

70W 세라믹 방전관 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기 개발에 관한 연구

°김일권* · 길경석* · 이성근* · 김진모**

*한국해양대학교 전기공학과

**태양전자(주) 기술연구소

A Study on the Development of an Electronic Ballast for 70W Ceramic Discharge Metal Halide Lamps

°Il-Kwon Kim*, Gyung-Suck Kil*, Sung-Keun Lee*, Jin-Mo Kim**

*Korea Maritime University

**Tae Yang Electorincs Co.

E-mail : kilgs@kmaritime.ac.kr

요 약

본 논문은 70[W]급 세라믹 방전관 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기의 설계와 제작에 대하여 기술하였다. 제안한 안정기는 정류기, 능동성 역률개선회로, 하프브리지 인버터, LC 공진회로 및 제어회로로 구성되며, 램프의 재점등에 필요한 타이머 기능을 추가하였다. 점등시 램프에는 음향공명현상과 플리커 현상을 피하기 위하여 45[kHz]의 고주파 전압이 인가되도록 설계하였다. 실험결과로부터 역률과 효율은 각각 91[%], 97.7[%]로 평가되었다.

ABSTRACT

This paper describes a design and fabrication of an electronic ballast for 70[W] ceramic discharge metal halide lamps. The proposed ballast is composed of a rectifier, an active PFC, a half-bridge inverter, a LC resonant circuit and a controller. The design also includes a specially designed time circuit which provides reignition of the lamp. Running frequency of the ballast is set at 45[kHz] to avoid acoustic-resonance and flicker. From the test results, input power factor and efficiency of the ballast were estimated 91[%] and 97.7[%], respectively.

키워드

Electronic Ballast, Ceramic Discharge Metal Halide Lamps, Half-bridge, LC Resonant Circuit

1. 서 론

최근 산업기반 시설확충에 힘입어 고압방전램프의 수요가 급격히 성장하고 있다. 특히 메탈할라이드 램프는 연색성이 뛰어나고 고효율, 긴 수명 등의 많은 장점을 가지고 있어 에너지 절약 측면에서 각광을 받고 있다. 방전램프의 특성상 필수적으로 따르게 되는 안정기는 소형, 경량화, 에너지 절감을 실현하기 위하여 점차 자기식에서 전자식 안정기의 개발이 이루어지고 있다. 그러나 국내의 전자식 안정기는 기술적 어려움과 가격경쟁력에 의해 소용량(30~100[W]) 중심의 개발이 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 구성이 간단한 70[W]급 세라믹 메탈할라이드용 전자식 안정기를

설계·제작하였다.

음향공명현상을 피하면서 안정기의 소형, 경량화를 실현하기 위해 45[kHz]의 고주파점등방식을 적용하였다[1][2]. 램프의 점등은 인버터의 주파수를 가변하여 LC 직·병렬 공진회로에 의한 최대 4[kV_{peak}]의 고전압을 발생시켜 추가적인 이그나이터 없이 구현하였다[3]. 또한 역률개선 및 램프 출력에 리플성분을 줄이기 위하여 PFC를 적용하여 일정한 직류전압을 인버터에 공급하였다. 추가적으로 램프의 점등 이상 및 실패시 타이머를 이용하여 일정시간 후 재점등을 할 수 있도록 설계하였다.

II. 전자식 안정기의 설계

2.1 안정기의 기본 구성

그림 1은 본 연구에서 설계·제작한 전자식 안정기의 개략적인 구성도를 나타낸다. 정류기를 통하여 전파정류된 전압은 PFC 회로에 의해 400[V]의 직류전압으로 승압되어 하프브리지 인버터에 인가된다. 안정한 입력전원과 램프의 유무를 판단한 제어기는 하프브리지 인버터에 게이트 신호를 출력하여 주파수를 가변하면서 램프점등을 시도한다. 인버터의 구형파 출력전압의 주파수가 LC 공진회로의 공진점에 다르면 램프 양단에 고전압이 발생하며, 약 1[kV] 이상의 전압에서 램프가 점등된다. 램프가 점등되면 제어기는 램프에 흐르는 전류를 검출하여 인버터의 게이트 신호를 설정한 동작주파수로 고정한다. 만일 램프점등이 실패하거나 램프 이상에 의해 소등되었을 경우, 타이머는 제어기의 전원을 차단하고 약 2분간을 카운트 한 뒤 다시 제어기에 전원을 투입한다. 램프가 점등되었다면 타이머의 출력은 리셋되어 동작을 중지하고 램프가 점등되지 않았다면 다시 제어기의 전원을 차단하고 카운트를 반복한다.

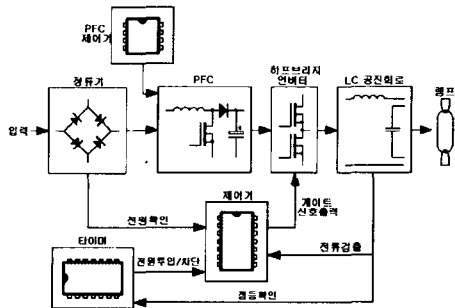


Fig. 1 Configuration of the electronic ballast

2.2 PFC 회로

하프브리지 인버터에 안정적인 직류전압을 공급하며, 역률을 개선하기 위하여 그림 2와 같이 PFC 회로를 구성하였다. 정류기를 거쳐 전파정류된 전압은 다이오드 DPFC를 통하여 PFC 제어기 및 하프브리지 인버터에 인가되고, 램프가 점등되면 LC 공진회로에 연결된 제너다이오드에 의해 D1을 통하여 PFC 제어기에 전원이 인가된다. 제어기는 FET에 게이트 신호를 출력하고 FET 동작에 의하여 인덕터 LPFC의 2차측에 전압이 유도된다. R3, R4와 R9에 의해서 분압된 출력전압이 1번핀으로 공급되면, 제어기의 내부에 PWM이 출력전압에 따라 duty비를 조절하므로써 PFC 회로의 최종 출력전압을 일정하게 유지한다. 또한 LPFC의 1차측에 유도된 전압은 5번핀에 공급되어 정류기를 통하여 인가되는 전압의 크기에 따라 duty비를 조절하므로써 입력전압이 변하더라도 출력전압은 항상 일정하게 유지시킨다.

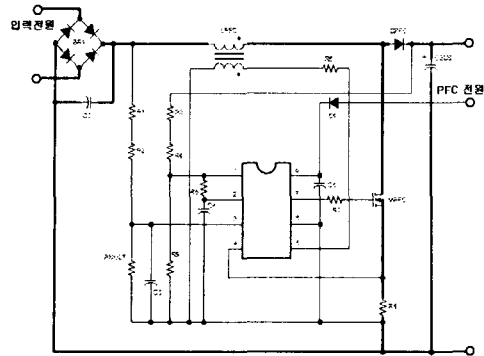


Fig. 2 An active power factor correction circuit

2.3 하프브리지 인버터 회로

그림 3은 본 연구에서 설계·제작한 전자식 안정기의 하프브리지 인버터 회로를 나타낸 것이다. C1은 FET Q1과 Q2에 의해 발생하는 정극성 구형파 전압을 교류로 변환하여 인덕터에 전달하는 블러킹 캐패시터이다. 램프의 임피던스는 부성 저항특성을 갖는 단순한 저항으로 취급할 수 있고, 초기 점등은 L과 C2의 공진에 의하여 구현된다. 인버터의 동작에 있어서 반드시 Q1과 Q2는 동시에 도통되는 경우가 없도록 dead time(1.2μs)을 설정해야 한다.

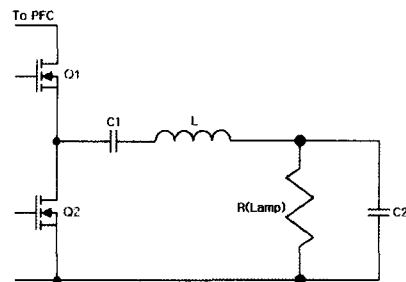


Fig. 3 Half Bridge and L-C resonant circuit

Q1이 턴온되면 PFC의 출력전압은 C1에 인가되고 충전전류가 인덕터 L에 흐르게 된다. Q1이 턴오프되면 dead time 동안 인덕터의 전류는 지수적으로 감소하면서 흐르게 되고 인덕터의 흐르는 전류가 0이 되었을 때, Q2가 턴온된다. Q2가 턴온되면 C1이 방전하면서 Q1이 턴온되었을 때와는 반대방향으로 인덕터 L에 전류가 흐르게 되며 Q2가 턴오프되면 마찬가지로 역으로 흐르던 인덕터의 전류는 dead time동안 지수적으로 감소하여 0이 된다.

2.4 제점등 회로

그림 4는 타이머를 이용한 제점등 회로를 나타낸 것이다. PFC 출력전압은 RVDD를 통하여 타이머에 전원을 공급하고 램프가 점등되었을 때

LC 공진회로에 연결되어있는 제너다이오드에 의한 전압이 M5의 게이트에 입력되어 FET가 동작한다. FET가 턴오프되면 리셋단자인 12번핀에 제너다이오드 DVCO의 전압이 인가되므로 램프가 점등되었을 때에는 타이머는 항상 리셋되어 동작을 정지한다. 만약 램프가 소등되면 FET M5의 게이트에 입력되던 전압이 발생하지 않으므로 M5는 도통을 멈춘다. M5가 턴오프되면 12번핀에 입력된 신호는 제거되므로 타이머가 동작하게 된다. 여기서 RT1, RT2와 CT의 충·방전회로는 타이머의 발진회로이며, 충·방전 시정수에 따라 타이머의 동작시간이 결정된다. 주파수가 서로 다른 출력신호는 다이오드 DQ5~DQ10을 통하여 출력되고, RSD1을 거쳐 FET M4의 게이트에 입력되어 전자식 안정기 제어회로의 전원검출부를 접지로 강제 단락시킨다. 적절한 전원입력이 검출되지 않으면 전자식 안정기 제어기는 내부동작에 의하여 하프브리지 인버터의 게이트신호를 중지하고, 이로 인하여 전자식 안정기의 모든 회로는 정지상태가 된다. 일정시간(2분)이 지난 후 타이머는 M4의 게이트 신호를 멈추면 M4는 턴오프되고 전자식 안정기 제어기의 전원검출부에 전원이 인가되어 다시 재점등을 시도한다.

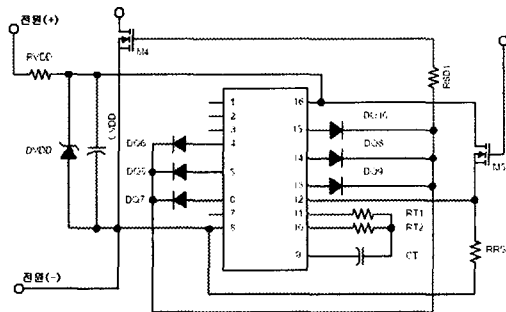


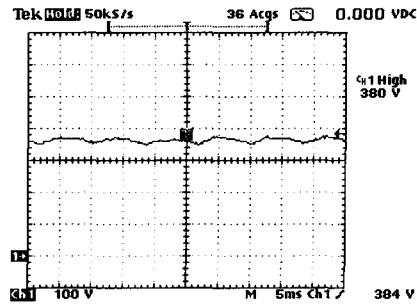
Fig. 4 Reignition circuit

III. 실험결과 및 고찰

3.1 PFC의 출력파형

그림 5는 램프 동작시 PFC의 출력파형이다. 무부하시에는 400[V]의 일정한 직류전압을 나타내었지만 램프 점등시 급격한 부하 임피던스의 변화에 의해 380[V]로 전압강하가 발생하였다.

점등시 PFC 출력은 120[Hz]의 리플성분을 포함하고 있지만 크기가 작고 램프 출력에 깜박임(Flicker)이 관측되지 않기 때문에 안정기의 출력특성에 커다란 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

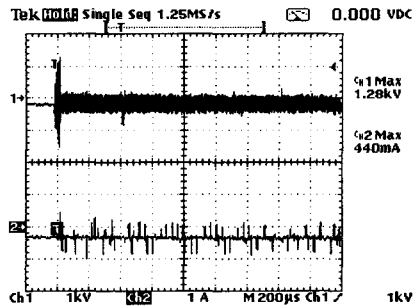


전압[100V/div, 5ms/div]

Fig. 5 Typical output voltage waveform of the active PFC

3.2 점등시 전압·전류 파형

그림 6은 점등시의 램프 양단의 전압·전류파형을 나타낸다. 하프브리지 인버터의 출력 주파수가 80[kHz]에서 점차 40[kHz]까지 감소하면 LC 공진에 의해 램프 양단에 고전압이 인가되고 1.28[kV_{max}]에 도달하자 램프가 점등되었다. 점등시에는 램프의 임피던스가 급격히 낮아지기 때문에 파형에는 440[mA_{max}]의 전류가 측정되었지만, 실제 3[A_{max}]의 높은 피크 전류도 관측되었다.



상 : 전압[1kV/div, 200µs/div]
하 : 전류[1A/div, 200µs/div]

Fig. 6 Typical lamp voltage and current during ignition

3.3 점등특성

램프 점등후, 하프브리지 인버터의 출력 주파수는 음향공명현상이 나타나지 않는 주파수인 45[kHz]로 고정되었고 램프의 임피던스가 시간에 따라 점차 증가되면서 램프전압도 비례적으로 증가하는 부정저항특성을 나타내었다. 고주파점등방식에 의해 아크전압이 감소하기 때문에 완전점등시간은 자기식 안정기에 비하여 빠른 약 2분 정도로 관측되었다. 그림 7과 그림 8은 이때의 관전압·관전류 파형이며, 각각의 크기는 96[V_{max}] 및 782.4[mA_{max}]로 측정되었다.

본 연구에서 제작한 전자식 안정기의 입·출력특성을 나타낸 것이다. 입력특성은 완전점등시 입력전압·전류, 입력전력, THD 및 역률을 전력분석기(THS 720P, Tektronix)로 측정하여 표 1에 나

타내었다.

IV. 결 론

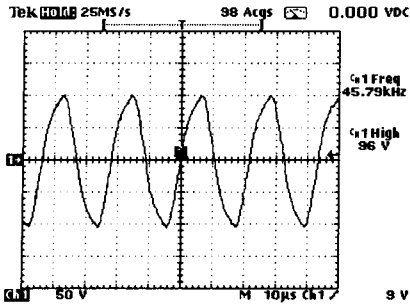
본 연구에서는 70[W]급 세라믹 방전관 메탈할라이드용 전자식 안정기를 설계·제작하였다. 음향공명현상을 피하면서 소형·경량화를 실현하기 위해 45[kHz]의 고주파 점등방식을 적용하였으며, 결과는 다음과 같다.

- 1) 하프브리지 인버터의 출력주파수를 가변하므로써 별도의 이그나이터 없이 LC공진에 의한 점등을 구현하였다.
- 2) 능동성 PFC 회로를 적용하여 램프의 출력 및 입력 역률을 향상시킬 수 있었다.
- 3) 타이머 회로의 구성으로 램프의 점등 실패 또는 정전등으로 인한 소등시 재점등이 가능하도록 하였다.
- 4) 70[W] CDM 램프를 제안한 안정기로 점등시 관전압 및 관전류는 96[V_{max}], 1.22[A_{max}]이었으며, 역률 및 효율은 각각 91[%], 97.7[%]로 평가되었다.

향후 부스트 컨버터 및 하프브리지 인버터의 고속스위칭에 의한 고주파 노이즈를 제거하기 위한 최적 필터의 적용으로 입력 역률의 향상과 EMI 대책에 대한 연구를 수행할 것이다.

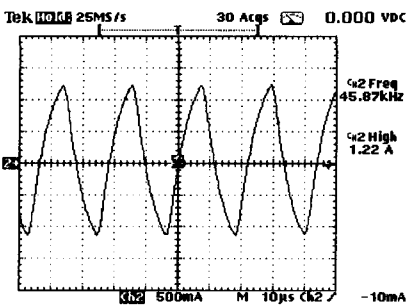
참고문헌

- [1] 조호찬 외, "HID Lamp용 전자식 안정기의 시뮬레이션 개발", 조명·전기설비학회논문지, Vol. 6, No. 2, 2002
- [2] 강도형 외, "RCD 스너버 및 준구형파를 이용한 250[W] HPS lamp용 전자식 안정기 개발", Journal of KIIEE, Vol. 16, No. 2, 2002
- [3] 강범석 외, "고압 나트륨 램프용 고역률 전자식 안정기에 관한 연구", 대한전기학회 전력전자연구회 춘계학술연구발표, Vol. 3, pp.14~18, 1999



전압[50V/div, 10µs/div]

Fig. 7 Typical lamp voltage during running



전류[500mA/div, 10µs/div]

Fig. 8 Typical lamp current during running

Table 1 Test results

구 분	측 정 값
입력전압	217.3[V _{rms}]
입력전류	381.3[ma _{rms}]
입력전력	72.03[W]
역률	91[%]
T H D	44.6[%]
램프출력	70.39[W]
효 율	97.7[%]

램프에 소비되는 전력은 오실로스코프에 내장된 연산기능을 이용하여 전압과 전류의 곱에 대한 실효치로 계산하였다. 또한 효율은 입력전력과 램프출력의 비를 백분율로 계산하여 나타낸 것이다.

본 연구에서 제작한 전자식 안정기는 입력단에 필터를 적용하지 않았기 때문에 입력전류가 많은 고조파 성분을 포함하고 있었다. 역률은 THD와 역수의 관계가 있으므로 적절한 필터를 적용하여 고조파 함유를 억제한다면 고역률을 실현할 수 있을 것이다.