



DARIUSZ SOBCZYŃSKI¹, JACEK BARTMAN²

Model symulacyjny przeciwobnego przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie z szeregowym obwodem rezonansowym

The simulation model of push-pull DC/DC step-up voltage converter with the series resonant circuit

¹ Doktor inżynier, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Energoelektroniki, Elektroenergetyki i Systemów Złożonych, Polska

² Doktor inżynier, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katedra Inżynierii Komputerowej, Polska

Streszczenie

Celem pracy było wykonanie symulacji przeciwobnego przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie z szeregowym obwodem rezonansowym. Wykonano badania symulacyjne układu otwartego za pomocą programu PSIM. Końcowym etapem było przeprowadzenie analizy wyników symulacji.

Słowa kluczowe: przekształtnik energoelektroniczny, przekształtnik przeciwobny.

Abstract

The aim of this thesis was the realization of simulation of DC/DC push-pull converter for voltage step up with series resonant. There were performed simulation researches of open circuit in PSIM. The final stage was the analysis of simulation results.

Key words: power electronics converter, push-pull converter.

Wstęp

W wielu zastosowaniach wykorzystywane są zasilacze impulsowe o dużym wzmocnieniu napięciowym. Generalnie tam, gdzie wykorzystywane są akumulatory, napięcie po stronie pierwotnej nie jest wysokie i stąd potrzeba jego dopasowania do poziomu wymaganego przez zasilany odbiornik, w wielu przypadkach znacznie przekraczający poziom źródeł energii. Również bardzo istotna jest sprawność układu ze względu na ograniczone zasoby energii zgromadzonej w niskonapięciowych magazynach energii. Tego typu przekształtniki wykorzy-

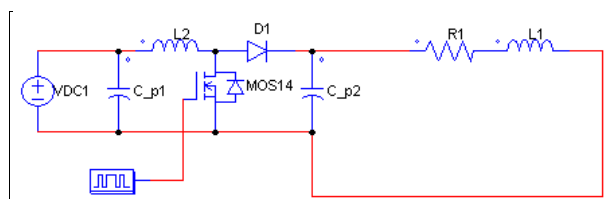
stywane są szczególnie w systemach energetycznych wykorzystujących odnawialne źródła energii, ogniwa paliwowe, systemy zasilania gwarantowanego UPS czy też w układach napędowych stosowanych w samochodach [Malska, Buczek 2010: 4; Binkowski 2015: 1]. Dlatego przekształtniki DC/DC o wysokiej sprawności i dużym wzmacnieniu napięciowym są bardzo pożądane. Ze względu na niskie napięcie źródła energii przez elementy przekształtnika przepływa prąd o znacznym natężeniu, wpływając na wartość strat mocy [Krupa i in 2012: 2]. W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przekształtnika DC/DC typu BOOST w topologii przeciwsoobnej.

Zadaniem analizowanego przekształtnika jest podwyższenie wartości napięcia niskonapięciowego źródła do poziomu napięcia odbiornika z jak najmniejszymi stratami mocy. Istnieje wiele rozwiązań mogących spełniać przedstawione wymagania, jednakże osiągnięte jest to przy bardzo dużym współczynniku wypełnienia impulsów D , dużej złożoności układu oraz znacznych kosztach proponowanych rozwiązań [Silva i in. 2009: 5].

Wykorzystanie przekształtnika przeciwsoobnego ze sprzężonymi indukcyjnościami pozwala na osiągnięcie dużego wzmacnienia napięciowego przy zachowaniu wysokiej sprawności przekształtnika i niedużego współczynnika wypełnienia impulsów.

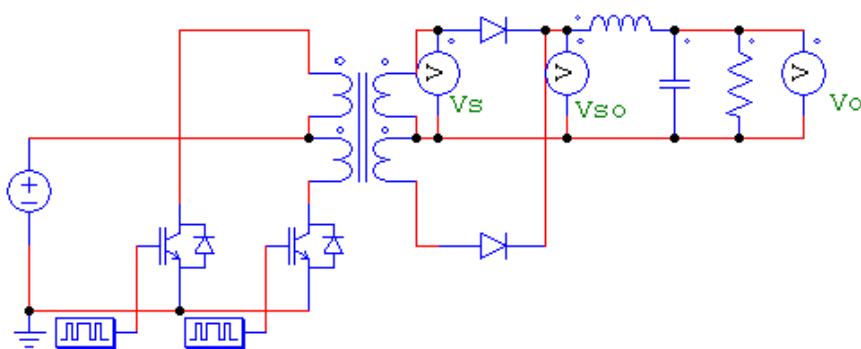
Wybór topologii przekształtnika podwyższającego napięcie w układzie przeciwsoobnym

Jak wspomniano we wstępie, praca z dużym współczynnikiem wypełnienia impulsów powoduje, że element aktywny przekształtnika musiałby pracować z dużymi wartościami prądów (wejście niskonapięciowe) przy jednocześnie dużych wartościach napięcia (wyjście wysokonapięciowe), co praktycznie wyklucza możliwość zastosowania takiego rozwiązania. Mamy więc do czynienia z wieloma negatywnymi zagadnieniami występującymi w podstawowej topologii przekształtnika podwyższającego napięcie, jak np. duża wartość prądu wstecznego diody występującej w obwodzie przekształtnika (rys. 1), straty energii tranzystora związane z głównie z procesami łączeniowymi, występowanie indukcyjności rozproszenia o znacznej wartości, która indukuje napięcie o dużej wartości oraz stromości na łączniku aktywnym, w końcu występowanie dużych stromości prądów w elementach półprzewodnikowych.



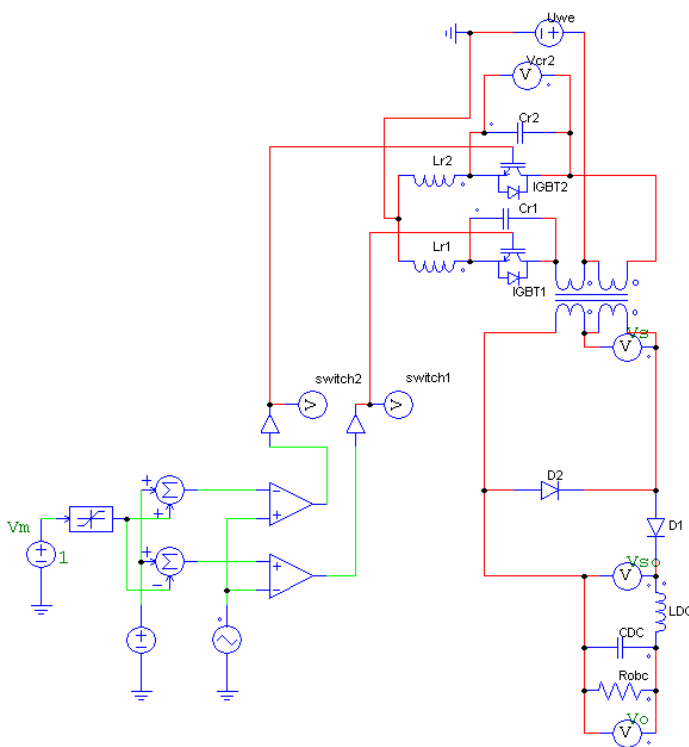
Rys. 1. Podstawowa topologia przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie

Rozwiązaniem wymienionych problemów jest zastosowanie przekształtnika w układzie przeciwsobnym (rys. 2). Układ taki spełnia warunek zapewnienia dużej gęstości mocy, co możliwe jest do zrealizowania dzięki wysokiej częstotliwości przełączania. Liczne zalety wysokiej częstotliwości łączeń, takie jak zmniejszenie ciężaru elementów pasywnych (cewki, transformatory), są ograniczona przez straty mocy na elementach półprzewodnikowych. Stąd wysoka częstotliwość przełączania ma zastosowanie tylko wtedy, gdy straty przełączania będą zredukowane. Osiąga się to przez zastosowanie technik rezonansowych z przełączaniem przy zerowym napięciu (ZVS) lub przełączaniem przy zerowym prądzie (ZCS) [Liu, Lee 1990: 3].



Rys. 2. Przekształtnik DC/DC podwyższający napięcie w układzie przeciwsobnym

Zaproponowano zmodyfikowaną wersję przekształtnika z szeregowym obwodem rezonansowym pozwalającą na przełączanie przy zerowym napięciu (ZVS), którą pokazano na rys. 3. Przedstawioną topologię cechuje zastosowanie kondensatorów i cewek w obwodach łączników energoelektronicznych pozwalających na uzyskanie obwodu rezonansowego. Łączniki aktywne (IGBT1 i IGBT22) są włączone naprzemiennie. Czas załączenia jest tak dobrany, iż prąd płynący przez cewki i uzwojenia transformatora nie powoduje nasycenia rdzenia. Energia ze źródła jest przekazywana poprzez transformator wysokoczęstotliwościowy do obciążenia. Występowanie indukcyjności magnesowania transformatora pomaga w utrzymaniu stałej wartości prądu wyjściowego. Cewki (L_{r1} i L_{r2}) i kondensatory (C_{r1} i C_{r2}) tworzą szeregowy układ rezonansowy. W zaproponowanej topologii zachodzi tzw. miękkie przełączania zarówno elementu aktywnego (tranzystor), jak i pasywnego (dioda), dodatkowo następuje złagodzenie problemów związanych z odzyskiwaniem własności zaporowych przez diodę (wartość i stromość prądu wstecznego).



Rys. 3. Przeciwnobny przekształtnik DC/DC podwyższający napięcie z szeregowym obwodem rezonansowym

Badania symulacyjne

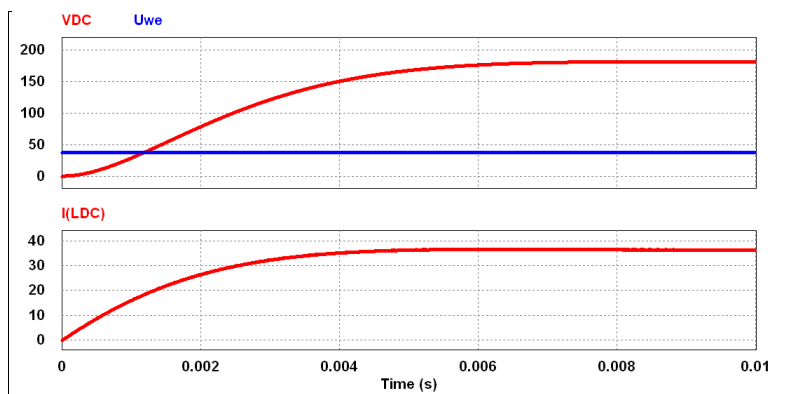
Badania symulacyjne przeprowadzono w obwodzie przedstawionym na rys. 3. Przyjęte następujące parametry: napięcie wejściowe $U_{we} = 37$ V; przekładnia transformatora $n = 5$; indukcyjność w obwodzie stałoprądowym $L_{DC} = 4,7$ mH; pojemność w obwodzie stałoprądowym $C_{DC} = 220$ uF; częstotliwość przełączania: $f_s = 60$ kHz. Do obliczenia parametrów obwodu rezonansowego wykorzystano następujące założenia:

– w celu umożliwienia przełączania elementów półprzewodnikowych przy zerowym napięciu (ZVS) powinien być spełniony warunek $I_m Z_0 > 2U_{DC} \Rightarrow Z_0 = 25$ (założono),

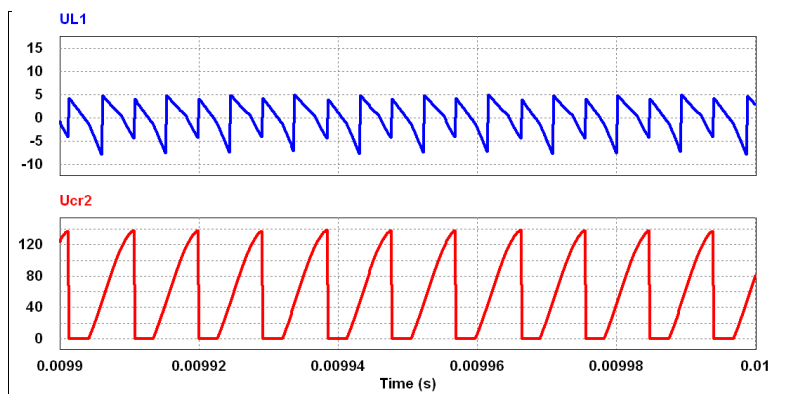
– impedancja charakterystyczna $Z_0 = \sqrt{L_r / C_r}$,

– częstotliwość rezonansowa $f_0 = 1/2 \sqrt{L_r / C_r}$.

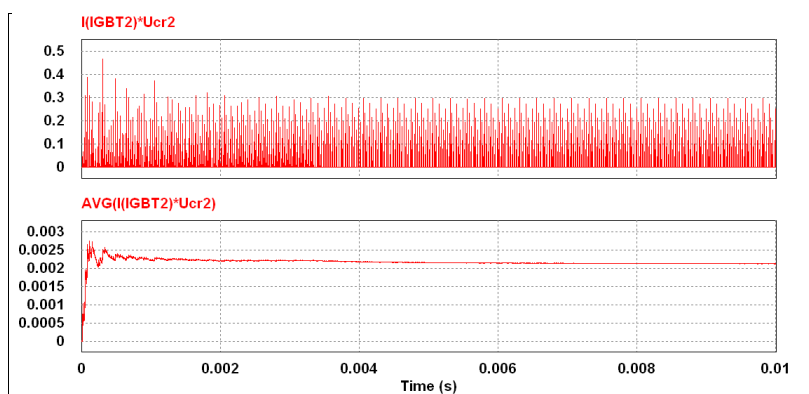
Wykorzystując przedstawione zależności, obliczono wartości pojemności kondensatorów $C_{r1} = C_{r2} = 0.042$ uF i indukcyjności $L_{r1} = L_{r2} = 36$ uH dla obwodu rezonansowego.



Rys. 4. Wyniki badań symulacyjnych: przebiegi napięcia UDC i prądu wyjściowego IDC



Rys. 5. Wyniki badań symulacyjnych: przebiegi napięcia na kondensatorze UCr1 i cewce ULr2 obwodu rezonansowego



Rys. 6. Wyniki badań symulacyjnych: przebiegi mocy chwilowej $I(IGBT2) \cdot U_{Cr1}$ i strat mocy czynnej $AVG(I(IGBT2) \cdot U_{Cr1})$ na łączniku nr 2

Napięcie wejściowe z poziomu 37 V jest podnoszone do wartości 185 V (rys. 4). Zmiany wartości napięcia na elementach obwodu rezonansowego przedstawiono na rys. 5. Maksymalna wartość napięcia kondensatora obwodu rezonansowego wynosi ok. 2/3 wartości napięcia wyjściowego. Z przebiegów przedstawionych na rys. 6 wynika z kolei, że straty mocy związane z procesami łączeniowymi półprzewodnikowych elementów energoelektronicznych są praktycznie zerowe.

Podsumowanie

Celem pracy było przeprowadzenie badań symulacyjnych przeciwsobnego przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie z szeregowym obwodem rezonansowym. Na podstawie otrzymanych przebiegów można stwierdzić następujące zalety zaproponowanej struktury: poprawne przełączanie przy zerowym napięciu łącznika z wykorzystaniem energii zgromadzonej w indukcyjności filtrów; czas ustabilizowania się napięcia wyjściowego, tzn. czas niezbędny do uzyskania zadanego poziomu napięcia wyjściowego, jest krótki.

Literatura

- Binkowski T. (2015), *Universal High Speed Induction Motor Driver*, „Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems, Springer International Publishing”.
- Krupa A. (2012), *Eksperymentalne porównanie przekształtników dc/dc podwyższających napięcie do zastosowania w fotowoltaice*, „Elektryka” z. 3–4.
- Liu K.H., Lee F.C.Y. (1990), *Zero-Voltage Switching Technique in DC/DC Converters*, „IEEE Transactions on Power Electronics” vol. 5, no. 3.
- Malska W., Buczek K. (2010), *Wykorzystanie energoelektroniki w odnawialnych źródłach energii*, „Lviv Polytechnic National University. Technical News” z. 1(31), 2(32).
- Silva F., Freitas A., Daher S., Ximenes S., Sousa S., Junior E., Antunes F., Cruz C. (2009), *High Gain DC-DC Boost Converter With a Coupling Inductor*, IEEE.