

Janina RZĄSA

Bezpośrednie napięciowe przekształtniki matrycowe

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
Rzeszów 2016



Streszczenie

Monografia jest poświęcona klasycznemu układowi bezpośredniego przekształtnika matrycowego z wyjściem trójfazowym oraz jego modyfikacjom układowym, takim jak: wielopoziomowy przekształtnik matrycowy z poziomowaniem kondensatorowym, podwójny przekształtnik matrycowy i prostownik matrycowy.

Część półprzewodnikowa obwodu mocy przekształtnika to matryca dziewięciu dwukierunkowych łączników, za pomocą których każda z faz wyjściowych może być połączona z każdym z wybranych zacisków wejściowych układu. W badanym układzie jest realizowany bezpośredni sposób przekształcania energii, może to być przekształcenie AC/AC lub AC/DC. Ważną zaletą układu jest możliwość uzyskania na wejściu zarówno zerowego, dodatniego, jak i ujemnego kąta przesunięcia fazowego składowej podstawowej prądu względem napięcia.

Wadą przekształtnika matrycowego jest mniejsza od jedności wartość współczynnika napięciowego, określanego jako iloraz wartości skutecznej napięcia wyjściowego do wartości skutecznej napięcia wejściowego. Oprócz tego, kształtowaniu zadanych przebiegów wyjściowych i wejściowych towarzyszy w przekształtniku matrycowym pojawianie się składowych odkształcających o wysokich częstotliwościach, zależnych od zastosowanej częstotliwości przełączania łączników matrycy. Stosowanie wysokiej częstotliwości przełączania łączników powoduje, że przekształtnik matrycowy może być źródłem specyficznych dla tego sterowania zaburzeń, nazywanych napięciem wspólnym (ang. *common mode voltage*). Jest to problem, który dotyczy wszystkich przekształtników sterowanych z zastosowaniem modulacji szerokości impulsów.

W nawiązaniu do ograniczeń wynikających ze specyfiki działania klasycznego przekształtnika matrycowego przeanalizowano możliwości zmniejszenia ich wpływu na kształtowane przebiegi napięć i prądów. W tym celu została wykonana analiza syntezy przebiegów napięć i prądów pod kątem zawartości składowych odkształcających te przebiegi. Do analizy zastosowano podwójny szereg Fouriera. Otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że w klasycznym przekształtniku matrycowym o trzech fazach zasilających i trzech fazach wyjściowych, przy symetrii w obwodzie mocy i sterowaniu, przebiegi napięć wyjściowych i prądów wejściowych zawierają oprócz składowej podstawowej składowe skupione jako pasma boczne wokół każdej wielokrotności częstotliwości powtarzania sekwencji przełączania łączników.

Wykonana analiza Fouriera przebiegów prądów w łącznikach jednocześnie wykazała, że zawierają one poza składowymi wysokiej częstotliwości składowe niskoczęstotliwościowe. Częstotliwości składowych niskoczęstotliwościowych w prądach łączników są równe: częstotliwości wejściowej, częstotliwości wyjściowej oraz częstotliwościom będącym kombinacją liniową częstotliwości wejściowej i wyjściowej. Udział składowych niskoczęstotliwościowych jest zależny od zadanego na wejściu przesunięcia fazowego prądu względem napięcia zasilania. Przeprowadzona analiza Fouriera prądów łączników pozwoliła na sformułowanie wniosków, a między innymi na stwierdzenie, że w warunkach niesymetrii zasilania lub sterowania składowe niskoczęstotliwościowe prądów łączników o częstotliwościach równych kombinacji liniowej częstotliwości wejściowej i wyjściowej nie tworzą symetrycznego układu trójfazowego, co powoduje, że składowe te pojawiają się jako składowe odkształcające prądy faz wejściowych i wyjściowych.

Analiza składowych harmonicznych w prądach łączników, w prądach faz wejściowych i wyjściowych pozwoliła również na wyjaśnienie mechanizmu formowania na wejściu przebiegu prądu o współczynniku przesunięcia fazowego niezależnym od współczynnika mocy odbiornika. Potwierdzone zostało spostrzeżenie, że

bezpośredni przemiennik częstotliwości, jakim jest przekształtnik matrycowy, ustanawia wymianę mocy biernej między fazami obciążenia i niezależnie od tego realizuje wymianę mocy biernej między fazami źródła zasilającego.

Kolejnym zagadnieniem związanym z przeprowadzoną analizą Fouriera przebiegów kształtowanych w klasycznym przekształtniku matrycowym jest poszukiwanie dróg eliminacji składowych wysokoczęstotliwościowych albo przynajmniej znalezienie możliwości zwiększenia ich częstotliwości. Problem ten został przeanalizowany na przykładzie wielopoziomowego przekształtnika matrycowego z kondensatorami poziomującymi. Wykazano, że w układzie wielopoziomowym jest możliwe zwiększenie częstotliwości składowych wysokoczęstotliwościowych napięcia wyjściowego i wyeliminowanie grup składowych związanych z nieparzystą wielokrotnością częstotliwości powtarzania sekwencji przełączania łączników.

Ważnym zagadnieniem jest eliminacja wysokoczęstotliwościowych zakłóceń związanych z generowaniem napięcia wspólnego w fazach odbiornika zasilanego z przekształtnika matrycowego. Monografia zawiera analizę matematyczną trzech strategii sterowania, które całkowicie eliminują napięcie wspólne. Dwie z nich są oryginalnym osiągnięciem autorki, opublikowanym po raz pierwszy w 2005 roku.

Eliminacja napięcia wspólnego jest realizowana także w sterowaniu przekształtnikiem podwójnym, analizowanym w niniejszej monografii dla czterech sposobów sterowania. W przekształtniku podwójnym napięcie syntezy na odbiorniku ma amplitudę równą amplitudzie napięcia zasilania albo amplitudę równą 1,5-krotnej wartości amplitudy napięcia wejściowego w dwóch z omawianych metod sterowania. Dwie metody sterowania, w których napięcie wyjściowe jest równe amplitudzie napięcia zasilania, są oryginalnym dorobkiem autorki.

W odbiorniku zasilanym z przekształtnika matrycowego pracującego w układzie podwójnym, zwiększenie napięcia do wartości równej napięciu zasilania lub do wartości przewyższającej to napięcie jest realizowane w liniowym zakresie sterowania. Monografia zawiera także analizę pracy pojedynczego przekształtnika matrycowego sterowanego w trybie nadmodulacji. Tryb pracy w nadmodulacji został przebadany dla pośredniego sposobu i sterowania i dla metody skalarnej. Otrzymane wyniki potwierdzają, że jest możliwe osiągnięcie współczynnika napięciowego o wartości równej jeden.

Zostały także przeanalizowane sposoby sterowania pozwalające na uzyskanie na wyjściu napięcia i prądu stałego przy sinusoidalnym przebiegu prądu zasilania. Monografia zawiera także opis komutacji czterokrokowej łączników dwukierunkowych oraz porównanie bezpośredniego przekształtnika matrycowego z pośrednim przekształtnikiem matrycowym oraz z pośrednim przemiennikiem częstotliwości.