

С. П. ДЕНИСЮК, Т. М. БАЗЮК (ІЕЕ НТУ «КПІ»)

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», вул. Борщагівська 115, Київ, Україна, 03056, ел. пошта: spdens@ukr.net, klimbuck@ukr.net

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вступ

Енергетична криза сімдесятих років ХХ століття призвела до того, що в західних країнах зникла тенденція до максимальної централізації електропостачання. З цього часу почала інтенсивно розвиватися розподілена (розосереджена) генерація. Джерелами розосередженої генерації (РГ) є енергетичні установки, що використовують процес спалювання палива (газотурбінні і парогазові установки малої потужності, установки що працюють на біомасі, біогазі та ін.), а також поновлювані природні ресурси (міні-гідроелектростанції, вітроустановки, сонячні установки та ін.). При роботі в системі розподілена генерація підключається в розподільчу мережу на низькі напруги (6–10–35 кВ). Підключення розосередженої генерації до розподільчої мережі має позитивний вплив на її властивості, але поряд з цим створює нові проблеми, з якими доводиться стикатися при управлінні режимами системи електропостачання з розподіленою генерацією.

Характеристика інтелектуальних мереж

Сучасна інтелектуальна мережа - Smart Grid - містить такі складові: автоматизовані системи роботи зі споживачами; часткову автоматизацію мереж з функціями самовідновлення; віддалене керування та контроль мережі; активне використання аналітики для оптимізації потоків електроенергії; автоматизовану віддалену диспетчеризацію; керування активами [2-3,5-8].

До ключових технологічних інструментів для формування Smart Grid належать: інтелектуальне силове обладнання; комунікації на основі сучасних автоматизованих систем; бази даних; автоматизована система запобігання несанкціонованого доступу до керування; програмно-апаратні комплекси. Фактично мова йде про технології, які спроможні зробити електричну мережу та її навантаження транспорентними та керованими.

Від сучасних Smart Grid очікують: підвищення ефективності енергоспоживання, зокре-

ма, за рахунок зниження пікових навантажень; використання відновлюваних джерел енергії з розв'язанням задач динамічного балансу споживання та генерації на макро- і мікрорівнях; надійність, стабільність та безпеку.

Сучасна концепція Smart Grid ґрунтується на наступних базових підходах:

- орієнтація на вимоги зацікавлених сторін;
- клієнтоорієнтованість;
- зростання ролі керування як основного фактора розвитку та способу забезпечення сформованих вимог (цінностей) з відповідним підвищенням керованості окремих елементів та енергосистеми в цілому;
- збір та обробка інформації, як головного засобу здійснення ефективного керування.

В рамках концепції Smart Grid передбачається розвиток наступних функціональних характеристик: самовідновлення при аварійних збуреннях; мотивація активної поведінки кінцевого споживача; опір негативним впливам; забезпечення надійності та якості електроенергії; різноманіття типів електростанцій і систем акумулювання електроенергії (розосереджена генерація); розширення ринків потужності та енергії до кінцевого споживача.

Концепція Smart Grid передбачає перехід до активного споживача – по суті споживач стає, з одного боку, активним суб'єктом вироблення і прийняття рішень з розвитку та функціонування енергосистеми, а з іншого боку – об'єктом керування, що забезпечує реалізацію ключових вимог.

Характеристика віртуальних електростанцій

В інтелектуальній енергосистемі режими її роботи визначаються поділом функцій між централізованими і розподіленими генераторами. Управління розподіленими генераторами може бути організовано у формі мікромережі (microgrids) або віртуальних електростанцій (ВЕС) шляхом інтеграції джерел генерації у фізичному плані і в ринкових умовах. Віртуа-

льна електростанція має аналогічну традиційній електростанції надійність, плановість і керовану поведінку. Структура віртуальної електростанції представляється об'єднанням розподілених генераторів, керованих навантажень та систем накопичення енергії. Віртуальна електростанція визначається як оптимальне рішення в інтеграції традиційних і розподілених джерел генерації. Віртуальні електростанції управляються єдиною системою управління енергією (Energy Management System – EMS), яка координує їх роботу аналогічно до традиційних електростанцій. Ідея віртуальних електростанцій полягає у створенні нової системи управління та забезпечення надійності, в якій вся інформація збирається, перетворюється і використовується в роботі обладнання в цифровій формі.

Віртуальна електростанція – це енергетична система, складена з великої кількості малих джерел електроенергії, розташованих у різних регіонах з декількома виводами в спільну мережу, які працюють як одне джерело великої потужності.

Концепція віртуальної електростанції виникла в результаті того, що в розпорядженні енергопостачальних компаній з'явився доступ до електричних потужностей, що виробляються розосередженими джерелами енергії, або що утворюється в результаті виконання програм управління попитом. Використовуючи різні способи управління попитом і розосереджені джерела електроенергії (наприклад, акумуляторні батареї, відновлювальні джерела енергії і т. д.), енергопостачальна компанія може створити віртуальну електростанцію і використовувати її потужність для вирівнювання рівнів генерації і споживання.

ВЕС є вигідною для дрібних виробників електроенергії та трейдерів. Для трейдера є більш вигідно і зручно купувати електроенергію в одного підрядника, ніж у декількох різних, а саме у підрядника, який спроможний гарантувати постачання електроенергії за договором. Для дрібного виробника електроенергії електропостачання від енергосистем має істотні переваги перед постачанням від ізольованих електростанцій: поліпшується надійність енергопостачання, краще використовуються енергоресурси району, знижується собівартість електроенергії за рахунок найбільш економічного розподілу навантаження між електростанціями, гарантований постійний моніторинг з можливістю регулювання та відпрацювання параметрів при нестандартних станах і дефектах.

Однією з переваг розподіленої віртуальної електростанції є той факт, що при виникненні аварійної ситуації в дрібного джерела електроенергії або при порушенні його регуляції, не відбудеться повне відключення постачання електроенергії, а лише її частини, і тільки в тому випадку, якщо відсутнє покриття недостачі енергії із запасу потужності. У свою чергу мережеві організації можуть отримати нижчі піки навантажень через зміну поведінки споживачів і, отже, віддалити заходи по розширенню мереж. За рахунок керованості малою генерацією та акумуляванням енергії можливе поліпшення стабільності розподільної мережі, перш за все щодо надійності постачання та якості електроенергії.

Віртуальні електростанції на основі даних, одержуваних у режимі реального часу, зможуть оптимально позиціонуватися на ринку електроенергії або ринку резервної потужності. Постачальники електроенергії підвищать ефективність торгівлі енергією завдяки введенню розподіленої генерації.

Використання ВЕС обумовлено наступними факторами: реконструкція мережевого комплексу, зростання частки використання НВДЕ в енергетичному балансі країни, розвитку мікропроцесорної техніки та силової електроніки.

Вплив джерел РГ на роботу розподільчих мереж

Проаналізуємо вплив підключення розподілених джерел генерації на розподільні ЕМ з точки зору їх експлуатації при нормальному режимі [4].

Вплив РГ на регулювання напруги. Радіальні системи розподілу регулюють напругу за допомогою пристроїв регулювання під навантаженням (РПН) на підстанціях, додатково регуляторами лінії на розподільчих лініях та шунтуючих конденсаторах на розподільчих лініях або уздовж лінії. Регулювання напруги засновано на потоку потужності в одну сторону, де регулятори оснащені компенсацією падіння лінії. Підключення джерел розосередженої генерації може призвести до змін в профілі напруги уздовж розподільчих ліній шляхом зміни напрямку і величини активної та реактивної потужності потоків. Тим не менш, вплив РГ на регулювання напруги може бути позитивним чи негативним в залежності від розподільчої системи і розподільчих характеристик генератора, а також місця розташування РГ.

Вплив РГ на втрати. Одним з основних впливів розподіленої генерації є зменшення втрат в

розподільчій мережі. Розташування одиниць РГ є важливим критерієм, який повинен бути проаналізований, щоб досягти більш високої надійності системи зі знизженими втратами.

Визначення місць оптимального розташування РГ можна отримати за допомогою програмного аналізу потоків навантаження, який дозволяє визначити оптимальне місце встановлення РГ в рамках системи з метою знизження втрат. Наприклад: якщо розподільчі лінії мають високі втрати, додавши ряд джерел розподіленої генерації невеликої потужності, ми отримаємо позитивний ефект щодо знизження втрат, що в свою чергу дає великі переваги для системи. З іншого боку, якщо додаються більші одиниці, то вони повинні бути встановлені з урахуванням обмежень лінії електропередачі. Наприклад: ємність живлячої лінії може бути обмежена, оскільки повітряні лінії і кабелі мають теплові характеристики, які не можна перевищувати.

Більшість джерел РГ належить споживачам. Оператори мережі не можуть вирішувати де встановлювати установки РГ. Зазвичай втрати зменшуються коли джерело електроенергії розташовується ближче до споживача. Однак локальне збільшення потоку потужності в низьковольтних мережах може мати небажані наслідки, пов'язані з тепловими характеристиками.

Вплив РГ на вищі гармоніки. Вищі гармоніки певною мірою завжди присутні в енергосистемах. Вони можуть бути викликані нелінійністю в обмотці збудження трансформатора або навантаженнях, таких як люмінесцентні лампи, випрямлячі, частотно-регульовані приводи, перемикачі режимів енергетичного обладнання, печі та інше обладнання.

РГ також може бути джерелом вищих гармонік в мережі. Гармоніки можуть бути або з самого генератора (синхронного генератора) або від обладнання силової електроніки, такого як інвертори.

Оберткові генератори є ще одним джерелом вищих гармонік, які залежать від конструкції обмотки генератора (крок обмотки), нелінійності осердя, заземлення та інших факторів, які можуть призвести до значного поширення гармонік.

Розташування заземлення генератора і трансформатора має основний вплив на обмеження проникнення гармонік. Схеми заземлення можуть бути вибрані для усунення або зменшення введення третьої гармоніки до системи живлення. Це, як правило, обмежує її тільки на стороні джерел РГ.

Порівнюючи вплив вищих гармонік від РГ з іншими ефектами, які дає РГ на систему живлення, можна зробити висновок, що це не така вже й велика проблема.

Узгодження роботи основного енергетичного обладнання ВЕС

При формуванні основних задач ВЕС необхідно здійснити вибір джерел електроенергії, перетворювачів, комутаційної апаратури і параметрів електроенергії (номінального значення потужності і напруги, роду струму, частоти, числа фаз), з урахуванням дотримання правил техніки безпеки, які також впливають на експлуатаційно-технічні характеристики системи [1].

При виборі генератора змінного або постійного струму необхідно враховувати такі фактори:

1) у системах змінного струму електричні машини, перетворювачі, комутаційні апарати мають кращі показники критеріїв ефективності;

2) трифазні системи (три- або чотирипровідні) володіють високою симетрією і дозволяють створювати обертове магнітне поле, необхідне для електроприводу електричних машин. Чотирипровідні системи, крім того, дозволяють отримувати два рівні напруги (лінійну та фазну) і реалізовувати не дуже складні системи захисту;

3) основними недоліками систем змінного струму є: складність апаратури, забезпечення паралельної роботи генератора; додаткові втрати на реактивних елементах; підвищений рівень електромагнітних перешкод; збільшення поперечного перерізу проводів при підвищених частотах.

4) у системах постійного струму генератори мають хороші регульовальні характеристики, набагато простіше забезпечується їх паралельна робота, зменшені втрати електроенергії і рівень електромагнітних перешкод. Однак їхніми недоліками є: складні технічні рішення перетворювачів електроенергії і комутаційної апаратури, відносно низькі показники надійності і ККД.

Вибір номінальної напруги ВЕС визначається наступними факторами:

1) низькі значення напруги призводять до підвищених значень струмів (при постійній потужності) і втрат, потрібне збільшення перетину проводу і його маси відповідно, утруднюється регулювання і стабілізація параметрів електроенергії;

2) підвищені значення напруги призводять до зменшення маси провідників, але також сприяють підвищенню маси розподільних пристроїв, крім того, підвищуються вимоги до ізоляції провідників і техніки безпеки. В даний час

номінальне значення напруги генераторів змінного струму відповідає 220/380 В, а генераторів постійного струму – 110, 220 В.

Вибір потужності генератора електроенергії проводиться за графіком навантаження. За розрахункову потужність приймається середнє квадратичне значення повної потужності S за час t , як правило, рівне тривалості максимального навантаження в році або часу виходу на усталений режим додаткового джерела електроенергії.

При цьому, необхідно враховувати, що при великих коливаннях навантаження і її часових інтервалів з експлуатаційної точки зору вигідніше мати, наприклад, два джерела потужністю по 50 кВт, ніж одне джерело потужністю 100 кВт.

Для підвищення ефективності роботи ВЕС їх центральні системи не тільки повинні контролювати стан устаткування і виконувати функції захисту, але й повинні зберігати працездатність системи для всіх запланованих ненормальних режимів шляхом адаптивної зміни структури ланцюгів і поступового відключення груп споживачів згідно заданим пріоритетом навантажень. Локальні системи управління функціональних елементів повинні забезпечувати тільки функцію перетворення та стабілізації параметрів електроенергії. Відповідно контроль за роботою локальних систем управління здійснює центральна система управління ВЕС.

Модульний принцип побудови ВЕС є вельми перспективним, оскільки дозволяє забезпечити високу надійність роботи системи, за рахунок резервування основних функціональних елементів, вузлів і блоків, а при необхідності він дозволяє достатньо просто збільшувати встановлену потужність джерел, перетворювачів і накопичувачів електроенергії шляхом включення працюючих модулів на паралельну роботу з аналогічними функціональними модулями.

Принцип паралельної роботи генераторів ВЕС полягає в тому, що електростанція працює спільно з іншою електростанцією або розподільною мережею на загальні шини навантаження. Паралельна робота генераторів використовується у випадку, якщо потрібно підвищити надійність системи електропостачання особливо відповідальних споживачів і з метою компенсувати тимчасове зростання потужності в години пікового навантаження, або коли споживана потужність обладнання, що підключається протягом тривалого часу відрізняється в рази і не завжди раціонально використовувати для живлення навантажень малої потужності уста-

новку великої потужності, розраховану за максимальної потужності споживачів.

Аналіз зміни електричного режиму мережі після підключення ВЕС

Широке поширення відновлюваних джерел електроенергії веде, поряд з відомими позитивними змінами в навколишньому середовищі, також до змін електричного режиму в мережі, причому ці зміни можуть бути як позитивними (підтримання частоти і напруги, компенсація реактивної потужності, продовження електропостачання локальної ділянки мережі при розпаді енергосистеми, зниження втрат і викидів CO_2), так і негативними (зворотня дія на режим мережі).

В залежності від величини потужності, що генерується поновлювані джерела електроенергії можуть підключатися на всі рівні напруги. При цьому ступінь їх зворотного впливу буде різною.

Найбільш «чутливими» до змін електричного режиму є мережі низької і середньої напруги, де переважно має місце їх підключення.

Інтеграція – це впровадження на системному рівні станції децентралізованої генерації електроенергії в територіальну електромережу загального користування [9–14]. Важливими питаннями інтеграції є:

- системи захисту;
- силова електроніка;
- моделювання надійності;
- забезпечення якості електроенергії;
- стандарти підключення;
- моделювання (у тому числі комп'ютерне моделювання).

Взаємне поєднання компонентів систем розосередженої генерації електроенергії може бути: незалежним від мережі, з паралельним підключенням до мережі загального користування та комбінованим. При комбінованому з'єднанні компонентів в разі відмови мережі блок РГ виявляється відключеним від мережі загального користування, а його внутрішня мережа продовжує працювати незалежно (ізолюваний режим роботи).

У типовій схемі взаємного з'єднання компонентів системи РГ через мережу середнього рівня напруги підключення та від'єднання генератора здійснюється автоматичним вимикачем зі сторони генератора головного силового трансформатора (головний вимикач). В залежності від потужності електростанції роз'єднувач зі сторони мережі може бути замінений автоматичним вимикачем. У всіх випадках напруга в

точці підключення визначає потребу в трансформаторі. Енергоблоки меншої потужності можуть безпосередньо підключатися до розподільчої мережі низької напруги.

Відповідно до класифікації за електричними характеристиками, виділяється три різних типи систем РГ: синхронний генератор; асинхронний генератор; інвертор. Два перших типи представляють традиційну технологію, засновану на електричних машинах з обертовим ротором. Останній тип об'єднує системи, що використовують конвертери на основі сучасної силової електроніки. З точки зору способів взаємного з'єднання компонентів РГ, ці три типи роблять різний вплив на територіальну мережу загального користування. Вимоги до взаємного з'єднання компонентів РГ: вимоги з боку комуна-

льних компаній, що гарантують надійність подачі електроенергії, безпеку і якість електроенергії. Ці вимоги можуть включати: вимоги до захисних реле, вимоги до якості електроенергії, вивчення потоків потужності і конструктивний аналіз.

Висновок

Досвід інших країн в сфері впровадження потужностей розосередженої генерації у власні енергосистеми та розробки концепції Smart Grid показав спроможність успішної конкуренції систем РГ з великими джерелами енергії. Тому необхідність та ефективність впровадження таких систем в Україні не викликає сумнівів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Квитко А.В. Структурно-параметрический синтез автономных систем электроснабжения // Ползуновский вестник. – 2011. – №2/1. – С. 71–75.
2. Праховник А.В., Денисюк С.П., Коцар О.В. Принципи організації взаємодії компонент Smart Grid // Енергетика та електрифікація. – 2012. – № 8. – С. 68–75.
3. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
4. Sarabia A.F. Impact of distributed generation on distribution system // Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark.
5. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>
6. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009. 2011. [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.ieee.org/portal/site/emergingtech/techindex.jsp?techId=1220>
7. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid, March 2007. [Electronic resource] – Mode of access: http://www.bpa.gov/energy/n/smart_grid/docs/Vision_for_theModernGrid_Final.pdf
8. Valov B. Change of Network Operation after Interconnection of Renewables // International Workshop “Power Supply Systems with Renewables. – PUT (Russland). – 2009. – pp. 40–47.
9. Report On Renewable Energy Sources (RES) [Electronic resource] – Mode of access: www.etsonet.org/upload/documents/ETSOResources.pdf.
10. European Commission Energy Research [Electronic resource] – Mode of access: europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt/article_1075_en.htm.
11. Creating the Internal Energy Market in Europe,

REFERENCES

1. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Kvitko A.V. Strukturno-parametricheskij sintez avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija [Structural and parametrical synthesis of the off-line systems of power supply]. Polzunovskij vestnik Publ., 2011, no. 2/1, pp. 71–75.
2. Prahovnik A.V., Denisjuk S.P., Kocar O.V. Principi organizacii vzaemodii komponent Smart Grid [Principles of organization of co-operation of component of Smart Grid]. Energetika ta elektrifikacija – Energy and electrification, 2012, no. 8, pp. 68–75.
3. Stognij B.S., Kirilenko O.V., Prahovnik A.V., Denisjuk S.P. Evoljucija intelektual'nih elektrichnih merezh ta ihni perspektivi v Ukraini [Evolution of intellectual electric networks and their prospect in Ukraine]. Tehn. elektrodinamika – Tehn. Electrodynamics, 2012, no. 5, pp. 52–67.
4. Sarabia A.F. Impact of distributed generation on distribution system // Department of Energy Technology, Aalborg, Denmark.
5. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>
6. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009. 2011. [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.ieee.org/portal/site/emergingtech/techindex.jsp?techId=1220>
7. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid, March 2007. [Electronic resource] – Mode of access: http://www.bpa.gov/energy/n/smart_grid/docs/Vision_for_theModernGrid_Final.pdf
8. Valov B. Change of Network Operation after Interconnection of Renewables. International Workshop “Power Supply Systems with Renewables. – PUT (Russland), 2009, pp. 40–47.
9. Report On Renewable Energy Sources (RES) [Electronic resource] – Mode of access: www.etsonet.org/upload/documents/ETSOResources.pdf.

September 2012 [Electronic resource] – Mode of access: www.ewea.org/index.php?id=11

12. Leonardo energy is the premier web site delivering a range of virtual libraries relating to electrical energy [Electronic resource] – Mode of access: www.leonardo-energy.org

13. Union for Co-ordination of transmission of Electricity [Electronic resource] – Mode of access: www.ucte.org

14. Impact of DG on Reliability, Oct 1, 2002 12:00 PM, [Electronic resource] – Mode of access: www.tdworld.com/mag/power_impact_dg_reliability/index.html

10. European Commission Energy Research [Electronic resource] – Mode of access: europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt/article_1075_en.htm

11. Creating the Internal Energy Market in Europe, September 2012 [Electronic resource] – Mode of access: www.ewea.org/index.php?id=11

12. Leonardo energy is the premier web site delivering a range of virtual libraries relating to electrical energy [Electronic resource] – Mode of access: www.leonardo-energy.org

13. Union for Co-ordination of transmission of Electricity [Electronic resource] – Mode of access: www.ucte.org

14. Impact of DG on Reliability, Oct 1, 2002 12:00 PM, [Electronic resource] – Mode of access: www.tdworld.com/mag/power_impact_dg_reliability/index.html

Надійшла до друку 01.12.2012.

Статтю рекомендовано до друку д.т.н., професором *Г. К. Гетьманом*

У статті розглянуто особливості впливу джерел розосередженої генерації на електромережу, а також особливості побудови віртуальних електростанцій на основі джерел розосередженої генерації. Охарактеризовано інтелектуальні мережі, визначено ключові технологічні інструменти та базові підходи для їх побудови. Описано функціональні характеристики мереж, розвиток яких передбачено концепцією Smart Grid. Відзначено роль активного споживача для енергосистеми. Проаналізовано характеристики віртуальних електростанцій, їх структуру та принципи роботи. Охарактеризовано переваги віртуальних електростанцій для постачальників електричної енергії, для мережевих організацій, а також для споживачів. Оцінено позитивний вплив віртуальної електростанції на споживача. Розглянуто випадок виникнення аварійної ситуації в одному із джерел електроенергії віртуальної електростанції. Проаналізовано вплив джерел розосередженої генерації на роботу розподільчих мереж в нормальному режимі та змін до яких приводить таке підключення. А саме: вплив розосередженої генерації на регулювання напруги, вплив джерел розосередженої генерації на втрати, вплив джерел розосередженої генерації на вищі гармоніки. Наведено причини виникнення вищих гармонік в енергосистемах, та генератори вищих гармонік в джерелах розосередженої генерації. Проаналізовано фактори, які треба враховувати при виборі основного обладнання для віртуальних електростанцій, та фактори якими визначається вибір номінальної напруги віртуальної електростанції. Відзначено особливості вибору генератора. Розглянуто основні принципи узгодження роботи енергетичного обладнання віртуальних електростанцій. Охарактеризовано модульний принцип побудови віртуальної електростанції та наведено його переваги. Описано принцип паралельної роботи генераторів віртуальної електростанції з іншою електростанцією та розподільною мережею, та випадки в яких така робота є ефективною. Проаналізовано зміну електричного режиму мережі після підключення віртуальної електростанції. Визначено основні питання інтеграції систем розосередженої генерації енергії в електромережу. Охарактеризовано особливості схем приєднання об'єктів розосередженої генерації до мережі, та вимоги які ставляться до взаємного з'єднання компонентів розосередженої генерації.

Ключові слова: розосереджена генерація, Smart Grid, віртуальна електростанція, інтеграція, підключення до мережі, нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії.

УДК 621.31

С. П. ДЕНИСЮК, Т. Н. БАЗЮК (ІЕЭ НТУ «КПІ»)

Институт энергосбережения и энергоменеджмента Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», ул. Борщаговская 115, Киев, Украина, 03056, эл. почта: spdens@ukr.net, klimbuck@ukr.net

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ЭЛЕКТРОСЕТИ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье рассмотрены особенности влияния источников распределенной генерации на электросеть, а также особенности построения виртуальных электростанций на основе источников распределенной генерации. Охарактеризованы интеллектуальные сети, определены ключевые технологические инструменты и базовые подходы для их построения. Описаны функциональные характеристики сетей, развитие которых предусмотрено концепцией Smart Grid. Отмечена роль активного потребителя в энергосистеме. Проанализированы характеристики виртуальных электростанций, их структура и принципы работы. Охарактеризованы преимущества виртуальных электростанций для поставщиков электрической энергии, для сетевых организаций, а также для потребителей. Оценено положительное влияние виртуальной электростанции на

© Денисюк С. П., Базюк Т. М., 2012

потребителя. Рассмотрен случай возникновения аварийной ситуации в одном из источников электроэнергии виртуальной электростанции. Проанализировано влияние источников рассредоточенной генерации на работу распределительных сетей в нормальном режиме, и изменений к которым приводит такое подключение. А именно: влияние распределенной генерации на регулирование напряжения, влияние источников распределенной генерации на потери, влияние источников распределенной генерации на высшие гармоники. Приведены причины возникновения высших гармоник в энергосистемах, и генераторы высших гармоник в источниках распределенной генерации. Проанализированы факторы, которые необходимо учитывать при выборе основного оборудования для виртуальных электростанций, и факторы которыми определяется выбор номинального напряжения виртуальной электростанции. Отмечены особенности выбора генератора. Рассмотрены основные принципы согласования работы энергетического оборудования виртуальных электростанций. Охарактеризованы модульный принцип построения виртуальной электростанции и приведены его преимущества. Описаны принцип параллельной работы генераторов виртуальной электростанции с другой электростанцией и распределительной сетью, и случаи в которых такая работа является эффективной. Проанализировано изменение электрического режима сети после подключения виртуальной электростанции. Определены основные вопросы интеграции систем распределенной генерации энергии в электросеть. Охарактеризованы особенности схем присоединения объектов распределенной генерации к сети, и требования, предъявляемые к взаимному соединению компонентов распределенной генерации.

Ключевые слова: распределенная генерация, Smart Grid, виртуальная электростанция, интеграция, подключение, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Статью рекомендовано к печати д.т.н, профессором *Г. К. Гетьманом*

UDC 621.31

S. P. DENISUK, T. M. BAZUK (IEE NTU «KPI»)

Institute for Energy Saving and Energy, National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute», 115 Borschahivs'ka Street, Kiev, Ukraine, 03056, e-mail: spdens@ukr.net, klimbuck@ukr.net

ANALYSIS OF INFLUENCE OF SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRICAL CONSTRUCTION AND FEATURES VIRTUAL POWER

The article describes the features of the effect of distributed generation sources to the power grid, as well as features for virtual power plants on the basis of sources of distributed generation. Characterized intelligent networks, identify key technological tools and the basic approaches to constructing them. The functional characteristics of networks, the development of which is stipulated by the concept of Smart Grid. The role of active user in the system. The characteristics of virtual power plants, their structure and working principles. Described the benefits of virtual power plants for power suppliers to network organizations, as well as for consumers. The positive effect of a virtual power plant to the consumer. The case of an emergency at one of the sources of electricity Virtual Power Plant. Analyzed the effect of distributed generation sources to distribution networks work in normal mode, and the changes that result from such a connection. Namely: the impact of distributed generation on voltage regulation, the impact of distributed generation sources for losses, the impact of distributed generation sources to the higher harmonics. The reasons of the higher harmonics in power systems and generators of higher harmonics in the sources of distributed generation. The factors to consider when choosing the main equipment for virtual power plants, and the factors that determine the choice of the nominal voltage of virtual power plant. The peculiarities of the choice of the generator. The basic principles of coordination of the power equipment of virtual power plants. Characterized modular design of virtual power plants and shows its advantages. Describes the principle of parallel operation of generators virtual power plant with other power plants and distribution network, and cases in which such work is effective. The change of the electric network mode after connecting a virtual power plant. The main issues of integration of distributed energy generation to the grid. The features of circuits connected objects of distributed generation to the network, and the requirements for interconnection of distributed generation components.

Keywords: distributed generation, Smart Grid, a virtual power plant, integration, connection, alternative and renewable energy sources.

Prof. *G. K. Getman*, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published.