

정 출력 특성을 갖는 400watt HID 램프용 전자식 안정기 설계

박종연, 조계현, 조호찬, 전경준
강원대학교 전기전자공학부

Electronic Ballast Design for 400watt HID Lamp with Constant Power

Chong-yeun, Park Gye-hyun, Jo, Ho-Chan Jo, Kyung-Jun Jeon
Kangwon univ. Department of Electrical and Electronic Engineering

Abstract - 본 논문은 Full bridge 방식의 LC 병렬 구조를 갖는 400watt HID용 전자식 안정기 구조에 대한 해석과 항상 HID 램프가 일정한 출력을 갖도록 하는 제어 방법에 대해 다루었다. 전자식 안정기의 구조는 LC 병렬구조이다.

램프에 흐르는 전류값에 따라서 전자식 안정기의 동작 주파수가 가변되는 구조를 가지고 있어, 램프 점등 초기에는 동작 주파수가 높다가 안정상태로 들어가면 주파수가 떨어지는 특성을 지니고 있다.

arc 파형이 흔들리게 되어 불빛이 떨리는 현상인 음향 공명 현상이 발생한다.

2.1.2 음향 공명 주파수 계산

음향 공명 주파수는 그림1 (a)와 같은 HID 램프에서 Arc tube라고 불리는 방전관(b)이 갖는 외형에 따라서 크게 좌우되는 특성을 갖는다.

1. 서 론

HID 램프는 광 효율과 연색성이 좋아 자동차 라이트 나 back-light projector등 많은 영역에서 사용되어지고 있다.[1]

HID 램프는 동작 영역에서 부성 저항 특성을 가지기 때문에 안정한 동작을 위해서 안정기라는 전류 제한 device를 필요로 하게 된다.[2] 이제까지 HID 안정기는 저주파수(60Hz)에서 동작하는 자기식 안정기가 주종을 이루었지만 크고, 무겁고, 효율이 좋지 않아 점차 전자식 안정기로 변화하고 있는 추세이다.

고주파수로 동작하는 전자식 안정기는 자기식 안정기가 지니는 단점들을 보완해주고는 있지만, 고주파수로 동작시킴으로써 HID 램프와 같은 방전관에서 나타나는 방전관내 Arc가 떨리는 음향 공명 현상이 발생하게 된다.[3]

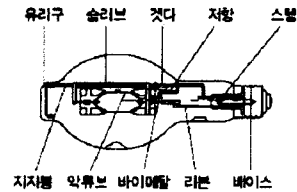
본 논문은 HID 램프에서 나타나는 음향 공명 현상이 일어나는 주파수를 계산하여 음향 공명 현상이 나타나지 않는 주파수로 동작시킴으로써 근본적으로 음향공명을 일으키는 원인을 제거했다. 램프로 흐르는 전류를 검지하여 램프 점등 초기에는 안정기를 고주파수로 동작시키고 안정상태가 이루어졌을 때는 주파수를 초기보다 낮게 떨어지도록 함으로써 램프에 전류가 서서히 증가하도록 하였다. 그 결과 램프 및 스위칭소자가 받는 스트레스를 줄였고, 정상 상태일 때는 항상 정격 출력을 갖도록 하였다.

2. 본 론

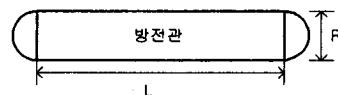
2.1 음향 공명

2.1.1 음향 공명 현상의 원인

음향 공명 현상은 HID램프를 고 주파수로 동작시킬 때 나타나는 현상이다. 이러한 음향 공명 현상이 발생하면 arc의 안정성, 램프 불빛의 떨림, 색 온도 변화와 같은 여러 가지 문제를 야기시키며, 램프 전압이 증가하여 방전관내 arc가 사라지거나 심하게는 방전관이 깨어 지기도 한다.[4] 이러한 현상은 램프에 공급되는 전류로 인해서 발생하며, 공급된 전류가 방전관내에서 주기적인 에너지 변화로 작용하기 때문이다. 방전관으로 공급되는 주기적인 에너지는 방전관내 가스를 가열하고 가스의 가열은 방전관내 압력변화를 일으키게 된다. 이러한 압력 변화가 방전관이 가지는 공진 주파수와 일치하게되면



(a) HID 램프 외형



(b) Arc tube

그림1. 방전관의 외형

음향 공명 현상은 기본적으로 방전관의 길이(L), 반지름(R), 방위각에 따라서 발생하며, 각각의 원인들의 합성에 의해서도 나타나는 나타난다. 그리고 계산되어진 공명 주파수들의 1/6, 1/4, 1/2 배와 같은 sub-harmonics들과 2,3,4배와 같은 고조파 성분들도 영향을 미친다. 램프 공명을 일으키는 기본적인 주파수 중에서 길이(L)에 의해서 발생하는 공명 주파수는 식 1과 같고 C는 방전관내 음속으로 500m/s로 가정한다.

$$f_{001} = \frac{C}{2L} \dots\dots\dots(1)$$

또한 반지름(R)에 의해서 발생하는 공명주파수는 식2와 같다.

$$f_{010} = \frac{3.83C}{2\pi R} \dots\dots\dots(2)$$

마지막으로 방위각에 의해서 발생하는 공명주파수는 식3과 같다.

$$f_{100} = \frac{1.84C}{2\pi R} \dots\dots\dots(3)$$

위에서 언급한 공명을 일으키는 기본적인 주파수와 각각의 고조파 성분들을 고려한 주파수는 범위는 식4와 같다.(5)

$$\frac{1}{54} f_{001} \leq ARF \leq 4f_{018} \dots\dots\dots(4)$$

2.1.3 음향 공명 주파수 계산

실제 실험에 사용한 400watt HID 램프의 크기는 표 1과 같다.

표1. 램프 방전관 크기

400watt MHD lamp	
길이(L)	60[mm]
폭(R)	22.3[mm]

표1과 같은 크기의 램프 방전관을 사용한 경우 음향공명을 일으키는 주파수 대역을 계산하면 다음과 같다.

$$77.17\text{Hz} \leq ARF \leq 151.629\text{kHz}$$

2.2 전자식 안정기의 구조

본 논문에서 제안한 전자식 안정기는 그림2와 같은 Full Bridge 방식과 LC 병렬구조를 갖는 안정기이다.

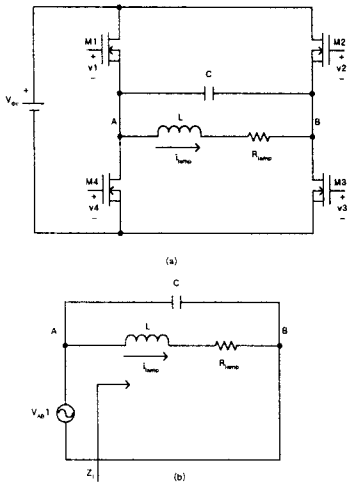


그림3. 등가 회로

그림2. 제안한 안정기 구조

제안한 안정기 구조를 해석하기 위해서 출력부를 R(램프 등가 저항),L,C 라고 놓고 등가 회로를 구성하면 그림 그림2(b)와 같다.

입력 신호는 Full Bridge 동작에 의한 구형파 전압이 인가되지만 선형적인 해석을 위해서 구형파가 가지는 신호의 기본파 성분만을 적용하며 이는 식 5와 같다.

$$v_{input}(t) = \frac{4V_{dc}}{\pi} \cos[(1-D)\frac{\pi}{2}] \sin(\omega t) \dots(5)$$

입력 전압과 램프 출력전압의 전달함수는 식6과 같다.

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{input}} \right| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \dots\dots\dots(6)$$

램프의 점등 전,후에 따라서 전달함수가 가지는 특성은 다르게 나타난다. 램프가 점등되기 전 램프 저항 값은 매우 큰 값을 갖는다. 그러므로 식 6의 분모항에서 $(\omega L)^2$ 은 R_{lamp}^2 에 비해서 매우 작은 값을 가지게 되므로 생략해도 무관한 특성을 갖는다. 그러므로 전달 함수 입력 임피던스의 절대값은 1이 된다. 이러한 특성은 램프가 점등되기 전에 인가되는 전압은 모두 램프 양단에 걸리는 것을 의미한다. 식 3에서 정의한 전압이 인가된다고 가정하면, 램프에 걸리는 전압은 대략 510V정도이다.

램프에 방전이 일어난 후에는 램프가 가지는 등가 저항 값이 매우 작아지게 되며, 이때의 전달함수는 대략적으로 $\frac{R}{\omega L}$ 값을 갖는다.

램프로 흐르는 전류는 식 7과 같다.

$$|I_{lamp}| = \frac{\frac{4}{\pi} V_{dc}}{\sqrt{R_{lamp}^2 + (\omega L)^2}} \dots\dots\dots(7)$$

램프가 방전하기 전과 점등 후에는 램프 등가 저항값이 크게 변함으로 램프에 흐르는 전류량이 달라지게 된다. 램프가 방전하기 전에는 램프 임피던스가 무한대 값을 가지므로 램프로 흐르는 전류량은 식 8와 같다

$$|I_{lamp}| = \frac{\frac{4}{\pi} V_{dc}}{R_{lamp}} \dots\dots\dots (8)$$

그러므로 램프 점등 전에는 램프로 거의 전류가 흐르지 않는 것을 볼 수 있다. 또한 램프에 방전이 일어난 후에는 램프 저항(R_{lamp}) 항보다 $(\omega L)^2$ 항 값이 커지므로 식 9와 같이 나타낼 수 있다.

$$|I_{lamp}| = \frac{\frac{4}{\pi} V_{dc}}{\omega L} \dots\dots\dots(9)$$

램프로 흐르는 전류량을 램프와 직렬로 연결되어있는 L이 제한하고 있으므로 정상 점등시에 램프에 흐르는 전류 값을 갖도록 L값을 선정한다면 램프가 정격 출력을 갖는다.

2.3 제어부의 구조

HID 램프를 점등시키기 전, 후 램프에 걸리는 전압과 전류의 변화를 적절하게 유지하며, 램프가 받는 부담을 덜 주기 위해서는 점등 초기와 정격 출력이 이루어지는 상태의 전류값을 변화시켜주어야 한다. 또한 전자식 안정기에서 램프가 적정 출력을 내기 위해서는 전자식 안정기 출력부의 특성에 맞는 동작 주파수를 공급 해주어야 하며, 이것은 램프 상태가 바뀌더라도 램프가 정격 출력을 유지하도록 해주어야 한다.

이러한 과정을 만들기 위해서 본 연구에서는 그림4와 같이 램프에 흐르는 전류량을 감지해서 램프전류가 적정 전류 값보다 크면 동작 주파수를 증가시키며, 적정 전류 값보다 작으면 주파수를 감소시킴으로써 램프에 흐르는 전류량을 조절했다.

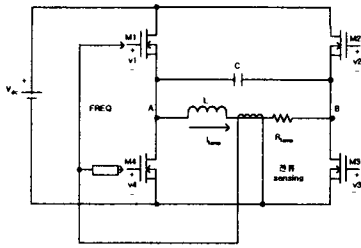


그림4. 제어부 구조

2.4 실험

400watt MHD 램프용 전자식 안정기를 제작한 후 실제 측정한 결과이다.

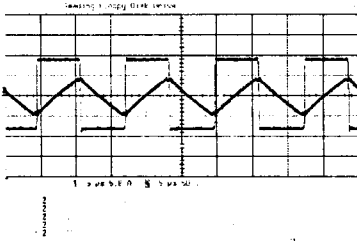
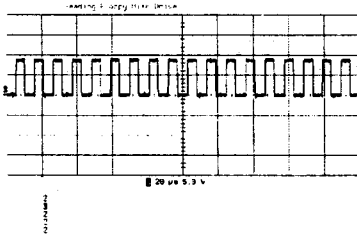
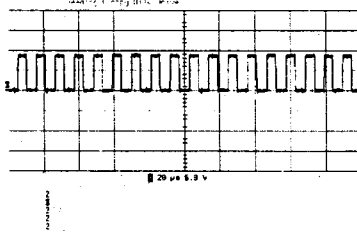


그림5. 램프 전류와 V_{AB} 전압 파형

그림5는 램프 전류와 V_{AB} 량단 전압 파형이다. 램프 전류가 흐를 때에 스위칭 동작이 일어나는 것을 볼 수 있는데 이는 전류가 0일 때 스위칭을 하도록 하는 컨트롤러를 사용해서 제어해야한다.



(a) 점등 초기 동작 주파수



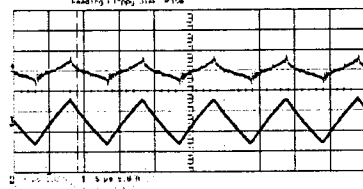
(b) 정격 출력시 동작 주파수

그림6. 점등초기 및 정격출력시 동작주파수 변화

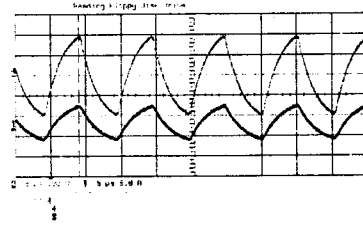
그림 6은 램프 점등 후에 동작 주파수가 이동함을 나타내는 그림이다. 점등초기에는 약 120kHz에서 동작하다가 점점 주파수가 감소하여 90kHz대역에서 동작하는 것을 보여준다. 동작 주파수가 이렇게 이동하면 램프에 흐

르는 전류의 량이 서서히 증가됨으로써 램프가 받는 부담을 덜어주는 효과가 있다.

램프 점등초기와 정상 출력시 램프로 흐르는 전류와 전압 파형은 그림7과 같다.



(a) 점등 초기 전압, 전류



(b) 정상 출력시 전압, 전류

그림7. 램프 전압, 전류 파형

3. 결 론

본 논문은 고주파 점등시에 HID 램프에서 나타나는 음향 공명 현상을 제거하기 위해서 음향 공명 현상을 일으키는 원인에 대해서 분석한 후, 공명현상을 일으키지 않는 주파수를 선정, 적용함으로써 음향 공명 현상을 근본적으로 제거했다.

출력부에 CT(current transformer)를 사용해서 램프로 흐르는 전류를 탐지한 후 전류의 크기 변화를 이용한 제어부를 설계한 후 이를 적용했다. 적용 결과 램프 점등 초기에는 램프로 흐르는 전류의 량을 서서히 증가하게 제어함으로써 램프와 스위칭 소자가 가지는 부담을 덜어주었다. 또한 램프 점등 후에는 항상 램프가 정격 출력을 갖도록 안정기 동작 주파수를 제어하는 기능을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실험 결과 동작 주파수가 90kHz이상만 되어도 음향공명현상은 일어나지 않으며 안정기 효율은 94.4%였다.

(참 고 문 헌)

- [1] "Special Issue for Metal Halide Lamps and its applications", J. Illum. Jpn. Inst. Jpn. vol.77, No12, pp4-35
- [2] M.Nakamichi and M.Ihara, "Trands of Electronic Technologies for HID Lamps Luminaries", J. Illum.Inst.Jpn., vol 77.No5, pp233-237, 1993
- [3] M.C.Cosby, Jr. and R.M.Nelms, "A Resonant Inverter for Electronic Ballast Applications", IEEE Trans on I.E Col41, No4, pp418-425, Aug, 1994
- [4] S.wada, A.Okada, S.Morii, "Study of HID Lamps with Reduced Acoustic Resonances", J. Illum pp162-175, 1987
- [5] H.L. Witing "Acoustic resonance in cylindrical high pressure arc discharge" J. Appl. phy 49. May, 1978

[후기]

본 연구는 강원대학교 BK21 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.