

УДК 621.311

В. О. КОМАР (канд. техн. наук, доц.), **Н. В. ОСТРА** (канд. техн. наук), **О. В. КУЗЬМИК**,
С. В. ГУЦОЛ

Вінницький національний технічний університет

kvo76@mail.ru

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ НА РЕЖИМ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

В статті запропоновано метод визначення оптимальної потужності джерела енергії, що підключається в певному вузлі розподільної мережі, за критерієм мінімуму втрат активної потужності. Він ґрунтується на аналізі економічного розподілу потоків потужності в мережі шляхом оцінки коефіцієнтів струморозподілу.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, розосереджене генерування, втрати активної потужності, коефіцієнти струморозподілу.

В енергетичному балансі розвинутих держав світу достатньо інтенсивно зростає відсоток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1], схожа тенденція, останнім часом, має місце і в Україні [2]. Оскільки ВДЕ розміщуються біля споживачів, то можна говорити про перехід від централізованого електропостачання до розосередженого. Такий перехід має як свої позитивні сторони так і негативні [3]:

- розвиток розосередженої генерації розвантажує як основну, так і розподільну мережу, що сприяє зниженню втрат електричної енергії, підвищенню надійності й стійкості ЕЕС і вносить додаткові можливості в реалізацію ринків електроенергії, звільняючи пропускні здатності зв'язків;

- неоднозначний вплив розосередженої генерації на якість електроенергії за рівнями напруг та за генерацією вищих гармонік у систему;

- підключення джерел розосередженої генерації до розподільної мережі збільшує струми короткого замикання, що вимагає заміни комутаційних апаратів, зміни настроювань захистів та ін.;

- поява розосередженої генерації ускладнює диспетчерське керування ЕЕС, зміщаючи його функції на розподільну мережу. Проблема при цьому полягає у високій невизначеності режимів роботи малої генерації внаслідок нерівномірності завантаження агрегатів, відсутності поточної інформації про їхню роботу й ін.

За рахунок державного стимулювання розвитку ВДЕ достатньо часто виникає ситуація, коли їх потужність зростає настільки, що замість зниження рівня втрат в розподільній мережі відбувається їх зростання. Тому постає задача оцінювання впливу розосередженого генерування на рівень втрат електричної енергії в розподільних мережах. На основі виконаної оцінки можна обґрунтувати межі розбудови вже існуючих джерел розосередженого генерування і підібрати місце підключення нового джерела з певною проектною потужністю. **Метою статті** є розроблення методу, за яким можна виконати оцінку оптимальної, з огляду на втрати електричної енергії, потужності ВДЕ, яке підключається в певній точці мережі.

Поява додаткових джерел в розподільних електричних мережах призвела до того, що розглядати їх потрібно не як магістрально-радіальні, а як мережі з двохстороннім живленням. Тому для досягнення поставленої мети необхідно виконати аналіз розподілу потоків потужності в мережі. Використовуючи результати досліджень [4] для розв'язання задачі оптимального розподілу потоків потужності, з допущенням про відсутність перетоків реактивної потужності та реактивних складових схеми заміщення елементів мережі, можна отримати в матричній формі залежність для перетоків активних потужностей в вітках

$$P_B = -\frac{U_{\text{ном}}^2}{2} R_B^{-1} M^T \lambda; \quad (1)$$

де R_B – діагональна матриця активних опорів віток; M – перша матриця з'єднань; λ – вектор невизначених множників Лагранжа; $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі.

Невизначені множники Лагранжа визначаються за співвідношенням

$$\lambda = -\frac{2}{U_{\text{ном}}^2} G_y^{-1} P; \quad (2)$$

де $G_y = MR_B^{-1} M^T$ – матриця вузлових активних провідностей; P – вектор активних потужностей у вузлах схеми.

Підставимо (2) в (1) і отримаємо

$$P_B = R_B^{-1} M^T G_y^{-1} P.$$

Вираз $R_B^{-1} M^T (MR_B^{-1} M^T)^{-1}$ відповідно до [5] дозволяє визначити оптимальні коефіцієнти струморозподілу оскільки вони відповідають економічній схемі (схемі з найменшими втратами активної потужності).

Позначимо $C_T = R_B^{-1} M^T (M R_B^{-1} M^T)^{-1}$ і перепишемо перший закон Кірхгофа у вигляді

$$P_B = C_T P. \quad (3)$$

Схожі результати можна отримати з врахуванням перетоків реактивної потужності і рівняння (3) буде справедливе для повних потужностей.

Використовуючи (3) можна побудувати метод визначення оптимальної потужності джерела енергії. Ідея метода полягає в визначенні оптимальних коефіцієнтів струморозподілу C_T . Для їх визначення, на відміну від [5], з першої матриці M_Σ вилучаються окрім балансувального вузла ще вузол, в якому планується встановлювати джерело енергії. Після виконання необхідних обчислень рядок матриці C_T , який відповідає вітці, що з'єднує вузол встановлення ВДЕ з мережею, буде складатись з коефіцієнтів, що характеризують частку навантаження відповідного вузла в потужності джерела:

$$S_{B_i} = \sum_{j=1}^m C_{T_{i,j}} \cdot S_j. \quad (4)$$

Дієвість метода була перевірена на схемі рис. 1. Схема складається з трьох вузлів по черзі в кожний з вузлів встановлювалось джерело енергії і за запропонованим алгоритмом виконувались розрахунки. Потім виконувався, шляхом перебору, підбір потужності джерела для отримання мінімальних втрат активної потужності. Результати показані на рис. 2. На рис. 2 крива 1 відповідає зміні втрат активної потужності для генерації у вузлі 1. Відповідно крива 2 – генерація у вузлі 2, крива 3 – генерація у вузлі 3. Символом \times відмічені екстремальні точки. Символом \bullet позначено точки для потужностей отриманих за рівнянням (4). Для них пораховані значення втрат активної потужності для економічної схеми [4]. Похибки між значеннями потужності отриманими перебором (точки 4) та за рівнянням (4) (точки 5) не перевищують 0,1%.

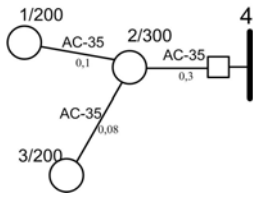


Рисунок 1 – Досліджування схема

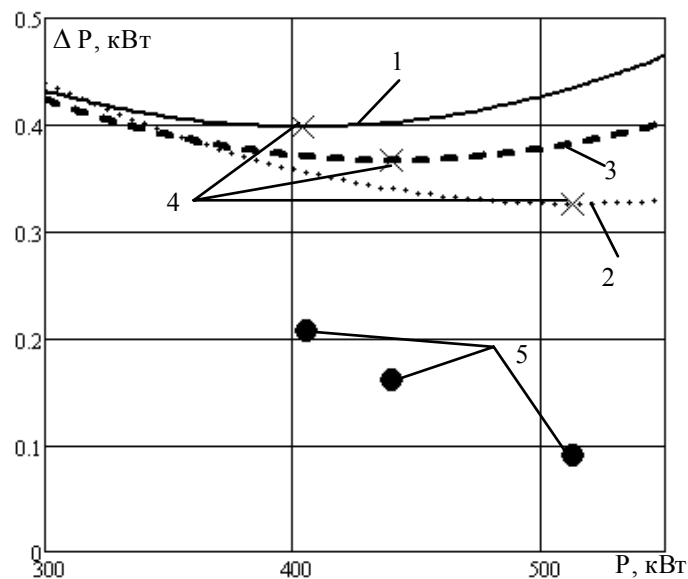


Рисунок 2 – Результати перевірки методу

На рис. 3 показано фрагмент схеми розподільної електричної мережі, до вузлів 999 та 998 якої під'єднанні відповідно мала-ГЕС та СЕС (їх потужності вказані на схемі). Для цієї схеми були визначені, запропонованим методом, вузол з найбільшим розвантажувальним ефектом (за втратами активної потужності) та з найменшим. Це відповідно вузол 10 (крива 3) та вузол 3 (крива 1) (див. рис. 4). Крім цього була визначена область впливу вузла 10, яка показана на рисунку 3, тобто відповідні коефіцієнти матриці C_T приймають значення більше 0,5. Також визначено сумарну потужність ГЕС та СЕС, для якої втрати в мережі будуть найменші.

Отже запропонований метод, що ґрунтується на використанні коефіцієнтів оптимального струморозподілу, дозволяє визначити, в залежності від точки приєднання, потужність джерела, яка забезпечить розвантаження мережі.

Однак метод не дозволяє розв'язати зворотну задачу, яка постає останнім часом досить часто, які вузли навантаження слід розвивати якщо встановлене в певному вузлі ВДЕ продовжує нарощувати свою потужність.

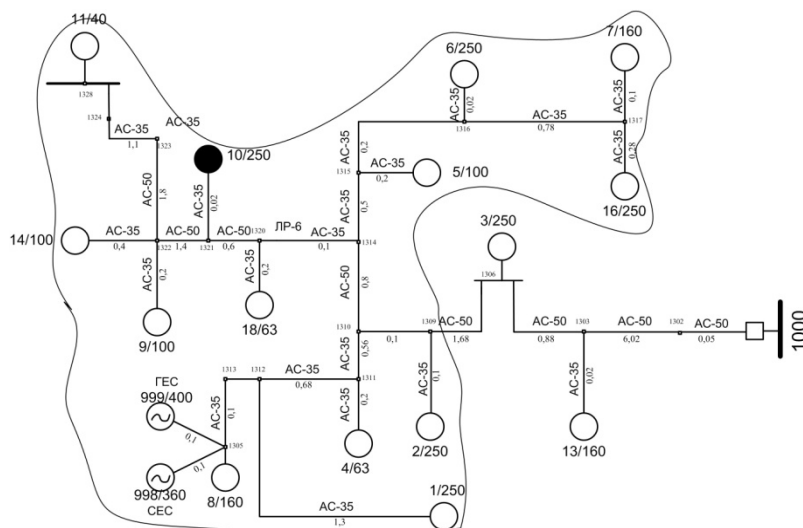


Рисунок 3 – Фрагмент розподільної електричної мережі

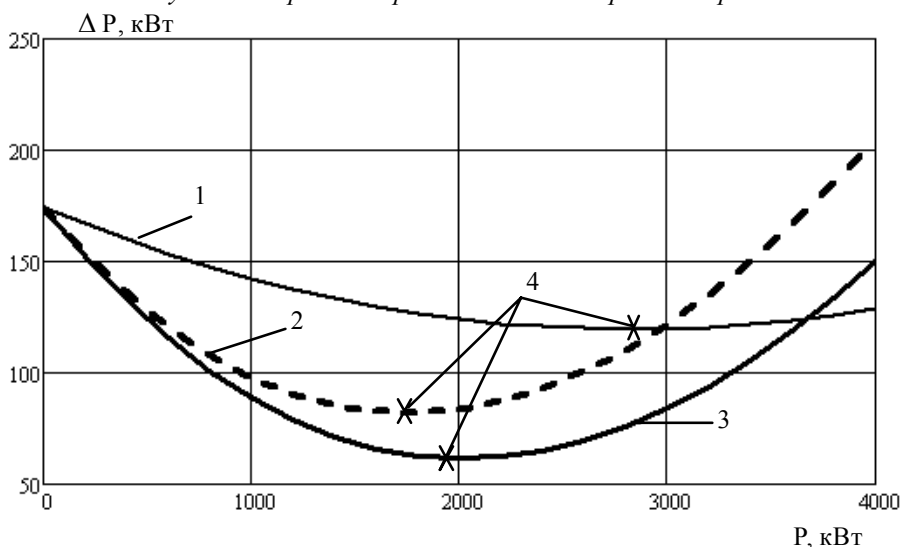


Рисунок 4 – Результати розрахунків

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость / П.П. Безруких. – М.: Лесная страна, 2007. – 120 с.
2. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / [Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк та ін]. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
3. 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.
4. Идельчик В.И. Электрические сети и системы: Учебник для вузов / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
5. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей / В.Г. Холмский. – М.: Высшая школа, 1975. – 280 с.

REFERENCES

1. Bezrukykh P.P. Vozobnovlyаемая энергетика: segodnya – realnost, zavtra – neobhodimost [Renewable energy: today - a reality, tomorrow - the need]. M.: Lesnaya strana, 2007. – 120 p.
2. Stohniy B.S., Kyrylenko O.V., Prokhovnyk A.V., Denyuyuk S.P., Nehoduyko V.O., Pertko P.P., Blinov I.V. Osnovni parametry enerhozabezpechennya natsionalnoy ekonomiry na period do 2020 roku [The main parameters of energy supply national economy through 2020]. K. Vydavnistvo institutu elektrodynamicy NAN Ukrainy, 2011. 275p.
3. Kyrylenko O.V., Pavlovskyy V.V., Luk'yanyenko L.M. Technical aspects of the sources of distributed generation in electrical networks. Tekhnichna elektrodynamika. 2011; 1: 46-53.

4. Ydelchyk V.Y. Elektrycheskiye sety y systemy: Uchebnyk dlya vuzov [Electrical networks and systems: Textbook for Universities]. M.: Énerhoatomyzdat, 1989. 592 p.

5. Kholmssky V. H. Raschet i optymyzatsyya rezhymov elektrycheskykh setey [Calculation and optimization of electrical networks]. – M.: Vysshaya shkola, 1975. 280 p.

Надійшла до редакції 11.03.2013

Рецензент: Е.Г. Курінний

V. O. KOMAR, N. B. OSTRA, O. V. KUZMYK, S. V. GUTZOL
Винницький національний технічний університет

Оценка влияния рассредоточенного генерирования на режим распределительных электрических сетей. В статье предложен метод определения оптимальной мощности источника энергии, который подключается в определенном узле распределительной сети, по критерию минимума потерь активной мощности. Он основывается на анализе экономического распределения потоков мощности в сети путем оценки коэффициентов токораспределения.

Ключевые слова: *распределительная электрическая сеть, рассредоточенное генерирование, потери активной мощности, коэффициенты токораспределения.*

V. KOMAR, N. OSTRA, O. KUZMYK, S. GUTZOL
Vinnytsia National Technical University

Evaluation of Dispersed Generation to Mode of Distributive Electric Networks. The paper proposed a method of determining the optimum power of energy source that is connected to a node of distribution network, the criterion of minimum active power losses. It is based on the analysis of flow distribution of economic power in the network by evaluating the coefficients of current distribution. In the energy balance of the developed countries in the world quite rapidly growing percentage of renewable energy sources (RES), similar to the trend in recent years has occurred in Ukraine. Since renewables are placed near consumers, then we can talk about the transition from centralized power to dispersed. This transition has both its positive and negative sides. In state promotion of RES quite often there is a situation where their power is growing so much that instead of reducing losses in the distribution network there is their growth.

Key words: *electric distribution network, dispersed generation, active power losses, the coefficients of current distribution.*