

В.П. Опришко

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.**

E-mail: v.opryshko@kpi.ua

Досліджено основні типи систем керування та їхні функціональні зв'язки при побудові розподіленої системи енергетичного менеджменту в локальних Microgrid системах. Проаналізовано ключові елементи системи керування попитом та її інструментарій для локальних мереж. Представлено узагальнену структуру координації елементів системи керування попитом для локальних Microgrid систем. Показано доцільність застосування потужності Фризе для оцінки ефективності регулювання режимів електропостачання. Бібл. 4, табл. 2, рис. 2.

Ключові слова: Microgrid, Demand Side Management, керування попитом.

Сучасні тенденції розвитку Smart Grid систем спрямовані на інтелектуалізацію існуючих електропостачальних мереж та створення локальних Microgrid систем, забезпечення високого рівня надійності та якості електроенергії [4]. В рамках реалізації концепції Smart Grid важливу роль у вирішенні технічних та технологічних задач, які виникають при практичній реалізації даної концепції відіграє силова електроніка.

Однією з ключових функціональних характеристик Smart Grid є створення наступних систем керування: організації розподілення електроенергії (DMS), керування енергоспоживанням (EMS), керування даними ви-мірювання (MDMS), керування релейним захистом (PRC), автоматизованої системи контролю та збору даних (SCADA) та інші [3]. Для забезпечення оптимального рівня покриття та формування графіків електричного навантаження з подальшим ефективним регулюванням режимів споживання необхідно створити комплексну ін-телектуальну розподільну систему керування (DEMS). Така система має включати в себе як систему енергетичного менеджменту (EMS), що стає розподіленою (D-EMS), так і систему, яка використовує дієві програми з керування попиту на електроенергію, що за кордоном отримала назву Demand Side Management (DSM).

У локальних розосереджених системах Microgrid інструментарій DSM представлений не лише алгоритмами дій нормативно-правового характеру при регулюванні «поведінки» навантаження, а й механізмами прямого доступу до керування навантаженнями на рівні технологічних процесів [2]. Це визначає необхідність точного регулювання енергопроцесів в Microgrid з врахуванням вимог до якості електроенергії, надійності та стабільності електропостачання.

Мета статті – аналіз систем керування у локальних Microgrid системах, формування узагальненої структури керування попитом, зокрема з використанням неактивної потужності Q_{Φ} як міри оцінки ефективності регулювання режимів електропостачання.

Проведений аналіз показав: сучасні DEMS ґрунтуються на інтегральному підході до їх реалізації і охоплюють організаційні та технічні заходи для вирішення поставлених завдань; при регулюванні необхідно враховувати чотири фактори "базової моделі" енергетичного менеджменту, що дозволяє включити велику кількість відновлювальних джерел енергії в локальні Microgrid системи та керовані навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

№ з/п	Фактор	Особливості моделі енергетичного менеджменту
1	Пропозиція	Традиційні види генерації та відновлювальні джерела енергії
2	Попит	Домогосподарства, підприємства та офіси, зарядні станції для електромобілів, зростання кількості яких очікується в найближчому майбутньому
3	Зберігання	Для зменшення відхилень від прогнозованого рівня попиту на електроенергію та отримання електроенергії від об'єктів накопичування електро- та теплової енергії
4	Контроль	Функції оптимізації шляхом координації трьох факторів через підвищення надійності мережі, якості генерації, керування попитом і надійності постачання

Загалом DSM для локальних систем Microgrid розділяються на два класи підзавдань: методи енерго-ефективності (EE) та керування попитом (Demand response (DR) або Load management (LM) [3, 4].

Для Microgrid важливо забезпечити два типи програм керування попитом – на основі цінових сигналів і техніко-економічних вимог. Для локальних Microgrid систем підходять наступні механізми: тариф в режимі реального часу (RTP), тариф для критичного пікового періоду (CPP), тариф, диференційований за зонами доби (TOU), тариф на непікові періоди при зниженні споживання в піку (PTR), безпосереднє керування навантаженням (DLC), програми добровільного короткочасного зниження пікового навантаження, послуга сервіс-

провайдерів по агрегації зміни попиту та побудова сумарного графіка навантаження з урахуванням програм керування попиту. Такий підхід передбачає реалізацію в системі енергетичного менеджменту відповідних сучасних законів керування, в тому числі мультиагентного підходу на вищих рівнях ієрархії (рис. 1, рис. 2).

Керування в Microgrid має реалізувати цілу низку DSM програм шляхом надання різних сервісів відповідно до ситуації і вимог укладених контрактів, зокрема, кооперацію EV-EMS, FEMS і HEMS та прогнозування споживання та попиту та збір інформації про економію енергії. Розгляд різних типів енергетичного менеджменту згідно концепції Smart Grid дозволив класифікувати сервіси DSM за рівнем системи. Узагальнена нами за результатами аналізу [3, 4] структура DSM представлена на рисунку, містить низку основних сервісів DSM. В табл. 2 наведено рівень елементів системи, для якого ці сервіси призначені.

Таблиця 2

Рівень системи	Елементи системи	Сервіси DSM
Генератор	Відновлювані джерела Акумуляторні станції	EMS – система енергетичного менеджменту
Розподільні мережі	Розосереджений енергетичний менеджмент	DMS – система організації розподілення електроенергії
		CEMS – централізована система енергетичного менеджменту
		D-EMS розподілена система енергетичного менеджменту
		DSM – розосереджена система керування попиту
Споживач	Споживач	HEMS – система енергетичного менеджменту домогосподарства
		AMI – розширена інфраструктура виміру
		FEMS/BEMS – система керування енергетичними процесами у виробничому та комерційному секторах
		EV-EMS система енергетичного менеджменту електричних транспортних засобів

Важливою стороною функціонування DSM є кількісна оцінка різниці поточного рівня електроспоживання відносно оптимального з врахуванням контрольованого рівня неоптимального споживання. Як один із способів такої оцінки для Microgrid доцільно використати потужність Фризе Q_{Φ} [1].

Аналіз інформації зі стороною попиту або стороною споживача щодо рівнів електроспоживання (наприклад, для FEMS/BEMS) здійснюється з метою забезпечення постачання, збору інформації щодо збереження енергії та для реалізація програм зі зниження пікового споживання та перенесення пікових годин шляхом надання цілої низки сервісів згідно з умовами і обмеженнями в контракті постачання.

Сторона системи або сторона мережі включає в себе безпосередньо генератори та системи постачання електроенергії та функції пов'язані з експлуатацією електропостачальних мереж. Координація інформаційних сигналів між системою керування DSM, представленою на рис. 1, та стороною мережі здійснюється через інтерфейс прикладного програмування (API), в якому доступні бібліотеки та сервіси вищих систем: керування мереж, виміру, метеорологічних, та споживачів. В свою чергу, сторона споживача включає в себе домогосподарства, промислові об'єкти, станції заряджання електротранспорту і використовує інтерфейс (I/F), який включає в себе системи: HEMS, DEMS, EV-EMS, і також використовує інфраструктуру API.



Рис. 1

Рис. 2

Синтез системи керування DSM та системи керування Microgrid, зображеної на рис. 2, забезпечує надання точних прогнозів і планів споживання енергії на наступний день шляхом використання наявної потужності, даних попереднього рівня електроспоживання та прогнозу погоди. Система контролює бажаний рівень енергозбереження та енергоефективності, рекомендовані моменти часу перенесення використання пікових навантажень; може надавати різні послуги, наприклад, фінансового стимулювання в залежності від часу та потужності споживання.

При оцінці поточного рівня електроспоживання вираз для неактивної потужності Фризе $Q_{\Phi}^2 = S^2 - P^2$ є фактично квадратичною мірою нев'язки між повною S та активною потужностями P . Навіть при відсутності реактивних елементів на інтервалі регулювання T_T матиме місце співвідношення $Q_{\Phi} > 0$ при нерівномірності

протікання процесів. Застосування Q_{Φ} для оцінки нерівномірності процесів покажемо на прикладі режиму, що характеризується діючими значеннями напруги U_i та струму I_i , $i = 1, \dots, n$, T_i – тривалість i -го інтервалу та $P = U_0 I_0$, де U_0 , I_0 – усереднені значення напруги та струму. При умові $\cos \phi = 1$ для інтервалу $T_T > T_T$, де T_T – період електромережі, можна записати вираз для потужності Фризе Q_{Φ} у вигляді

$$Q_{\Phi} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n U_i^2 \frac{T_i}{T}\right) \left(\sum_{i=1}^n I_i^2 \frac{T_i}{T}\right) - U_0^2 I_0^2}. \quad (1)$$

Якщо ввести позначення $\delta_i = T_i/T$; $\sum_{i=1}^n \delta_i = 1$, то величина Q_{Φ} визначається із співвідношення

$$Q_{\Phi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2 \delta_i \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \delta_i - \left(\sum_{i=1}^n U_i I_i \delta_i\right)^2}. \quad (2)$$

Величина Q_{Φ} / P характеризує ефективність регулювання та визначає рівень неоптимальності передачі енергії з точки зору усунення її втрат.

Таким чином, при регулюванні режимів в локальних системах Microgrid функція комплексної інтелектуальної розподільної системи DEMS має поєднувати функції EMS і DSM, що важливо врахувати при побудові систем керування та використання в якості критерію неоптимальності процесів такої енергетичної характеристики оцінки оптимальності, як неактивна потужність Фризе.

1. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Энергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.
2. Інтелектуальні електроенергетичні системи: елементи і режими. – К: Ін-т електродинаміки НАН України, 2014. – 408 с.
3. Herb Wade. Introduction to Demand Side Management. – Demand Side Management Workshop, Republic of Palau, 2010. – 65 p.
4. Smart Power Grids. Talking about a Revolution. – IEEE Emerging Technology Portal, 2009 – 8 p.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ MICROGRID

В.П. Опрышко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина. E-mail: v.opryshko@kpi.ua

Исследованы основные системы управления и их функциональные связи при построении распределенной системы энергетического менеджмента в локальных Microgrid системах. Проанализированы ключевые элементы системы управления спросом и ее инструментарий для локальных сетей. Представлена обобщенная структура координации элементов системы управления спросом для локальных Microgrid сетей. Показана целесообразность применения мощности Фризе для оценки эффективности регулирования режимов электроснабжения. Библ. 4, табл. 2, рис. 1.

Ключевые слова: Microgrid, DSM, управления спросом

POWER SUPPLY MODE CONTROL IN THE LOCAL MICROGRID SYSTEM

Opryshko V.P.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: v.opryshko@kpi.ua

The basic management systems and functional connections in distributed energy management system construction for local Microgrid systems investigated. Analyzed DSM key elements and tools for local area networks. A generalized structure of DSM elements coordination for local Microgrid. The expediency of Frize power for assessment of power supply modes regulation effectiveness shown. References 4, figure 1, tables 2.

Keywords: Microgrid, DSM, demand response.

1. Zhuikov V.Ya., Denysiuk S.P. Energy processes in electrical systems with key elements. – Kyiv: Text, 2010. – 264 p. (Ukr)
2. Intelligent power grids, elements and modes. – Kyiv: Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, 2014. – 408 p. (Ukr)
3. Herb Wade. Introduction to Introduction to Demand Side Management Demand Side Management. – Workshop Republic of Palau, 2010.
4. Smart Power Grids. Talking about a Revolution. – IEEE Emerging Technology Portal, 2009.

Надійшла 03.02.2016
Остаточний варіант 18.05.2016