

Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki
Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki
Mgr inż. Szymon Wermiński

Streszczenie rozprawy doktorskiej
Dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych
Dyscyplina: automatyka, elektronika, elektrotechnika

Tytuł rozprawy doktorskiej
**Zdecentralizowany system zarządzania zapotrzebowaniem na energię
elektryczną do przesuwania obciążeń szczytowych oraz poprawy stabilności
dynamicznej systemu elektroenergetycznego**

Promotor: prof. dr hab. inż. Grzegorz Benysek
Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Marcin Jarnut

Zielona Góra, 2020

Streszczenie

W planowaniu i prowadzeniu ruchu w systemie elektroenergetycznym, zachowanie stabilnej, nieprzerwanej pracy jest jednym z kluczowych aspektów. Efektem połączenia systemów elektroenergetycznych między państwami jest większy obszarowo system mający zalety ekonomiczne wynikające z lepszego wykorzystania potencjału wytwórczego i zdolności przesyłowych. Jednak rozwiązanie takie niesie ze sobą także niebezpieczeństwo związane z utratą dynamicznej stabilności, w szczególności stabilności częstotliwościowej. Awarie systemowe mogą nastąpić na skutek wyjątkowych warunków atmosferycznych jak wyładowania piorunowe, ale także również podczas normalnej pracy systemu. Analizując strukturę Polskiego Systemu Elektroenergetycznego (85% elektrowni ciepłych), znaczącym problemem są także obciążenia szczytowe, które zmniejszają zapas rezerwy mocy na regulację pierwotną i ponadto wartość osiąganą mocy coraz częściej bliska jest maksymalnej mocy wytwórczej Polskiego Systemu Elektroenergetycznego. Z powodu upałów, a co za tym idzie trudności w chłodzeniu jednostek wytwórczych lub braku wody dla jednostek szczytowo pompowych, moc wytwórcza może zostać znacznie ograniczona w tym okresie. Przykładem były ograniczenia w Polsce w sierpniu 2015 roku, naturalnie powodujące znaczące straty finansowe w zakładach przemysłowych. Budowa nowych jednostek wytwórczych nie rozwiąże w pełni omawianych problemów i jest to stosunkowo drogie i czasochłonne rozwiązanie. Dodatkowym ograniczeniem są linie przesyłowe, które często pracują na granicy swojej obciążalności. Warta uwagi jest także efektywność pracy systemu, ponieważ duże dobowe wahania mocy wpływają znacząco na sprawność wytwarzanej energii – w dolinie nocnej spada sprawność wytwarzania energii, a z kolei podczas dnia, w czasie obciążeń szczytowych rosną straty przesyłowe.

W nawiązaniu do wyżej opisanych zagadnień, kluczowym aspektem wpływającym na ciągłość dostaw energii elektrycznej i opisującym bilans mocy w systemie elektroenergetycznym jest dynamiczna stabilność częstotliwościowa. Systemy elektroenergetyczne wyposażone są w regulatory odpowiedzialne za tzw. regulację pierwotną. Jednak w sytuacjach, w których zakres regulacji po stronie wytwórczej jest niewystarczający lub za wolny, przed dużym niezbilansowaniem mocy chronią układy Samoczynnego Częstotliwościowego Odciążania, których działanie polega na całkowitym pozbawieniu energii elektrycznej odbiorców na danym obszarze. Jest to działanie ratujące system elektroenergetyczny aniżeli typowa regulacja częstotliwości i mocy.

Mając na uwadze powyższe, autor postawił następującą tezę: *Zarządzanie zapotrzebowaniem na energię elektryczną pozwala na poprawę stabilności dynamicznej oraz przesuwanie obciążeń szczytowych bez negatywnego oddziaływania*

na pracę systemu elektroenergetycznego. Udowodnienie tej tezy jest głównym celem pracy.

Zaprojektowany i wykonany został dedykowany system DADR (Decentralized Active Demand Response) do zarządzania energią elektryczną po stronie odbiorców, który ma za zadanie wspomagać regulację strony wytwórczej systemu energoelektrycznego. System DADR składa się z wielu urządzeń AGP (Aktywne Gniazdo Pośredniczące, tj. elementów pośredniczących pomiędzy siecią zasilającą 230 V a sterowanym odbiornikiem), instalowanych na danym obszarze. Sterowanymi odbiornikami mogą być na przykład wybrane urządzenia AGD. W każdym z AGP obliczana jest niezależnie częstotliwość napięcia w miejscu przyłączenia i dane AGP aktywuje się (najczęściej będzie to odłączenie odbiornika podczas spadku częstotliwości) w odpowiedzi na zmiany częstotliwości, zgodnie z zaprogramowanym algorytmem. Poprzez zaimplementowanie zmiennych stochastycznych w algorytmie działania, możliwa jest praca systemu DADR bez komunikacji pomiędzy jego elementami a także bez nadrzędnego sterownika. Stąd działanie systemu DADR charakteryzuje się dużą szybkością reakcji (początek reakcji na spadek częstotliwości po około 1 sekundzie) oraz brakiem skokowego charakteru regulacji. W tym miejscu zauważyć należy, że w przypadku problemów z utrzymaniem zadanej częstotliwości w systemie elektroenergetycznym, w szczególności ze zjawiskiem tzw. lawiny częstotliwościowej, czas zmian częstotliwości to pojedyncze sekundy i w tym czasie powinno nastąpić zbilansowanie mocy.

Działanie algorytmu w zakresie poprawy stabilności częstotliwościowej sprawdzono w symulacji z użyciem jednogeneratorowego modelu, gdzie wahania częstotliwości są bezpośrednio brakiem równowagi pomiędzy mocą generacji a obciążenia. Symulowane były scenariusze dla różnego potencjału mocy systemu DADR (moc systemu DADR mniejsza lub większa od mocy zakłócenia). We wszystkich rozpatrywanych przypadkach, szczególnie gdzie moc systemu DADR była znacznie większa od mocy zakłócenia, nastąpiła poprawa parametrów regulacyjnych (skrócenie czasu regulacji oraz zmniejszenie wartości uchybu częstotliwości).

Algorytm użyty do redukcji obciążeń podczas godzin szczytowych został zasymulowany i porównany z działaniem algorytmu w ujęciu deterministycznym. W celu oszacowania potencjału mocy redukcyjnej przeprowadzona została analiza dotycząca wyboru docelowej grupy odbiorców, która ma główny udział w powstawaniu wieczornych godzin szczytowych. Dobrane zostały dedykowane odbiorniki, w których uwzględniono upowszechnienie i charakter ich pracy (cykliczność). Okazuje się, że najbardziej odpowiednimi urządzeniami są urządzenia chłodnicze, ze względu na inercję działania realizowanych przez nie procesów a grupa odbiorców mająca główny udział w szczycie wieczornym to odbiorcy gospodarstw domowych. Ponadto, przeprowadzono analizy, w których wykazano, że odłączenie urządzeń chłodniczych w celach systemowych, nie spowoduje degradacji przechowywanej żywności.

W dalszej części przeprowadzono badania eksperymentalne w zbudowanym na potrzeby badań stanowisku laboratoryjnym. W zakresie eksperymentu wykonano analizy w których sprawdzono i potwierdzono podstawowe założenia systemu DADR. Jednym z nich jest równa liczba aktywacji poszczególnych AGP w systemie DADR podczas dłuższego okresu (wyklucza to sytuacje w których jedno urządzenie będzie znacznie częściej aktywowane niż inne). Kolejnym założeniem była równa liczba AGP uczestnicząca w poszczególnych uchybach częstotliwości o tym samym czasie trwania i tej samej wartości uchybu, co z kolei wpływa na przewidywalność zredukowanego wolumenu mocy podczas uchybów częstotliwości (badania prowadzone w układzie otwartym). Następnie sprawdzono działanie systemu DADR, składającego się z 900 sztuk AGP, w mikrosieci z użyciem zestawu elektromaszynowego. Przeprowadzono liczne próby regulacji częstotliwości dla różnego potencjału mocy systemu DADR (różna liczba AGP uczestniczących w regulacji).

Wyniki badań potwierdziły założenia zachowania się systemu DADR podczas wspomagania regulacji częstotliwości. Charakterystyczne cechy zestawiono i opisano na końcu rozprawy.

Opisane zagadnienia były przedmiotem publikacji w międzynarodowych czasopismach z listy JCR m.in. „Application of Stochastic Decentralized Active Demand Response (DADR) System for Load Frequency Control” (czasopismo IEEE transaction on Smart Grid), „Demand side management using DADR automation in the peak load reduction” (czasopismo Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier) oraz „Distributed active demand response system for peak power reduction through load shifting,, (Biuletyn Polskiej Akademii Nauk).