

## 구형 저주파 구동 MHD 램프용 전자식 안정기 개발

박종연 김기정  
강원대학교 전기공학과

### Development of Electronic Ballast Driving with Low Frequency Square Wave for MHD Lamps

Chong-Yeun Park Gi-Jung Kim

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

**Abstract** - We have development the electronic ballast for metal halide discharge (MHD) lamp. The ballast consists of the boost pre-converter for power factor correction (PFC), a flyback a converter, half-bridge inverter and ignitor.

To reject acoustic resonance phenomena, we have designed electronic ballast driving with the low frequency square wave.

As results of this study, the ballast had not flicker phenomena and promoted corrected the factor(PF) highly

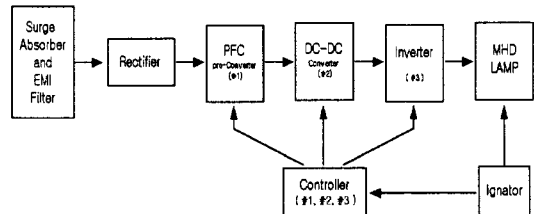


그림1. 메탈할라이드 방전램프용 전자식 안정기

## 1. 서 론

MHD 램프용 안정기를 전자화 하는데 가장 큰 장애요인은 음향공명현상으로 인한 아크의 불안정 때문에 심한 플리커가 발생하여 불쾌감을 준다. 일반적으로 음향 공명 현상 제거 방법으로는 방전관내의 음향공명주파수 대역이 아닌 수십 kHz이상의 고주파 대역을 전원 구동 주파수로 한 사인파형으로 방전등을 점등하였다.<sup>(1-3)</sup> 그러나 이와 같은 고주파는 노이즈 발생의 원인이 되므로 본 연구에서는 공명현상을 일으키지 않는 저주파 대역을 택하고 순시치 변화가 없는 구형파를 램프 전원에 공급하는 전자식 안정기를 설계하였다. 제품 설계는 입력전원을 120V, EMI필터로 노이즈를 제거하였으며 역률개선을 위해 PFC(Power Factor Correction)IC칩을 이용한 액티브 평활필터를 만들고 DC-DC컨버터는 자력식 플라이백(Fly Back)컨버터를 이용하여 인버터에서 필요로 하는 정전압 DC를 공급하도록 하였다.<sup>(5)</sup> 인버터 회로는 MOSFET 스위칭 소자를 사용한 타력식 하프브리지(Half-Bridge)방식으로 MHD램프에 80Hz의 구형파를 공급하여<sup>(5,6)</sup> 음향공명 현상이 없고 역률이 98%이상 개선된 70w MHD 램프용 전자식 안정기를 개발하였다.

## 2. MHD 램프 전자식 안정기 설계

### 2.1 안정기의 구성

MHD(Metal Halide Discharge) 램프의 음향공명 현상인 플리커를 제거하기 위하여 방전등의 공명주파수 대역이 아닌 저주파(80Hz) 대역의 전원주파수를 구형파 형태로 램프에 인가하도록 MHD 전자식 안정기를 그림1과 같이 구성하여 나뉜 등 외부 임펄스성 노이즈 및 MOSFET 스위칭에 따른 내부 노이즈 제거를 위한 필터 회로, 역률 개선은 PFC (Power Factor Correction)용 IC칩을 이용한 스위칭 초과형 능동필터회로, 인버터에 정전압 DC를 공급하기 위한 절연형 DC-DC컨버터회로, MHD 램프에 구형파 AC 전원을 공급하기 위한 인버터회로, 램프의 초기점등 전압 공급을 위한 이그나이터회로 등으로 구성하였다.

### 2.2 역률개선(PFC) 회로 동작원리 및 설계

써지흡수 및 EMI필터는 일반적인 회로로 설계하였고 역률개선을 위한 회로는 그림2와 같이 수동필터의 평활 콘데서 대신에 승압형 초과 컨버터(Boost converter)를 부가한 것이며 이는 입력전압보다 출력전압을 높게 하는 비절연 스위칭 레귤레이터이다. 브리지 정류기로 양과정류된 백류파형을 수십 kHz이상의 주파수로 전주기에 걸쳐 스위칭한다. 이렇게 하면 입력전류파형은 순사인파 모양이 되어 전압과 동상이 되므로 역률이 개선된다.

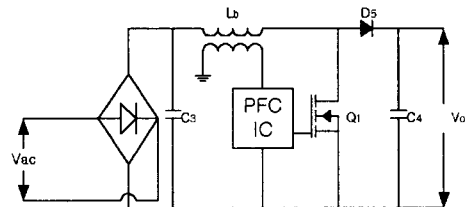


그림2. 승압형 역률개선회로

바이패스 커패시터  $C_3$ 의 소자값은 1uF이고 평활용 커패시터  $C_1$ 는 220uF이다. MOSFET  $Q_1$ 는 N채널 증가형 IRF730이며, 역률개선용 PFC IC는 MC34262이고 다이오드  $D_3$ 는 MUR480이다.

그림2에서 출력전력  $P_0=70(w)$ , 출력전압  $V_0=200(v)$ 을  $\eta=0.9$ , 스위칭 주파수  $f_s=50(kHz)$ 이며 입력전압  $=120(v)/60(Hz)$ , 주기  $t=20 \times 10^{-6}(sec)$ 이다.

$L_b$ 에 흐르는 피크 전류크기는 식(1)에 의하여 구하고

$$I_{PK} = \frac{2\sqrt{2}P_0}{\eta V_{ac}} \dots \dots \dots (1)$$

$L_b$ 의 값은 식(2)에 의하여 구하였다.

$$L_b = \frac{(\frac{V_0}{\sqrt{2}} - V_{ac})\eta V_{ac}^2}{\sqrt{2}V_0P_0} \dots \dots \dots (2)$$

식(1)의  $I_{PK}$ 값은 1.838(A)이고 식(2)의  $L_b$  값은 422(uH)이다.  $L_b$ 의 코어는 페라이트 EE2525F이며 1차 권선  $N_p$ 의 턴수는 식(3)에 의하여 구하고

$$N_p = \left(\frac{L_b \times I_{PK}}{B_{max} \times A_e}\right) \times 10^4 \dots \dots \dots (3)$$

여기서,  $B_{max}$ 는 삼화코어 매뉴얼에 의한 수치로 2480(Gauss)이고 유효단면적  $A_e=0.518(cm^2)$ 이다.  $N_s$ 는 식(4)에 의하여 구하였다.

$$N_s = \frac{N_p \times V_i}{V_o} \dots \dots \dots (4)$$

식(3)과 식(4)에서 1차권선은 표피효과를 줄이기 위해 0.3φ를 4가닥 꼬아 60턴으로 하고 2차권선은 0.3φ를 5턴으로 하되 결합계수를 높이기 위하여 샌드위치 방식을 이용했다. 공극의 결정은 식(5)에 의하고

$$l_g = \left( \frac{\mu \times N_p^2 \times A_e}{L_p} \right) \times 10^{-1} \dots \dots \dots (5)$$

공극의 크기는 0.555(mm)이며 공극을 정밀하게 하도록 Diamond\_Milling을 이용하여 연마하였다.

### 2.3 DC-DC컨버터 회로 동작 원리 및 설계

DC-DC 직류 안정화 전원회로 설계는 그림3과 같이 출력 트랜스를 사용하여 입력과 출력사이를 절연하였고 출력측은 인버터에 필요한 DC전압을 공급하기 위하여 스위칭 MOSFET를 사용하고 정류는 콘덴서 입력형으로 한 자려형 플라이 백(Fly Back) 컨버터로 구현하였다.

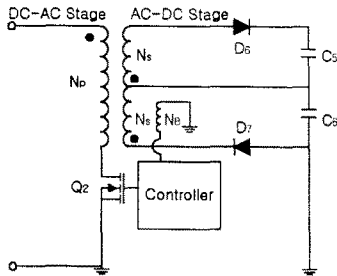


그림3. 플라이 백 컨버터

동작원리는 트랜스의 1,2차 권선이 역극성이므로 MOSFET(Q<sub>2</sub>)가 ON하면 2차측은 개방상태가 되어 1차권선(N<sub>p</sub>)내의 자계에너지가 2차측에 전달되지 않고 1차권선의 자속밀도를 증가시키기 위하여 축적된다. MOSFET(Q<sub>2</sub>)가 Off 하는순간 2차권선(N<sub>s</sub>)에는 Q<sub>2</sub>의 On 상태와 반대 극성의 전압이 유도되어 다이오드 D<sub>6</sub>, D<sub>7</sub>를 도통시킴으로써 2차권선에 축적된 에너지가 출력측으로 플라이 백 하게 된다.

트랜스의 1차권선 N<sub>p</sub>의 전류 i<sub>1</sub>은 톱니파형이므로 이때의 피크값 i<sub>1p</sub>는 입력전류 평균값의 4배가 된다. 전력 변환 효율을 η로 하면 피크값 i<sub>1p</sub>는 식(6)과 같다.

$$i_{1p} = 4 \times \frac{1}{\eta} \cdot \frac{P_o}{V_{iN}} \dots \dots \dots (6)$$

여기서, V<sub>iN</sub>는 입력전압으로서 DC 200v 이며 P<sub>o</sub>는 출력전력으로 70w이고 η는 0.9로 하였다. N<sub>p</sub>의 인덕턴스 L<sub>p</sub>는 식(7)과 같으며,

$$L_p = \frac{V_{iN}}{i_{1p}} \times t_{on} \dots \dots \dots (7)$$

여기서 t<sub>on</sub>은 최대값으로서 0.5로 하였다.

트랜스의 1차권수 N<sub>p</sub>는 식(8)과 같다.

$$N_p = \frac{V_{iN} \cdot t_{on}}{AB \cdot A_e} \times 10^8 \dots \dots \dots (8)$$

여기서 AB는 코어의 자속밀도 변화량이며 페라이트 코어는 온도에 따라 최대자속밀도 B<sub>m</sub>이 변화한다. 일반적으로 100℃에서 B<sub>m</sub>은 3500 - 4000 가우스 정도이고 B<sub>m</sub>값에 마진율 20 - 30%를 더 한 값의 60%를 AB값으로 하였다.

L<sub>p</sub>는 각각 출력전압 V<sub>o</sub>=110v, 정류다이오드의 전압강하를 V<sub>F</sub>=1(V)로하여 식(9)와 같이 하였고

$$L_s = \frac{V_o + V_F}{I_{2p}} \cdot t_{off} = \frac{V_o + V_F}{4 \times I_o} \cdot t_{off} \dots \dots \dots (9)$$

인덕턴스는 권수의 제곱에 비례하므로 역산하면 N<sub>s</sub>는 식(10)과 같다.

$$N_s = \sqrt{\frac{L_s}{L_p}} \cdot N_p \dots \dots \dots (10)$$

트랜스의 겹은 식(5)로 구하였다. 각각의 계산 값은 i<sub>1p</sub>=1.11(A), L<sub>p</sub>=1.98(mH), L<sub>s</sub>=396(μH)이며 트랜스 코어는 페라이트 EI3026S를 사용하여 1차권선 N<sub>p</sub>는 0.3φ를 2가닥으로 꼬은 것을 3개로하여 70턴, 2차권선 N<sub>s</sub>는 0.3φ를 6가닥으로 하여 35턴씩 각각 감고 N<sub>p</sub>는 0.3φ를 10턴 감았다. 컨트롤러는 MC34262이고 다이오드 D<sub>6</sub>, D<sub>7</sub>는 MUR480이다. C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>는 분압용으로 DC 250V급 1.5μF이다. 겹중이의 두께는 1/2인 0.4(mm)를 사용하였다.

### 2.4 하프브리지 (Half-Bridge) 인버터회로

직류전원으로부터 메탈할라이드 방전램프의 구동을 위한 인버터(Inverter)회로는 그림4와 같이 타려식 방식으로 구성하였다.

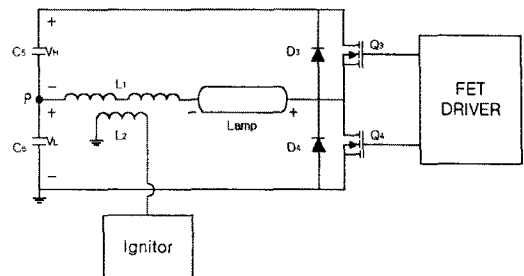


그림4. 단상 하프브리지 인버터

그림4와 같은 단상 하프브리지 인버터는 스위칭 소자인 MOSFET가 Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>로 2개이지만 MOSFET의 드레인 소스간에 다이오드가 내장된 형태이므로 4개의 전력 반도체 스위치가 있다. 이러한 단상 하프브리지 인버터는 스위치의 제어상태와 부하전류의 방향에 따라 4가지 동작 모드를 갖는다.

모드1 : 전류가 V<sub>H</sub> → Q<sub>3</sub> → 램프 → V<sub>H</sub>의 순서로 흐른다.

모드2 : 전류가 V<sub>L</sub> → D<sub>1</sub> → 램프 → V<sub>L</sub>의 순서로 흐른다.

모드3 : 전류가 V<sub>L</sub> → 램프 → Q<sub>4</sub> → V<sub>L</sub>의 순서로 흐른다.

모드4 : 전류가 V<sub>H</sub> → 램프 → D<sub>2</sub> → V<sub>H</sub>의 순서로 흐른다.

전력전달의 관점에서 보면 동작모드는 모드1, 모드3과 같이 전원으로부터 부하에 전력이 공급되는 전력공급모드와 모드2, 모드4와 같이 부하로부터 전원으로부터 다이오드를 통하여 전력이 되돌려지는 회생모드로 나누어진다.

스위칭 소자 Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>는 N채널 증가형 MOSFET이며 MHD 램프에 저주파 대역의 AC 구형파를 발생토록 한다. FET 드라이버는 IR2155이고 데드타임은 1.2us이다. L<sub>1</sub>는 0.3φ궤기의 2가닥을 꼬아서 131턴씩 양분하여 전압크기는 낮추었다.

L<sub>2</sub>는 0.3φ궤기를 10턴 감았다. 정상상태 일 때 P점의 전압을 이그나이터 회로에 이용하였다. 이그나이터 부 보호회로는 KA358 OP 앰프와 LM556 타이머를 이용하여 PFC, FlyBack, Inverter용 IC의 V<sub>ce</sub>를 제어하였다. 방전관내의 음향주파수와 입력전원 주파수가 공진을 일으키면 아크방전 형태가 찌그러지는 음향공명현상으로 플리커가 발생되고 심한 불쾌감을 준다. MHD 램프의 구동 주파수는 파고율이 1인 저주파(80Hz) 및 구형파로하여 아크방전이 직선모양이 되도록하였다.

### 3. 측정결과 및 검토

앞에서 설계한 수치에 의하여 제작한 MHD 전자식 안정기의 개략도는 그림 5와 같다. PM3300(voltech 사)에 의하여 측정된 결과는 표1과 같고 오실로스코프에 의한 역률개선 회로 A점의 전압파형은 그림 6이며 플라이백 컨버터 B점의 전압크기는 그림7이다. 램프양단의 전압파형은 그림8과 같다.

표1. 측정결과

	입력	출력
전력(W)	75	68
전압(V)	120	110
전류(mA)	638	620
역률	0.98	
THD(%)	24	
CF	1.5	

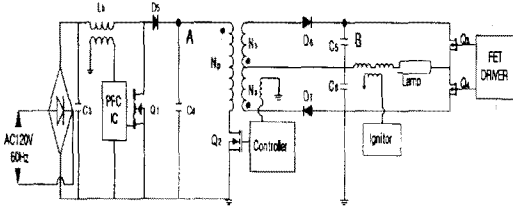


그림5. MHD 램프용 전자식 안정기 개략도

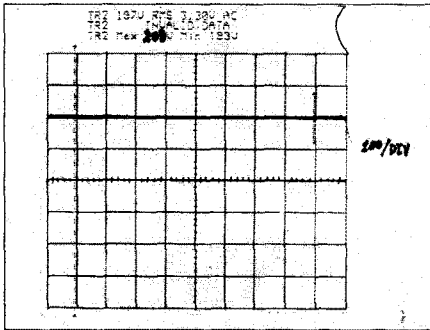


그림6. 역률개선회로 A점 전압파형

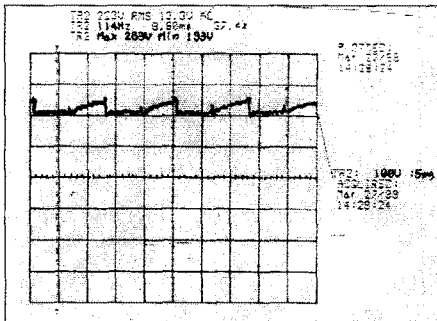


그림7. 플라이백 컨버터 B점 전압파형

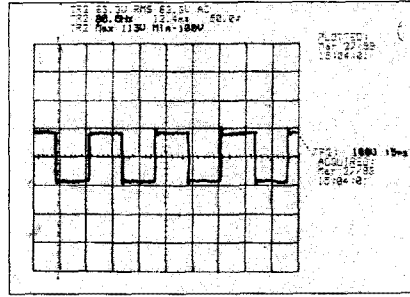


그림8. 램프 양단의 전압 파형

측정 결과를 검토하면 A점의 DC 전압 파형은 계산치가 200V이고 측정치는 197V이다. B점의 계산치는 DC220V이며 측정치는 223V이다.

또한 메탈할라이드 램프(오슬람 HQ1-TS 70/NDL) 양단의 전압 파형은 그림8과 같이 시비율 0.5일 때 80Hz의 구형파로 측정되었다. 이와 같은 측정치를 비교할 때 이론치에 접근하므로 최적의 MHD 전자식 안정기가 제작되었음이 입증되었다.

### 4. 결론

본 연구에서는 공명현상을 일으키지 않는 저주파 대역의 구형파를 구현하여 공명현상을 제거토록 하였다.

또한 MHD 전자식 안정기의 설계에 있어서 트랜스 설계가 안정기의 전체기능을 좌우하므로 페라이트 코어 및 권선의 최적 설계를 통하여 제작, 실험결과 이론의 타당성을 입증하였다.

액티브 평활회로인 PFC를 도입하여 역률을 98%이상으로 개선하였고 플라이백 DC-DC컨버터로 인버터에 정전압을 공급토록하는 안정화 전원을 실현하였으며, 타력식 하프브리지 인버터회로로 MHD 램프에 80Hz의 구형파를 공급하여 공명현상인 플리커를 제거시킨 AC 입력 전원이 120V인 저용량(70w) MHD램프용 전자식 안정기를 개발하였다. 상용전원 220V에 사용할 수 있는 MHD 전자식 안정기는 현재 개발 중에 있다.

### [참고문헌]

- [1] J.P.Frier and M.E.Gazley Frier. Industrial Lighting Systems. McGraw-Hill Book Company. 1980
- [2] J.W.Denneman. "Acoustic Resonances in High Frequency Operated Low Wattage Metal Halide Lamps." Philips Journal of Research. Vol38. N04/5, pp.263-272, 1983
- [3] Hans-Juergen Faehrich and Erhard Rasc. "Electronic Ballast For Metal Halide Lamps." Journal of the Illuminating Engineering society summer 1988
- [4] F.Goodenough. "Novel DC-DC Converter Keeps Power Constant." Electronic Design. No.1, pp.51-62, April, 1996
- [5] Sam Ben-Yaakov, Michael Gulko and Alex Giter. "The Simplest Electronic Ballast for Hid lamps." IEEE, pp.634-640, 1996
- [6] Michael Gulko and Sam Ben-Yaakov. "A MHz Electronic Ballast for Automaticve-Type HID Lamps." IEEE, pp.39-45, 1997