

Plasma Lighting System용 고전압/고전류 인버터 전원장치에 관한 연구

Development of Power Supply for Plasma Lighting System

*김정삼, 조익현, 윤동한
금오공과대학교 전자과대학원
e-mail : jskernel@kornet.net, ighyun@orgio.net

*Kim Jeong-sam, Cho Ig-hyun
School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

I. 서론

Abstract

지금까지 통상적으로 사용하고 있는 Plasma Lighting System(이하 PLS)의 마그네트론 구동용 고전압, 고전류 전원장치는 성층 철심 HVT를 이용한 방식을 적용하고 있다. 이 방식은 상용 주파수를 사용하므로, 승압트랜스포머나 배전압용의 커패시터를 대형으로 하기 때문에 고중량, 저효율 및 출력의 한계성과 광출력에서 플리커현상 등의 단점을 지닌다. 이의 해결책으로 최근 인버터 방식의 전원장치를 PLS에 적용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 설계한 PLS 마그네트론 구동을 위한 고전압, 고전류 전원장치는 기존의 스위칭 기술을 이용 낮은 스위칭 손실의 고속 스위칭을 통한 시스템의 소형, 경량화 및 고전력밀도를 가지도록 하였고 μ -com을 이용하여 Microwave의 누설에 따른 사고를 방지하기 위하여 광 검출과 마그네트론 온도 검출 등의 시스템 보호 기능을 가지고 있으며, 고전압 출력을 고저항으로 분압하고 PWM 제어기에 피드백하여 매우 안정된 출력 전압이 얻어지도록 하였다. 또한 출력 전류를 제한 할 수 있게 하여 광량 조절이 가능하도록 하였다.

PLS는 전극을 사용하지 않고 초고주파에 의해 구동되는 신개념의 조명으로 마이크로파(Microwave)를 이용하여 plasma 상태를 형성해 내는 장치로 전극이 없는 무전극 램프이다. 고주파에 의해 구동되는 PLS는 기존 광원과 비교하여 전극을 사용하지 않는 만큼 그 수명이 길고, 휘도, 광효율, 연색지수, 광 스펙트럼 등 기본 광 특성이 상이하게 나타난다. 기존의 형광등이나 메탈 할라이드 램프는 불연속적인 스펙트럼이 나타나는 반면 PLS는 자연 백색광에 가까운 연속적인 스펙트럼을 나타낸다. 그림 1에 그 특성을 나타내었다. 이러한 특성으로 인해 빛 환경이 기존 램프와 차별화된 만큼, 관련 응용기술과 장치의 최적화 개발에 힘쓰고 있다.

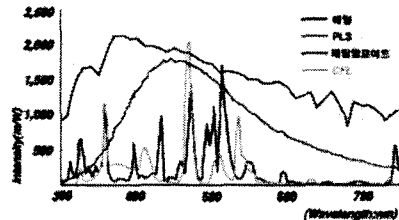


그림 1 각 램프별 광스펙트럼
Fig 1 Light spectrum of Lamps

지금까지 통상적으로 사용되는 PLS의 마그네트론 구

동용 전력변환 장치는 성층 철심형 HVT(High Voltage Transformer)를 이용한 방식을 적용하고 있다. 그림 2에 이 방식의 회로도를 나타내었다. 이것은 상용전원 전압을 트랜스로 승압한 후, 배전압 회로로 마그네트론의 발진 전압까지 더욱 승압하여, 마이크로파를 발생시키는 방식이다. 그러나 고주파출력이 1,000W급 이상으로 대용량화 될수록 HVT와 배전압용 고압 커패시터는 상용 주파수를 사용하므로 고용량 저효율 및 출력 한계성 등의 단점을 지닌다. 이에 최근 전력용 반도체 소자 성능과 응용기술이 발달하여 인버터 방식의 전원장치를 PLS에 적용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.^[1]

본 논문에서는 PLS용 마그네트론 구동을 위한 고압전원 발생장치로서 기존의 스위칭 기술을 적용하여 고속 스위칭을 통한 시스템의 소형, 경량화 및 고 전력밀도를 가지는 전원장치를 개발하여 그 특성을 고찰 하였다.

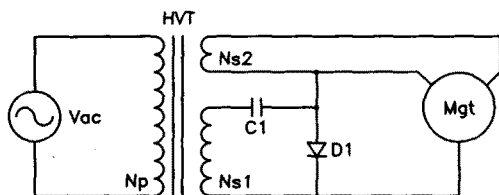


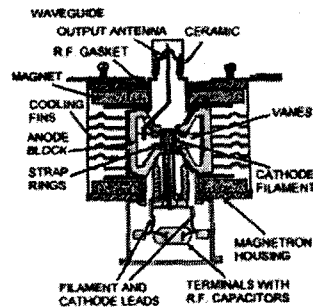
그림 2 HVT 방식의 회로도
Fig. 2 Main Circuit of HVT methode

II. 마그네트론

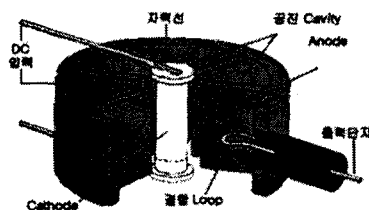
2.1 마그네트론의 특성

마그네트론은 2450MHz의 microwave energy를 만드는 다이오드 타입의 전자관(electron tube)이다. 마그네트론은 그림 3의 (a)에 나타낸 것과 같이 양극(anode), 필라멘트/음극(filament/cathode), 영구자석 등으로 구성된다. 그림 3의 (b)와 같이 원통형 2극관의 양측에 공진기(공진공간)를 두고 축 방향으로 강 자계를 인가하면, 음극에서 방출된 전자의 운동은 양극방향으로 가속됨과 동시에 자계에 의해 원주방향으로 휘게 된다. 이때 전자는 원주방향으로 속도가 변조되며 집군과 공진기에 의한 여진(勵振)을 되풀이하여 발진에 이른다.

그림 4에 마그네트론 양극 전류에 대한 전압, 평균 출력 전력 및 필라멘트 전압 특성들을 나타내었다. 통상 마그네트론의 Cutoff 전압은 3~5KV에 달한다. 따라서 마이크로파의 발진을 위하여 Cutoff 전압이상의 전압을 인가하여야 하므로 마그네트론용 전원은 고전



(a) 수직단면



(b) 구조

그림 3 마그네트론의 단면

Fig. 3 Sectional view of a typical Magnetron

압 발생이 가능하고 전력제어가 용이해야 한다.

한편 음극의 전자방출을 위해서는 음극 필라멘트의 가열이 요구되므로 마그네트론용 전원은 이의 전력도 동시에 공급하여야 한다.^[2]

그림 4에 마그네트론의 출력은 양극(anode) 전류에 의해 결정됨을 알 수 있다. 필라멘트/음극에 인가되는 전압을 제어하여 양극(anode) 전류를 제어할 수 있다. 즉, 필라멘트/음극에 인가되는 전압과 전류를 제어하여 마그네트론의 출력을 제어한다.

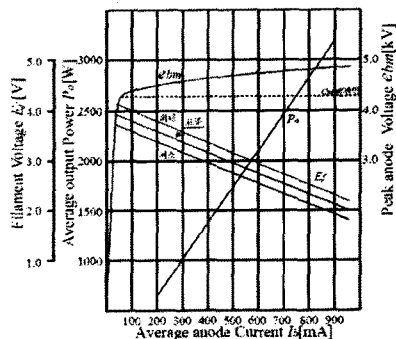


그림 4 마그네트론의 특성

Fig. 4 Characteristics of Magnetron

2.2 마그네트론의 동가회로

마그네트론의 음극에 Cutoff 전압이상의 고전압을

인가하여 전자의 방출에 의한 전류가 흐르게 될 때까지 마그네트론은 큰 저항부하(R_0)로 취급되는 한편, 발진 후에는 Cutoff 전압을 갖으며 한 방향으로 전류가 흐르는 저항부하(R_0)가 된다. 그러므로 전류의 방향을 나타낸 다이오드 D, 클램프전압을 표시한 제너다이오드 D_z 와 저항 R_1 으로 등가화 할 수 있다. 필라멘트는 저항(R_h)과 인덕터(L_h)로 등가화 할 수 있다. 마그네트론의 전기적 등가회로를 그림 5에 나타내었다.[3]

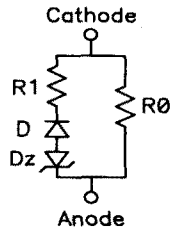


그림 5 마그네트론 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of Magnetron

III. 인버터 전원장치

3.1 PLS 시스템

그림 6에서 처럼 PLS는 Micro-controller와 Inverter 그리고, Magnetron 유닛으로 구성된다. 인버터는 AC 입력을 마그네트론을 구동 가능한 고 전압과 전류를 만들고 마그네트론 유닛에는 마그네트론과 가스가 주입된 발광용 Bulb와 그 회전 모터가 있다. 마이크로 컨트롤러에서는 점등과 소등 시 Bulb 냉각 그리고, 마그네트론 유닛의 온도와 광 상태를 실시간으로 검출하며, 입력 전원 상태 등을 체크하여 시스템을 안정적으로 유지시켜 준다.

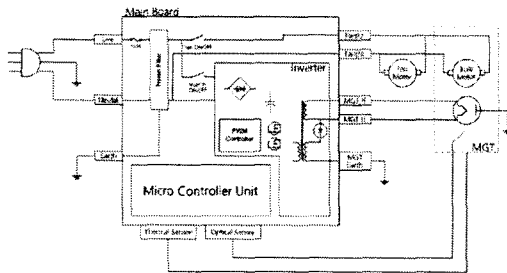


그림 6 PLS 구조
Fig. 6 Diagram of Plasma Lighting System

3.2 인버터 회로구성^[4]

그림 7에 마그네트론 구동용 Push-Pull 방식의 인버터의 주 회로 구성을 나타내었다. 입력 정류 브릿지

다이오드, 평활필터(C), 2개의 IGBT를 이용한 Push-pull 고주파 인버터, 3권선의 고주파 트랜스, 배전압 회로 및 필라멘트에 전원공급용 회로로 구성된다. 본 회로는 PWM 방식으로 제어된다. 즉 스위치의 도통시간을 가변 해 줌으로써 출력 전압을 제어한다. 또한 마그네트론에 공급되어지는 전압(E_b)과 전류(I_b)를 직접 분압과 검출 후 feedback을 통한 필라멘트/음극의 전압을 전압/전류 제어하여 출력전력을 제어한다. PWM 제어회로 부는 TL494를 사용하여 구성하였다.

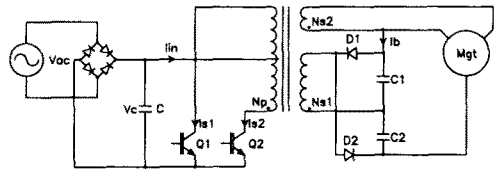
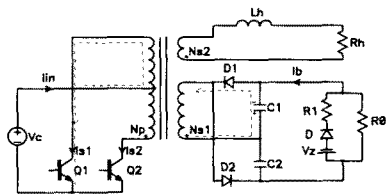


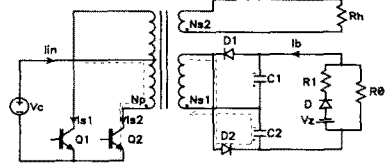
그림 7 인버터의 전체 주회로도
Fig. 7 Inverter Circuit of Plasma Lighting System

3.3 회로 동작

그림 8에 Push-pull 방식의 동작모드를 간단하게 표시하였다. 그림 8의 (a)에서는 Q_1 도통 시에 고주파 트랜스 2차측 전압이 콘덴서 C_1 충전이 되고, 그림 8의 (b)에서는 Q_2 도통 시에 고주파 트랜스 2차측 전압이 C_2 에 충전되는 동작을 나타내었다. 이 두 동작에 의해서 충전된 C_1 , C_2 는 직렬 연결되어 있어 실제 마그네트론에 공급되는 전압은 고주파 트랜스 2차측 전압의 2배가 되어 마그네트론에 공급되어진다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2

그림 8 동작구간별 등가회로

Fig. 8 Equivalent circuit for each operation Mode

IV. 실험 결과

4.1 실험과정

PLS용 인버터 전원장치의 설계사양을 표 1에 나타내었고, 출력 가변 특성을 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 특성은 입력전압 220Vac에서 측정된 결과이다. 실험 파형을 그림 9~10에 나타 내었다.

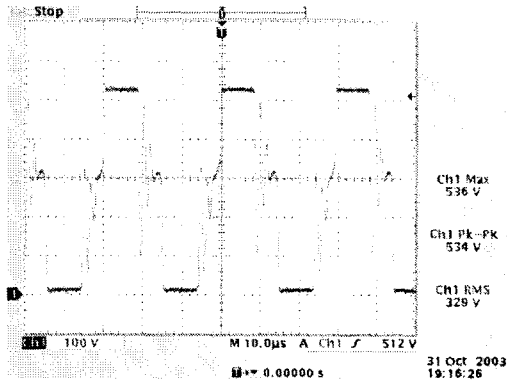


그림 9 Q1 C-E의 전압파형(100/div)

Fig. 9 Collector-emitter voltage waveform(100/div)

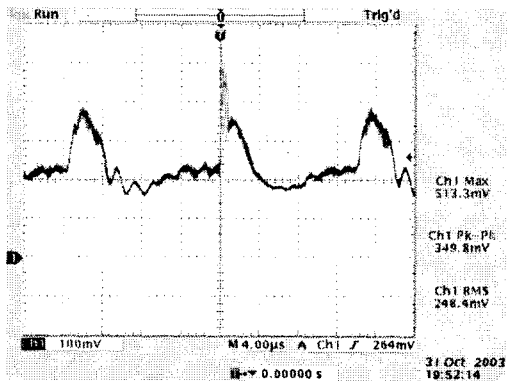


그림 9 Ib 전류파형(100mA/div)

Fig. 9 Ib current waveform(100mA/div)

표 1 설계변수 사양

Table 1 Specifications of design parameter

Vin	176~264Vac
Vin, nom	220Vac
Po	600~900W
fs	60~70KHz

표 2 출력 가변 특성

Table 2 Characteristics of Variable output power

Po [W]	Duty	Pin [W]	효율 [%]
600	0.326	738	88%
750	0.380	917	86%
900	0.442	1134	85%

V. 결론

본 논문에서는 PLS의 마그네트론 구동용 전원으로 Push-pull방식의 AC-DC 인버터를 제안하였고 이의 주회로 및 제어회로와 보호회로를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 입력전압 220Vac, 출력 900W, 스위칭 주파수 60~70KHz 정격의 인버터를 내장한 PLS를 제작하여 실험하였다.
- 2) 제작된 PLS의 제어와 보호회로를 내장한 인버터의 중량은 HVT(High Voltage Transformer)를 사용한 전원장치(약 6kg)와 비교하여 약 1/6(약 1kg)의 경량화를 달성하였다.

참고 문헌

- [1] 김희준, 오덕진, "MICRO WAVE OVEN용 마그네트론 구동을 위한 전원장치개발에 관한 연구" 전력전자학회, 제5권 3호, 2000, PP.300~306
- [2] M.Yasumasa, W.Masaki, T.Yasuo S.Katsunori, "Inverter Power Supply for a Magnetron", Technical Report of IEICE, PE95-19, PP. 17-22, 1995, 7.
- [3] H.Ishiwatari, M.Nakaoka, D.Bessho, K.Yasui, H.Oori, "A Novel Soft-switched DC-DC Converter using ZVS-PWM Control-based High-Frequency Transformer Resonant Inverter For Magnetron Drive", Technical Report of IEICE, PE96-19, PP. 15-22, 1996, 7
- [4] www.onsemi.com