, doi: 10.1088/1742-6596/1449/1/012014.
 20. Texas Instruments Incorporated: Application Note. How to Quickly and Safely Charge Supercapacitors. Available at: <https://surl.li/gcqhkc> (accessed 17.05.2025).
 21. Tkach V. I. Systema identyfikatsii mistv odnofaznykh zamykan na zemliu u povitrianykh elektrychnykh merezhakh z izolovanoi neitraliui [System for identifying locations of single-phase ground faults in overhead electric networks with isolated neutral]: Author's abstract of the PhD thesis in Technical Sciences: 05.09.03. Chernihiv: National University "Chernihiv Polytechnic". 2021, 21 p.

Відомості про авторів (About authors)

Строгий Андрій Юрійович – аспірант, Національний університет «Чернігівська політехніка»; м. Чернігів, Україна; ORCID: 0000-0002-4481-8803; e-mail: vmexanik1@gmail.com.

Andrii Strohii – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4481-8803; e-mail: vmexanik1@gmail.com.

Буйний Роман Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Чернігівська політехніка», доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій, м. Чернігів, Україна; ORCID: 0000-0002-5432-2924; e-mail: buyniroman@gmail.com.

Roman Buynyi – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering and Information Measuring Technologies, Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5432-2924; e-mail: buyniroman@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Строгий А. Ю., Буйний Р. О. Оцінка можливості використання фотоелектричних модулів для живлення пристроїв ранньої діагностики ізоляції повітряних ліній 6–10 кВ. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 2 (24). С. 29–34. doi:10.20998/2413-4295.2025.02.04.

Please cite this article as:

Strohii A., Buynyi R. Assessment of the feasibility of using photovoltaic modules to power early diagnostics devices for the insulation of 6–10 kV overhead power lines. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 2(24), pp. 29–34, doi:10.20998/2413-4295.2025.02.04.

Надійшла (received) 17.05.2025
Прийнята (accepted) 16.06.2025