

ВПЛИВ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ПАРАМЕТРИ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Карпалюк І. Т.¹, Карюк А. О.¹, Ієрусалімова Т. С.², Сєдова О. О.²¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

У статті розглядаються питання можливості використання систем з розподіленою генерацією в єдиній електромережі. Оцінені можливі негативні впливи розподіленої генерації на параметри електромережі.

Постановка проблеми

Технічні, політичні та екологічні фактори останнім часом стимулюють, щодо швидкого зростання числа установок розподіленої генерації (РГ) в світі. При цьому загальна потужність установок РГ в Україні залишається невеликою, і їх вплив на роботу енергосистеми залишається незначним. Однак, по мірі того, як буде збільшуватися встановлена потужність установок РГ, вплив, який вони чинять на електричну мережу, буде посилюватися. Характер і кількісна оцінка цього впливу є досить складною науково-технічною задачею, оскільки необхідно проаналізувати одночасно всі аспекти функціонування системи контролю напруги, координації релейного захисту, втрат і якості електроенергії, надійності і багатьох інших параметрів. Деякі з цих аспектів також нерозривно пов'язані з процесами стійкості системи і тому вони повинні бути розглянуті в дослідженнях загальної надійності роботи енергосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний момент розроблено багато різних технологій локального комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Технологія перетворення може бути заснована як на згоранні і подальшому перетворенні тепла в механічну енергію, що обертає електрогенератор, так і на прямому електрохімічному перетворенні хімічної енергії в електричну. До комбінованих технологій також відносяться термоелектричні і фотогальванічні перетворення випромінювання (термо-фотогальванічні пристрої). Перелік даних технологій визначено відповідно до перспектив розвитку розподіленої міні- і мікрогенерації, розглянутими, в [1, 3, 4].

Звичайні системи когенерації можуть бути використані в електротехнічних системах з РГ, хоча багато з них при малих обсягах генерації мають досить низький ККД. Проведений аналіз перспектив застосування даних технологій показав, що однією з найбільш перспективних технологій сучасного часу – є використання поршневих двигунів (двигунів внутрішнього згорання), сонячних електростанцій (фотоелектричні перетворювачі) і вітроустановок. У технологіях мікрогенерації, як правило, використовуються двигуни з циклом Отто. Поршневі двигуни комерційно доступні і виробляються у великих кількостях безліччю компаній в усьому світі. Електрична ефективність поршневих двигунів, визначена як вироблена електроенергія, поділена на вхід природного газу і досить

сильно залежить від електричної потужності системи. При значенні менше 15 кВт ефективність зазвичай не перевищує 26%. Теплова ефективність залежить від системи і її рівня теплової інтеграції (наприклад, чи використовується теплоносій з підвищеним тиском). При цьому об'єднана електрична і теплова ефективність (загальна ефективність) варіюється від 80% і вище. Значне зниження капітальних витрат може спостерігатися при досягненні потужності генератора вище 10 кВт.

Іншим різновидом технології когенерації є технологія "паливного елемента", який перетворює хімічну енергію палива (як правило, водню) і кисню, безпосередньо в електроенергію. Для досягнення високих потужностей, поодинокі паливні елементи включаються послідовно, утворюючи стек (батарею) паливного елемента.

Паливні елементи для мікрогенерації засновані на технології полімерних електролітичних паливних елементів (Polymer Electrolyte Fuel Cells – PEFC, також протонобмінний мембранний паливний елемент – Proton Exchange Membrane Fuel Cell – PEMFC), що використовують тонку мембрану в якості електроліту і працюючий в температурному режимі близько 80 °С або технології твердооксидних паливних елементів (Solid Oxide Fuel Cells – SOFC), які є високотемпературними паливними елементами, які працюють з температурою близько 800 °С. Недавні дослідження привели до розвитку високотемпературних литих карбонатних паливних елементів для цього сегмента генерації малих потужностей.

Природний газ є доступним паливом для застосування в мікрогенерації. Він складається з водню метану (CH₄), який перетворюється в водень в реакції риформінгу. Це відбувається або в пристрої сепарації, або, як у випадку високотемпературних паливних елементів, в стеку (внутрішнє перетворення).

При використанні природного газу як основного палива для паливних елементів: в короткостроковій перспективі, низькотемпературні паливні елементи (PEMFC) в діапазоні малих потужностей можуть досягти електричного ККД близько 28 – 33%; в довгостроковій перспективі можливе зростання до 36% для мікросистем.

Існують технології, які засновані не на електрохімічних процесах або двигунах згорання, а, наприклад, на напівпровідниках, які перетворюють непотрібну випромінюючу енергію джерела тепла, безпосередньо в електрику за допомогою перетворення в фотогальванічних елементах. Ця технологія, названа термофо-

тогальваніка, вона застосовує фотогальванічні матеріали з низькою забороненою зоною.

Термоелектричні пристрої також перетворюють електромагнітне випромінювання в електрику. Однак вони не застосовують фотогальванічні матеріали, натомість вони використовують принцип генерації ЕРС парою різних провідників, якщо між ними є температурний градієнт. Це можуть бути по-різному леговані матеріали напівпровідників (наприклад, телурид вісмуту та ін.). В принципі термоелектрична технологія також може використовуватися в цілях мікрогенерації. Однак, як очікується, і термофотогальванічні, і термоелектричні пристрої, не вийдуть на ринок мікрогенерації в короткостроковий або середньостроковий період.

Мета статі

Описати потенційний розвиток електричних мереж як розвиток систем розподіленої генерації. Дати оцінку можливих проблем використання таких систем. Скласти структурні зміни в електричній мережі для обліку, параметри моделі для подальшого синтезу мережі з застосуванням розподіленої генерації.

Основні матеріали досліджень

Децентралізація та розвиток технологій для автономного або індивідуального енергопостачання останнім часом стали знову актуальні. Очікується, що розподілене виробництво електроенергії в малих, децентралізованих одиницях, дозволить знизити втрати в мережах, забезпечить можливості розвитку для відновлюваної енергетики, а також скоротить загальний обсяг викидів. ЕТС з розподіленою генерацією можуть стати складовою частиною більш життєздатних енергосистем майбутнього. Широке впровадження РГ має на увазі ретельно продумані структурні зміни і може з'явитися новим кроком у розвитку української енергетики.

В результаті досліджень було розглянуто варіант РГ з комбінованим виробництвом електричної і теплової енергії в малих обсягах, інтегрованої в підприємствах і будівлі, де вони повинні використовуватися. Такі конфігурації мають назву міні- і мікрогенерації.

У порівнянні з домінуючим в даний час централізованим виробництвом і споживанням електроенергії, з забезпеченням великого числа об'єктів відразу від однієї електростанції, з рідкісним використанням локальних систем тепло- і електропостачання, РГ дала б принципово нову форму організації енергозабезпечення з безліччю генеруючих енергоустановок об'єднаних в умовно єдину "віртуальну електростанцію".

За результатами порівняльних досліджень ефективності вироблення електричної і теплової енергії на традиційних теплових електростанціях і установках, що використовують принцип когенерації показано збільшення загальної ефективності ЕТС з міні- і мікрогенерацією в порівнянні з традиційними ЕТС до 87% [4, 5].

Когенерація або об'єднане вироблення тепла і електроенергії, є процесом виробництва і електричної,

і теплової енергії придатною до використання з високою продуктивністю близько пункту використання [1]. Таким чином, це визначення включає три складових елементи:

- 1) одночасне виробництво електроенергії і високої температури;
- 2) критерій високої загальної ефективності;
- 3) критерій щодо близькості енергетичної частини до споживача.

Технологічним ядром міні- і мікрогенерації є енергетична перетворювальна установка, яка дозволяє одночасно виробляти електричну і теплову енергію в малих обсягах. На додаток до цієї основної технології в систему входять компоненти для розвинутого доступу до мережі більш високого рівня, що дають функції вимірювання, контролю та управління перетворювачами. Все це дозволяє утворювати комплекси розподіленої генерації – "віртуальні електростанції".

Проблема розвитку когенерації вимагає багатогранного вивчення, в поєднанні з різними факторами не тільки технологічного, але й економічного, соціального характеру. Очевидний аспект новизни даної роботи – в запровадженні установок та систем з новими функціональними можливостями і розвиненими зв'язками з іншими технічними компонентами системи електро- і тепlopостачання. У цьому розділі розглянуто різні технічні компоненти РГ, а також технологій для об'єднання таких установок в системи.

Для функціонування ЕТС у вигляді системи з РГ і загальним керуванням режимами роботи такої системи, потрібні ефективні пристрої для зв'язку як між окремими пристроями генерації, так і з системним оператором. Ці пристрої повинні підтримувати оптимальну роботу ЕТС в цілому, при ефективній роботі окремих систем відповідно до вимог споживачів і оператора мережі. Створення таких інтелектуальних електричних мереж (так званих Smart Grid) відноситься до перспективних технологій розвитку української енергетики. [2]

Організація ЕТС з декількох пристроїв РГ можлива на декількох рівнях:

- мікромережі, які фізично з'єднують пристрої РГ з декількома клієнтами без подальшої інформації про передачу між установками, формуючи, таким чином, більш-менш незалежну мережу;
- інформаційні технології, що з'єднують системи РГ з сервером даних;
- "віртуальні електростанції", які об'єднують територіально розрізнені комплекси виробництва електроенергії за допомогою інформаційних технологій в системи з централізованим управлінням.

Комунікаційні інтерфейси таких ЕТС крім контролю за обсягом та якістю виробленої електричної енергії повинні надавати додаткові функції, такі як мережеве управління електростанцією, а також протиаварійні пристрої, автоматизований збір даних та оповіщення обслуговуючих компаній в разі аварій, і т.п.

Відносно локальних установок, подібні комунікаційні пристрої можуть бути розроблені, для формування системи управління енергетикою малих об'єктів. Таке локальне управління навантаженням може активно впливати на сумарне електроспоживання в

залежності від зовнішніх даних (наприклад, тарифів на електричну енергію з тимчасовою залежністю), розташувати по пріоритетах і часу підключення навантаження, і, в кінцевому рахунку, діяти як "локальний енергетичний брокер", автоматично продаючи або купуючи електроенергію від інших клієнтів.

Відносно простим і дешевим методом комунікації може бути технологія контролю за зміною навантажень, яка дозволяє включати або вимикати електростанції в періоди піку або низького споживання. Ще більш передовими системами управління є системи передачі даних через Інтернет і SMS, технологія силових ліній (Powerline), а також інші форми двонаправлених потоків даних, розглянуті, наприклад, в [2].

Поняття комунікативної організації мережі в кінцевому рахунку призводить до віртуальної електростанції. Віртуальна електростанція складається з багатьох географічно розподілених одиниць виробництва електроенергії, зазвичай децентралізованих, з малою електричною потужністю, які об'єднані в одну велику експлуатаційну одиницю у вигляді об'єднаного інтерфейсу оператора і контролю. Термін "віртуальний" відноситься не до енергетичних потоків, а до самої станції, яка не має однозначного розташування, а розсіяна серед безлічі генеруючих установок.

Щоб зробити оцінку впливу РГ на роботу енергосистеми, в даній статті виконано аналіз взаємодії енергосистеми з мережами має велику частку РГ.

Одним з найбільш істотних факторів, що впливають на взаємодію між РГ і системою є вид технології, що використовується в РГ, а також режими управління і експлуатації РГ.

Щоб провести якісну оцінку впливу РГ на розподільну мережу, було опрацьовано приклад, в якому аналізувалися такі аспекти роботи енергосистеми, як контроль напруги, втрати потужності та якість електроенергії.

В енергосистемі при порівнянні потужності генераторів з потужністю навантаження можливі наступні випадки:

Випадок 1: Навантаження кожного вузла завжди більше або дорівнює розподіленого генератора на кожному вузлі (Такий варіант характерний для систем РГ, що містять фотоелектричні елементи, двигуни Стірлінга, парові мікротурбіни або невеликі вітрові турбіни).

Випадок 2: Потужність РГ генератора хоча б в одному вузлі більше навантаження на тому ж вузлі, тоді сумарна потужність РГ в розподільній мережі буде менше, ніж сума всіх навантажень в системі (Цей випадок може виникнути, якщо один з генераторів РГ отримує енергію від вітру або біопалива).

Випадок 3: Розподілена генерація як мінімум в одному вузлі більше навантаження в цьому ж вузлі, і сума всіх генераторів ДГ в розподільній мережі більше, ніж сума всіх навантажень в системі (Цей випадок навантаження може виникнути при підключенні потужної вітрогенераторної установки до кінця розподільної мережі, в той час як центри навантаження зазвичай не розташовані в районах з високими швидкостями вітру. У цьому випадку вихідна потужність вітряків часто може перевершувати споживану потужність).

Слід зазначити, що навантаження в розподільній мережі може змінюватися з плином часу. Це характерно, якщо в розподільній мережі вітроелектростанції несуть більшу частину часу значний обсяг навантаження (випадок 2). Однак два інших варіанти також вірогідні, наприклад, випадок навантаження 1 при невеликій швидкості вітру і навантаження 3 в період з дуже високими швидкостями вітру і низькими навантаженнями споживачів (наприклад, вночі).

Щоб пояснити вплив РГ на роботу мережі з урахуванням різних співвідношень X/R , використовується найпростіша модель енергосистеми з джерелами E і SDG , однією лінією електропередачі і навантаженням SLD (рисунок 1).

У моделі, представленій на рисунку 1, E являє собою джерело напруги, а U є кінцевою напругою у споживача. Якщо ми припустимо, що напруга у споживача, а також струм навантаження відомі, то отримаємо рівняння, що встановлює зв'язок між потужністю РГ і пов'язане з цим зменшення втрат в лінії.

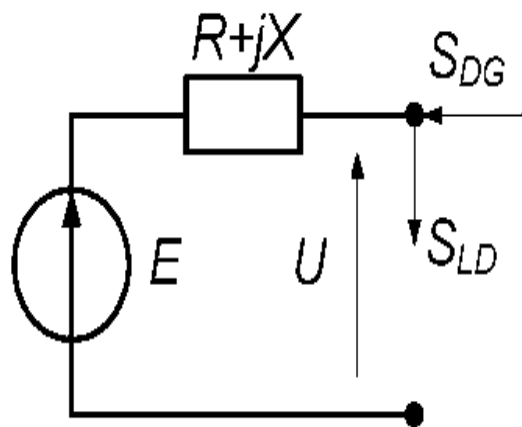


Рисунок 1 – Спрощена модель електричної системи з РГ

Припустимо що джерело розподіленої генерації не підключене. Тоді втрати потужності складуть:

$$S_{loss} = (E - U) \cdot I^* = (E - U) \cdot (I_{LD,a} - jI_{LD,r}), \quad (1)$$

де $I_{LD,a}$ і $I_{LD,r}$ позначають активну і реактивну складові струму навантаження.

Таким чином, наявність РГ знижує втрати потужності на величину рівну:

$$S_{loss}^{DG} = (E - U) \cdot (I_{LD,a} - I_{DG} - jI_{LD,r}). \quad (2)$$

Тепер припустимо, що підключена установка РГ виробляє тільки активну потужність ($\cos\phi = 1$) і також припустимо для простоти, що напруга на приймальному кінці підтримується постійною. Тоді неважко побачити, що втрати потужності дорівнюють:

$$S_{loss} - S_{loss}^{DG} = (E - U) \cdot I_{DG}. \quad (3)$$

При цьому наближене вираження зміни напруги на приймальному кінці не враховується, оскільки не є суттєвим для аналізу.

Підводячи підсумок, можна зробити висновок, що впровадження розподіленої генерації зменшує струм, що протікає по лінії електропередачі, зменшуючи, таким чином, активну, а також реактивну втрати потужності.

Тоді можна сказати наступне:

Випадок 1 – РГ завжди приводить до зменшення втрат на всіх лініях в розподільній мережі.

Випадок 2 – РГ може привести до збільшення втрат на деяких лініях, але загальні втрати в розподільній мережі стануть меншими.

Випадок 3 – РГ може привести до збільшення втрат на деяких лініях, але загальні втрати в розподільній мережі будуть знижені, поки загальний обсяг виробництва РГ буде менше, ніж загальне навантаження в розподільній мережі приблизно в два рази.

Якщо виробництво електричної енергії установками РГ перевищує приблизно в два рази загальне навантаження в розподільній мережі, то втрати в розподільній мережі будуть більші при включеному РГ, ніж без них.

Висновки

На даний момент стає важлива підготовка бази для просування подальших системних інновацій, таких як "віртуальна електростанція" або нові локальні системи управління енергетикою. З економічної точки зору, об'єднання установок малої генерації в ЕТС з РГ тягне за собою зменшення витрат і збільшення доходів.

Поряд з цими позитивними економічними аспектами віртуальних електростанцій, потрібно відзначити, що кількість енергії, яка може бути комерціалізована (видано в зовнішню мережу), зазвичай незначна. Це пов'язано з тим, що в багатьох випадках власне споживання виробником виробленої електроенергії більш прибуткове, ніж видача його в загальну мережу, навіть з урахуванням нових маркетингових можливостей. Крім того, виробництво електроенергії об'єднано з виділенням тепла, яке використовується локально.

При сучасних умовах, крім віртуальних електростанцій, заснованих на великих установках РГ з потенційно вищими доходами, установки мікрогенерації не виправдовують високі витрати для впровадження і управління віртуальною електростанцією. Однак використання установок міні- і мікрогенерації в перспективі несе значний економічний ефект і може стати однією з проривних технологій в енергетиці України, що, зокрема підтверджується [1, 2, 3, 4].

На закінчення можна констатувати, що найбільш значний вплив РГ на аспекти експлуатації ЕТС сильно залежать від характеристик РГ, характеристик електричної мережі, а також області застосування РГ.

Незважаючи на ці проблеми, майже завжди може бути успішно розроблені способи використання РГ в ЕТС для оптимізації її характеристик.

Список використаних джерел

1. Кириленко О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці / О. В. Кириленко, М. С. Сегада, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур . – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 608 с.
2. Pehnt M. Micro Cogeneration: Towards Decentralized Energy Systems / M. Pehnt, M. Cames, C. Fischer, B. Praetorius, L. Schneider, K. Schumacher, J.-P. VoB. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – 356 p.
3. Directive 2004/8/EC of the European parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC. – Strasburg, 2004.
4. Римский Г. В. Теория систем автоматизированного проектирования и интеллектуальных САПР на базе высших комплексов и сетей / Г. В. Римский. – Мн.: Наука и техника, 1994. – 631 с.
5. Арион В. Д. Применение динамического программирования к задачам электроэнергетики / В. Д. Арион, В. Г. Щуравлев; Отв. ред. В. А. Веников. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 132 с.
6. Карпалюк І. Т. Результати перевірки працездатності трансформатора з перпендикулярною намоткою обмоток / І. Т. Карпалюк, А. В. Дорохов, А. О. Карюк // Новітні технології в електроенергетиці: Матеріали V міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 121 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Карпалюк І. Т., Карюк А. А.,
Иерусалимова Т. С., Седова Е. А.

В статье рассматриваются вопросы возможности использования систем с распределенной генерацией в единой сети. Оценены возможные негативные влияния распределенной генерации на параметры электросети.

Abstract

INFLUENCE OF DISTRIBUTED GENERATION ON POWER PARAMETERS

I. Karpalyuk, A. Karyuk,
T. Jerusalemova, E. Sedova

The article considers the possibility of using distributed generation systems in a single network. The potential negative effects of distributed generation on the network parameters are estimated.