

Dariusz SOBCZYŃSKI

Politechnika Rzeszowska, Polska

Jacek BARTMAN

Uniwersytet Rzeszowski, Polska

Badanie przekształtnika impulsowego DC/DC obniżającego napięcie

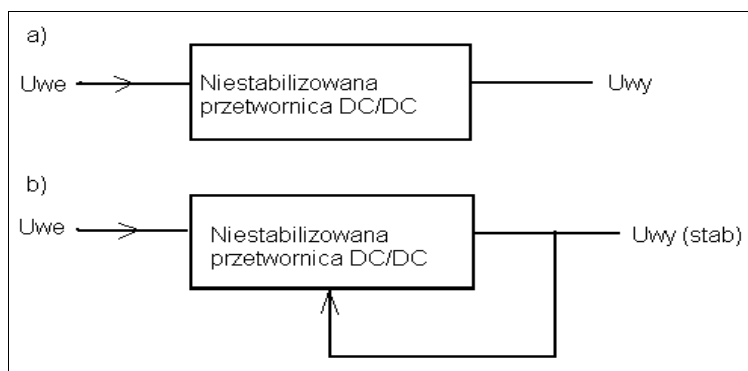
Wstęp

Zasilacze impulsowe stosowane są w sprzęcie o dużym poborze prądu i niskim wyjściowym napięciu zasilającym, takim jak: komputery przenośne, smartfony itp. Ponadto, zasilacze impulsowe mogą być stosowane w sprzęcie zminiaturyzowanym lub w urządzeniach zasilanych z baterii, czyli niezależnych od sieci. Kolejnym zastosowaniem są zasilacze uniwersalne zasilane zarówno napięciem przemiennym, jak i stałym (przenośne urządzenia nadawczo-odbiorcze, kalkulatory kieszonkowe, przenośne odbiorniki telewizyjne, przyrządy pokładowe w samolotach), w których dąży się do zmniejszenia masy i objętości. Mogą być stosowane również tam, gdzie wymagane jest zasilanie bezprzerwowe. Zasilacze pracujące przy częstotliwości 50 lub 60 Hz wymagają stosowania dużych i ciężkich transformatorów oraz dławików filtrujących, a także dużych i drogich kondensatorów elektrolitycznych. Ponadto, wykorzystanie konwencjonalnych metod regulacji wymaga stosowania znacznych rozmiarów układów chłodzących. Zasilacze impulsowe są mniejsze, lżejsze i mają dużą sprawność. Wymagają jednak stosowania wysokonapięciowych tranzystorów przełączających, rdzeni ferrytowych do transformatorów i dławików o ulepszonych parametrach, szybkich diod prostowniczych, małych kondensatorów elektrolitycznych o niewielkich wartościach [Erickson; Szostek 2015].

Rozwiązania układowe przekształtników impulsowych

Wiele typów zasilaczy wykorzystujących przetwornice DC/DC znalazło zastosowanie w różnorodnych rozwiązaniach układowych. W zależności od tego, czy jest wymagana stabilizacja napięcia wyjściowego, czy też nie, przetwornice DC/DC dzielimy na:

- niestabilizowane (z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego) (rys. 1a),
- stabilizowane (z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego) (rys. 1b).



Rys. 1. Przetwornice DC/-DC o: a) niestabilizowanym, b) stabilizowany napięciu wyjściowym

Podstawową właściwością stabilizacji impulsowej jest to, że odbiornik jest w równych odstępach czasowych połączony ze źródłem energii (poprzez półprzewodnikowy element przełączający) i następnie od niego znowu odłączony. Wartość średnia napięcia przyłożonego do obciążenia jest utrzymana w przybliżeniu na stałym poziomie przez automatyczny układ regulacji zmieniający względne czasy trwania okresów włączania i wyłączania. Stabilizatory tego typu wymagają odpowiedniej filtracji napięcia lub prądu wyjściowego [Erickson]. Oprócz przekształtników DC/DC obniżających napięcie (*buck converter*) stosowane są również przekształtniki innego typu – podwyższające lub obniżające napięcie – oraz przekształtniki zmieniające polaryzację. W każdym układzie występuje tranzystor pracujący jako klucz oraz dioda. Średnią wartość napięcia wyjściowego obliczamy ze wzoru:

$$U_s = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_s(t) dt = D U_g$$

gdzie:

T_s – okres impulsowania,

D – współczynnik wypełnienia zmieniający się w granicach $0 \leq D \leq 1$,

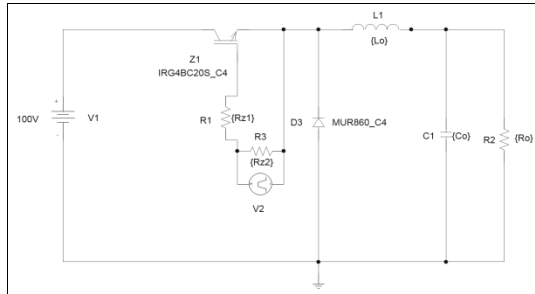
U_g – napięcie wejściowe.

PSpice jako narzędzie symulacyjne

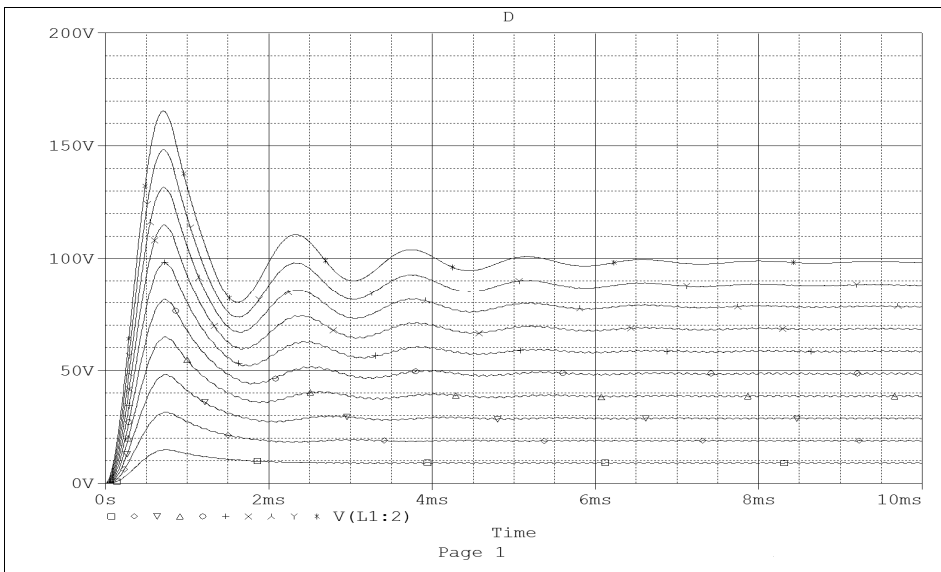
Język symulacyjny SPICE (z ang. *simulation program with integrated circuit emphasis*) został opracowany w Uniwersytecie Berkeley (Kalifornia). Na jego podstawie zostało opracowanych wiele programów o różnym przeznaczeniu. Jednym z nich jest PSPICE służący do analizy obwodów przekształtnikowych. Pakiety PSPICE w pełnej wersji umożliwiają symulację obwodów bardzo rozbudowanych, są stosunkowo kosztowne, jednak ich zakup ułatwia dostęp do

rozbudowanych bibliotek modeli przyrządów półprzewodnikowych oraz układów scalonych. W artykule została wykorzystana bezpłatna wersja programu PSPICE – PSpice 9.1 Student Version.

Układ przekształtnika DC/DC



Rys. 2. Schemat impulsowego przekształtnika DC/DC obniżającego napięcie



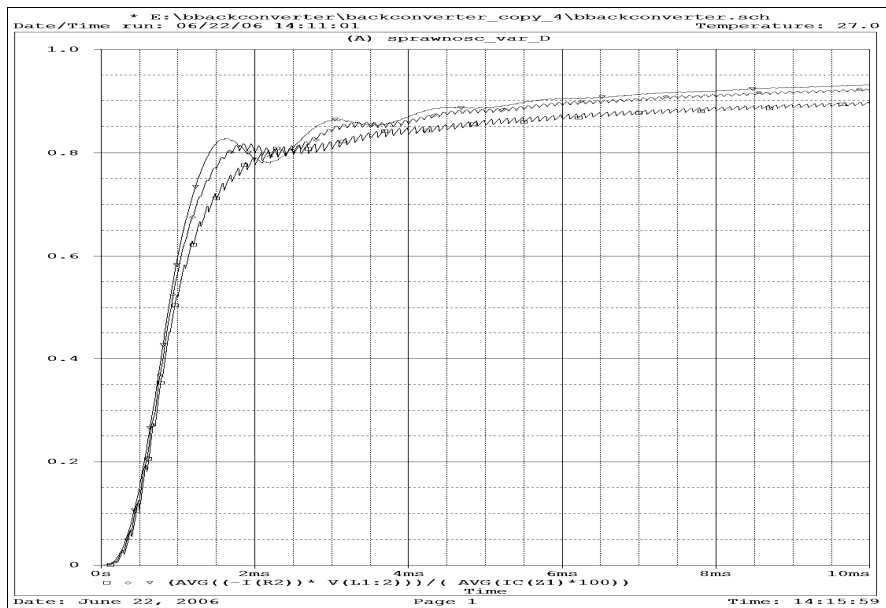
Rys. 3. Przekształtnik DC/DC obniżający napięcie. Wyniki symulacji: przebieg napięcia wyjściowego przy zmianie współczynnika wypełnienia $D = (0,1-1)$ z krokiem 0,1

Wartość napięcia wyjściowego na odbiorniku regulujemy poprzez zmianę współczynnika wypełnienia D lub przez zmianę częstotliwości. Przy małej częstotliwości przełączania występuje duża wartość składowej zmiennej, co skutkuje większym tętnieniem napięcia i prądu. Wyboru odpowiedniego ze względu na tętnienia, sposób regulacji dokonujemy zależnie od potrzeb. Sterowanie poprzez

zmianę współczynnika wypełnienia jest częściej stosowane niż poprzez zmianę częstotliwości. Zwiększając współczynnik wypełnienia w przedziale $0 \leq D \leq 1$, obserwujemy wzrost napięcia na odbiorniku. Przy współczynniku $D = 1$ (tranzystor ciągle zamknięty) napięcie na odbiorniku teoretycznie powinno być równe napięciu zasilającemu. W rzeczywistości tak nie jest, gdyż należy uwzględnić spadek napięcia na tranzystorze. Czas przewodzenia prądu przez zawór sterowany w każdym okresie przełączania wynosi:

$$t_i = (1 - D)T$$

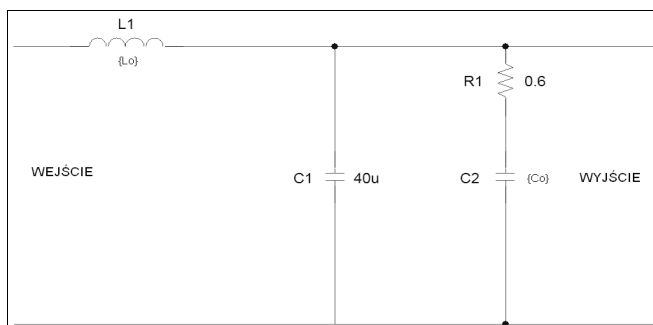
Symulację przeprowadzono przy następujących parametrach układu symulacyjnego (rys. 2): $R_{z1} = 200 \Omega$, $R_{z2} = 500 \Omega$, $L_o = 500 \mu\text{H}$, $R_o = 10 \Omega$, $C_o = 100 \mu\text{F}$, $T = 100 \mu\text{s}$. Wartość współczynnika wzrasta z kolejnością oznaczeń pod przebiegiem, gdzie: – wartość najmniejsza, – wartość największa.



Rys. 4. Przekształtnik DC/DC obniżający napięcie. Wyniki symulacji: przebieg sprawności symulowanego układu dla $D = (0,2; 0,5; 0,9)$

Filtr dolno-przepustowy

Elementy pasywne użyte w układzie symulacyjnym (indukcyjność L , pojemność C , rezystancja R) tworzą filtr dolno-przepustowy (rys. 5). W badaniach własności filtrów reaktancyjnych wystarczy rozważyć tylko filtr dolno-przepustowy typu T, ponieważ łatwo przekształcić ten filtr w filtr góro-przepustowy, pasmowo-przepustowy lub pasmowo-zaporowy za pomocą transformacji częstotliwości [Bajorek i in. 1997].



Rys. 5. Schemat symulacyjny filtra dolno-przepustowego

Podsumowanie

Celem pracy było przeprowadzenie badań symulacyjnych przekształtnika impulsowego DC/DC obniżającego napięcie oraz interpretacja otrzymanych wyników. Na podstawie otrzymanych przebiegów można stwierdzić wpływ zmian poszczególnych parametrów na przebiegi napięć i prądów wyjściowych przekształtnika. Przy projektowaniu rzeczywistego przekształtnika należy dobrać takie wartości pojemności, rezystancji oraz indukcyjności, aby uzyskać wyniki adekwatne do potrzeb. Najważniejsze cele to wysoka sprawność całego układu oraz odpowiednie tłumienie napięcia tętnień. Napięcie wyjściowe powinno być stałe niezależnie od zmian napięcia wejściowego, prądu obciążenia i temperatury otoczenia zachodzących w określonym zakresie. Przekształtnik powinien wykazywać odpowiednią wejściową i wyjściową odpowiedź impulsową. W przypadku skokowej zmiany napięcia wejściowego lub prądu obciążenia pożądane jest, aby zmiana napięcia wyjściowego była jak najmniejsza. Równocześnie czas powrotu napięcia wyjściowego, tzn. czas niezbędny do uzyskania poprzedniego ustawionego poziomu napięcia wyjściowego, powinien być jak najkrótszy. Na podstawie przeprowadzonych analiz bardzo ważny jest odpowiedni dobór zabezpieczeń nadprądowych, Przekształtnik powinien pracować w szerokim zakresie temperatur oraz nie powinien generować szumów akustycznych. Dlatego należy wybrać dolną częstotliwość przełączania wyższą od częstotliwości akustycznych. Jest oczywiste, że przy praktycznej realizacji jest niemożliwe równoczesne spełnienie tych wszystkich wymagań. Dlatego należy dążyć do rozsądnego kompromisu, aby jak najbardziej zminimalizować koszty opracowania. Dlatego bardzo ważnym krokiem podczas projektowania układu jest dokładna analiza na podstawie otrzymanych wyników symulacji.

Literatura

- Bajorek J., Gołębiowski L., Posiewała W. (1997): *Obwody elektryczne – Laboratorium mikrokomputerowe*, Rzeszów.
- Erickson R., W., *DC/DC Power Converter*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Colorado Boulder, CO 80309-04252.

Szostek R. (2015): *An Estimation of the Geothermal Energy Sources for Generating Electricity*, „Lecture Notes in Electrical Engineering” 324, Analysis and Simulation of Electrical and Computer.

www.teleinfo.pb.bialystok.pl/~bajko/PSpice-ins.pdf.

Streszczenie

Celem opracowania było wykonanie symulacji przekształtnika impulsowego DC/DC obniżającego napięcie. W artykule wykonano badania symulacyjne układu otwartego i zamkniętego. Końcowym etapem było przeprowadzenie analizy wyników symulacji.

Słowa kluczowe: przekształtnik impulsowy DC/DC, przekształtnik obniżający napięcie.

Simulation Research of DC/DC Buck Impulse Converter

Abstract

The aim of this thesis was the realization of simulation of impulse converter DC/DC for voltage reduction. There were performed simulation researches of open circuit and close circuit. The final stage was the analysis of simulation results.

Keywords: impulse converter DC/DC, buck converter.