STRESZCZENIE

Tematyka rozprawy dotyczy problemu poprawy warunków pracy sieci elektroenergetycznej, po włączeniu w jej strukturę źródeł niespokojnych (wiatrowych i fotowoltaicznych) o dużych mocach, poprzez rozmieszczanie w węzłach systemu magazynów energii oraz dobór ich pojemności i metody zarządzania. Celem rozprawy jest sprawdzenie możliwości zastosowania metod optymalizacji wielokryterialnej do ustalenia optymalnych lokalizacji i pojemności magazynów energii w sieciach dystrybucyjnych 110 kV, minimalizujących wybrane wskaźniki związane z pracą sieci elektroenergetycznej.

Realizacja celu pracy wymagała wykorzystania modeli i metod analizy elementów składowych systemu elektroenergetycznego, oraz wyboru efektywnej metody optymalizacyjnej i zdefiniowania szczegółowych kryteriów optymalizacji. W zakresie analizy rozpływu mocy, na podstawie wyników badań autorskich, wykorzystano metodę Newtona-Raphsona. Celem skrócenia czasu analiz elementy algorytmu zaimplementowano w technologii zrównoleglenia, z wykorzystaniem technologii CUDA na procesorze graficznym GPU. Odwzorowanie dobowych profili obciążenia węzłów uzyskano na podstawie danych udostępnionych przez operaty sieci dystrybucyjnej, a dobowy profili mocy generowanej przez źródła niestabilne zrealizowano, na podstawie archiwalnych danych pogodowych, metodą analizy częstotliwościowej (FFT). Dodatkowo zaimplementowano: uogólniony model magazynu energii oraz trzy algorytmy jego sterowania: ograniczający szczytowe obciążenia, utrzymujący napięcie węzłowe w dopuszczalnym zakresie oraz ograniczający wahania mocy czynnej w węźle.

W celu doboru metody optymalizacyjnej do realizacji badań właściwych rozwiązano szereg problemów testowych porównując efektywność obliczeniową metod NSGA-II, MPSO oraz BRKGA. Wyniki badań testowych doprowadziły do wyboru metody BRKGA, która została zmodyfikowana w trakcie prac poprzez wprowadzenie mutacji potęgowej zwiększającej skuteczność oraz powtarzalność wyników (BRKGA-PM).

Uwzględniając istotne technicznie aspekty pracy sieci elektroenergetycznej autor zaproponował do oceny jej stanu wykorzystanie następujących kryteriów: straty przesyłowe w liniach, przekroczenia dozwolonych poziomów napięć oraz wahania mocy czynnej w węźle bilansującym, będących jednocześnie podstawą do wyznaczenia funkcji celu optymalizacji wielokryterialnej.

Badania właściwe prowadzono dla poznańskiego systemu elektroenergetycznego (POSE) w formie obliczeń optymalizujących rozmieszczenia i pojemności magazynów energii w jego węzłach. Badania przeprowadzono dla wielu przypadków włączenia do wskazanej sieci źródeł niestabilnych – wiatrowych i PV – o różnej mocy sumarycznej i o różnym ich rozdziale procentowym.

Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają postawioną w rozprawie tezę. Zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej do rozmieszczenia i ustalenia pojemności magazynów energii włączonych do węzłów systemu pozwala na minimalizację przyjętych wskaźników jakości, przy ograniczeniu całkowitej pojemności energetycznej magazynów. Na podstawie wyników ustalono charakterystyczne metody rozmieszczenia magazynów w zależności od przyjętego kryterium (strategii działania magazynu), a także wpływ minimalizacji poszczególnych kryteriów na zmiany pozostałych.

Stanisław Nikolski

ABSTRACT

The subject of the dissertation refers to the issue of improvement of the operating conditions of the power grid, after incorporating high power intermittent sources (wind and photovoltaic installations) into its structure, through the placement of energy storage systems in the nodes, and with appropriate selection of their capacity and management method. The aim of the dissertation is to check the possibility of the application of multi-criteria methods to determine the optimal locations and capacities of energy storages in 110 kV distribution networks, minimising the selected indicators related to the operation of the power grid.

The accomplishment of the aim of the paper required the use of models and methods of analysis of components of the power system and the selection of an effective optimisation method and definition of detailed optimisation criteria. As far as power flow analysis is concerned, the Newton-Raphson method was used, based on the results of the authors' research. In order to shorten the time of analyses, elements of the algorithm were implemented in the parallelisation technology, using the CUDA technology on the GPU. The mapping of the daily load profiles of the nodes was obtained on the basis of data made available by the distribution network operators, and a daily profile of the power generated by unstable sources was realised, on the basis of archival weather data, using the Frequency Analysis Method (FFT). Additionally, the generalised energy storage model and three algorithms of its control were implemented: one that limits peak loads, one that keeps the nodal voltage within an acceptable range and one that limits active power fluctuations in the node.

In order to select the optimisation method for the performance of proper research, a number of test problems were resolved by comparing the computational efficiency of such methods as NSGA-II, MPSO and BRKGA. The test results led to the selection of the BRKGA method which was modified in the course of work by introducing power mutation that increases the effectiveness and repeatability of results (BRKGA-PM).

Taking into account the technically relevant aspects of the operation of the power grid, the author proposed using the following criteria to assess its condition: transmission losses in lines, and any exceeding of permitted voltage levels and active power fluctuations in the balancing node, which are also the basis for determining the objective function of multi-criteria optimisation.

The relevant research was carried out for the Poznan power system (POSE) in the form of calculations optimising the locations and capacities of energy storages in its nodes. The research was conducted for many cases of incorporation of unstable sources into the indicated power grid - wind and PV sources with different total powers and different percentage distribution.

The obtained results unambiguously confirm the thesis set out in the dissertation. The use of multi-criteria optimisation for the deployment and determination of the capacity of energy storages incorporated into the system nodes allows for the minimisation of the adopted quality indicators, while reducing the total energy capacity of the storages. Based on the results, the characteristic methods of deployment of the energy storages were determined depending on the adopted criterion (storage operation strategy), as well as the impact of the minimisation of the respective criteria on changes in others.

Stanisław Michalak