

Przekształtnik rezonansowy z przełączanym kondensatorem do kontroli napięć w gałęzi szeregowo połączonych kondensatorów

mgr inż. Jakub Hachlowski

Streszczenie

W obecnych czasach cena energii elektrycznej wytwarzanej z paliw kopalnych stale rośnie. Co więcej, zwiększone na nią zapotrzebowanie wpływa niekorzystnie na środowisko naturalne, powodując emisję gazów cieplarnianych i dalsze jej skutki. Od wielu lat obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania alternatywnymi źródłami energii, takimi jak energia promieniowania słonecznego, wiatr i ciepło geotermalne. Wraz z postępem technologicznym w dziedzinie komponentów półprzewodnikowych, spowodowało to szybki rozwój różnych topologii przekształtników energoelektronicznych. Jednym z aktualnych tematów badawczych są wielopoziomowe falowniki z poziomowaniem diodowym. Topologia ta zapewnia efektywną konwersję energii generowanej przy napięciu i prądzie stałym (DC) na energię AC i pozwala na minimalizację elementów obwodów pasywnych, takich jak filtr wyjściowy. Układ ten ma jednak szereg wad, a jedną z nich jest nierównoważenie napięcia kondensatorów po stronie stałoprądowej. Nierównowaga ta wpływa negatywnie na jakość przetwarzanej energii wyjściowej i może doprowadzić do uszkodzenia układu ze względu na zwiększenie napięcia na wyłączonych elementach półprzewodnikowych powyżej wartości znamionowych.

Niniejsza praca przedstawia przegląd badań opublikowanych na temat wyrównywania napięcia w gałęzi szeregowo połączonych kondensatorów i ogniw bateryjnych. Autor proponuje nową topologię jaką jest rezonansowy przekształtnik z przełączanym kondensatorem, nazywany w pracy Switched Capacitor Active Balancing Circuit (SCABC). W pracy zamieszczono koncepcję działania tego układu w różnych jego wariantach oraz zaprezentowano badania analityczne. Przedstawiono możliwe tryby pracy przekształtnika oraz podejście do jego projektowania w zakresie doboru parametrów jego komponentów. Omówiono także źródła strat mocy w obwodzie oraz opisano sprawność za pomocą równań. Ponadto opisano podstawy sterowania przekształtnikiem.

Aby dowieść poprawności pracy proponowanej koncepcji przekształtnika, opracowano model symulacyjny w programie MATLAB®/Simulink®. Ponadto, opisano podejście do projektowania układu eksperymentalnego i przedstawiono zbudowany układ.

Uzyskane wyniki ujawniły niedoskonałości układu, w związku z czym autor proponuje ulepszenie topologii. Dalsze prezentowane badania koncentrują się na zdolności SCABC do kontroli wartości napięć pojemnościowego dzielnika napięcia, tworzącego wejście napięć stałych dla siedmiopoziomowego falownika NPC. Przeprowadzono badania dwóch przypadków podłączenia źródła energii DC. W pierwszym z nich zasilane jest cała szyna DC, a przekształtnik pracuje sterowany przez zamknięty układ sterowania. Przeprowadzono symulacje różnych scenariuszy pracy i przedstawiono wyniki. W drugim przypadku zasilany jest tylko środkowy kondensator obwodu pośredniego, więc SCABC nie tylko utrzymuje równowagę napięciową, ale także trzykrotnie zwiększa napięcie zasilania. Badania tego przypadku są przeprowadzane za pomocą symulacji obwodu oraz eksperymentów laboratoryjnych. Szczegóły dotyczące budowy zestawu laboratoryjnego są przedstawione czytelnikowi pracy. Podane są tu wyniki zarejestrowane dla obu wymienionych przypadków. Ponadto badana była sprawność energetyczna obwodu.

Jednym z celów pracy było zbadanie zdolności SCABC do kompensacji tętnień drugiej harmonicznej napięcia wyjściowego falownika, które propagują się do części stałoprądowej podsystemu. Podjęte badania koncentrują się na opracowaniu dedykowanych algorytmów sterowania dla dwóch możliwych konfiguracji przekształtnika: SCABC z siedmiopoziomowym falownikiem NPC oraz SCABC z pięciopoziomowym falownikiem NPC mostkowym, który wykorzystuje gałęzie trójpoziomowe.

14.09.2022
Jakub Hachlovski

performed and the results are presented. In the second case, only the middle capacitor of the DC-link was supplied, and therefore, the balancer not only maintained the voltage balance, but also boosted the supply voltage threefold. This case was studied *via* simulations of the circuit, as well as *via* laboratory experiments. Details of the development of the laboratory setup are presented as well. The results that were recorded for both cases are given. Moreover, the efficiency of a circuit was also investigated.

The final goal of this dissertation was to investigate the capability of SCABC to compensate the ripple second harmonic power, which propagates to the DC part of the subsystem. The focus of the research that was undertaken was on developing dedicated control algorithms for two possible configurations of a power conversion system: a SCABC with a seven-level NPC inverter and a SCABC with a five-level NPC inverter.

14.09.2022

Jakub Hachlovský

Switched capacitor resonant converter for control of voltage sharing on series-connected capacitors

mgr inż. Jakub Hachlowski

Abstract

Nowadays, the price of the electrical energy that is produced from fossil fuels is constantly increasing. Moreover, the natural environment is also affected as greenhouse gasses are polluting our surroundings. For many years, there has been a significant growth of interest in alternative energy sources such as sun, wind, and geothermal heat. Together with the technological progress of semiconductor devices, this has caused the rapid development of various power electronics systems for energy conversion. The multilevel neutral-point-clamped inverters are one of these research topics. This topology provides an efficient DC-AC energy conversion and enables passive circuit components such as output filters to be minimized. However, it has a number of disadvantages one of which is the DC-link capacitors becoming imbalanced, which negatively affects the quality of the converted output energy.

This dissertation provides a review of the research that has been published on the matter of voltage equalization using banks of series-connected capacitors and battery cells. Additionally, a novel topology is proposed in the thesis that is of a resonant switched capacitor type. The principle of the operation of the switched capacitor active balancing circuit (SCABC) is also presented. The work presents the mathematical expressions for the dependencies of a circuit. The possible operation modes of the converter are presented, together with an approach for its design in terms of the required components, sizing, and ratings. The sources of a circuit's power losses are elaborated, and its efficiency is described using equations. Moreover, the basis of the converter control is described as well.

In order to prove the proposed converter concept, a simulation model in MATLAB®/Simulink® was developed. Moreover, the approach to designing the experimental setup is described and the setup that was built is presented. The results that were recorded reveal the circuit's imperfections, and therefore, the author proposes improvements of the topology. The further research that is presented focuses on the ability of SCABC to control the voltages of the capacitive voltage divider, which forms the DC-link for the seven-level NPC inverter. Two cases of the connection of the DC power supply were investigated. In the first case, a complete DC-link was supplied and the operation of the balancer was controlled by closed-loop control system. Simulations of various scenarios were