

Gorobets N.N., Romanichenko H.N., Kapustian O.Ye.

GRADIENTS OF TENSION VECTORS OF ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS OF RADIATING DIPOLAR HERTZ ON END DISTANCE

The article is devoted to a comprehensive analysis of the spatial structure of the electromagnetic field emitted by a Hertzian dipole, which is traditionally used as a basic model for the study of natural and man-made sources of electromagnetic waves in the long-wavelength range. The relevance of the work is determined by the need for a deeper understanding of the radiation processes in the near and intermediate zones, where the electromagnetic field has a complex amplitude-phase structure and deviates from the asymptotic regularities of the far zone. Based on the classical expressions for the components of the Hertzian dipole field, analytical relations for the gradients of the amplitudes and phases of the electric and magnetic components normalized to the wavelength were obtained. It is shown that all the characteristics of the field — the moduli of the components, the phase difference, the wave impedance, the phase velocities and their gradients — are determined only by the relative distance r/λ . This allows us to establish universal regularities of the change in the structure of the wave process in the vicinity of the dipole. Numerical simulations have been performed, which allow us to trace the behavior of transverse components and their gradients, as well as phase difference gradients in the transition zones. Characteristic boundaries of the near, intermediate, and far zones have been identified, which are consistent with the theoretical results of previous studies. It has been shown that the amplitude gradients in the near zone reach maximum values, sharply decreasing towards the far zone, while the phase characteristics demonstrate complex nonlinear behavior. Special attention has been paid to the analysis of the phase velocities of orthogonal field components. It has been established that the phase velocity of the electric component reaches the speed of light at a certain distance $r/\lambda \approx 0.15$, while in the near region it is lower. The phase velocity of the magnetic component increases as it approaches the source. The results obtained deepen the modern understanding of the physics of electromagnetic waves in non-asymptotic zones and can be used in modeling lightning radiation, high-voltage switching discharges, and other pulsed sources.

Keywords: Electromagnetic field, tension, near and intermediate area of radiation.

Стаття надійшла 10.12.2025 р.

УДК 621.314.69

doi.org/10.31498/2522-9990302025347198

Костенко В. О., Капустян О.Є.

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИГНАЛІЗАЦІЇ ВІД ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

У статті показано, що одним із важливих напрямків розвитку електроенергетичної галузі в Україні є удосконалення та побудова електроенергетичних систем, що забезпечують надійне, енергоефективне та якісне енергопостачання. Однією із складових є система охорони повітряних ліній електропередач високої напруги. Це обумовлено тим, що пошкодження електричних мереж позначається на якості та надійності електропостачання споживачів. Тому важливою є задача швидкого і точного визначення місця пошкодження. Дослідження присвячено розробці системи одержання електроенергії в одиниці ват на кожній опорі лінії електропередачі та оцінці можливості реалізації

Енергетичні системи та обладнання

запропонованої системи електроживлення. Авторами запропоновано спосіб відбору потужності з лінії електропередачі на кожній опорі, який забезпечує виведення енергії з високопотенційної зони в низькопотенційну на рівні одиниць ват. Розроблена структурна схема малопотужного джерела живлення від високовольтної лінії електропередачі 750 кВ. Зроблено приблизний розрахунок запропонованої схеми на основі наявних у даний час матеріалів та елементів. Проведено зразковий розрахунок трансформатора струму з метою оцінки реальності реалізації. Конструктивна реалізація не перевищує 30 кг, малогабаритна і має невисоку вартість. Новизна полягає у вирішенні завдання отримання електроенергії в одиниці ват на кожній опорі лінії електропередачі новим поєднанням відомих елементів, зміною конструкцій ізоляторів та пропозицією промислового випуску нового виду продукції – сонячних батарей у вигляді вакуумних приладів – «аламп». Зроблений приблизний розрахунок дав оцінку реальності реалізації запропонованої системи електроживлення, придатної для встановлення на кожній опорі лінії електропередачі, та залишив можливість оптимізації кожного з елементів запропонованої системи.

Ключові слова: Лінії електропередач, надвисока напруга, опора, трансформатор струму, оптичний канал, ізолятор, фотоелектричний перетворювач, джерело живлення.

Постановка проблеми. Повітряні лінії електропередачі (ЛЕП) призначені для передачі та розподілу електроенергії по електричних дротах, протягнутих на певній висоті над землею. ЛЕП класифікуються за шкалою напруги від 0,4 до 1150 кВ та діляться на кілька груп. Лінії напругою вище 500 кВ використовуються для з'єднання кількох окремих енергосистем. Протяжність таких ЛЕП може становити 1200-2000 кілометрів. Опори ЛЕП служать основним конструктивним елементом лінії електропередач [1].

По телебаченню та в газетах періодично з'являються повідомлення про вандалські руйнування металевих опор високовольтних ЛЕП. Падіння опор ЛЕП 500, 750, 1500 кВ паралізує систему енергопостачання споживачів кількох областей та спричиняє значні економічні збитки на державному рівні [2, 3]. Забезпечення ефективного та безпечного функціонування електроенергетичного комплексу України значною мірою залежить від стабільності роботи його окремих компонентів, які об'єднані спільним режимом передавання електричної енергії [4]. ЛЕП є критично важливим елементом енергетичної інфраструктури, забезпечуючи транспортування електроенергії на великі відстані [5].

Пошкодження ЛЕП призводить до збою у роботі електроенергетичних мереж, що позначається на електропостачанні споживачів [6], тому охорона ЛЕП від пошкоджень є важливою державною справою. Забезпечення підвищення надійності електропостачання споживачів та ефективності відновлення електропостачання в умовах військового стану та повоєнного часу залежить від наявності засобів контролю фактичного технічного стану елементів розподільних електричних мереж ОЕС України [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експлуатація та охорона ЛЕП унормовані стандартами [8] та постановами уряду [9]. Для боротьби з пошкодженням може бути реалізована система моніторингу цілісності опор ЛЕП, яка має передбачити низку відомих будівельних та організаційно-технічних заходів.

По-перше, майданчики навколо опор можна захистити та повісити попереджувальні знаки.

По-друге, всередині кожного майданчика, що охороняється, на відстані 0,5 м від паркану по периметру можна встановити оптичну охоронну сигналізацію за допомогою лазерної указки і трьох прихованих дзеркал [10]. Сигнал про переривання променя надходитиме до блоку управління охоронної системи.

По-третє, нижні три яруси опори можуть бути обплетені волоконно-оптичним кабелем з металевими тросами, що армують на розтягнення. Для цього до металевих куточків опори

Енергетичні системи та обладнання

приварюються гайки через отвори яких пропускається світловод. Цілісність світловоду контролює той самий блок управління.

По-четверте, на кожній опорі на висоті 15-20 м може бути встановлений тепловий датчик із температурним порогом спрацьовування, наприклад, 500 °С. При підпалі газового пальника або використанні пристроїв абразивного різання металу (при різанні металу з'являться іскри) датчик видасть відповідний сигнал у блок управління.

По-п'яте, у корпусі блоку керування поруч із тепловим датчиком можна встановити відеокамеру недорогого охоронного пристрою.

Блок управління сигналом будь-якої із запропонованих систем контролю (периметра і температури) сповіщає центральний пульт охорони і передає зображення майданчика під опорою.

За допомогою відеокамер може бути організований самостійний канал контролю цілісності кожної опори ЛЕП шляхом періодичного моніторингу майданчиків, занесення їх зображень у пам'ять (базу даних), порівняння цих зображень в автоматичному режимі з інтервалом, наприклад, 15 хв. Критерієм для вироблення сигналу тривоги може бути зміна світлового потоку та ряд інших параметрів.

Передавання сигналу тривоги та зображення можна здійснити за допомогою стільникового зв'язку.

Постановка завдання. Однак вузьким місцем у реалізації подібної охоронної системи є проблема організації електроживлення електронної апаратури, яка, за сучасними технічними характеристиками, вимагає наявності на кожній опорі напруги порядку 5 В при струмі споживання в 750-850 мА, тобто, потужності ≈ 5 Вт.

Раніше питання про охорону ліній електропередач від пошкоджень, наприклад, літаками, вирішувалося досить просто: застосовувалося маркувальне забарвлення опор (працювало в денний час) та сигнальне освітлення (у нічний час) [11]. При цьому електропостачання сигнального освітлення проводилося місцевою електромережею. Якщо поблизу від огорожуваних опор не було джерела низької напруги, то для живлення світлової сигналізації використовувався ємнісний відбір потужності: паралельно проводам діючої лінії від опори до опори підвішувався провід-антена або в якості антени використовувався грозозахисний трос, який ізолювався від опор і забезпечувався іскровим проміжком.

Однак такий спосіб організації електроживлення вимагав застосування трансформаторів напруги типу НОМ-6 НОМ-10 або силових автоблокувальних трансформаторів типу ОМ-1,2/6 потужністю 12 кВт. А це дуже габаритні та важкі конструкції, які необхідно було піднімати краном та встановлювати на опорі лінії електропередач. У такий спосіб можна було забезпечити електроживленням апаратуру на одній або двох опорах, але не всієї лінії.

Інший спосіб отримання низької напруги від ЛЕП, який застосовується на віддалених електричних підстанціях, називається відбором конденсаторної потужності. Наприклад, на підстанціях напругою 500 кВ вага конденсаторів на одній опорі досягає 3 тонн, а висота колони, складеної з конденсаторів, перевищує 4,5 м. Опора ставиться на спеціальний фундамент [12]. Використовувати такий спосіб живлення для охоронної системи важко та економічно невигідно.

Ряд фірм пропонує обладнання для автономного живлення світлової сигналізації на сонячних батареях, придатне для встановлення на опорах ЛЕП. Так, ТОВ «НВФ «Промвітєх» (Україна) пропонує фотоелектричну систему живлення загороджувальних вогнів «СФЕ-24» [13]. Подібну продукцію пропонують і інші фірми [14-16]. Крім того, опубліковані патенти на автономні системи електроживлення за допомогою вітроелектрогенераторів [17] та/або інших відновлювальних джерел енергії [18]. У роботі [18] показано комплексну модель гібридної вітро-сонячної системи електропостачання окремого об'єкта, в якій використовуються два взаємодоповнюючі канали генерування електричної енергії від поновлюваних джерел енергії

Енергетичні системи та обладнання

вітру та сонця, що реалізуються за допомогою, відповідно, вітроелектроустановки з вертикальною віссю обертання та сонячної батареї, акумуляторну батарею та систему енергетичного менеджменту, реалізовану на контролері. Однак, подібні системи мають два істотні недоліки. По-перше, до їхнього складу обов'язково входить акумулятор, який погано переносить низькі температури. По-друге, поверхні таких систем досить швидко забруднюються внаслідок, відкладення пилу, пташиного посліду, сольових плям, **кїптяви**, обмерзання, що може значно погіршити ефективність сонячних фотоелектричних панелей [20, 21]. Це призводить до необхідності підніматися на опори для їх очищення, або застосовують системи крапельного поливу, дрони, що чистять і роботизовані рейкові платформи. Ці недоліки знижують привабливість таких систем електроживлення.

Близьке рішення до поставленої задачі можна побачити у технології вимірювання струмів у ЛЕП за допомогою оптоелектронних трансформаторів струму [22]. Тут інформація про величину струму лінії передається із зони високого потенціалу в зону низького потенціалу за допомогою світлового потоку по оптичному волокну. Але що заважає сформулювати світловий потік у тисячі разів потужніший і за його допомогою зробити відбір потужності від високовольтної лінії в одиниці ват.

Мета досліджень. Розробка системи одержання електроенергії в одиниці ват на кожній опорі ЛЕП та оцінка можливості реалізації запропонованої системи електроживлення.

Основний матеріал дослідження. Запропонована наступна схема малопотужного джерела живлення від високовольтної ЛЕП (рис. 1).

Зробимо приблизний розрахунок запропонованої схеми на основі наявних у даний час матеріалів та елементів, тобто перевіримо, наскільки реальною є така можливість.

Нехай для нормальної роботи апаратури охоронної системи необхідно забезпечити напругу $U = 5\text{В}$, струм $I = 1\text{А}$, тобто потужність $P = 5\text{Вт}$.

Якщо взяти монокристалічний модуль EuroSolar, який при площі поверхні $39,6 \times 28,9 = 1144,4\text{ см}^2$ забезпечує 10 Вт потужності, то на половинну потужність достатньо площі $20 \times 30\text{ см}^2$. Це за серійної технології, що забезпечує коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення світлового потоку в електричну енергію в 14 %. Максимальний теоретичний ККД сонячного елемента становить 25,4 % [23]. Але навіть при ККД в 25 % площа поверхні, що сприймає, може скоротитися до кола радіусом 10 см.

При таких відносно невеликих габаритах може бути випущений спеціальний елемент перетворення світлового потоку в електричний струм у вигляді "антиламп" – аламп.

Така алампа є вакуумним приладом, який захищений від зовнішнього середовища і не вимагає періодичного очищення поверхні сонячних елементів від пилу, льоду або продуктів життєдіяльності птахів (рис. 2).

Щоб алампа забезпечувала задану напругу і струм на виході, її вхід повинен бути поданий світловий потік, відповідний стандарту АМ 1,5, тобто потік фотонів у спектральному діапазоні 0,28...2,5 мкм при рівні освітленості 1000 Вт/м^2 та температурі $25\text{ }^\circ\text{C}$ [24]. Площа фоточутливої плями в алампі складе 314 см^2 і вимагатиме потужності світлового потоку 31,4 Вт. Природно, вхідний отвір алампи не може бути радіусом 15 см, отже промінь світла повинен бути попередньо сфокусований. Геометричні параметри променя будуть визначені геометричними розмірами ізоляторів 4 та оптичного каналу 5 (рис. 1).

Енергетичні системи та обладнання

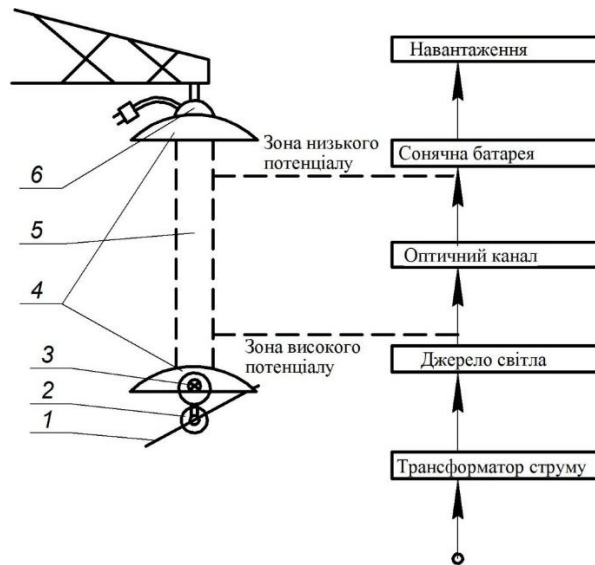


Рисунок 1 – Структурна схема малопотужного джерела живлення від високовольтної ЛЕП 750 кВ: 1 – лінійний струмопровідний провід ЛЕП; 2 – трансформатор струму; 3 – джерело світла; 4 – ізолятор; 5 – оптичний канал; 6 – перетворювач світлового потоку на електричний постійний струм (сонячна батарея)

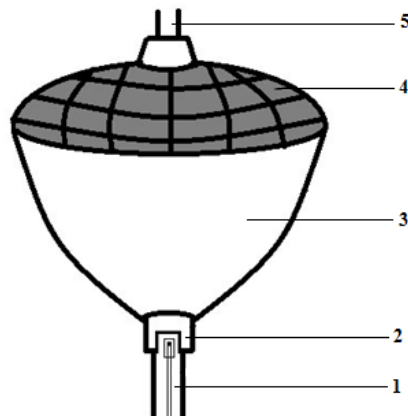


Рисунок 2 – Перетворювач світлового потоку на електричний струм (алампа): 1 – оптичний канал; 2 – фокусуюча система; 3 – скляна колба з вакуумним середовищем у середині; 4 – фотоелектричний перетворювач; 5 – електричний роз'єм для підключення навантаження

Для проходження світлового променя джерела світла до алампи може бути організований транспортний канал відкритого оптичного типу, довжина якого визначається довжиною гірлянди ізоляторів (для ЛЕП 750 кВ це 6 метрів). Найцікавіше пропустити такий оптичний канал усередині гірлянди фарфорових або скляних високовольтних ізоляторів (рис. 3). Оскільки гірлянда повинна зберегти свої діелектричні властивості і здатність згинатися під дією сильних вітрів, то можливі три варіанти. Для умов сильних морозів внутрішні поверхні центрального отвору можуть бути білими, покритими глазур'ю, як і весь ізолятор. В умовах середніх широт через центральні отвори може бути пропущена поліпропіленова труба, запаяна з двох сторін та заповнена осушеною азотно-повітряною сумішшю при нормальному атмосферному тиску [25].

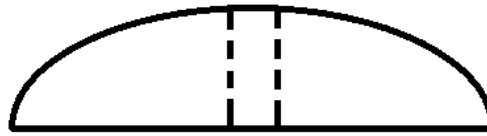


Рисунок 3 – Високовольтний ізолятор із центральним отвором для транспортного каналу відкритого оптичного типу.

Третій варіант – через всю гірлянду можна пропустити пучок світловодів, які мають широку смугу пропускання і низькі втрати. На жаль, світловоди з відповідними параметрами в даний час промисловість не випускає, а світловоди, що пропонуються для освітлення басейнів під водою, мають недостатній ККД.

Як джерело світла можна підібрати лампу-фару. Вибір досить широкий: за довговічністю, за конструкцією і т.д.

Може бути випущено спеціальну лампу-фару для систем охорони опор ЛЕП. Візьмемо, наприклад, лампу-фару OSRAM 41830 SSP PAR36, 6V, 36W [26], для якої можна підібрати оправу з дуже малим кутом розкриття променя (VNSP). Залишається подати на таку лампу-фару електроживлення: $E = 6 \text{ В}$, $I = 6 \text{ А}$.

Таким чином, відбулася розв'язка низькопотенційної області від високопотенційної. Тепер, перебуваючи в середині високопотенційної області, розв'яжемо задачу подачі живлення на електролампу за допомогою трансформатора струму (ТС) (рис. 4) [22, 27].

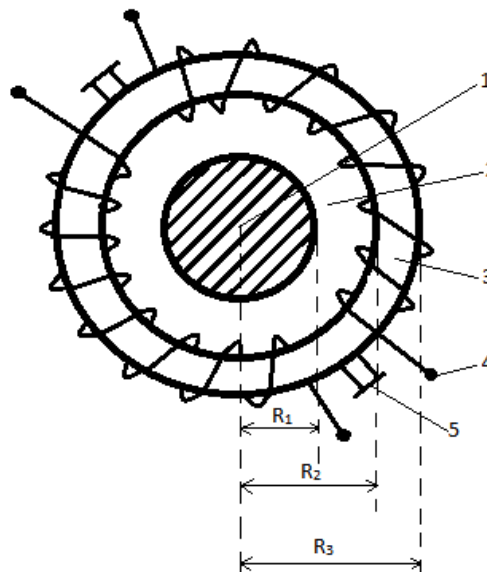


Рисунок 4 – Роз'ємний трансформатор струму (ТС): 1 – лінійний струмопровідний провід ЛЕП; 2 – прохідний ізолятор; 3 – магнітопровід із трансформаторної сталі 3411; 4 – вторинна обмотка; 5 – елементи кріплення двох половинок магнітопроводу

Зробимо зразковий розрахунок трансформатора струму з метою оцінки реальності реалізації. Лінійний провід ЛЕП марки АС діаметром 50 мм ($R_1 = 25 \text{ мм}$) 1 (рис. 4) є первинною обмоткою ТС ($W_1 = 1$ виток). Нехай вторинна обмотка 4 (рис. 4) намотана на магнітопровід 3 (рис. 4) з такими геометричними параметрами: радіус внутрішньої поверхні $R_2 = 45 \text{ мм}$, радіус зовнішньої поверхні $R_3 = 95 \text{ мм}$; товщиною сердечника поки що задаватися не будемо. За статистикою в ЛЕП 750 кВ лінійний номінальний струм $I_{1H} = 1300 \text{ А}$, але $I_{\max} = 3500 \text{ А}$, тому згідно з рекомендаціями [10] вибираємо $I_1 = 4000 \text{ А}$. Струм у вторинній обмотці дорівнює $I_2 = 6 \text{ А}$ при напрузі $E_2 = 6 \text{ В}$, "землі", тобто увесь

Енергетичні системи та обладнання

перебуває в зоні високого потенціалу, то вимоги до ізоляції між первинною та вторинною обмотками ТС не високі.

Коефіцієнт трансформації:

$$n = \frac{I_1}{I_2} = \frac{4000}{6} = 667.$$

Отже, вторинна обмотка містить $W_2 = 667$ витків.

Довжина середньої лінії магнітопроводу:

$$l_{\text{ср}} = 2\pi \left(R_2 + \frac{R_3 - R_2}{2} \right) = 0,44 \text{ м.}$$

Напруженість магнітного поля в середині осердя:

$$H = \frac{I_1 \cdot W_1}{l_{\text{ср}}} = \frac{4000 \cdot 1}{0,44} = 9091 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Це відповідає намагніченості (для сталі 3411 найгіршого сорту) $B = 1,6 \text{ Тл}$ [27].

При визначенні середньої лінії магнітопроводу 3 (рис. 4) використовували його ширину $(R_3 - R_2)$. А для визначення площі перерізу магнітопроводу скористаємося відомою формулою:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot S \cdot w_2 \cdot B_{\text{max}},$$

звідки:

$$S = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot B_{\text{max}}}.$$

Знайдемо площу поперечного перерізу магнітопроводу при $l_{\text{ср}} = 0,785 \text{ м}$, матеріал сердечника – сталі 3411 і описаних вище початкових умовах:

$$S = \frac{6}{4,44 \cdot 50 \cdot 667 \cdot 1,6} = 0,253 \text{ см}^2.$$

Якщо перетин магнітопроводу взяти квадратним, то сторона квадрата для зазначеного перерізу дорівнює $a = 0,5 \text{ см}$. Така мала величина говорить про те, що для магнітопроводу можна застосувати матеріал з нижчою магнітною проникністю, тоді перетин магнітопроводу буде більшим.

Зазор між лінійним проводом 1 та магнітопроводом 3 (рис. 4) складе

$$95 - 2,5 - 25 = 67,5 \text{ мм};$$

що дозволяє вільно розмістити як ізоляцію, так і провід вторинної обмотки.

Таким чином, ТС, який складається з 2-х половинок кільця сталі 3411 квадратного перерізу зі стороною в 5 мм радіусом в

$$45 + (95 - 45)/2 = 95 \text{ мм}$$

Енергетичні системи та обладнання

і вторинною обмоткою з 667 витками мідного дроту діаметром 2,2 мм [12], буде відбирати від ЛЕП потужність

$$1,25 \times 36 = 45 \text{ Вт}$$

та забезпечувати нормальну роботу лампи-фари, потужністю 36 Вт. Визначимо масу ТС. Маса трансформаторного заліза складе

$$0,785 \cdot 10^2 \text{ см} \times 0,253 \text{ см}^2 \times 7,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 156,9 \text{ г} \approx 200 \text{ г.}$$

Визначимо масу міді дроту. Якщо довжина сторони квадратного перерізу магнітопроводу дорівнює 0,5 см, то периметр дорівнює 2 см. Тоді довжина середнього витка багатопровідної вторинної обмотки ТТ становитиме приблизно 5 см. Отже, маса міді вторинної обмотки ТТ становитиме:

$$3,14 \cdot 0,11^2 \text{ см}^2 \cdot (5 \text{ см} \times 667) \cdot 8,96 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1135 \text{ г.}$$

З урахуванням ізоляції та кріплення двох половинок магнітопроводу маса ТС не перевищить 3 кг.

Отримані масогабаритні параметри ТС можна порівняти з параметрами найближчого аналога - стандартного вимірювального ТС марки Т-0,66 [28], який при первинному номінальному струмі 1000 А і вторинному номінальному струмі 5 А має масу не більше 1,3 кг. Очевидно, що вторинна обмотка цього вимірювального трансформатора виконана тоншим мідним дротом.

Сумарна маса всіх елементів запропонованої системи електроживлення виявиться 20÷30 кг.

ВИСНОВКИ

Зроблений приблизний розрахунок дав оцінку реальності реалізації запропонованої системи електроживлення, придатної для встановлення на кожній опорі ЛЕП, та залишив можливість оптимізації кожного з елементів запропонованої системи. Відбираючи від ЛЕП потужність 45 Вт, можна отримати 5 Вт на навантаженні, тобто, забезпечити електроживлення охоронної сигналізації кожної опори ЛЕП. При цьому досягається суттєве зниження ваги системи живлення щодо системи ємнісного відбору потужності, а в порівнянні з відкритою сонячною системою живлення дана пропозиція вигідно відрізняється відсутністю акумуляторів, незалежністю від погоди, чистоти поверхні сонячних елементів та їх орієнтації щодо сонця.

Список використаних джерел

1. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи. Підручник. / М. С. Сегеда — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. — 488 с.
2. Падіння опор ЛЕП призвело до відімкнення українських атомних станцій. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: «Укренерго» <https://zaxid.net/news/> https://zaxid.net/padinnya_opor_lep_prizvelo_do_vidimknennya_ukrayinskih_atomnih_stantsiy_u

krenergo_n1373872 (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

3. Подрыв опор ЛЭП привел к аварийной разгрузке двух АЭС [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ghall.com.ua/2015/11/23/podryiv-opor-lep-pryvel-k-avaryjno-j-razhruzke-dvuh-aes-vyde0/> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

4. *Зайцев Є.О.* Засіб ідентифікації пошкодження лінії електропередавання в розподільчих електричних мережах / *Є.О. Зайцев І.В. Блінов В.О. Березниченко А.С. Закусило* // Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022) - Збірник наукових праць 16-ої міжнародної конференції КУСС-2022 (Вінниця, 15-17 листопада 2022 року). <https://doi.org/10.31649/mccs2022.21>

5. *Штуць А.* Аналіз факторів ризику аварій ліній електропередач обумовлених кліматичними умовами / *А. Штуць, І. Зозуляк, Н. Григоренко* // Вісник Хмельницького національного університету, №3, Т1, 2024 (335). С. 314-325. DOI 10.31891/2307-5732-2024-335-3-42

6. *Поліщук О.Ю.* Визначення аварійних ділянок ліній електропередачі з використанням індикаторів пошкоджень / *О.Ю. Поліщук* // Енергетика: економіка, технології, екологія Спецвипуск – 2014. С. 71-77. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/2d78be45-0d76-4ac6-95a6-4b292e15f76f/content>

7. *Зайцев Є. О.* Засоби ідентифікації аварійних станів в розподільчих мережах ОЕС України / *Є. О. Зайцев, Березниченко В. О. Березниченко, А.П. Щербань* // XXI Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, 17-18 травня 2022 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна С. 265-267. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/db48d325-bd4d-4cbb-bd1f-8118988084a4/content>

8. СОУ-Н ЕЕ 20.502:2007 Повітряні лінії електропередавання напругою 35 кВ і вище. Інструкція з експлуатації [На заміну ГКД 34.20.502-97; чинний від 2007-10-09]. — Вид. офіц. — Київ : Міністерство палива та енергетики України Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2007.

9. Про затвердження правил охорони електричних мереж: Постанова кабінету Міністрів України від 27 грудня 2022 р. № 1455 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1455-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

10. *Бородай В.Д.* Устройство оптической охранной сигнализации. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://radiostorage.net/?area=news/458>. (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

11. *Марфин Н.И.* Охрана линий электропередачи / *Н.И. Марфин* – М.: Энергия, 1968. – 72 с.

12. *Звенигородский И.С.* Конденсаторы связи и отбора мощности / *И.С. Звенигородский* – М.: Энергия, 1969. – 64с.

13. Фотоелектрична система живлення загороджувальних огнів– «СФЕ-24». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://promvitech.com.ua/catalog/sfe/> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

14. Шафа управління та моніторингу загороджувальними вогнями. Модифікація: "ШУ СОМ з АКБ". [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zom.com.ua/ru/produkcija/shchit-upravleniya-ssi.html> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

15. Загороджувальні вогні Муссо з сонячними панелями [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.svaltera.ua/catalog/zagorodzhuvalni_vogni/ (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

16. ШУ СОМ з АКБ, Шафа управління та моніторингу загороджувальними вогнями без моніторингу [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://surl.lu/tocwih> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

17. Вітросонячна електростанція: Патент на корисну модель: МПК F03D 3/00, F03D 11/00, H01L 31/042. / *І.З. Щур, В.І. Климко*; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u201413997, заявл. 26.12.2014; опубл. 06.08.2015.
18. *Герасімов Є. Г.* Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. / *Є. Г. Герасімов, Г. Г. Герасимов*. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.
19. *Щур І. З.* Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта / *І. З. Щур, В. І. Климко* // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. - 2014. - Вип. 2. - С. 92-100. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/emezs_2014_2_14
20. *El-Shobokshy M. S.* Effect of the dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells. / *M. S. El-Shobokshy* // Solar Energy, 1993. - 51(6), 505–511.
21. *Kazem H.A.* Effect of Dust Deposition on the Performance of MultiCrystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements. / *H.A. Kazem, T. Khatib, K. Sopian, F. Buttinger, W. Elmenreich & A.S. Albusaidi* // International Journal of renewable Energy 2013. - Vol.3, No.4, - pp. 850-853. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v3i4.876.g6214>
22. *Дудюк Д. Л.* Електричні вимірювання [Текст] : навч. посіб. / *Д. Л. Дудюк, В.М. Максимів, Р.Я. Оріховський* ; М-во освіти і науки України, Наук.- метод. центр вищ. освіти, Укр. держ. лісотехн. ун-т. 2-е вид., випр. - Львів : Афіша, 2003. - 265 с.
23. Шляхи збільшення ККД сонячних елементів на основі мультикристалічного кремнію [Електронний ресурс] / *Е. Алієв, О. Яновський* // Вісник Львівського університету. Серія фізична. - 2010. - Вип. 45. - С. 187-191. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Phiz_2010_45_26
24. Тестер сонячних установок Solar PV150 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://electrovymir.com.ua/ua/p664373109-tester-solnechnyh-ustanovok.html> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.
25. *Кубарев В.В.* Фурье-спектроскопия водяных паров в 40-метровом оптическом транспортном канале Новосибирского ЛСЭ / *В.В. Кубарев, Н.А. Винокуров, Е.И. Колобанов и др.* // – Научный вестник Новосибирского государственного технического университета, 2012. – № 4. – С. 72-75.
26. Лампа OSRAM 41830 SSP 35 W 6V G53 111мм [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://komlight.com.ua/ua/p195268010-lampa-osram-41830.html> (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.
27. *Соловьёв Д.Б.* Моделирование трансформатора тока с магнитным сердечником/ *Д.Б. Соловьёв* // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2012. - №1. - С. 52 – 58.
28. Трансформатор Т-0.66 1000/5. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.aviokon.lviv.ua/prylady-obliku-kontrolyu-ta-vymiryuvan/vymiryuval-ni-transformatory/>. (дата звернення: 02.12.2025). — Назва з екрана.

Kostenko V. O., Kapustian O.Ye.

POWER SUPPLY OF SIGNALLING FROM OVERHEAD POWER LINES OF EXTRA HIGH VOLTAGE

The article shows that one of the important directions of development of the electric power industry in Ukraine is improvement and construction of electric power systems that provide reliable, energy-efficient and high-quality power supply. One of the components is the protection system of overhead high-voltage power lines. This is due to the fact that damage to electrical networks affects the quality and reliability of power supply to consumers. Therefore, the task of quickly and accurately determining the location of the damage is important. The research is devoted to the development of

a system for obtaining electricity in units of watts on each support of the power transmission line and assessing the feasibility of implementing the proposed power supply system. The authors proposed a method of power selection from the power transmission line on each support, which ensures the removal of energy from the high-potential zone to the low-potential zone at the level of units of watts. A structural diagram of a low-power power source from a 750 kV high-voltage power transmission line has been developed. An approximate calculation of the proposed scheme has been made based on currently available materials and elements. A sample calculation of a current transformer has been carried out in order to assess the reality of implementation. The constructive implementation does not exceed 30 kg, is small in size and has a low cost. The novelty lies in solving the problem of obtaining electricity in units of watts on each power transmission line support by a new combination of known elements, changing the designs of insulators and proposing the industrial production of a new type of product - solar cells in the form of vacuum devices - "alamps". The approximate calculation made gave an assessment of the reality of implementing the proposed power supply system, suitable for installation on each power transmission line support, and left the possibility of optimizing each of the elements of the proposed system.

Keywords: Power line, ultrahigh voltage, ecology, support, current transformer, optical channel, insulator, power source.

Стаття надійшла 10.12.2025р.