

HID 램프 수명 연장을 위한 적응형 점화기 개발

Development of the Adaptive Igniter for Expanding HID Lamp Life

박 종 연* 조 계 현** 송 명 석***
Park, Chong-Yeun Jo, Gye-Hyun Song, Myoung-Suk

Abstract

The metal halide lamps are now widely used in the application and commercial lighting due to their attracting properties such as good color rendering and high efficiency. But, they have the serious problem of acoustic resonance for high frequency operation and they need the high voltage to ignite. So, they have not been applied to indoors. Over the past few years, a considerable number of studies have been conducted on the electronic ballast together with hot restarting and resonance phenomenon. But, very few attempts have been made with the adaptive ignition method according to the lamp state.

In this paper, electronic ballast is proposed for metal halide lamps with an igniter for adaptive ignition. The proposed electronic ballast can generate different ignition voltages according to the arc tube state.

키워드 : HID 램프, 점화기, 상태 판별

Keywords : HID lamp, igniter

1. 서론

메탈할라이드 램프는 다른 광원에 비해서, 많은 광량과, 우수한 광 효율, 좋은 연색성으로 인해서 많은 관심의 대상이 되어왔다. 하지만 램프의 점등 전압이 다른 광원에 비해서 높고, 높은 주파수로 구동시에는 음향 공명 현상이 발생할 가능성이 높으며, 재 점등이 힘들다는 어려움으로 인해서 안정기의 전자화에 많은 어려움이 있었다. 이러한 이유로 인해서 이제까지 메탈할라이드 램프는 빈번한 점등이 요구되지 않는 가로등이나 실외등과 같은 곳에 사용되어져왔다.

오랜 기간 동안 메탈할라이드 램프 특성과 램프에 적합한 전자식 안정기에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 연구 결과 음향 공명 현상을 피하는 방법과 다양한 형태의 안정기 구조, 재 점등에 필요한 사항에 관한 방법이 소개되었다[1]~[9].

일반적으로 램프 초기 점등을 위해서는 2[kV]~3[kV] 정도의 점등 전압이 필요하며, 램프의 고온 순시 재 점등을 위해서는 초기 점등에 필요한 점등전압의 10배 이상의 점화전압이 요구되는 것으로 알려져 왔다. 현재까지 메탈할라이드 램프가 뜨거운 상태에서 순시 재 점등이 되는 전자식 안정기는 램프 상태와 무관하게 20[kV]의 전압을 램프에 인가하는 방식이다. 하지만 램프 온도가 낮을 때 20[kV]이상의 고전압을 인가하면, 점등에 필요한 점등 전압보다 높은 전압이 인가되므로 인해서 램프 수명이 감소하게 된다[1][2][3].

본 논문에서는 램프가 초기 점등일 때와 램프 온도가 낮을 때는 낮은 방전 전압을 램프에 공급

* 강원대학교 전기전자정보통신공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 전기공학과 박사과정

*** 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정

하고, 램프가 뜨거울 때에는 높은 방전 전압을 램프에 공급하는 새로운 형태의 점화기를 제안하였다. 제안하는 점화기는 기존의 점화기에 비해서 서로 다른 점화 전압을 램프에 공급함으로써 램프 수명을 감소시키지 않고, 순시 재 점등 특성을 얻을 수 있다는 장점을 가지고있으나 기존 점화기에 비해서 점화기 구조가 복잡해진다는 단점을 가진다.

2. 램프 점화 전압과 램프 수명과의 관계

램프 점화 전압과 램프 수명간의 관계를 확인하기 위해서 동일한 70W 램프에, 서로 다른 점화 전압을 램프에 인가하였다. 사용한 안정기는 모두 저주파 구형파로 동작하고, 램프는 OSRAM사에서 판매하는 HQI-TS70W/NDL UVS 램프를 사용하였다. 실험 조건은 15분씩 점등과 소등을 반복하도록 하였고, 소등되는 기간에는 팬(fan)을 사용하여 램프 온도가 충분히 감소하도록 하였다. 실험은 최초 조도의 70% 조도를 유지할때까지 수행하였다.

그림 1은 램프에 고전압을 인가하는 방식과 저전압을 인가하는 방식이 가지는 % 조도를 나타내었다.

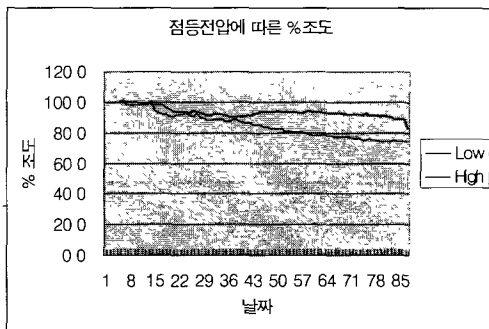


그림 1 점등 전압에 따른 램프 수명 실험 결과

이때 Low 곡선은 램프에 2kV-3kV 정도의 점화 전압을 램프에 공급했을때 특성이며, High 곡선은 램프에 20kV의 점화전압을 공급했을때의 특성이다. 실험결과 램프에 20kV의 점화 전압을 공급하면, 40일을 지나면서부터 조도차이가 커지는 것을 확인할 수 있다.

3. 점화기 구조 및 동작

본 논문에서는 그림2와 같은 Half bridge 구조를 갖는 전자식 안정기에 적용 가능한 점화기를 제안하였다.

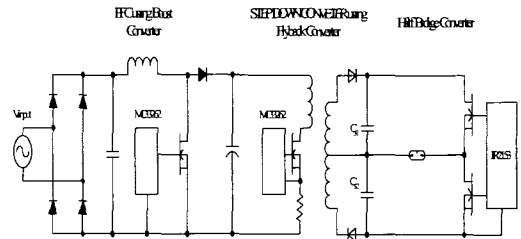


그림 2 사용한 전자식 안정기 구조

고회도 방전램프를 위한 전자식 안정기는 MC33262를 이용한 Boost 컨버터 구조를 갖는 역률 개선부와 Flyback 컨버터 구조를 갖는 DC/DC 컨버터부, IR2153으로 구동되는 Half bridge 구조를 갖는 인버터부로 구성되어있다. 램프 점등을 위한 점화기는 Half bridge 인버터의 동작 주파수에 동기되어 동작하는 동기식 점화기와 동기되지 않는 비동기식 점화기를 제안하였다.

3.1 비동기식 적응형 점화기

그림 3은 본 논문에서 제안한 비동기식 적응형 점화기 구조이다.

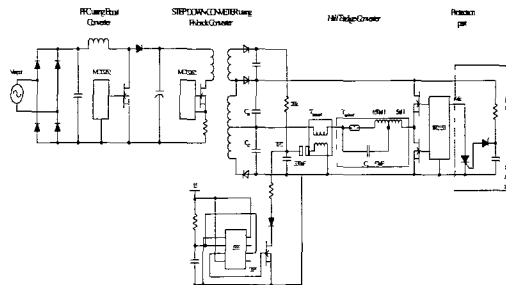


그림 3 비 동기식 적응형 점화기를 사용한 안정기

램프 점등을 위한 점화기는 내부 L, C 공진 특성을 이용한 저 전압 발생용 점화기와 MC33262로 제어되는 Fly Back 구조를 갖는 DC/DC 컨버터에 사용되는 변압기에 추가 권선을 이용한 고전압 발생용 점화기로 구성되어있다. 각각의 점화기는 그림4와 같은 순서로 동작한다.

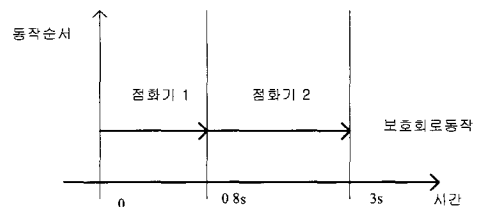


그림 4 점화기 동작 순서

HID 램프 수명 연장을 위한 적응형 점화기 개발

내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기는 안정기 동작과 동시에 동작하며, 추가 권선을 이용한 점화기는 안정기 동작 후 0.8초가 지난 후에 동작한다. 안정기 동작 후 3초가 지난 이후에도 램프가 점등되지 않으면, 보호 회로가 동작하여 안정기 동작을 정지 시킨다.

3.2 동기식 점화기

그림 5는 동기식 적응형 점화기를 사용한 안정기 구조이다.

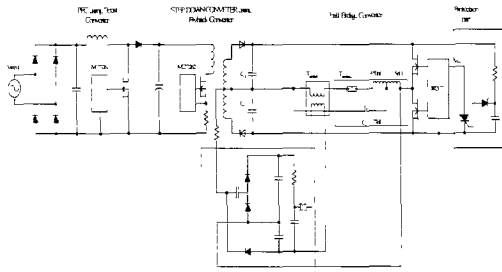


그림 5 동기식 점화기를 사용한 안정기

비동기식 점화기에서 사용한 내부 L, C 공진 특성을 이용한 저 전압 발생용 점화기와 배전압회로를 이용한 고전압 발생용 점화기로 구성되어 있다. 각각의 점화기는 그림 6과 같은 순서로 동작한다.

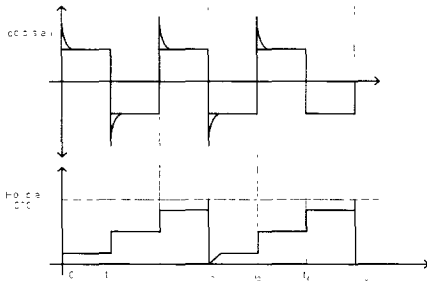


그림 6 동기식 점화기 동작 절차

안정기가 동작을 시작하면 램프 양단에는 구형파가 인가된다. 이때, 구형파 전압이 가지는 고조파 성분과 램프와 병렬 연결된 LC 공진 특성에 의해서 램프 양단에는 2[kV]이상의 전압이 공급되게 된다. 만약 램프가 초기 점등 상태이거나, 램프 온도가 낮으면, 2[kV] 정도의 점화 전압으로도 충분히 점등될 수 있다. 일단 램프가 점등되면, 안정기 DC Link 전압이 감소함으로 인해서, 배전압회로를 이용한 외부 점화기는 아크 갭 동작 전압까지 상승하지 못한다.

하지만, 램프가 뜨거운 경우에는 램프 압력이 상승하여 2[kV]정도의 점화 전압으로는 점등되지 않는다.

안정기가 동작을 시작하면, 내부 LC 공진을 이용한 점화기가 동작함과 동시에 배전압회로도 충전 시작하게 된다. 램프가 뜨거운 경우에는 LC 공진특성을 이용한 점화기가 동작을 하더라도 램프는 점등되지 않고, 배전압회로를 이용한 점화기가 동작을 하여, 램프에 20[kV]정도의 전압이 인가하게 되면 점등을 하게된다.

4. 점화기 구성 및 설계 방법

4.1 내부 L, C 공진 특성을 이용한 점화기

램프 점등 전 내부 LC 공진 특성을 이용한 점화기 부분이 가지는 등가회로는 그림 7과 같다. 램프 점등 전에는 램프 임피던스가 매우 크므로, 램프쪽에 연결되어있는 인덕턴스의 임피던스는 무시할 수 있다.

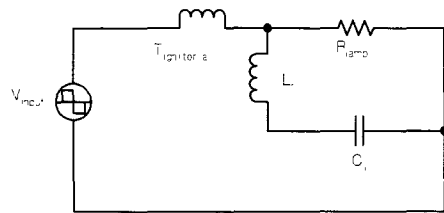


그림 7 LC 공진 회로를 이용한 점화기

입력 단에서 공급되는 구형파 전압은 식 (1)과 같이 표시된다.

$$V_{lamp} = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{4V_{mp} \sin n\omega t}{n\pi} \quad (1)$$

그림 7과 같이 간략화된 구조에서 전달함수를 구하면 식 (2)와 같다.

$$G(j\omega) = \frac{V_{lamp}(j\omega)}{V_{m}(j\omega)} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC - \frac{j\omega L}{R}} = \frac{1}{(1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2 + j(\frac{\omega}{\omega_n})Q)} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여, 주파수비와 첨에도 변화에 따라서 표현하면, 그림 8과 같다.

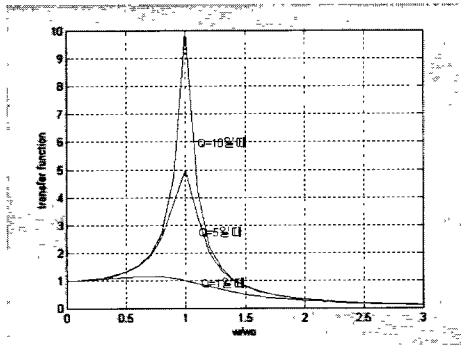


그림 8 LC 공진 회로가 가지는 전압 전달 특성

그림 8에서와 같이 첨예도 값이 크면 클수록 입력 신호에 대해서 램프로 출력되는 전압의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기에서, 공진 주파수 f_o 와 선택도 Q 가 가지는 관계는 식(3),(4)와 같다.

$$\omega_o = 2\pi f_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

$$Q = \frac{R_{lamp}}{\omega_o L} \quad (4)$$

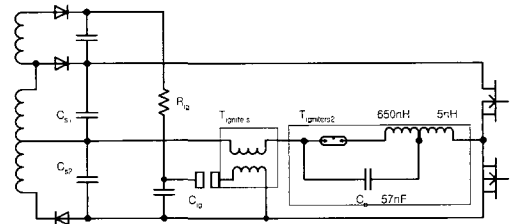
일반적으로 램프 점등 전에는 램프 등가 저항값은 매우 크다고 생각할 수 있다. 그러므로 램프 점등 전에는 램프 양단에 식 (4)와 같은 첨예도 Q 가 곱해진 전압이 램프에 유기되고, 유기된 전압이 램프 점등 전압에 필요한 전압보다 커진다면 램프는 점등하게 된다.

식 (1)과 같이 정의되는 입력 전압과 고조파 전압들 중에서 램프 공진 주파수와 일치하는 성분이 존재한다. 그러므로 저주파 구형파가 가지는 고조파 성분과 LC 병렬 회로가 가지는 공진 특성이 일치하게 되면 램프 양단에 높은 전압이 유기된다.

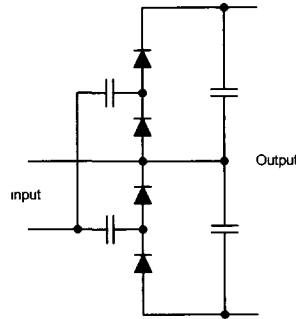
4.2 고전압 발생 점화기

일반적으로 메탈 할라이드 램프의 순시 재 점등을 위해서는 약 20[kV] 정도의 고압 펄스를 발생시킬 수 있는 점화기가 필요하다.

본 논문에서 적용한 외부 점화기는 그림 9와 같이, Flyback 컨버터에 사용되는 변압기에 추가권선을 감은 형태와 배전압 회로를 이용한 형태이다. 추가 권선을 감은 구조는 점화기의 구조가 간단해진다. 장점이 있으나, 점화 전압이 인버터 동작 주기와 일치하지 않는다는 단점이 있다. 또한 배전압 회로를 이용한 방법은 인버터 동작과 동기되어 동작은 하지만 배전압 회로를 구성하는 소자의 수가 증가된다는 단점이 있다.



(a) 추가권선을 이용한 점화기



(b) 배전압 회로

그림 9 고전압 발생 점화기 구조

일반적으로 고압 펄스 발생용 트랜스포머 제작 특성에 따라, 발생하는 전압의 크기가 결정된다. 그리고 점화 펄스가 매우 빠른 상승 시간을 갖기 때문에 주파수 특성이 좋은 코어를 사용해야하며, 변압기 1, 2차간 선간 커패시턴스 성분이 작게 해야 한다[10].

램프 점등용 고압 변압기 2차단 인덕턴스 값은 전자식 안정기 인버터 동작과 매우 관련이 있다. 일반적으로 정상 상태시에 변압기 2차단에 인가되는 전압은 정상 상태 램프 전압의 20%미만으로 설정하여야한다. 또한 변압기에 인가되는 전압이 크면 전류 ripple이 증가하여 음향 공명 현상을 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져있다. 그러므로

본 논문에서는 식 (5)에서와 같이 정상 상태시 고압 변압기 2차측에 인가되는 전압은 램프 전압의 5%가 되도록 하였다. 그리고 램프 동작 주파수는 음향 공명 현상이 발생하지 않도록 저주파에서 선택해야한다[3]~[9].

$$L_2 = 0.05 \times \frac{R_{lamp}}{2 \times \pi \times f_s} = 0.05 \times \frac{V_{lamp}}{2 \times \pi \times f_s \times I_{lamp}} \quad (5)$$

고압 펄스 변압기 1차측 인덕턴스 값은 식 (6)에 의해서 기본적인 트랜스포머 특성을 이용하여 구할 수 있다. 식(6)은 변압기가 가지는 일반적인 수식이다. 이때, n는 권수비를 의미한다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = n \quad (6)$$

변압기 1차측에서 2차측을 보았을 때 나타나는 임피던스값은 식 (7)과 같이 권수비 제곱에 비례한다

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = n \frac{V_2}{I_2} = n^2 \frac{V_2}{I_2} = n^2 \frac{V_2}{I_2} = n^2 Z_2 \quad (7)$$

식 (8)을 이용하면, 식 (8)과 같이 고압 펄스 트랜스포머 1차측 값을 구할 수 있다.

$$2\pi f L_1 = a^2 2\pi f L_2$$

$$L_1 = \frac{L_2}{n^2} \quad (8)$$

외부 점화기에서 가장 중요한 요소는 아크 갭 동작 주기와 관련이 있는 R_{ig} 와 C_{ig} 를 결정하는 것이다. 이크갭이 동작을 하면, 외부 점화기는 그림 10과 같이 생각할 수 있다

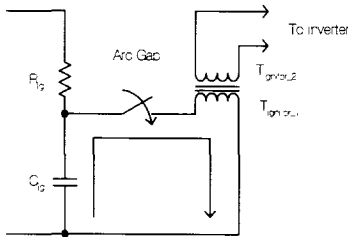


그림 10 아크갭을 이용한 고전압 점화기

그림 10에서와 같이 아크 갭이 동작되면 C_{ig} 에 충전되어있던 용량성 에너지가 모두 고압 변압기 1차측 인덕턴스로 전달되고, 전달된 에너지는 모두 인덕턴스에 유도성 에너지로 변환되는 특성을 갖는다. 그러므로 아크 갭 동작 전에는 C_{ig} 에 충전되는 용량성 에너지 E_1 는 식(9)와 같다

$$E_1 = \frac{1}{2} C_{ig} V_{charge}^2 \quad (9)$$

또한, 아크 갭 동작 후 변압기 1차측에 전달되는 에너지 E_2 는 식 (10)과 같다

$$E_2 = \frac{1}{2} L_1 I_{discharge}^2 \quad (10)$$

그러므로, 식 (9)와 (10)의 에너지는 같으므로 식 (11)과 같다.

$$C_{ig} = \frac{L_1 I_{discharge}^2}{V_{charge}^2} \quad (11)$$

마지막으로, 고압 펄스가 발생하는 주기는 아크 갭 동작 특성을 고려해야한다. 일반적으로 아크 갭이 가지는 반복 동작 주파수 100Hz~400Hz 범위에 존재한다. 그러므로 배전압회로에 의해서 형성된 DC 전압과 R_{ig} 와 C_{ig} 에 의해서 발생하는 충전 시간(T_{charge})과의 관계를 이용하여, 아크 갭 반복 동작 시간과의 관계를 식 (12)와 같다.

$$V_{charge} = V_{dc} (1 - e^{-\frac{T_{charge}}{R_{ig} C_{ig}}}) \quad (12)$$

이때, V_{dc} 는 아크 갭 동작 전압이다. 식 (12)를 이용하여, R_{ig} 에 대해서 정리하면, 최종적으로 식 (13)과 같다

$$T_{charge} = R_{ig} C_{ig} \ln \left(\frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)$$

$$R_{ig} = \frac{T_{charge}}{C_{ig} \ln \left(\frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} = \frac{1}{f_{repet} C_{ig} \ln \left(\frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} \quad (13)$$

5. 실험 결과

그림11은 비동기 특성을 갖는 점화기에서 외부 점화기 제어 신호와 램프 전류이다. 그림3에서와 같이 램프가 차가운 경우에는 점화기 제어신호가 값을 갖지만, 내부 점화기의 동작에 의해서 램프가 점등되는 것을 알 수 있다.

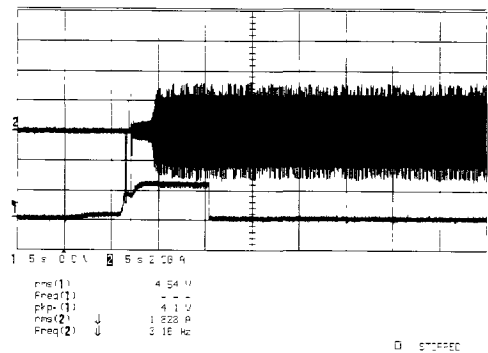


그림 11 점화기 제어 신호와 램프 전류

그림12는 일정시간 동안 외부 점화기 제어신호로 인해서 외부 점화기가 동작하지 않고 있다가, 외부 점화기를 동작시켰을때 램프 전류가 흐르는 것을 나타낸다.

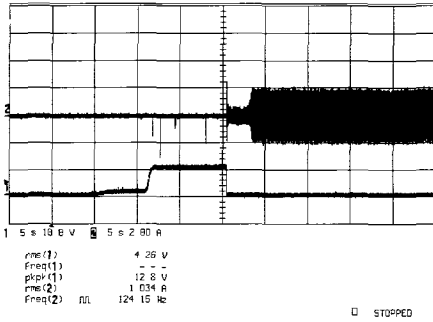


그림 12 점화기 제어 신호와 램프 전류

그림13은 인버터 동작과 동기되는 점화기 구조에 있어서 내부 점화기로 인해서 램프에 인가되는 전압 파형이다. 램프에 인가되는 전압은 4[kV]로 차가운 램프이거나 최초 점등인 경우 램프를 점등 시키기에 충분한 전압이다.

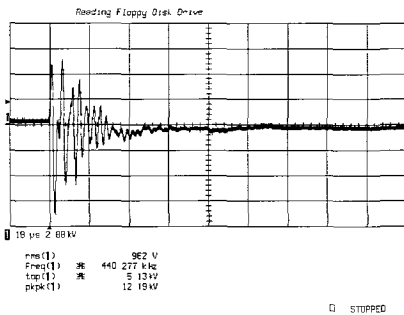


그림 13 LC 공진을 이용한 점화 전압 [10μs/div, 2kV/div]

그림 14는 인버터 동작과 동기되는 점화기 구조에 있어서 외부 점화기가 동작했을때 나타나는 점화 전압이다.

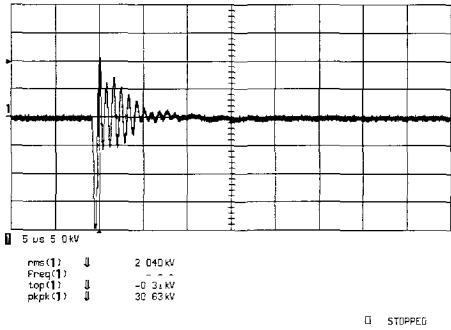


그림 14 아크갭을 이용한 점화 전압 [5μs/div, 10kV/div]

그림 15는 인버터 동작과 동기되는 점화기 구조에 있어서 무 부하시에 나타나는 점화기 동작 파형이다. LC 공진현상에 의해서 발생하는 4[kV]의 점화 전압과 아크갭을 이용한 외부 점화기에 의한 20[kV]의 점화 전압이 교번하여 나타나는 것을 볼 수 있다.

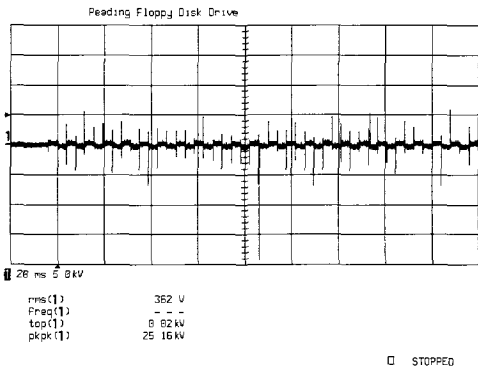


그림 15 동기식 점화기 동작 [10ms/div, 10kV/div]

5. 결론

현재까지 HID 램프 순시 재 점등 문제를 해결하기 위해서는, 램프 상태와 무관하게 20[kV] 정도의 전압을 램프에 인가시켜주는 방법을 사용하였다. 하지만 램프 점등을 위해서 램프 상태에 관계없이 과도한 전압을 램프에 공급시키면, 램프 수명은 감소되는 것으로 알려져왔다.

본 논문에서는 음향 공명 현상이 발생하지 않도록 저주파 구형파로 램프를 점등 시켰으며, 램프 점등 초기에는 비교적 작은 전압을 램프에 공급함으로써 램프 점등을 유도하고 일정시간이 경과한 후에는 높은 전압을 램프에 인가하는 방법을 사용하였다. 이에 따라 서로다른 점화전압을 발생시키

는 독립적인 2개의 점화기를 사용하여, 램프 상태에 따라 각기 다른 점화전압을 램프에 인가하는 방법을 사용하였다.

본 논문과 같이 서로 다른 점화 전압을 램프에 공급하는 방법을 사용하면 램프 상태와 무관하게 높은 점화전압을 사용하던 방법보다 약 18[%] 정도 램프 수명을 연장할 수 있다고 생각된다

감사의 글

본 연구는 강원대학교 BK21 사업단의 지원으로 수행되었습니다

참고 문헌

- [1] Yue-quan Hu, Jun Zhang, Wei Chen and Chanuchun Wen. "Analysis and Design of Metal Halide Lamp Ignitor". IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists, pp132-137, 2001
- [2] J.garcia-garcia, M Rico-Secades, E.L.Corominas, J.M Alonso, J Ribas, J Cardesin, A J Calleja. "Using Solid State Over Voltage Protection Devices for High Intensity discharge lamps Ignition", IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp363-368, 2002.
- [3] P.F. Hem, K arbinger, " An AISC Controlled Ignitor for HI/HS-lamps". IEEE Industry Applications Meeting Volume 5, pp3394-3398, 2000
- [4] Richard Redl and Jon D. Paul. " A New High Frequency and High efficiency Electronic Ballast for HID lamps' Topology, Analysis Design and Experimental Results", IEEE 14th Applied Power Electronics Conference, pp486-492, 1999.
- [5] Tası F Lin, Chin S. Moo, Ming J. Soong, Wei M Chen Chin R. Lee. " A High Power Factor Electronic Ballast for Metal Halide Lamps with Hot Restarting". IEEE 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Applications, pp2261-2266, 2000
- [6] Masato H. Ohsata, Yoshiyuri Kudo, hisashi Tai. "Characteristics of a Novel Ballast Circuit for HID Lamps". Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Power Electronics pp227-2307, 2001.
- [7] M Ponce, A. Lopez, J Correa, J Arau, JM Alonso. "Electronic Ballast for HID Lamps with High Frequency Square Waveform to Avoid Acoustic Resonances". Proceedings of the 16th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference, 658-663, 2001
- [8] Jinghai Zhou, Fengfeng Tao, Fred C. Lee, Naoki Onishi, Masanao Okawa. "High Power Density Electronic Ballast for HID Lamps". IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp1875-1880, 2002.
- [9] Miaosen Shen, Zhaoming Qian and Fan Z Peng. " A Novel Two Stage Acoustic Resonance Free Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp1869-1874, 2002
- [10] Colonel Wm T McLyman. " Designing Magnetic Components for High frequency DC-DC Converters". Kg magnetics, Inc 1992