

# ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

УДК 620.9

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ЗА УМОВИ ЦИФРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Гриб О. Г.<sup>1</sup>, Крапалюк І. Т.<sup>1</sup>, Швець С. В.<sup>1</sup>, Рудевіч Н. В.<sup>1</sup>, Захаренко Н. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",  
<sup>2</sup>ДНВЗ "Приазовський державний технічний університет"

Запропоновано використання спектроакустичного моніторингу наявності коронного розряду як впливаючий фактор на якість електричної енергії, засобами потокового цифрового моніторингу.

**Постановка проблеми.** Використання цифрових засобів контролю і управління електричними мережами веління часу. З'явилося багато різних приладів що мають цифрове управління і ці прилади об'єднуються в цифрові системи, що трансформують енергетичну систему в дещо більше ніж система управління. З'являються такі методи управління, що можуть бути направлені на одержання не прямого ефекту, а наприклад ефекту зменшення викидів CO<sub>2</sub>. Така система управління має складне логічне підпорядкування і може бути можливою тільки за умови Smart систем. Але й система контролю і якості електричної енергії з часом зростають. Тому при зростанні вимоги по якості змінюються вимоги до джерел вироблення електричної енергії. Наприклад в Європі розроблені стратегічні плани по переходу до зеленої генерації в обсягах до 20% до 2020 року [1, 2].

Диференціація джерел вироблення електричної енергії призводить до значного зростання складності управління енергосистеми із підтриманням якісних показників. Виконати доволі жорсткі вимоги до якості електричної енергії можливо тільки із використанням розумних технологій. Але для цього мають бути розвинуті на новому рівні системи діагностики. Наприклад такі системи діагностики мають бути під'єднані до поточкових систем, що цілодобово знімають показники [3]. Відповідно до таких вимог на кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем було розроблено метод діагностики побудований на спектроакустичних засадах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями переходу енергетики до цифрового виміру займаються багато авторів-дослідників проблем електроенергетики. Такі як Гриб О. Г., Жаркін А. Ф., Roger N. Anderson, Saifur Rahman.

Так в [4] зазначається що системи Smart Grid використовують все більше різних джерел для обробки даних. І це пов'язано із появою новітніх апаратних систем в енергетиці. Але зростання обсягів малої генерації додала значних проблем навіть із використанням інтелектуального керування систем.

А забезпечення якості електричної енергії в таких умовах набуває ще й фінансової відповідальності. Тому роботи Сендеровича Г.А., Гриба О.Г., Жаркіна А.Ф., Шидловського А.К., щодо пошуку відповідального за погіршення якості набувають нового рівня актуальності.

Але проблеми якості можуть бути спричинені не тільки споживачами, але й засобами транспортування електричної енергії. Так на кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем звернули увагу на спотворення форми напруги коронними розрядами в лініях і на струмопровідному обладнанні електричних мереж. Перехід до цифрових систем не дозволяє змінити всі системи транспортування і перетворення електрики. Тому питання погіршення якості на існуючих системах транспорту електричної енергії остається вкрай актуальним.

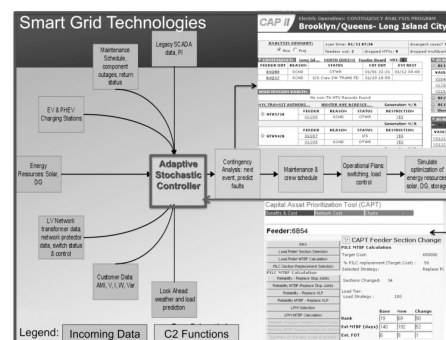


Рисунок 1 – Системи Smart Grid отримують все більше даних від різних джерел [4]

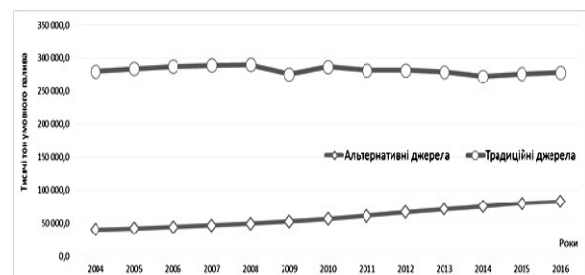


Рисунок 2 – Динаміка зростання обсягів генерації альтернативних джерел в Європі [2]

Найбільш зручним для діагностики коронного розряду на струмопровідних частинах системи вважаються методи опосередкованої діагностики. Тобто методи, що безпосередньо не вимірюють форму напруги для визначення коронного розряду. Такі прями методи мають декілька вад. Перша і найголовніша необхідно електричне під'єднання до струмоведучих частин. Тому опосередковане вимірювання і розгля-

дається як пріоритетніше. Ще одна перевага опосередкованого виміру це можливість проведення діагностики на відстані від об'єкта вимірювання. Ці методи побудовано на не електричній діагностиці. Для коронного розряду така діагностика побудована на вимірюванні побічного світлового випромінювання коронним розрядом і вимірювання величини температури внаслідок підігріву поверхонь [5]. Але такі методи мають деякі недоліки, що утруднюють використання зазначених методів. Тому на кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем було розроблено метод діагностики побудований на відмінних фізичних засадах а саме метод спектрально акустичної діагностики.

**Мета статті.** Пропонується запровадити спектрально акустичний метод для використання в потокових системах моніторингу технології Smart Grid. Тобто наявність коронного розряду фіксувати приладами широкого застосування такими як відео камери, в яких встановлено мікрофони. Таким чином кількість діагностичного обладнання значно збільшується, але збільшується охоплення обладнання.

**Основні матеріали.** На кафедрі Автоматизації та кібербезпеки енергосистем була розроблена методика діагностики коронного розряду за аналізом акустичного спектру. Було з'ясовано, що коронний розряд має свою власну акустичну характеристику. Тобто характерні звукові коливання притаманні тільки коронному розряду. На замірах виконаних на лабораторному обладнанні було отримано низку акустичних файлів для різних напруг на коронному розряді.

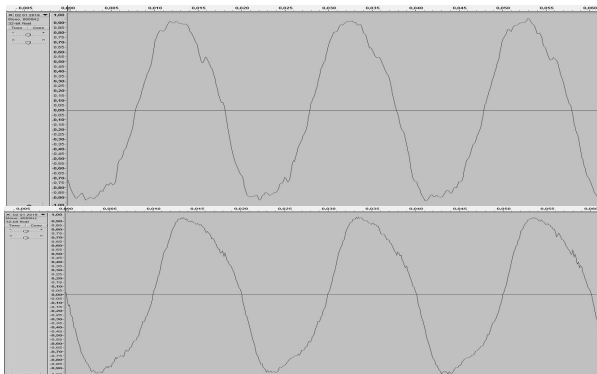


Рисунок 3 – Акустичні сигнали на різних напругах (зверху вниз) 30 кВ, 70 кВ (амплітуду нормовано)

При обробці цих акустичних файлів методом швидкого перетворення Фур'є. Були отримані графіки частотних залежностей для відповідних напруг.

Функцію розглядали як стаціонарний випадковий процес  $\xi(t)$  з нульовим математичним очікуванням бо така функція має всі ознаки вузькосмугового процесу. Якщо вважати, що ширина полоси  $\Delta f$  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;  
 $\Delta f$  – ширина полоси, що може бути знайдена.

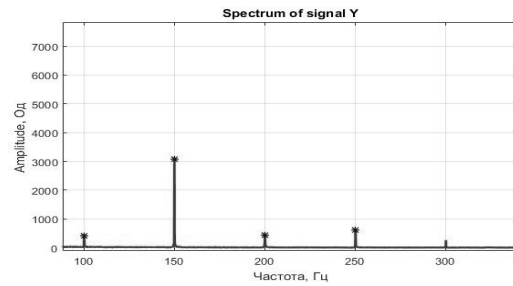


Рисунок 4 – Частотні спектри акустичного сигналу від корони 31 кВ

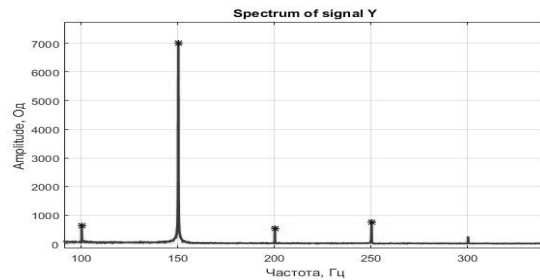


Рисунок 5 – Частотні спектри акустичного сигналу від корони 71 кВ

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 кодування в розпізнавальному блоці програмного продукту.

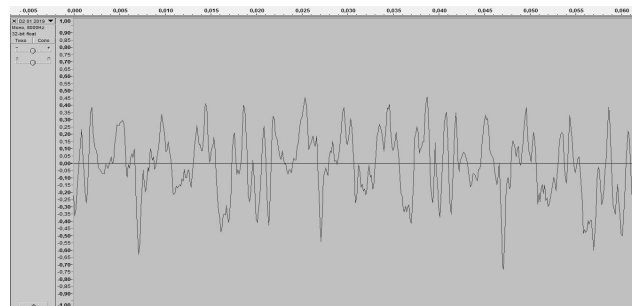


Рисунок 6 – Фоновий шум приміщення

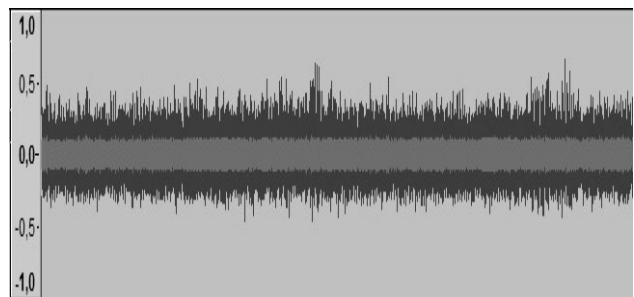


Рисунок 7 – Акустичний файл працюючої установки

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

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

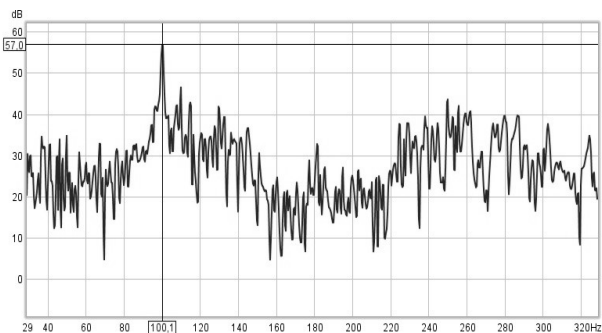


Рисунок 8 – Фоновий шум приміщення (частотний графік)

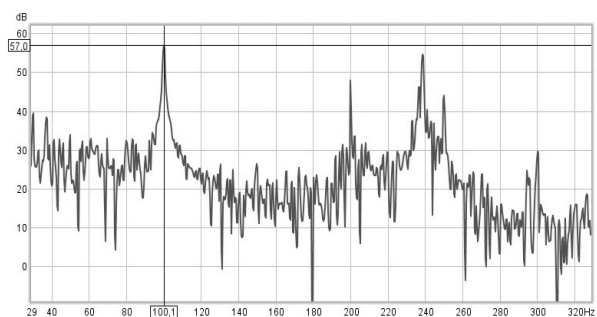


Рисунок 9 – Наявність частотного спектру що відповідний для коронного розряду

Чим підтверджена можливість використання алгоритму по виявленню коронного розряду на струмоведучих частинах електрообладнання. Тобто стає ймовірним визначення локацій із наявністю коронного розряду. Чи іншими словами визначення проміжку часу де на обладнанні, що попадає в зону дії мікрофону висока ймовірність наявності коронного розряду який слугує індикатором проблеми і ймовірне виникнення пошкодження обладнання. Але наявність коронного розряду вже свідчить про погіршення якості.

Виникає наступний крок в розширенні застосуванні методики – це використання цього методу в якості дефектоскопічного. Таким чином можливе проведення дистанційної діагностики на наявність місць де в подальшому можливе виникнення дугового розряду, що неодмінно призведе до руйнування обладнання.

**Висновки.** Запропонована методика спектроакустичного контролю дозволяє використовувати не тільки спеціальне дороге діагностичне обладнання, а й широко розповсюджені цифрові прилади, які можна застосовувати як прилади подвійної дії. Треба звернути увагу, що дороге спеціальне обладнання до того ще

потребує відповідного нагляду, який також не дешевий. Тобто запропонована методика при використанні в засобах цифрової енергетики дозволить значно розширити охоплення енергетичного обладнання яке не має спеціалізованого діагностичного обладнання, або доповнити його новими даними. Ще одна перевага запропонованого методу, це можливість проводити дистанційний довготривалий контроль стану обладнання із залученням існуючих технічних засобів, що значно здешевшує моніторинг.

#### Список використаних джерел

1. The Kyoto Protocol - Status of Ratification. URL: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>.
2. Energy from renewable sources. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
3. Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии: Монография / 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.; под ред. В. А. Онищенко. Харьков : ПП "Граф-Ікс", 2013. 329 с.
4. Anderson, Roger & Ghafurian, Reza & Gharavi, Hamid. (2018). Smart Grid The Future of the Electric Energy System.
5. Christo van der Walt "Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera", July 15th, 2016, Published in Articles: EE Publishers <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html> (Accessed 27 February 2019). (Eng)

#### Анотація

#### АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ НАЛИЧИЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Гриб О. Г., Карпалюк И. Т., Швец С. В., Рудевич Н. В., Захаренко Н. С.

*Предложена методика контроля наличия коронного разряда на электропроводящих элементах электрической сети способом акустического мониторинга.*

#### Abstract

#### ACOUSTIC DIAGNOSTIC METHOD OF CORONY DISCHARGE IN LINE OF ELECTRIC TRANSMISSIONS

O. Grib, I Karpaliuk, S. Shvets, N. Rudevich, N. Zaharenko

*A technique is proposed for monitoring the presence of a corona discharge on electrically conductive elements of an electric network using acoustic monitoring.*