

플라즈마 방전장치 구동을 위한 전압 및 주파수 가변 전원장치 설계

주성탁, 정해광, 이교범
아주대학교

Design of a Power System with Variable Voltage and Frequency for a Plasma Discharger

Sung Tak Jou, Hae Gwang Jeong and Kyo Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

본 논문은 플라즈마 방전장치 구동을 위한 가변 전압/주파수 전원장치를 제안한다. 제안하는 전원장치는 가변전압을 위한 벡 부스트 컨버터와 주파수 변환을 위한 푸쉬 풀 인버터로 구성된다. 제안하는 전원장치의 벡 부스트 컨버터는 계통전류 고조파 저감과 DC링크 캐패시터 최소화를 위하여 PFC(Power Factor Collection)기법을 적용한다. 그리고 푸쉬 풀 인버터는 출력 변압기의 자기포화를 막기 위해 전류제한기법을 추가한다. 또한 불분명한 부하와 출력 트랜스의 공진 상황에서 전압 안정화를 위해 출력전압을 피드백하여 제어한다. 본 논문은 1 [kW]급 플라즈마 전원장치를 통하여 제안하는 토폴로지와 제어방법의 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근 플라즈마 살균기, 의료용 장비 등에 응용되면서 상업 플라즈마에 관심이 높아지는 가운데 다양한 응용분야에서 연구가 진행되고 있다^[1]. 효율적인 플라즈마 발생을 위해서는 전압 및 주파수 가변 전원 장치가 요구되는데 그동안 연구된 플라즈마 전원장치는 크게 LC공진형과 구형과 펄스출력형, 부분공진형으로 나누어진다^[2]. LC공진형은 플라즈마 발생 효율이 가장 크지만 큰 용량의 캐패시터로 인해 무효전력이 크며, 주파수가변이 어렵고 dv/dt가 작아지는 단점이 있다. 구형과 펄스출력형은 주파수가변이 쉽고 dt/dv가 크지만 부하에 급격한 전류가 흘러 부하의 소손이 문제가 된다. 부분공진형은 LC공진형과 펄스출력형의 장점을 모두 가지고 있지만 LC공진형에 비해서 효율이 떨어진다.

본 논문에서는 플라즈마 발생효율이 높고 정현파 출력을 가지는 가변 전압 및 주파수 플라즈마 전원 장치를 제안하고 실험을 통해 타당성을 검증한다.

2. 전원장치의 설계

2.1 PFC기법을 적용한 벡-부스트 컨버터

그림 1은 제안하는 플라즈마 전원장치의 구성을 나타낸다. 제안하는 전원장치는 출력전압 가변이 용이한 벡 부스트 컨버터와 주파수 가변을 위한 푸쉬 풀 인버터, 출력트랜스로 구성된다.

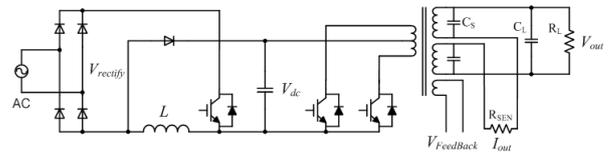


그림 1 플라즈마 전원장치 시스템 구성
Fig. 1 Construction of Plasma Power Supplier

벡 부스트 컨버터와 푸쉬 풀 인버터의 스위칭을 위한 보조 전원을 줄이기 위하여 모든 IGBT 스위치의 이미터를 한 점으로 하여 회로를 구성한다. 이와 같은 구조에서 벡 부스트 컨버터를 구성하는 다이오드와 인덕터, 스위치의 배치는 그림 1과 같다.

벡 부스트 컨버터는 교류입력을 정류하여 맥류파형을 만들고 전압의 크기에 따라 Duty 비를 조절하여 전류의 위상을 전압과 같도록 하는 PFC기법을 이용하여 제어하고, 전류 불연속 모드에서 운전한다.

2.2 푸쉬-풀 인버터

푸쉬 풀 인버터는 2개의 스위치와 2개의 자기 결합된 코일로 구성된다^[3]. 이러한 구조는 별도의 스너버 회로가 없이도 코어와 누설인덕턴스에 저장된 에너지를 효과적으로 회생하기 때문에 효율이 높다. 또한 다이오드를 통해 역으로 전류가 흐르는 상태에서 스위치가 온 되기 때문에 영전압 턴온 특성이 있다. 하지만 스위치에 걸리는 전압이 H bridge에 비해 2배가 되고, 턴 오프시 하드스위칭하는 단점이 있다. 운전모드는 (SW1 ON)전력회생모드, (SW1 ON)전력전달모드, (SW2 ON)전력회생모드, (SW2 ON)전력전달모드의 4가지 모드로 동작한다.

2.3 출력 트랜스의 공진현상을 고려한 전압제어

그림 2와 같이 출력 트랜스의 2차측 누설 인덕턴스(Ls)와 기생 캐패시턴스(Cs), 부하의 캐패시턴스(CL)는 시스템 출력측에 공진 회로를 만든다.

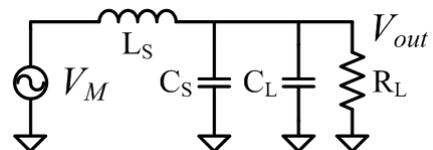


그림 2 출력트랜스 2차측 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of transformer secondary side

주파수에 따라 트랜스 2차측과 부하측의 임피던스가 달라지기 때문에 출력전압은 식 (1)과 같이 주파수에 영향을 받게 된다.

$$V_{out} = -\frac{R_L}{L_s(C_s + C_L)R_L\omega^2 - jL_s\omega - R_L}V_{dc} \quad (1)$$

공진 주파수 이후에는 출력전압이 40 [dB/decade]로 떨어지게 되므로 출력전압 V_{out} 을 일정하게 유지하기 위해서는 직류단 전압 V_{dc} 가 커져야 한다. 출력주파수 10 [kHz]~100 [kHz] 범위에서 V_{dc} 는 약 100배의 다이내믹레인지가 요구된다. 이와같은 다이내믹레인지를 만족하기 위하여 전압제어시스템을 그림 3과 같이 구성하였다.

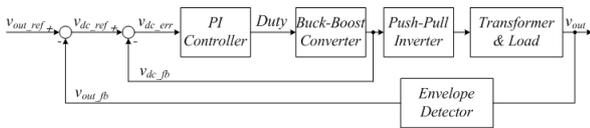


그림 3 제어시스템 구성
Fig. 3 Construction of control system

3. 실험

제안하는 토폴로지와 제어의 성능을 확인하기 위하여 1 [kW]급 전원 장치를 제작하였다. 그림 4는 실험에 사용된 플라즈마 전원장치의 외관이고, 실험장치의 주요 제원은 표 1과 같다. 그림 5는 출력 주파수가 공진 주파수와 같은 경우에서의 출력전압과 전류 파형이다. 이때 출력 전압의 주파수는 22.4 [kHz]이다. 그림 6은 출력 전압의 주파수가 공진 주파수 보다 높은 경우 출력파형이다. 출력전압의 주파수가 27 [kHz]로 증가 하였음에도 직류단 전압제어에 의해 출력전압의 크기가 일정하게 제어됨을 확인할 수 있다. 이때 직류단 전압은 146.8 [V]에서 194.4 [V]로 증가하였다.

표 1 1kW급 플라즈마 전원 장치 사양
Table 1 Parameters of the 1kW Plasma Power System

파라미터	값
출력 전압	0~20kV [Vrms]
출력 전류	0~50mA [Arms]
출력 주파수	10~50[kHz]
컨버터 인덕터	300u [H]
IGBT	FGH40N120D13
출력 트랜스	EE6044*2, 60:2000T



그림 5 플라즈마 전원 장치
Fig 5 Plasma Power System

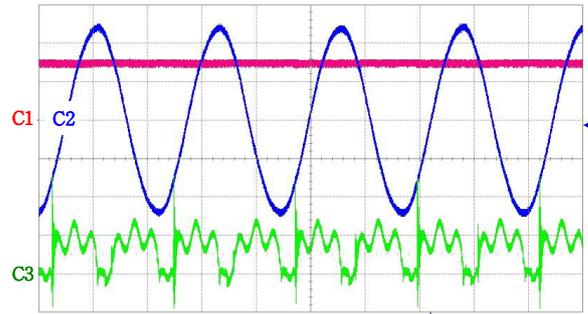


그림 5 출력 주파수가 22.4 [kHz] 일 때;
출력전압(C1:100V/div)과 직류단 전압(C2:100V/div),
트랜스 1차측 전류(C3:2A/div)

Fig. 5 When output frequency is 22.4 [kHz];
Output voltage(C1:100V/div), DC-link voltage(C2:
100V/div) and current of primary coil(C3:2A/div)

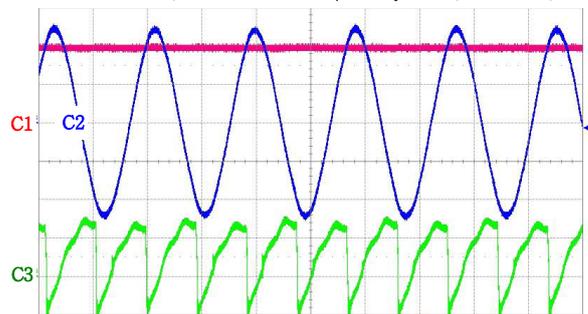


그림 6 출력전압 주파수가 27 [kHz] 일 때;
출력전압(C1:100V/div)과 직류단 전압(C2:100V/div),
트랜스 1차측 전류(C3:2A/div)

Fig. 6 When output frequency is 27 [kHz];
Output voltage(C1:100V/div), DC-link voltage(C2:
100V/div) and current of primary coil(C3:2A/div)

4. 결론

본 논문에서는 가변 전압 및 주파수 플라즈마 전원 장치를 제안하였다. 제안된 전원장치는 구조가 간단하고, 부하임피던스의 주파수 응답을 전압조절로 보상하여 넓은 주파수 범위에서 효율적으로 플라즈마 장치에 전원을 공급한다. 1 [kW]급 전원 장치를 제작하여 제안하는 전원장치의 성능을 검증하였다.

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (2008T100100162) 주관으로 수행된 과제임.

참고문헌

- [1] 신와호, 윤기복, 정환명, 최재호, “가변전압 가변주파수 (VVVF) 교류 플라즈마 전원장치,” 대한전기학회 하계학술대회 논문지, 2004. 7.
- [2] 한희민, 김민영, 서광덕, 김준석, “3상 PFC 부스트 컨버터를 채용한 상압플라즈마 세정기용 고역률 정현파 펄스 출력형 전원장치에 관한 연구,” 전기전자학회 논문지, 제14권, 제1호, pp72 81, 2009. 2.
- [3] 김영규, 김동중, 김이훈, 원충연, 김규식, 최세완, “효율개선을 위한 Push Pull Converter의 동기정류에 관한 연구,” 전력전자학회 논문지, 제2권, 제9호, pp.134 143. 2003. 4.