Raport Badawczy

Research Report

RB/34/2015

Zarządzanie energią w pracy wyspowej mikrosieci: zarządzanie konsumpcją energii oraz sprawiedliwy podział mocy produkcyjnych

W. Radziszewska

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences

POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Zakładu zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2015

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Weronika Radziszewska

Zarządzanie energią w pracy wyspowej mikrosieci: zarządzanie konsumpcją energii oraz sprawiedliwy podział mocy produkcyjnych.

WARSZAWA 2015

Spis treści

Rozdział 1

Wstęp

Praca wyspowa mikrosieci - bez podłączenia do sieci dystrybucyjnej - jest zagadnieniem złożonym, gdyż ze względu na właściwości sieci elektrycznych wymaga idealnego bilansowania energii produkowanej i zużywanej. W części przypadków nie będzie możliwe zbilansowanie ze względu na chwilowe deficyty lub nadmiary energii elektrycznej, wtedy należy wymusić pożądane zachowania urządzeń, np. przeprowadzić planowane włączenia i wyłączenia poszczególnych urządzeń w mikrosieci. Pojawia się tu szereg problemów: produkcja energii ze źródeł odnawialnych jest tylko do pewnego stopnia przewidywalna, zużycie energii przez konsumentów jest szybko zmienne w czasie, a niektóre urządzenia są bardzo wrażliwe na chwilową zmianę parametrów prądu. Zarządzanie energią w tym przypadku można podzielić na dwa zagadnienia: zarządzanie produkcją i zarządzanie konsumpcją energii.

Zarządzanie produkcją wymaga ciągłego monitorowania możliwości wytwórczych źródeł, określania możliwości regulacyjnych i poziomu naładowania zasobników energii (o ile takie zasobniki są dostępne). Zarządzanie produkcją to problem decyzyjny: które źródło sterowalne, w jakim zakresie i czasie ma pokrywać zapotrzebowanie mikrosieci. W przypadku nadpodaży energii w pierwszej kolejności musi być zmniejszony punkt pracy źródeł, a w dalszej kolejności nadmiar energii musi być zmarnowany. W przypadku braku energii, musi zostać ograniczona konsumpcja.

Zarządzanie konsumpcją wymaga zamodelowania urządzeń i ustalenia priorytetów i mechanizmów ich wyłączania i włączania. Problem nie ogranicza się tylko do określenia ile mocy zużywa poszczególne urządzenie, ale musi także być wzięte pod uwagę okres włączania i wyłączania urządzenia (np. bezpieczne wyłączenie komputera może trwać nawet kilka minut).

Jeżeli rozważane są mikrosieci z wieloma właścicielami (podmiotami sterującymi) zagadnienie to obejmuje także problem sprawiedliwego ponoszenia kosztów przez producentów w mikrosieci w celu zbilansowania popytu i podaży. Koszt jest tu rozumiany zarówno dosłownie – jako koszt paliwa do źródeł energii oraz koszt w postaci niemożliwości w użytkowaniu sprzętu, gdy występuje deficyt energii.

W kolejnym rozdziale zostanie przedstawiona koncepcja mikrosieci. Rozdział 3 opisany zostanie problem bilansowania mocy. W kolejnym rozdziale zostaną opisane problemy występujące przy pracy mikrosieci w trybie wyspowym jak nadprodukcja energii elektrycznej i zbyt duży popyt. Rozdział 5 rozważa możliwości systemów informatycznych do bilansowania energii w mikrosieci w trybie wyspowym. Ostatni rozdział podsumowuje niniejszą pracę.

Rozdział 3

Bilansowanie mocy

Bilansowanie mocy, w ogólnym ujęciu, wymaga spełnienia warunku równości mocy wytwarzanej ($s(\Delta t_k) = \int\limits_{t \in \Delta t_k} s(t)dt$) i mocy odbieranej w sieci ($d(\Delta t_k) = \int\limits_{t \in \Delta t_k} d(t)dt$) w każdym momencie czasu. Rzeczywiste bilansowanie jest procesem ciągłym, ale dla uproszczenia może być opisane jako bilansowanie popytu i podaży w krótkich momentach czasu Δt:

$$\sum_{i=0}^{n} s_i(\Delta t_k) = \sum_{j=0}^{m} d_j(\Delta t_k) + L(\Delta t_k), \ \Delta t_k \in T \tag{3.1}$$

gdzie $n \in N$ jest numerem aktywnego producenta energii, a $m \in M$ jest numerem aktywnego konsumenta.

Straty energii podczas przesyłu ($L(\Delta t_k)$) są w mikrosieci dość małe i mogą być pominięte dla czytelności modelu. W zależności od urządzeń, w bilansowaniu mogą wystąpić także dodatkowe ograniczenia. Czas rozruchu i zmiany punktu pracy poszczególnych urządzeń w mikrosieci są niewielkie (rzędu milisekund do sekund) i są pominięte dla czytelności.

W przypadku istnienia możliwości pokrycia zapotrzebowania przez lokalne źródła problem bilansowania oznacza wyznaczeniem punktu pracy dla każdego urządzenia produkującego energię elektryczną, tak aby suma energii produkowanej była równa sumie energii pobieranej. Jeżeli źródło jest włączone jego punkt pracy musi zawierać się w przedziale dopuszczalnym $[s_i^{min}, s_i^{max}]$:

$$s_i^{min} <= s_i(\Delta t_k) <= s_i^{max} \ \Delta t_k \in T \tag{3.2}$$

Dodatkowym ograniczeniem może być minimalizacja kosztów pracy urzą-

dzeń, wtedy:

$$K(\Delta t_k) = \sum_i k_i(s_i) \tag{3.3}$$

gdzie funkcja kosztu $k_i(s_i)$ zależy od punktu pracy i charakterystyki poszczególnych urządzeń. W tym opracowniu będzie rozważana głównie minimalizacja kosztów, chociaż można określić również inne preferencje, np. gdy występują źródła kogeneracyjne (produkcja energii elektrycznej jest związana z produkcją energii cieplnej).

W większości opracowań (patrz [5]) przyjmuje się istnienie podłączenia z siecią zewnętrzną (np. siecią dystrybucyjną), która dla celów bilansowania może dostarczyć każdą ilość energii do mikrosieci, jak również odebrać dowolną ilość energii z mikrosieci. Takie założenie pozwala na nierozważanie sytuacji, gdy bilansowanie nie jest możliwe.

W przypadku możliwości zbilansowania energii doskonale sprawdza się rozwiązanie kompleksowego systemu bilansowania energii, opisanego w [11, 14]. System składa się z modułu długoterminowego planowania produkcji i zużycia energii elektrycznej i krótkoterminowego systemu bilansowania odchyleń od planu.

W sytuacji, gdy nie ma możliwości fizycznych zbilansowania energii elektrycznej należy podjąć pewne akcje w celu po pierwsze umożliwienia bilansowania, po drugie uwzględnienia kosztów.

Rozdział 6

Podsumowanie

Tematyka sieci inteligentnych („*smart grid*") jest bardzo szeroka i jest bardzo popularnym tematem badań, co skutkuje jej bardzo dynamicznym rozwojem. W tej pracy ograniczono się do pewnego podzbioru tematyki, czyli do badań nad zarządzaniem energią w mikrosieci w trybie pracy wyspowej.

Mikrosieć jest bardzo szeroko rozważanym zagadnieniem, jednak stosunkowo niewiele naukowców rozważa pracę mikrosieci w trybie wyspowym. Jest to zagadnienie bardzo skomplikowane w przypadku niewystarczająco elastycznych źródeł mocy w mikrosieci. Ogólne i niezawodne rozwiązanie wymaga planowania, zarówno zużycia energii elektrycznej, jak i produkcji (punktów pracy źródeł sterowalnych), oraz dodatkowego mechanizmu bilansującego krótkoterminowe odchylenia od planu.

W tej pracy opisano podstawowe problemy występujące w pracy wyspowej mikrosieci. Jest to kontynuacja badań nad zarządzaniem energii w mikrosieci i praca ta stanowi wstęp do zaimplementowania systemu zarządzania energią w mikrosieci w trybie pracy wyspowej.

Pokazano możliwe rozwiązania problemu nadprodukcji energii elektrycznej i deficytu energii elektrycznej. Do prawidłowego i efektywnego rozwiązania problemu bilansowania powinny być użyte wszystkie podane mechanizmy, zarówno ograniczające lub przesuwające popyt, jak i zarządzające podażą.

Kontynuacją pracy będzie zaimplementowanie mechanizmów zarządzania urządzeniami w celu osiągnięcia zbilansowania mikrosieci w ekstremalnych warunkach.

Bibliografia

[1] A. Agnetis, G. Dellino, P. Detti, G. Innocenti, G. de Pascale, and A. Vicino. Appliance operation scheduling for electricity consumption optimization. In *CDC-ECE*, pages 5899–5904. IEEE, 2011.

[2] V.S.K.M. Balijepalli, V. Pradhan, S.A. Khaparde, and R. M. Shereef. Review of demand response under smart grid paradigm. In *Innovative Smart Grid Technologies - India (ISGT India), 2011 IEEE PES*, pages 236–243, Dec 2011.

[3] Bornholm Island. `https://building-microgrid.lbl.gov/bornholm-island`.

[4] R. G. Harley and J. Lian. Computational intelligence in smart grids. *IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid*, pages 8–15, 2011.

[5] N.D. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and Ch. Marnay. Microgrids: An overview of ongoing research, development, and demonstration projects. *IEEE Power & Energy Magazine*, 5(4):78–94, 08/2007 2007.

[6] International Energy Agency. More data, less energy: Making network standby more efficient in billions of connected devices. Technical report, International Energy Agency, 2014.

[7] F. M. R. Islam. *Impact and Utilization of Emerging PHEV in Smart Power Systems*. PhD thesis, School of Engineering and Information Technology, The University of New South Wales, Canberra, Australia, 2013.

[8] Kythnos Island. `https://building-microgrid.lbl.gov/kythnos-island`.

[9] Junghoon Lee, Gyung-Leen Park, Sang-Wook Kim, Hye-Jin Kim, and Chang Oan Sung. Power consumption scheduling for peak load reduction in smart grid homes. In *Proceedings of the 2011 ACM Symposium on Applied Computing*, SAC '11, pages 584–588, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[10] D. Linden and T. Reddy. *Handbook Of Batteries*. McGraw-Hill handbooks. McGraw-Hill Education, 2001.

[11] P. Pałka, W. Radziszewska, and Z. Z. Nahorski. Balancing electric power in a microgrid via programmable agents auctions. *Control and Cybernetics*, 4(41):777–797, 2012.

[12] R. Palma-Behnke, C. Benavides, E. Aranda, J. Llanos, and D. Saez. Energy management system for a renewable based microgrid with a demand side management mechanism. In *Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG), 2011 IEEE Symposium on*, pages 1–8. IEEE, 2011.

[13] M. Parol, J. Wasilewski, T. Wójtowicz, and Z. Nahorski. Low voltage microgrid in a research and educational center. In *CD Proceedings of the Conference Elektroenergetika ELEN 2012*, page 15, September 2012.

[14] W. Radziszewska, Z. Nahorski, M. Parol, and P. Pałka. Intelligent computations in an agent-based prosumer-type electric microgrid control system. In L. T. Kóczy, C. R. Pozna, and J. Kacprzyk, editors, *Issues and Challenges of Intelligent Systems and Computational Intelligence*, volume 530 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 293–312. Springer, 2014.

[15] Tecnalia Microgrid Laboratory. `https://building-microgrid.lbl.gov/tecnalia-microgrid-laboratory`.

[16] Tesla Motors. Powerwall. `http://www.teslamotors.com/powerwall`.

[17] A. G. Tsikalakis and N. D. Hatziargyriou. Centralized control for optimizing microgrids operation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(1):241–248, 2008.

[18] P. Vytelingum, T. D. Voice, S. D. Ramchurn, Alex Rogers, and N. R. Jennings. Agent-based micro-storage management for the smart grid. In

Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Volume 1, AAMAS '10, pages 39–46, Richland, SC, 2010. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[19] Perukrishnen Vytelingum, Sarvapali D. Ramchurn, Thomas D. Voice, Alex Rogers, and Nicholas R. Jennings. Trading agents for the smart electricity grid. In *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1 - Volume 1*, AAMAS '10, pages 897–904, Richland, SC, 2010. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

[20] J. Wasilewski, M. Parol, T. Wojtowicz, and Z. Nahorski. A microgrid structure supplying a research and education centre - Polish case. In *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on*, pages 1–8, 2012.

[21] D. Westermann and A. John. Demand matching wind power generation with wide-area measurement and demand-side management. *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, 22(1):145–149, 2007.

[22] M. Wooldridge. *Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2001.