

УДК 621.317.3

doi:10.20998/2413-4295.2024.04.08

**ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАННЯ ОБ'ЄКТУ
НА ВПЛИВ ПРЯМОГО УДАРУ БЛИСКАВКИ****Д. Г. КОЛУШКО¹, С. С. РУДЕНКО¹, О. Є. ІСТОМІН², О. Ю. ГЛЄБОВ¹**¹ НДПКІ «Молнія», НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА² Кафедра ІТС КГМ, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: nio5_molniya@ukr.net

АНОТАЦІЯ Проаналізовано сучасний стан проблеми оцінки осцилограм під час виконання випробувань на дію імпульсних струмів та напруг, показано відсутність засобів інтерпретації, які відповідали б вимогам спеціалізованих стандартів з випробування на електромагнітну сумісність. Розроблено алгоритм програми для інтерпретації результатів випробування технічних об'єктів на стійкість до прямого удару блискавки в частині обробки осцилограм різних компонентів струму. Використання методу трапеції для чисельного інтегрування дозволило виконати реалізацію алгоритму у вигляді програмного засобу для інтерпретації осцилограм в середовищі програмування Embracadero RAD Studio XE8. Під час реалізації було враховано стандартизовані способи визначення фронту імпульсу, часу наростання та тривалості імпульсу. Крім того, програма дозволяє визначати величину заряду та інтеграл дії струму у відповідності з нормованими значеннями. Додана можливість ручного корегування інтервалу аналізу, що дозволяє відсіяти вплив інших компонентів струму та «шумів». Розроблений програмний засіб знайшов практичне застосування під час верифікаційних випробувань комплексу генераторів струму штучної блискавки. Підтвердження коректності роботи програми виконано емпіричним методом. Для отримання осцилограм було використано вимірювальний шунт з діапазоном до 300 кА, генератори імпульсних струмів компонент блискавки та імітаційний об'єкт випробування. Аналіз виконано для усіх чотирьох компонентів штучної блискавки, включно з укороченою постійною компонентною C*. Порівняння результатів інтерпретації з "ручним" аналізом довели високу точність розрахунку (відхилення до 3 %) при значно менших (5-10 разів) часових затратах. Широкі можливості дозволяють використовувати засіб в техніці високих напруг для виконання випробувань та досліджень в електроенергетичній та інших галузях.

Ключові слова: прями́й удар блискавки; струм блискавки; фронт імпульсу; тривалість імпульсу; осцилограма; чисельне інтегрування; програмний засіб

**PROCESSING OF MEASUREMENT RESULTS DURING TESTING THE OBJECT
UNDER THE INFLUENCE OF A DIRECT LIGHTNING STRIKE****D. KOLIUSHKO¹, S. RUDENKO¹, O. ISTOMIN², O. GLEBOV¹**¹ Research and Design Institute "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE² Department of Information Technologies and Systems of Wheeled and Tracked Vehicles named after O.O. Morozov, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The current state of the problem of evaluating oscillograms during tests for the action of pulsed currents and voltages are analyzed, and the lack of interpretation tools that would meet the requirements of specialized standards for electromagnetic compatibility testing was shown. The program algorithm has been developed for interpreting the results of testing technical objects for resistance to a direct lightning strike in terms of processing oscillograms of various current components. The use of the trapezoidal method for numerical integration enabled the implementation of the algorithm as software for oscillogram interpretation in the Embracadero RAD Studio XE8 programming environment. Standardized methods for determining pulse front, rise time, and pulse duration were taken into account during the implementation. In addition, the program allows you to determine the charge value and the integral of the current action in accordance with normalized values. Manual adjustment of the analysis interval was added, allowing the filtering of other current components and "noise" effects. The developed software found practical application in the verification testing of artificial lightning current generator complexes. The correctness of the program operation was confirmed by an empirical method. To obtain oscillograms, a measuring shunt with a range of up to 300 kA, lightning component pulse current generators and a simulated test object were used. The analysis was performed for all four components of artificial lightning, including the shortened constant component C*. Comparison of the interpretation results with "manual" analysis proved the high accuracy of the calculation (deviation up to 3%) with significantly less (5-10 times) time costs. Its extensive capabilities make the tool suitable for high-voltage testing and research in power engineering and related fields.

Keywords: Direct lightning strike; Lightning current; pulse front; pulse duration; oscillogram; numerical integration; software

Вступ

Сучасні міжнародні та вітчизняні стандарти [1–4] передбачають необхідність виконання випробувань на вплив прямого удару блискавки шляхом інжекції

імпульсу струму з заданими параметрами в об'єкт випробувань від, установки, що являє собою комплекс відповідних генераторів [5]. Крім того, зазначений комплекс може бути використаний для фундаментальних досліджень електрофізичних

процесів, що виникають в плазмових каналах [6], системах блискавкозахисту та заземлення тощо [7,8].

Подібні установки мають забезпечувати формування як окремих нормованих компонент, так і основних комбінацій компонент струму штучної блискавки (імпульсної компоненти *A*; проміжної компоненти *B*; тривалої компоненти *C*; укороченої тривалої компоненті *C**; повторної імпульсної компоненти *D*; комбінації *A, B* і *C*; комбінації *A* і *C*; комбінації *D, B* і *C*; комбінації *A, B* і *C**) (див. рис. 1).

У стандартах [1–3] встановлено вимоги до амплітудно-частотних характеристик компонент струму блискавки.

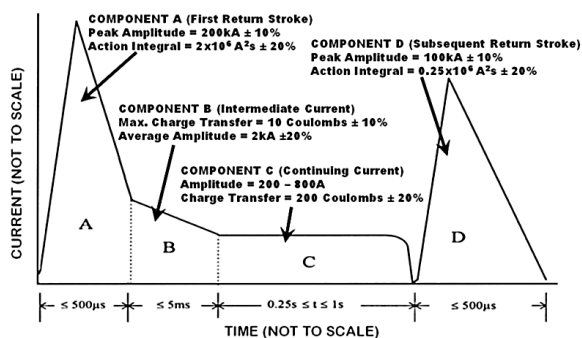


Рис. 1 – Нормовані параметри компонент струму відповідно до [3]

У ході налаштування установки та безпосередньо при випробуванні об'єкту, фіксація зазначених результатів виконується шляхом вимірювання з використанням надструмового спеціалізованого шунту (як правило до 300 кА) [9] та декількох осцилографів, які налаштовані кожен окремо для визначення певної компоненти струму. Це викликано значним розкидом у тривалості (до чотирьох порядків) та амплітуд (до трьох порядків) компонент струму (див. табл. 1). Далі, за отриманими осцилограмами визначаються амплітуди компонент *A* та *D*, їх тривалість фронту та імпульсу й інтеграл дії. Для компонент *B* та *C* (*C**) – середній струм, тривалість імпульсу та заряд.

На рис. 2 наведено типові осцилограми компонент *A*, *B* та *C* під час верифікаційних випробувань: типова осцилограма компоненти *A* струму блискавки з амплітудою $I_{max} = 190,82$ кА; після протікання *A*-компоненти, реєструється проміжна *B*-компонента струму, а після *B* – постійна *C*-компонента.

Однією з задач при обробці результатів вимірювання є суперпозиція зазначених компонент, тобто на осцилограмах для їх коректного опрацювання необхідно виділити кожен компонент окремо.

Вирішити вказану задачу за допомогою програм, що поставляються виробниками осцилографів, наприклад Tektronix [10] або математичними засобами обробки [11] неможливо.

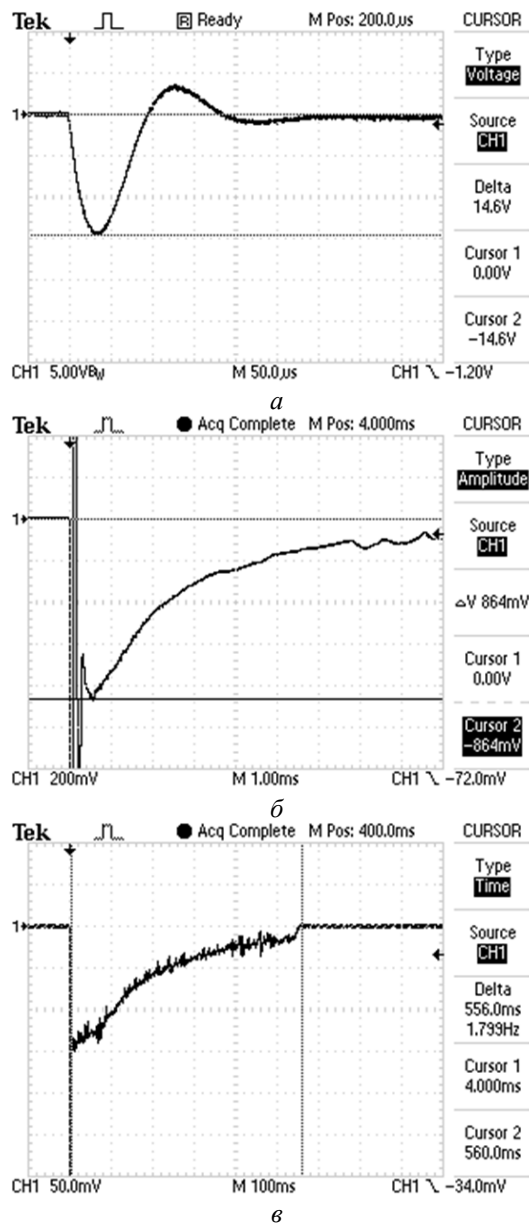


Рис. 2 – Компоненти струму штучної блискавки: а – *A*-компонента; б – *B*-компонента; в – *C*-компонента

Тому на практиці довгий час була поширена процедура ручної обробки осцилограм, яка є достатньо трудомісткою. Крім того, наявність людського фактору також; впливає на якість і точність обробки.

Наведені у літературі засоби обробки осцилограм, зокрема в [12–14], доводять, що для подібних задач оптимальним є розробка спеціалізованого програмного засобу, який буде орієнтований на вирішення конкретної задачі.

Мета роботи

Метою роботи є створення програмного засобу для визначення нормованих амплітудно-часових

параметрів імпульсів струму штучної блискавки, які фіксуються осцилографом.

I Загальні умови

Розглянемо умови, що висуваються до інтерпретації:

- 1) тривалість фронту t_f компонент імпульсів як інтервал часу між рівнями $0,1 I_{max}$ й $0,9 I_{max}$;
- 2) час наростання імпульсу від нуля до I_{max} ;
- 3) тривалість t_n компонент імпульсів струму як інтервал часу між початком та часом тривалості імпульсу (за рівнем $0,1 I_{max}$, $0,5 I_{max}$, або будь-яким заданим оператором);
- 4) інтеграл дії

$$W = \int_{t_{beg}}^{t_{end}} i^2(t) dt, \quad (1)$$

де $i(t)$ – функція струму компоненти блискавки від часу, t_{beg} та t_{end} – час початку та кінця дії компоненти імпульсу струму;

- 5) електричний заряд

$$Q = \int_{t_{beg}}^{t_{end}} i(t) dt. \quad (2)$$

При розробці програмного засобу для виконання чисельного інтегрування запропоновано використати метод трапецій [15], перевагами якого є простота реалізації, швидкість обчислення (у порівнянні з більш складними методами, такими як метод Сімпсона), придатний для довільних неперервних функцій. За потреби підвищити точність дозволяє поділ інтервалу на більшу кількість підінтервалів. Відповідно вирази (1) та (2) приймуть вигляд:

– інтеграл дії

$$W = \sum_{n=1}^n \frac{i^2(t_i) + i^2(t_{i-1})}{2} \Delta t_i, \quad (3)$$

де $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$; $t_0 = t_{beg}$; $t_n = t_{end}$; n – число підінтервалів на які було розбито інтервал інтегрування.

$$Q = \sum_{n=1}^n \frac{i(t_i) + i(t_{i-1})}{2} \Delta t_i. \quad (4)$$

Загалом, програмний засіб повинен забезпечувати виконання наступних функцій:

- вибір компоненти для обробки;
- імпорт та конвертація даних з файлу типу *.csv (формат файлу, що містить дані збереженої осцилограми);
- налаштування параметрів для розрахунку (задання параметрів шунту, вибір параметрів, що визначаються);

- розрахунок параметрів компонент імпульсів струму на основі завантаженої осцилограми (амплітуда та середнє значення струму; фронт, час наростання та тривалість імпульсу, заряд, інтеграл дії);
- автоматизований та інтерактивний вибір часового діапазону опрацювання (за рівнем $0,1 I_{max}$, $0,5 I_{max}$, або будь-яким заданим оператором);
- побудова графіків імпульсу струму та інтегралу дії.

Для реалізації зазначених функцій було розроблено алгоритм роботи програми, який представлено на рис. 3.

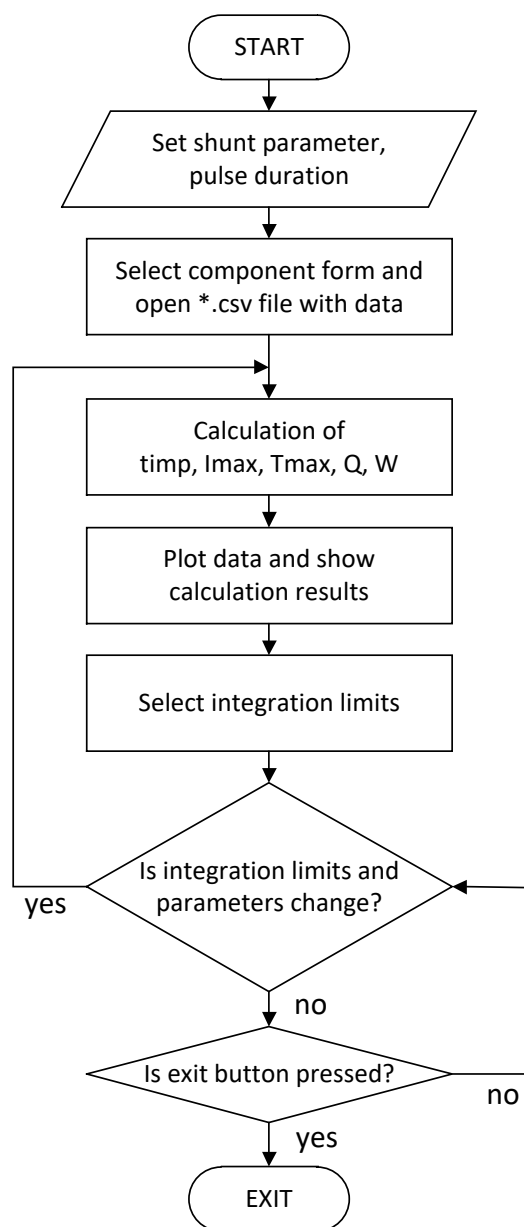


Рис. 3 – Алгоритм роботи програми «Current-A»

Реалізацію алгоритму виконано за допомогою середовища програмування Embracadero RAD Studio XE8 [16].

II Опис роботи програми

Для проведення аналізу слід задати коефіцієнт шунту в меню «Shunt parameters», обрати компоненту для якої виконується аналіз (A, D чи B, C) після чого натиснути на меню *File* → *Open* та відкрити файл запису даних осцилограми в форматі «.csv».

Після завантаження файлу аналіз відбудеться автоматично (див. рис. 4).

В меню «Plot data» є можливість обрати відображення графіку: імпульсу струму $i(t)$ або інтегралу дії $W(t)$ (див. рис. 5).

Результати аналізу наведено в блоці «Calculation results», де параметри відповідають табл. 1.

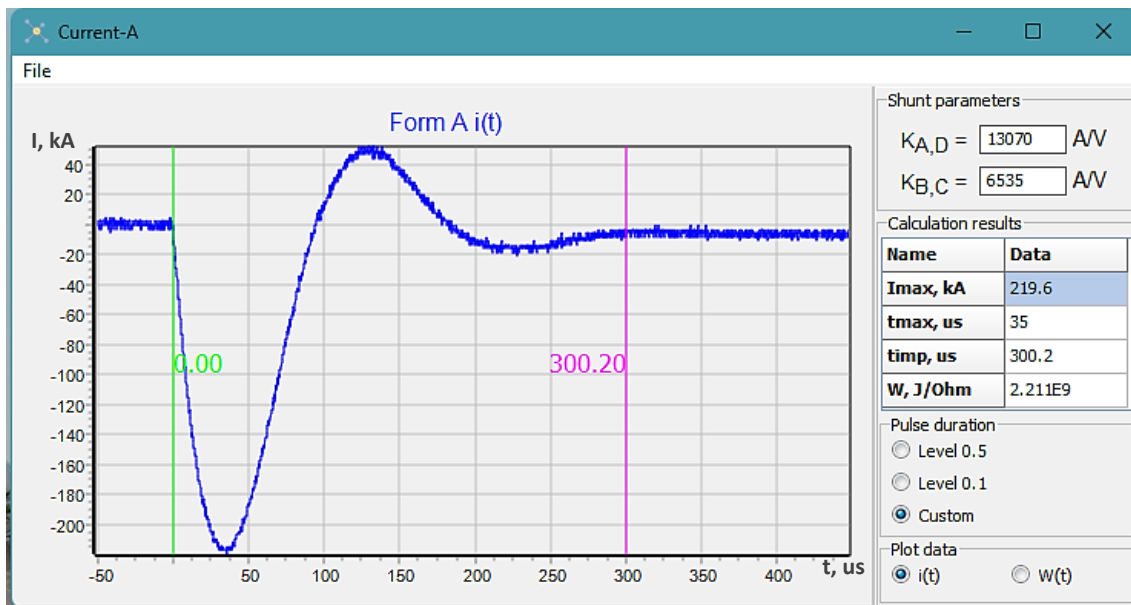


Рис. 4 – Діалогове вікно аналізу

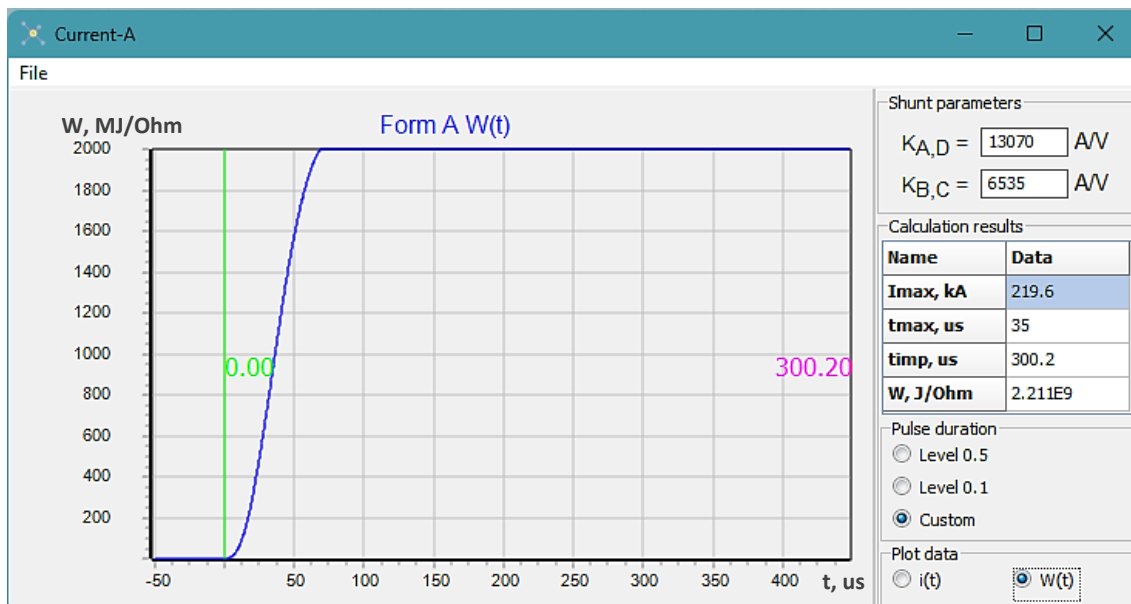


Рис. 5 – Відображення графіку інтегралу дії імпульсу струму $W(t)$

Таблиця 1 – Значення параметрів блоку «Calculation results»

Значення амплітуди імпульсу	Imax, kA
Значення часу наростання імпульсу	tmax, us
Значення тривалості імпульсу	timp, us
Значення інтегралу дії в Дж/ Ом	W, J/Ohm

В меню «Pulse duration» обирається визначення тривалості імпульсу t_{imp} в мікросекундах за рівнем напівспаду, 0,1 від рівня амплітуди або заданим оператором (див. рис. 4). Це викликано різними нормуванням способу визначення тривалості імпульсу в нормативних документах, а також необхідністю відсіяти «шуми» від вимірального

тракту після протікання імпульсу (див. значення після 300 мкс на рис.4). Перерахунок інтегралу дії та тривалості імпульсу відбувається автоматично.

Для того, щоб оператор задав тривалість імпульсу в ручному режимі, необхідно обрати пункт «Custom» в меню «Pulse duration», після чого за допомогою маніпулятора-«мишка» встановити зелену вертикальну лінію на початок цікавлячої ділянки імпульсу, а рожеву – на її кінець (див. рис. 4). При цьому поруч з лініями числами відповідного кольору відображається значення часу.

III Практичне застосування

Розроблена програма була використана для верифікації параметрів імпульсів, що генеруються установкою [5].

Під час верифікаційних випробувань розряд виконувався в еквівалент об'єкту випробування при розташуванні його на робочому столі. Структурна схема виконання верифікаційного випробування наведена на рис. 6.

Відповідно до затвердженої методики верифікації було здійснено по 5 розрядів для визначення параметрів кожної компонент струму штучної блискавки. Кожен розряд аналізувався на

відповідність вимогам стандарту. Результати верифікації розраховувалися згідно [18]: середньоарифметичне значення результату вимірювання кожної характеристики вихідного сигналу та розширена невизначеність при прийнятому значенні ймовірності – 0,95.

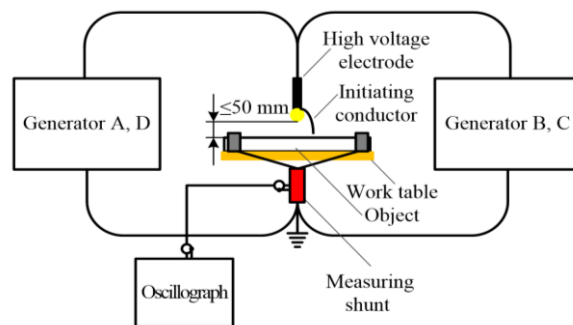


Рис. 6 – Структурна схема виконання верифікаційних випробувань

Результати визначення нормованих значень параметрів компонент імпульсу струму в «ручному режимі» опрацювання осцилограм та з використанням розробленої програми наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати визначення нормованих значень параметрів компонент імпульсу струму з використанням розробленої програми

Значення	Компонента А		Компонента В		Компонента С*		Компонента С		Компонента D	
	I_{max} , кА	$W \times 10^6$, Дж/Ом	$I_{сер}$, кА	Q , Кл	$I_{сер}$, А	Q , Кл	$I_{сер}$, А	Q , Кл	I_{max} , кА	$W \times 10^6$, Дж/Ом
Стандартизоване	200 (± 10%)	2,0 (± 20%)	2,0 (± 20%)	10 (± 20%)	≥ 400	(6–18) (± 20%)*	200–800	200 (± 20%)	100 (± 10%)	0,25 (± 20%);
Визначене «вручну»	205,5 (±1,04)	2,1 (±0,15)	2,1 (±0,1)	10,1 (±0,07)	420 (±15)	6,7 (±0,5)	300 (±65)	190 (±20)	92 (±1,7)	0,26 (±0,01)
Визначене програмою	205,5 (±1,04)	2,14 (±0,12)	2,12 (±0,05)	10,6 (±0,05)	424 (±14)	6,67 (±0,48)	297 (±63)	187 (±17)	92,2 (±1,7)	0,259 (±0,009)

Як бачимо з табл. 3, отримані результати «ручного» опрацювання та з використанням розробленої програми співпадають і відрізняються на величину менше 3%, проте розрядність останніх отриманих значень є більшою. Загальна тривалість опрацювання 5 експериментів для кожної компоненти в «ручному режимі» склала понад 5 годин, а з використанням запропонованого програмного засобу менше 1 години.

Таким чином, створена програма була успішно застосована в межах аналізу результатів верифікації комплексу генераторів струму блискавки. Крім того, програма може бути застосована в межах виконання аналізу випробувань технічних об'єктів на стійкість до протікання імпульсів струму різного походження.

На створений та реалізований програмний засіб отримано свідоцтво про авторське право [19].

Висновки

Аналіз сучасного стану проблеми обробки осцилограм або існуючих рішень показав відсутність програмного забезпечення, яким можна виконувати опрацювання та інтерпретацію результатів випробування технічних об'єктів на вплив прямого удару блискавки.

На основі аналізу стандартизованих величин та їх значень під час випробувань, а також враховуючи практичний досвід, було розроблено вимоги до програмного засобу, розроблено алгоритм роботи та виконано програмну реалізацію.

Створена програма, дозволяє:

- обирати компоненти для обробки;
- завантажувати дані з файлу типу *.csv;
- налаштовувати параметри розрахунку;
- проводити розрахунок параметрів компонент імпульсів струму;

- виконувати автоматизований та інтерактивний вибір часового діапазону опрацювання;
- будувати графіки імпульсу струму та інтегралу дії.

За допомогою розробленої програми проведено аналіз імпульсів компонент струму під час верифікаційних випробувань установки та доведена доцільність її використання на основі порівняння результатів опрацювання результатів вимірювань порівняно з ручним режимом.

Список літератури

1. DO-160G: 2011. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. USA. 2011. 438 p.
2. АЕСТР-250: 2014. NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C. NSO Publ. 253 p.
3. MIL-STD-464C: 2010. Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems. USA. 2010. 165 p.
4. ДСТУ 3681-98. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги та методи випробувань. Держстандарт України. К.: 1999. 28 с.
5. Baranov M. I., Buriakovskiy S. G. Electrical engineering equipment for generating and measuring of complete pulse current of artificial lightning in the conditions of high-voltage electrophysics laboratory. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2024. № 3. P. 55–65. doi: 10.20998/2074-272X.2024.3.08.
6. Korytchenko K. V., Bolyukh V. F., Buriakovskiy S. G., Kashansky Y. V., Kocherga O. I. Electromechanical and thermophysical processes in the pulse induction accelerator of plasma formation. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2023. № 5. P. 69–76. doi: 10.20998/2074-272X.2023.5.10.
7. Баранов М. І., Колюшко Г. М., Кузьминський Є. В., Мисюк Ю. І., Рудаков С. В. Результаты испытаний молниеотводов с универсальными зажимами аperiodическими импульсами тока искусственной молнии с нормированными по международным стандартам амплитудно-временными параметрами. *Електротехніка і електромеханіка*. 2015. № 3. С. 48–54.
8. 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.
9. Днищенко В. М., Єремєєв В. О., Недзельський О. С., Понуждаєва Є. Г. Измерительный шунт ШК-300 для определения амплитудно-временных параметров имитированного импульса тока молнии. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Тем. випуск: *Техніка і електрофізика високих напруг*. 2007. № 20. С. 75–79.
10. Tektronix. TekScope Application User Manual. URL: <https://www.tek.com/en/manual/product-software/tekscope-application-user-manual-tekscope-pc-analysis-software>
11. Rohde & Schwarz. Oscilloscopes MXO 5 Oscilloscope. URL: https://www.rohde-schwarz.com/products/test-and-measurement/oscilloscopes/rs-mxo-5-oscilloscope_334228.html
12. Kumar V., Chandrasekhar N., Albert S. K., Jayapandian J. Analysis of arc welding process using Digital Storage.

- Oscilloscope. *Measurement*. Vol. 81. 2016. P. 1–12. doi: 10.1016/j.measurement.2015.11.031.
13. Vakulenko D. V., Vakulenko L. O. *Arterial Oscillography: New Capabilities of the Blood Pressure Monitor with the Oranta-AO Information System*. Nova Science Publishers, Inc. USA, 2024. 1100 p. doi: 10.52305/XFFR7057
14. Dharmotharan V., Chandrasekhar A., Cheng Hao-Min, Chen Chen-Huan, Sung Shih-Hsien, Landry C. Mathematical Modeling of Oscillometric Blood Pressure Measurement: A Complete, Reduced Oscillogram Model. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2023. Vol. 70. № 2. P. 715–722. doi: 10.1109/TBME.2022.3201433.
15. Клепко В. Ю., Голец В. Л. Чисельне інтегрування (метод трапецій). *Вища математика в прикладах і задачах: 2-ге видання*. К.: Центр учбової літератури, 2009. 594 с.
16. Embarcadero. RAD Studio XE10 Seattle Product Reviewer's Guide. 2019. URL: <http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/XE10>.
17. Muthmainnah F., Yudarta A. D. Perancangan sistem informasi pendataan sewa kendaraan berbasis embarcadero RAD Studio XE2 di mulia trans belitung. *Jurnal Tikar*. 2023. Vol. 4. № 1. P.11–24.
18. Боцюра О. А., Неєжмаков П. І., Захаров І. П. Основні положення Настанови з подання невизначеності вимірювань на основі байєсівського підходу. *Український метрологічний журнал*. 2019. № 2. С. 3–9. doi: 10.24027/2306-7039.2.2019.174111
19. Колюшко Д. Г., Істомін О. Є., Руденко С. С., Глебов О. Ю. Комп'ютерна програма: Аналіз осцилограм компонент А та D струму штучної блискавки «Current - A». А.с. №129211 від 21.08.2024.

References (transliterated)

1. DO-160G: 2011. Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. USA, 2011, 438 p.
2. АЕСТР-250: 2014. NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C. NSO Publ., 253 p.
3. MIL-STD-464C: 2010. *Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems*. USA, 2010, 165 p.
4. DSTU 3681-98. Electromagnetic Compatibility of Technical Means. Immunity to Lightning Discharges. Technical Requirements and Test Methods. State Standard of Ukraine. Kyiv. 1999, 28 p
5. Baranov M. I., Buriakovskiy S. G. Electrical engineering equipment for generating and measuring of complete pulse current of artificial lightning in the conditions of high-voltage electrophysics laboratory. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2024, no. 3, pp. 55–65, doi: 10.20998/2074-272X.2024.3.08.
6. Korytchenko K. V., Bolyukh V. F., Buriakovskiy S. G., Kashansky Y. V., Kocherga O. I. Electromechanical and thermophysical processes in the pulse induction accelerator of plasma formation. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2023, no. 5, pp. 69–76, doi: 10.20998/2074-272X.2023.5.10.
7. Baranov M. I., Koliushko G. M., Kuzminskiy E. V., Mysiuk Yu. I., Rudakov S. V. Results of tests of lightning-rods with universal clamps by the aperiodic impulses of current of artificial lightning with the peak-temporal parameters rationed on foreign standards. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2015, no. 3, pp. 48–54.
8. 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.*
9. Dnishchenko V. M., Yeremeyev V. O., Nedzelsky O. S., Ponuzhdaieva Ye. G. Measuring shunt ShK-300 for determining the amplitude-time parameters of the simulated lightning current pulse. *Bulletin NTU «KhPI». Special issue: High Voltage Techniques and Electrophysics*, 2007, no. 20, pp. 75–79.
 10. Tektronix. TekScope Application User Manual. Available at: <https://www.tek.com/en/manual/product-software/tekscope-application-user-manual-tekscope-pc-analysis-software>
 11. Rohde & Schwarz. Oscilloscopes MXO 5 Oscilloscope. Available at: https://www.rohde-schwarz.com/products/test-and-measurement/oscilloscopes/rs-mxo-5-oscilloscope_334228.html
 12. Kumar V., Chandrasekhar N., Albert S. K., Jayapandian J. Analysis of arc welding process using Digital Storage Oscilloscope. *Measurement*, 2016, Vol. 81, pp. 1–12, doi: 10.1016/j.measurement.2015.11.031.
 13. Vakulenko D. V., Vakulenko L. O. *Arterial Oscillography: New Capabilities of the Blood Pressure Monitor with the Oranta-AO Information System*. Nova Science Publishers, Inc. USA, 2024, 1100 p., doi: 10.52305/XFFR7057
 14. Dhamotharan V., Chandrasekhar A., Cheng Hao-Min, Chen Chen-Huan, Sung Shih-Hsien, Landry C. Mathematical Modeling of Oscillometric Blood Pressure Measurement: A Complete, Reduced Oscillogram Model. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2023, Vol. 70, no. 2, pp. 715–722, doi: 10.1109/TBME.2022.3201433.
 15. Klepko V. Yu., Golets V. L. Numerical integration (trapezium method). *Further mathematics in examples and problems: 2nd edition*. K. Center for Educational Literature, 2009, 594 p.
 16. Embarcadero. RAD Studio XE10 Seattle Product Reviewer's Guide, 2019. Available at: <http://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/XE10>.
 17. Muthmainnah, Fatimah, Yudarta Andrean Dwi. Perancangan sistem informasi pendataan sewa kendaraan berbasis embarcadero RAD Studio XE2 di mulia trans belitung. *Jurnal Tikar*, 2023, Vol. 4, no.1, pp.11–24.
 18. Botsiura O., Zakharov I., Nyezshmakov P. Key Provisions of the Guide on Uncertainty of Measurement Based on the Bayesian Approach. *Ukrainian Metrological Journal*, 2019, no 2, pp. 3–9, doi: 10.24027/2306-7039.2.2019.174111
 19. Koliushko D. G., Istomin O. E., Rudenko S. S., Hlebov O. Yu. Computer program: Analysis of oscillograms of components A and D of artificial lightning current "Current - A". A.C. No. 129211 dated 21.08.2024.

Відомості про авторів (About authors)

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; e-mail: denny_74@i.ua

Denis Koliushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher, Senior researcher of the Department of Automated electromechanics systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3112-4260; e-mail: denny_74@i.ua

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; e-mail: serhij_rudenko@ukr.net

Serhij 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: serhij_rudenko@ukr.net

Істомін Олександр Євгенійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник Науково-дослідного та проєктно-конструкторського інституту "Молнія", м. Харків, Україна; e-mail: a.e.istomin@gmail.com

Oleksandr Istomin – researcher of Research and Design Institute "Molniya" National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0002-5709-6459, e-mail: a.e.istomin@gmail.com

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; e-mail: glebovoleg@ukr.net

Oleg Glebov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior researcher of the Department of Automated electromechanics systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0003-0215-177X; e-mail: glebovoleg@ukr.net

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Коліушко Д. Г., Руденко С. С., Істомін О. Є., Глебов О. Ю. Обробка результатів вимірювання під час випробування об'єкту на вплив прямого удару блискавки. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2024. № 4 (22). С. 62–68. doi:10.20998/2413-4295.2024.04.08.

Please cite this article as:

Koliushko D. G., Rudenko S. S., Istomin O. Ye., Glebov O. Yu. Processing of measurement results during testing the object under the influence of a direct lightning strike. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2024, no. 4(22), pp. 62–68, doi:10.20998/2413-4295.2024.04.08.

Надійшла (received) 21.10.2024

Прийнята (accepted) 28.11.2024