

В.А. МАТВІЙЧУК, О.О. РУБАНЕНКО

Вінницький національний аграрний університет

Н.В. СОБЧУК

Вінницький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ЕЕС

В статті розглянутий напрям розвитку сучасної електроенергетики, який передбачає створення локальних електричних систем, що використовують енергію поновлюваних джерел енергії. Розглянута мережа з кількома локальними джерелами енергії, яка оптимізована з обмеженнями як по максимальній енергії, забезпеченій ЕЕС, так і по якості енергії. Проблема оптимізації вирішувалася шляхом мінімізації загальних витрат та обмеження якості, що виражалося як обмеження по коефіцієнту спотворення потужності. Для практичного виконання оптимізації запропоновано повторний підхід на базі методу крутого спуску, де, починаючи з прийняттого рішення, кожне локальне джерело оновлює вироблений струм для того, щоб звести до мінімуму загальну вартість мережі. При кожному повторенні кроки відповідають різним локальним джерелам і різним гармонікам. Кожне оновлення виконується заповненням обмежень по енергії та якості, тому статус мережі зростає через прийнятні рішення. Дане рішення може виконуватись розподіленим способом кожним локальним джерелом за умови, що враховані параметри мережі.

Ключові слова: локальні джерела електроенергії, оптимізація структури ЕЕС, мінімізація витрат, якість енергії.

V.A. MATVIJCHUK, O.O. RUBANENKO

Vinnytsia National Agrarian University

N.V. SOBCHUK

Vinnytsia National Technical University

USE OF SMALL HYDROPOWER PLANTS FOR IMPROVEMENT OF ELECTRIC SUPPLY OF ENTERPRISES

The article deals with the direction of development of modern electric power engineering, which involves the creation of local electrical systems that use the energy of renewable energy sources. The network with several local energy sources is considered, which is optimized with restrictions on both maximum energy, provided by the PS, and on the quality of energy. The problem of optimization was solved by minimizing total costs and limiting quality, which was expressed as a limitation on the power distortion coefficient. For practical optimization, a recurrent approach based on the steep descent method has been proposed, where, starting with an acceptable solution, each local source updates the generated current in order to minimize the total cost of the network. Each repeat, the steps correspond to different local sources and different harmonics. Each update is filled with energy and quality constraints, so the network status grows through affordable solutions. This solution can be executed in a distributed way by each local source, provided that the network parameters are taken into account.

Key words: local power sources, optimization of the power system structure, cost minimization, energy quality.

Вступ. В розвинених країнах світу особливого розвитку сьогодні набувають системи електроенергетики, які відповідають підвищеним вимогам щодо надійності, економічності і екологічності їх функціонування. Одним із основних напрямів вирішення даної проблеми є створення локальних електричних систем (ЛЕС), які використовують енергію розподілених джерел енергії (РДЕ), до яких відносяться переважно відновлювальні джерела енергії. При цьому основоположним в процесі підвищення ефективності ЛЕС є розробка критеріїв та методик оцінки ефективності схем функціонування, для забезпечення оптимальних режимів використання енергоносіїв. Зазвичай, ключовим в режимах функціонування ЛЕС є питання їх планування, організації і контролю з метою отримання максимального економічного ефекту у вигляді прибутку, формування якого в цілому залежить і від надійності роботи ЛЕС та якості електроенергії.

В ЛЕС у якості РДЕ можуть одночасно використовуватися малі ГЕС, сонячні та вітрові електростанції. Перевагами малих ГЕС є те, що за наявності водосховищ (що характерно для нашої місцевості) вони можуть працювати за найбільш вигідним для енергетичної системи і споживачів графіком, зокрема, під час ранішнього і вечірнього максимуму навантаження. Ці ж переваги в електропостачанні притаманні і біогазовим установкам.

Таким чином, електроенергетичні системи (ЕЕС) майбутнього символічно можна представити на рисунку 1, де 1 – промислові споживачі, 2 – соціально-побутові споживачі, 3 – традиційні великі електростанції, 4 – малі ГТУ-ТЕЦ, 5 – міні- та мікро-ГЕС, 6 – вітрові електроустановки, 7 – сонячні електростанції, 8 – паливні елементи, 9 – поршневі двигун-генератори, 10 – накопичувачі енергії, 11 – біогаз.

Як видно з рис. 1, ЕЕС майбутнього повинні поєднувати традиційні джерела електроенергії, без яких проблематичне електропостачання великих споживачів та забезпечення доцільних темпів зростання електроспоживання, а також розподілене генерування [1].

РДЕ вводяться, перед усім, з метою забезпечення найкращих показників роботи ЕЕС. По-перше, їхня робота повинна відповідати режиму максимальної ефективності (швидкість вітру, близька до номінальної для даного типу вітроустановки, високий рівень сонячної радіації, наявність необхідного рівня води). По-друге, вони можуть вносити вклад в підтримку напруги мережі в заданому діапазоні. По-третє,

вони можуть забезпечувати якість електроенергії на необхідному рівні, вносячи в мережу гармонійні струми [2].

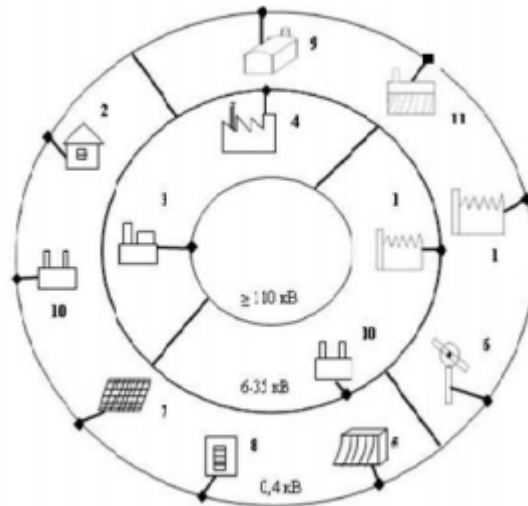


Рис. 1. Електроенергетична система майбутнього

При оптимізації використання РДЕ слід брати до уваги всі ці аспекти. Тому комунікаційна інфраструктура повинна мати інформацію про мережу, синхронізацію і контроль локальних джерел. Така інфраструктура буде базуватись на комунікаційному протоколі, який необхідно скласти відповідно до обраної стратегії мережевого менеджменту [3].

Мега роботи – оптимізація структури ЕЕС при використанні локальних джерел електроенергії.

Результати дослідження. В даній роботі розглядається мережа з кількома локальними джерелами енергії. Кожне джерело має різні експлуатаційні витрати, пропорційні виробленій активній енергії. Мінімізація загальних витрат забезпечується при балансі енергії джерела і споживанням її споживачем. При цьому мережа оптимізована з обмеженнями як по максимальній енергії, забезпеченій ЕЕС, так і по якості енергії [4].

Розглянемо електричну мережу, що живиться двома класами джерел:

1. Головним джерелом (ГД), з'єднаним з загальними шинами.
2. Локальними відновлювальними джерелами, що знаходяться в мережі.

Джерела мають обмеження по активній генерованій енергії та максимальній потужності. Тому РДЕ не можуть повністю забезпечити навантаження мережі. Для запобігання значним втратам в лінії, до лінійних джерел під'єднується частина поряд розташованих споживачів і віддалених від головного джерела. Споживачі, що розташовані поблизу ГД, забезпечуються енергією від нього [5].

При створенні моделі ЛЕС передбачається, що електричні параметри можуть бути представлені в діапазоні частот як К гармонік, при цьому відношення між струмами і напругами для кожної гармоніки лінійні. Схема заміщення електричної мережі показана на рис. 2.

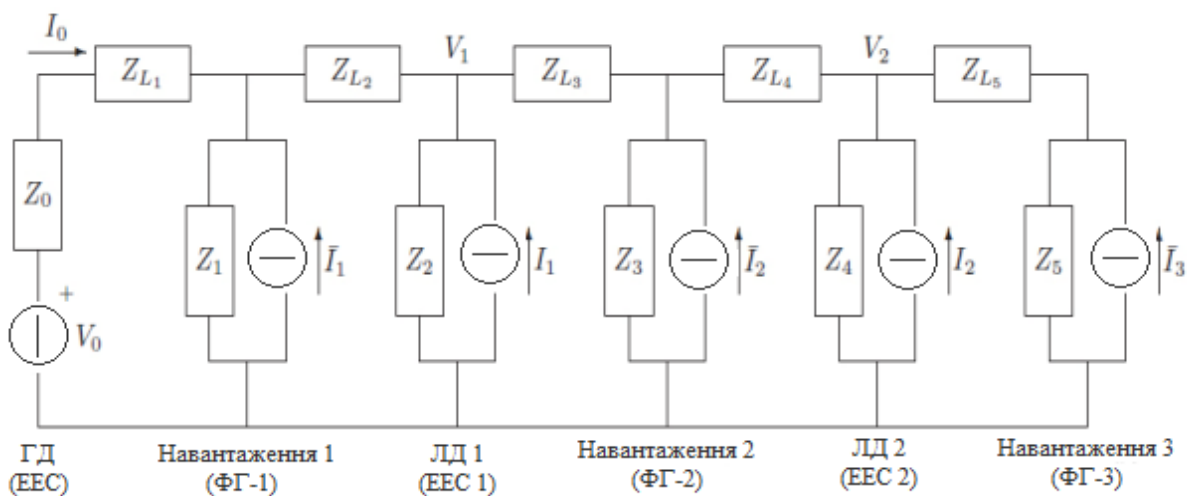


Рис. 2. Схема заміщення електричної мережі

На схемі заміщення електричної мережі (рис. 2) в позначеннях пропущено індекс гармоніки ^(k).

Кожне локальне джерело являє собою генератор активного струму, тобто паралельно ідеальному джерелу струму I_m^k підключено імпеданс відповідного генератора $Z_{ЛДm}^k$, де $k = 1, 2, \dots, K$ позначає номер гармоніки і $m = 1, 2, \dots, M$ позначає номер локального джерела. При цьому головне джерело змодельоване як джерело напруги з ідеальним генератором напруги V_0^k послідовно з імпедансом відповідного генератора Z_0^k . Вектор струмів, що забезпечується M локальними джерелами, при гармоніці k позначається як

$$I^{(k)} = [I_1^{(k)}, \dots, I_m^{(k)}]^T \in C^M, \quad (1)$$

а вектор всіх локально генерованих струмів як

$$I = [I^{(1)T}, \dots, I^{(K)T}]^T \in C^{MK}. \quad (2)$$

На рисунку 2 навантаження зображене як генератори, поглинаючі струм, і ввімкнені паралельно з відповідним імпедансом. Фіксовані струми ідеального генератора, що характеризують L навантажень, позначаються як I_l^k , де $l = 1, 2, \dots, L$. Імпеданси ділянок ліній позначені Z_{Li}^k .

Для лінійної мережі згідно з принципом суперпозиції забезпечується лінійне відношення (в діапазоні заданих частот):

$$I_0^{(k)} = a^{(k)} I^{(k)} + \alpha^{(k)} \quad (3)$$

$$V_m^{(k)} = b_m^{(k)} I^{(k)} + \beta_m^{(k)}, m > 0, \quad (4)$$

де вектори ряду $a^{(k)}$ і $b_m^{(k)}$ обидва розміром M , залежать від імпедансів лінії та навантаження і від топології специфічної мережі, постійні $\alpha^{(k)}$ та $\beta_m^{(k)}$ також залежать від струмів навантаження $\bar{I}_l^{(k)}$ та від V_0^k .

Активна енергія, генерована кожним джерелом, гармонікою k може бути записана як функція генерованих струмів:

$$P_m^{(k)} = I^{(k)H} R_m^{(k)} I^{(k)} + I^{(k)H} p_m^{(k)} + p_m^{(k)H} I^{(k)}, \quad (5)$$

де $R_m^{(k)}$ та $p_m^{(k)}$ – відповідно, коефіцієнти $M \times M$ – матриці ряду M -розмірного вектора.

$$R_m^{(k)} = \begin{cases} 0 & m = 0 \\ e_m^T b_m^{(k)} + b_m^{(k)H} e_m & m > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$p_m^{(k)} = \begin{cases} a^{(k)H} V_0^{(k)} & m = 0 \\ e_m^T \beta_m^{(k)} & m > 0 \end{cases} \quad (7)$$

з e_m вектором рядка довжини M , чий m -й компонент ≥ 1 .

Для отримання загальної активної енергії від m локальних джерел можна просумувати активні енергії по гармоніках.

$$P_m = \sum_{k=1}^K P_m^{(k)}, \quad (8)$$

де $m = 1, 2, \dots, M$.

Припустимо, що кожне джерело має власну вартість, яка, як ми вважаємо, пропорційна виробленій активній потужності P_m , $m = 0, \dots, M$, тобто локальне джерело має вартість $c_m P_m$, де c_m – питома вартість на одиницю потужності. В загальному випадку $c_0 > c_m, m \neq 0$, то є лінійні джерела, як правило, менш дорогі, ніж головне джерело. В деяких випадках питому вартість ЕЕС можна навіть прирівняти до нуля, при використанні, наприклад, відновлювальних джерел (малі ГЕС, ВЕС або СЕС). Зазначимо, що витрати можуть змінюватись з часом і будуть пропорційні виробленій активній потужності.

Оптимізаційна проблема має два обмеження. Перше – це обмеження по максимальній активній генерованій енергії кожним ЛД.

$$0 \leq P_m \leq P_{\max.m} \quad (9)$$

Друге обмеження зв'язане з показниками якості електроенергії, а саме досягненням мінімального значення зсуву фаз між струмом і напругою. При цьому досягається баланс виробленої і споживаної енергії.

Проблема оптимізації може бути записана як мінімізація загальних витрат

$$\min C(I) = \min \sum_{m=0}^M c_m P_m \quad (10)$$

та обмеження якості, яке виражається як обмеження по коефіцієнту спотворення потужності коефіцієнтом $\bar{\lambda}$, а саме:

$$\lambda = \frac{|P_0|}{\sqrt{2 \sum_{k=1}^K |V_0^{(k)}|^2} \cdot \sqrt{2 \sum_{k=1}^K |V_0^{(k)}|^2}} \geq \bar{\lambda}, \quad (11)$$

тут P_0 – активна енергія головного джерела.

При вирішенні рівнянь з заданими обмеженнями питання оптимізації – це квадратична задача з квадратичними обмеженнями, яка потребує специфічних числових методів розрахунку.

Для практичного виконання оптимізації пропонується повторний підхід на базі методу крутого спуску, де, починаючи з прийнятного рішення, кожне ЛД оновлює вироблений струм для того, щоб звести до мінімуму загальну вартість мережі. При кожному повторенні, кроки відповідають різним ЛД і різним гармонікам. Кожне оновлення виконується заповненням обмежень по енергії та якості, тому статус мережі зростає через прийнятні рішення. Дане рішення може виконуватись розподіленим способом кожним ЛД, за умови, що враховані параметри мережі.

Висновки. В роботі розроблено підхід до оптимізації структури ЕЕС з локальними джерелами електроенергії за критерієм мінімізації загальних витрат та накладанням двох обмежень – по максимальній активній енергії, генерованій кожним локальним джерелом і за показниками якості енергії, а саме, досягненням мінімального значення зсуву фаз між струмом і напругою.

Література

1. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Воропай Н. И. Распределенная генерация в электроэнергетических системах / Н. И. Воропай // Матер. Меж- дунар. научно практической конф. «Малая энергетика-2005», 2005. – С. 9–11.
3. Четошникова Л. М. Управление электроэнергией и сервисориентированные сети / Л. М. Четош- никова, Н. И. Смоленцев, С. А.Четошников // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2012. – № 16(275). – С. 98–102.
4. Четошникова Л. М. Использование локальных источников в умных сетях с требованиями качества энергии / Л. М. Четошникова // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4-2. – С. 199–204.
5. Агроскин В. Распределённая генерация, перспективы и проблемы / В. Агроскин // ЭСКО. – 2003. – № 7(19) июль. – С. 5–8.
6. Z. Fan, G. Kalogridis, C. Efthymiou, M. Sooriyabandara, M. Serizawa, and J. McGeehan, “The New Frontier of Communications Research: Smart Grid and Smart Metering,” in ACM E-Energy Conference, Passau, Germany, Apr. 2010.

References

1. Kobets B. B. Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid / B. B. Kobets, I. O. Volkova. – M. : IATS Energiya, 2010. – 208 s.
2. Voropay N. I. Raspredelennaya generatsiya v elektroenergeticheskikh sistemah / N. I. Voropay // Mater. Mej- dunar. nauchno prakticheskoy konf. «Malaya energetika-2005», 2005. – S. 9–11.
3. CHetoshnikova L. M. Upravlenie elektroenergiey i servisorientirovannyye seti / L. M. CHetosh- nikova, N. I. Smolentsev, S. A.CHetoshnikov // Vestnik YUUrGU. Seriya: Energetika. – 2012. – № 16(275). – S. 98–102.
4. CHetoshnikova L. M. Ispolzovanie lokalnyih istochnikov v umnyih setyah s trebovaniyami kachestva energii / L. M. CHetoshnikova // Polzunovskiy vestnik. – 2013. – № 4-2. – S. 199–204.
5. Agroskin V. Raspredelennaya generatsiya, perspektivy i problemy / V. Agroskin // ESKO. – 2003. – № 7(19) iyul. – S. 5–8.
6. Z. Fan, G. Kalogridis, C. Efthymiou, M. Sooriyabandara, M. Serizawa, and J. McGeehan, “The New Frontier of Communications Research: Smart Grid and Smart Metering,” in ACM E-Energy Conference, Passau, Germany, Apr. 2010.

Рецензія/Peer review : 26.05.2018 р.

Надрукована/Printed :05.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією