

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АКТИВНОГО СПОЖИВАЧА В СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Оцінено потенціал розвитку систем енергопостачання на основі стратегії «активного споживача». Розглянуто особливості активних споживачів. Оцінено переваги «активних споживачів» над звичайними споживачами електроенергії. Проведено аналіз реактивної потужності за довільної зміни навантаження.

Ключові слова: активний споживач, «prosumer», smartgrid, нерівномірність споживання.

Вступ

Однією з ключових тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення галузі на основі нової концепції Smart Grid [1]. За кордоном, у відповідності до цієї концепції електроенергетична система розглядається як повністю інтегрована, саморегульовальна і самовідновлювальна система, що має мережеву топологію та включає в себе як всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі, так і всі види споживачів електричної енергії, керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу. У рамках концепції Smart Grid різноманітність вимог усіх зацікавлених сторін зводиться до групи ключових вимог електроенергетики XXI століття, сформульованих як доступність, надійність, економічність, ефективність, екологічність і безпека [2].

Концепція інтелектуальної енергетики «Smartgrid» включає в себе такі концепції, як активне споживання, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом [2]. Інтелектуальна мережа — це модернізована електрична мережа, що використовує інформаційно-комунікаційну систему для автоматичного збирання даних та реагування на таку інформацію як поведінка всіх учасників процесу виробництва–трансформації–передачі–споживання енергії з метою покращення ефективності, економічності та стійкості виробництва, розподілу та споживання електроенергії.

Активний споживач

В англійській літературі ширше використовується поняття «prosumer» — це такий споживач енергії, який є не тільки її пасивним покупцем, але й може деяким чином взаємодіяти з мережею енергопостачання, впливати на її стан та ціни на ринку, в основному через можливість самостійно генерувати та зберігати енергію. Існує декілька варіантів походження цього терміну. За однією з них цей термін походить від поєднання англійських слів «producer» — виробник та «consumer» — споживач [3], за іншою — поєднання слів «professional» — професіональний та «consumer» — споживач [4].

Активний споживач — це споживач, який реагує та впливає на ринок енергії через систематичні дії і реакції, які націлені на мінімізацію витрат і збільшення власного та колективного прибутку. Пристосування до миттєвих цін на ринку та можливість керувати навантаженням для стабілізації графіка добового споживання є одними з найважливіших стимулів до розвитку активних споживачів та формування мікромереж [5].

Критичним фактором перетворення звичайного споживача на активного є явні прибутки, що випливають з такого перетворення. Споживачі мають зрозуміти цінність нових технологій та захотіти змінити свою поведінку і платити за продукти та послуги, які нові учасники ринку можуть запропонувати в рамках інтелектуальних мереж. Вигода, яку отримують споживачі, не завжди може відобразитися у грошовому еквіваленті.

У взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, джерел розосередженої генерації активні споживачі можуть отримувати різного роду вигоди. Рівень активної

участі споживачів і мета взаємодії з гравцями ринку залежать від різних персональних, поведінкових і контекстуальних характеристик споживачів. Серед найважливіших характеристик є:

- бажання бути енергонезалежним;
- гнучкість (можливість пристосування власного попиту на електроенергію та пропозиції виробленої енергії джерелами власної генерації).
- Створення нового ринку енергії, орієнтованого на активного споживача, може принести численні прибутки як для кінцевих користувачів, так і для суспільства:
- зменшення споживачів в мережах, які знаходяться далеко від генеруючих потужностей, як наслідок, зменшення втрат в мережах;
- більш повне та прозоре інформування споживачів про стан споживання та плату за електроенергію;
- прибуткова участь на ринку електроенергії через компанії, що займаються керуванням потоками енергії, отриманої від джерел розосередженої генерації та комплексів активних споживачів;
- ефективніше споживання енергії;
- заощадження електроенергії.

Для забезпечення ефективнішої інтеграції розосередженої генерації та активних споживачів у мережу, переваги для споживачів та мережевої компанії мають бути очевидними та відповідати їхнім очікуванням.

Споживачі отримують такі переваги: активна поведінка (тобто перехід від стратегії «звичайного» споживача до «активного») вплине на зменшення втрат енергії в мережах електропостачання, як через використання власної генерації, так і через використання систем керування навантаженням з метою його зміни в часі відповідно до поточних цін на електроенергію. Крім того, споживачі отримують можливість обирати постачальників енергії (власна генерація, віртуальна електростанція, традиційні генератори, мережа тощо), а також варіантів енергії («зелена» енергія, енергія від традиційних джерел, енергія підвищеної якості).

Активні споживачі з чітким уявленням про свою участь, можливості у новому ринку та спроможність отримання прибутку, через використання всіх переваг активного споживача, стануть дієвим стимулом для перетворення сучасного суспільства на суспільство сталого розвитку.

Крім економічних мотивів окремих споживачів та енергетичних компаній, на розвиток інтелектуальних мереж та активного споживання буде впливати низка інших факторів. До таких факторів можна віднести:

- політичні події, що відбуваються в світі та мають прямий та непередбачуваний вплив на ситуацію на ринку;
- поведінку учасників ринку;
- пасивні та активні будинки;
- відношення ціна/продуктивність для місцевого виробництва.

Переваги активного споживання над звичайним

Перевагами активного споживача є:

- можливість самостійно генерувати енергію, що дозволяє забезпечувати більший рівень самостійності;
- можливість отримувати прибуток від продажу надлишкової енергії;
- оптимізація використання енергії в залежності від миттєвих цін;
- підвищення рівня надійності енергопостачання та якості електроенергії в системі;
- пристосування до графіка добового споживання через використання систем керування навантаженням, що дозволяє без створення незручностей для споживачів та суттєвої зміни графіка споживання позитивно впливати на мережу;
- вирівнювання та оптимізація графіка споживання.

За умови своєчасного інформування споживачів процес регулювання попиту може відбуватись як у керованому, так і в автоматичному режимі. В автоматичному режимі відключення та підключення керованого навантаження регулюється інтелектуальною керувальною системою, а вироблена власною генерацією енергія направляється до агрегаторів (віртуальних електростанцій), які вже займаються подальшим її розподілом та розповсюдженням.

Вигоди, що отримують учасники нового ринку енергії за участі інтелектуальних мереж:

— *генерувальна компанія*: простіший збір інформації про стан та обсяги споживання; виставлення рахунку на основі реального споживання; зменшення навантаження; поліпшені клієнтські служби (такі як підтримка і повідомлення про несправності, інформаційні дисплеї, поради); поліпшена регулярність і стійкість поставки; покращений моніторинг стану мережі та якості наданої послуги; активні кінцеві користувачі; нові тарифи для обраного типу споживання; інтеграція місцевого виробництва; зменшення втрат при передачі енергії;

— *мережева компанія*: нові продукти, засновані на нових технологіях; покращена лояльність клієнтів; нові покупці; централізований контроль навантаження (зменшені витрати на дисбаланс, точніше прогнозування); покращення робочого балансу (менша схильність до змін цін, зменшення пікових навантажень);

— *кінцеві споживачі*: покращена безпека постачання; покращена якість поставки; більш екологічний процес; більше можливостей впливати на ціну/вартість енергії; більший вибір поставки; передбачувані витрати на енергію; зменшення вартості енергії; зменшення споживання; зменшення навантаження; дохід від виробництва та зберігання енергії.

Сучасний рівень розвитку джерел розосередженої генерації дозволить активним споживачам генерувати необхідну кількість електроенергії для постачання надлишків у мережу, але без відповідного керування потоками енергії цей вклад буде складно направити у потрібному напрямку та використати максимально ефективно.

Вплив нерівномірності споживання енергії

Реструктуризація електроенергетики для інтеграції відновлюваних джерел енергії дає нові можливості для електроенергетичних систем. Нестійкі джерела енергії, до яких відносяться відновлювальні джерела енергії, особливо вимагають стратегії зменшення наслідків нестійкої роботи, щоб підтримувати постійну потужність в електричній мережі [7—10]. Відомо, що втрати потужності мають мінімальне значення в симетричних режимах за незмінного в часі навантаження. Несиметрія і нерівномірність навантаження в часі призводять до збільшення втрат. Окрім симетричного режиму незмінного навантаження можливий режим незмінного в часі несиметричного навантаження; змінного в часі симетричного навантаження; несиметричний режим змінного навантаження. Зрівнюючи втрати в цих режимах з втратами в базовому режимі, можна оцінити вплив на них різних факторів. Для такої оцінки необхідно отримати закономірність зміни в часі всіх симетричних складових струмів і еквівалентувати їх такими значеннями, які за вибраний інтервал часу дадуть ті ж значення втрат енергії, що і змінні в часі [11].

Спільна робота джерел розосередженої генерації, з відновлювальними включно

Системи електропостачання із джерелами розосередженої генерації характеризуються наявністю в них генераторів обмеженої потужності, використанням різних типів нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, широким діапазоном зміни параметрів навантаження тощо [5]. З розвитком систем електроживлення локальних об'єктів постають задачі ефективного керування, оптимізації енергетичних процесів та оцінки стійкості елементів системи [1].

Регулювання реактивної потужності при довільній зміні навантаження

В умовах дефіциту та збільшення вартості енергоресурсів, зростання обсягів виробництва та інфраструктури міст актуальнішою стає проблема енергозбереження та, зокрема, економії електроенергії. На сьогодні приріст споживання реактивної потужності у багатьох випадках перевищує зростання споживання активної потужності внаслідок бурхливого впровадження сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв.

Важливим пунктом регулювання споживання електроенергії є усунення реактивних режимів роботи електричних систем.

Нижче розглянуто методику вирівнювання графіків потужності у системах з перетворювачами електроенергії, а саме вирівнювання — компенсація потужності Фризе Q_F , яка виникає під час роботи перетворювальних пристроїв і приводить до додаткових втрат під час передачі енергії, а також зменшує усталену потужність генератора до мінімальної можливої величини.

Струм навантаження для довільного інтервалу часу $[0...t]$ можна подати як суму активного струму $i_{Ac}(t)$ та реактивного струму $i_{p\tau}(t)$ на цьому інтервалі, при цьому [11]:

$$i_{A\tau}(t) = \left(\int_0^{\tau} u(t)i(t)dt \right) u(t) / \int_0^{\tau} u^2(t)dt;$$

$$i_{P\tau}(t) = i_{\tau}(t) - \left(\int_0^{\tau} u(t)i(t)dt \right) u(t) / \int_0^{\tau} u^2(t)dt.$$

Міру відхилення величини струму $\int_0^{\tau} i^2(t)dt$ від його мінімально можливого значення $\int_0^{\tau} i_{A\tau}^2(t)dt$ для заданої величини активної енергії, яка передається в навантаження на інтервалі часу $[0 \dots \tau]$, характеризується реактивною потужністю $Q_{F\tau}$. Компенсація реактивної потужності $Q_{F\tau}$ зменшує витрати електроенергії, і покращує її якість.

$$P = (1/\tau) \int_0^{\tau} u(t)i(t)dt;$$

$$S = (1/\tau^2) \int_0^{\tau} u^2(t)dt \int_0^{\tau} i^2(t)dt;$$

$$Q_F = \sqrt{\left((1/\tau^2) \int_0^{\tau} u^2(t)dt \int_0^{\tau} i^2(t)dt - \left((1/\tau) \int_0^{\tau} u(t)i(t)dt \right)^2 \right)} = \sqrt{\left((1/\tau^2) \int_0^{\tau} u^2(t)dt \int_0^{\tau} i_{P\tau}^2(t)dt \right)}.$$

Визначення реактивної потужності $Q_{F\tau}$ для різних характерів зміни навантаження проводиться таким чином.

Якщо $R(t) = const$, $L(t) = const$, то активний, реактивний та повний струми розраховуються за такими формулами:

$$i_{A\tau}(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)/R;$$

$$i_{P\tau}(t) = i_{\tau}(t) - i_{A\tau}(t) = 0;$$

$$i_{\tau}(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)/R.$$

Оскільки реактивний струм при такому характері навантаження $i_{P\tau}(t) = 0$, то $Q_{F\tau} = 0$.

Якщо $R(t) = var$, $L(t) = const$ активний, реактивний та повний струми розраховуються за наступними формулами:

$$i_{P\tau}(t) = i_{\tau}(t) - i_{A\tau}(t); \quad i_{\tau} = \begin{cases} \frac{U_{m_i}}{R_i(t)} \sin(\omega t); \\ t \in [t_{i-1}; t_i], i = \overline{1; m}; \end{cases}$$

$$i_{A\tau}(t) = \frac{\int_0^{n_i T} \frac{U_{m_i}^2 \sin^2(\omega t)}{R_i(t)} dt}{\int_0^{n_i T} U_{m_i}^2 \sin^2(\omega t) dt} \cdot \frac{U_{m_i} \sin(\omega t)}{\int_0^{n_i T} U_{m_i}^2 \sin^2(\omega t) dt};$$

$$Q_{F\tau} = \sqrt{\frac{1}{\sum n_i} \cdot \frac{\sum U_{m_i} \sum I_{m_i}}{2}}.$$

Висновки

Потенціал активних споживачів на ринку електроенергії досить великий, оскільки існує можливість, виходячи зі своїх потреб, оптимізувати графік завантаження своїх потужностей як з метою мінімізації витрат на електроенергію, так і з метою отримання доходу від продажу електричної енергії та потужності. Метою активного споживача є створення зворотного зв'язку та зворотний вплив на постачальників послуг, з метою підвищення якості послуг, а також збільшення участі осіб або організацій у формуванні конкурентного ринку електроенергії.

Поєднання АС та джерел розосередженої генерації в одну структуру дозволяє сформувати мережі, для яких досягається узгоджене функціонування всіх її елементів, що сприяє зменшенню технологічних втрат енергії за рахунок оптимізації енергетичних потоків.

Українській електроенергетиці сьогодні вкрай важливо активно включитися в процес відповідних інноваційних перетворень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стогній Б. С. Интеллектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. Спец. вип. Ч. 1. — К. : ІЕД НАНУ, 2011. — С. 5—20.
2. Smart Power Grids — Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009. 2011.
3. Cambridge Dictionary Online. Cambridge Business English Dictionary [Електронний ресурс] — Режим доступу : <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/business-english/prosumer>
4. Forbes Thought Of The Day [Електронний ресурс] — Режим доступу <http://www.forbes.com/sites/work-in-progress/2010/07/03/the-shift-from-consumers-to-prosumers/>
5. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. — К. : Освіта України, 2007. — 464 с.
6. A Prosumer Oriented Energy Market. Developments and future outlooks for Smart Grid oriented energy markets, NCE Smart Energy Markets / Shandurkova I., Bremdal B. A., Bacher R., S. Ottesen Andreas Nilsen. — Halden, 2012.
7. Агунов М. В. Новый подход к измерению электрической мощности [Текст] / М. В. Агунов, А. В. Агунов, Н. М. Вербова // Пром. энергетика. — 2004. — № 2. — С. 30—33.
8. Базюк Т. М. Використання активного споживача з точки зору оптимізації графіків навантаження [Текст] / Т. М. Базюк, І. В. Золотоверха // Энергетика. Екологія. Людина : V міжнародна конференція : зб. доп. 23—24 травня 2013 року.
9. Денисюк С. П. Оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах [Текст] / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, Д. Г. Дерев'яноко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2013. — № 3 (80).
10. Денисюк С. П. Аналіз впливу джерел розосередженої генерації на електромережу та особливості побудови віртуальних електростанцій [Текст] / С. П. Денисюк, Т. М. Базюк // Електрифікація транспорту. — 2012. — № 4. — С. 23—29.
11. Тонкаль В. Е. Баланс энергии установившихся режимов цепей несинусоидального тока и напряжения [Текст] / В. Е. Тонкаль, В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк и др. // Докл. АН УССР. Сер. А. — 1987. — № 7. — С. 71—74.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 30.01.2014

Денисюк Сергій Петрович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електропостачання;
Базюк Тарас Миколайович — аспірант кафедри електропостачання, e-mail: klimbuck@ukr.net.
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

S. P. Denysiuk¹
T. M. Baziuk¹

Features of forming of active user in modern electric systems

¹National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

Potential of development of the systems of energy supply on the basis of strategy of «active user» is estimated in the article. The features of active users are examined. Advantages of «active users» above the ordinary users of electric power are substantiated. The analysis of reactive-power is conducted at the arbitrary change of loading.

Keywords: active user, «prosumer», smartgrid, unevenness of consumption.

Denysiuk Sergii. P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Supply;
Baziuk Taras. M. — Post-Graduate Student of the Chair of Power Supply, e-mail: klimbuck@ukr.net

С. П. Денисюк¹
Т. Н. Базюк¹

Особенности формирования активного потребителя в современных электросетях

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

В статье оценивается потенциал развития систем энергоснабжения на основе стратегии «активного потребителя». Рассматриваются особенности активных потребителей. Оценено преимущества «активных потребителей» над обычными потребителями электроэнергетики. Проведен анализ реактивной мощности при произвольном изменении нагрузки.

Ключевые слова: активный потребитель, «prosumer», smartgrid, неравномерность потребления.

Денисюк Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения;
Базюк Тарас Николаевич — аспирант кафедры электроснабжения, e-mail: klimbuck@ukr.net