

УДК 004.4

Ю.С. Ямненко, д.-р. техн. наук, **А.В. Моргун**, **О.М. Комаревич**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, каб.313, Київ, 03056, Україна.

Програмне забезпечення для макромодельовання системи керування MicroGrid

У статті наведено порівняльний аналіз існуючих програмних продуктів для моделювання систем електроживлення MicroGrid та запропоноване програмне забезпечення для MicroGrid масштабу житлового будинку з системою розподіленої генерації (відновлювальні та альтернативні джерела енергії). Наведено модульну структуру та показано взаємозв'язки між модулями програмного забезпечення. Для кожного з основних модулів наведено опис та функціональне призначення. Особливу увагу приділено модулю представлення структури MicroGrid за допомогою математичного апарату структурних чисел. Показано роль модуля комунікації на основі Power Line Communication (PLC). Бібл. 6, Рис. 2.

Ключові слова: MicroGrid; програмне забезпечення; макромодельовання; PLC.

Вступ

Із розвитком технологій інтелектуальних мереж електроживлення з розподіленою генерацією в рамках концепції MicroGrid постає задача моделювання роботи окремих пристроїв, блоків та системи в цілому з метою аналізу процесів, вироблення алгоритмів узгодженого керування, мінімізації ресурсів чи витрат, тощо ще до впровадження у реальні умови функціонування [1].

MicroGrid поділяється за масштабом на декілька категорій: від невеликих локальних об'єктів типу житлового будинку, автономного господарства, дослідницької станції до великих за площею територій та навіть міст [2]. У даній роботі розглядається задача моделювання MicroGrid масштабу окремого житлового будинку, електроживлення якого здійснюється від загальної мережі та альтернативних джерел (рис.1).

Основними компонентами MicroGrid є:

Зовнішня мережа електроживлення, від якої здійснюється основне постачання енергії.

Альтернативні та відновлювальні джерела енергії - сонячні батареї, вітрогенератори, дизель-двигуни, тощо.

Акумуляторні накопичувачі енергії, що підключені до альтернативних джерел енергії та можуть працювати у трьох режимах: віддавання енергії в мережу, накопичення (заряджання) та живлення споживачів.



Рис. 1. Житлове приміщення як MicroGrid

Електронні пристрої - навантаження.

Система керування MicroGrid, яка забезпечує збір, обробку та аналіз даних стосовно поточного стану системи, контроль стану системи та керування згідно заданого алгоритму.

Для забезпечення узгодженого функціонування всіх компонентів системи необхідною умовою є створення єдиного комунікаційного середовища обміну інформацією. Тільки у випадку наявності такого середовища можлива реалізація єдиної стратегії керування за заданим критерієм – максимальної енергоефективності, мінімізації пікових витрат електроенергії або мінімізації вартісних витрат.

Для розробки алгоритмів керування електроспоживанням та для визначення структури MicroGrid, що забезпечить належний рівень комфортності для споживача, а також надійності та безперебійності електроживлення навантажень, необхідно провести моделювання системи та розробити відповідний програмний інструмент, який з достатнім рівнем універсальності здійснює моделювання окремих компонентів та системи MicroGrid в цілому.

Відповідно до цього, перед програмним забезпеченням (ПЗ) постають наступні основні задачі:

- моделювання структури та режимів роботи системи MicroGrid з використанням макромоделей електронних пристроїв;
- аналіз статистичних даних для прогнозування електроспоживання у визначений період часу;
- виведення інформації для користувача: стан та режими роботи пристроїв, значення електроспоживання усієї системи та окремих її компонентів, грошовий еквівалент споживання;
- зрозумілий інтерфейс для користувачів, які не володіють професійними знаннями в області електроніки.

На даний час існує значна кількість програмних продуктів, які дозволяють здійснювати аналіз електроспоживання та параметрів роботи MicroGrid, зокрема:

- Spectrum Power 7 Microgrid Management System [3], на базі якого реалізується динамічний контроль споживання розподілених енергетичних ресурсів. Програмне забезпечення дає можливість користувачеві здійснювати моделювання з урахуванням економічних чи екологічних критеріїв. Система керування здійснює прогнозування та оптимізацію генерування електроенергії. При цьому існує можливість керування двома системами MicroGrid, що з'єднані та взаємодіють один з одним.

- Power Analytics Paladin DesignBase [4] - програмне забезпечення, яке дозволяє проводити моделювання MicroGrid в режимі реального часу на основі математичних моделей пристроїв з аналізом часових рядів (квазідинамічне моделювання). Також забезпечується підтримка складних операцій моделювання, у тому числі в режимі командного проектування. Програмний пакет здійснює автоматичну перевірку компонентів, їх розміщень та помилок.

- The HOMER Pro Microgrid Software by HOMER Energy [5] - симуляційна модель, призначена для моделювання системи MicroGrid будь-якого масштабу: від сільської місцевості і великих островів аж до приміщень з великою площею і військових баз. Програмне забезпечення має алгоритм оптимізації, який значно спрощує процес проектування для визначення варіантів з найменшими витратами.

- ETAP Smart Grid [6] пропонує комплексні рішення, що дозволяє планувати, координувати і безпечно експлуатувати системи SmartGrid та MicroGrid. Це система реального часу дає мож-

ливість керувати, контролювати, оптимізувати та автоматизувати лінії електропередач і розподільчих мереж. Це програмне забезпечення є повністю інтегрованим набором електричних програмних додатків, що забезпечують інтелектуальний моніторинг електроспоживання, дозволяє аналізувати різні варіанти робочих параметрів та схем з'єднання генераторів. Присутня також функція розрахунку витрат з вибором одного з декількох різних методів розрахунку.

Наведені програмні продукти мають потужний набір функцій та бібліотеки моделей. Однак, вони мають особливості, які, з точки зору користувача MicroGrid невеликого масштабу, є недоліками: очевидна висока ціна та невиправданість застосування у малих об'єктах. Невиправданість обґрунтовується тим, що більшість наявних функцій не буде задіяно, оскільки для користувача не є пріоритетним глибокий аналіз фізичних процесів та особливостей генерації електроенергії. В такій постановці задачі користувач має отримувати більш узагальнену та практично значиму інформацію: значення енергії, що було спожито протягом певного проміжку часу, обсяг грошових коштів, що було витрачено та/або зекономлено, дані про інтервали та параметри роботи генераторів. Крім того, основним недоліком розглянутих програмних продуктів є їх реалізація на платній основі.

Таким чином, у відкритому доступі наразі відсутнє програмне забезпечення, яке здатне було б забезпечити моделювання компонентів MicroGrid масштабу житлового будинку. Вирішення цієї задачі забезпечується у запропонованому програмному забезпеченні, що враховує технічні характеристики компонентів MicroGrid та містить мінімальну кількість модулів, що дозволяє досягти швидкого та ефективного функціонування.

Модулі програмного забезпечення

Запропоноване програмне забезпечення для макромоделювання системи керування MicroGrid складається з наступних модулів (рис. 2):

Модуль ініціалізації. Даний модуль починає свою роботу з моменту запуску програмного забезпечення до моменту повного його завантаження. У проміжку між цими двома станами відбуваються наступні кроки:

- завантаження користувацького інтерфейсу. Наприкінці даного кроку графічна оболонка

- програмного забезпечення завантажена й готова до роботи;
- завантаження макромоделей з бібліотек;
- перевірка цілісності та валідності завантажених моделей;
- підготовка робочої області для побудови системи макромоделей;
- перевірка наявності всіх необхідних бібліотек для забезпечення функціонування подальших модулів.

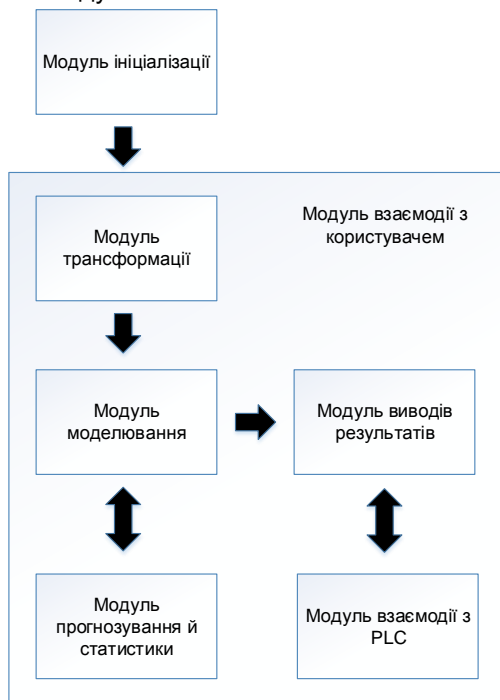


Рис. 2. Модулі ПЗ та взаємозв'язки між ними

Якщо під час виконання хоча б одного з цих кроків виявляються помилки, ПЗ припиняє свою роботу з виведенням відповідного повідомлення.

Модуль взаємодії з користувачем. Представляє графічну оболонку, призначену для безпосередньої взаємодії з користувачем та містить наступні обов'язкові компоненти:

- меню з вибором необхідних налаштувань самої графічної оболонки та параметрів функціонування програми;
- панель для відображення макромоделей, що розбиті на категорії, вказані користувачем;
- робочу область побудови системи макромоделей та їх з'єднань;
- панель інструментів для здійснення таких операцій над макромоделями, як додавання, з'єднання або видалення;
- робоча панель для налаштування та встановлення параметрів моделювання;

- панель виводу інформації для відображення графічних та текстових результатів моделювання;
- панель прогнозування та статистики для забезпечення відповідних функцій.

Модуль моделювання. Даний модуль призначений для налаштування параметрів моделювання. До параметрів моделювання належать:

- режим моделювання: у реальному часі та у взаємодії з модулем прогнозування й статистики;
- розрахунок потужності споживання MicroGrid на базі складеної користувачем системи макромоделей.

У цьому модулі, зокрема, виконується моделювання режимів роботи та структури системи за допомогою математичного апарату алгебри структурних чисел [7], що дає можливість оцінити різні варіанти структурного з'єднання елементів системи для формування керуючих сигналів для компонентів MicroGrid у єдиному комунікаційному середовищі.

На рис. 3 показано етапи проведення макромодельовання на базі структурних чисел.

Перший етап. За сприянням користувача відбувається формування системи макромоделей та їх взаємозв'язків. Встановлюються параметри макромоделей та параметри моделювання.

Другий етап. Здійснюється перетворення макромоделей та їх взаємозв'язків до вигляду структурних чисел. Кожна макромодель представляється окремим структурним числом.

Третій етап. За допомогою здійснення алгебраїчних операцій над окремими структурними числами утворюється загальне структурне число, що відображає загальний стан системи в цілому з усіма можливими режимами роботи пристроїв.

Четвертий етап. В залежності від обраних початкових режимів роботи пристроїв утворюється робоче структурне число за допомогою операцій з розширеної алгебри структурних чисел (за це відповідає модуль трансформації). Дане структурне число відображає поточний стан системи. Для прикладу системи, що складається з 3 груп пристроїв (група 1 – три можливих стани роботи в залежності від пріоритету вмикання; групи 2 та 3 – два можливих режими on/off з найнижчим та найвищим пріоритетом відповідно), загальне структурне число має вигляд:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & 15 & 14 & 16 & 15 & 14 & 16 & 15 & 16 & 0 & 16 & 0 & 16 & 15 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$



Рис. 3. Етапи макромоделювання за допомогою структурних чисел

Керування здійснюється за допомогою операції похідної та зворотної похідної структурного числа, що відповідають структурним перетворенням системи.

П'ятий етап. З макромоделі зчитується характеристика її енергоспоживання та на її основі здійснюється обчислення потужності споживання у даний момент часу. Процес триває доти, доки не буде отримано значення про кожен пристрій.

Шостий етап. Визначається загальне енергоспоживання системи на підставі значень, отриманих у попередньому етапі.

Сьомий етап. Відбувається взаємодія з модулем виводів результатів, до якого передаються дані, що були отримані на етапах 5 та 6, із зазначенням похибок результатів моделювання.

Модуль прогнозування й статистики. Даний модуль призначений для збору статистичних даних про MicroGrid, характер функціонування та вартісні показники з подальшим формуванням прогнозного значення споживання енергії.

Модуль трансформації. За допомогою модулю трансформації система макромоделей за певними правилами перетворюються до єдиного структурного числа, що описує загальний стан системи. У залежності від заданих параметрів роботи в модулі моделювання, за допо-

могою розширеної алгебри структурних чисел утворюється робоче структурне число, що відображає реальний стан системи в початковий момент часу. Надалі на основі цього структурного числа модуль моделювання здійснює розрахунки потужностей споживання та здійснює зміну робочого структурного числа відповідно до параметрів моделювання.

Модуль виведення результатів призначений для виводу результатів моделювання та відображення її користувачеві у відведеному для цього місці в модулі інтерфейсу користувача. Інформація може бути виведена у вигляді графіків або тексту. Шкалу графіку користувач може змінювати відповідно до можливостей інтерфейсу.

Модуль взаємодії з комунікаційним середовищем призначений для формування інформаційних повідомлень для драйверів керування пристроями, підключеними до єдиного комунікаційного середовища. Такий драйвер підключається до персонального комп'ютера, на якому встановлено запропоноване ПЗ, а з іншою — до розетки або комутатора. Інформаційні повідомлення для драйверів формуються за допомогою робочого структурного числа, стовпчик якого є керуючим словом для окремого пристрою або групи пристроїв. Таким чином, робо-

че структурне число є не тільки базою для моделювання, а й сукупністю інформаційних керуючих повідомлень. Ця особливість дозволяє спростити процес керування навантаженнями у MicroGrid через відсутність додаткових перетворень параметрів стану системи у керуючі повідомлення.

Висновки

Розроблене програмне забезпечення дозволяє вирішити задачу макромоделювання компонентів MicroGrid масштабу житлового будинку як на етапі проектування, так і в режимі реального часу при функціонуванні системи.

Можливість динамічної зміни параметрів системи у процесі моделювання дозволяє оцінити електроспоживання та обрати найбільш доцільну структурні параметри MicroGrid.

На відміну від наявних на ринку програмних продуктів, запропоноване програмне забезпечення використовує макромоделі замість стандартних математичних моделей, що значно спрощує процес моделювання. У даному програмному забезпеченні вперше було використано розширену алгебру структурних чисел для утворення робочого структурного числа, яке є базовим для проведення моделювання. З точки зору технічної реалізації, запропоноване рішення забезпечує мінімальну вартість програмного забезпечення, не обмежуючи користувача у виборі платформи для реалізації.

Список використаних джерел

1. *Monika Jain* (2012). Analysis of a Microgrid under Transient Conditions Using Voltage and Frequency Controller. *Advances in Power Electronics*. Vol. 2012, pp. 18.
2. *Ivette S.* (2012). Enabling Energy Reliability and Security. *Opportunities in Campus, Commercial & Industrial Communities*, Vol. 2012, pp. 19.
3. Spectrum Power 7 MGMS Executive Summary Application Sheet [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://blogs.siemens.com/static/sibs/sites/smartgridwatch/media/spectrum-power-7-mgms-application-guide.pdf>.
4. Power Analytics [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.poweranalytics.com/microgrid-basics-whitepaper-the-need-for-feasibility-studies/>.
5. Homer MicroGrid News [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://microgridnews.com/homer-energy-user-presentations/>.
6. ETAP software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://etap.com/smart-grid/smart-grid.htm>.

Поступила в редакцию 03 июня 2016 г.

УДК 004.4

Ю.С. Ямненко, д.-р. техн. наук, **А.В. Моргун**, **А.Н. Комаревич**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16, каб.313, Киев, 03056, Украина.

Программное обеспечение для макромоделирования системы управления MicroGrid

В данной работе приведен обзор и сравнительный анализ существующих программных продуктов для моделирования системы электропитания MicroGrid. На основании сравнительного анализа определено, что для MicroGrid относительно небольшого масштаба отсутствует адекватное программное обеспечение для проведения моделирования мощности потребления компонентов системы. Таким образом, авторами было предложено соответствующее программное обеспечение и приведена его модульная структура. Показаны взаимосвязи между модулями программного обеспечения. Определены семь основных модулей, каждый из которых представляет определенный набор функций для выполнения поставленных перед ПО задач. Приведено описание каждого основного модуля, а именно его функциональное назначение. Авторами было уделено особое внимание на модуль, обеспечивающий процесс макромоделирования. Показаны этапы данного процесса и параметры, от которых зависят условия и результаты моделирования, в основу которого предложено использовать расширенную алгебру структурных чисел. Также была показана взаимосвязь между модулем макромоделирования и модулем взаимодействия с коммуникационной средой PLC. Данная взаимосвязь необходима, поскольку

реализуется непосредственное управление устройствами, находящимися в PLC коммуникационной среде. Библ. 6, рис. 2.

Ключевые слова: *MicroGrid; программное обеспечение; макромоделирование, макромодели; PLC.*

UDC 004.4

J. Yamnenko, Dr.Sc., A. Morgun, O. Komarevych

Department of Industrial Electronics of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
Str. Polytechnique, 16, room 313, Kyiv, 03056, Ukraine.

Software for modeling of macro control system MicroGrid

In this work provides an overview and comparative analysis of existing software for simulation of power systems MicroGrid. Based on comparative analysis determined that for a relatively small scale MicroGrid no adequate software for modeling the power consumption of the system. Thus, the authors have proposed appropriate software and are its modular structure. Showing the relationship between software modules. Identified seven core modules, each of which represents a specific set of functions to perform tasks assigned to the software. The description of each main module, namely its functionality. The authors paid particular attention to the module that provides the process macromodelling. Showing stages of the process and parameters that affect the terms and simulation results, based on which the proposed use advanced algebra of structural numbers. It was also shown a relationship between the module and the module macromodelling interaction with the PLC communication environment. This is necessary because the relationship is realized directly control devices that are in the PLC communication environment. References 6, figures 2.

Keywords: *MicroGrid; software macromodelling; macro model; PLC.*

References:

1. *Monika, Jain.* (2012). Analysis of a Microgrid under Transient Conditions Using Voltage and Frequency Controller. *Advances in Power Electronics*. Vol. 2012, pp. 18.
2. *Ivette, S.* (2012). Enabling Energy Reliability and Security. *Opportunities in Campus, Commercial & Industrial Communities*, Vol. 2012, pp. 19.
3. *Spectrum Power 7 MGMS Executive Summary Application Sheet* (2014): <https://blogs.siemens.com/static/sibs/sites/smartgridwatch/media/spectrum-power-7-mgms-application-guide.pdf>.
4. *Power Analytics* (2015): <http://www.poweranalytics.com/microgrid-basics-whitepaper-the-need-for-feasibility-studies/>.
5. *Homer MicroGrid News*: <http://microgridnews.com/homer-energy-user-presentations/>.
6. *ETAP software*: <http://etap.com/smart-grid/smart-grid.htm>.