

60kW 산업용 마그네트론 구동용 전원

장성록*, 안석호*, 류홍제**, 김종수**

*과학기술연합대학원대학교, **한국전기연구원

Power Supply for 60kW Industrial Magnetron

S.R. Jang*, S.H Ahn*, H.J Ryoo**, J.S Kim**

*University of Science & Technology, **KERI

ABSTRACT

This paper deals with the design and experiment of 85kW(17kV, 5A) high voltage power supply for 60kW industrial magnetron. The power supply was designed based on the series resonant converter discontinuous conduction mode(DCM) which has the current source characteristic and high efficiency. In addition, inevitable leakage inductance of high voltage transformer can be used as resonant inductance. The basic analysis of full-bridge series resonant converter with transformer is given and the relationships between resonant tank parameters and input, output specification was derived. Simulation and experiment was done with variable switching frequency and their results verify the theoretical analysis.

1. 서론

산업용 마그네트론은 고효율, 고풍력의 마이크로파 에너지 발생원으로서 식품, 섬유, 고무, 종이, 목재, 화학, 환경, 소재, 통신(선박용 레이더 등) 등의 다양한 산업에 활용되고 있다. 본 논문에서는 60kW급 산업용 마그네트론 구동을 위한 85kW(17kV, 5A) 고전압 전원장치의 설계 및 해석에 대하여 다루고자 한다. 이와 같은 대용량 및 고전압 전원장치는 고효율 및 고주파 스위칭을 위하여 소프트 스위칭방식의 설계가 필요하고, 승압을 위한 고압 변압기의 절연거리 확보를 위해 생기는 누설인덕턴스를 활용하기 위하여 직렬 공진형 컨버터 방식으로 설계 하는 것이 유리하다.^[1] 스위칭 주파수에 따라서 달라지는 공진탱크의 임피던스 특성을 활용한 직렬 부하공진형 컨버터는 공진 주파수와 스위칭 주파수의 관계에 따라 3가지의 모드로 나뉘지는데, 본 논문에서는 부하에 관계없이 항상 전류원으로 동작하는 장점을 가지고 있는 Discontinuous Conduction Mode(DCM)에 대하여 해석 하였다. 이를 바탕으로 설계된 전원장치의 실험을 통하여 스위칭 주파수에 따른 공진형 컨버터의 출력을 분석하도록 한다.

2. 직렬공진형 컨버터의 해석 및 실험

2.1 정상상태 해석

그림 1은 변압기를 이용하여 승압이 가능한 형태의 half-bridge 직렬공진형 컨버터의 기본 회로를 보여주고 있고, 그림 2에서는 도통되는 소자에 따라 나뉘지는 동작모드에 따른 공진인덕터의 전류 및 공진 커패시터의 전압의 파형을 보여준다. 각 모드에서의 전류 및 전압 수식은 등가회로와 라플라스 변환을 통하여 쉽게 해석할 수 있다.

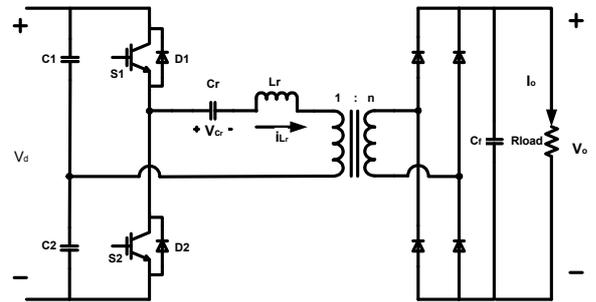


그림 1 Half-Bridge 직렬공진형 컨버터
Fig. 1 Half-Bridge Series Resonant Converter

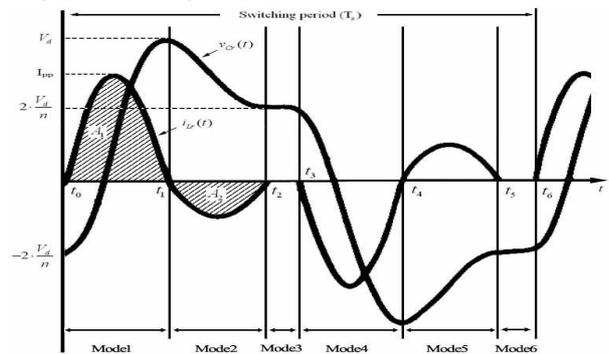


그림 2 공진전류 및 공진 커패시터 전압 파형
Fig. 2 Waveforms of Resonant Inductor Current and Capacitor Voltage

2.2 설계 파라미터에 따른 컨버터 출력 해석

공진형 컨버터의 출력 전압 및 전류를 결정하는 파라미터를 살펴보면 입력전압(V_d), 변압기 턴수 비(n) 스위칭 주파수(f_s), 공진 탱크의 값(공진 인덕턴스 L_r , 공진커패시턴스 C_r)에 의해 결정되는 공진주파수(f_0) 그리고 quality factor(Q) 등이 있다. 여기서 공진 주파수 및 Q 를 정의 하면 아래의 수식 (1), (2)와 같다. 이로부터 그림2의 빗금으로 표시된 부분의 면적 A_1 및 A_2 를 이용하여 입출력 전력을 구할 수 있다. 즉 입력전력은 두 면적의 차에 비례하는 형태로 구할 수 있고, 출력 전력은 합에 비례하는 형태로 구할 수 있다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

$$Q = \omega_o \frac{E_{total}}{P_{average}} = \frac{n^2 \cdot \omega_o L_r}{R_{load}} \quad (2)$$

$$M = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Input Voltage}} = \frac{V_o/n}{V_d/2} = \frac{4}{Q\pi} \cdot \frac{f_o}{f_s} \quad (3)$$

$$J = M \cdot Q = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{f_s}{f_o} \quad (4)$$

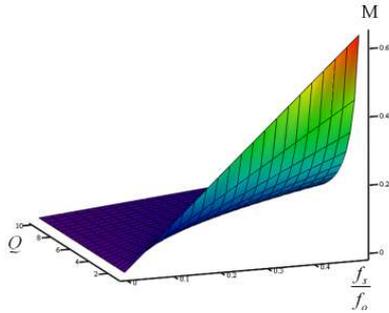


그림 3 파라미터에 따른 출력전압 특성
Fig. 3 Characteristic of Normalized Output Voltage

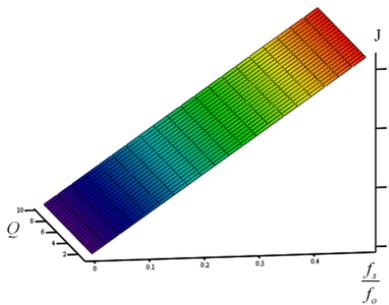


그림 4 파라미터에 따른 출력전류 특성
Fig. 4 Characteristic of Normalized Output Current

유도된 입출력 전력을 이용하여 입력에 대하여 일반화 된 normalized output voltage(M) 및 current(J)를 구할 수 있는데, 정의 및 유도된 식은 아래와 같고 이를 Q와 주파수 비에 따라 나타내면 그림 3, 4와 같다. 수식 (4) 및 그림 (4)에서 확인 할 수 있듯이 출력 전류는 부하에 관계없이 주파수에 비례하는 전류원의 특성을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

2.3 실험 결과

2.1 및 2.2절에서 수행된 기본적인 해석을 바탕으로 85kW 전원장치가 설계 되었고, 이는 42.5kW(17kV, 2.5A)전원장치 2대가 병렬로 운전되는 형태로 제작 되었다. 42.5kW 전원장치는 full-bridge 공진형 인버터 3개가 각각 voltage doubled rectifier를 통하여 정류되어 직렬로 연결되는 구조를 가지고 있고 제작된 전원장치의 설계 사양 및 상세 파라미터를 정리하면 표1과 같다.

표 1 42.5kW전원장치의 사양 및 설계 파라미터
Table 1 Specifications and Design Parameters of 42.5kW Power Supply

Input Voltage	3*380V _{ac} ±10%
Maximum Output Power	42.5kW
Maximum Output Current	3A
Maximum Output Voltage	17kV
Resonant Inductance, L _r	13.5uH
Resonant Capacitance, C _r	0.56uF
Transformer Turns Ratio	10:100

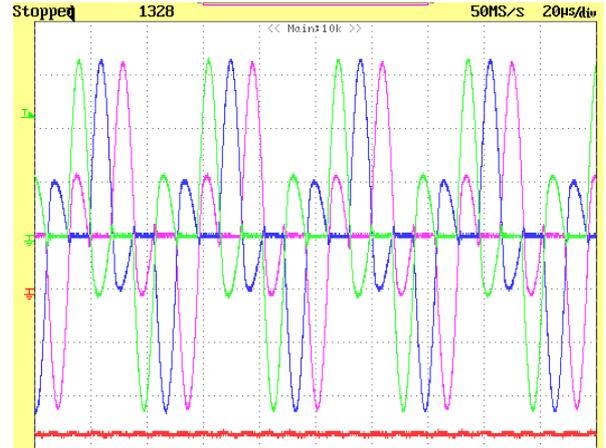


그림 5 14kV, 3A 조건에서의 출력전압 및 공진 전류파형
Fig. 5 Waveforms of Output Voltage and Resoant Current at 14kV, 3A operation (5kV/div, 50A/div)

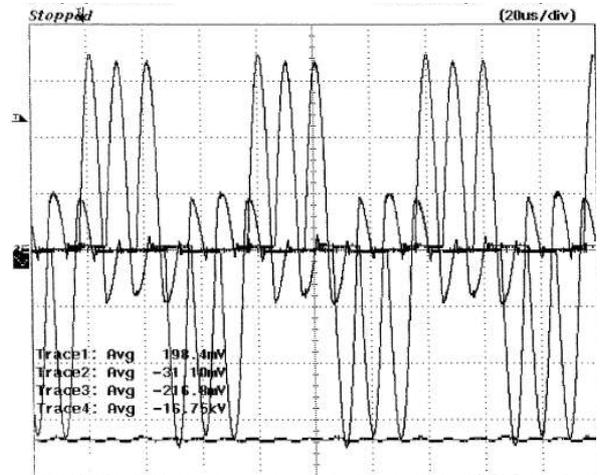


그림 5 17kV, 2.5A 조건에서의 출력전압 및 공진 전류파형
Fig. 5 Waveforms of Output Voltage and Resoant Current at 17kV, 2.5A operation (5kV/div, 50A/div)

제작된 전원장치는 저항부하를 통하여 주파수에 따른 출력 특성이 분석 되었고, 그림5, 6은 각 출력조건에 따른 파형을 보여준다.

3. 결론

본 논문에서는 DCM 영역에서 동작하는 직렬공진형 컨버터의 기본적인 해석을 바탕으로 설계된 60kW 산업용 마그네트론 구동용전원장에 대하여 기술 하였고, 통하여 설계된 값들을 검증하였다.

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 (KERI)의 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2008EEL02P040000)

참고 문헌

[1] V. Vorperian and S. Čuk, "A Complete DC Analysis of the Series Resonant Converter," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp. 85-100, June 1982.