

В. О. Комар¹
Ю. В. Семенюк^{1,2}
С. В. Підгорець³

КОНТРОЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЗА ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОКАЗНИКОМ ЯКОСТІ

¹Вінницький національний технічний університет
²Міжнародна організація з міграції, представництво в Україні
³ТОВ «Українські технологічні продукти»

Сучасний рівень електрифікації зумовлює підвищення вимог до якості електропостачання, тому все більшої актуальності набувають задачі раціональної організації експлуатації і управління функціонуванням та розвитком електроенергетичних систем. Розв'язання цих задач ускладнюється інтенсивним впровадженням відновлювальних джерел енергії. Особливо це стосується розподільних електричних мережах, які в наслідок своїх особливостей є непристосованими до появи нестабільних джерел енергії в наслідок відсутності достатнього рівня автоматизації мереж.

В роботі на основі аналізу проблем забезпечення якісного електропостачання в умовах інтенсивної розбудови відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та визначених засобами кваліметрії характеристик електричних мереж, які є істотними для забезпечення якісного електропостачання, запропоновано застосовувати для оцінювання якості функціонування електричних мереж інтегральної характеристики їх готовності до виконання визначених задач з електропостачання. Це сприятиме розробленню узагальнених рішень та стратегії розвитку мереж, особливо коли мова йде про розбудову ВДЕ та інтелектуалізацію електричних мереж. Складові інтегрального показника визначаються як імовірність відповідності фактичного режиму «ідеальному». «Ідеальний» режим визначається, виходячи з принципу найменшої дії і відповідає заступній схемі мережі, сформованій за r -схемою. Визначений таким чином базис дозволяє знизити суб'єктивність як оцінки так і прийнятих, на основі неї, рішень.

Показано, що запропонований підхід у визначенні інтегрального показника якості функціонування електричної мережі дозволяє не лише аналізувати готовність існуючих мереж, а й враховувати індивідуальні вподобання споживачів під час розв'язання проектних задач.

Показано методику переходу від відносних оцінок складових якості функціонування до вартісних з подальшим переходом до техніко-економічного розрахунку. Це дозволяє визначити напрямки для подальшого планування заходів з метою підвищення рівня якості функціонування електричних мереж та електропостачання споживачів.

Ключові слова: інтелектуалізація електричних мереж, відновлювані джерела енергії, надійність електропостачання, втрати електричної енергії, якість електроенергії, енергоефективність.

Вступ

Якість електропостачання характеризується рівнем надійності (безперервності) електропостачання, економічністю надання послуг з передачі, розподілу та постачання електричної енергії, а також якістю електричної енергії. На сьогодні розподільні електричні мережі практично вичерпали резерв пропускної спроможності, мають низький рівень автоматизації, дистанційне керування обмежене застосуванням застарілого обладнання. Ця ситуація ускладнюється невпорядкованою розбудовою відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що часто негативно впливає на якість електропостачання. В цих умовах, під час планування розвитку ВДЕ в електричних мережах, розглядається два варіанти. Перший – розбудова ВДЕ без суттєвих змін в схемі електричної мережі та без оновлення її електрообладнання, інший – розвиток генерування в електричній мережі з одночасною її реконструкцією і модернізацією в тому числі з впровадження їх інтелектуалізації. Враховуючи нинішній технічний стан обладнання мереж, доцільнішим є другий варіант. Розвиваючись за цим варіантом, одночасно з покращанням технічного стану електричної мережі можна збільшувати установлену потужність ВДЕ до значень, які відповідають сонячному потенціалу, гідро- та вітроресурсу регіону. Тоді як за першим варіантом допустиму установлену потужність ВДЕ суттєво обмежує пропускна здатність елементів електричної мережі. Для прийняття рішення щодо вибору варіанта розвитку необхідно оцінити поточний стан функціональної готовності електричних мереж для забезпечення якісного електропостачання.

Результати дослідження

Для оцінювання рівня якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії робиться спроба використати класичні підходи кваліметрії [1]. Для цього використано метод розгортання функції якості (Quality Function Deployment). Цей метод об'єднує в собі декілька підходів і дозволяє зробити перехід від побажань потенційних споживачів мати якісний продукт до проектування технологічного процесу отримання цього продукту. Застосування математичного апарату кваліметрії дозволяє визначити множину параметрів, вплив на які може забезпечити необхідний рівень якості електропостачання. Однак, багатовекторність отриманого результату ускладнює розробку узагальнених рішень та стратегії розвитку мереж, особливо коли мова йде про розбудову ВДЕ. Тому доцільним є розроблення інтегрального показника якості функціонування електричних мереж з ВДЕ, що дозволить перейти від векторної задачі оцінювання функціональної готовності необхідного рівня якості електропостачання до скалярної [2]. Це узагальнює характеристику якості функціонування електричної мережі і дозволяє порівнювати варіанти розвитку мережі з ВДЕ за укрупненими параметрами. Якість функціонування системи електропостачання при цьому розбивається на декілька характерних складових та виділяються її суттєві властивості, а впливи інших несуттєвих враховуються у параметричній формі. Тобто, використовується метод макромодельовання, коли описуються лише зовнішні характеристики електричної мережі, поданої у вигляді складної динамічної системи з багатьма входами та виходами, у вигляді математичних співвідношень [3, 4].

В роботах [5, 6] якість функціонування технічної системи визначається за виразом:

$$E = \sum_{\forall s} (\Phi_s H_s), \quad (1)$$

де H_s – імовірність стану s ; Φ_s – імовірність того, що система в цьому стані функціонує.

В такій формі якість функціонування системи складається з суми її станів, які характеризують її працездатність і можуть відрізнитися за повнотою відповідності стану, нормальному за параметрами. Такий підхід може бути застосований для оцінювання якості функціонування електричної мережі з ВДЕ, оскільки для параметрів режиму мережі встановлюються допустимі межі їх відхилення від номінальних. Наприклад, напруга на шинах споживачів може змінюватися в межах $\pm 5\%$ від номінального значення Уном, так само допускаються відхилення за частотою. Таким чином, в межах допустимого стани електричної мережі є робочими, проте вони відрізняються за балансною та структурною надійністю, якістю електроенергії та економічністю.

Метою статті є розроблення інтегрального показника якості функціонування електричних мереж для вибору оптимального їх розвитку за критерієм максимальної енергоефективності як складових надійності, мінімуму втрат електроенергії та відповідної якості електроенергії.

Висновки

Нові економічні умови в електроенергетиці зумовлюють підвищення вимог до забезпечення якості електропостачання. Оскільки основним чинником забезпечення необхідного рівня якості електропостачання є функціональна готовність електричних мереж, тобто їхня якість функціонування, то постає задача розроблення стратегії з розвитку як електричних мереж, так і джерел електричної енергії в них.

Функціональну готовність електричних мереж можна оцінити за показником якості функціонування, що залежить від надійності, економічності та якості електричної енергії. Для однозначного розв'язку задачі оцінювання якості функціонування, яка є векторною, запропоновано метод визначення інтегрального показника, що дозволяє звести задачу оцінювання якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії до однопараметричної. Для цього виконано поєднання теорії марковських процесів та теорії подібності.

Оцінювання інтегрального показника якості функціонування електричної мережі здійснюється шляхом порівняння фактичних режимів з «ідеальним». Такий підхід дозволяє здійснювати порівняння різних варіантів систем передачі та розподілу електроенергії без визначення їх техніко-економічних показників.

Використання «ідеального» режиму, який відповідає економічному розподілу струму в електричній мережі за r-схемою як базового дозволяє отримати єдину методологічну базу для визначення складових інтегрального показника якості функціонування і уникнути суб'єктивності під час порівняння різних за конфігурацією та набором потужностей локальних електричних систем.

Запропонований інтегральний показник якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії відповідає загальним вимогам, які ставляться до таких показників: відображає об'єктивну реальність; дозволяє оцінити ефективність, якість та оптимальність; забезпечує можливість фізичного та абстрактного тлумачення; відображає «крайні» стани системи з урахуванням потенційно та реально можливих; легко розкладається на часткові показники тощо. Крім цього запропонований підхід дозволяє оцінювання здійснювати шляхом аналізу струмів і напруг у вузлах мережі, що на етапі створення Smart Grid дозволяє використовувати інформацію АСКОЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Akae, Yoji (1994). "Development History of Quality Function Deployment". The Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Minato, Tokyo: Asian Productivity Organization. ISBN 92-833-1121-3.
- [2] Кузьмін І. В. Критерії оцінки ефективності, якості та оптимальності складних систем // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – №1. – 1994. – С. 5–9.
- [3] Матвійчук Я.М. Математичне моделювання динамічних систем: теорія та практика. Наукове видання. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2000. – 236 с.
- [4] Стахів П.Г., Козак Ю.Я., Гоголюк О.П. Дискретне макромодельовання в електротехніці та суміжній областях. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 260 с.
- [5] Лежнюк П. Д., Комар В. О., Сікорська О. В. Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж: Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2023. 195 с.
- [6] Кузнецов В. Г., Шполянський О. Г., Яремчук Н. А. Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 3. – С. 46–52.

Комар Вячеслав Олександрович – д.т.н., завідувач кафедри електричних станцій та систем, e-mail: kvo1976@ukr.net

Семенюк Юрій Васильович – аспірант кафедри електричних станцій та систем, e-mail: 1e14b.semenyuk@gmail.com

Підгорець Сергій Володимирович – заступник директора ТОВ «Українські технологічні продукти», e-mail: pidgorets123@gmail.com

V. Komar¹
Y. Semeniuk^{1,2}
S. Pidhorets³

Monitoring the efficiency of activities related to the formation of smart grids based on an integrated quality indicator

¹Vinnitsia National Technical University

²International Organisation for Migration, Mission in Ukraine

³ LLC «Ukrainian Technological Products»

The current level of electrification necessitates higher standards for electricity supply quality, highlighting the importance of the efficient organization, operation, and management of electricity systems. Addressing these challenges has become more complex with the increased integration of renewable energy sources (RES). This is particularly relevant for distribution power grids, which, due to their structural characteristics, are generally not adapted to accommodate fluctuating energy sources owing to insufficient network automation.

This paper presents an approach based on an integral metric to evaluate the readiness of power grids to meet specific electricity supply requirements. The proposed metric is derived from an analysis of electricity supply quality within the context of accelerated RES development and power grid characteristics critical to quality performance. Such a metric is valuable for forming general strategies and solutions for grid development, particularly with respect to RES integration and the intellectualization of power systems. The integral indicator components are expressed as the probability that the operational mode aligns with an 'ideal' mode.

This «Ideal» mode is determined using the least-impact principle and corresponds to a substitute network scheme based on the r-scheme, thereby reducing subjectivity in assessments and subsequent decision-making.

It is demonstrated that this approach to defining the integral indicator of power grid performance quality enables not only an assessment of current grid readiness but also consideration of specific consumer preferences in design decisions. The methodology outlined here details a progression from relative performance evaluations of grid components to cost assessments, ultimately allowing for technical and economic analyses. This approach facilitates targeted planning for measures aimed at improving grid performance quality and the reliability of power supply to consumers.

Viacheslav KOMAR - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Power Plants and Systems, e-mail: kvo1976@ukr.net

Yurii SEMENIUK - PhD student at the Department of Power Plants and Systems, e-mail: 1e14b.semenyuk@gmail.com

Serhii PIDHORETS - Deputy Director of LLC «Ukrainian Technological Products», e-mail: pidgorets123@gmail.com