

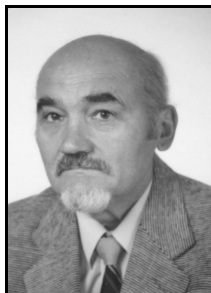
Edward GRECZKO, Piotr BUBACZ

UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki

Trójpoziomowe przekształtniki DC/DC

Prof. dr hab. inż. Edward GRECZKO

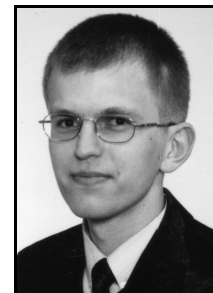
Od 1994r. do chwili obecnej jako profesor nadzwyczajny pracuje na Uniwersytecie w Zielonej Górze. Problematyka badawcza dotyczy opracowań teorii, metod analizy i syntezy przekształtników częstotliwości typu modulacyjnego. Jest autorem ponad 255 prac naukowych, w tym 8 monografii i 1 podręcznika oraz 70 patentów.



e-mail: E.Greczko@iie.uz.zgora.pl

Mgr inż. Piotr BUBACZ

Asystent w Instytucie Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego, absolwent Zintegrowanych Studiów Zagranicznych Uniwersytetu Zielonogórskiego i Fachhochschule Giessen-Friedberg (Niemcy). Zainteresowania badawcze obejmują sieci komputerowe, projektowanie systemów cyfrowych oraz formalnych metod oprogramowania sterowników logicznych.



e-mail: P.Bubacz@iie.uz.zgora.pl

Streszczenie

W artykule opisano budowę oraz sterowanie trójpoziomym przekształtnikiem DC/DC o rozszerzonych właściwościach funkcyjnych. Przedstawiono jego model wirtualny w programie Matlab, za pomocą którego, zbadano właściwości stabilizacyjne przekształtnika.

Słowa kluczowe: przekształtnik DC/DC.

Three level DC/DC converter

Abstract

Construction and management of three levels by converter DC/DC, its virtual model in space Matlab by means of which it is carried out research of stabilization properties of this converter is described.

Keywords: DC/DC converter.

1. Wstęp

W autonomicznych, złożonych układach zasilania stosowane są różnorodne przekształtniki energoelektroniczne, zapewniają one dobre jakościowo zasilanie energią elektryczną różnych odbiorników. W takich kompleksach energetycznych z powodu wykorzystania wielopoziomowych falowników napięcia (FN) o ulepszonych wskaźnikach energetycznych powstaje konieczność stosowania sekcjonowanych źródeł zasilania [1]. Jednak w rzeczywistych urządzeniach sekcjonowanych dość często powstaje problem niesymetryczności, jak i niestabilności ich napięć wyjściowych. Z tego powodu urządzenia te najczęściej budowane są na podstawie wielokanałowych przekształtników DC/DC, których wyjścia połączone są szeregowo. Można je określić jako aktywne dzielniki napięciowe.

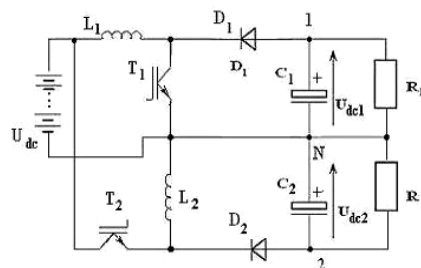
Rozpatrywane w [2] 3-poziomowe sekcjonowane źródła prądu stałego, czyli faktycznie 3-poziomowy przekształtnik DC/DC został zbudowany na podstawie dwóch przekształtników DC/DC typu podwyższającego (*ang. boost converter*). Przedstawiony 3-poziomowy przekształtnik posiada cechy podwyższenia, regulacji i stabilizacji napięć wyjściowych, dlatego omawiane urządzenie można w przybliżeniu określić jako aktywny dzielnik napięciowy. Przy analizie ich właściwości można jednak zauważyć powstanie interaktywnych oddziaływań przekształtników, co powoduje obniżenie ich właściwości stabilizacyjnych.

Znane są inne topologie przekształtników DC/DC o rozszerzonych właściwościach funkcyjnych, a w szczególności o właściwościach podwyższającego - obniżających napięcie wyjściowe (*ang. buck - boost converter*). Z analizy ich topologii wydaje się celowym budowa wymienionych wyżej 3-poziomowych przekształtników DC/DC, stosując pierwszy przekształtnik DC/DC typu boost oraz drugi - typu buck - boost. W tym przypadku możliwe jest eliminowanie ich wzajemnego wpływu.

Celem pracy jest opisanie budowy i zasady działania trójpoziomowego przekształtnika DC/DC zbudowanego na podstawie dwóch przekształtników z połączonym zastosowaniem DC/DC typu *boost* oraz DC/DC typu *buck - boost* oraz utworzenie modelu wirtualnego w programie Matlab, za pomocą którego zbadano właściwości stabilizacyjne badanego przekształtnika.

2. Opis przekształtników

Schemat ideowy dwublokowego zmodyfikowanego przekształtnika DC/DC przedstawiono na rys.1, w którym pierwszy przekształtnik wykonano na podstawie przekształtnika typu *boost*, a drugi - wg schematu przekształtnika typu *buck - boost* (w dalszym ciągu będziemy stosować skrótową nazwę przekształtnika typu *buck - boost*, jako przekształtnika typu bb). Obwody wejściowe obu przekształtników w tym przypadku połączone są równolegle w odniesieniu do zacisków źródła zasilania U_{dc} . Na zaciskach wyjściowych 1, N, 2 formuje się 3-poziomowe stabilizowane napięcie prądu stałego, do których są podłączono dwa odbiorniki R_1 i R_2 . Napięcia na kondensatorach wyjściowych C_1 i C_2 oraz odpowiednio na odbiornikach R_1 i R_2 są sobie równe $U_{dc1} = U_{dc2}$.



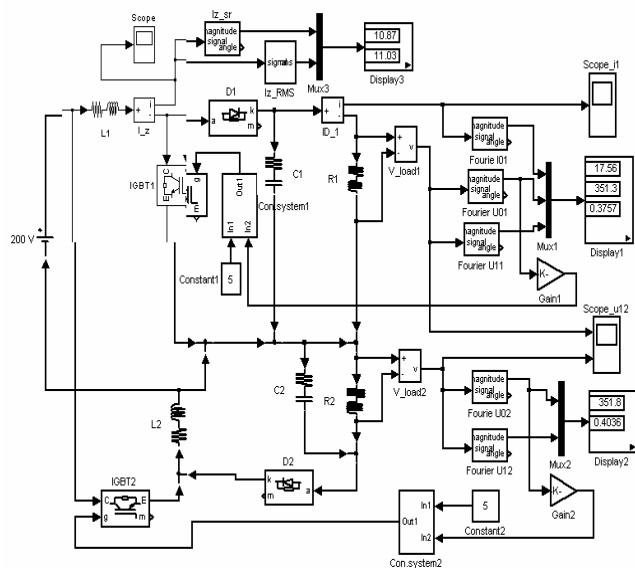
Rys. 1. Schemat przekształtnika
Fig. 1. Converter schema

Pierwszy przekształtnik zbudowano przy użyciu elementów L_1 , T_1 , D_1 , C_1 . Drugi przekształtnik składa się również, tak jak pierwszy, z czterech elementów, odpowiednio L_2 , T_2 , D_2 , C_2 , jednak posiada inną budowę. Dla oznaczenia elementów 2-go przekształtnika zastosowano indeks «2». Przy porównaniu z pierwszym przekształtnikiem, w drugim przekształtniku tranzystor T_2 nie znajduje się w podłużnej, ale w poprzecznej gałęzi przekształtnika, a dławik L_2 - w gałęzi podłużnej.

Dławiki L_1 i L_2 są elementami realizującymi gromadzenie i przekazywanie energii od źródła zasilania do kondensatorów magazynujących C_1 i C_2 . Z tego względu zasada pracy obu przekształtników jest podobna, z tą różnicą, że pierwszy przekształtnik typu *boost* formuje napięcie na zaciskach wyjściowych o podobnej polaryzacji, jak napięcie źródła zasilania U_{dc} oraz średnia wartość tego napięcia może być tylko większa od wartości napięcia U_{dc} .

Napięcie wyjściowe U_{dc2} drugiego przekształtnika typu *bb* daje ujemną polaryzację napięcia w porównaniu z napięciem źródła zasilania U_{dc} , a także wartość średnia danego napięcia może być zarówno mniejsza, tak i większa od napięcia U_{dc} .

Różne właściwości i struktura budowy obu przekształtników umożliwiają budowę 3-poziomowego przekształtnika, w którym zredukowany został interaktywny wpływ przekształtników.



Rys. 2. Model trójpoziomowego przekształtnika DC/DC
Fig. 2. Three level DC/DC converter model

Ważną właściwością badanego przekształtnika z rys. 1 o właściwościach boost i *bb* jest możliwość zastosowania analogicznego algorytmu sterowania dla obu przekształtników. Dlatego 3-poziomowy przekształtnik musi zawierać dwa niezależne, podobne (co do przeznaczenia i budowy) układy sterujące, struktura których będzie rozpatrzona niżej w trakcie symulacji komputerowej.

3. Model komputerowy zmodyfikowanego trójpoziomowego przekształtnika DC/DC

W pakiecie Simulink programu Matlab przedstawiono model badanego przekształtnika typu boost i *bb*, zakładając, że zredukowano w nim interaktywne wpływy pomiędzy przekształtnikami (rys. 2). Zbudowano przekształtnik w oparciu o dwa tranzystory IGBT1 oraz IGBT2. Parametry elementów wybrano wychodząc z założenia o formowaniu na zaciskach wyjściowych napięcia stabilizowanego, z których każde wartości zadane zostały na poziomie: $U_{dc1} = U_{dc2} = 350V$. Wartość napięcia źródła zasilania wybrano równą $U_{dc} = 200V$, częstotliwość modulacyjna wynosi $f_{imp} = 10kHz$, pojemności kondensatorów wyjściowych - $C_1 = C_2 = 200\mu F$, a odbiornik - $R_1 = R_2 = 20\Omega$.

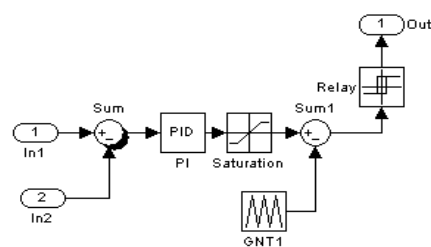
W obwodzie źródła zasilania pierwszego przekształtnika włączono przyrządy pomiarowe: czujnik prądu I_z ; oscyloskop **Scope** dla wyświetlania przebiegów prądu źródła zasilania; dwa bloki pomiaru I_z_{sr} i I_z_{RMS} wartości średnich i skutecznych prądu źródła zasilania; blok **Display3**, podłączony do wyjść wyżej wymienionych przyrządów, który służy do wyświetlania na ekranie zmierzonych wielkości.

W obwodach wyjściowych przekształtników włączono dwa czujniki napięcia V_{load1} , V_{load2} oraz jeden czujnik prądu I_{load} . Do wyjść wymienionych czujników podłączono oscyloskopy (**Scope_u12**, **Scope_i1**), bloki pomiaru wartości średnich napięć wyjściowych i prądu (**Fourier I01**, **Fourier U01**, **Fourier U02**) oraz bloki pomiaru amplitud składowych zmien-

nych napięć wyjściowych (**Fourier U11**, **Fourier U12**). Do wyjść wyżej wymienionych bloków przez multipleksery **Mux1**, **Mux2** podłączono dwa monitory **Display1** i **Display2**.

W skład trójpoziomowego przekształtnika wchodzi dwa układy sterujące **Con.system1**, **Con.system2**, do pierwszych wejść **In1** których podłączone odpowiednio bloki zadania napięcia wyjściowego $U_z = 5B$ w postaci bloków **Constant1**, **Constant2**, a do drugich wejść **In2** - odpowiednio wzmacniacze **Gain1**, **Gain2**, realizujące dopasowanie wartości napięcia sprzężenia zwrotnego z napięciem zadania.

Bezpośrednio komputerowe modele bloków **Con.system1** i **Con.system2** są podobne i realizację pierwszego z nich przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Model symulacyjny układu sterowania
Fig. 3. Simulation model of the control system

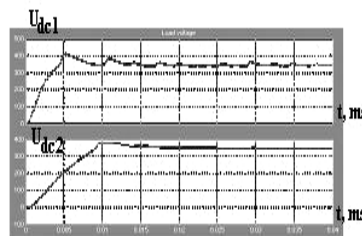
Parametry generatorów **GNT1** (**GNT2**) wybrano w oknach zadania częstotliwości $[0.0 \ 0.00005 \ 0.00005 \ 0.0001]$ oraz w oknach zadania amplitudy $[-5 \ 5 \ 5 \ -5]$. W wyniku czego, częstotliwość sygnału trójkątnego i amplituda są równe **10kHz**, **5V**. Ta częstotliwość faktycznie jest częstotliwością nośną modulacji $f_{imp} = 10kHz$ napięcia wyjściowego przekształtnika.

Ciągi impulsów sterowania modulowanych wg częstotliwości i długości z wyjść komparatorów **Relay** podawane są poprzez zaciski wyjściowe **Out1** do wejść tranzystorów siłowych **T1** (**T2**).

Parametry wszystkich bloków pomiarowych znajdujących się w obwodach wejściowych i wyjściowych tego przekształtnika należy dostroić do częstotliwości nośnej modulacji $f_{imp} = 10kHz$, jak i do częstotliwości wyjściowej trójpoziomowego przekształtnika DC/DC.

4. Analiza wyników symulacji

Na podstawie wyników symulacji w czasie pierwszych 400 okresów pracy przekształtnika za pomocą oscyloskopu **Scope_u12** otrzymane zostały krzywe napięć wyjściowych U_{dc1} , U_{dc2} trójpoziomowego przekształtnika DC/DC dla odbiorników symetrycznych ($R_1 = R_2 = 20\Omega$), które pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Przebiegi napięć wyjściowych
Fig. 4. Output voltage waveform

Z rys. 4 widać, że stan ustalony następuje po 0.2s, tzn. w przybliżeniu po 200 okresach pracy trójpoziomowego przekształtnika od chwili uruchomienia (przy zerowych napięciach wstępnych na kondensatorach wygładzających). Wartości średnie obydwóch napięć wyjściowych są podwyższone, zgodnie ze wskazaniem **Display1**, **Display2**, oraz praktycznie równe $U_{dc1} = 344.3V$,

$U_{dc2}=349.8V$. Składowe zmienne napięć wyjściowych wynoszą mniej niż **0.2%**, a przy tym pulsacje danych zmiennych składowych w czasie nie są zbiegają się, wskutek tego, że sygnały trójkątne generatorów **GNT1**, **GNT2** przesunięte są między sobą o kąt **180°**.

Wyniki symulacji przy symetrycznych obciążeniach ($R_1=R_2=20\ \Omega$) oraz niesymetrycznych ($R_1=20\ \Omega$, $R_2=100\ \Omega$, a także $R_1=100\ \Omega$, $R_2=20\ \Omega$) trójpoziomowego przekształtnika podano w tab. 1. W górnej części tab. 1 wymienione zostały parametry następujących wielkości mierzonych:

- U_{ds1} – wartość średnia napięcia wyjściowego pierwszego przekształtnika DC/DC;
- U_{ds2} – wartość średnia napięcia wyjściowego drugiego przekształtnika DC/DC;
- U_{m11} – amplituda zmiennej składowej napięcia wyjściowego pierwszego przekształtnika;
- U_{m12} – amplituda zmiennej składowej napięcia wyjściowego drugiego przekształtnika;
- I_{ds1} – wartość średnia prądu wyjściowego pierwszego przekształtnika;
- I_{sr1} – wartość średnia prądu wyjściowego drugiego przekształtnika;
- I_{RMS1} – wartość skuteczna prądu w obwodzie wejściowym pierwszego przekształtnika.

Tab. 1. Wyniki symulacji
Tab. 1. Simulation results

R_1		$20\ \Omega$	$20\ \Omega$	$100\ \Omega$
R_2		$20\ \Omega$	$100\ \Omega$	$20\ \Omega$
Wielkości zmierzone	U_{ds1} , V	344.3	344.3	353.8
	U_{ds2} , V	343.0	349.8	342.8
	U_{m11} , V	0.19	0.162	0.098
	U_{m12} , V	0.53	0.068	0.514
	I_{ds1} , A	17.21	17.21	3.538
	I_{sr1} , A	39.06	39.06	9.133
	I_{RMS1} , A	39.15	39.15	9.306
Wskaźniki obliczone	U_{ds1}^*	1.721	1.721	1.769
	U_{ds2}^*	1.715	1.749	1.714
	K_{pU1}	0.05%	0.046%	0.03%
	K_{pU2}	0.15%	0.02%	0.15%
	P_1 , W	5927.1	5.927.1	1251.7
	P_2 , W	5882.4	1223.6	5875.6
	λ_{we1}	0.997	0.997	0.981

Za pomocą zmierzonych wielkości można obliczyć szereg wskaźników badanego przekształtnika, które podano w dolnej części tab. 1. Do nich przykładowo odnoszą się:

- $U_{ds1}^* = U_{ds1}/U_{ds}$ – przekładnia napięciowa pierwszego przekształtnika;
- $U_{ds2}^* = U_{ds2}/U_{ds}$ – przekładnia napięciowa drugiego przekształtnika;
- $K_{pU1} = U_{m11}/U_{ds1}$ – współczynnik pulsacji napięcia wyjściowego pierwszego przekształtnika;
- $K_{pU2} = U_{m12}/U_{ds2}$ – współczynnik pulsacji napięcia wyjściowego drugiego przekształtnika;
- $P_1 = U_{ds12}R_1$ – moc czynna na wyjściu pierwszego przekształtnika;
- $P_2 = U_{ds22}R_2$ – moc czynna na wyjściu drugiego przekształtnika;
- $\lambda_{we1} = I_{sr1}/I_{RMS1}$ – współczynnik mocy na wejściu pierwszego przekształtnika.

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy porównawczej mierzonych wielkości i obliczonych wskaźników badanego trójpoziomowego przekształtnika DC/DC można sformułować następujące wnioski:

- całkowicie zredukowano interaktywny wpływ pomiędzy pierwszym i drugim przekształtnikiem;
 - przy 5-krotnych zmianach wartości rezystancji obciążenia, napięcia wyjściowe pierwszego przekształtnika utrzymywały stabilność z dokładnością do 2.7%, a drugiego przekształtnika z dokładnością do 1.8%;
 - trójpoziomowy przekształtnik DC/DC o właściwościach *boost* i *bb* posiada na każdym kanale wyjściowym praktycznie jednako podwyższone wartości przekładni napięciowej przy porównaniu z wartością napięcia źródła zasilania ($1.71 \div 1.76$).
- Wyżej wymienione wnioski potwierdzają celowość stosowania zmodyfikowanego trójpoziomowego przekształtnika DC/DC.

6. Literatura

- [1] Zinowiew G.S. Podstawy energoelektroniki. Nowosybirsk, 2003. – 664s.
- [2] Pawlaczyk L. Przekształtnik wejściowy trójpoziomowego falownika napięcia, V Krajowa Konferencja Naukowa, SENE, cz.3, Łódź, 2001, s.175-180.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Zapraszamy do PUBLIKACJI artykułów promocyjnych w czasopiśmie PAK

Rada Programowa PAK na zebraniu w Kielcach w dn. 23.02.2007 zaleca zwiększenie w PAK-u działu zawierającego artykuły promocyjne dotyczące nowych aplikacji urządzeń pomiarowych, automatyki przemysłowej i sterowników programowalnych. Zapraszamy firmy specjalizujące się w tej problematyce do przygotowania materiałów do kolejnych numerów naszego miesięcznika.

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl