

무전극 램프(Electrodeless Lamp) 구동용 전원장치의 전력제어 특성에 관한 연구

이성근^o, 전수균, 장민규, 김동석, 김윤식
한국해양대학교 전기전자공학부

A Study on the Power Control Characteristics of a Power Supply for Electrodeless Lamp

Sung-Geun Lee, Su-Kyun Jeon, Min-Kyu Jang, Dong-Sok Kim, Yoon-Sik Kim
Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University

Abstract-This paper describes a design of power supply for electrodeless lamp system to be easy to control electric power widely keeping the high power factor. Proposed system is composed of power factor correction(PFC) circuit, half bridge(HB) inverter, high voltage transformer, full wave rectifier to supply dc number kV's magnetron(MGT) anode voltage in the second of high voltage transformer and magnetron. It was confirmed that the proposed circuits can correct the 99.8[%] power factor and control input power of the magnetron up to 33.3[%] linearly by adjusting of pulse frequency of the inverter through the experiment.

1. 서 론

광원의 고효율, 고연색성, 장수명이란 산업적 요구에 의해 무전극 방전등이 출현하여 상용화가 급속히 진행되고 있으며, 수백 W급 이상의 무전극 방전등은 연속펄스 발진 마그네트론에서 발생하는 마이크로파를 광원 구동 장치로 이용하고 있다.

마그네트론은 가전기기는 물론 산업용 마이크로파 유전 가열장치에도 광범위하게 적용되고 있으며, 마그네트론의 구동전원으로는 인버터에 접속된 승압용 변압기의 2차측에 반파 및 배전압 정류회로를 부가하여 얻은 수 kV의 직류 고전압이 사용된다.[1]

인버터 방식을 적용한 일반적인 마그네트론 구동용 전원장치는 반파 또는 전파 배전압 회로를 구성하여 정전력으로 사용하고 있는 경우가 많고, 피가열물에 조사되는 전력제어가 요구되는 곳에는 on-off 제어로 조절하고 있으며, 입력 입력측 정류기와 캐패시터로 인해 역률이 저하하는 경향이 있다. 따라서 마그네트론 구동을 위한 전원장치는 회로구성이 간단하면서도 역률을 높일 수 있도록 설계되어야 한다.

본 연구에서 개발하고자하는 무전극 방전등 시스템(Electrodeless Lamp System, ELS)용 전원장치는 최근 상용화되어 전자렌지에 적용되는 일반적인 인버터방식 전원장치와 동작원리는 크게 다르지 않다. 그러나 사용조건에서보면 전자렌지는 단시간 사용이 일반적이며, 제품 경쟁력 때문에 저가격화실현을 위해 최소한의 기능만 설계한다. 본 연구에서는 고역율을 유지하면서 넓은 범위의 전력제어가 가능한 300[W]급 무전극 방전등용 전원장치를 설계 제작하고, 이를 실험을 통하여 그 효율성을 확인하고자 한다.

2. 회로설계

그림 1은 본 논문에서 설계한 무전극 방전등용 전원장치 구성도이며, 크게 역률 개선회로, HB DC-DC 컨버터, 램프 시스템으로 나누며, HB DC-DC 컨버터는 HB 인버터, 고전압 승압 변압기, 2배압 전파정류회로 등으로 이루어져 있다.

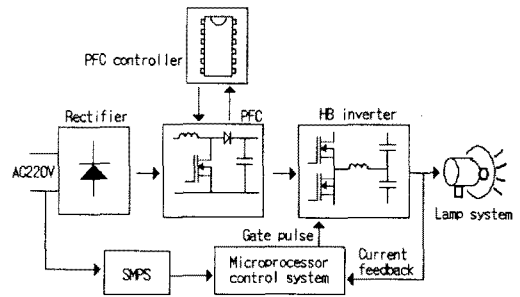


그림 1 무전극 방전등용 전원장치 구성도

2.1 역률개선회로(PFC)

직류전원을 사용하는 정류기의 입력전류 형태는 불연속이며, 이에 대한 영향으로 입력전압의 왜곡과 입력전류의 고조파에 의한 역률 저하는 물론 주변기기의 영향을 들 수가 있다. 총 고조파 왜율(Total harmonic distortion : THD)과 역률(Power Factor : PF)이며 다음과 같은 수식으로 간략화 될 수 있다.

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \quad (1)$$

위 식으로부터 캐패시터 입력형 정류기인 경우, 총 고조파 왜율이 낮아지면 역률이 좋아짐을 알 수가 있다. 즉, 역률 개선회로의 궁극적인 목표는 총 고조파 왜율을 낮게 하는 것이며, 정류기 입력단에서 보면 마치 저항부하인 것처럼 스위칭 전원을 동작시키는 것이다.

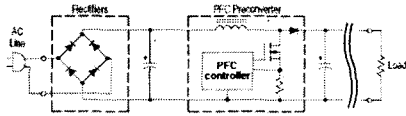
일반적으로 스위칭 전원에서 전원의 역률을 개선하기 위한 회로방식은 수동필터의 평활콘덴서 대신에 인덕터 에너지축적형인 승압형 컨버터(Boost type converter)를 부가한 것이며, 출력전압은 입력전압보다 높게 된다.

그림 2는 역률 개선회로의 개념도와 전류 파형을 나타낸다. 이 경우 컨버터의 입력전압은 앞단의 정류부에서 전파 정류된 전압이 인가되고, 출력전압은 비교적 안정된 직류전압이며, 스위치는 일정한 스위칭 주파수에서 제어된다. 출력전압을 안정화하기 위해 시비율(듀티비, D)로 스위치가 제어되며, 인덕터에 흐르는 전류의 최대치는 다음과 같다.

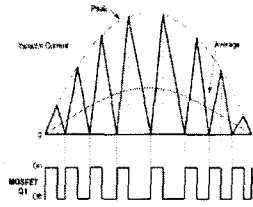
$$I_{in(pk)}^{avg} = \frac{v_{in}^{avg}}{L} = \frac{v_{in} |\sin \omega t|}{L} t_{on} \quad (2)$$

만약 정상상태에서 스위치의 온 시간이 시간에 따라 크게 변하지 않는다면 t_{on} 은 일정한 상수로 근사시킬

수가 있고, 이 때의 입력전류의 최대치는 입력전압과 주기가 같고 크기가 비례하는 형태이며, 결국 인덕터 전류의 평균치는 전압과 동상이다. 따라서 컨버터는 높은 역률을 낼 수가 있으며 그 만큼의 고조파 성분도 저감시킬 수가 있다.[2]



(a) 역률 개선회로의 개념도



(b) 인덕터에 흐르는 전류파형

그림 2 역률 개선 회로의 개념도

본 연구에서는 역률제어전용 IC(MC34262)를 적용하여 300[W]급 역률제어장치를 설계하여 시 제작하였다. 평균 부하전력 300[W] 부하에 대해 입력전압 184 [V]-276[V] 범위에서 출력 400[V]±8[V], 역률 99 [%] 이상을 유지하였다.[3]

2.2 HB DC-DC 컨버터 시스템

그림 3은 HB DC-DC 컨버터 회로이다. HB DC-DC 컨버터는 입력 전압 분할용 캐패시터 C_1 및 C_3 , 구동용 스위칭 소자 g_2 및 g_4 , 캐패시턴스 C_2 및 C_4 , 주 변압기 T_1 으로 구성된다. 변압기 2차측 2 배압 정류회로에 접속된 배압용 캐패시터 C_0 와 C_5 를 이용하여 음의 반주기 및 양의 반주기동안 2차 전압을 충전하여 고, 양의 반주기 동안 충전된 전압과 합쳐져 마그네트론 양극 전압을 형성한다.[4][5]

마그네트론 양극 cut-off 전압은 3000[V]~10,000[V] 범위이며, cut-off 전압 이상을 양·음극 사이에 걸게 되면 전자 방출에 의한 전류가 흐를 때까지 마그네트론은 큰 저항 부하로 동작하며, 마이크로파 발진 후에는 저항 부하가 된다.[6][7]

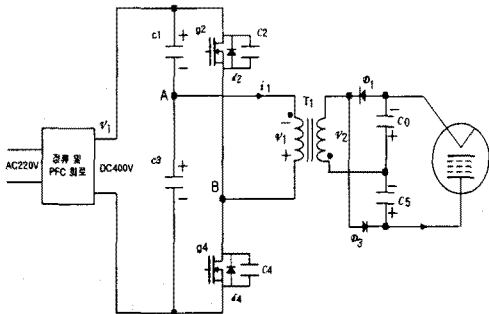


그림 3 HB DC-DC 컨버터 시스템

3. 실험

표 2.1은 본 과제에 사용된 마그네트론 사양이다.

표 2.1 마그네트론 사양

항목	정격
Frequency	3.459[GHz]
Output Power	176[W]
Filament Current	8.7[A]
Anode voltage	3.840[kV]
Efficiency	70[%]

그림 4는 무전극 방전램프 구동 인버터 실험장치이다. 실험에 사용된 장비로는 시 제작된 전원장치와 LG전자에서 제작한 마그네트론이 부착된 무전극 방전램프가 있다.



그림 4 무전극 방전램프 구동 실험장치

그림 5는 최대 입력전력(285[W])일 때 역률 99.8[%]의 입력전압과 전류파형을 나타내고 있다.

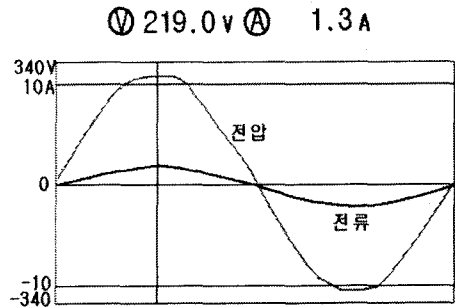


그림 5 입력전압과 전류파형

그림 6은 듀티비를 40[%]로 한 상태에서 주파수가 61[kHz]일 때와 65.8[kHz] 일 때의 마그네트론 입력전압 및 전류파형을 비교한 것이며, 그림 7은 주파수 변화시의 부하운전 특성을 도시한 것이다.

그림 6(a)는 주파수가 61[kHz]일 때로서 마그네트론 입력전압은 3420[V], 전류는 77[mA]이며, 그림 6(b)는 주파수가 66[kHz] 일 때로서 마그네트론 입력전압은 3730[V]이며, 입력전류는 58[mA]이다.

4. 결 론

본 연구에서는 무전극 방전램프 구동용 HB DC-DC 컨버터를 시제작하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 특성을 확인할 수 있었다.

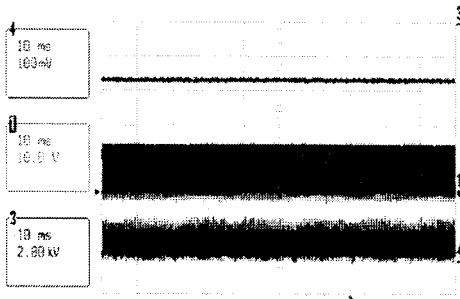
1) 역율개선 전용소자를 사용하여 PFC 정류회로를 시스템에 부가한 결과 역율 99.8[%]의 높은 특성을 얻을 수 있었다.

2) 주파수 변화에 대해 9.7[%]의 MGT 입력전압 변동에 비해 33.3[%]의 넓은 범위의 출력 제어를 할 수 있어 무전극 방전등용 전원장치로 사용될 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

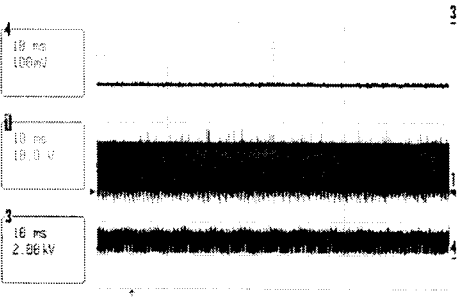
본 연구를 위한 산업자원부 주관 “IMT2000/전통산업의 IT접목기술개발사업”의 지원을 감사드립니다.

[참고문헌]

- [1] 오택진, 김희준, “Microwave oven용 마그네트론 구동을 위한 전원장치 개발에 관한 연구”, 전력전자학회 논문지 Vol.5 No. 3, pp. 300-302, 2002. 6.
- [2] 최태영, 류동균, 이우석, 안정준, 원충연, 김수석, “능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 역율개선에 관한 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제15권 제6호, pp. 49-57, 2001. 11.
- [3] Semiconductor Components Industries, LLC, datasheet. pp. 1-20, 2001
- [4] 김희준, “SMPS 기본 설계, 공진형 컨버터”, Technical Series, EP&C, PP. 96-106, 2000
- [5] 김희준, “스위치 모드 파워 서플라이”, 성안당, pp.35-36.
- [6] 정용채, 한성진, “배터리 구동 전자레인지용 위한 적렬공진형 풀브릿지 인버터”, 전력전자학회 논문지, 제7권, 제2호, pp.165-170, 2002. 4.
- [7] E. Miyata, S. hishikawa, K. Matsumoto, M. Nakaoka, D. Bessyo, K. Yasui, I. Hirota and H. Omon, “Q uasi-resonant ZVS-PWM Inverter fed DC-DC Converter for Microwave Oven and Its Input Harmonic Current Evaluations”, IEEE IECON Rec., Vol 2, pp. 773-778, 1999.



(a) f=61[kHz]



(b) f=65.8[kHz]

그림 6 마그네트론 입력전압 및 전류 파형
(상 : 전압(2.0kV/div), 하 : 전류(0.1A/div))

그림 7에서 입력 최대전력 285[W]에서 최소전력 190[W]까지의 주파수 제어는 61[kHz]에서 69[kHz]까지이며, 입력전력 변동율은 33.3[%], MGT 입력전압 변동율은 9.5[%], MGT 입력 전류 변동율은 37.7[%]이다.

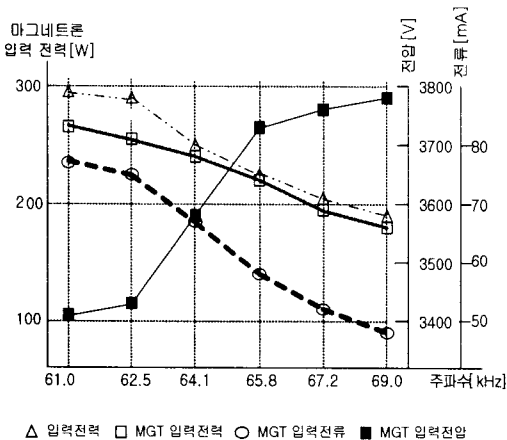


그림 7 부하운전 특성