

УДК 621.314

В. В. Колесник, Т. А. Хижняк, канд. техн. наук, доцент
 Національний технічний університет України «КПІ», факультет електроніки, г. Київ, Україна
 e-mail: tatjana.khizhnjak@gmail.com, kolesnik_v@i.ua

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ MICROGRID

В статье рассмотрен принцип имитационного моделирования с помощью сетей Петри для построения алгоритмов управления системами электропитания на базе альтернативных источников энергии и полупроводниковых преобразователей. Входными данными для моделирования служит информация о параметрах источников питания, структуре выбранной системы питания и необходимых требованиях для оптимизации ее работы. Создание набора возможных алгоритмов управления для выбранной структуры системы и заданных входных и оптимизационных данных позволяет сделать процесс управления более гибким и близким к принципам реализации Microgrid.

Ключевые слова: Microgrid, сети Петри, моделирование, система электропитания

В статті розглянуто принцип імітаційного моделювання мережами Петрі для побудови алгоритмів керування системами електроживлення на базі альтернативних джерел та напівпровідникових перетворювачів. Вхідною інформацією для моделювання є відомості про параметри джерел живлення, структуру обраної системи живлення та вимоги щодо оптимізації її роботи. Створення множини можливих алгоритмів керування для обраної структури системи та заданих вхідних і оптимізаційних даних дозволить зробити процес керування більш гнучким і близьким до принципів реалізації Microgrid.

Ключові слова: Microgrid, мережі Петрі, моделювання, система електроживлення

Вступ

На сьогоднішній день є актуальним застосування розподілених систем типу Microgrid для ефективного розподілу енергії від джерел до навантаження [3]. Паралельно з процесом впровадження Microgrid виникають питання сумісного використання різних видів джерел енергії, різних видів навантаження та підсистем перетворення електричної енергії [1]. Дане питання може бути розглянуто через вирішення задач прогнозування поведінки системи, діагностики станів її складових елементів та оптимізації процесів керування, шляхом застосування достатньо простих та візуальних методів дослідження. Моделювання структури та режимів роботи Microgrid в середовищі мереж Петрі [4] дозволяє виконати попередні умови дослідження даної системи.

Склад Microgrid

Система типу Microgrid у загального вигляді має такий склад: множина генераторів електричної енергії, включаючи відновлювальні джерела енергії (фотоелектричні панелі, вітрогенератор, тепловий елемент) та резервні джерела (акумуляторні батареї, наприклад); система перетворення параметрів електричної енергії, конфігурація якої залежить від типу джерела енергії; резервні накопичувачі енергії (акумуляторні батареї); локальна електрична мережа, що поєднує альтернативні джерела та навантаження; зовнішня електрична мережа; підсистема навантажень; система керування, алгоритми роботи якої визначаються певними критеріями оптимізації.

Застосування імітаційного моделювання в задачах дослідження поведінки систем електроживлення з різними видами джерел енергії дозволяє визначити множину дискретних станів Microgrid, встановити причинно-наслідкові зв'язки між подіями в Microgrid та створити базу прецедентів поведінки системи.

Моделювання Microgrid в середовищі мереж Петрі. Імітаційна модель є основою для розробки алгоритмів керування перетворювачами в складі системи електроживлення Microgrid (рис.1).

Початкові умови роботи системи живлення визначаються за інформацією з датчиків джерел енергії (значення напруги, струму та потужності), даними щодо поточного стану акумуляторної батареї (значення струму заряду/розряду акумуляторної батареї) та відомостями про допустимі режими роботи складових елементів системи електроживлення. За комбінацією вхідних умов виокремлюється множина режимів роботи системи, які є основою для побудови алгоритмів керування процесами в системі за певними критеріями оптимізації.

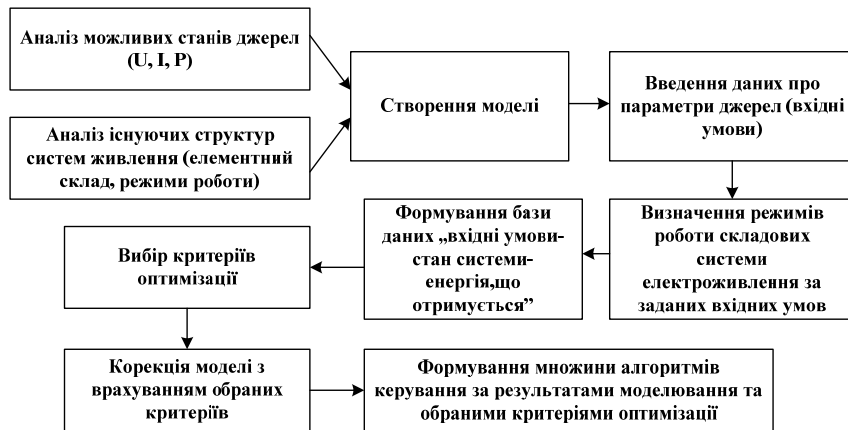


Рис. 1

Оптимізація алгоритмів керування та роботи системи в цілому за вибраними критеріями можлива шляхом введення вагового коефіцієнта для кожної встановленої події в імітаційній моделі. Після чого має бути побудоване дерево досяжних розміток мереж Петрі, де також будуть враховані значення попередньо встановленого вагового коефіцієнту. Таким чином, з'являється можливість представлення всіх варіантів переходу мережі з одного стану в інший та за сумарним ваговим коефіцієнтом встановити, який з можливих шляхів є оптимальним. На рис. 2 наведений приклад графу досяжності для імітаційної моделі фотоелектричної підсистеми живлення Microgrid [2]. Модель має 28 станів (S0-S28), досягненню кожного з яких передують послідовність подій. Для досягнення одного й того ж самого стану системи може існувати декілька черг подій, і встановлений критерій оптимізації роботи Microgrid дозволить вибрати найбільш оптимальну послідовність цих подій.

Створенню узагальненої моделі Microgrid у середовищі мереж Петрі передують розробка імітаційних моделей окремих підсистем [2]. Мають бути окремо вивчені та промодельовані всі підсистеми живлення з визначенням можливих робочих режимів; досліджено характер, склад та поведінку підсистеми навантаження; визначено особливості взаємодії із зовнішньою електричною мережею та розподілу енергії від джерел живлення за допомогою локальної електричної мережі.

Модель підсистеми живлення, що описується даним графом, наведена на рис. 3.

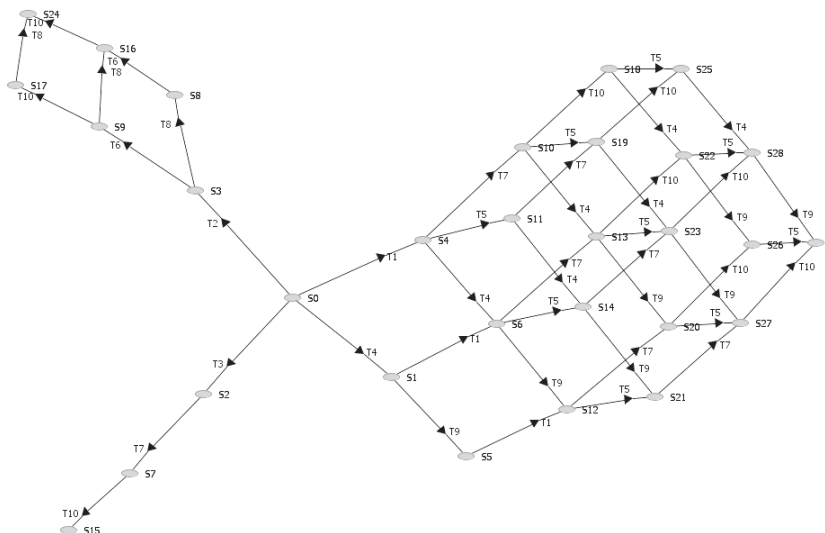


Рис. 2

Відповідно до моделі на рис. 3, для досягнення переходу T10 (режим передачі енергії від джерел до навантаження) існує декілька послідовностей переходів: T1-T5-T7-T10, T2-T6-T8-T10 та T3-T7-T10. Після установки вагових коефіцієнтів для кожного з переходів відповідно до обраного критерію оптимізації, отримуються сумарні значення для кожної з наведених послідовностей переходів. Відповідно до цих значень виконується оцінка, яка саме з послідовностей переходів, тобто послідовність подій в досліджуваній системі, є найбільш доцільною для виконання заданих вимог оптимізації.

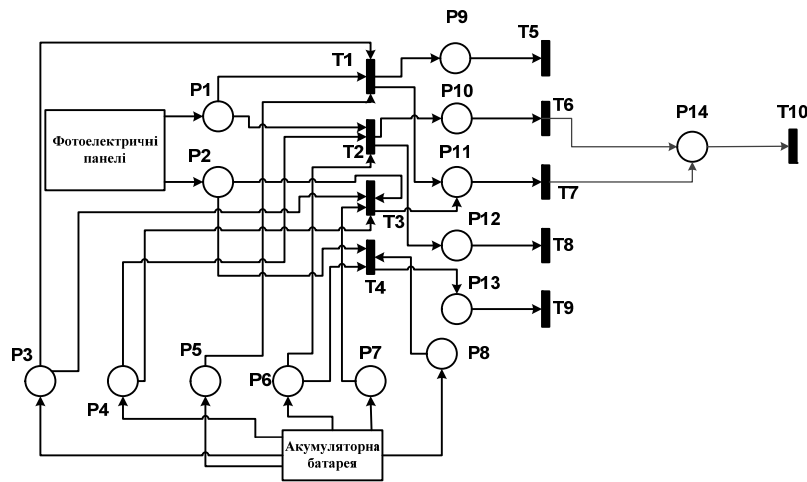


Рис. 3

Процес синтезу моделей окремих підсистем живлення Microgrid здійснюється через порівняння сумарного рівня потужності, що надходить з розподілених джерел енергії та стану резервних накопичувачів енергії у відповідності до потреб навантаження (рис. 4). За результатами цього порівняння визначено, що узагальнена імітаційна модель описує два режими роботи Microgrid: автономний (*stand alone mode*) та режим з підключеною зовнішньою електричною мережею (*grid mode*). Автономний режим передбачає живлення навантаження лише від альтернативних джерел Microgrid – сумарної енергії від розподілених джерел та резервних накопичувачів вистачає для задоволення потреб навантаження. За умови недостатності енергії альтернативних та резервних джерел, до системи Microgrid під'єднується зовнішня електрична мережа для компенсації енергії до необхідного для навантаження рівня, тобто система переходить в режим *grid mode*.



Рис. 4

Для даних режимів роботи Microgrid приймається наступне співвідношення потужностей джерел та споживачів:

- 1) автономний режим

$$P_L = P_G + P_{BAT},$$

- 2) режим з підключеною зовнішньою електричною мережею
- 3)

$$P_L = P_G + P_{BAT} + P_{EXT},$$

де P_L – необхідна потужність для підсистем навантажень; P_G – сумарна генеруєма потужність від підсистем живлення

$$P_G = \sum_{i=1}^N P_i;$$

N – кількість підсистем живлення; P_{BAT} – поточна потужність резервних накопичувачів енергії; P_{EXT} – потужність зовнішньої електричної мережі, яка розподілена в Microgrid.

Синтез загальної моделі має виконуватися із забезпеченням дотримання первинних умов (первинного маркування) моделі кожної підсистеми, передбачати можливість протікання

паралельних процесів та поєднання елементів моделей, що дублюють події Microgrid при окремому функціонуванні [5]. У кінцевому результаті, створюється узагальнена імітаційна модель Microgrid з впровадженими стратегіями керування енергетичними потоками, що містить повний цикл – генерування, передачу, розподіл та споживання енергії.

Висновки

Імітаційна модель системи живлення Microgrid, створена у середовищі мереж Петрі, дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки між подіями та станами системи і її складових. Введення в модель критеріїв оптимізації дозволить створити алгоритми керування, оптимізовані за певним критерієм, які враховують як параметри джерел, так і власне структуру і склад системи електроживлення Microgrid.

Список літератури

1. *Kanchev H., Di Lu, Colas F., Lazarov V., Francois B.* Energy Management and Operational Planning of a Microgrid With a PV-Based Active Generator for Smart Grid Applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.58, no.10, October 2011, P. 4583–4592.
2. *Khyzhniak T., Kolesnyk V.* Modeling of Power-supply Subsystems of Microgrid Using Petri Nets: Proceedings of the 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv 2013, P. 391–395.
3. *Levron Y., Guerrero J. M., Beck Y.* Optimal Power Flow in Microgrids With Energy Storage, Power Systems, IEEE Transactions on , vol.PP, no.99, P.1–9.
4. *Найвельт Г.С.* Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1985. – 576 с.
5. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

MODELING AS A BASIS FOR CONSTRUCTION OF CONTROL ALGORITHMS FOR MICROGRID POWER SYSTEM

V. V. Kolesnyk, T. A. Khyzhniak

National Technical University of Ukraine “KPI”, Faculty of Electronics,
Kyiv, Ukraine, e-mail: tatjana.khizhnjak@gmail.com, kolesnik_v@i.ua

The principle of simulation using Petri nets was considered in article for creating of control algorithms for power systems based on alternative sources and semiconductor converters. The information about the parameters of power supplies, the power system and the criteria of optimization used as the input data for modeling. The set of possible control algorithms, which were created using models for a given system, the input data and criteria of optimization, will make the control process more flexible and close to the principles of Microgrid.

Key words: microgrid, Petri nets, modeling, power-supply subsystem

1. *Kanchev H., Di Lu, Colas F., Lazarov V., Francois B.* Energy Management and Operational Planning of a Microgrid With a PV-Based Active Generator for Smart Grid Applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.58, no.10, October 2011, – P. 4583–4592.
2. *Khyzhniak T., Kolesnyk V.* Modeling of Power-supply Subsystems of Microgrid Using Petri Nets: Proceedings of the 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv 2013, pp. 391-395.
3. *Levron Y., Guerrero J. M., Beck Y.* Optimal Power Flow in Microgrids With Energy Storage, Power Systems, IEEE Transactions on , vol.PP, no.99, P.1–9.
4. *Найвельт Г. С.* Radio-electronic equipment power supplies. – Moskva: Radio i sviaz, 1985. – 576 p. (Rus.)
5. *Piterson Dj.* The Theory of Petri Nets and Simulation of Systems. – Moskva: Myr, 1984. – 264 p. (Rus.)