

УДК 621.316.99

doi:10.20998/2413-4295.2025.02.18

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД У ВТОРИННИХ КОЛАХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПРИ УДАРІ БЛИСКАВКИ

О. Ю. ГЛЄБОВ, Д. Г. КОЛУШКО, С. С. РУДЕНКО*

НДПКІ «Молнія», НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
*e-mail: serhij_rudenko@ukr.net

АНОТАЦІЯ Показано результати експериментального дослідження рівня електромагнітних завад у вторинних колах вимірювальних трансформаторів напруги та струму при імітації прямого удару блискавки у блискавковододі, що розташовані на території діючої підстанції. Акцентовано увагу на проблематиці перенапруг, які формуються внаслідок розтікання струмів прямого удару блискавки через систему заземлення та прикладаються до ізоляції кабелів вторинних кіл. Показано, що значення напруги у таких умовах можуть в десятки разів перевищувати допустимі норми, встановлені нормативними вимогами, зокрема IEC 61000-2-5, і досягати десятків кіловольт при допустимому рівні 4000 В. Розглянуто метод імітації струму блискавки на діючому енергетичному об'єкті з використанням генератора аперіодичних імпульсів, що дозволяє відтворювати фронт і тривалість імпульсів за параметрами 1,2/50 мкс з амплітудою 1000 В. Проведено апробацію розробленого способу на підстанції класом напруги 330/35/10 кВ для різних конфігурацій струмового кола та положення блискавковододів. Наведено результати вимірювань струму і напруги у вторинних колах з відповідним перерахунком згідно ймовірного струму блискавки. Показано, що найбільш високі напруги прикладаються до кіл, заземлених у головному щиті управління. Отримані результати дозволяють визначити ризики пробою ізоляції при прямому ударі блискавки, а також обґрунтовують доцільність застосування додаткових захисних заходів. Розроблений підхід може бути використаний для подальшого удосконалення методів визначення та способів забезпечення електромагнітної сумісності об'єктів енергетичної інфраструктури, особливо з урахуванням тенденцій до цифровізації та впровадження SmartGrid.

Ключові слова: електромагнітна сумісність; електромагнітні завади; удар блискавки; система заземлення; вимірювальні трансформатори

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE LEVELS IN SECONDARY CIRCUITS OF INSTRUMENT TRANSFORMERS UNDER LIGHTNING STRIKE CONDITIONS

O. GLEBOV, D. KOLIUSHKO, S. RUDENKO*

Research and Design Institute "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The results of an experimental study on the level of electromagnetic interference in the secondary circuits of voltage and current measuring transformers during the simulation of a direct lightning strike to lightning rods located on the territory of an operational substation are presented. Attention is focused on the issue of overvoltages caused by the dissipation of lightning currents through the grounding system and their impact on the insulation of secondary circuit cables. It is shown that the resulting voltages under such conditions may exceed the permissible limits defined by regulatory standards, including IEC 61000-2-5, by several times, reaching tens of kilovolts while the allowable level is 4000 V. A method for simulating lightning current on a live power facility using an aperiodic impulse generator is discussed, which allows the reproduction of pulse front and duration with parameters 1.2/50 μ s at an amplitude of 1000 V. The proposed method was tested at a 330/35/10 kV substation for various current circuit configurations and lightning rod locations. Measurement results of current and voltage in secondary circuits are provided along with recalculated values based on a probable lightning current. It is demonstrated that the highest overvoltages occur in circuits grounded in the main control panel. The obtained results help assess the risk of insulation breakdown due to direct lightning strikes and justify the implementation of additional protective measures. The developed approach can be further applied to improve methods for evaluating and ensuring electromagnetic compatibility of energy infrastructure facilities, particularly in the context of digitalization and SmartGrid deployment.

Keywords: Electromagnetic compatibility; electromagnetic interference; lightning strike; grounding system; instrument transformers

Вступ

Блискавка є природним джерелом потужних електромагнітних завад, тому представляє значну небезпеку для електротехнічного обладнання та мікропроцесорної техніки різних об'єктів та систем. Завади, що створюються блискавкою в електричних колах, викликають відмову та вихід апаратури з ладу або спотворення вхідних сигналів, що може призводити до помилкових спрацювань систем

захисту. Блискавкостійкість об'єктів визначається шляхом реалізації комплексу заходів, що включають в себе: встановлення вражаючих факторів грозових впливів та їх амплітудо-часових характеристик; оцінку ступеня їх взаємодії з типовими електричними колами; визначення рівня перенапруг, що викликані грозовим впливом; виділення критичних до цих впливів елементів, блоків та вузлів; розробку ефективних методів та засобів захисту від

небезпечних перенапруг; випробування об'єкту на блискавкостійкість [1].

Проведення випробувань на прямий та непрямий вплив блискавки шляхом відтворення таких вражаючих факторів, як струми блискавки та електромагнітні поля, потребує великих матеріальних витрат, а випробування габаритних та стаціонарних об'єктів, таких як електричні станції та підстанції, є практично неможливим. Оцінка блискавкостійкості обладнання у таких випадках є можливою методом імітування, що полягає у навантаженні вхідних кіл окремих пристроїв системи імпульсами напруги та струму з параметрами, що відповідають реальним грозовим впливам [2-4].

За останні 30 років низка робіт була присвячена питанню дослідження та покращення стійкості вимірювальних трансформаторів до впливу перехідних процесів, викликаних коротким замиканням, комутаційною перенапругою, прямим ударом блискавки тощо [5-9]. В [5] наведено метод вимірювання перехідних перенапруг у вторинних колах трансформаторів струму та напруги, проте як джерело перешкод використовувалося перемикання високовольтного роз'єднувача. В [8] показано, як перехідні процеси перенапруги трансформуються у вторинне коло трансформатора напруги, а максимальні значення таких імпульсів можуть у багато разів перевищувати номінальне значення його вторинної напруги. Це в свою чергу може призвести до виходу з ладу вимірювальних або захисних пристроїв, підключених до вторинного кола трансформатора напруги, і навіть до їх виходу з ладу. Проте у вказаній роботі представлено моделювання на макеті з метою визначення значень похибки коефіцієнту гармоніки індуктивної напруги трансформатора для прогнозування значення трансформованої перехідної перенапруги й не розглядається вплив грозових імпульсів перенапруги. Виконані в [9] дослідження присвячені оцінці реакції вимірювальних трансформаторів на вплив грозових імпульсів напруги (1,2/50 мкс) на первинне коло, тобто досліджується значення похибки при вимірюванні напруги та створеної перенапруги у вторинних колах внаслідок спотворення вихідного сигналу. Проте у жодному з проаналізованих джерел інформації не розглядалося питання щодо перенапруги, яка буде прикладена до сигнальних кабелів у випадку прямого удару блискавки в систему блискавкозахисту підстанції. Така перенапруга зумовлена спрацьовуванням розрядників і обмежувачів напруги (ОПН) від грозової хвилі, що набігає з боку лінії електропередачі, що у свою чергу зазнала прямого удару блискавки в один з фазних проводів.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження напруги електромагнітних завад, що виникає у вторинних колах вимірювальних трансформаторів при ударі блискавки в систему блискавкозахисту діючої підстанції.

Порядок визначення показників імпульсних перенапруг

Основною задачею в даній роботі імітації прямого удару блискавки в блискавковідводи підстанції є визначення максимальних значень напруги, що впливають на ізоляцію кабелів систем релейного захисту та апаратів (РЗА) і високочастотного (ВЧ) зв'язку.

На рис. 1 наведено приклад струмового кола для імітації прямого удару блискавки в окремо встановлений блискавковідвід на території ВРП-330 кВ. На схемі позначено: фіолетовими лініями – обладнання первинних ланцюгів ВРП-330 кВ, а також будівлі та споруди підстанції; зеленими лініями – кабельні споруди (канали та лотки) з кабелями вторинних ланцюгів; чорними лініями – елементи заземлення ВРП-330 кВ; червоними лініями – елементи струмового ланцюга для імітації прямого удару блискавки.

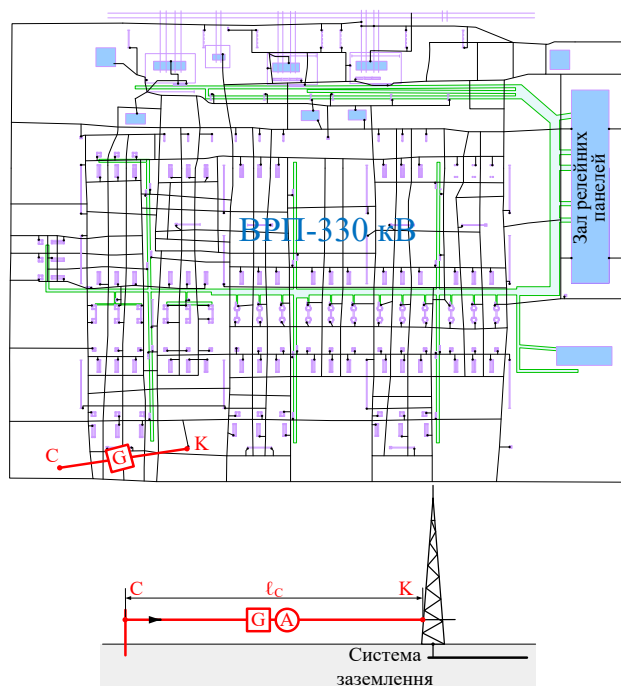


Рис. 1 – Схема для імітації прямого удару блискавки: *G* – генератор аперіодичних імпульсів; *A* – вимірювач струму; *K* – місце прямого удару блискавки; *C* – струмовий електрод

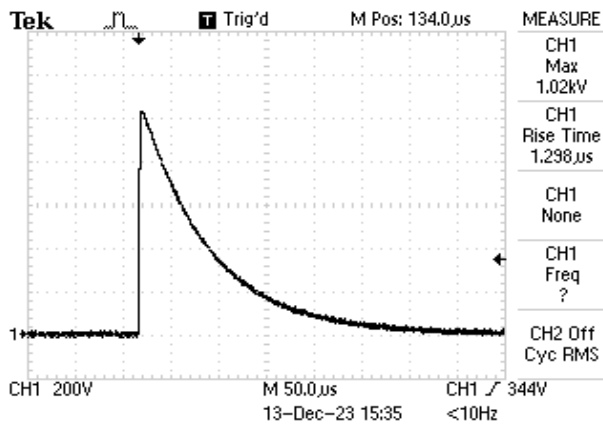
Імітація односпрямованих мікросекундних перехідних процесів, викликаних ближнім ударом блискавки, виконується за допомогою генератора імпульсів з наступними параметрами:

- максимальне значення імпульсу напруги $U_{imn \max}$ становить (1000 ± 100) В
- тривалість фронту імпульсу на рівні $(0,1 - 0,9) \cdot U_{imn \max}$ становить $(1,2 \pm 0,36)$ мкс;
- тривалість імпульсу на рівні $0,5 \cdot U_{imn \max}$ становить (50 ± 10) мкс;

Прикладами таких генераторів є вимірювальні комплекси LTP-1 (див. рис.2), IK-1У, MRU-200 тощо [10].



а)



б)

Рис. 2 – Зовнішній вигляд комплексу LTP-1 (а) та генерованого випробувального імпульсу амплітудою 1 кВ (б)

У цьому випадку генератор імпульсів підключається одним полюсом до заземлювального провідника блискавковідводу, а іншим полюсом – до струмового електроду, віддаленого від блискавковідводу на відстань 50 м. Вказана відстань дозволяє розташувати в зоні нульового потенціалу вимірювальний електрод, відповідно до результатів дослідження розподілу імпульсних електромагнітних полів блискавки під землею з використанням двовимірного методу скінченних різниць у часовій області [11].

В якості струмового електроду рекомендується використовувати латунний стрижень круглого перерізу, діаметром 10 мм – 12 мм, довжиною 1,0 м – 1,2 м. Струмовий електрод заглиблюється в ґрунт на довжину 0,6 м – 0,7 м. У ґрунтах з питомим опором 500

Ом×м і більше для зменшення перехідного опору із ґрунтом рекомендовано встановлювати два й більше електродів, з'єднаних між собою мідним проводом перерізом не менше 2,5 мм². Загальний опір струмових електродів повинний бути не більше 20 Ом.

У ході проведення робіт, під час моделювання впливу прямого удару блискавки, реалізується наступна послідовність дій, спрямованих на забезпечення достовірності експериментальних вимірювань та дотримання вимог техніки безпеки.

На першому етапі виконуються підготовчі роботи: організаційні заходи, зокрема погодження плану виконання робіт зі службами РЗА та диспетчерсько-технологічного управління, фіксується найменування об'єкта дослідження, дата виконання вимірювань, засоби вимірювання тощо.

На другому етапі обирається місце імітації прямого удару блискавки, з фіксацією у протоколі відповідної струмової схеми, наприклад: блискавковідвід №3 – струмовий електрод. Генератор (ІК-1У, LTP-1 тощо) встановлюється на відстані 25 м від обраної точки удару блискавки в напрямку, що віддаляється від кабельного об'єкта, тоді як струмовий електрод заглиблюється на глибину до 1 м на відстані 50 м у тому ж напрямку. Після встановлення струмового електроду має пройти не менше 10 хвилин до початку вимірювань, що пов'язане зі встановленням сталого режиму роботи генератора аперіодичних імпульсів.

З'єднання генератора із системою заземлення виконується за допомогою струбцини та з'єднувального проводу. Один полюс генератора приєднується до заземлювального провідника, що відповідає імітованому місцю удару блискавки (наприклад, до провідника блискавковідводу №3), а інший – до струмового електроду.

Після цього виконується послідовне підключення осцилографа (або імпульсного вольтметра відповідного комплексу) до клем трансформатора струму чи напруги, який обстежується. Жила вимірювального кабелю підключається послідовно до клем фаз та нейтралі (наприклад, А401, В401, С401 і N401), а екрануюча оболонка постійно залишається з'єднаною з корпусом клемного ящика. Для кожного підключення фіксується в протоколі найменування вимірювального кола та виміряні параметри:

- форма вихідної напруги генератора (наприклад, 1,2/50 мкс);
- максимальне значення струму, зафіксоване на індикаторі генератору (I_{meas});
- максимальне значення напруги, зафіксоване на екрані осцилографа (або імпульсного вольтметра) (U_{meas}).

Після завершення вимірювань для одного імітованого місця удару блискавки струмова схема розбирається, а обладнання повертається до початкового стану.

За необхідності процедура повністю повторюється для наступного вибраного місця.

Кількість таких імітованих місць визначається числом блискавковідводів на об'єкті, включаючи ті, що встановлені на порталах і будівлях.

На третьому етапі обчислюють максимальне значення напруг U_{EM} , обумовлене ударом блискавки в мікросекундному діапазоні, В:

$$U_{EM} = \frac{I_{Light}}{I_{Meas}} U_{Meas}, \quad (1)$$

де I_{Light} – амплітудне значення імпульсного струму блискавки, А; I_{Meas} – амплітудне значення струму в ланцюзі імітації розтікання струму блискавки, А; U_{Meas} – амплітудне значення напруги на заземленій конструкції досліджуваного ТН або ТС, обумовлене розтіканням струму I_{Meas} , В.

Згідно з даними EN 62305-1, струм блискавки для I рівня блискавкозахисту $I_{Light} = 200$ кА, для II рівня – 150 кА, для III і IV рівнів блискавкозахисту – 100 кА [12].

Напруга U_{EM} , згідно з ІЕС 61000-2-5-1995, не повинна перевищувати допустимої напруги однополярних перехідних процесів у ланцюгах управління та сигналізації, яка становить $U_{EM} = 4000$ В [2].

Апробація способу визначення електромагнітних завод у вторинних колах на діючому об'єкті

Апробація способу була виконана на електричній підстанції класом напруги 330/35/10 кВ, для якої попередньо була виконана діагностика заземлювального пристрою за методикою [13].

Визначення струмів I_{Meas} та напруг U_{Meas} виконувалося шляхом імітації удару блискавки в окремо встановлені блискавковідводи. Для цього застосовувався генератор аперіодичних імпульсів, що входить до складу вимірювального комплексу LTP-1. На панелі LTP-1 перемикач режиму було встановлено в положення «1,2/50».

Для імітації удару блискавки на території ВРП-330 як точка введення струму використана заземлена конструкція окремо встановленого блискавковідводу №1. Для імітації удару блискавки поза межами ВРП-330 кВ точкою введення струму вважалась заземлена конструкція окремо встановленого блискавковідводу №3.

Схема визначення напруги електромагнітних завод у вторинних колах трансформаторів напруги (ТН) та трансформаторів струму (ТС) при імітації удару блискавки в окремо встановлений блискавковідвід зображена на рис. 3.

Слід врахувати, що блискавковідвід №3 розташовано поруч з залом релейних панелей головного щиту управління та з'єднаний з ним заземлювачем. Фрагмент схеми розташування наведено на рис. 4, при цьому найкоротша відстань від конструкції №3 до будівлі релейних панелей складає 14 м, а відстань по заземлювачу близько 28,2

м. Тому удар блискавки в нього може бути небезпечним для ізоляції кабелів вторинних кіл ТН і ТС, які заземлені в цьому залі, тому додатково були виконані аналогічні випробування. При цьому вимірювання напруги U_{Meas} виконувалося між шиною зрівнювання потенціалів щиту управління та потенційним електродом, установленим на відстані 35–40 м від точки введення струму за межами ВРП-330 кВ у напрямку, перпендикулярному до напрямку установки струмового електрода.

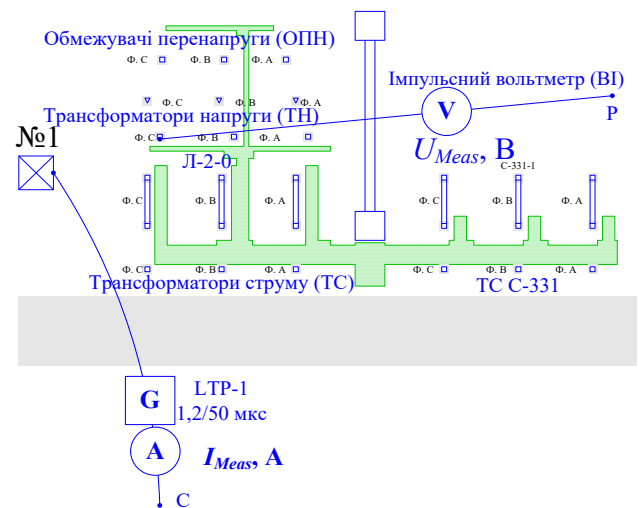


Рис. 3 – Схема визначення напруги електромагнітних завод у вторинних ланцюгах вимірювальних трансформаторів при імітації удару блискавки в блискавковідвід

При імітації удару блискавки в блискавковідвід №1 у процесі проходження струму I_{Meas} за допомогою імпульсного вольтметра виконувалося вимірювання напруги U_{Meas} між заземленою конструкцією випробовуваного ТН або ТС та потенційним електродом, установленим на відстані 35–40 м від точки введення струму у напрямку, перпендикулярному до розміщення струмового електрода.

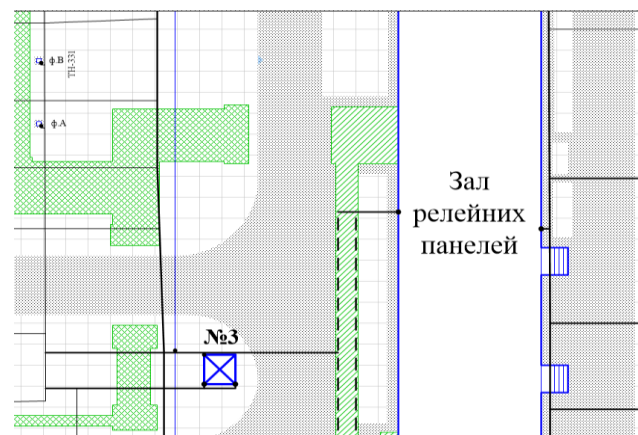


Рис. 4 – Розташування блискавковідводу №3 відносно будівлі релейних панелей (фрагмент схеми системи заземлення)

Результати вимірювань для імітації удару блискавки в блискавковідвід №1 наведено в табл. 1. Результати розрахунку напруг U_{EM} виконані за формулою (1). При цьому $I_{Meas} = 23,0$ А; $I_{Ligh} = 150$ кА.

Результати вимірювань для імітації удару блискавки в блискавковідвід №3 наведено в табл. 2, при цьому $I_{Meas} = 40,7$ А; $I_{Ligh} = 150$ кА.

Таблиця 1 – Напруги електромагнітних завад у вторинних ланцюгах вимірювальних трансформаторів при імітації удару блискавки в блискавковідвід №1

N	Випробовуване обладнання	U_{Meas} , В	U_{EM} , В
1	ТН Л-2 Ф. А	5,6	36 521
2	ТН Л-2 Ф. В	5,3	34 565
3	ТН Л-2 Ф. С	4,8	31 304
4	ТС Л-2 Ф. А	8,3	54 130
5	ТС Л-2 Ф. В	8,0	52 173
6	ТС Л-2 Ф. С	6,9	45 000
7	ТС С-331 Ф. А	9,0	58 695
8	ТС С-331 Ф. В	8,7	56 739
9	ТС С-331 Ф. С	8,7	56 739

З результатів експериментально-розрахункового визначення завад видно, що при ударі блискавки до ізоляції контрольних кабелів, вторинні кола яких заземлені в будівлі релейних панелей, прикладаються напруги з амплітудою від 31 304 В до 58 695 В, а до ізоляції контрольних кабелів, вторинні кола яких заземлені на ВРП-330 кВ – 16 584 В. Ці значення значно перевищують допустимі і можуть призвести до пробую ізоляції відповідних кабелів.

Таблиця 2 – Напруга електромагнітних завад у вторинних ланцюгах вимірювальних трансформаторів при імітації удару блискавки в блискавковідвід №3

N	Випробовуване обладнання	U_{Meas} , В	U_{EM} , В
1	Зал релейних панелей	4,5	16 584

Рекомендації. Для зменшення напруги електромагнітних завад, які прикладаються до ізоляції контрольних кабелів вимірювальних трансформаторів напруги та струму при розтінання високочастотних та імпульсних струмів слід встановити пристрої захисту від імпульсних перенапруг на тому кінці кабелів вторинних кіл, де ці кола не заземлені.

Висновки

В роботі наведено та виконано апробацію процедури визначення напруги електромагнітних завад, зумовлених прямим ударом блискавки в блискавковідводи, що розташовані поблизу вимірювального обладнання. В ході експериментів виявлено, що при моделюванні удару блискавки в блискавковідводи на території ВРП-330 кВ напруги, що виникають у вторинних колах, можуть досягати амплітуд до 58 695 В (для заземлення в будівлі релейних панелей) і 16 584 В (для заземлення на ВРП-330 кВ), що суттєво перевищує нормоване допустиме

значення 4 000 В згідно ІЕС 61000-2-5-1995. Це свідчить про необхідність впровадження додаткових захисних заходів саме для таких конфігурацій.

Запропонований спосіб може бути використаний для виконання випробувань на діючих енергетичних об'єктах з метою підвищення надійності їх роботи шляхом забезпечення електромагнітної сумісності систем управління, релейного захисту, автоматики та зв'язку, особливо в умовах впровадження цифровізації та системи SmartGrid.

Список літератури

- Kniaziev V. V. Determination of the probability of a lightning strike in the elements of the object taking into account the statistical distribution of the current value. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2023. № 5. P. 57-62. doi: 10.20998/2074-272X.2023.5.08
- ДСТУ ІЕС/TR 61000-2-5:2012 Електромагнітна сумісність. Частина 2-5. Електромагнітна обстановка. Опис і класифікація електромагнітної обстановки (ІЕС/TR 61000-2-5:2011, IDT).
- ДСТУ EN 61000-4-5:2019 Електромагнітна сумісність. Частина 4-5. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливості до сплесків напруги та струму (EN 61000-4-5:2014, IDT; ІЕС 61000-4-5:2014, IDT).
- ДСТУ EN 61000-6-5:2018 Електромагнітна сумісність. Частина 6-5. Загальні стандарти. Несприйнятливості обладнання, застосовного в середовищі електричних станцій та підстанцій (EN 61000-6-5:2015, IDT; ІЕС 61000-6-5:2015, IDT).
- Živic T. The Criterion for Electromagnetic Compatibility Evaluation in High Voltage Substations. *Proceedings of the 21st International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2019)*. P. 1390–1400.
- Kennet L. Kaiser. *Electromagnetic compatibility handbook*. CRC PRESS. 2568 p.
- Liu B., Tong Y., Deng X.-P., Wan G. The electromagnetic compatibility research of electronic transformer under simulated complex environment. *2014 International Conference on Power System Technology*. Chengdu. China. 2014. P. 1828-1833. doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993662.
- Kaczmarek M., Brodecki D. Transformation of Transient Overvoltages by Inductive Voltage Transformers. *Sensors*. 2021. № 21(12). P. 4167. doi: 10.3390/s21124167.
- Lamedica R., Pompili M., Cauzillo B. A., Sangiovanni S., Calcara L., Ruvio A. Instrument Voltage Transformer time-response to fast impulse. *2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. Belo Horizonte, Brazil. 2016. P. 400-405. doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783305.
- Koliushko D. G., Rudenko S. S., Koliushko G. M., Plichko A. V. Testers for Measuring the Electrical Characteristics of Grounding Systems by IEEE Standards. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 216-220. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250116.
- Yang Bo, Zhou Bi-Hua, Meng Xin. Distribution of cloud-to-ground lightning electromagnetic pulse fields under the ground. *Acta Phys. Sin.* 2010. № 59(12). P. 8978-8985. doi: 10.7498/aps.59.8978.
- ДСТУ EN 62305:2012 Блискавкозахист. Protection against lightning (ІЕС 62305:2011, IDT). Київ. Держстандарт України, 2012. 419 с.

13. Koliushko D. G., Rudenko S. S. Analysis of methods for monitoring of existing energy objects grounding devices state at the present stage. *Electrical engineering & electromechanics*. 2019. №1. P. 67-72. doi: 10.20998/2074-272X.2019.1.11.

References (transliterated)

1. Kniaziev V. V. Determination of the probability of a lightning strike in the elements of the object taking into account the statistical distribution of the current value. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2023, 5, pp. 57-62, doi: 10.20998/2074-272X.2023.5.08.
2. DSTU IEC/TR 61000-2-5:2012 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-5: Environment - Description and classification of electromagnetic environments (IEC/TR 61000-2-5:2011, IDT).
3. DSTU EN 61000-4-5:2019 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test. IEC/SC 77B - IEC_SC_77B. (EN 61000-4-5:2014, IDT; IEC 61000-4-5:2014, IDT).
4. DSTU EN 61000-6-5:2018 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-5: Generic standards - Immunity for equipment used in power station and substation environment (EN 61000-6-5:2015, IDT; IEC 61000-6-5:2015, IDT).
5. Živic T. The Criterion for Electromagnetic Compatibility Evaluation in High Voltage Substations. *Proceedings of the 21st International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2019)*, pp. 1390–1400.
6. Kennet L. Kaiser. *Electromagnetic compatibility handbook*. CRC PRESS. 2568 p.
7. Liu B., Tong Y., Deng X.-P., Wan G. The electromagnetic compatibility research of electronic transformer under simulated complex environment. *2014 International Conference on Power System Technology*. Chengdu, China. 2014, pp. 1828-1833, doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993662.
8. Kaczmarek M., Brodecki D. Transformation of Transient Overvoltages by Inductive Voltage Transformers. *Sensors*, 2021, 21(12). pp. 4167, doi: 10.3390/s21124167.
9. Lamedica R., Pompili M., Cauzillo B. A., Sangiovanni S., Calcara L., Ruvio A. Instrument Voltage Transformer time-response to fast impulse. *2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*. Belo Horizonte, Brazil. 2016, pp. 400-405, doi: 10.1109/ICHQP.2016.7783305.
10. Koliushko D. G., Rudenko S. S., Koliushko G. M., Plichko A. V. Testers for Measuring the Electrical Characteristics of Grounding Systems by IEEE Standards. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 216-220, doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250116.
11. Yang Bo, Zhou Bi-Hua, Meng Xin. Distribution of cloud-to-ground lightning electromagnetic pulse fields under the ground. *Acta Phys. Sin.*, 2010, № 59(12), pp. 8978-8985, doi: 10.7498/aps.59.8978.
12. DSTU EN 62305:2012 Protection against lightning (IEC 62305:2011, IDT). 2012. 419 p.
13. Koliushko D. G., Rudenko S. S. Analysis of methods for monitoring of existing energy objects grounding devices state at the present stage. *Electrical engineering & electromechanics*, 2019, 1, pp. 67-72, doi: 10.20998/2074-272X.2019.1.11.

Відомості про авторів (About authors)

Глебов Олег Юрійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0215-177X; e-mail: glebovolog@ukr.net.

Glebov Oleg – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0215-177X, e-mail: glebovolog@ukr.net.

Коліушко Денис Георгійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-3112-4260; e-mail: denny4791@gmail.com.

Denis Koliushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Senior researcher of Research and Design Institute "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3112-4260; e-mail: denny4791@gmail.com.

Руденко Сергій Сергійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-2544-1545; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.

Serhii Rudenko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Leading researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-2544-1545; e-mail: nio5_molniya@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Глебов О. Ю., Коліушко Д. Г., Руденко С. С. Експериментальне визначення рівня електромагнітних завад у вторинних колах вимірювальних трансформаторів при ударі блискавки. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 2 (24). С. 124-129. doi:10.20998/2413-4295.2025.02.18.

Please cite this article as:

Glebov O., Koliushko D., Rudenko S. Experimental determination of electromagnetic interference levels in secondary circuits of instrument transformers under lightning strike conditions. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 2(24), pp. 124-129, doi:10.20998/2413-4295.2025.02.18.

Надійшла (received) 12.05.2025

Прийнята (accepted) 22.06.2025