

Symulacja pracy zasobnika energii w sieci dystrybucyjnej z wykorzystaniem GridLAB-D

Streszczenie. Artykuł przedstawia sposób badania wpływu źródła regulacyjnego mocy czynnej i biernej na wybrany fragment sieci dystrybucyjnej. Autorzy przedstawili sposób reprezentacji modelu sieci elektroenergetycznej oraz narzędzie do prowadzenia symulacji GridLAB-D. Opisano podstawowe eksperymenty przeprowadzone dzięki tej technice. Przedstawiono wyniki odpowiadających pomiarów w systemie testowym. W podsumowaniu przedstawiono poczynione obserwacje i wnioski z badań.

Słowa kluczowe: badania symulacyjne, sieć rozdzielcza, sterowanie, sieci inteligentne, zasobniki energii.

Wprowadzenie

Rozwój rozdzielczych sieci elektroenergetycznych nieuchronnie zmierza w kierunku wzrostu automatyzacji. Aparaty zdalnie sterowane, często w układach różnych automatyk lub półautomatyk, to już w zasadzie norma. Są one podstawowym narzędziem poprawy niezawodności zasilania odbiorców. W połączeniu ze źródłami rozproszonymi tworzą nawet dość rozległe sieci o znacznych wymaganiach regulacyjnych [4].

Coraz częściej mówi się o usługach systemowych lub pomocniczych, zależnie od publikacji, które będą mogły być świadczone na rzecz operatorów systemów dystrybucyjnych [5]. Do tych zadań niezbędna jest zabudowa w sieciach nowych urządzeń regulacyjnych, takich jak:

- przełączniki zaczepek pod obciążeniem,
- kompensatory mocy biernej (w obu kierunkach mocy),
- zasobniki energii,
- źródła regulacyjne (np. szczytowe).

Badanie oddziaływania tych urządzeń na sieci, ich skuteczności oraz sposobu pracy układów regulacji, zwłaszcza automatycznej, jest ważnym zagadnieniem badawczym i aplikacyjnym [2, 3]. Stąd zainteresowanie autorów tym tematem. Autorzy przeprowadzili projekt, którego celem było zebranie doświadczeń w zakresie pracy zasobnika energii w sieci średniego napięcia. W ramach pracy przeprowadzono prace symulacyjne, które są tematem niniejszego artykułu, zabudowano zasobnik energii w sieci średniego napięcia, wyposażono go w automatyki, realizujące funkcje usługowe dla operatora sieci dystrybucyjnej, a następnie przeprowadzono szereg eksperymentów

Metodyka badań

GridLAB-D to stosunkowo nowe narzędzie do symulacji sieci inteligentnych [1]. Zawiera w sobie wiele modeli różnych obiektów, mających zastosowanie w nowoczesnych sieciach, jak elektrownie słoneczne, wiatrowe, generatory prądotwórcze, łączniki zdalnie sterowane, regulatory napięcia itp. Pozwala na badanie wpływu czynników klimatycznych i pogody na przepływy energii. Jest przystosowany do przygotowywania modeli i obliczania rozległych sieci wielowęzłowych. Autorzy przygotowali w tym narzędziu model fragmentu sieci 15 kV, w którym zabudowano źródło regulacyjne mocy czynnej i biernej, modelujące zasobnik energii.

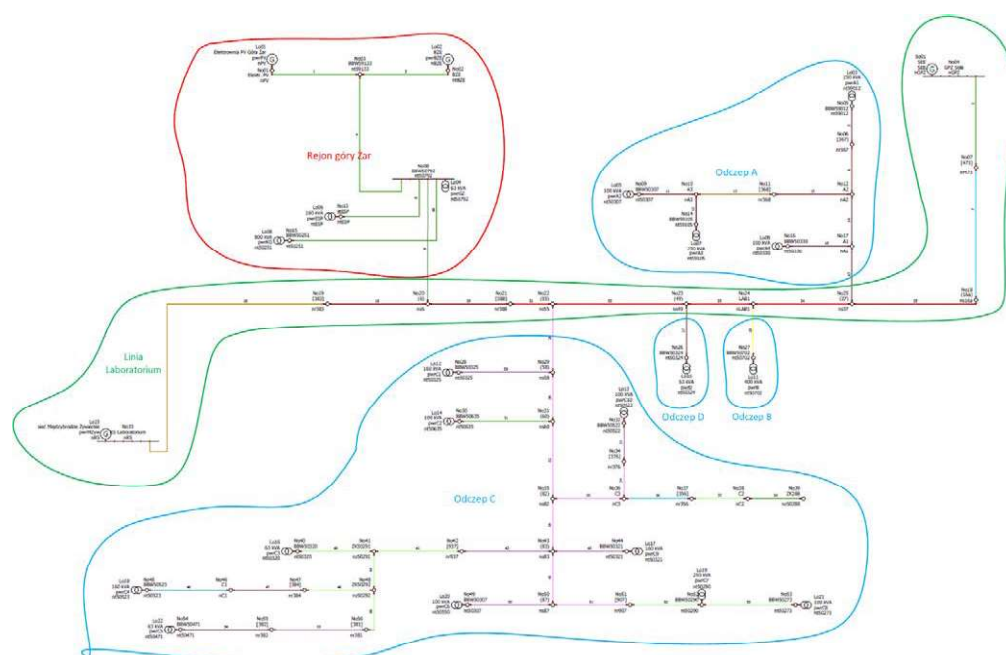
Takie symulacje można prowadzić w trybie czasu rzeczywistego, gdzie można badać np. wpływ opóźnień na proces regulacji, oraz w trybie przyspieszonym, gdzie można szybko przebadanie działanie sterowania w dłuższej perspektywie czasu.

Autorzy przygotowali model symulacyjny planowanego zasobnika energii, elektrowni słonecznej, grupy odbiorów oraz obszernego fragmentu sieci 15 kV, zasilanej z transformatora 110/15 kV. Przeprowadzono następujące eksperymenty: badanie możliwości regulacji napięcia, badanie możliwości regulacji przepływu mocy czynnej oraz badanie regulacji mocy biernej. Następnie eksperymenty te powtórzono w układzie testowym.

Wyniki symulacji

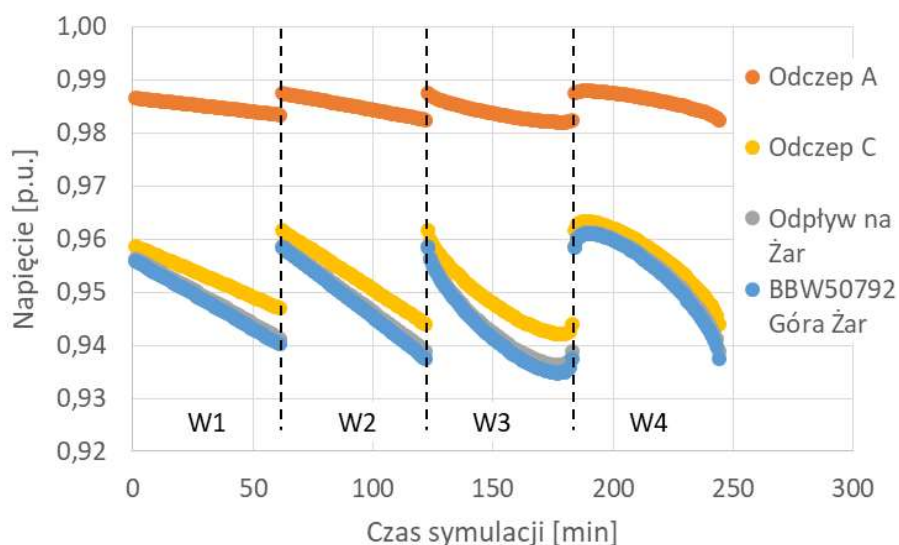
Przeprowadzone testy systemu pozwoliły stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie pozwala na skuteczne oddziaływanie na moc w wybranych węzłach systemu. Oddziaływanie na napięcie jest niewielkie, ale widoczne.

Przeprowadzone badania pokazały, że założone element kompensacyjny jest w stanie, mimo pozornie niedużej mocy, wpływać na rozpływ mocy w okolicy sieciowej. W szczególności można skutecznie regulować moc bierną i ograniczać współczynnik $\tan \phi$, ograniczać straty w linii. Zaproponowane urządzenie ma tę cechę, że może generować moc bierną pojemnościową i indukcyjną.



Rysunek 1. Schemat symulacyjny badanego fragmentu sieci

Wyniki pokazały, że do skuteczniejszego oddziaływania na napięcie należy dysponować znacznie większą mocą elementu regulacyjnego. Widać również, że, mimo dobrego stanu badanej sieci i zapasów pojemności linii, na napięcie w węzłach sieci SN ma wpływ również moc czynna. Jest to o tyle ważne spostrzeżenie, że w literaturze wciąż raczej panuje pogląd o małym znaczeniu mocy czynnej dla regulacji napięcia w liniach o napięciu wyższym niż 1 kV. Jednak zmiana typu linii z napowietrznych na kablowe, w tym warkocze, zmienia sytuację. Wynika to ze znacznego zmniejszenia reaktancji indukcyjnej i zwiększenia pojemnościowej.



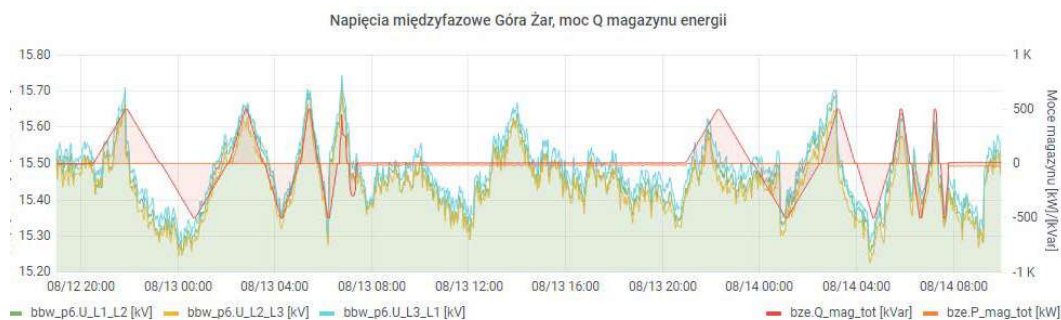
Rysunek 2. Wyniki symulacji, oddziaływanie zasobnika na napięcie

Wyniki pomiarów

Przeprowadzone testy systemu pozwoliły stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie pozwala na skuteczne oddziaływanie na moc w wybranych węzłach systemu. Oddziaływanie na napięcie jest niewielkie, ale widoczne.

Przeprowadzone badania pokazały, że założone element kompensacyjny jest w stanie, mimo pozornie niedużej mocy, wpływać na rozptył mocy w okolicy sieciowej. W szczególności można skutecznie regulować moc bierną i ograniczać współczynnik $\tan \phi$. Zaproponowane urządzenie ma tę cechę, że może generować moc bierną pojemnościową i indukcyjną.

W wypadku oddziaływania napięciowego zmiana napięcia w badanym węźle wynosiła około 150 V, co zgadza się z wynikami symulacji, gdzie otrzymano zmianę 1 p.u.



Rysunek 3. Oddziaływanie zasobnika na napięcie w badanym węźle

Wnioski

Przedstawiona metoda symulacyjna jest skutecznym narzędziem badania zaawansowanych układów sieciowych. Pozwala w szczególności na weryfikację skuteczności oddziaływania planowanego zasobnika na wybrany fragment sieci. GridLAB-D ma tę szczególną zaletę, że mimo braku interfejsu graficznego pozwala na łatwe modelowanie sieci na podstawie danych katalogowych urządzeń.

Przedstawiona metoda pozwala na określenie minimalnej wielkości narzędzi regulacyjnych, niezbędnej dla osiągnięcia założonego efektu. Dzięki temu można uniknąć pomyłek i wydatków na inwestycje nieprzynoszące spodziewanych efektów.

Dla skutecznego stosowania metody ważne jest wykonywanie pomiarów przepływów mocy w kluczowych węzłach rozpatrywanego fragmentu sieci. Pomiary te powinny być wykonywane jednocześnie np. rejestratorami jakości energii lub innymi miernikami mocy z funkcją zapisu danych. Następnym krokiem była praktyczna weryfikacja metody i otrzymanych wyników z wykorzystaniem pomiarów. Przedstawione wyniki pomiarów zgadzają się z symulacjami w zakresie regulacji mocy i oddziaływania na napięcie. W badaniu symulacyjnym nie uwzględniono wstawek i muf, przepłotów w sieci kablowej oraz automatycznej regulacji napięcia przełącznikiem zaczepów transformatora 110/15 kV.

Publikacja powstała w ramach realizacji zobowiązań wynikających z podpisanej umowy o dofinansowanie POIR.01.02.00-00-0211/16 dla projektu pn.: „Magazyn energii adaptujący farmę PV do pracy w inteligentnych sieciach elektroenergetycznych”, realizowanego ze wsparciem NCBR.

Publikacja jest wynikiem realizacji umowy o współpracy pomiędzy PGE Energia Odnawialna S.A. a Tauron Dystrybucja S.A.

Literatura

1. D. P. Chassin, K. Schneider and C. Gerkenmeyer, "GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment," 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, IL, USA, 2008, pp. 1-5, doi: 10.1109/TDC.2008.4517260.
2. Choton K. Das, Octavian Bass, Ganesh Kothapalli, Thair S. Mahmoud, Daryoush Habibi, Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 91, 2018, Pages 1205-1230, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.068>.
3. Markus Mühlbauer, Oliver Bohlen, Michael A. Danzer, Analysis of power flow control strategies in heterogeneous battery energy storage systems, *Journal of Energy Storage*, Volume 30, 2020, 101415, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101415>.
4. Lasseter, Robert, Akhil, Abbas, Marnay, Chris, Stephens, John, Dagle, Jeff, Guttroms, Ross, Meliopoulos, A Sakis, Yinger, Robert, and Eto, Joe. 2002. "Integration of distributed energy resources. The CERTS Microgrid Concept". United States. <https://doi.org/10.2172/799644>. <https://www.osti.gov/servlets/purl/799644>.
5. Olivella-Rosell, Pol, Pau Lloret-Gallego, Ingrid Munné-Collado, Roberto Villafafila-Robles, Andreas Sumper, Stig Ødegaard Ottessen, Jayaprakash Rajasekharan, and Bernt A. Bremdal. 2018. "Local Flexibility Market Design for Aggregators Providing Multiple Flexibility Services at Distribution Network Level" *Energies* 11, no. 4: 822. <https://doi.org/10.3390/en11040822>

Autorzy: mgr. inż. Bartosz Starosielec, PGE EO, Bartosz.Starosielec@gkpge.pl; dr inż. Armen Jaworski, CIM-mes Projekt Sp. z o.o., a.jaworski@cim-mes.com.pl; dr hab. inż. Piotr Biczal, B+R Piotr Biczal, biczal@bplusr.com.pl.