

## ФАЗОРИ ТА ЇХ МОРФОМЕТРИЧНА ОЦІНКА

Коменда Т. І., Коменда Н. В., Давиденко Л. В.

Луцький національний технічний університет

*Здійснений огляд фазорів та порівняння їх параметрів з параметрами системи SCADA. Запропоноване використання морфометричного підходу для зменшення недоліків, що виникають при використанні PMU.*

**Постановка проблеми.** Нерівномірність навантаження негативно впливає на процес виробництва, передачі та розподілу електричної енергії. Вирівнювання є операцією, що повинна бути детально обгрунтованою, виваженою та спиратись на ретельний розрахунок та аналіз нерівномірності.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Актуальність даних досліджень постійно зростає внаслідок [1]:

- постійного збільшення попиту на електричну енергію;
- інтеграції та управління відновлюваними джерелами енергії;
- задач оптимального використання старіючих активів електроенергетичних систем;
- необхідності забезпечення надійності постачання електроенергії;
- необхідності енергетичної ефективності і безпеки;
- динамічної роботи систем електропостачання.

**Мета статті.** Дослідження, впровадження та постійне вдосконалення ряду систем, що здійснюють моніторинг, контроль та управління режимами роботи систем електропостачання, що включають всі ланки процесу генерації-передачі та розподілу і споживання електроенергії.

**Основні матеріали дослідження.** Здійснимо просте порівняння параметрів систем Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) та Phasor Measurement Unit (PMU).

Система SCADA контролює, оптимізує та управляє системами генерації та передачі електричної енергії. PMU – це пристрій для вимірювання форми електричної хвилі в електричній мережі з застосуванням спеціального джерела для синхронізації за часом. Синхронізація за часом дозволяє порівнювати виміри у реальному часі з різних частин мережі. Таке вимірювання відоме як синхрофазор або синхронізовані комплексні амплітуди. Власне пристрій вимірювання комплексних амплітуд може бути як окремим пристроєм, так і додатковим функціоналом пристрою релейного захисту або інших пристроїв електричних мереж. Результати порівняння запишемо в табл. 1.

Як видно з табл. 1, PMU надає набагато точнішу інформацію про форму графіка електроспоживання внаслідок більшої роздільної здатності та синхронізації з часом. Тому, PMU вважаються одними з найважливіших складових електричних мереж у майбутньому. Традиційні системи SCADA забезпечують статичні оцінки, отримані на основі розрахунків на основі моделі.

Таблиця 1 – Результати порівняння систем

Атрибут	SCADA	PMU
Роздільна здатність вимірювань	1 замір кожні 2-4 секунди	10-60 замірів в секунду
Заміри	Величина тільки	Величина і фазовий кут
Синхронізація часу	Ні	Так
Застосування	Локальний моніторинг і контроль	Глобальний моніторинг і контроль

З іншого боку, PMU забезпечує усвідомлення ситуації та динаміку сітки через фактичні підрядкові вимірювання. Наприклад, оцінки, побудовані за моделлю під час WECC Breakup 1996 (виходу західної електроенергетичної системи США з стабільного режиму роботи [2]), оцінили / передбачали сталий стан. Однак при використанні фазових вимірювань виявлено негативно ослаблені осциляції, що і стало причиною дестабілізації системи – рис. 1.

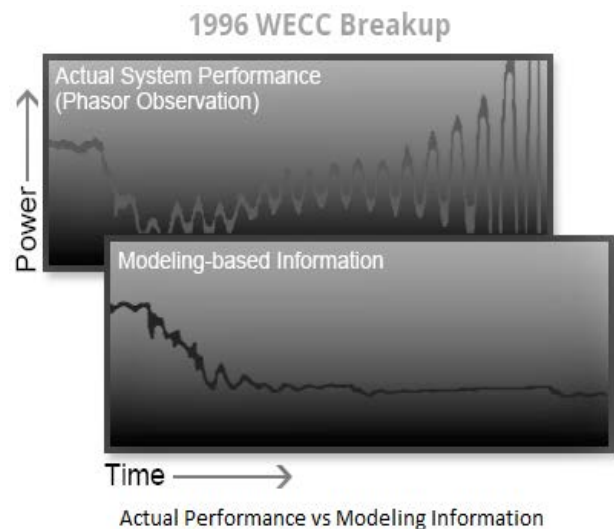


Рисунок 1 – Наявна поведінка та моделювання системи

## Фазори

Сигнал змінного струму може бути математично представлений рівнянням:

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

де  $X_m$  – амплітуда синусоїдального сигналу;

$\omega = 2\pi f$  – миттєва частота;

$\varphi$  – кутова відправна точка процесу.

У фазовому позначенні ця форма сигналу зазвичай представлена як:

$$\bar{X} = X_m \angle \varphi. \quad (2)$$

Вектор обертання, який використовується для опису схем змінного струму характеризується величинами 'Величина' та 'Фаза'. За визначенням вони обертаються проти годинникової стрілки, рис. 2.

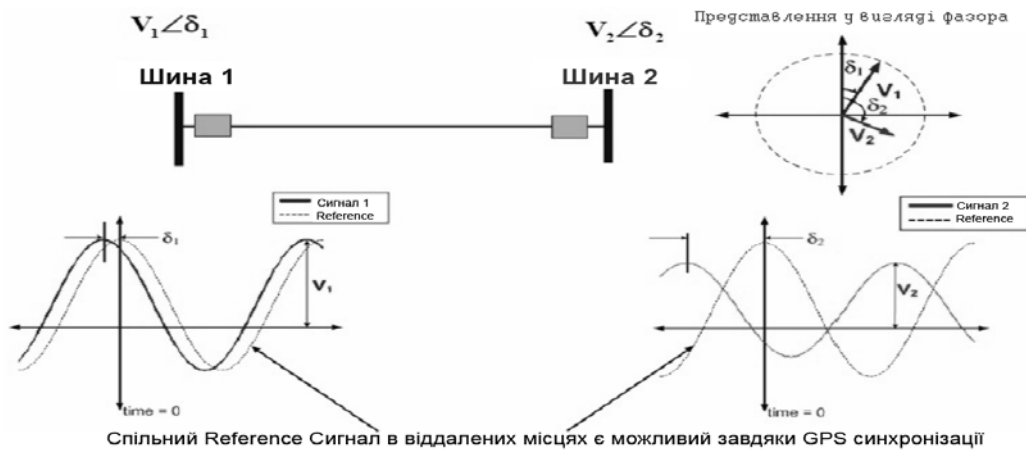


Рисунок 2 – Представлення сигналу у вигляді фазора

## PMU

• Синхрофазор – фазор, який накладається на надзвичайно точне посилання на час.

• В основному це твердотільне реле або цифровий реєстратор несправностей з годинником GPS.

• Синхронізовані фазери (синхрофазори) забезпечують вимірювання в реальному часі електричних величин по всій енергосистемі.

• Фазери, що містять результируючий час, можуть бути передані локальному або віддаленому приймачу з частотою до 60 зразків в секунду. Постійно вимірює напругу та інші ключові параметри і передає відмічені часом повідомлення.

Декілька встановлень PMU під'єднуються до концентраторів даних, які в свою чергу під'єднуються до концентраторів даних більш високого ієрархічного рівня, що в свою чергу під'єднуються до глобальної мережі контролю електроенергетичної системи в режимі реального часу [2].

### Концентратор даних фазерів (PDC):

• Вирівнює інформацію за часом, при отриманні вхідних повідомлень PMU з декількох вимірювальних приладів і надсилає агрегований синхронізований набір даних як єдиний потік даних.

• Архівує дані та обробляє інформацію.

• Обмінюється записами з іншими PDC через захищені канали зв'язку.

Глобальна мережа контролю електроенергетичної системи (RTDMS) дозволяє підключення спеціально розробленого програмного забезпечення на основі синхрофазора для забезпечення моніторингу в режимі реального часу ситуації в регіоні для операторів, пла-

нувальників та оперативних інженерів, а також можливість контролювати та аналізувати динаміку енергосистеми на основі замірів/обчислень:

• фазових кутових відмінностей (стрес мережі);

• стабільності малих сигналів (коливання та демпфування);

• нестабільності частоти;

• дисбаланс генерації та навантаження;

• чутливість співвідношення – Потужність/кут фаз;

• чутливість співвідношення - Потужність/напруга.

При всіх перевагах використання PMU, вони мають ряд недоліків, чи, можна сказати, породжують ряд задач, що необхідно вирішити для їх ефективного використання. Серед них:

• візуалізація даних PMU – важко візуалізувати та управляти великими обсягами даних;

• передача даних PMU – вимагається дорога мережа зв'язку;

• задача оптимального розміщення PMU в мережах;

• високі інвестиції;

• різні вимоги від комунальних та інших надавачів послуг;

• затримки зв'язку.

Частковому вирішенню вказаних проблем може сприяти модифікація фазора за допомогою морфометричного підходу.

Морфометрія є відомим інструментом аналізу форми фігур і широко використовується для аналізу нерівномірності форми в різних науках – медицині,

географії, матеріалознавстві [3-7]. Її застосування дозволяє отримати детальну оцінку форми, і, таким чином, досконало проаналізувати нерівномірність фазора.

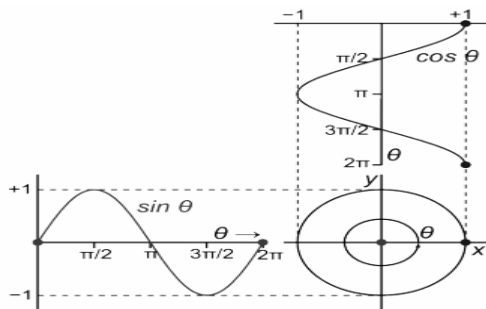


Рисунок 3 – Морфометрія фазора

Фігура фазора утворює замкнений багатокутник певної форми. Якщо сукупна форма сигналу відповідає синуса, то дана фігура є колом. Для оцінки форми фазора можливо використати морфометричні параметри  $M_1, M_2, M_3$

Округлість ( $M_1 = R_{\min}/R_{\max}$ ) детально характеризує нерівномірність. При великій нерівномірності ( $R_{\min} \ll R_{\max}$ )  $M_1 \rightarrow 0$ . Якщо  $R_{\min} \approx R_{\max}$ , то  $M_1 \rightarrow 1$ , і фазор є рівномірним.

Компактність ( $M_2 = 4 \cdot \pi \cdot S / \Pi^2$ ) визначається як відношення між площею ДРТ ( $S$ ) і квадратом її периметру ( $\Pi$ ). В умовах значної нерівномірності ДРТ величина  $\Pi$  значно зростає при фактично незмінній величині  $S$  і, відповідно,  $M_2 \rightarrow 0$ . При синусоїдному сигналі фазор є колом, для якого  $M_2 = 1$ .

Більш детальний опис та аналіз морфометричних показників наявний в роботах [3-5].

Основною перевагою морфометричного представлення фазора є те, що воно дозволяє в РМУ відповідні 10-60 замірів, що передаються на сервери для обробки одним значенням морфометричної оцінки та відповідної амплітуди синусоїдального сигналу.

$$X = (X_m; M_1) \vee (X_m; M_2). \quad (3)$$

**Висновки.** Внаслідок застосування морфометричної оцінки ми можемо усунути зазначені вище потенційні недоліки РМУ, табл. 2.

Таблиця 2 – Усунення потенціальних недоліків РМУ

Недолік РМУ	Вплив використання морфометричної оцінки
1	2
Важко візуалізувати та управляти великими обсягами даних	Обсяг даних зменшується в 60 разів

Продовження таблиці 2

1	2
Вимагається дорога мережа зв'язку та великі інвестиції	Внаслідок значного зменшення кількості даних, зменшуються вимоги до передачі інформації в режимі реального часу
Затримки зв'язку	Обсяг передачі даних відчутно зменшується, що частково усуває дану проблему

#### Список використаних джерел

1. Kajjam D. Phasor Measurement Unit or Synchrophasors [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// best.eng.buffalo .edu/Teaching/EE611/Phasor Measurement\\_ Unit. pdf](http://best.eng.buffalo.edu/Teaching/EE611/PhasorMeasurement_Unit.pdf)
2. Real Time Dynamics Monitoring System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https:// www.electricpowergroup.net/epg\\_products/rtdms/default.aspx](https://www.electricpowergroup.net/epg_products/rtdms/default.aspx)
3. Komenda T. Morphometrical analysis of daily load graphs / T. Komenda, N. Komenda // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Volume 42, Issue 1, November, 2012. – P. 721-727.
4. Коменда Н. В. Морфометрична класифікація графіків електричного навантаження промислових підприємств / Н. В. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 1. – С. 67-70.
5. Коменда Н. В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфометричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда, О. Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2010. – № 27. – С. 22-26.

#### Анотація

#### ФАЗОРЫ И ИХ МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Коменда Т. И., Коменда Н. В., Давыденко Л. В.

*Проведенный обзор фазоров и сравнение их параметров с параметрами системы SCADA. Предложено использование морфометрического подхода для уменьшения недостатков, возникающих при использовании РМУ.*

#### Abstract

#### PHASORS AND THEIR MORPHOMETRIC ESTIMATION

T. Komenda, N. Komenda, L. Davydenko

*An overview of the phasors and comparison of their parameters with parameters of SCADA systems is carried out. The morphometric approach is proposed to reduce the disadvantages of using them.*