

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Собчук Д. С.

Луцький національний технічний університет

На основі аналізу поширених показників балансової і режимної надійності пропонується розроблення додаткових показників, оскільки існуючі не дозволяють характеризувати вплив розосередженого генерування на роботу електромережі.

Постановка проблеми. Відновлювальна енергетика, має перевагу, порівняно з традиційною енергетикою [1–4]. Проте у разі зростання в електричних мережах (ЕМ) частки енергосистем встановлених потужностей розосереджених джерел електроенергії, проходить ускладнення функціонування електричних мереж. У зв'язку з тим, що електричні мережі енергосистем проектувалися за умов централізованого електропостачання, розбудова в них розосереджених джерел енергії (РДЕ) породжує деякі проблеми. Це виникає, через природну залежність їх нестабільного генерування від стану навколишнього середовища. Тому виникає необхідність узгодження електропостачання РДЕ і підстанцій електроенергетичної системи (ЕЕС). Розбудова електроенергетики, базувалася на технологіях пов'язаних з використанням органічного палива, що призвело до зростання негативного впливу на екологію. Усвідомлення цього стало причиною інтенсивного пошуку нових технологій виробництва електричної енергії, при чому основним критерієм було зниження забруднення на світове довкілля.

Починаючи з 2005 року в світі суттєво зросли капіталовкладення у розвиток відновлювальної енергетики [1 – 3]. В планах країн Євросоюзу до 2020 року довести використання відновлюваних джерел енергії до 20% загального обсягу енергоринку. Україна не залишилась осторонь світових тенденцій. Наразі, в Україні також зростає частка альтернативних видів енергії. Сьогодні, спостерігається інтенсивна розбудова відновлюваних джерел енергії, які під'єднуються до електроенергетичної системи, що призводить до поступового переходу від централізованого електропостачання, основою якої є потужні ТЕС і АЕС, до комбінованої моделі, коли частину електроенергії виробляють альтернативні джерела.

Наявність розосередженого генерування в електричних мережах сприяє підвищенню надійності електропостачання. Проте очевидним є необхідність узгодженого електропостачання споживачів від альтернативних джерел енергії і підстанцій електроенергетичної системи. Надійність та якість електропостачання залежить також від потужності РДЕ та місця їх під'єднання до електричної мережі. Щодо узгодженого підтримування балансу потужності в електричній мережі засобами централізованого і розосередженого генерування, а також електроспоживачів як активних учасників цього процесу. Ця задача може бути розв'язана за допомогою SMART GRID технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розбудова відновлюваних джерел електроенергії (ВДЕ)

має як позитивні так і негативні наслідки для функціонування електроенергетичних систем як України так і інших країн світу. Питанням проектування та експлуатації джерел відновлювальної енергетики присвячено багато робіт вчених з Японії, Англії, Німеччини, Франції та інших країн. Слід відмітити також роботи науковців України. [4–7].

Однією з причин, яка ускладнює інтеграцію ВДЕ в електроенергетичну систему, є спрямованість споруджуваних електричних мереж на централізоване електропостачання. Інтенсивна розбудова в них розосереджених джерел електроенергії, яка призводить до зростання частки ВДЕ в загальному балансі електроенергії, породжує нові нехарактерні для минулого періоду проблеми і задачі [7].

Мета статті. Пропонується здійснити оцінювання впливу розосередженого генерування, зокрема відновлюваних джерел електроенергії, на надійність розподільних електричних мереж. Однак наявність оцінених показників за окремими складовими не дозволяє дати загальну оцінку надійності розподільних електричних мереж (РЕМ). Тому необхідно, шляхом вдосконалення існуючих методів в отриманні інтегральних показників, розробити підхід, за яким можна було б дати узагальнену характеристику впливу відновлюваних джерел електроенергії на надійність РЕМ [8,9].

Основні матеріали дослідження. Оскільки розподільні електричні мережі відносяться до таких складних систем, для яких, особливо за ринкових умов, не достатньо характеристики відмови в функціонуванні тільки у формі "все або нічого", то необхідно оцінювати показник якості функціонування, який дозволить дати характеристику здатності РЕМ виконувати функції з надійного та якісного електропостачання. Оскільки в розподільних електричних мережах, особливо за наявності розосередженого генерування, має місце певна надлишковість, то відмови де-яких (або навіть багатьох) елементів призводить лише до часткового обмеження можливостей з надійного і якісного електропостачання, тобто має місце певне зниження ефективності їх функціонування. Поява в РЕМ додаткових джерел електроенергії (малі ГЕС, СЕС, ВЕС, тощо), очевидно, вплине на надійність електропостачання. Однак зміни в електроенергетиці, пов'язані з впровадженням ринкових відносин та розосередженого генерування, потребують уточнення термінології, на основі чого можна виконати декомпозицію задачі оцінювання надійності розподільних електричних мереж в сучасних умовах.

В ринкових умовах визначальним під час оцінювання надійності є споживач. При цьому надійність самого об'єкту енергетики, яка оцінюється вартісними показниками (затратами на її забезпечення, вартості ремонтів пошкодженого обладнання, тощо), стає ніби внутрішньою справою постачальника електроенергії і послуг. На основі аналізу літературних джерел в роботі запропоновано розширити терміни в області надійності розподільних електричних мереж. Так, в залежності від системи допускень та обмежень, а також від використовуваного математичного апарату задача розрахунку надійності умовно може бути розділена на три групи, які характеризують надійність РЕМ: структурна (схемна), режимна (функціональна) і балансова надійності (див. рис. 1).

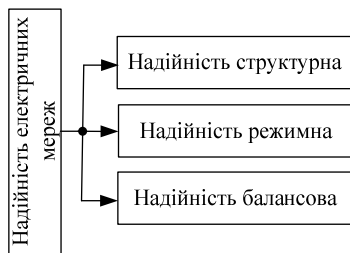


Рисунок 1 – Класифікація надійності електричних систем

Під структурною надійністю розуміється надійність об'єкту, коли розрахункова модель визначається схемою електричних з'єднань; під режимною надійністю розуміється надійність об'єкта, коли розрахункова модель враховує режими завантаження (функціонування) елементів об'єкту (режимна надійність може бути статичною, якщо йдеться про усталені або тривалі після аварійні режими, і динамічною, якщо йдеться про перехідні процеси); під балансовою надійністю розуміється надійність об'єкту, коли розрахункова модель визначається балансом виробництва і споживання електроенергії без врахування обмежень з її передачі. Відповідно до визначень режимної та балансової надійності можна однозначно оцінити вплив на них розподіленого генерування і, зокрема, ВДЕ. Практика впровадження в РЕМ ВДЕ без достатнього аналізу та обґрунтування вказує на можливість ряду негативних впливів останніх на режим електричної мережі. Це стосується погіршення якості напруги у вузлах приєднання електроспоживачів, рівнів несинусоїдності, зростання втрат електроенергії. Ці проблеми особливо постають, коли рівні приєднаних потужностей ВДЕ перевищують потужності споживачів. Відомі підходи для визначення доцільної потужності приєднаних ВДЕ не можливо використовувати, оскільки вони не дозволяють врахувати невідповідність графіків генерування і споживання електроенергії. Через необхідність врахування значної кількості різних показників, що характеризують всі сторони функціонування розподільних електричних мереж ви-

никає необхідність у визначенні інтегрального показника якості функціонування. Як зазначалось у [6] загальні вимоги, яким повинен відповідати такий показник є: відображення об'єктивної реальності; оцінювання ефективності, якості і оптимальності; можливість фізичного тлумачення; можливість обчислення, хоча б з допомогою ЕОМ; нормування і відображення "крайніх" станів системи з врахуванням потенційно і реально можливих; повинен бути узагальнюючим; повинен розкладатись на частинні показники; допомагати приймати рішення на основі досвіду і інтуїції.

Для розв'язання поставленої задачі, візьмем метод марковського аналізу. Основна його перевага в тому, що є можливість отримати комплексну оцінку надійності розподільних електричних мереж, зв'язавши структурну, режимну і балансову надійності в один показник – якість функціонування. Припущення, які використовуються під час побудови моделей, не ведуть до значних похибок якщо моделюється період нормальної роботи елементів електричної мережі [9].

Що б врахувати зміну параметрів в моделі якості функціонування розподільних електричних систем та характеристик її елементів поєднаємо теорію марковських процесів та теорію критеріального методу. Крім того модель може бути придатною для використання її під час отримання та реалізації результатів оптимальних розрахунків. Як зазначалось в [6] такі можливості властиві моделі побудованій за критеріальним методом.

В роботах [10-12] показана можливість застосування теорії марковських процесів в поєднанні з критеріальним методом, заснованим на теорії подібності. Таке поєднання, яке ґрунтується на аналогії між системою рівнянь Колмогорова і системою рівнянь ортогональності і нормування критеріального програмування, дозволяє отримати відносно не складну модель показника якості функціонування складної системи

В результаті таких перетворень отримуємо критеріальна модель такого виду:

$$d_*(p_*) = \prod_{i=1}^m \frac{p_i^{p_i}}{p_{0i}^{p_{0i}}}, \quad (1)$$

де p_{0i}, p_i – значення імовірності знаходження системи на початку експлуатації і після останнього тестування її стану.

Зв'язок між станами можна записати в такому виді:

$$p_i = p_{0i} \cdot \frac{\prod_{j=1}^n x_{*j}^{\alpha_{ji}}}{y_*(x)}$$

де $y_*(x)$ – техніко-економічний показник функціонування системи приведений до "ідеально" системи;

x_{*j} – коефіцієнт, що характеризує основні властивості системи у відповідному стані;

n – кількість робочих станів досліджуваної системи.

За отриманою критеріальною моделлю якості функціонування можна оцінити реальний стан системи по відношенню до "ідеально" системи. На рисунку 1 побудовані відношення $d_*(P_*)$. Звичайно таких відношень можна побудувати m (кількість станів), але достатньо побудувати одну відносно імовірності стану, в якому перебуває системи в даний час. Використовуючи отримані результати можна визначити показник якості функціонування.. Інтегральний показник якості функціонування системи визначається як площа S_i , яка обмежена кривою

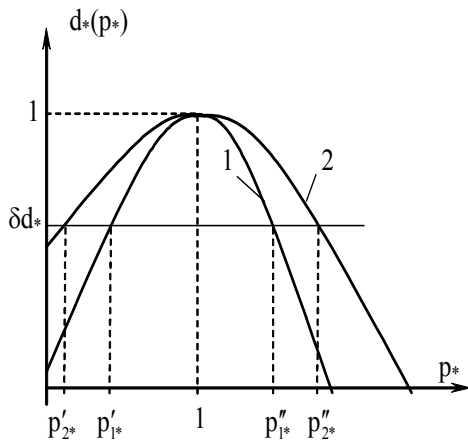


Рисунок 2 – Функція якості системи в двох станах

$d_* = f(p_*)$ і прямою $d_* = \delta d_*$:

$$S_i = \int_{p_{*j}''}^{p_{*j}''} (d_{*i}(p_{*j})) dp - \int_{p_{*j}''}^{p_{*j}''} (\delta d_*) dp \quad (2)$$

Значення δd_* відповідає межі якості функціонування системи, за якою вона не придатна до виконання своїх функцій або виконує їх з точністю, яка не відповідає вимогам по визначенню вихідного ефекту.

Чим більше значення критерію якості, тим вища функціональна готовність системи. Крім цього, якщо провести аналіз величин S_i , змінюючи незалежні змінні (імовірність перебування системи в робочих станах), то можна зробити висновок щодо стратегії подальшого розвитку або перспектив проектування нових систем.

Побудована критеріальна модель якості функціонування розширює можливості під час визначення стану та рівня готовності систем, що функціонують, без врахування економічних показників за критерієм максимуму знаходження в станах задовільної підготовленості системи до виконання своїх функцій.

Аналіз критеріальної моделі якості функціонування дозволяє порівнювати схожі системи не визначаючи техніко-економічних показників. Окрім цього дозволяє розробити економічно доцільну стратегію відновлюваних робіт за станом системи.

Для розподільної електричної мережі вираз (2) може бути приведений до виду поліному

$$f(x_*) = \sum_{i=1}^m p_i \prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ij}} \quad (3)$$

де p_i – критерій подібності, який у даному випадку є ймовірністю перебування системи в стані);

$\prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ij}}$ – показник якості функціонування системи в стані i ;

x_{*j} – коефіцієнт, що характеризує основні властивості системи у відповідному стані;

v_{ij} – елементи матриці v , яка є матрицею інтенсивності переходів системи з одного стану в інший;

m – кількість можливих станів досліджуваної системи;

n – кількість робочих станів досліджуваної системи.

Використовуючи цей підхід можна виконати декомпозицію задачі оцінювання надійності РЕМ з відновлюваними джерелами. Декомпозицію проведемо у кілька етапів. На першому етапі на основі аналізу структурної надійності розподільної електричної мережі необхідно побудувати граф можливих станів (див. рис. 2), в яких може перебувати РЕМ в залежності від стану її елементів (робочі/відмовили). На цьому етапі не враховується вплив ВДЕ на режимну та балансову надійність.

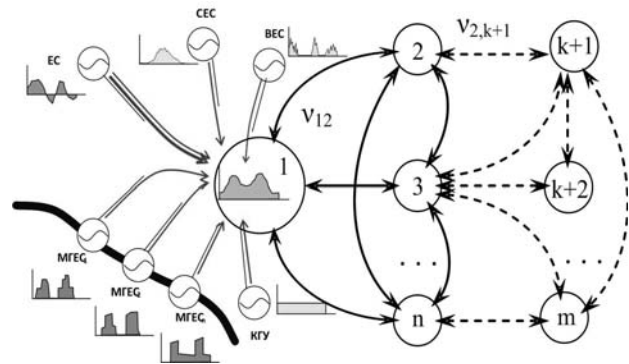


Рисунок 2 – Графічна інтерпретація оцінювання комплексного показника якості функціонування розподільної електричної мережі

На другому етапі для кожного робочого стану виконується розрахунок усталеного режиму, за результатами якого проводимо аналіз балансової і режимної надійності. Відповідно до проведеного аналізу для кожного робочого стану визначається показник якості функціонування системи в певному стані i . Цей показник він визначається за виразом:

$$\Phi_i = \prod_{j=1}^n k_{*j}^{v_{ij}}$$

де k_{*j} – коефіцієнт якості, який характеризує

режимну та балансову надійність в певному стані РЕМ в умовах розбудови ВДЕ. Коефіцієнт якості $k_y = f(k_{зб}, k_n, p_{\Delta P})$ є функцією коефіцієнта забезпечення балансу – $k_{зб}$, коефіцієнта якості наруги – k_n і коефіцієнта втрат – $p_{\Delta P}$, як складової, що має безпосередній вплив на режимну і балансову надійність.

З врахуванням цього (3) переписується:

$$E = \sum_{i=1}^m P_i \prod_{j=1}^n k_{y_j}^{v_{ij}}. \quad (4)$$

Показник якості функціонування РЕМ з ВДЕ, визначений за (2, 4), дозволяє кількісно оцінити відносну готовність розподільних електричних мереж виконувати свої функції з якісного та надійного електропостачання споживачів в порівнянні до "ідеальної" розподільної електричної мережі [11-12].

Висновки. Для оцінювання впливу РДЕ на надійність розподільних електричних мереж необхідно визначити показники ефективності, які будуть характеризувати режимну і балансову надійність (див. рис. 2), для кожного з станів, можливих для розподільної мережі, і використовуючи (4) визначити комплексний показник якості функціонування. За величиною показника якості функціонування, який може приймати значення від 1 до 0, можна оцінити вплив РДЕ і ВДЕ функціонування розподільних електричних мереж.

Список використаної літератури

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник [і ін.]. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
2. V. Mahdad, K. Srairi and T. Bouktir. Optimal Coordination And Penetration Of Distributed Generation With Shunt Facts Using Ga/Fuzzy Rules // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2009. – Vol. 4. – № 1. – P. 1-12.
3. Буцьо З. Ю. Мала гідроенергетика: світовий досвід і перспективи розвитку в Україні / З. Ю. Буцьо, Л. М. Луцьок, О. В. Гаврюк // Електропанорама. – 2011. – №6. – С. 47–51.
4. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. 2011. – №1. – С. 46 – 53.
5. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Ч. 1. – 2011. – С. 48–55. – ISSN 1727-9895.
6. Лежнюк П. Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 108 с.

7. Лежнюк П. Д. Оцінювання впливу на якість функціонування локальної електричної системи відновлюваних джерел електроенергії / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Д. С. Собчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 141. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України. Харків: ХНТУСГ, 2013. – С. 8–10. – ISBN 5-7987-0176X

8. В. Г. Китушин. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы : Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 256 с.

9. Основы моделирования сложных систем / Под ред. И. В. Кузьмина. – К.: Вища школа, 1981. – 360 с.

10. Комар В. О. Узагальнена техніко-економічна оцінка ефективності реконструкції розподільних електричних мереж / В. О. Комар, А. Л. Поліщук // Вісник Львівського національного технічного університету. – №666. – 2010. – с. 47-52.

11. Собчук Д. С. Використання нетрадиційних джерел енергії (НДЕ) в електроенергетичних системах для підвищення надійності та якості електропостачання / Д. С. Собчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Випуск 40. Луцьк, 2013. – С. 261–265.

12. Lezhniuk P. D. Method for determination of optimal installed capacity of renewable sources of energy by the criterion of minimum losses of active power in distribution system / P. D. Lezhniuk, V. A. Komar, D. S. Sobchuk // Energy and Power Engineering. Vol.6 №3. 2014 – P. 37–46. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.4236/epe.2014.63005>.

Аннотация

КОМПЛЕКСНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Собчук Д. С.

На основе анализа применяемых показателей балансовой и режимной надежности предлагается разработка дополнительных показателей, поскольку существующие не позволяют характеризовать влияние рассредоточенного генерирования на работу электросети.

Abstract

INTEGRATED ASSESSMENT OF RELIABILITY DISTRIBUTION NETWORK WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

D. Sobchuk

The analysis of commonly used indicators of balance and safety regime proposed development of additional indicators as existing not to characterize the impact of dispersed generation on the functioning of power grid.