

Streszczenie w języku polskim rozprawy doktorskiej
mgr inż. Krzysztofa Dmitruka
zatytułowanej: Sterowanie predykcyjne-SVM trójfazowym przekształtnikiem AC/DC
współpracującym z odnawialnymi źródłami energii

Rozwój technologiczny w dziedzinie pozyskiwania i przetwarzania energii elektrycznej spowodował znaczące zmiany w modelu sieci elektroenergetycznej. Ważnym czynnikiem determinującym tę metamorfozę, jest ciągle wzrastający udział odnawialnych źródeł energii w strukturze produkcji energii elektrycznej. Dodatkowo, duża ilość instalowanych mikroźródeł wynikająca zarówno z aspektów ekonomicznych jak i ekologicznych, powoduje powstanie nowych wyzwań przy projektowaniu algorytmów sterujących przekształtnikami sieciowymi AC/DC sprzęgającymi odnawialne źródła energii z siecią zasilającą.

Monografia w pierwszej z dwóch jej głównych części przedstawia nową, predykcyjną metodę sterowania przekształtnikiem AC/DC o nieskończonej liczbie wektorów napięcia wyjściowego przekształtnika. Metoda ta ma na celu minimalizację wyższych harmonicznych wprowadzanych do sieci zasilającej poprzez wykorzystanie modulatora wektorowego. Skutkuje to bowiem uzyskaniem stałej częstotliwości łączy, dzięki czemu, łatwiejsza jest filtracja niepożądanych składowych prądu. Ogólna zasada sterowania opiera się na jednokrokowej predykcji przyrostów napięć i prądów w filtrze wejściowym LCL. Ideą sterowania jest kontrola prądu przekształtnika w celu kształtowania napięcia na pojemności filtra LCL w taki sposób, aby pobierany z sieci prąd był sinusoidalny. Na podstawie uzyskanych danych z bloku predykcyjnego wykorzystującego równania sterowanego obiektu, wyznaczany jest wypadkowy wektor prądu płynący w indukcyjności filtra LCL od strony przekształtnika, którego odtworzenie przez modulator spowoduje sprowadzenie uchybów kontrolowanych wielkości fizycznych do zera. W proponowanym sterowaniu, podstawową wielkością zadaną, która powinna być dokładnie kontrolowana jest prąd sieci zasilającej. Teoretycznym celem sterowania, jest takie kształtowanie prądu sieci zasilającej, dzięki któremu, w każdym następnym kroku sterowania wartości aktualne prądów sieciowych osiągają wartości zadane. Przedstawione sterowanie pozwala skutecznie redukować harmoniczne rezonansowe związane z elementami filtra wejściowego oraz uzyskać sinusoidalny prąd sieci. Finalne obliczenia związane z wyznaczeniem zestawu wektorów używanych do modulacji i względnych czasów ich używania w czasie pojedynczego okresu sterowania odbywają się w ortogonalnym układzie xy wirującym zgodnie z wektorem napięcia sieci zasilającym, w skali prądowej. Niejako ukryta funkcja kosztu minimalizująca uchyb sterowania prądem indukcyjności filtra LCL od strony przekształtnika, definiuje względne czasy stosowania poszczególnych wektorów do modulacji w okresie sterowania. Funkcja ta została wyprowadzona na podstawie złożonych zależności geometrycznych, opisujących właściwości trójkątów, z których tak naprawdę składa się heksagon rozciągnięty na końcach dostępnych wektorów dwupoziomowego przekształtnika. W pracy zaproponowano zestaw uproszczonych równań, pełniących tą samą rolę co wspomniane wcześniej skomplikowane operacje matematyczne. Proponowany algorytm zapewnia w stanie statycznym korzystanie z wektorów o najkrótszych pochodnych, co przekłada się na powolne zmiany prądu i tym

samym uzyskanie niskich wartości tętnień regulowanego prądu, płynącego w indukcyjności od strony sieci zasilającej filtra LCL. W stanach przejściowych algorytm gwarantuje szybką reakcję na zmienne warunki pracy przekształtnika. Ważnym aspektem przedstawionej metody sterowania jest wyznaczanie wypełnień zadanych modulatora na podstawie zależności w skali prądowej. Wygenerowane w ten sposób sygnały zadane dla modulatora kompensują negatywny wpływ czasów martwych na kształtowane przebiegi prądów. W ten sposób w każdym kroku sterowania następuje minimalizowanie uchybów sterowanej wielkości, związanych z rzeczywistym występowaniem czasów martwych. Przez to problem nie nawarstwia się w czasie i nie wymaga dodatkowej kompensacji sygnałami dodawanymi do napięcia sterującego tak, jak ma to miejsce przy zadawaniu napięcia na wejścia modulatora.

Drugim, ważnym i nieodłącznym aspektem stosowanych metod sterowania przekształtnikami sieciowymi AC/DC współpracującymi z odnawialnymi źródłami energii, jest zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania urządzeń, a przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa ludzi pracujących przy obsłudze sieci zasilających. Wymienione potencjalne zagrożenia wynikają z braku detekcji wystąpienia stanu niecelowej pracy wyspowej tj. powstania wydzielonego obszaru sieci zasilającej z ogółu sieci elektroenergetycznej, w którym jednocześnie znajdują się przekształtniki sieciowe AC/DC współpracujące z odnawialnymi źródłami energii oraz odbiorników energii elektrycznej. Algorytmy realizujące detekcję wystąpienia stanu niecelowej pracy wyspowej powinny charakteryzować się krótkim czasem detekcji zaniku sieci zasilającej przy wprowadzaniu do generowanego przez przekształtnik sieciowy jak najmniejszej liczby dodatkowych zniekształceń harmonicznym do linii zasilającej. Celem autora przedmiotowej rozprawy było uzyskanie niższego współczynnika zniekształcenia harmonicznego odkształconego prądu sieci, którego kształt pozwala skutecznie realizować zabezpieczenie przed niecelową pracą na wydzieloną grupę odbiorników. Autorskie rozwiązanie osiągnęło powyższe cele. Zaprojektowany przebieg odkształconego prądu charakteryzuje się korzystniejszym widmem wynikającym z ograniczenia amplitud wyższych harmonicznym niskiego rzędu. W celach porównawczych zaimplementowano zabezpieczenie przed niecelową pracą wyspową w obu realizacjach (standardowym i autorskim) do algorytmu sterującego trójfazowym, dwupoziomowym przekształtnikiem napięcia sprzężonym z siecią zasilającą za pomocą filtra LCL, co do tej pory stanowi lukę w dziedzinie wykrywania niecelowej pracy wyspowej.

Przedstawiona w dysertacji tematyka ma szerokie zastosowanie, przy czym doskonale wpisuje się w światowe trendy ograniczania emisji harmonicznym, kosztów produkcji urządzeń, eksploatacji sieci zasilających, a także służy zwiększaniu bezpieczeństwa eksploatacji nowoczesnych sieci elektroenergetycznych.