

Wielopoziomowe przekształtniki DC-DC z tranzystorami z azotku galu GaN

Streszczenie

Rezonansowe przekształtniki DC-DC o przełączanych kondensatorach stanowią grupę dynamicznie rozwijanych układów energoelektronicznych. Wciąż opracowywane są nowe topologie umożliwiające wielokrotne zwiększanie lub obniżanie napięcia przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej sprawności tego procesu. Wspomniane właściwości tego typu układów są szczególnie istotne w zastosowaniach, takich jak mikroinstalacje fotowoltaiczne czy systemy zasilania superkomputerów. Ponadto, dzięki wyeliminowaniu elementów indukcyjnych z procesu przekształcania energii, układy te charakteryzują się kompaktowymi wymiarami, niewielką masą oraz możliwością pracy w szerokim zakresie temperatur otoczenia. Wspomniane właściwości układów rezonansowych o przełączanych kondensatorach istotnie zwiększają ich potencjał aplikacyjny i czynią je konkurencyjnymi dla klasycznych przekształtników, których podstawę działania stanowią właściwości wykorzystywanych do ich budowy elementów indukcyjnych.

Pierwszym etapem prac związanych z przygotowaniem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie innowacyjnej topologii wielopoziomowego przekształtnika HVGDCC (*ang. High Voltage Gain Direct Current Converter*) charakteryzującego się sześciokrotnym wzmocnieniem napięciowym, możliwością siedmiostopniowej regulacji napięcia wyjściowego, relatywnie niewielką liczbą zastosowanych tranzystorów oraz niskimi wartościami napięć występujących na poszczególnych łącznikach. Ponadto, zaproponowany przekształtnik cechuje wysoka sprawność realizacji procesu przekształcania energii, a wprowadzenie go w tryb pracy ZVS (*ang. Zero Voltage Switching*) umożliwi dalsze ograniczenie strat poprzez minimalizację tych związanych z występowaniem pojemności wyjściowej tranzystorów (C_{oss}).

W ramach prowadzonych prac badawczych dokonano analizy porównawczej dwóch przekształtników o topologii HVGDCC. Do budowy pierwszego z porównywanych układów wykorzystano tranzystory typu CoolMOS, a drugi wykonano na podstawie projektu zakładającego zastosowanie w obwodzie mocy przekształtnika tranzystorów typu CoolGaN. Celem wspomnianej analizy było wykazanie różnic w pracy wielopoziomowych przekształtników o przełączanych kondensatorach, wynikających z zastosowania różnego typu łączników do ich budowy, ujawniających się w przebiegach prądów i napięć poszczególnych komponentów oraz charakterystykach sprawności badanych układów. Opracowana topologia przekształtnika została szczegółowo przeanalizowana w ramach prowadzonych prac analitycznych, czego efektem było opracowanie jej teoretycznego modelu sprawności. Na jego podstawie wykreślono charakterystyki przedstawiające zależność ilości strat występujących w poszczególnych elementach przekształtnika od jego mocy wyjściowej, a także teoretyczną krzywą sprawności analizowanego układu.

Dla każdej z badanych wersji przekształtnika HVGDCC w środowisku Matlab-Simulink opracowano model symulacyjny, na podstawie którego przeprowadzono weryfikację koncepcji działania zaprojektowanego układu. Przedmiotem badań symulacyjnych prowadzonych na modelach przekształtników HVGDCC-CoolMOS oraz HVGDCC-CoolGaN była weryfikacja poprawności ich działania oraz porównanie ilości strat występujących w poszczególnych elementach obu opracowanych układów. Badania symulacyjne podsumowano poprzez wykreślenie charakterystyk sprawności zarejestrowanych dla obu modeli, pracujących w trybie

ZCS oraz ZVS z obciążeniem, którego wartość w czasie trwania symulacji zmieniała się w szerokim zakresie. W czasie tej serii badań symulacyjnych wykorzystano modele tranzystorów uwzględniające zarówno ich parametry statyczne, jak i dynamiczne, przy czym parametry dynamiczne zdefiniowano w formie kompletnych charakterystyk zaczerpniętych z dokumentacji technicznej rzeczywistych łączników. Symulacje przeprowadzono w środowisku Matlab-Simulink z użyciem pakietu „Parallel Computing Toolbox”.

Pozytywne wyniki badań symulacyjnych skłoniły autora niniejszej rozprawy doktorskiej do podjęcia decyzji o budowie modeli eksperymentalnych obu analizowanych przekształtników i kontynuowaniu prac badawczych na rzeczywistych układach. W ramach przeprowadzonych prac laboratoryjnych zarejestrowano liczne oscylogramy, przedstawiające przebiegi kluczowe dla analizy zasady działania badanych przekształtników oraz oceny zjawisk komutacyjnych zachodzących w układach pracujących zarówno w trybie ZCS, jak i ZVS. Końcowym etapem badań laboratoryjnych dla każdego z analizowanych przekształtników była rejestracja jego charakterystyki sprawności, zarówno w czasie, gdy pracował on w trybie ZCS, jak i ZVS.

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych stwierdzono, że opracowana topologia działa zgodnie z założeniami przyjętymi w fazie prac koncepcyjnych, a sam przekształtnik charakteryzuje się sześciokrotnym współczynnikiem wzmocnienia napięciowego, obniżonymi wartościami napięć blokowanych przez poszczególne łączniki oraz wysoką sprawnością. Dodatkowo, po przeanalizowaniu oscylogramów zarejestrowanych w czasie badań obu przekształtników, stwierdzono, iż w przebiegach prądów płynących w układzie, którego obwód mocy zbudowano z wykorzystaniem tranzystorów CoolGaN, występuje zdecydowanie mniej oscylacji związanych z ładowaniem i rozładowywaniem pojemności wyjściowych (C_{oss}) tranzystorów, a ich amplitudy są znacznie niższe niż te obserwowane w przypadku przekształtnika zbudowanego z wykorzystaniem tranzystorów typu CoolMOS.