

Некоторые вопросы повышения эффективности метода решения задачи определения оптимальных мест установки и мощности рассредоточенной генерации

Внедрение рассредоточенной генерации в электрические сети обусловлено значительными преимуществами этих установок над традиционными электростанциями. Но наряду со многими преимуществами возникает много проблем, значительную часть которых можно решить, если выполнить оптимальное размещение источников рассредоточенной генерации в электрических сетях. В работе [3] разработан метод решения задачи определения оптимальных мест установки и мощности распределенной генерации в электрических сетях с использованием статистических испытаний Монте-Карло, который учитывает особенности электрических сетей Украины. Эта статья посвящена анализу эффективности работы предложенного метода. Определен уровень эффективности работы начальной модификации метода. Исследовано влияние количества шагов изменения мощности источника РГ в диапазоне от минимальной к максимальной мощности и собственно диапазонов мощности РГ на эффективность работы предложенного метода. Библ. 4, рис. 2, табл. 2.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, рассредоточенная генерация, метод Монте-Карло, оптимизация.

I.S. Goncharenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Some problems of the efficiency improvement of the method for determination of the optimal placement and capacity of distributed generation

Implementation of distributed generation (DG) sources into the power grid is conditioned by the significant advantages of these plants versus traditional power plants. There are some problems along with the many advantages. Considerable part of these problems can be solved if optimal placement of DG sources in power grids is performed. Method for determination of the optimal placement and capacity of distributed generation has been developed in the previous article [2]. Created method uses Monte Carlo simulations and considers special aspects of the Ukrainian power grids. Current article analyses efficiency level of the proposed method. Efficiency level is the amount of necessary computations that provides optimal solution with some assumptions. Studied the influence of the DG power steps amount alteration and DG power ranges on the proposed method efficiency. Adequate amount of the DG power steps has been chosen. A new K_2 criterion has been used to determine DG power ranges. Criterion K_2 helps to evaluate DG power that can be connected to a specific bus of a power grid without any compensators. References 4, figures 2, tables 2.

Key words: renewable energy sources, distributed generation, Monte-Carlo method, optimization.

Надійшла 26.05.2015

Received 26.05.2015

УДК 621.311

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ ТА ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛА РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

О.С. Губатюк, асп.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна
e-mail: oksanagubatuyk@i.ua

Розглянуто існуючі методи оптимізації пошуку місця та потужності джерела розподіленої генерації. Представлена модель пошуку потужності та місця встановлення джерела розподіленої генерації, яка складається з трьох етапів. На першому етапі на основі мінімізації втрат потужності в мережі визначається оптимальна потужність джерела. На другому етапі відбувається пошук вузла підключення джерела (з оптимальною величиною потужності) на основі аналізу сенсорності вузлів електричної мережі. На третьому – остаточне уточнення вузлів з джерелами розподіленої генерації шляхом мінімізації повних втрат для сенсорних вузлів. Бібл. 9.

Ключові слова: розподілена генерація, втрати потужності, оптимальне розміщення, сенсорність вузлів, рівень напруги.

Вступ. Необхідним етапом на шляху створення та розвитку *SMART Grid's* технологій в Україні для покращення показників якості електроенергії, надійності та розвитку електричних мереж є впровадження джерел розподіленої генерації (РГ). Децентралізація енергопостачання за допомогою РГ дасть змогу диверсифікувати джерела енергії.

Досвід розвинених країн показав, що при введенні РГ доводиться вирішувати специфічні для неї завдання. До них належать і задачі оптимального розміщення потужностей джерел РГ, ґрунтуючись не лише на кліматичних факторах, а і на режимних параметрах.

Оскільки Україна перебуває на початковому етапі введення РГ, то є можливість комплексно розв'язувати задачу розміщення та експлуатації РГ.

Введення джерел РГ без виконання відповідного аналізу параметрів електричної мережі може призвести до збільшення втрат енергії в мережі, збільшення витрат і, як наслідок, до негативного ефекту. Таким чином, використання оптимізаційного методу, який здатний надати найкраще рішення для конкретної розподільної мережі, може бути корисним при вирішенні проблеми розвитку енергосистеми за допомогою джерел РГ. Пошук місця встановлення та величини потужності РГ може бути виконаний, виходячи з критерію покращення одного або декількох параметрів електричної мережі. Вирішення цих завдань має ряд специфічних особливостей, однією з яких є цілочисельність (номінальна потужність блоків може бути обраною тільки відповідно до модельного ряду обладнання). Ще однією особливістю є велика складність завдання, оскільки при пошуку мінімуму цільової функції доводиться перебирати безліч комбінацій: потужності, точок підключення, перетинів ліній електропередач та ін. Але сама цільова функція в такого роду завданнях може мати декілька локальних мінімумів, що ускладнює застосування традиційних методів оптимізації.

Аналіз існуючих методів оптимізації пошуку місця та потужності РГ. За останні десятиліття багато авторів на заміну традиційним методам оптимізації (лінійному програмуванню, симплекс методу, методу множників Лагранжа, квадратичному програмуванню і т.д.) запропонували наближені методи, у тому числі евристичні підходи та штучні нейронні мережі. Евристичні методи можна розглядати як прості процедури, які забезпечують прийнятний, але не обов'язково оптимальний розв'язок, для великої сукупності задач. «Метаевристичні» методи – це узагальнені евристичні методи, що можуть бути застосовані до широкого спектра проблем, потребуючих кількох змінних, які необхідно адаптувати до конкретного випадку.

Використовуючи генетичний алгоритм, у роботі [9] представлено довгострокову динамічну модель багатоцільового планування для розширення розподільної мережі з нетрадиційними джерелами енергії. Оптимізація втрат відбувається шляхом визначення оптимальних розмірів, місць розташування та динаміки інвестицій у блоки розподіленої генерації, а також враховується термін їх окупності.

У роботі [7] розглянуто проблему пошуку місця встановлення РГ як для одиничного джерела, так і для декількох, використовуючи генетичний алгоритм для мінімізації потоку активної потужності по ділянках мережі. У роботі [5] поєднано два методи пошуку розміщення джерел з суміщенням генетичного алгоритму та імітаційного метаевристичного методу відбору. Автори роботи [6] застосували алгоритм табу пошуку (локального пошуку) для одночасного пошуку місця встановлення джерела РГ зі встановленням у мережі джерела реактивної потужності. Для цього було визначено мінімум цільової функції, що складається з суми загальної вартості втрат активної потужності, завантаженості ліній електропередачі та вартості додаткових джерел реактивної потужності. У роботі [4] запропоновано метод оптимізації на основі «колонії мурах» як засіб вирішення пошуку місць та потужності РГ. Для цього методу цільова функція мінімізувалась виходячи із загальної вартості мережі.

На цей момент завдання вибору місця установки і потужності локального джерела енергії вирішується за допомогою як аналітичних, так і евристичних методів. Зокрема, застосування генетичного алгоритму показало свою ефективність для великих розподільних систем, у тому числі й субоптимальних рішень, при порівнянні з методом перебору можливих варіантів [3]. При цьому одним з основних критеріїв при виборі потужності локального джерела є мінімум втрат при приєднанні до i -ї шини розподільної системи, а місце установки визначається як шина, на якій втрати при підключенні джерела оптимальної потужності будуть мінімальними. Для пошуку оптимального рішення також враховуються такі умови: нормоване відхилення напруги на шинах та струм у лініях.

Виходячи з аналізу існуючих методик як основних функцій, за допомогою яких визначають оптимальне місце розміщення РГ з точки зору покращення техніко-економічних показників електричної мережі, розглядають залежність сумарних втрат електроенергії та рівнів напруги у вузлах електричної мережі від параметрів режиму до та після встановлення джерела РГ.

Аналізуючи розподільні мережі, їхні режими роботи та параметри, можна визначити, що в таких мережах доцільно встановлювати декілька невеликих джерел РГ, причому сполучення

місць та потужності можуть бути різноманітні. Число можливих комбінацій з ускладненням конфігурації мережі та розширенням модельного ряду генераторів зростає експоненціально.

Задача оптимізації розміщення джерел РГ є багатоцільовою з великою кількістю змінних керування (у загальному випадку це кількість, потужність, тип та місця розміщення РГ), до того ж частина змінних є аналоговими (значення струмів, потужностей, довжини ділянок), а частина – дискретними (коефіцієнти трансформації трансформаторів, положення комутаційних апаратів).

Модель пошуку оптимальної потужності та місця встановлення джерела РГ. Мета роботи – розробка методу визначення оптимального місця та потужності введення джерел РГ. Функцію мінімізації повних втрат потужності в мережі при введенні джерела РГ представимо як

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (\Delta P_{\Sigma} + \Delta Q_{\Sigma}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де ΔS_{Σ} – повні втрати потужності в мережі, МВА; ΔP_{Σ} – активна складова повних втрат потужності, МВт; ΔQ_{Σ} – реактивна складова втрат потужності, Мвар.

Задачу пошуку місця встановлення та потужності джерела РГ розділено на декілька етапів. На першому етапі визначаємо оптимальну потужність джерела РГ. Для кожного окремого вузла зі збільшенням потужності РГ відбувається поступове зменшення втрат потужності, яке спостерігається до величини оптимального значення [2]. При подальшому збільшенні потужності джерела РГ (понад оптимальне значення) відбувається зростання втрат. Визначимо оптимальне значення потужності джерела РГ виходячи із мінімальних повних втрат потужності в мережі на основі відомих методик [2, 8]:

$$P_{P_{Gi}} = P_{ni} + \frac{1}{\alpha_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} [\alpha_{ij} P_j - b_{ij} Q_j]; \quad Q_{P_{Gi}} = Q_{ni} + \frac{1}{c_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i} [c_{ij} Q_j - d_{ij} P_j],$$

де P_{ni}, Q_{ni} – активна та реактивна складові потужності навантаження i -го вузла мережі;

$\alpha_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}$ – коефіцієнти функції втрат, $\alpha_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$; $b_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$;

$c_{ij} = \frac{X_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j)$; $d_{ij} = \frac{X_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$, де $V_i, V_j, \delta_i, \delta_j$ – модулі напруг та фазові кути зсуву

відповідно в i - та j -му вузлах; R_{ij}, X_{ij} – активний та реактивний опори ділянки.

Визначивши оптимальну потужність джерела РГ, переходимо до другого етапу – визначення місця (вузла) підключення джерела РГ. Для цього використаємо метод сенсорних вузлів. Дослідження сенсорності вузлів – це один з напрямків структурного аналізу електроенергетичних систем, які використовують оцінку реакції напруги вузлів на зміну навантажень у них. Вузли зі значними змінами напруги на одиницю потужності навантаження називають сенсорними; а вузли з найменшими змінами напруги – жорсткими. Саме сенсорні та жорсткі вузли є найбільш інформативними, а їх реакція на зміну навантаження – показовою.

Для визначення сенсорних та жорстких вузлів скористаємось способом на основі сингулярного аналізу оберненої матриці Якобі. Для цього виконаємо розклад матриці на ортогональні матриці W та V :

$$\begin{pmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{pmatrix} = J^{-1} \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix} = (W \Sigma V^T)^{-1} \begin{pmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{pmatrix}, \quad \text{де } \Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{2n}) \text{ – діагональна матриця сингулярних значень.}$$

Сенсорність фаз $s_{\delta i}$ та модулів $s_{U i}$ вузлових напруг для схеми з n -вузлів визначають та-

кими сумами: $s_{\delta i} = \sum_{j=1}^{2n} \frac{v_{ij} w_{ij}^T}{\sigma_j}, i = 1, \dots, n$; $s_{U i} = \sum_{j=1}^{2n} \frac{v_{ij} w_{ij}^T}{\sigma_j}, i = n + 1, \dots, 2n$.

Таким чином, установивши місця та кількість сенсорних вузлів, переходимо до наступного етапу пошуку місця встановлення джерела РГ, виходячи з мінімізації сумарних втрат потужності (1) для визначених сенсорних вузлів. При необхідності балансування (споживання та генерації) реактивної потужності при мінімальній зміні режиму вузла за напругою слід розміщувати засоби компенсації реактивної потужності у жорстких вузлах.

Висновок. Незважаючи на багаточисленні дослідження цієї проблеми в різних країнах, вона не є повністю вирішеною, і на сьогодні не має єдиної методики визначення потуж-

ності та місця підключення джерела розподіленої генерації. У повному обсязі отримати переваги від введення розосередженого генерування можливо лише при виборі відповідного методу пошуку оптимальних місць під'єднання та потужності генерування відновлюваних джерел розподіленої генерації.

У запропонованому методі визначення потужності джерела розподіленої генерації виконується при мінімальних втратах повної потужності в мережі. Вузол розміщення джерела розподіленої генерації визначається виходячи з його сенсорності при мінімізації втрат потужності.

На практиці вибір найкращого місця встановлення джерела РГ не завжди є можливим через низку проблем. Тому запропоновані етапи методу можуть бути використані окремо. Зокрема, для відомої потужності джерела розподіленої генерації можливо визначити оптимальне місце або сумарні втрати в мережі.

1. *Лежнюк П.Д., Кравчук С.В.* Оптимізація схем під'єднання нетрадиційних і відновлюваних джерел електроенергії в електричних мережах // Вісн. Чернігівського держ. технол. ун-ту. – 2013. – №2 (65). – С. 168–173.
2. *Чечушков Д.А., Паниковская Т.Ю., Бунькова Е.А.* Метод оптимального розміщення источников распределенной генерации для повышения надежности электроснабжения // Промышленная электроника. – 2014. – № 9. – С. 17–21.
3. *Deependra Singh, Devender Singh, K.S. Verma* Multiobjective Optimization for DG Planning With Load Models // IEEE Transactions on Power Systems. – 2009. – Vol.24. – No. 1.
4. *Falaghi H, Haghifam M.* ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution networks // IEEE Lausanne Power Tech. – 2008. – No.5. – P. 555–560.
5. *Gandomkar M, Vakilian M, Ehsan M.* A combination of genetic algorithm and simulated annealing for optimal DG allocation in distribution networks // Canadian conference on electrical and computer engineering, Sakaatoon. – 2005. – P. 645–648.
6. *Golshan M, Arefifar SA.* Optimal allocation of distributed generation and reactive sources considering tap positions of voltage regulators as control variables // European Transactions on Electrical Power. – 2007. – Vol.17. – P. 219–239.
7. *Haesen E, Espinoza M.* Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms // Electrical Power Quality and Utilisation Journal. – 2005. – Vol.1. – No. 1. – P. 97–104.
8. *Jegadeesan M., Keerthana V.* Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2014. – Vol.3. – P. 358–364.
9. *Soroudi A, Ehsan M, Zareipour H.* A practical eco-environmental distribution network planning model including fuel cells and non-renewable distributed energy resources // Renewable Energy. – 2011. – Vol.36(1). – P. 179–188.

УДК 621.311

О.С. Губатюк, асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина

Определение оптимального места и мощности источника распределенной генерации

Рассмотрены существующие методы оптимизации поиска места и мощности источника распределенной генерации. Представлена модель поиска мощности и места установки источника распределенной генерации, которая состоит из трех этапов. На первом этапе на основе минимизации потерь мощности в сети определяется оптимальная мощность источника. На втором этапе происходит поиск узла подключения этого источника (с оптимальной величиной мощности) на основе анализа сенсорности узлов электрической сети. На третьем – окончательное уточнение узлов с источниками распределенной генерации путем минимизации полных потерь для сенсорных узлов. Библ. 9.

Ключевые слова: распределенная генерация, потери мощности, оптимальное размещение, сенсорность узлов, уровень напряжения.

O.S. Gubatyuk

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», Peremohy, 37, 03056, Ukraine

Optimization of the location and power source of the distributed generation

The existing methods for search optimization the place and the power source of distributed generation. In the article presents search model power and the place of installation of distributed generation source, which consists of three stages. In the first stage determined the optimum power source, which is based on the minimization of power losses in the network. At the second stage, identify the connection node of the source (with an optimal power value) basing on the analysis of the electrical nodes sensors. On the third – the final specification nodes with distributed generation by minimizing the total losses for the sensor nodes. References 9.

Key words: distributed generation, power loss, optimal placement, sensor nodes, the voltage level.

Надійшла 26.05.2015

Received 26.05.2015