

Mirosław NESKA, Andrzej MAJCHER, Andrzej GOSPODARCZYK
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

PRZEKSZTAŁTNIK REZONANSOWY W UKŁADACH ZASILANIA URZĄDZEŃ PLAZMOWYCH

Słowa kluczowe

Układy zasilania urządzeń plazmowych, przekształtnik rezonansowy, szeregowy obwód rezonansowy.

Streszczenie

W artykule przedstawiono model symulacyjny przetwornicy rezonansowej dużej mocy przeznaczonej do zasilania urządzeń plazmowych. Przeprowadzone badania symulacyjne umożliwiły budowę modelu fizycznego, który posłużył do przeprowadzenia badań weryfikacyjnych. Opracowany układ charakteryzuje się: oddzieleniem galwanicznym źródła zasilania od odbiornika, niskim poziomem zakłóceń elektromagnetycznych generowanych komutacją łączników kluczujących, małymi stratami termicznymi w łącznikach oraz możliwością zastosowania prostych łączników półprzewodnikowych.

Wprowadzenie

Rozwój technologii plazmowych pociąga za sobą konieczność udoskonalania i rozwoju układów zasilania urządzeń plazmowych. W ITeE – PIB opracowano typoszereg układów zasilania dla obciążeń plazmowych, w których wykorzystuje się topologie przetwornic (przekształtników) pełnomostkowych z modulacją typu *hard switching*.

Zalety przekształtników rezonansowych [1, 2, 4] wskazują, że ich zastosowanie w układach zasilania urządzeń plazmowych pozwala na polepszenie parametrów pracy zasilaczy.

W artykule przedstawiono model komputerowy i badania symulacyjne wybranej topologii przetwornic rezonansowych, traktowane jako badania wstępne do budowy modelowego przekształtnika rezonansowego, który może być zastosowany w układach zasilania urządzeń, z uwzględnieniem wymagań stawianych przez obciążenia plazmowe.

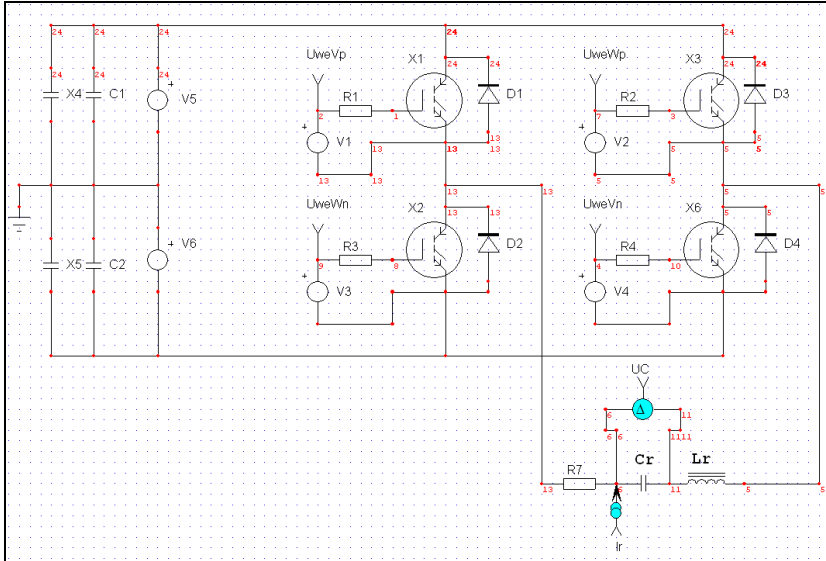
1. Analiza i badania symulacyjne

Przeprowadzona analiza topologii przetwornic rezonansowych, pod kątem zastosowania w układach zasilania urządzeń plazmowych, wykazała, że jednym z lepszych rozwiązań do tego zastosowania, jest przekształtnik rezonansowy z szeregowym obwodem rezonansowym, zasilanym ze źródła napięcia. Wybór ten umożliwia realizację wymaganego zakresu zmian mocy przekazywanej do obciążenia i jest realizowany, poprzez zmiany częstotliwości przełączania pełnomostkowego układu tranzystorów kluczujących, w odniesieniu do częstotliwości obwodu rezonansowego, w chwilach, gdy prąd osiąga wartość zerową, jest to rodzaj komutacji łączników ZCS (*Zero Current Switch*). Korzystny kształt przebiegu prądu obwodu rezonansowego pozwala na jednoznaczne ustalenie punktu pracy półprzewodnikowych łączników kluczujących, przy ustalonej częstotliwości kluczenia, na poziomie bliskim zerowej wartości przełączanego prądu. Co znacznie poprawia parametry pracy półprzewodnikowych łączników kluczujących, wykorzystywanych w układach zasilania urządzeń plazmowych.

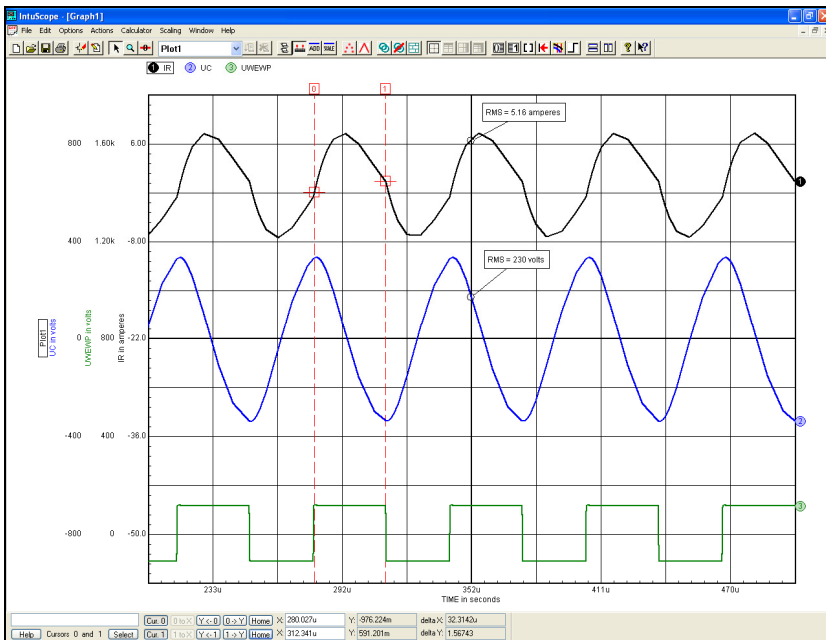
Wytypowaną topologię poddano dalszej analizie, przeprowadzając obliczenia analityczne oraz badania symulacyjne obwodu rezonansowego [4, 5, 6].

Badania symulacyjne wytypowanej przetwornicy przeprowadzono dla układu przedstawionego na rys. 1.

Opracowany model symulacyjny przetwornicy pełnomostkowej z szeregowym obwodem rezonansowym pozwolił określić zachowanie się przekształtnika, przy ustalonych parametrach elementów obwodu rezonansowego, zadanych wartościach napięcia zasilania i częstotliwości pracy łączników kluczujących. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych dla modelu symulacyjnego przetwornicy, przy zadanych parametrach zasilania układu na poziomie 200 VDC i częstotliwości kluczenia łączników tranzystorowych na poziomie 16 kHz. Wyznaczone na drodze analitycznej wartości elementów RLC obwodu rezonansowego, które zostały wprowadzone do modelu symulacyjnego, przedstawiają się odpowiednio: indukcyjność 417 μH , pojemność 0,22 μF oraz rezystancja 35 Ω . Wartość rezystancji szeregowego obwodu rezonansowego RLC związana jest z parametrami określonego obciążenia plazmowego oraz obejmuje rezystancję zastępczą samego obwodu RLC. Dodatkowo rezystancja t , ustala poziom dobroci obwodu rezonansowego, który dla tego obwodu wynosi 1,2.



Rys. 1. Schemat modelu symulacyjnego przetwornicy rezonansowej z szeregowym obwodem rezonansowym wykonany w programie ICAP/4



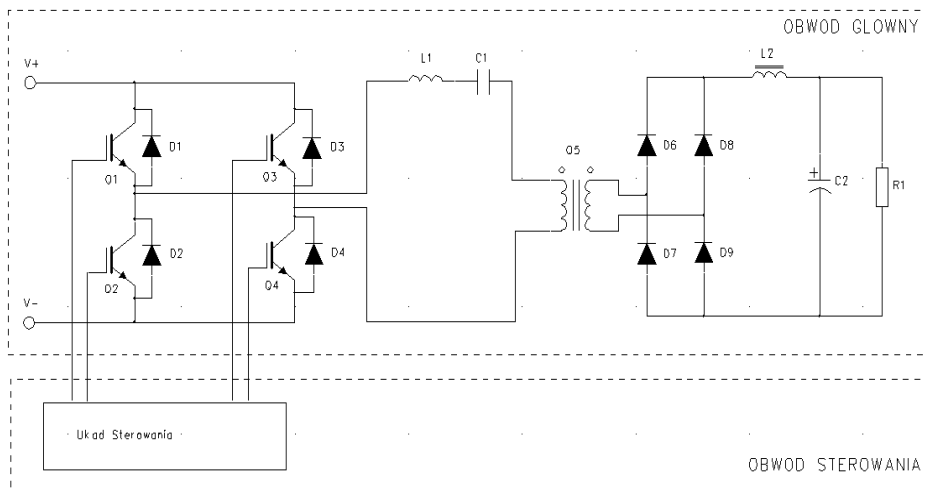
Rys. 2. Przebiegi sygnałów dla modelu symulacyjnego przetwornicy rezonansowej z szeregowym obwodem rezonansowym, uzyskane z programu ICAP/4. U_c – napięcie na kondensatorze obwodu rezonansowego, I_r – natężenie prądu w obwodzie rezonansowym, U_{weVp} – napięcie sterujące bramki tranzystora

2. Opracowanie i wykonanie modelu fizycznego

Rezultatem przeprowadzonych analiz oraz badań symulacyjnych było opracowanie i wykonanie modelu fizycznego przetwornicy, który posłużył do wykonania modelowego urządzenia. Jako modelowe urządzenie opracowano pośrednią pełnomostkową przetwornicę z szeregowym obwodem rezonansowym i galwanicznie oddzielnym obciążeniem. Wybór tego typu przetwornicy związany jest z koniecznością zapewnienia oddzielenia galwanicznego źródła zasilania od odbiornika, stosunkowo niskiego poziomu zakłóceń elektromagnetycznych, minimalnych strat termicznych w łączniku półprzewodnikowych, a tym samym zastosowanie mniej wymagających łączników kluczujących.

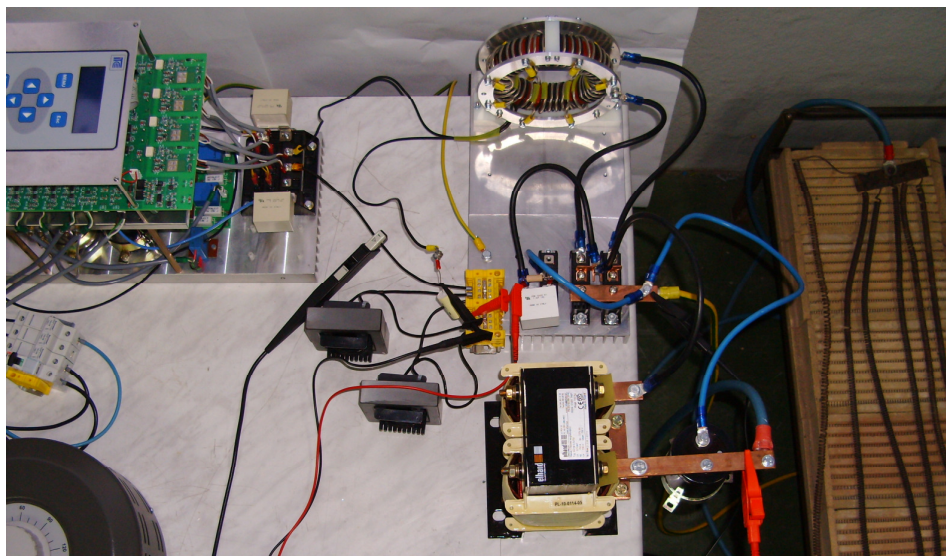
Opracowane i wykonane urządzenie składa się z dwóch obwodów: głównego (mocy) i sterowania (rys. 3 i 4). Wyróżnione bloki determinuje poziom przenoszonej mocy elektrycznej.

Podstawowym blokiem opracowanego przekształtnika rezonansowego jest obwód główny. Obwód główny spełniając funkcję podstawową realizuje w pierwszej fazie przekształcanie energii elektrycznej o parametrach stałych na energię elektryczną o parametrach przemennych, w kolejnym kroku następuje przekształcanie energii elektrycznej o parametrach przemennych na energię o parametrach stałych. Pierwszy zasadniczy element obwodu głównego stanowi obwód falownika, który kształtuje prąd w szeregowym obwodzie rezonansowym, w funkcji wartości i parametrów zastosowanych elementów LC. Drugi element obwodu głównego stanowi galwanicznie oddzielone obciążenie, na które składa się transformator oraz obwód prostownika.



Rys. 3. Schemat układu przekształtnika z szeregowym obwodem rezonansowym i galwanicznie oddzielnym obciążeniem

Obwód sterowania, przy znacznie mniejszym poborze energii elektrycznej, realizuje funkcje odpowiedniego wysterowania zastosowanych półprzewodnikowych łączników kluczujących, stanowiących podzespoły obwodu rezonansowego.

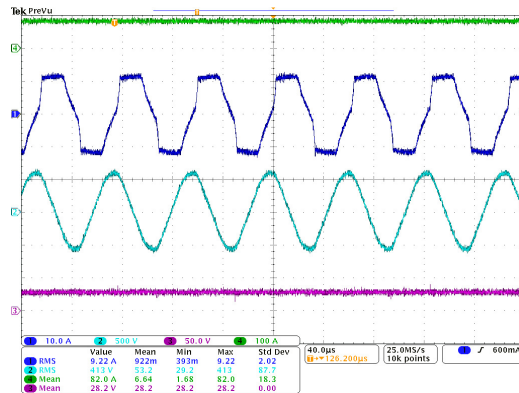


Rys. 4. Stanowisko pomiarowe do wyznaczania prądu przetężenia źródeł AC

3. Badania weryfikacyjne

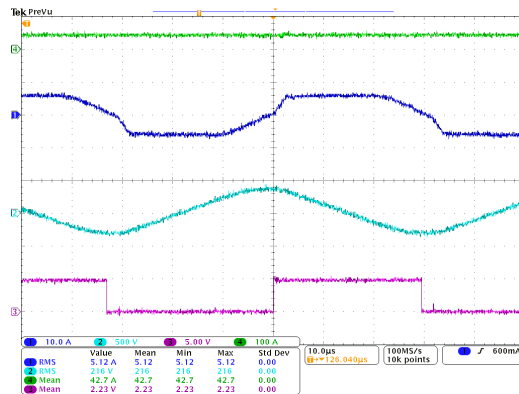
Przeprowadzając badania weryfikacyjne zaprojektowanego i wykonanego przekształtnika rezonansowego, dokonano pomiarów parametrów obwodu rezonansowego oraz obwodu obciążenia przy zadanych ustalonych parametrach zasilania i obciążenia.

Opracowana i wykonana przetwornica rezonansowa została poddana weryfikacji, w warunkach stałego obciążenia i zmiennej wartości napięcia zasilania (z zakresu od 200 VDC do 350 VDC). Opracowany przekształtnik może pracować, przy zadanym stałym obciążeniu, z częstotliwością 16 kHz kluczowania łączników półprzewodnikowych. Regulacja mocy wyjściowej przetwornicy może odbywać się przez zmianę wartości wejściowego napięcia zasilania w określonym zakresie, pozwalając osiągnąć przykładowy punkt pracy przetwornicy na poziomie: moc wyjściowa 2,3 kW, przy napięciu zasilania 350 VDC (rys. 5).



Rys. 5. Oscylogramy z badań przetwornicy rezonansowej, napięcie zasilania 350 VDC, moc wyjściowa 2,3 kW. Ch1 – prąd obwodu rezonansowego (10 A/dz), Ch2 – napięcie na kondensatorze obwodu rezonansowego (500 V/dz), Ch3 – napięcie na rezystancji obciążenia (50 V/dz), Ch4 – prąd rezystancji obciążenia (100 A/dz)

Opracowany przetwornik rezonansowy pozwala na załączanie i wyłączenie półprzewodnikowych łączników kluczujących obwodu rezonansowego, przy wartościach prądu bliskich zerowym, co przedstawia oscylogram (rys. 6). Przykładowe parametry dla przeprowadzonego badania kształtują się odpowiednio: rezystancja obciążenia $0,36 \Omega$, częstotliwość kluczowania łączników półprzewodnikowych 15,8 kHz.



Rys. 6. Oscylogramy z badań przetwornicy rezonansowej z przebiegiem sterującym łączniki kluczujące, stała czasowa 10 μ s. Ch1 – prąd obwodu rezonansowego (10 A/dz), Ch2 – napięcie na kondensatorze obwodu rezonansowego (500 V/dz), Ch3 – napięcie sterujące tranzystory kluczujące (5 V/dz), Ch4 – prąd rezystancji obciążenia (100 A/dz)

Pomiary parametrów przetwornicy przeprowadzono używając oscyloskopu typu MSO4054, przebiegi napięcia mierzono sondą napięciową pasywną typu P6139A oraz sondą wysokonapięciową różnicową typu P5205. Do pomiarów prądu wykorzystano sondę prądową typu TCP 0030 oraz sondę prądową typu TCP 0150.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono model komputerowy i badania symulacyjne przekształtnika rezonansowego z szeregowym obwodem rezonansowym, zasilanego ze źródła napięcia. Wykonane badania symulacyjne posłużyły do opracowania i wykonania modelowej przetwornicy rezonansowej, którą stanowi pośrednia pełnomostkowa przetwornica z szeregowym obwodem rezonansowym i galwanicznie oddzielnym obciążeniem. Rozwiązanie to może być zastosowane w układach zasilania urządzeń plazmowych, gdyż uwzględnia wymagania stawiane przez obciążenia plazmowe, takie jak zapewnienie: oddzielenia galwanicznego źródła zasilania od odbiornika, niskiego poziomu zakłóceń elektromagnetycznych generowanych komutacją łączników kluczujących, minimalnych strat termicznych w łącznikach oraz możliwości zastosowania mniej wymagających łączników półprzewodnikowych.

Opracowana modelowa przetwornica rezonansowa będzie wykorzystywana przy budowie układów zasilania urządzeń plazmowych wykonywanych w ITeE – PIB, poprawiając tym samym parametry istniejących rozwiązań. Dodatkowo opracowane urządzenie, w innej konfiguracji, może być również wykorzystywane do budowy generatorów prądu przemiennego (AC).

Bibliografia

1. Citko T.: Energoelektronika. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2007.
2. Tunia H., Winiarski B.: Energoelektronika. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994.
3. Piróg S.: Energoelektronika. Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
4. Kazimierzczuk M. K., Czarkowski D.: Resonant Power Converters. John Wiley & Sons Press, New York 1995.
5. Brander T., Gerfer A., Rall B., Zenkner H.: Trilogy of magnetic. Swiridoff Verlag Press, Kunzelsau 2009.
6. Materiały szkoleniowe firmy Intusoft.

Recenzent:
Jerzy SZYMAŃSKI

Resonant converter applied in the power supply systems of the plasma devices

Key words

Power supply system of the plasma devices, resonant converter, series RLC circuit.

Summary

The article presents a computer simulation and physical model of the resonant power converter applied in the power supply systems of the plasma devices. The system is characterised by the: electric separation of the power supply and the receiver, low emission of electromagnetic interference and application of simple switching devices, due to the fact they have low heat losses.