

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ДАНИМИ СИНХРОНІЗОВАНИХ ВИМІРІВ

**Д.Г. БЕКЯН<sup>1</sup>**, *магістрант*  
E-mail: [denys.bekian@kname.edu.ua](mailto:denys.bekian@kname.edu.ua)

**В.О. ПЕРЕПЕЧЕНИЙ<sup>1</sup>**, *канд. техн. наук, доцент*  
*доцент кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст*

<sup>1)</sup> *Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова 17, м. Харків, Україна 61002*

На сьогоднішній день для світової електроенергетики загалом та електроенергетики України зокрема характерна тенденція трьох «Д»:

- децентралізація;
- декарбонізація;
- діджиталізація (цифровізація).

Це пов'язано з бурхливим розвитком інформаційних технологій, усвідомленням необхідності переходу на чистіші, екологічні, відновлювані джерела електроенергії та неминучим переходом від централізованої архітектури побудови електроенергетичної системи з невеликою кількістю великих центрів вироблення електроенергії до децентралізованої системи, що об'єднує велику кількість малих електростанцій зі сто . Об'єднання цих електростанцій в єдину енергосистему є досить складним технічним завданням, яке вимагає оснащення існуючих електричних мереж не тільки якісно новими засобами вимірювань, а й абсолютно нових технологій обробки цих вимірювань та вироблення керуючих рішень.

Кінцевою метою є створення такої енергетичної мережі, в якій підключення нових джерел енергії та споживачів буде такою самою простою дією, як підключення до Інтернету.

Реалізація цього завдання потребує значної модернізації вимірювальних систем та систем управління, на що вказують численні дослідження. Така модернізація неможлива без впровадження інноваційних технологій, що бурхливо розвиваються останніми роками. Однією з таких перспективних технологій є технологія синхронізованих векторних вимірювань. Під терміном «синхронізовані векторні вимірювання» слід розуміти сукупність векторних та скалярних параметрів електроенергетичного режиму, виміряних у заданому обсязі, із заданою дискретизацією однозначно визначені моменти часу, синхронізовані за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем.

Ця технологія вже багато років успішно застосовується в мережах, що передають, забезпечуючи ряд переваг у порівнянні з традиційними вимірювальними системами, серед яких:

- можливість аналізу аварійних подій та виявлення їх причин;
- діагностика поточного стану електроустаткування;

- локалізація місць пошкодження електрообладнання з високою точністю;
- зниження втрат електроенергії за рахунок більш ефективного управління системою на основі більш повної інформації про її стан;
- моніторинг та аналіз показників якості електроенергії.

Сучасний стан науки, техніки та виробничих потужностей у галузі мікроелектроніки та телекомунікацій дозволяють впровадити цю технологію і в розподільчих мережах (РМ). Однак можна виділити такі основні обмеження, що перешкоджають впровадженню:

1. Недостатня розвиненість нормативно-технічної бази. Відсутність відповідних вимог у існуючих стандартах на вимірювальне обладнання не стимулює виробників в умовах жорсткої конкуренції випускати продукцію з більш широкими можливостями, що призводять навіть до незначного збільшення її вартості.

2. Обмеження, що накладаються недостатньою пропускнуною спроможністю наявних каналів передачі зв'язку. Впровадження технології неможливе без модернізації існуючих каналів зв'язку.

3. У РМ струми і напруги, порівняно з мережами, що передають, мають набагато більший коефіцієнт несинусоїдності, що призводить до необхідності використання векторних вимірювань не тільки основної гармоніки, але і гармонік вищого порядку.

Сучасний стан науки та техніки дозволяє в короткий термін налагодити виробництво інноваційної продукції з незначним збільшенням вартості кінцевого продукту.

Аналіз світового досвіду показує, що технологія синхронізованих векторних вимірювань у РМ на сьогоднішній день знаходиться на стадії експериментального впровадження окремих пілотних енергооб'єктів. Однак існує безліч досліджень, присвячених перспективам її впровадження в РМ. Незважаючи на те, що вже сьогодні є пристрої, що серійно випускаються, широкомасштабного поширення технологія синхронізованих векторних вимірювань в РМ поки не отримала.

Основні ключові завдання, які необхідно реалізувати для повноцінного впровадження технології синхронізованих вимірів у РМ, є:

- модернізація існуючої нормативно-правової бази;
- проведення науково-дослідних та проектних робіт на пілотних об'єктах;
- переорієнтація наявних виробничих потужностей, що випускають вимірювальні системи на нову продукцію;
- модернізація технічної бази енергетичних компаній.

На сьогоднішній день завдяки поступовому впровадженню сучасних цифрових технологій у РМ спостерігається тенденція щорічного незначного зниження втрат електроенергії. Проте у деяких регіонах проблема високих фактичних втрат залишається не вирішеною. Згідно з річним звітом за 2020 рік, рівень фактичних втрат електроенергії становив 23,23%. Крім того, як і раніше залишається проблема низькою ой спостерігальності та керованості РМ.

Причинами є такі фактори:

1. Людський чинник.

Однією з проблем, пов'язаних з впровадженням та експлуатацією існуючих систем моніторингу та управління в РМ, є високий рівень трудовитрат на первинне введення інформації про схему мережі, її топологію та прив'язку розташування вимірювальних пристроїв до моделі мережі. Первинне введення інформації, крім високої вартості та часу впровадження автоматизованих систем, потенційно має високу ймовірність помилки та неточність роботи системи, пов'язану з людським фактором.

Використання синхронізованих вимірювань створює якісно новий фундамент для розвитку алгоритмів та методик автоматичної верифікації топології мережі та прив'язки вимірювальних пристроїв. Це дозволить знизити величину фактичних втрат електроенергії, значну частку яких займають так звані нетехнічні втрати, тобто втрати, пов'язані з людським фактором і похибками системи обліку електроенергії.

## 2. Техніко-методологічний чинник.

Другою причиною високих втрат електроенергії є недостатня ефективність використання обладнання електроенергетичних систем, спричинена спрощеними алгоритмами керування через наявні технічні обмеження вимірювального обладнання. В алгоритмах оптимального управління використовуються математичні моделі елементів мережі на основі паспортних даних. Водночас у процесі експлуатації параметри елементів мережі неминуче змінюються. Використання традиційних вимірювальних систем не дозволяє відстежувати поточні параметри електрообладнання. Впровадження синхронізованих вимірів створює передумови для значного вдосконалення алгоритмів управління за рахунок використання більш точної інформації про стан та параметри електрообладнання та прогнозів режимів його роботи.

Однією з вимог застосування технології синхронізованих вимірів в РМ є наявність високоточної прив'язки до загального опорного часу. У мережах, що мають значну географічну довжину, в якості такого часу виступають сигнали глобальних навігаційних систем. У РМ, зважаючи на значно меншу географічну протяжність, можуть використовуватися простіші та дешевші технології синхронізації вимірювань.

З результатами аналізу існуючих методів оцінювання стану розподільчих електричних мереж можна зробити висновки:

1. Розглянуто питання актуальності впровадження технології синхронізованих вимірів у РМ. Технологія синхронізованих вимірювань багато років успішно застосовується в мережах передачі, забезпечуючи ряд переваг у порівнянні з традиційними вимірювальними системами. Одним із ключових бар'єрів на шляху широкомасштабного впровадження технології синхронізованих вимірювань у РМ є їхня висока вартість, викликана в тому числі застосуванням супутникових навігаційних систем для синхронізації вимірювань.

2. Показано, що на сьогоднішній день існує безліч альтернативних методів і технологій синхронізації вимірювань, що мають нижчу вартість порівняно з застосовуваними для цих цілей супутниковими системами, що передають у мережах. Це з значно меншою географічною протяжністю РМ проти

передавальними. До таких технологій можна віднести синхронізацію за допомогою радіосигналу, локально-обчислювальних мереж, а також за частотою та фазою напруги силової мережі.

3. Безперервний розвиток електроніки та засобів телекомунікацій дозволяє спрогнозувати широке впровадження в середньостроковій перспективі технології синхронізованих вимірювань не тільки в передаючих, а й у РМ, що дозволить перевести процес управління електричними мережами на якісно вищий рівень.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ferrari, P. Synchronization of the probes of a distributed instrument for realtime ethernet networks / P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli et al. // 2007 IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication. – Vienna, 2007. – P. 33–40.

2. IEC 61588. International standard. IEEE Std 1588 Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. – IEEE, 2020. – 504p.

3. Glenn, K. N. NIST Time and Frequency Radio Stations: WWV, WWVH, and WWVB / K. N. Glenn, A. L. Michael, T. O. Dean // National Institute of Standards and Technology Special Publication 250-67. – 2020. – 160 p.

4. Elsayed, A. A. Distribution Grid Phasor Estimation and  $\mu$ PMU Modeling / A. A. Elsayed, M. A. Mohamed, M. A. Nayel // 2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE). – Trivandrum, 2022. – P. 1–8.