

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

УДК 620.9

ВИЯВЛЕННЯ КОРОННОГО РОЗРЯДУ НА СТРУМОПРОВІДНИХ ЧАСТИНАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА АКУСТИЧНИМИ КОЛИВАННЯМИ

О.Г. Гриб¹, І.Т. Карпалюк¹, С.В. Швець¹, Н.В. Рудевіч¹, Н.С. Захаренко²

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

² Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна

DETECTION OF CORONAL DISCHARGE ON CURRENT CONDUCTIVE PARTS OF THE ELECTRICAL SYSTEM BY ACOUSTIC OSCILLATIONS

O. Hryb¹, I. Karpalyuk¹, S. Shvets¹, N. Rudevich¹, N. Zakharenko²

¹ National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

² Priazovsky State Technical University, Mariupol Ukraine

Мета. Пропонується акустичний метод діагностики наявності коронного розряду, тобто реєстрація наявності коронного розряду виконувати по тільки йому притаманному спектру акустичних коливань.

Методика дослідження. Для досліджень застосовується спектроакустичний метод розроблений на кафедрі автоматизації та кібербезпеки енергосистем, який побудовано на акустичних коливаннях які створює коронний розряд.

Результати дослідження. Запропонований метод дозволяє проводити дистанційну діагностику на наявність місць виникнення коронного розряду. Причому така діагностика може бути виконана в режимі безперервного спостереження.

Наукова новизна. Виділено напрямок дослідження параметрів пов'язаних з коронним розрядом. Проведена паралель коронний розряд – якість. Наведені методи щодо визначення наявності коронного розряду на струмопровідних частинах обладнання. Отримані частотні спектри дозволили виявити набір ліній властивих тільки коронному розряду.

Практичне значення. Метод дозволяє проводити дистанційну діагностику на наявність місць виникнення коронного розряду. Причому така діагностика може бути виконана в режимі безперервного спостереження.

Ключові слова: *якість електричної енергії, коронний розряд, частотні спектри, електрична система, акустичні коливання*

Постановка проблеми: В сучасних умовах контроль якості електричної енергії має надзвичайне значення. Поступово зростають вимоги до якісних показників електричної енергії. Майже кожен рік в світі з'являються нові документи, що формують вимоги до рівня якості електричної енергії. І це не дивно, бо все більше технологічні цикли залежать не тільки від самої наявності електрики а й від її якості. Багато пристроїв критично залежать від якісної електроенергії. До таких пристроїв слід віднести зв'язок, включаючи інтернет, системи телеметричного керування, що відносяться до smart house і суто технологічні системи: транспорт, виробничі процеси. Від енергетики вимагається поступове підвищення якості постачаємої енергії. З цією метою в електроенергетичних систем розвиваються системи Smart grid. Але без методів діагностики стану системи складно досягти відповідного рівня якісних показників.

Зазвичай із коронним розрядом пов'язують втрати в мережі. Тому діагностику коронуючих елементів проводять на всіх електричних мережах у світі. Але автори звернули увагу на викривлення кривої форми напруги під впливом коронного розряду, а саме зміну якості електричної енергії. Одна із причин виникнення гармонійних складових напруги і струму є наявність в мережі коронного розряду. Досліди показали, що наявність вищих гармонік стимулює розвиток коронного розряду, який в свою чергу генерує вищі гармоніки. Тобто коронний розряд для мережі є генерацією вищих гармонік із позитивним зворотнім зв'язком. Тому і пропонується змінити ставлення до коронного розряду як до ще одного чинника погіршення якості електричної енергії. На кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем було розроблено метод діагностики наявності коронного розряду за спектрально-акустичними параметрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Питаннями впливу якісних параметрів електричної енергії на роботу приладів споживача займалися видатні вчені України і світу, це такі вчені як: Гриб О.Г., Жаркін А.Ф., Шидловський А.К., Сендерович Г.А., Жежеленко І.В., Саєнко Ю.Л., Anderson P.M., Fouad A.A. і інші. Ціла низка досліджень пов'язана із економічними втратами від якості електричної енергії і відповідальною стороною погіршення електричної енергії [1, 2]. Таким чином з'ясовується юридичне питання відповідності за погіршення і розробляються заходи щодо винаходження «власника» погіршення. Відповідно до чого мають вже розроблятися заходи із недопущення погіршення, або зменшення його впливу. Юридична відповідальність за погіршення дає право на фінансову відповідальність, що призводить до розробки найдієвіших заходів. Виходячи з фінансової відповідальності розробляються і технічні заходи. З технічних заходів по підвищенню якості електричної енергії можна виділити напрям діагностики і моніторингу. Так на кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем (НТУ «ХП») було розроблено прилад моніторингу якості [3]. Який використовується по теперішній час. Але такий контроль фіксує безпосередньо електричні параметри електричної мережі і прилад не призначений для пошуку втрат на коронних розрядах в електричній високовольтній мережі.

Дослідженнями в напрямку розробки діагностичного обладнання для пошуку коронного розряду на струмоведучих елементах займаються різні лабораторії [4, 5, 6, 7]. Напрямок їх досліджень йде по шляху не електричної діагностики, бо така діагностика пов'язана із високою напругою. В таких розробках за основу взято побічне світлове випромінювання коронним розрядом. Були розроблені відповідні оптичні прилади і такі дослідження виконуються на практиці. На рисунку 1 показано розташування спектру коронного розряду у співставленні із спектром Сонця. Тобто спектр Сонця перебиває майже весь спектр коронного розряду, тому такі дослідження краще проводити за відсутності сонячного випромінювання.

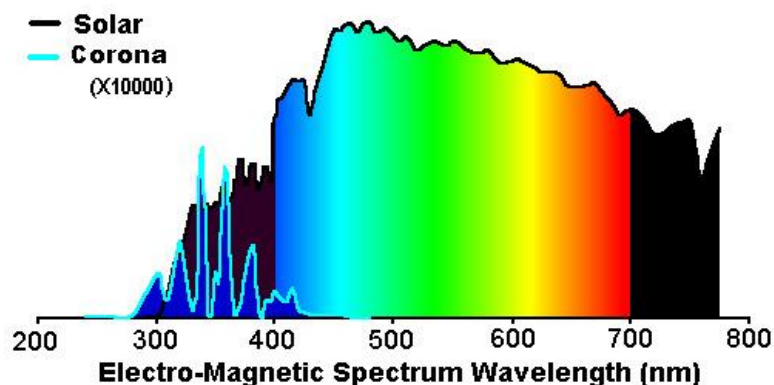


Рис. 1 – Спектри випромінювання коронного розряду і Сонця [5]

Для подолання зазначеного недоліку оптичного методу тобто фонове засвічення сонячним світлом, стало встановлення відповідних оптичних фільтрів і підняття чутливості приладів ультрафіолетового сканування для можливості проведення діагностики при наявності сонячного випромінювання. Але навіть такі дії на позбавляють в повній мірі від фонового засвічення, до того ж час дії випромінювання коронного розряду незначний, і розташування корони може знаходитися за конструктивними елементами. Зрозуміло що для подолання зазначених недоліків, а особливо значного удорожчання високочутливого ультрафіолетового фоторегістратора, необхідно використати метод побудований на інших фізичних засадах. Такий метод було розроблено на кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем, він побудований на реєстрації акустичних хвиль від коронного розряду.

Мета статті: Пропонується акустичний метод діагностики наявності коронного розряду, тобто реєстрація наявності коронного розряду виконувати по тільки йому притаманному спектру акустичних коливань.

Основні матеріали: На кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем було розроблено метод [8, 9], що побудовано не на електричному, або оптичному фізичних принципах. З досвіду експлуатації високовольтних електричних систем, відомо, що наявність коронного розряду досвідчений електрик може почути як то кажуть «на слух». Людське вухо чує характерні звукові коливання притаманні процесам що проходять в коронному розряді. Було підготовано теоретичне підґрунтя щодо процесів які викликають акустичні ефекти при коронному розряді. В лабораторних умовах на базі НТУ «ХП» було поставлено експеримент. Коронний розряд отримували на струмоведучих частинах що під'єднані до високовольтного ізолятора (межа пробою 35 кВ). Високовольтну напругу отримували від підвищуючого трансформатора (150000/100 В). Акустичні заміри виконували за допомогою моніторного мікрофону і малогабаритних диктофонів.

На замірах виконаних на лабораторному обладнанні було отримано низку акустичних файлів для різних напруг на коронному розряді (рис. 2).

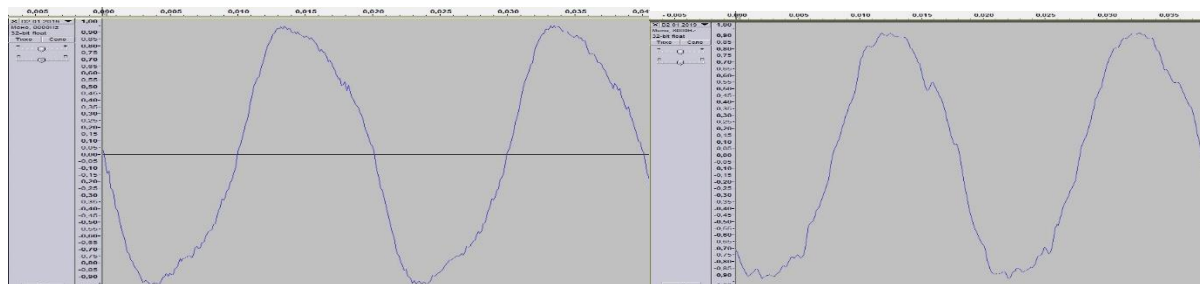


Рис. 2 – Акустичні сигнали на різних напругах 31 кВ (ліворуч), 71 кВ (праворуч)

При обробці цих акустичних файлів методом швидкого перетворення Фур'є. Були отримані графіки частотних залежностей для відповідних напруг. Частоту 50 Гц було відокремлено, бо все обладнання, яке працює на промисловій частоті 50 Гц може створювати коливання на цій частоті (рис. 3).

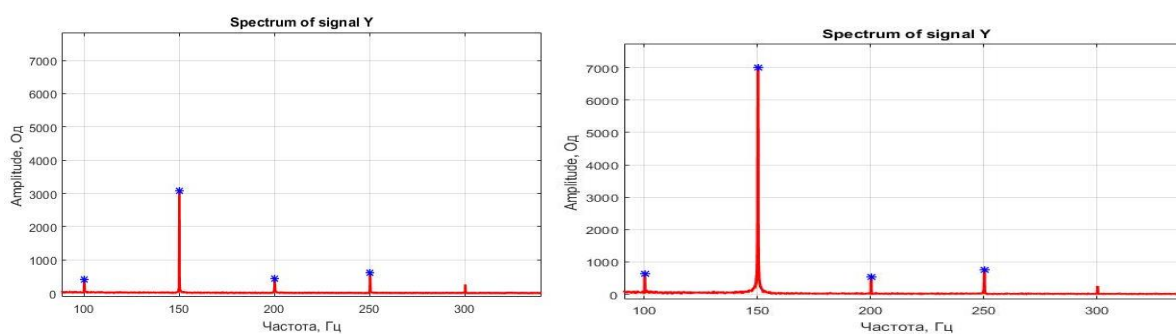


Рис. 3 – Частотні спектри акустичного сигналу від корони 31 кВ (ліворуч), 71 кВ (праворуч)

Таким чином було підтверджено, що коронний розряд має свою власну спектрально-акустичну характеристику. Тобто коронний розряд створює характерні звукові коливання притаманні тільки йому. Частоти таких коливань 50, 150, 250, 350 Гц. В наявності з'являються і коливання на парних гармоніках, але їх амплітуди менші за амплітуди непарних гармонік. Таким чином спектроакустична генерація коронного розряду промислової частоти може бути описана обов'язковим набором перших непарних гармонік із відповідною пропорцією значень амплітуд.

Отримані висновки дозволили створити програмно апаратну машину по розпізнаванню наявності коронного розряду.

Акустичне випромінення представили як функцію, яку розглядали як стаціонарний випадковий процес $\xi(t)$ з нульовим математичним очікуванням. Така функція має всі ознаки вузькосмугового процесу. Якщо вважати, що ширина полоси Δf тієї області частот, де спектральна щільність $S_{\xi}(f)$ практично відмінна від нуля, мала у порівнянні з деякою центральною частотою f_0 цієї області то:

$$S_{\xi}(f) \neq 0 \text{ при } f_0 - \Delta f/2 < f < f_0 + \Delta f/2, \Delta f \ll f_0, \quad (1)$$

де $S_{\xi}(f)$ – одностороння спектральна щільність; Δf – ширина полоси, що може бути знайдена.

В якості f_0 було прийнято математичне очікування нормованої спектральної щільності:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \left(\int_0^{\infty} S_{\xi} df \right)^{-1} \int_0^{\infty} f S_{\xi}(f) df. \quad (2)$$

За спектральної щільності на певних частотах було проведено моделювання отриманої функції, що дало змогу використовувати модель для програмування фрагменту розпізнавального блока програмного продукту.

Було проведено лабораторне випробування запропонованої методики. Заміри виконувалися групою приладів фіксуєчих акустичні коливання.

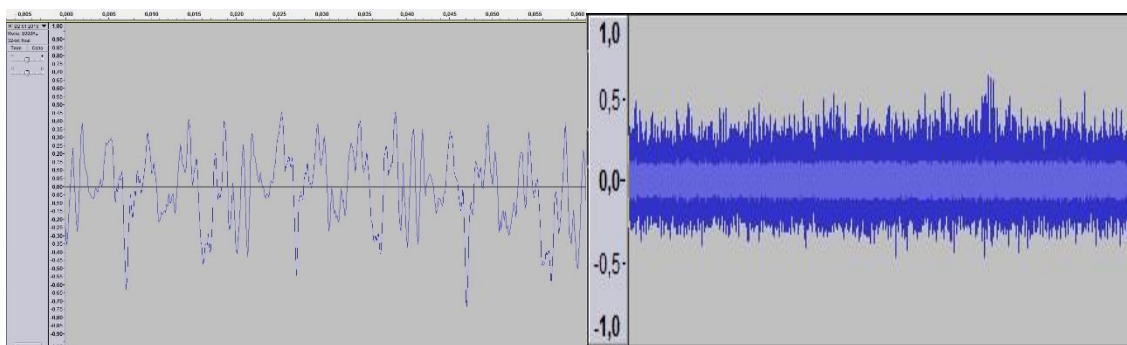


Рис. 4 – Акустичний фоновий шум приміщення (ліворуч), шум працюючої установки (праворуч)

Програмна реалізація методу була виконана в MATLAB. Отримані звукові файли попередньо обрізалися до необхідного розміру, в деяких випадках нормалізувалися (збільшували амплітуду за максимумами до 0 дБ), і оброблялися за допомогою програми. На рисунку 8-9 показані амплітудно-частотні криві акустичних коливань промислової установки без коронного розряду і з наявністю коронного розряду.

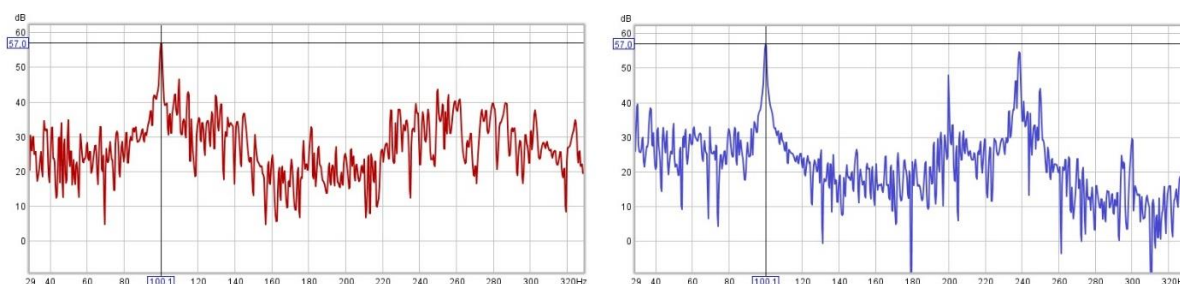


Рис. 5 – Частотний графік фоновому шуму промислової установки (ліворуч); частотний графік установки при наявності коронного розряду (праворуч)

Чим підтверджена можливість використання методу по виявленню коронного розряду на струмоведучих частинах електрообладнання за допомогою спектро-акустичного методу. Чи іншими словами на проміжку часу вимірів на обладнанні, що попадає в зону дії мікрофону є наявності коронного розряду. Але наявність коронного розряду вже свідчить і про погіршення якості. Виникає наступний крок в розширенні застосуванні методики – це використання цього методу в якості виявлення місць і локацій для проведення технічних заходів по недопущенню коронного розряду а відповідно і підвищенню якості електричного струму.

Метод дозволяє проводити дистанційну діагностику на наявність місць виникнення коронного розряду. Причому така діагностика може бути виконана в режимі безперервного спостереження.

Висновок: Запропонований метод спектроакустичного контролю є лабораторно підтвердженим. Такий метод дозволяє проводити виявлення коронного розряду на високовольтному обладнанні із гальванічною незалежністю. Метод дозволяє використовувати не дороге обладнання. Метод дозволяє проводити спостереження на наявність виникнення коронного розряду в безперервному режимі. Вважаємо метод перспективним і роботи по його розвитку продовжаться.

Список використаних джерел:

1. Онищенко, В.А., Самойленко, И.А., Гриб, О.Г., Жаркин, А.Ф., Васильченко, В.И., Ушаповский, К.В., Сендерович, Г.А., Светелик, А.Д., Кондратенко, К.И., Довгалюк, О.Н., Щербакова, П.Г., Захаренко, Н.С. (2013). *Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии*. ПП«Граф-Ікс».
2. Гриб, О.Г. (2014). *Качество электрической энергии. Том2. «Контроль качества электрической энергии»* ПП«Граф-Ікс».
3. Гриб, О.Г., Праховник, А.В., Тесик, Ю.Ф., Жаркін, А.Ф., Новський, В.О., Калінчик, В.П., Красінський, О.Л., Довгалюк, О.М., Светелік, О.Д. (2012). *Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії* ПП «Ранок-НТ».
4. Christo van der Walt (2016). *Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera* 15th, Published in Articles: EE Publishers <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html>.
5. Wallis, J. (2015). *Making the invisible visible: UVIRCO, an innovation success story*. In: The 5th CSIR conference, CSIR ICC, Pretoria, South Africa, 8-9 October.

6. Karady, G., Besztercey, G., Tuominen, M. (1999). *Corona caused deterioration of ADSS fiber-optic cables on high voltage lines*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 14, no. 4, pp. 1438-1447.

7. Christo van der Walt (2019). *Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera*, July 15th, Published in Articles: EE Publishers <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html>

8. Sokol, E.I., Grib, O.G., Shvets, S.V. *The structural and parametrical organization of elements of power supply system in the conditions of network centrism*. Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.2, pp 61-64. doi: 10/20998/2074-272X.2016.2.11.

8. Гриб, О.Г., Дем'яненко, Р.І., Карпалюк, І. Т. *Виявлення акустичних характеристик коронного розряду/ III Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019)»*. Збірник наукових праць. Харків: «Друкарня Мадрид», 75.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Сендеровичем Г.А.

АННОТАЦІЯ

Цель. Предлагается акустический метод диагностики наличия коронного разряда, то есть регистрация наличия коронного разряда выполнять по только ему присутствием спектра акустических колебаний.

Методика исследования. Для исследований применяется спектроакустичний метод розробтан на кафедре автоматизации и кибербезопасности энергосистем, построенный на акустических колебаниях которые создает коронный разряд.

Результаты исследования. Предложенный метод позволяет проводить дистанционную диагностику на наличие мест возникновения коронного разряда. Причем такая диагностика может быть выполнена в режиме непрерывного наблюдения.

Научная новизна. Выделено направление исследования параметров связанных с коронным разрядом. Проведена параллель коронный разряд - качество. Приведенные методы по определению наличия коронного разряда на токоведущих частях оборудования. Полученные частотные спектры позволили выявить набор линий присутствующих только коронном разряда.

Практическое значение. Метод позволяет проводить дистанционную диагностику на наружу ность мест возникновения коронного разряда. Причем такая диагностика может быть выполнена в режиме непрерывного наблюдения.

Ключевые слова: *качество электрической энергии, коронный разряд, частотные спектры, электрическая система, акустические колебания*

ABSTRACT

Objective. An acoustic method for diagnosing the presence of a corona discharge is proposed, ie the registration of the presence of a corona discharge is performed according to its own spectrum of acoustic oscillations.

Research methodology. The spectroacoustic method developed at the Department of Automation and Cybersecurity of Power Systems, which is based on acoustic oscillations generated by the corona discharge, is used for research.

Research results. The proposed method allows remote diagnostics for the presence of corona discharge. Moreover, such diagnostics can be performed in the mode of continuous monitoring.

Scientific novelty. The direction of research of parameters connected with the corona discharge is allocated. A parallel corona discharge - quality. Methods for determining the presence of a corona discharge on the conductive parts of the equipment are given. The obtained frequency spectra made it possible to detect a set of lines inherent only in the corona discharge.

Practical meaning. The method allows remote diagnostics for the presence of corona discharge. Moreover, such diagnostics can be performed in the mode of continuous monitoring.

Keywords: *electric energy quality, corona discharge, frequency spectra, electrical system, acoustic oscillations*