

Michał KRYSTKOWIAK*

MODELOWANIE PRZEKSZTAŁTNIKÓW ENERGOELEKTRONICZNYCH W ŚRODOWISKU LABVIEW

W artykule zaprezentowano niekonwencjonalny sposób modelowania przekształtników energoelektronicznych przy użyciu języka G. W tym celu wykorzystano środowisko LabVIEW firmy National Instruments. Opisano zarówno sposób realizacji modelu (części silnoprądowej oraz sterującej), jak i metodę przeprowadzania badań symulacyjnych w trybie on-line. W rozważanym przypadku zamodelowano energoelektroniczne sterowane źródło prądowe, wykorzystywane m.in. w układach aktywnej kompensacji równoległej.

1. ŚRODOWISKO LABVIEW JAKO NARZĘDZIE SYMULACYJNE

Środowisko LabVIEW firmy National Instruments jest powszechnie wykorzystywanym narzędziem do akwizycji i przetwarzania danych. W elektrotechnice chętnie stosowane jest do tworzenia m.in. rozbudowanych systemów analizy jakości sygnałów elektrycznych. Aplikacje tworzone w LabVIEW można traktować jak urządzenia wirtualne (tzw. VI – virtual instrument), ponieważ ich obsługa przypomina pracę na rzeczywistym sprzęcie pomiarowym [1].

Opracowane algorytmy implementowane są w opisywanym środowisku za pomocą języka G. Programowanie polega w tym przypadku na tworzeniu blokowej reprezentacji kodu źródłowego [1]. W tym celu wykorzystuje się ikony o ściśle określonych funkcjach. Wykonywanie programu jest wymuszone kierunkiem przepływu danych. Polega to na tym, że z chwilą pojawienia się kompletu argumentów na terminalach wejściowych określonej ikony, przystępuje ona do wykonywania przypisanego jej zadania. Po przetworzeniu danych są one natychmiastowo udostępniane kolejnym ikonom za pośrednictwem terminali wyjściowych.

W artykule zaprezentowano nietypowe zastosowanie wspomnianego oprogramowania, a mianowicie wykorzystano je jako narzędzie do modelowania przekształtników energoelektronicznych. W dalszej części opisano sposób realizacji modelu części silnoprądowej oraz sterującej przykładowego układu,

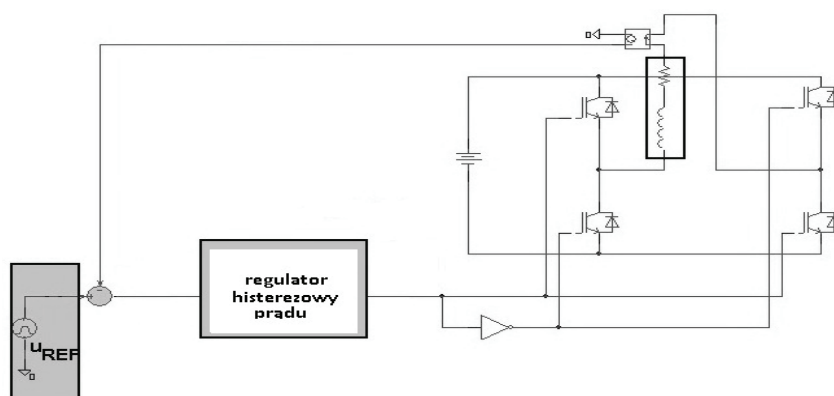
* Politechnika Poznańska.

jakim jest sterowane źródło prądowe. Charakterystyczną cechą zbudowanego modelu jest możliwość przeprowadzenia badań w trybie on-line. W konsekwencji użytkownik końcowy ma możliwość śledzenia wpływu zmian określonych parametrów badanego układu na bieżąco. W przeciwieństwie do oprogramowania typu Orcad czy też Matlab, wyniki uzyskujemy w bardzo krótkim czasie (brak konieczności oczekiwania na przeprowadzenie obliczeń za zadeklarowany wcześniej przedział czasowy). Tym samym zaproponowane rozwiązanie wydaje się być bardzo użyteczne dla celów dydaktycznych, umożliwiając obserwację zachowania się przeksztaltników w różnych zmieniających się warunkach pracy. Należy również wspomnieć, iż w bardzo łatwy sposób można rozszerzyć możliwości zrealizowanego modelu o rozbudowane narzędzia do analizy jakości sygnałów elektrycznych (np. pomiar wielkości elektrycznych za wybrany okres, uwzględnienie wyższych harmonicznych, itp.).

2. MODEL SYMULACYJNY ENERGOELEKTRONICZNEGO STEROWANEGO ŹRÓDŁA PRĄDOWEGO

2.1. Idea działania układu

Uproszczony schemat części silnoprądowej i sterującej 1-fazowego przeksztaltnika zaprezentowano na rys.1. Układ bazuje na tranzystorowym mostku H z szeregowym dolnoprzepustowym filtrem indukcyjnym na wyjściu. Przekształtnik ten funkcjonuje jako falownik z regulacją nadążną prądu [2, 3], spełniając tym samym rolę energoelektronicznego sterowanego źródła prądowego.



Rys. 1. Schemat ideowy energoelektronicznego sterowanego źródła prądowego

Za możliwie wierne odwzorowanie w sygnale wyjściowym sygnału referencyjnego odpowiada w analizowanym przypadku histerezy regulator prądu. Takie rozwiązanie nie jest oczywiście optymalne, a wielu przypadkach

wręcz niedopuszczalne (nie zapewnia m.in. stałej częstotliwości przełączeń tranzystorów). Dobór struktury i parametrów toru sterowania nie jest jednak tematem niniejszego artykułu. Problematyka ta była poruszana przez autora na łamach innych pozycji literaturowych. W zależności od znaku uchybu regulator załącza odpowiednią parę tranzystorów pracujących parami po przekątnej mostka H. Poprzez dobór szerokość pętli histerezy możemy wpływać na jakość odwzorowania w prądzie wyjściowym sygnału referencyjnego. Im mniejsza, tym dokładniejsze odwzorowanie sygnału referencyjnego (jednocześnie wzrasta częstotliwość przełączeń kluczy).

2.2. Modelowania przekształtnika za pomocą języka G

W celu zwiększenia przejrzystości kod programu napisany w języku G został podzielony na sekcje odpowiadające odpowiednio za:

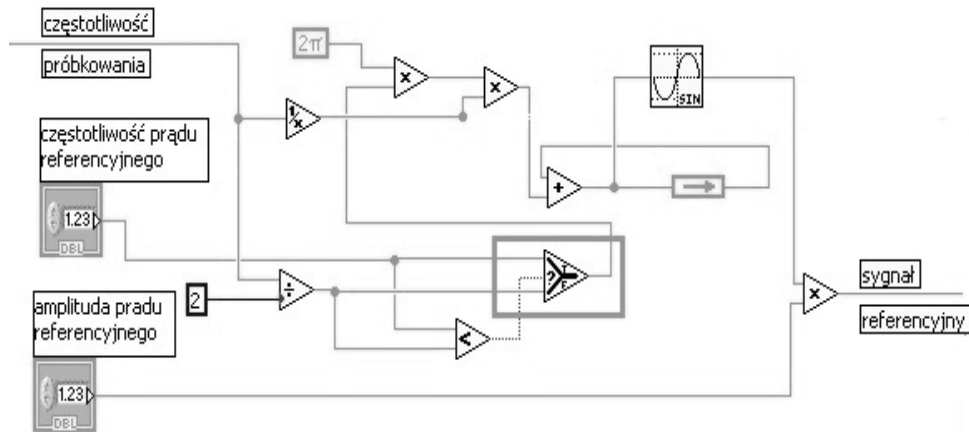
- generowanie sinusoidalnego sygnału referencyjnego o regulowanej amplitudzie i częstotliwości,
- odzwierciedlenie procesów części silnopiętrowej modelowanego układu,
- realizację algorytmu histerezy regulatora prądu (z możliwością zmiany szerokości pętli histerezy).

Wymienione sekcje pracują w tzw. strukturze programistycznej For Loop, która umożliwia wykonywanie obliczeń (w pętli) dla kolejno generowanych próbek sygnałów. Zaimplementowano również dodatkowo pomiar wybranych parametrów generowanego sygnału wyjściowego (m.in.: pomiar wartości skutecznej za okres, wyznaczenie współczynnika zawartości wyższych harmonicznych THD).

Na rys. 2 zaprezentowano fragment kodu źródłowego odpowiadający za generowanie sinusoidalnego sygnału referencyjnego.

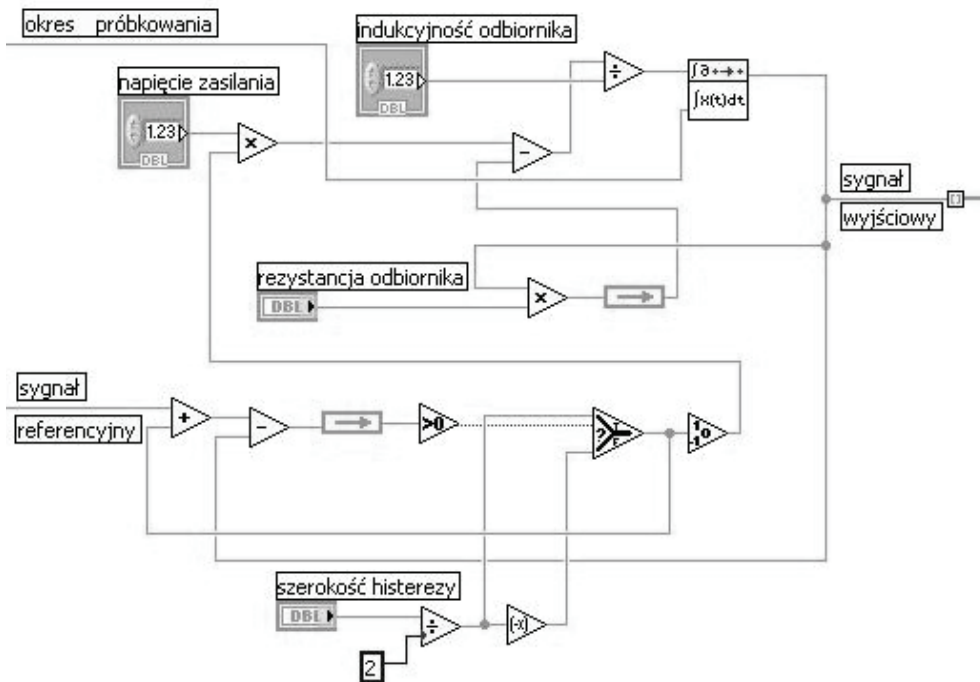
Użytkownik końcowy ma możliwość zmiany wartości amplitudy oraz częstotliwości prądu zadanego poprzez obiekty wejściowe (tzw. controls) rozmieszczone na panelu sterowania dostępnym z poziomu komputera klasy PC. Do wyznaczenia kolejnych wartości próbek funkcji sinus wykorzystano dostępną z poziomu LabVIEW funkcję o nazwie Sine.

W celu eliminacji zjawiska aliasingu [4] w kodzie źródłowym zaimplementowano dodatkowe zabezpieczenie. Sprawdzane jest spełnienie warunku wynikającego z twierdzenia Kotelnikowa-Shanonna dotyczące częstotliwości próbkowania dyskretyzowanego sygnału. W konsekwencji, nawet w wypadku błędnie wprowadzonych nastaw, maksymalna częstotliwość generowanego sinusoidalnego prądu referencyjnego nie może przekroczyć połowy wartości częstotliwości próbkowania. Funkcję tą zrealizowano na bazie bloku porównującego oraz funkcji wyboru Select (zaznaczonej na rys. 2 czerwoną ramką) działającej na zasadzie multipleksera (jako wejścia adresowego użyto wyjścia bloku komparacji).



Rys. 2. Kod źródłowy wyznaczania sygnału referencyjnego

Na rys 3. przedstawiono fragment kodu źródłowego odpowiedzialny za realizację algorytmu związanego z częścią silnopiędową przekształtnika oraz histerezowym regulatorem prądu.



Rys. 3. Realizacja modelu części silnopiędowej przekształtnika oraz histerezowego regulatora prądu

Część silnopiętrową energoelektronicznego źródła prądowego zamodelowano bazując na opisie matematycznym wyrażonym zależnością (1).

$$\pm U_{DC} = L \frac{di}{dt} + R \cdot i \quad (1)$$

gdzie: U_{DC} – napięcie zasilania, i – prąd wyjściowy, L – indukcyjność filtru wyjściowego, R – rezystancja filtru wyjściowego.

W równaniu (1) nie uwzględniono spadków napięć na elementach półprzewodnikowych mostka H. Biegunowość napięcia U_{DC} uzależniono od sekwencji załączeń kluczy. Zadanie to zrealizowano w wyniku mnożenia napięcia zasilającego przez wartość funkcji Signum, której argumentem jest sygnał wyjściowy zastosowanej funkcji Select. Funkcja Select (rys. 3) zwraca wynik równy połowie wartości szerokości pętli histerezy ze znakiem dodatnim albo ujemnym w zależności od znaku uchybu.

Należy podkreślić, że zaprezentowane powyżej kody umieszczono w strukturze programistycznej For Loop. W konsekwencji przeprowadzane obliczenia wykonywane są iteracyjnie na kolejnych próbkach generalnych z częstotliwością zdefiniowaną przez użytkownika końcowego z poziomu panelu sterowania opracowanej aplikacji. Nie byłoby to możliwe bez użycia tzw. struktury Feedback Node (rys. 4). Umożliwia ona przekazanie zapamiętanej wartości z poprzedniego kroku obliczeniowego do następnego (wykorzystywana jest w pętlach programowych).



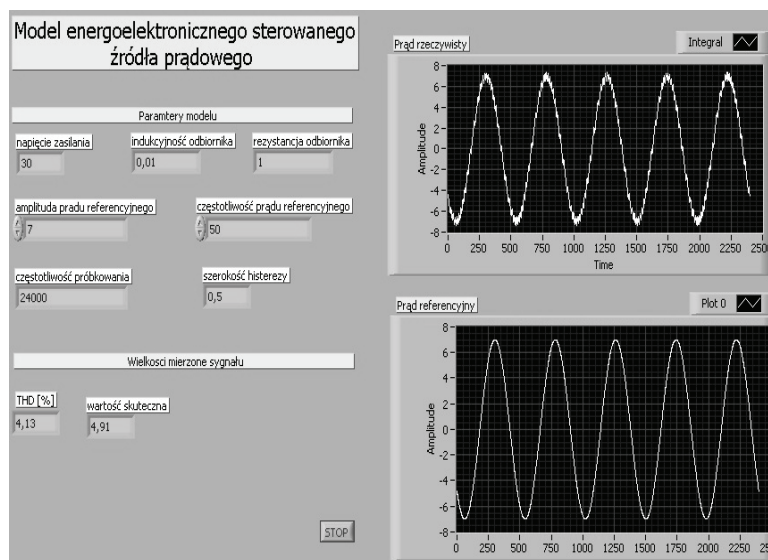
Rys. 4. Ikona reprezentująca strukturę Feedback Node

2.3. Wirtualny panel sterowania i wybrane wyniki badań

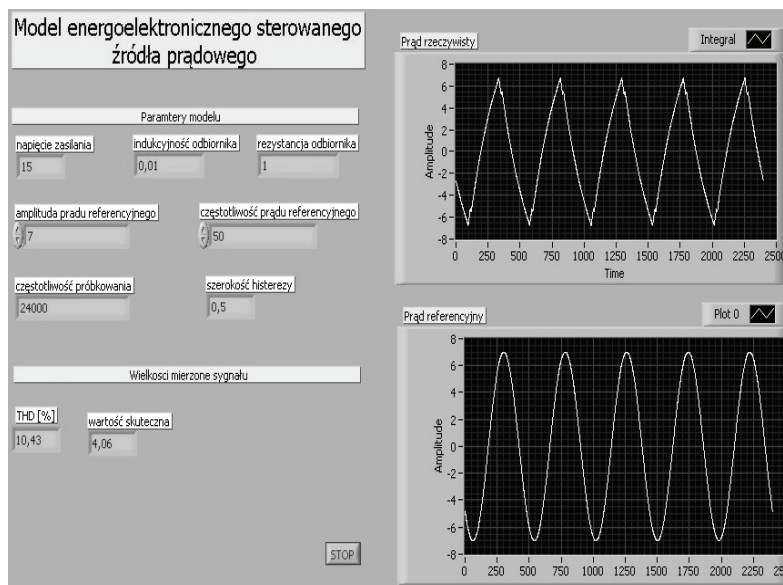
Jeden z etapów programowania w języku G polega na tworzeniu wirtualnego panelu sterowania. Za jego pomocą użytkownik końcowy może dokonywać nastaw wybranych parametrów, jak również analizować wyniki uzyskane w trakcie obliczeń numerycznych. Opracowany w ramach realizacji modelu symulacyjnego energoelektronicznego źródła prądowego panel sterowania zaprezentowano na rys. 5. Zaimplementowano możliwość zmian nastaw następujących parametrów modelu:

- wartości napięcia zasilającego,
- indukcyjności oraz rezystancji dolnoprzepustowego filtru wyjściowego,
- amplitudy i częstotliwości sinusoidalnego sygnału referencyjnego,
- szerokości pętli histerezy regulatora prądu,
- częstotliwości próbkowania.

Ponadto użytkownik końcowy za pośrednictwem panelu może dokonać odczytu zmierzonej wartości skutecznej sygnału wyjściowego przekształtnika za okres oraz współczynnika zawartości wyższych harmonicznych THD. Zaimplementowano również wizualizację sygnałów referencyjnego oraz wyjściowego.



Rys. 5. Wirtualny panel sterowania (poprawne odwzorowanie sygnału referencyjnego)



Rys. 6. Wirtualny panel sterowania (błędne odwzorowanie sygnału referencyjnego)

Na rys. 5 oraz 6 zamieszczono m.in. przebiegi odpowiednio: sygnałów referencyjnego oraz wyjściowego źródła prądowego. W pierwszym z analizowanych przypadków (rys. 5) można zaobserwować prawidłową pracę

układu (współczynnik THD generowanego prądu wynosi: 4,13%). W drugim (rys. 6) można natomiast stwierdzić, iż jakość odwzorowania sygnału zadanego jest zdecydowanie gorsza (THD kształtuje się na poziomie: 10%). Jest to w tym przypadku rezultat zbyt małego wzmocnienia układu na skutek zmniejszenia wartości napięcia zasilającego w obwodzie stałoprądowym przekształtnika (pozostałe parametry symulacji pozostawiono bez zmian). Należy podkreślić, że wyniki uzyskano w trybie on-line.

3. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano niekonwencjonalny sposób modelowania przekształtników energoelektronicznych za pośrednictwem języka G wykorzystywanego w środowisku LabVIEW. Mimo, iż docelowo narzędzie to przeznaczono do innego rodzaju aplikacji, wydaje się być narzędziem bardzo przydatnym również w dziedzinie modelowania układów przekształtnikowych. Zwłaszcza możliwość przeprowadzenia obliczeń w trybie on-line oraz możliwość implementacji wirtualnych urządzeń pomiarowych czyni zaprezentowane rozwiązanie bardzo atrakcyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem celów dydaktycznych. W ramach dalszych etapów badań planowane jest m.in. zwiększenie dokładności odwzorowania zjawisk zachodzących w rzeczywistych układach, ze szczególnym uwzględnieniem cyfrowych układów sterowania. Ponadto rozważana jest możliwość zaimplementowania opracowanych w opisywany sposób modeli w procesorach z rodziny Blackfin firmy Analog Devices z pomocą aplikacji LabVIEW Embedded [5].

LITERATURA

- [1] Tłaczała W.: Środowisko LabView w eksperymencie wspomaganym komputerowo, WNT Warszawa, 2002.
- [2] Barlik R., Moczko J., Technika tyrystorowa, Warszawa, WNT 1994.
- [3] Krystkowiak M.: Realizacja i badania modeli symulacyjnego i eksperymentalnego energoelektronicznego źródła prądowego, MSiZwT'11, Kościelisko, s. 77-80
- [4] Kaczorek T., Teoria sterowania i systemów, Warszawa, PWN 1999.
- [5] Gwóźdź M., Krystkowiak M.: LabView jako narzędzie uruchomieniowe systemów cyfrowych bazujących na procesorach Analog Devices rodziny Blackfin, XI Konf. – Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice, Poznań 2006, s. 181 - 182.

MODELING OF POWER ELECTRONICS CONVERTERS IN LABVIEW

The paper is presenting an unconventional way of modeling power electronics converters using the G language. In this aim, the LabVIEW application from National Instruments was utilized. The ways of model realization and simulation research were also described.