

ПРИНЦИПИ ОЦІНЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

¹Чернігівський національний технологічний університет

Запропоновано метод оцінювання потужності джерел розподіленої генерації, який враховує інтереси електропостачальної організації, власників розподіленої генерації та споживачів, приєднаних до відповідного фрагмента системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, джерело розподіленої генерації, технологічні витрати електроенергії, недовідпуск електричної енергії.

Вступ

Надмірні втрати електроенергії при її виробництві, транспортуванні й розподілі, а також неприпустимий рівень шкідливих викидів у атмосферу, є причиною перебоїв у електропостачанні споживачів і навіть загрозою системних аварій Об'єднаної енергетичної системи України. Разом із цим в останні роки у світі спостерігається стійка тенденція до зміни загальної концепції розвитку енергетики. Йдеться про впровадження нової ідеології — енергетики сталого розвитку. Важливим елементом такої ідеології є значне використання розподіленої генерації — енергетичних установок невеликої потужності. Використання джерел розподіленої генерації (ДРГ) в системах електропостачання може значно підвищити надійність та ефективність забезпечення споживачів електричною енергією. Але одночасно це створює й нові проблеми, пов'язані із втручанням в режими роботи існуючих систем.

Метою роботи є розроблення методу оцінювання потужності ДРГ з урахуванням інтересів електропостачальної організації, власників розподіленої генерації та споживачів, приєднаних до відповідного фрагменту системи електропостачання.

Матеріали дослідження

З точки зору власника генерувальних потужностей слід підвищувати величину виробленої електроенергії, але з погляду загальної ефективності роботи електричних мереж постає низка проблем, пов'язаних з впливом ДРГ на якість електричної енергії, рівні напруг у вузлах, втрати електричної енергії, функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, надійність роботи електричної мережі тощо.

Під час оцінювання потужності ДРГ слід враховувати ефект, який отримує як посередник (електропостачальна організація), так і власник ДРГ. Таким чином для підвищення ефективності режимів роботи електричних мереж з ДРГ слід стимулювати споживачів, які забезпечують генерацію електроенергії в систему, використовувати власні засоби генерації відповідно до графіків навантаження споживачів, які отримують живлення по тій же ділянці мережі. В роботі [1] запропоновано алгоритм щодо оцінювання доцільності регулювання потужності ДРГ для досягнення енергозбережного ефекту, який відповідає об'ємам зниження технологічних витрат електроенергії

$$\delta W = \Delta W - \Delta W(P_{DRG}), \quad (1)$$

де ΔW — технологічні витрати електроенергії за відсутності ДРГ; $\Delta W(P_{DRG})$ — технологічні витрати електроенергії в мережі за наявності ДРГ потужністю P_{DRG} .

Запропонований спосіб керування режимом генерації ДРГ підвищує ефективність роботи елементів енергосистеми, але при цьому зменшується коефіцієнт використання встановленої потужності ДРГ. На рис. 1 показана зміна величини коефіцієнта використання встановленої потужності та величини втрат потужності в залежності від встановленої потужності генераторів у вузлі тестової схеми електричної мережі. В якості тестової схеми взято схему діючої ЛЕП «Мотовилівка»

сільськогосподарського комплексу «Великоснітинське НДГ ім. О. В. Музиченка» (рис. 2). Навантаження моделі задані відповідно до типових графіків та існуючих навантажень підстанцій в режимний день.

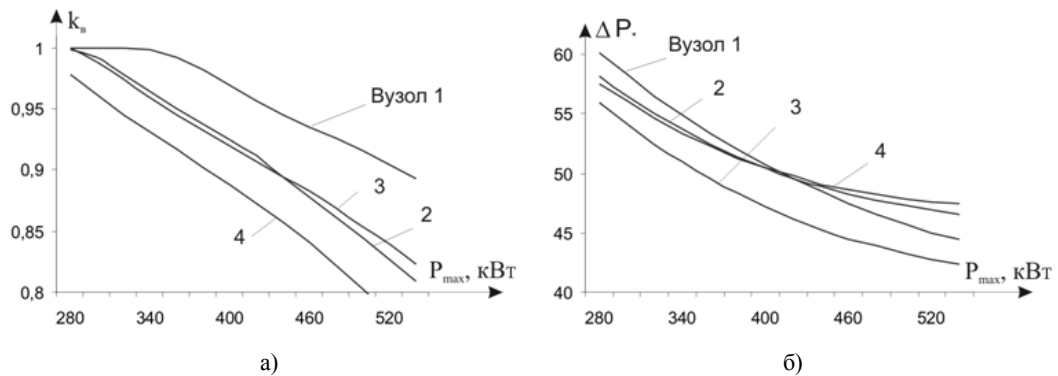


Рис. 1. Залежність коефіцієнта використання встановленої потужності (а) та величини втрат потужності (б) від встановленої потужності генераторів

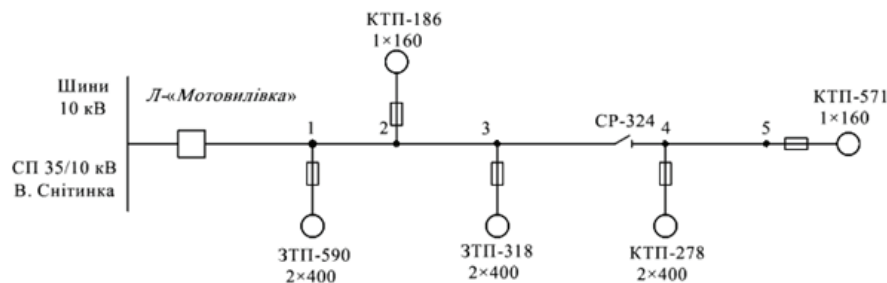


Рис. 2. Фідер 10 кВ Мотовилівка

Звичайно системи електропостачання проектуються як замкнені, але працюють за радіальною схемою з одним (або більше) пунктом живлення від основної електричної мережі (основного пункту живлення). Одним з найважливіших завдань керування режимами СЕП є відновлення електропостачання споживачів після аварійного відключення основного пункту живлення. Особливої актуальності ця тема набуває в останній час завдяки широкому використанню ДРГ в електричних мережах напругою 0,38—10 кВ.

В [2] показано, що однією з переваг систем електропостачання з ДРГ є можливість використання острівних режимів, які полягають в тому, що за відключення живлення від енергосистеми ДРГ переходять в автономний режим роботи на власне навантаження. Ефективнішим засобом підвищення надійності електропостачання з виникненням порушень в енергосистемі є формування енергоостровів [3], які не обмежуються лише ДРГ і автономним навантаженням, а охоплюють певні фрагменти електричних мереж із збалансованою генерацією та навантаженням. Вказане рішення дозволяє Ефективніше використовувати встановлену потужність ДРГ та суттєво підвищити надійність системи електропостачання.

Острівні режими можуть принести користь власникам ДРГ, електропостачальним компаніям та споживачам, а саме:

а) основною перевагою для власників ДРГ є додатковий прибуток за рахунок електроенергії, реалізованої під час острівного режиму. Відповідно до існуючого законодавства, власники ДРГ не мають додаткового прибутку за підвищення якості електропостачання, хоча стрімкий розвиток РГ не виключає перегляду найближчим часом комерційних відносин між енергопостачальними організаціями та власниками ДРГ, від чого обидві сторони можуть отримати вигоду;

б) для енергопостачальних компаній основною перевагою від використання острівних режимів є підвищення надійності електропостачання споживачів. Разом з цим, приєднання ДРГ може скоротити або тимчасово призупинити витрати на реконструкцію мереж, відповідно зменшуються капітальні витрати. Остання особливість пов'язана не стільки з острівними режимами, а скоріше з нормальними режимами від приєднання ДРГ відповідної потужності;

в) основною перевагою, яку можуть надати острівні режими для споживачів, є зниження часто-

ти та тривалості перерв в електропостачанні, що особливо актуально для електричних мереж сільськогосподарських регіонів, де фактичні частоти та тривалості перерв в електропостачанні перевищують нормативні внаслідок зношеності основного обладнання та значної протяжності повітряних ліній 10 — 0,4 кВ по важкодоступній місцевості.

Незважаючи на ці переваги, на сьогодні нормативні документи більшості країн вимагають відключення ДРГ. Стандарти IEEE-1547 та IEC 61727 вимагають відключення ДРГ протягом 2 секунд після від'єднання споживачів від енергосистеми. Відповідно до документу Великобританії «Grid Code» острівні режими роботи ДРГ дозволені за номінальної потужності, яка перевищує 25 МВт. Ці обмеження мають свої причини, основними з яких є:

а) працівники лінійної бригади можуть опинитися під напругою внаслідок підживлення ізольованої від енергосистеми частини електричної мережі;

б) струм короткого замикання від ДРГ може бути недостатнім для коректного спрацювання захисту, як наслідок привести до тривалого режиму короткого замикання;

в) електричні мережі напругою більше 1 кВ обладнані пристроями автоматичного повторного включення, які призначені для відновлення нормальної схеми мережі при нестійких коротких замиканнях, або, коли відключення вимикача відбулося внаслідок помилок персоналу чи помилкової дії релейного захисту. За неуспішної дії автоматичного повторного включення можливе пошкодження генераторів внаслідок появи значних механічних моментів та струмів;

г) напевно, найважливішою причиною є те, що ДРГ можуть виявитися недостатньої потужності для підтримання напруги та частоти мережі в заданих межах.

Зі зростанням потужностей РГ та підвищенням рівня автоматизації в СЕП існуюча практика відключення ДРГ при пошкодженнях в живлячій мережі вже не буде доцільним рішенням. Також, майбутня децентралізація електроенергетики, поява адресного електропостачання приведуть до конкуренції між постачальниками електроенергії з метою залучення більшої кількості клієнтів за рахунок кращої якості електроенергії та надійності електропостачання. Це викличе доцільність перегляду існуючих нормативних документів, оскільки острівні режими роботи, за вирішення основних проблем, дозволять підвищити надійність електропостачання споживачів.

В роботі [2] запропоновано використання «динамічних енергоостровів», основним інтегральним показником для формування яких є ефект від зниження недовідпуску електроенергії споживачам

$$Eff = \Delta W_{H0} - \Delta W_H(P_{DRG}, \Delta T), \quad (2)$$

де ΔW_{H0} — недовідпуск електроенергії споживачам до приєднання ДРГ; $\Delta W_H(P_{DRG}, \Delta T)$ — недовідпуск електроенергії споживачам при використанні ДРГ потужністю P_{DRG} при використанні інтервалів осереднення часу сталої структури «динамічного енергоострова».

Як вже зазначалося раніше, задача вибору встановлених потужностей ДРГ є задачею оптимізації. Складність розв'язання цієї задачі полягає у необхідності одночасного врахування інтересів електропостачальної організації, власників ДРГ, та споживачів, приєднаних до відповідного фрагменту електричної мережі (за можливості використання острівних режимів).

Таким чином, неможливо використовувати класичну постановку задачі оптимізації, оскільки в цьому випадку передбачається одна цільова функція, яка кількісно визначена. У реальних системах на роль критерію оптимальності (ефективності) претендують кілька десятків показників. Крім того, бажаним є застосування кількох критеріїв одночасно, причому вони можуть бути взагалі несумісними. Наприклад, вимога досягти максимальної ефективності виробництва за мінімальних витрат ресурсів з погляду постановки математичної задачі є некоректною. Мінімальні витрати ресурсів — це нульові витрати, що мають місце за повної відсутності будь-якого процесу виробництва. Аналогічно максимальна ефективність може бути досягнута лише у разі використання певних обсягів (звичайно не нульових) ресурсів.

Оскільки не існує єдиного універсального критерію ефективності, то досить часто вдаються до розгляду багатокритеріальної оптимізації.

Під час розв'язання задачі оптимізації потужності РГ, як багатокритеріальної, можна використовувати один з таких підходів [1]:

— ранжування критеріїв та покрокова оптимізація за кожним критерієм, починаючи з найголовнішого;

— згортання декількох цільових функцій в один критерій.

Принцип справедливої абсолютної уступки приводить до використання адитивної форми критерію, а справедливої відносної — до мультиплікативної форми. За адитивного підходу результуюча цільова функція має такий вигляд:

$$F = \sum_{q=1}^n \lambda_q \cdot f_q, \quad (3)$$

де f_q — частковий q -й критерій; n — кількість часткових критеріїв в задачі, що розглядається; λ_q — вагові коефіцієнти, які визначаються відповідно до важливості того чи іншого критерію, та нормовані співвідношенням

$$\sum_{q=1}^n \lambda_q = 1. \quad (4)$$

При мультиплікативному підході цільова функція набуває вигляду

$$F = \prod_{q=1}^n (f_q)^{\alpha_q}, \quad (5)$$

де α_q — вагові коефіцієнти.

Перевагою адитивного методу є можливість його використання за можливих нульових значень часткових критеріїв. Водночас за мультиплікативного методу вибір оптимального рішення не залежить від способу нормування часткових критеріїв [1].

Таким чином, основними інтегральними критеріями для визначення встановленої потужності ДРГ є [1, 2]: ефект від зниження недовідпуску електроенергії Eff , зниження технологічних витрат електроенергії ΔW та коефіцієнт використання встановленої потужності ДРГ, який характеризує вироблену ДРГ електричну енергію за розрахунковий період K_B . Оскільки зазначені критерії приносять користь різним суб'єктам господарювання (енергопостачальна організація, власник ДРГ), та не набувають нульових значень на області допустимих рішень доцільно використати мультиплікативний метод для отримання результуючого критерію

$$F = Eff \cdot K_B \cdot \Delta W, \quad (6)$$

де Eff — ефект від зниження недовідпуску електроенергії споживачам; K_B — коефіцієнт використання встановленої потужності ДРГ; ΔW — зниження технологічних витрат електроенергії.

Як впливає з рис. 3, мультиплікативний критерій F відповідно до (6) має один, чітко виділений екстремум, який відповідає оптимальному значенню встановленої потужності з урахуванням ефективності для енергопостачальної організації та власника ДРГ.

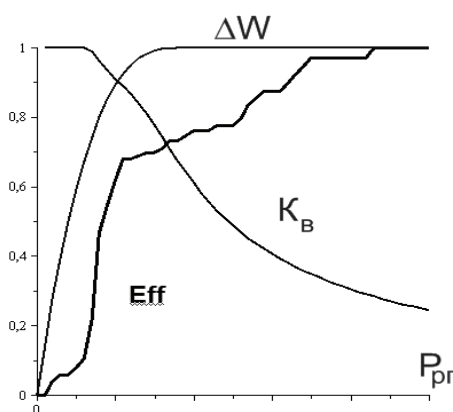


Рис. 2. Якісні залежності основних інтегральних критеріїв від встановленої потужності ДРГ:

ΔW — енергозберігаючий ефект; K_B — коефіцієнт використання встановленої потужності ДРГ;

Eff — ефект від зниження недовідпуску електроенергії

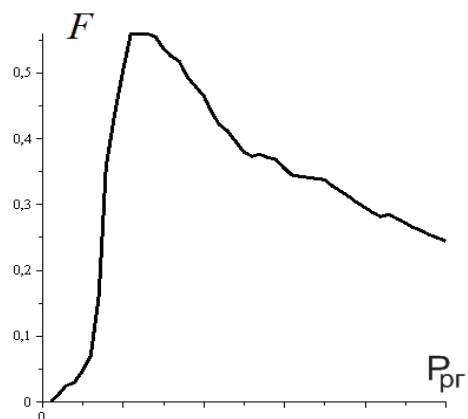


Рис. 3. Якісна залежність результуючого мультиплікативного критерію від встановленої потужності ДРГ

Отримані відповідно до запропонованого критерію значення потужностей ДРГ у вузлах тестової мережі наведено в таблиці.

Результати оцінювання математичного сподівання $M(P_{DG})$ потужностей ДРГ, встановлених на ПС

Найменування ПС	ЗТП-590	КТП-186	ЗТП-318	КТП-278	КТП-571
P_{DRG} , кВт	103,2	80,4	115,7	127,4	93,2

Висновки

Доведено доцільність та запропоновано використання мультиплікативного підходу при формуванні цільової функції щодо оцінювання потужності ДРГ що дозволяє врахувати інтереси електропостачальної організації, власників розподіленої генерації та споживачів, приєднаних до відповідного фрагменту системи електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бодунов В. М. Ідентифікація сегменту електричної мережі для задачі управління потоками активної потужності в електричній мережі з ДРГ [Електронний ресурс] / В. М. Бодунов // Енергетика і автоматика. — 2013. — № 1 (15). — Режим доступу до журн. : http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2013_1/13bvmdrg.pdf. — Назва з екрана.
2. Бодунов В. М. Урахування острівних режимів під час вибору потужності джерел розподіленої генерації / В. М. Бодунов, О. В. Гай // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 6. — С. 82—83.
3. Пат. 89884 Україна: МПК Н 02 Н 5/00. Спосіб формування динамічного енергоострову : патент на корисну модель. / В. В. Козирський, В. М. Бодунов, О. В. Гай, В. А. Костюк, А. В. Петренко ; власник патенту Національний університет біоресурсів і природокористування України. — № 2012 11406 ; заявл. 03.10.2012 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. — 4 с.
4. Лещинская Т. Б. Применение методов многокритериального выбора при оптимизации систем электроснабжения сельских районов / Т. Б. Лещинская // Электричество. — 2003. — № 1. — С. 14—22.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.11.2015

Бодунов Вадим Миколайович — старший викладач кафедри електричних систем і мереж, e-mail: vad10979@mail.ru.

Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів

V. M. Bodunov¹

The Principles of Evaluation of Distributed Generation Power in Electrical Power Supply Networks

¹Chernihiv National Technological University

The method of evaluating the power of the distributed generation sources, which takes into account the interests of the electricity supply company, owners of distributed generation and consumers connected to the corresponding fragment of the electrical network has been proposed in the paper.

Keywords: electrical power supply network, distributed generation, electric power losses and reliability of power supply.

Bodunov Vadym M. — Senior Lecturer of the Chair of Electric Power Systems and Grids, e-mail: vad10979@mail.ru

В. Н. Бодунов¹

Принципы оценки мощности источников распределенной генерации в системах электроснабжения

¹Черниговский национальный технологический университет

Предложен метод оценки мощности источников распределенной генерации, учитывающий интересы электроснабжающей организации, собственника распределенной генерации и потребителей, присоединенных к соответствующему участку системы электроснабжения.

Ключевые слова: система электроснабжения, источник распределенной генерации, технологический расход электроэнергии, недоотпуск электроэнергии.

Бодунов Вадим Николаевич — старший преподаватель кафедры электрических систем и сетей, e-mail: vad10979@mail.ru