

УДК 621.314:657

Е.С. Пічкальов, Т.О. Терещенко, д-р техн. наук, Ю.С. Ямненко, д-р техн. наук

Економічний аспект споживання електроенергії в енергетичній системі мікрогрід

Сформульовано задачі, які необхідно вирішити для реалізації віртуального ринку електроенергії в енергетичній системі мікрогрід. Запропоновано структуру енергетичної системи з внутрішньою мережею. Розглянуто принципи та розроблено критерії функціонування віртуальних ринків електроенергії.

Problems that must be solved for realization of the virtual market of the electric power in a power system microgrid are formulated. A structure of the power system with the internal network is offered. Principles are considered and criteria of functioning of the virtual markets of the electric power are developed.

Ключові слова: мікрогрід, альтернативні джерела, віртуальні ринки електроенергії.

Вступ

На сучасному етапі розвитку енергетики при великих масштабах споживання первинних енергоресурсів все більшу роль відіграють альтернативні джерела живлення [1]. Розповсюдження альтернативних джерел пояснюється такими перевагами для споживача, як екологічна чистота виробленої електроенергії, незалежність від електромережі. До недоліків відноситься висока вартість виробленої електроенергії.

Для усунення цього недоліку, популяризації встановлення та використання фотоелектричних батарей, вітрогенераторів, дизельних генераторів та інших альтернативних джерел по всьому світу встановлюють економічно вигідні тарифи, названі «зеленими тарифами», на закупівлю електроенергії від користувачів, що встановили альтернативні джерела [2]. Як приклад, у вересні 2010 року в Україні закупівля електричної енергії, виробленої фотоелектричними батареями користувача, здійснюється за тарифом $5,05 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$, при існуючому тарифі на електроенергію з головної мережі $0,25 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ [3].

В результаті дії програми «зеленого тарифу» та широкого розповсюдження альтернативних джерел, тобто малих генеруючих вузлів низької напруги, сформувався новий тип енергетичних систем, названих мікрогрід [2].

При реалізації енергетичних систем мікрогрід необхідно вирішити наступні проблеми:

1. Поєднання систем електроживлення житлових будинків та систем розподілених енергетичних джерел;

2. Збільшення процентної долі навантажень та приладів, що живляться від джерел постійної напруги;

3. Створення ринків електроенергії житлових будинків, через які мешканці будинків можуть купувати або продавати електроенергію;

4. Розробка інтелектуальних систем керування генераторами, навантаженнями та перетворювачами.

Метою даної роботи є аналіз енергетичної системи мікрогрід, розгляд віртуальних ринків електроенергії та розробка критеріїв їх функціонування.

1. Структура енергетичної системи мікрогрід

На рис. 1 наведено приклад структури енергетичної системи мікрогрід, яка складається з систем електроживлення лікарні, комерційної будівлі та окремих житлових будинків, що мають у своєму складі фотобатареї, вітрогенератор та декілька дизельних генераторів з акумуляторними батареями.

Навантаження № 1-6 представляють собою сумарні навантаження типових житлових будинків. Навантаження № 10 входить до складу системи електроживлення комерційної будівлі, що також оснащена системою резервного електроживлення.

Навантаження № 7 та № 8 забезпечують функціонування загальних генеруючих вузлів енергетичної системи мікрогрід. Система електроживлення медичного центру, крім навантаження медичного обладнання №9, представлена також фотобатареєю (ФБ), акумулятором (АКБ) і дизельним генератором (ДГ) в якості резервних джерел.

Сучасні тенденції розвитку енергетичних систем полягають у тому, що кожний житловий будинок може виступати не тільки як навантаження, але як генератор електроенергії. В цьому випадку формується децентралізована система електроживлення житлових будинків.

На рис. 2 показано приклад електрозабезпечення житлових будинків централізованого та децентралізованого типу. В централізованій системі (рис. 2, а) присутні втрати електроенергії

на її транспортування. В децентралізованій системі (рис. 2, б) показана можливість повернення електричної енергії в мережу (двоспрямовані стрілки).

Однією з задач керування такою системою є передача енергії від будинку до будинку в межах мікрогриду, при цьому кожен з будинків може бути як генератором, так і навантаженням. Однак діюча система (див. рис. 2, а) не дозволяє це реалізувати. Тому пропонується створення додаткової лінії енергозабезпечення (рис. 3) для всіх будинків (внутрішню мережу), що дасть змогу реалізувати підключення окремих житлових будинків між собою без усунення можливос-

ті живлення інших споживачів від основної мережі.

Для реалізації обміну електричною енергією між будинками необхідно вирішити наступні задачі:

1. Апаратна реалізація внутрішньої мережі;
2. Програмне та інформаційне забезпечення віртуального ринку, реалізація керування та обміну інформацією споживачів з використанням різних фізичних середовищ.
3. Методичне та математичне забезпечення віртуального ринку електроенергії, створення економічно ефективних алгоритмів керування на базі електро-вартісних моделей генераторів та навантажень [4].

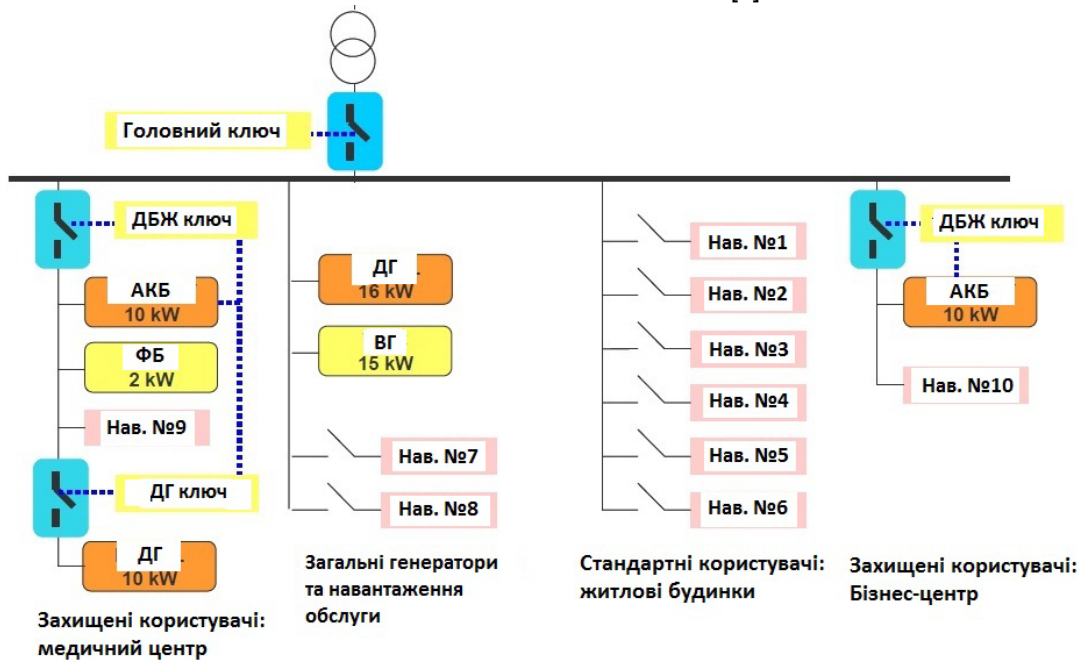


Рис. 1. Приклад структури системи електроживлення мікрогрид

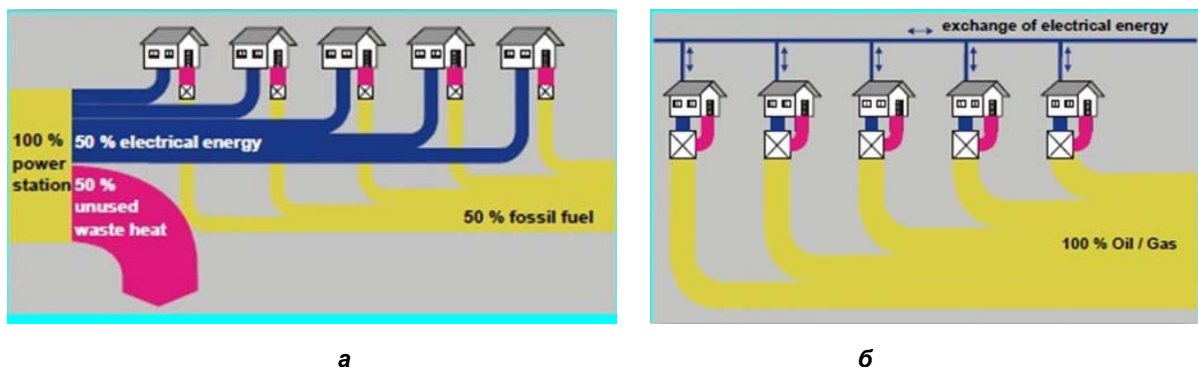


Рис. 2. Централізована (а) та децентралізована (б) системи електроживлення

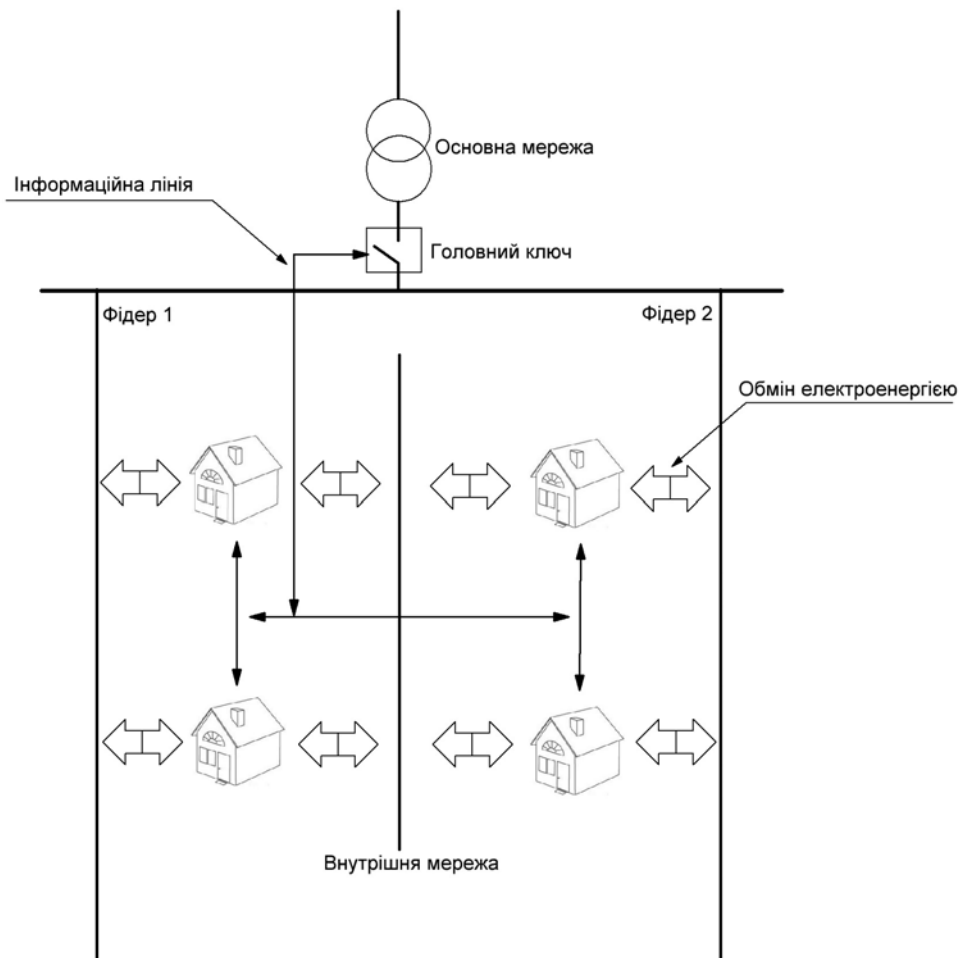


Рис. 3. Система електроживлення з внутрішньою мережею

2. Функціонування віртуальних ринків електроенергії житлових будинків

На віртуальному ринку електроенергії товаром є електрична енергія, в якості виробників виступають генератори електроенергії, споживачів – навантаження, робота яких націлена на задоволення потреб користувача. Акумулятор в такій системі виступає як споживачем, так і виробником в залежності від режиму роботи.

Для оцінки діяльності виробників, у відповідності до неокласичної теорії фірми [5], використовують функцію прибутку, яку необхідно максимізувати в процесі функціонування електротехнічної системи [4]:

$$\Pi(y) = (D(y) - Z(y)) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де y – виробнича функція; $\Pi(y)$ – прибуток; $D(y)$ – доход; $Z(y)$ – витрати.

В якості критерію оцінки роботи навантажень використовують функцію корисності [4]:

$$U = (A(e) \cdot E^\alpha \cdot M^{(1-\alpha)}) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де U – корисність; E – споживана електрична енергія; M – кількість товару, що споживається

та не є електроенергією; α – коефіцієнт функції корисності Кобба-Дугласа; $A(e)$ – величина очікуваної втрати корисності від зменшення споживання електроенергії.

Метою системи керування є задоволення потреб людини з мінімальними вартісними витратами. В даному аспекті, задоволення потреб реалізується через роботу електротехнічних пристроїв. На ці пристрої переноситься система переваг користувача, виражена функціями корисності. Через похідну функції корисності визначається бажана ціна та відповідно попит на електроенергію.

Задача системи керування електроживленням полягає у регулюванні попиту на електроенергію у межах ринку для досягнення найбільш прийнятних цін, що задовольняють критеріям (1) та (2).

Розглянемо випадок, коли на ринку присутні декілька навантажень та генераторів. Споживачі подають інформацію про бажану кількість товару (електроенергії). В свою чергу, виробники представляють інформацію про кількість товару, що може бути реалізована в проміжок часу, що розглядається (рис. 4).

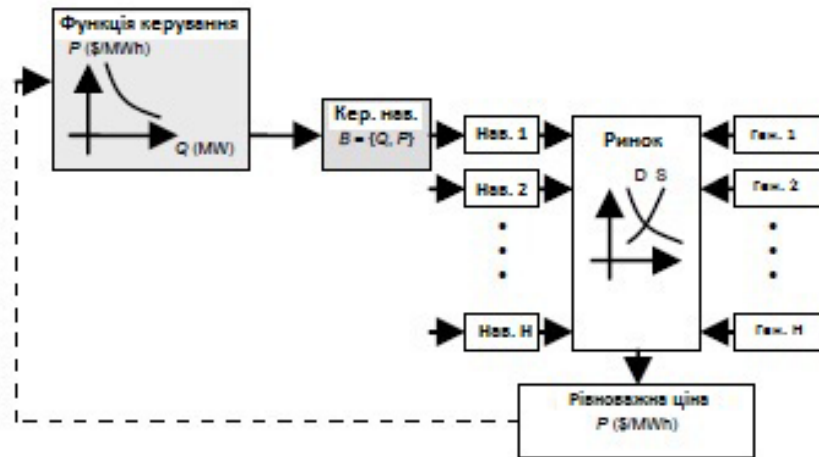


Рис. 4. Віртуальний ринок електроенергії

У результаті такого обміну інформацією на віртуальному ринку формується ціна, що відповідає умові економічної рівноваги [6]. Інформація про отриману ціну передається до споживачів, що можуть змінити заявлену кількість товару, запланованого до закупівлі, у відповідності до власних функцій корисності (рис. 4). Тим самим відбувається регулювання попиту на ринку, тобто регулюється величина енергії споживання [7].

Висновки

Запропонована структура енергетичної системи з внутрішньою мережею, яка, на відміну від попередніх, дає змогу реалізувати купівлю/продаж електроенергії між окремими власниками житлових будинків, що формують віртуальні ринки електроенергії.

Для аналізу ефективності роботи учасників віртуальних ринків запропоновано критерії, представлені функціями прибутку та корисності. Показано, що задача системи керування полягає у максимізації цих критеріїв.

Література

1. Якименко Ю.І., Сокол Є.І., Жуйков В.Я., Петергеря Ю.С., Іванін А.Л. Відновлювальні джерела енергії у локальних об'єктах. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2001. – 114с.
2. Електронний ресурс: http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariff
3. Електронний ресурс: <http://www.obozrevatel.com/news/2011/1/13/415721.htm>
4. Петергеря Ю.С., Жуйков В.Я., Терещенко Т.О. Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків. Навчальний посібник. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
5. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1975. – 606 с.
6. Електронний ресурс: http://en.wikipedia.org/wiki/Equilibrium_price
7. Lu N., Chassin D.P., Widergren S.E. Simulating price responsive distributed resource // Proceedings of PES PSCE Meeting. – 2004.