

Streszczenie

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz coraz wyższe koszty energii elektrycznej w Polsce powodują, że systemy elektrycznego transportu kolejowego powinny być zaprojektowane energooszczędnie w celu redukcji kosztów eksploatacyjnych, które mają wpływ na użytkownika korzystającego z tego transportu. Aktualnym tematem badań naukowych i studialnych jest analiza efektu zastosowania zasobników energii w zelektryfikowanym transporcie szynowym (ZTS), aby zredukować zapotrzebowanie na energię elektryczną, poprawić warunki napięciowe w sieci trakcyjnej oraz obniżyć moc zamawianą do zasilania podstacji trakcyjnej. Przeprowadzenie prac studialnych i badawczych wymaga opracowania odpowiedniej metodyki oraz programów symulacyjnych, które powinny uwzględniać możliwość zainstalowania zasobnika energii w systemie zasilania trakcyjnego lub w pojazdach.

Rozprawa doktorska odnosi się do zagadnień dotyczących analiz i badań symulacyjnych systemu trakcji elektrycznej prądu stałego wraz z zastosowaniem mobilnych (na pojeździe) (ang. *on-board energy storage device*, OESD) oraz stacjonarnych zasobników energii (ang. *wayside energy storage device*, WESD). Ze względu na potencjał energii hamowania odzyskowego w systemach metra Autor przeprowadził analizy i badania symulacyjne na przykładzie tego systemu. W pierwszej części pracy Autor dokonał przeglądu zastosowania zasobników stacjonarnych, zasobników na pojeździe, technik optymalizacji parametrów i sterowania zasobnika oraz metod symulacji ZTS DC. Autor przedstawił opracowane modele matematyczne podsystemów ZTS oraz ich komputerowe implementacje. Na potrzeby niniejszej pracy Autor opracował metodę sterowania zasobnika, która uwzględnia szereg parametrów kontrolnych, tj.: napięcie zasobnika, moc lub prąd ładowania i rozładowania zasobnika oraz sposób sterowania zasobnika względem obciążenia sieci trakcyjnej. Nowość tej metody polega na możliwości dodania dowolnej liczby zasobników stacjonarnych i sterowania na dwóch poziomach zasobnika (pierwszy poziom uwzględnia stan ładowania zasobnika, a drugi poziom uwzględnia stan obciążenia sieci trakcyjnej) w zintegrowanym modelu ZTS. Każdy zasobnik może być sterowany osobno zgodnie ze zmiennym profilem obciążenia sieci trakcyjnej ze względu na moc przekształtnika DC/DC oraz stan naładowania pakietu zasobnika.

W pracy zostały przedstawione dane eksploatacyjne WESD, a także wyniki pomiarów ruchowych pojazdów przeprowadzone na linii metra. Praca zawiera wyniki obliczeń programu symulacyjnego dotyczące oceny efektywności układu zasilania rzeczywistej linii metra z

WESD. Wybrane wyniki symulacji zostały zweryfikowane z pomiarami przeprowadzonymi w warunkach rzeczywistych.

Zrealizowane przez Autora analizy w rozdziale 7 pozwalają udowodnić następujące korzyści wynikające z zastosowania WESD w metrze: zmniejszenie konsumpcji energii pojazdu metra, redukcja mocy szczytowej podstacji trakcyjnej, poprawa warunków napięciowych sieci trakcyjnej i redukcji emisji CO₂.

W rozdziale 8 Autor zaproponował nową metodę obliczania rentowności stosowania zasobników energii w metrze oraz dokonał analizy ekonomicznej OESD i WESD na podstawie wyników z symulacji oraz danych pomiarowych. Autor przeprowadził oryginalną analizę efektywności zastosowania zasobnika stacjonarnego zainstalowanego w metrze na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych energii zasobnika. Nowość zaproponowanej metody polega na uwzględnieniu: nakładów inwestycyjnych (CAPEX, ang. *capital expenditures*), operacyjnych (OPEX, ang. *operational expenditures*), rocznej inflacji oraz dodatkowych korzyści, wynikających z redukcji emisji CO₂ i obniżenia mocy szczytowej (15-minutowej) podstacji trakcyjnej, co pozwala na redukcję kosztów mocy zamawianej.

W rozdziale 9 Autor zaproponował oryginalne spojrzenie na problem optymalizacji doboru parametrów i lokalizacji zasobnika stacjonarnego z superkodensatorami. Proponowana przez Autora metoda rozwiązuje złożony problem optymalizacji wielokryterialnej położenia i doboru parametrów WESD w systemie zasilania metra. Zaprezentowana metoda optymalizacyjna może być stosowana dla innych systemów ZTS DC. Przedstawiona metoda uwzględnia trzy zmienne optymalizacyjne: położenie zasobnika, moc przekształtnika DC/DC i energię pakietów S.C. zasobnika oraz dwa kryteria optymalizacyjne: redukcję zapotrzebowanej energii podstacji przy zastosowaniu zasobnika oraz redukcję kosztów zasobnika. Do wyboru jednego rozwiązania z rozwiązań Pareto-optymalnych zostało przyjęte kryterium nadrzędne – efektywność ekonomiczna.

Podsumowując, opracowane przez Autora modele matematyczne, metodyka oprogramowania i technika optymalizacyjna zasobnika mogą zostać wykorzystane podczas prowadzenia prac badawczych i projektowych w zakresie stosowania WESD w systemach prądu stałego.

Słowa kluczowe: stacjonarny zasobnik energii, sterowanie zasobnika energii, model symulacyjny systemu zasilania trakcyjnego, model matematyczny systemu zasilania trakcyjnego.