

프리볼트용 메탈할라이드램프 전자식 안정기

권원목, 지윤근, 김남준
대진대학교 전기공학과

Electronic Ballast for Metal Halide Lamp with Free Voltage Input

Won-Mog Kwon, Yun-Keun Chi, Nam-Jun Kim
Daejin Univ

ABSTRACT

This paper presents the electronic ballast for the metal halide lamp with free voltage input and implemented for CDM-T[150W] lamp. HID lamps have a good color rendition, long life and good focusing capability but they have flickers by acoustic resonance when driven at high frequency. To reduce the acoustic resonance phenomena, the electronic ballast was designed for high frequency operation with the constant frequency sinusoidal wave of 75[kHz]. Finally, the experimental results on the ballast of CDM-T [150W] metal halide lamp with the propose methods are discussed.

1. 서론

현재 조명분야에서 고압 수은램프, 고압 나트륨 램프, 메탈할라이드램프 등의 HID (High Intensity Discharge) 램프가 많이 이용되고, HID 램프용 전자식 안정기의 개발 및 적용 사례가 급증하고 있다.

이는 높은 광효율, 연색성, 수명 등이 우수하기 때문이다. 이러한 HID 램프 중 MHD (Metal Halide Discharge) 램프는 방전관이 작아서 점광원이 되어 조명제어가 더 용이하다.^[1, 3, 4, 5]

HID 램프는 “음향 공진” (Acoustic Resonance) 발생이 주요 문제점으로, 메탈할라이드램프는 다른 램프에 비해 물리적 구조 특성상 음향 공명 주파수 대역이 넓게 분포한다^[5]. 이 음향 공진은 관내의 공명현상으로 인해 방전관 내의 아크가 불안정해지는 경우로 램프 광속이 흔들리는 현상을 일으키고, 아크를 소멸시킬 수도 있으며, 방전관을 손상시킬 수도 있다.

본 논문에서는 이러한 음향 공명 현상을 방지하고, 안정기의 입력전압이 여러 종류 일 때, 임의 전압에 따라 사용 가능한 프리볼트입력 (80V~260V) 용 전자식 안정기를 설계, 제안하였다.

2. 프리볼트용 전자식 안정기 회로

2.1 회로구성

회로 구성은 메탈할라이드램프(CDM-T150W)를 점등하기 위하여 그림 1과 같이 구성하였다. 그림 1에서와 같이 고입력 역률과 전원 계통의 노이즈 유발 감소를 위한 수동 EMI필터와 입력되는 전압에 따라 출력 변동이 없고, 고역률을 유지하기 위한 부스트 방식의 역률 개선 회로, 램프 구동형 인버터는 하프-브리지 LC 직렬 공진형 인버터로 구성하였으며, 인버터의 구동은 별도의 구동회로 제어부를 가지는 타력식 방식을 사용하였다. 그리고 초기 점등을 위한 점등회로로 구성하였다.

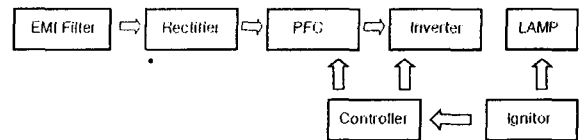


그림 1 전자식 안정기의 구성도
Fig. 1 Construction of electronic ballast

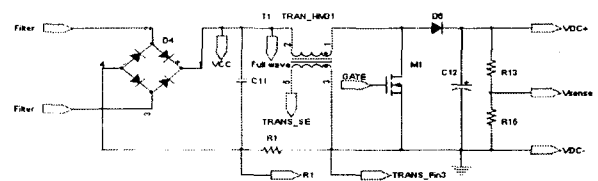


그림 2 역률 개선 회로
Fig. 2 The power factor correction circuit

2.1.1 역률 개선 회로

PFC 회로(Power Factor Correction Circuit)의 기본 동작 원리는 Feedforward 제어에 의해 입력 전류의 파형을 입력 전압의 파형에 추종하게끔 제어함으로써 입력 전류 파형을 정현파 형태로 해주어 역률을 개선 할 뿐 아니라 고조파 왜곡을 저감시키는 것으로 부스트 방식의 역률 보상 회로를 사용하였다.

PFC 회로는 제어 방식에 따라 크게 입력 전류를 불연속 전류모드로 제어하는 방식과 입력 전류를 연속 전류모드로 제어하는 방법으로 나누는데, 전류 연속 동작에서 가장 유리한 평균 전류모드 제어 방식을 채용하여 전용 제어 IC인 UC3854를 사용하였다. 그림 2에서 부스트 컨버터는 출력단의 전압을 승압 하기 위해 사용하였고, 제어 IC인 UC3854를 이용하여 넓은 입력 범위(80V~260V)에서도 직류 전압 400[V]를 공급하도록 회로를 구성하였다.

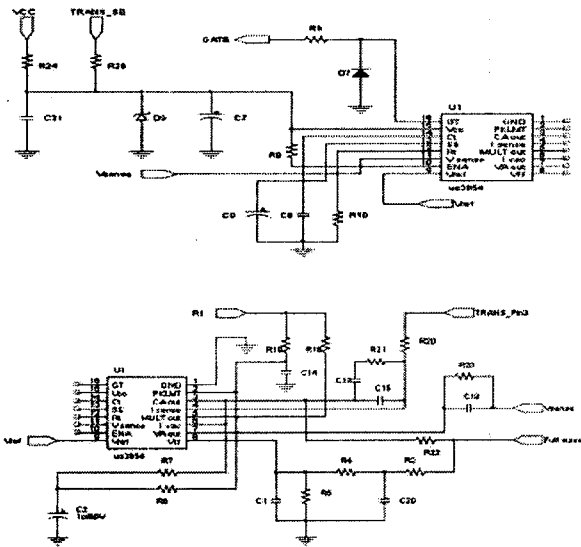


그림 3 제어 회로
Fig. 3 Control circuit

그림 2와 같은 PFC 회로를 제어하기 위해 그림 3과 같은 제어 회로를 구성하였다. 7번 핀과 11번 핀은 출력 전압 제어를 위한 전압 제한 루프를 구성하는 단자로서, 4번 핀에서 검출된 입력 전류가 이 오차 증폭기를 통하여 평균화 시켜 줌으로 전류의 피크치와 평균치 사이의 오차를 감소시켜 고조파 왜곡을 대폭저감 시켰다. 2번 핀에서는 스위치에 흐르는 전류 즉, 검출 저항에 흐르는 전류의 순시치가 최대 값을 초과할 때 IC의 2번 핀이 음이 되면서 limit가 작용하여 스위치를 차단시켜 초대 전류를 제한한다. 그리고 6번 핀에서 입력 전압을 검출하여 이 검출 값에 4번 핀에서 검출된 입력 전

류가 추종하게끔 제어를 함으로 역률 개선의 동작이 이루어진다. 또, 출력 전압 제어를 수행하는 5번 핀과 4번 핀에서 검출되는 입력 전류가 비교되어 전류 오차 증폭기를 통하여 평균화된다. 이 신호는 14번 핀의 삼각 파형과 비교되어 스위치 구동 신호를 형성하게 되는데 이것이 평균 전류모드 제어에 의한 동작이 된다.

2.1.2 공진회로

램프 구동형 인버터는 메탈할라이드램프에 비공명 정현 고주파를 공급하기 위해 그림 4와 같이 하프 브리지 LC 직렬 공진 인버터 회로로 구성하였다.

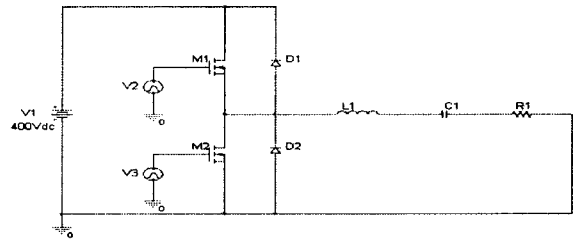


그림 4 하프 브리지 인버터 회로도
Fig. 4 Half-bridge inverter circuit

그림 4는 PSpice에 의한 인버터 회로로 실제 회로에서는 DC입력 측에 역률 개선 회로를 사용하여 DC400[V]가 인가되기 때문에 회로도 상에서 입력부를 DC400[V]로 처리하였다. 점등 전 램프는 무한대의 값을 갖는 등가저항으로 볼 수가 있고, 점등 후의 정상상태에서 램프는 다음 (2)식에 의해 구할 수 있다.

$$P_{in} = V_{in} I_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (1)$$

$$R_{Lamp} = \frac{V_{Lamp}^2}{P_{out}} = \frac{96^2}{147} = 62.7[\Omega] \quad (2)$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad (3)$$

식 (3)에서 주파수는 음향공진 현상이 일어나지 않는 주파수를 선택하여 단독 주파수로 구동시키고자 한다. 방전관 내의 공명주파수는 다음 표에서 나타낸다.

표 1은 PHILIPS사의 CDM-T[150W]의 방전관 크기를 나타내고, 표 2는 공명주파수의 산출 공식으로 이 공식에 의해 산출 한 공명주파수는 표 3과 같다^[2].

표 1. 방전관의 크기

CDM-T 150W PHILIPS		단위 : [mm]
극간 길이		9.0
외경		20

표 2. 공명주파수 산출공식

Basic longitude (축방향 기본 주파수)	$f_{001} = \frac{C_s}{2L}$
Basic radial (원통방향 기본 주파수)	$f_{010} = \frac{3.83 C_s}{2\pi R}$
Basic azimuthal (방위각 방향 기본 주파수)	$f_{100} = \frac{1.84 C_s}{2\pi R}$
Radial longitudinal	$f_{01i} = f_{100} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot R \cdot i}{3.83L}\right)^2}$
Azimuthal longitudinal	$f_{10i} = f_{100} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot R \cdot i}{1.84L}\right)^2}$
Subharmonics	$\left(\frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}\right) \times \text{Basic freq.}$
Cs = Sound speed in tube L = Arc length R = Radial i = Variable	

표 3. 공명주파수 값

RF	basic	subharmonics			harmonics		
		1/2	1/4	1/6	2nd order	3rd order	4th order
longitudinal	31.1	15.6	7.8	5.1	62.2	93.3	124.4
radial	34.1	17	8.5	5.7	68.2	102.3	136.4
azimuthal	16.4	8.2	4.1	2.7	32.8	49.2	65.6
azimuthal longitudinal	35.2	17.6	8.8	5.9	70.4	105.6	140.8
	64.3	32.1	16	10.7	128.6	192.9	257.2
	94.7	47.4	23.7	16	189.4	284.1	378.8
	125.5	62.7	31	21	251	376.5	502
i=variable (1 ~ 8)	156.4	78.2	39.1	26	312.8	496.2	625.6
	187.4	93.7	46.9	31	374.8	562.2	749.6
	218.4	109.2	54.6	36.4	436.8	655.2	873.6
	249.4	124.7	62.3	41.6	498.8	748.2	997.6
radial longitudinal	46.1	23	11.5	7.7	92.2	138.3	184.4
	70.9	35	17.7	11.8	141.8	212.7	283.6
	99.2	49.6	24.8	16.5	198.4	297.6	396.8
	128.9	64.4	32.2	21.5	257.8	386.7	515.6
	159	79.5	39.8	26.5	318	477	636
	189.5	94.8	47.4	31.6	379	568.5	758
	220.2	110.1	55	36.7	440.4	660.6	880.8
	251	125.5	62.8	41.8	502	753	1004

계산된 공명주파수 대역에서 단독주파수를 선택한다. 이 논문에서는 75[kHz]로 단독주파수로 사용하였다.

2.1.3 인버터 회로 구동부

75[kHz] 단독주파수를 램프점등 정현 고주파로 설정하기 위해 그림 5와 같은 인버터회로 제어부를 IR2151 IC칩을 이용하여 구성하였다.

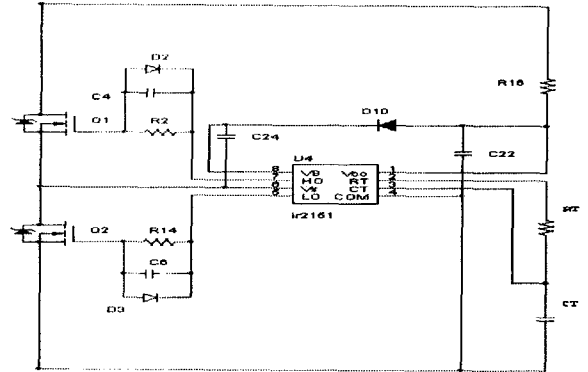


그림 5 구동 주파수 발생회로

Fig. 5 Oscillating circuit of operating frequency

그림 5에서 스위치 Q1과 Q2를 구동하기 위한 주파수는 다음 (4)식에 의해 구해진다.

$$f = \frac{1}{1.4 \times (R_T + 75\Omega) \times C_T} \quad (4)$$

여기서, 75Ω은 IR2151의 고유 내부저항 값으로 상수이다.

3. 실험결과 및 검토

CDM-T[150W]용 메탈할라이드램프를 구동하기 위하여 전자식 안정기를 설계하였고, 설계한 안정기 회로를 실 제작하여 각 부분별로 입출력을확인하였다.

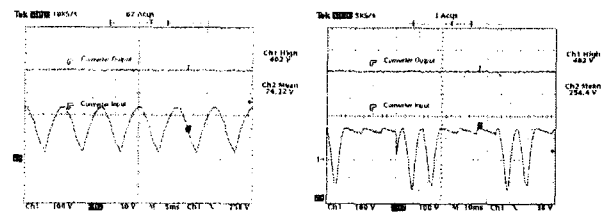


그림 6 PFC 입력 전압과 출력 전압 파형

Fig. 6 PFC input voltage and output voltage

첫째, PFC 회로에서 80[V]~260[V]까지 입력 전압을 점차 증가시키고, 입력에 따른 출력 파형을 확인하였다. 그림 6은 입력에 따른 출력 파형을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 80V~260V까지 넓

은 입력 범위에서도 고정 전압이 출력되는 것을 알 수 있다. (a)그림은 입력전압 80[V]에 따른 출력전압 402[V]를 나타내고 있고, (b)그림은 입력전압 260[V]에서 출력전압이 고정적으로 402[V]가 나타남을 보여주고 있다.

둘째, 인버터 회로 구동부에서 표 3에서 구한 공명 주파수 대역을 피한 안정주파수 75[kHz]를 확인하였다.

단일 주파수 75[kHz]를 인가하기 위해 IR2151 IC칩을 사용하여 제어회로를 설계하여, 단일 주파수 74.65[kHz]가 나타남을 볼 수 있다. 계산에 의한 값과는 약간의 차이는 보이나 거의 근접한 값이 나옴을 확인할 수 있다.

셋째, 전체 회로에서 80[V]~260[V]까지 입력 전압을 점차 증가시키고, 입력에 따른 램프 출력 파형을 확인하였다.

출력 파형이 정현적으로 나옴을 확인할 수 있었다. 넓은 입력 범위에서 램프에 인가되는 전압이 고정적으로 인가 됨을 확인하였다.

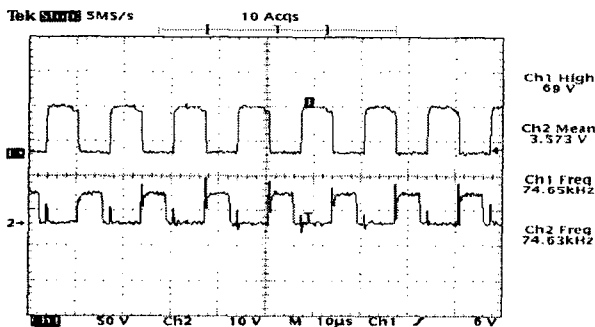


그림 7 구동주파수
Fig. 7 operating frequency

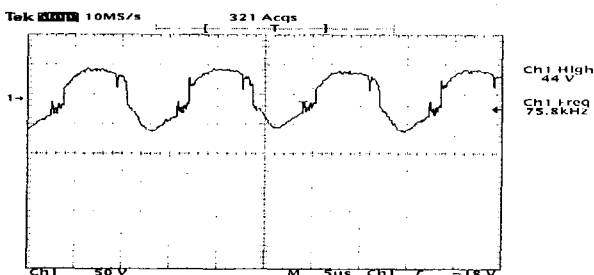


그림 8 CDM-T[150W] 출력 전압 파형
Fig. 8 CDM-T[150W] lamp output voltage

3. 결 론

본 논문에서는 프리볼트용 150W 메탈할라이드 램프 전자식 안정기를 설계, 제안하였다. 계산을 통하여 공명주파수 값을 확인하고, 음향 공진을 피할 수 있는 단독 주파수 75[kHz]를 동작 주파수로 사용하였다. 이 단독 주파수는 IR2151 IC칩을 사용한 제어 회로 설계에 의해 구현되었다. 그리고 이것으로 계산을 통해 공진회로의 L, C값을 구하였다. 입력전압이 90[V]~260[V]일 때, 임의 전압에서 입력 전압을 인가한다고 하더라도 램프 출력이 거의 동일한 정 출력이 나올 수 있게 UC3854 IC칩을 사용한 제어 회로 설계에 의해 구현되었다.

본 논문에서 설계, 제안한 전자식 안정기를 실험에 의해 타당함을 보였다. 음향 공명을 피하고, 가변적인 입력 전압에서도 고정 출력이 나옴을 확인할 수 있었다. 결론적으로 제안된 회로를 사용함으로써 입력전압이 상이한 여러 국가에서도 사용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] 김기정, 박종연, "메탈할라이드 방전관 내의 음향 공명을 감소시킨 전자식 안정기 설계". *전력전자학회 논문지* 제4권, 제5호, pp. 405-412, 1999.
- [2] Harald L. witting, "Acoustic resonance in cylindrical high-pressure arc discharge", *J. Appl. Phys*, Vol.49. NO.5, May. 1978.
- [3] Chin S. Moo, Ching R. Lee, Hau C. Yen, "A high-power-factor constant-frequency electronic ballast for metal halide lamps", *IEEE* 1988, pp. 1755-1760.
- [4] H, Nishimura, H, Nagase, "A new electronic ballast for HD lamps" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Summer 1988, pp. 70-76.
- [5] J. Zhou, L. Ma and Z. Qian, "A novel method for testing acoustic resonance of HID lamps", *APEC'99*, pp.480-485, 1999.