

HID 램프 수명 연장을 위한 점화기 개발

論 文

53C-7-5

Development of the Igniter to Expand HID Lamp Life.

曹 桂 鉉* · 宋 明 錫** · 朴 鍾 演***

(Jo Gye-Hyun · Song Myoung-Suk · Park Chong-Yeun)

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.

Key Words : HID, Electronic ballast, Igniter, Lamp life, Arc gap

1. 서 론

메탈할라이드 램프는 다른 광원에 비해서, 많은 광량과, 우수한 광 효율, 좋은 연색성으로 인해서 오랜 기간동안 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 전자식 안정기의 적용에 많은 어려움이 있었다. 이러한 이유로 인해서 이제까지 메탈할라이드 램프는 빈번한 점등이 요구되지 않는 가로등이나 실외등과 같은 곳에 사용되어져왔다. 하지만, 오랜 기간 동안 메탈할라이드 램프 특성과 램프에 적합한 전자식 안정기에 대한 많은 연구를 통해서 음향 공명 현상을 피하는 방법과 다양한 형태의 안정기 구조, 재 점등에 필요한 사항에 관한 방법이 소개되었다[1]~[9]. 메탈할라이드 램프의 음향 공명 현상을 제거하기 위해서는 수백 kHz 이상으로 구동하는 방식과 수 kHz 이하로 구동하는 방식 그리고 동작 주파수를 가변하는 방식등과 같은 방법이 제안되었다. 일반적으로 램프 초기 점등을 위해서는 2kV 정도의 점등 전압이 필요하며, 램프의 고온 순시 재 점등을 위해서는 초기 점등에 필요한 점등전압의 10배 정도의 점화전압이 요구되는 것으로 알려져 왔다.

현재까지 메탈할라이드 램프가 뜨거운 상태에서 순시 재

점등이 되는 전자식 안정기는 램프 상태와 무관하게 18kV 정도의 전압을 램프에 인가하는 방식이 사용되었다. 하지만 램프 상태와 무관하게 램프 온도가 낮을 때에도 18kV 이상의 고 전압을 램프에 인가하면, 점등에 필요한 점등 전압보다 높은 전압이 인가됨으로 인해서, 램프 수명이 감소하게 된다[1][2][3].

본 논문에서는 램프가 초기 점등일 때와 램프 온도가 낮을 때는 낮은 방전 전압을 램프에 공급하고, 램프가 뜨거운 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 가지고 있으나 기존 점화기에 비해서 점화기 구조가 복잡해진다는 단점을 가진다.

2. 램프 전압과 수명과의 관계

램프 점화 전압과 램프 수명간의 관계를 확인하기 위해서 동일한 70W 램프에, 서로 다른 점화 전압을 램프에 인가 하였다. 사용한 안정기는 모두 저주파 구형파로 동작하고, 램프는 OSRAM사에서 판매하는 HQI-TS70W/NDL UVS 램프를 사용하였다. 이때, 실험 조건은 15분씩 점등과 소등을 반복하도록 하였고, 소등되는 기간에는 팬(fan)을 사용하여 램프 온도가 충분히 감소하도록 하였다. 실험은 최초 조도에 대해서 70% 조도를 유지할 때까지 수행하였다. 그림1은 서로 다른 점화 전압을 인가하였을 때 시간이 경과함에 따른 램프 조도 차이를 확인한 결과이다.

* 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

** 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

*** 正 會 員 : 江 原 大 學 電 氣 電 子 情 報 通 信 工 學 部 教 授

接 受 日 字 : 2004 年 1 月 26 日

最 終 完 了 : 2004 年 5 月 19 日

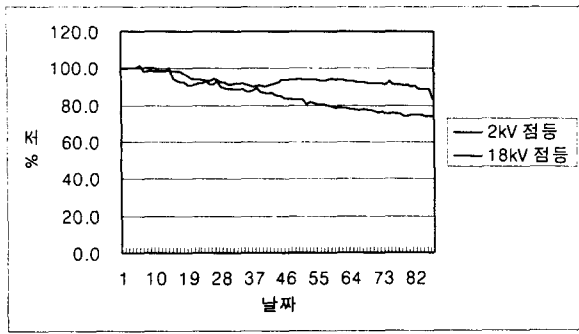


그림 1. 점등 전압에 따른 램프 수명 실험 결과
 Fig. 1. The result of HID lamp life according to different ignition voltage

위쪽 측정 결과는 램프에 2kV 정도의 점화전압을 램프에 공급 했을때 특성이며, 아래쪽 곡선은 램프에 18kV의 점화 전압을 공급했을 때의 특성이다. 실험 결과 램프에 18kV의 점화 전압을 공급하면, 10일 정도가 지나면서 조도 차이가 나기 시작하고, 40일을 지나면서부터 램프 조도 차이가 커지기 시작하며, 최대 18%정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 측정 결과 메탈할라이드 램프는 램프가 뜨거운 경우에 재 점등을 위해서는 18kV 정도의 높은 점화전압이 필요하나, 전압을 램프가 차가운 경우에도 높은 점화 전압을 램프에 공급한다면, 램프 수명이 감소된다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 램프가 차가운 경우에는 비교적 낮은 2kV 점화 전압으로 점등을 시도하고, 램프가 뜨거운 경우에는 18kV 정도의 점화 전압으로 점등하는 것이 바람직하다.

3. 점화기 구조 및 동작

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

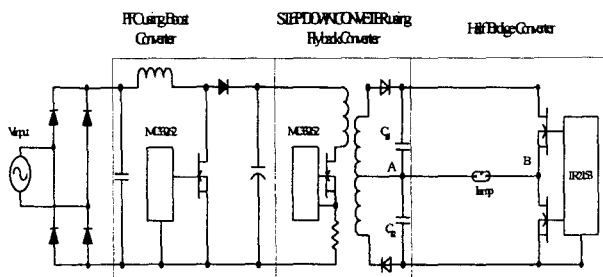


그림 2. 사용한 전자식 안정기 구조
 Fig. 2. The proposed structure of Electronic ballast

메탈할라이드 방전 램프를 위한 전자식 안정기는 Boost 컨버터 구조를 갖는 역율 개선부와 Flyback 컨버터 구조를 이용한 DC/DC 컨버터부, Half bridge 구조를 갖는 인버터부로 구성되어있다. 램프 점등을 위한 점화기는 Half bridge 인버터의 동작 주파수에 동기되어 점화전압이 발생하는 동기식과 그렇지 않은 비동기식 점화기를 제안하였다.

3.1 점화기 동작에 따른 구분

본 논문에서는 점화기의 동작과 인버터 구동 신호와의 관계에 따라서 그림3과 같이 인버터 동작 신호와 동기되어 점화 전압이 발생하는 동기식 방식과 인버터 동작 신호와 무관하게 점화 전압이 발생하는 비동기식 점화기를 제안하였다.

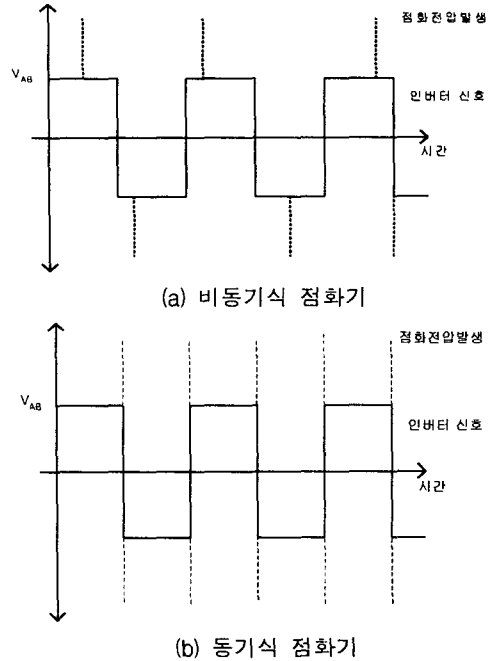


그림 3. 인버터 동작 신호와 점화기 동작에 따른 구분
 Fig. 3. The classification of proposed igniter

그림3에서 인버터 신호는 Half bridge 인버터 부분에서 A-B사이에 인가되는 전압 파형이다. A-B 양단에는 나타나는 전압은 저주파 구형파이며, 점화기가 인버터 신호에 대해서 동작하는 시점에 따라 비동기식 점화기와 동기식 점화기로 구성된다.

3.2 비동기식 점화기

그림 4는 본 논문에서 제안한 비동기식 적용형 점화기 구조이다.

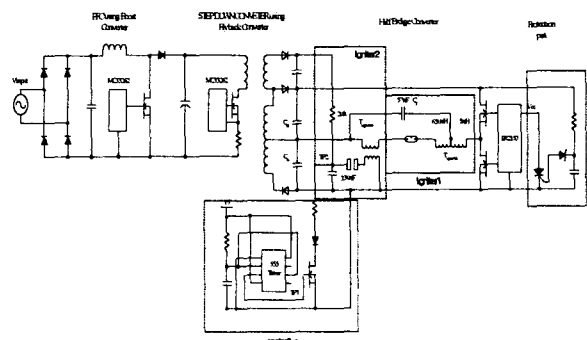


그림 4. 비 동기식 적용형 점화기를 사용한 안정기
 Fig. 4. The proposed electronic ballast with non periodic igniter

램프 점등을 위한 점화기는 내부 LC 병렬 공진 특성을 이용한 저 전압 발생용 점화기와 Fly Back 구조를 갖는 DC/DC 컨버터에 사용되는 변압기에 추가 권선과 Arc gap, 고압 펄스 트랜스포머를 이용한 고전압 발생용 점화기로 구성되어 있다. 그리고 고전압 발생용 점화기 동작을 제어하는 제어부로 구성되어 있다. 제안된 비동기식 점화기는 그림 5와 같은 순서로 동작한다.

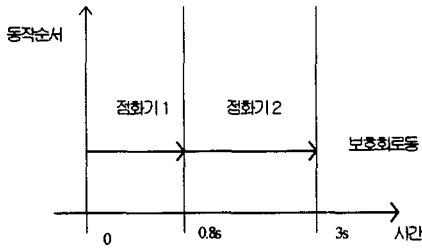


그림 5. 점화기 동작 순서
Fig. 5. The operating sequence of proposed non periodic igniter

안정기에 전원이 공급되면, 내부 LC 병렬 공진 특성을 이용한 점화기는 안정기 동작과 동시에 동작하며, 추가 권선을 이용한 점화기는 555 Timer를 이용한 제어기 동작에 의해서 동작되지 않는다. 안정기에 전원이 공급됨과 동시에 555 Timer동작으로 인해서 FET가 turn on되고, TP2 전압이 0V를 유지한다. 제안된 전자식 안정기는 메탈할라이드 램프에 음향공명현상이 발생하지 않도록 하기위해서 120Hz의 저주파 구형파로 동작한다. 그러므로 내부 LC 병렬 공진회로동작에 의해서 공급되는 점화 전압은 램프에 8번 정도가 공급된다. 0.8초가 지난 이후에는 FET가 turn off 되어, 내부 LC 병렬 공진 회로에 의해서 공급되는 점화 전압과 동시에 Arc gap과 고전압 변압기에 의해서 발생하는 18kV 정도의 점화 전압이 램프에 공급되어 램프 점등을 시도한다. 안정기 동작 후 3초가 지난 이후에도 램프가 점등되지 않으면, 보호 회로가 동작하여 안정기 동작을 정지 시킨다.

3.3 동기식 점화기

그림 6은 본 논문에서 제안한 동기식 적용형 점화기를 사용한 안정기 구조이다.

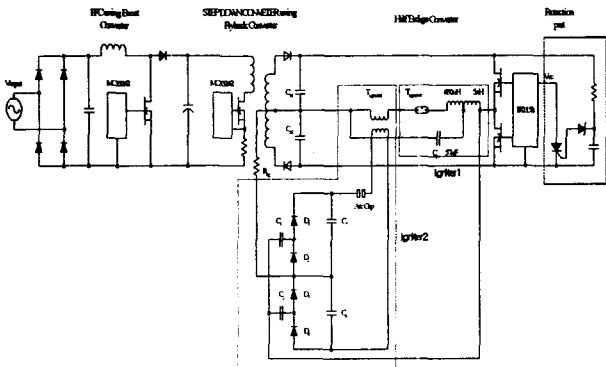


그림 6. 동기식 점화기를 사용한 안정기
Fig. 6. The proposed electronic ballast with periodic igniter

동기식 점화기는 비동기식 점화기에서 사용한 것과 동일한 형태의 내부 LC 병렬 공진 특성을 이용한 저 전압 발생용 점화기와 다이오드와 커패시터로 구성된 배전압 회로를 이용한 고전압 발생용 점화기로 구성된다. 동기식 점화기는 그림 7과 같은 순서로 동작한다.

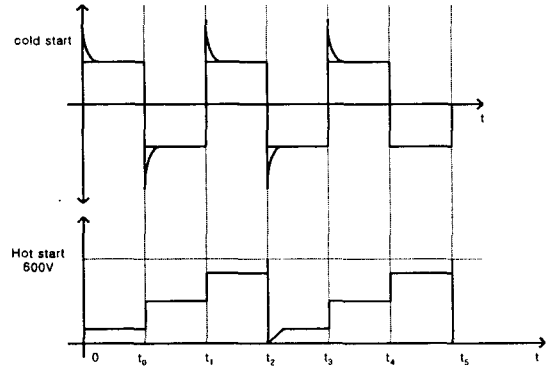


그림 7. 동기식 점화기 동작 절차
Fig. 7. The operating sequence of proposed periodic igniter

안정기가 동작을 시작하면 램프 양단에는 구형파가 인가된다. 이때, 구형파 전압이 가지는 고조파 성분과 램프와 병렬 연결된 LC 병렬 공진 특성에 의해서 램프 양단에는 2kV이상의 전압이 공급되게 된다. 만약 램프가 초기 점등 상태이거나, 램프 온도가 낮으면, 2kV 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 2kV정도의 점화 전압으로는 점등되지 않는다. 안정기가 동작을 시작하면, 내부 LC 공진을 이용한 점화기가 동작함과 동시에 배 전압 회로도 충전 시작하게 된다. 램프가 뜨거운 경우에는 LC공진특성을 이용한 점화기가 동작을 하더라도 램프는 점등되지 않고, 배 전압 회로를 이용한 점화기가 동작을 하여, 램프에 18kV 정도의 전압이 인가하게 되면 점등을 하게 된다.

4. 점화기 구성 및 설계 방법

4.1 LC 공진 특성을 이용한 점화기

램프 점등 전 내부 LC 공진 특성을 이용한 점화기 부분이 가지는 등가회로는 그림 8과 같이 간략화 할 수 있다. 램프 점등 전에는 램프 임피던스가 매우 크므로, 램프 쪽에 연결되어 있는 인덕턴스의 임피던스는 무시할 수 있다.

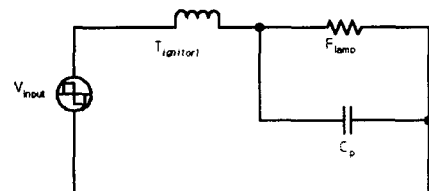


그림 8. LC 공진 회로를 이용한 점화기
Fig. 8. The equivalent circuit of igniter using LC resonant tanks

입력 단에서 공급되는 구형파 전압은 식 (1)과 같이 표시된다.

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

그림 8과 같이 간략화된 구조가 가지는 전달함수를 구하면 식(2)와 같다. 여기에서 L은 $T_{igniter1}$ 의 1차측 인덕턴스 값이다.

$$G(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_{input}(j\omega)} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC_p + \frac{j\omega L}{R_{lamp}}} = \frac{1}{[1 - (\frac{\omega}{\omega_o})^2] + j(\frac{\omega}{\omega_o})Q} \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여, 주파수비와 첨예도 변화에 따라서 표현하면, 그림 9와 같다.

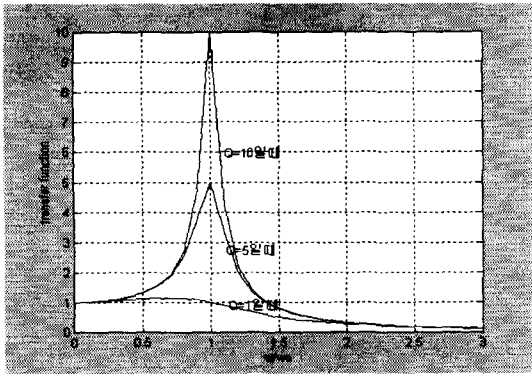


그림 9. LC 공진 회로가 가지는 전압 전달 특성
Fig. 9. The voltage transfer characteristics of LC resonant tank

그림 9에서와 같이 첨예도 값이 크면 클수록 입력 신호에 대해서 램프로 출력되는 전압의 크기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 여기에서, 공진 주파수 f_0 와 첨예도 Q가 가지는 관계는 식(3),(4)와 같다.

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

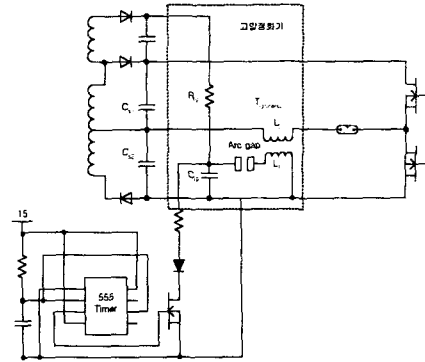
$$Q = \frac{R_{lamp}}{\omega_o L} \quad (4)$$

일반적으로 램프 점등 전에는 램프 등가 저항값은 매우 크다. 그러므로 램프 점등 전에는 램프 양단에 식 (4)와 같은 첨예도 Q가 곱해진 전압이 램프에 유기된다. 만약에 유기된 전압이 램프 점등 전압에 필요한 전압보다 크다면, 램프는 점등된다.

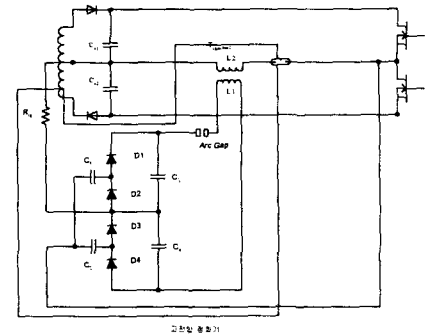
4.2 고전압 발생 점화기

일반적으로 70W 메탈 할라이드 램프의 고온 순시 재 점등을 위해서는 약 18kV 정도의 고압 펄스를 발생시킬 수 있는 점화기가 필요하다. 본 논문에서 적용한 고압 점화기는

그림 10과 같이 Flyback 컨버터에 사용되는 변압기에 추가 권선을 감은 형태와 배전압 회로를 이용하여 Arc Gap 동작 전압을 만든 형태를 사용하였다. 추가 권선을 감은 구조는 점화기의 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 점화 전압과 인버터 동작이 일치하지 않는 특성이 있고, 배 전압 회로를 이용한 방법은 인버터 동작과 동기되어 동작하지만 점화기를 구성하는 소자의 수가 증가된다는 단점이 있다.



(a) 비동기식 고압 점화기



(b) 동기식 고압 점화기

그림 10. 고전압 발생 점화기
Fig. 10. The structure of high voltage igniter

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 제작시 1.2차간 선간 커패시턴스 성분을 작게 해야 한다[10]. 램프 점등용 고압 펄스 발생용 트랜스 포머 2차측 인덕턴스 값은 전자식 안정기 인버터 동작과 매우 관련이 있는 것으로 알려져있다. 일반적으로 정상 상태시에 고압 펄스 트랜스포머 2차단에 인가되는 전압은 정상 상태 램프 전압의 20[%]미만으로 설정하여야 하며, 변압기에 인가되는 전압이 크면 전류 ripple이 증가하여 음향 공명 현상을 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져 있다[3]~[9].

본 논문에서는 식 (5)에서와 같이 정상 상태시 고압 펄스 트랜스포머 2차측의 인덕턴스 값은 램프 정상 동작시에 인가되는 전압은 램프 전압의 5%가 되도록 하였다.

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

고압 펄스 트랜스포머 1차측을 기준으로 2차측을 보았을 때 나타나는 임피던스값은 식 (6)과 같이 권수비 제곱에 비례한다.

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = n \frac{V_2}{I_2} = n^2 \frac{V_2}{I_2} = n^2 Z_2 \quad (6)$$

식 (6)을 이용하여, 식 (7)과 같이 고압 펄스 트랜스포머 1차측 값을 구한다.

$$L_1 = \frac{L_2}{n^2} \quad (7)$$

고압 점화기를 구성하는 소자를 결정하기 위해서는 아크 갭 동작 주기와 에너지 평형식을 이용한다. 아크 갭이 동작하기 전에 C_g 에 충전되는 용량성 에너지는 최대값을 가져야하며, 아크갭이 동작하면 C_g 에 충전되어있던 용량성 에너지가 모두 고압 변압기 1차측 인덕턴스로 전달되고, 전달된 에너지는 모두 인덕턴스에 유도성 에너지로 변환되어야한다. 아크 갭이 동작 전에는 C_g 에 충전되는 용량성 에너지는 식(8)과 같다.

$$E_1 = \frac{1}{2} C_{ig} V_{charge}^2 \quad (8)$$

또한, 아크 갭 동작 후 변압기 1차 측에 전달되는 에너지는 식 (9)와 같다.

$$E_2 = \frac{1}{2} L_1 i_{discharge}^2 \quad (9)$$

그러므로 아크갭 동작 전 충전된 용량성 에너지와 아크갭 동작 후 전달된 유도성 에너지가 평형이 되려면, 식(8)과 식(9)가 서로 동일해야하므로 식(10)과 같이 정리된다.

$$C_{ig} = \frac{L_1 i_{discharge}^2}{V_{charge}^2} \quad (10)$$

마지막으로, 고압 펄스가 발생하는 주기는 아크 갭 동작 특성을 고려해야한다. 일반적으로 아크 갭이 가지는 반복 동작 주파수 100Hz~400Hz 범위에 존재한다. 그러므로 배전압 회로에 의해서 형성된 DC 전압과 R_{ig} 와 C_{ig} 에 의해서 발생하는 충전시간(T_{charge})과의 관계를 이용하면 아크 갭 반복 동작 시간과의 관계를 식 (11)과 같다.

$$V_{charge} = V_{dc} (1 - e^{-\frac{T_{charge}}{R_{ig} C_{ig}}}) \quad (11)$$

이때, V_{dc} 는 배전압 회로나 추가 권선에 의해서 형성되는 전압이며, V_{break} 는 아크 갭 동작 전압이다. 식 (11)을 이용하여, R_{ig} 에 대해서 정리하면, 최종적으로 식(12)와 같다.

$$\therefore R_{ig} = \frac{T_{charge}}{C_{ig} \ln \left(\frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} = \frac{1}{f_{charge} C_{ig} \ln \left(\frac{V_{dc}}{V_{dc} - V_{break}} \right)} \quad (12)$$

5. 점화기 구성 및 설계 방법

그림11은 비동기식 점화기에서 고압 점화기 제어 신호(TP1)와 램프 전류 파형이다. 안정기에 전원이 공급되어 동작을 하면, 약 0.8초 동안에는 점화기 제어 신호가 발생하여, 고압 점화기는 동작을 하지 않는다. 하지만 LC 공진 특성을 갖는 저압 점화기의 동작에 의해서 램프가 점등되어 램프 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다.

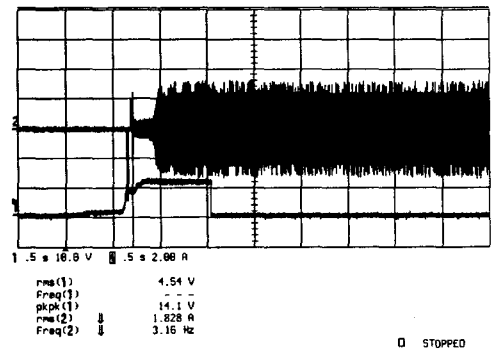


그림 11. 비동기식 점화기 제어 신호와 램프 전류 [0.5s/div, 10V/div, 2A/div]

Fig. 11. The waveform of control signal and lamp current on cold lamp [0.5s/div, 10V/div, 2A/div]

그림12는 비동기식 점화기를 적용한 경우, 램프가 뜨거워진 경우에 재 점등을 하는 경우이다. 램프가 뜨거운 경우에는 LC 공진 특성을 이용한 저압 점화기는 램프를 점등시키지 못한다. 그러므로, 고압 점화기 제어신호(TP1)가 발생하는 경우에는 램프가 점등하지 못하고, 약 0.8초가 지난 후에 고압 점화기의 동작에 의해서 램프 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다.

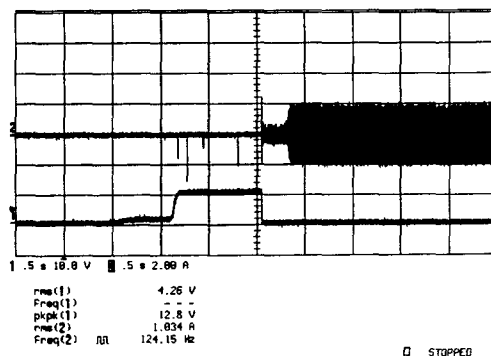


그림 12. 비동기식 점화기 제어 신호와 램프 전류 [5s/div, 10V/div, 2A/div]

Fig. 12. The waveform of control signal and lamp current on hot lamp [5s/div, 10V/div, 2A/div]

그림13은 인버터 동작과 동기되는 점화기 구조에 있어서 내부 점화기로 인해서 발생하는 무부하시 점화 전압 파형이다. 램프에 인가되는 전압은 4kV로 차가운 램프이거나 최초 점등인 경우 램프를 점등시키기에 충분한 전압이다.

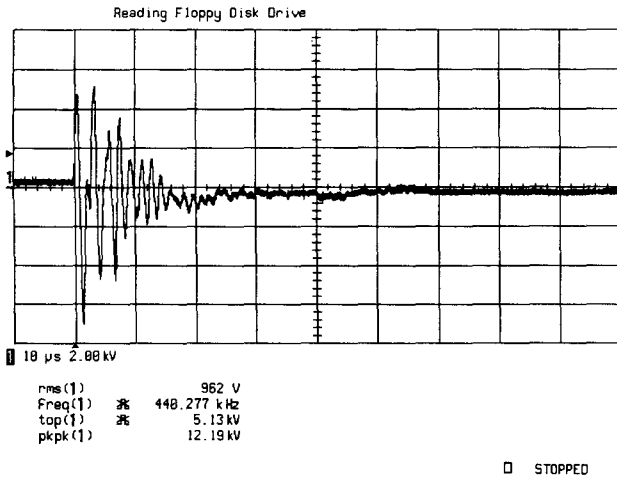


그림 13. 동기식 점화기구조에서 LC 병렬 공진을 이용한 점화 전압 [10μs/div,2kV/div]

Fig. 13. The waveform of ignition voltage using LC resonant tank on periodic igniter [10μs/div,2kV/div]

그림 14는 인버터 동작과 동기되는 점화기구조에 있어서 고압 점화기가 동작했을 때 나타나는 점화 전압이다.

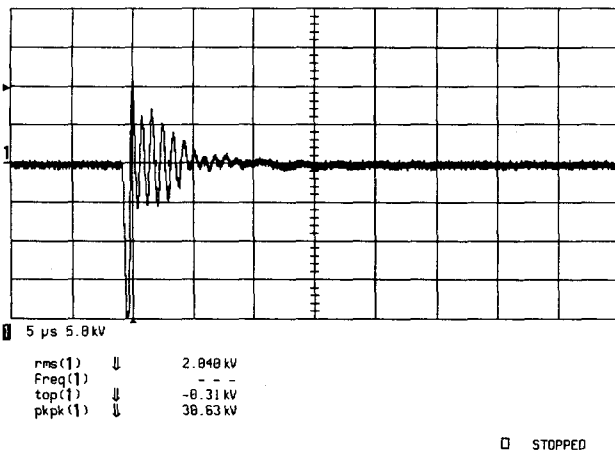


그림 14. 동기식 점화기구조에서 아크갭을 이용한 점화 전압[5μs/div,5kV/div]

Fig. 14. The waveform of ignition voltage using arc gap and step up transformer on periodic igniter[5μs/div,5kV/div]

그림 15는 인버터 동작과 동기되는 점화기 구조에 있어서 무 부하시에 나타나는 점화기 동작 파형이다. 안정기에 전원이 투입되면, LC 공진 현상에 의해서 발생하는 4kV의 점화

전압이 발생하고, 일정시간이 경과한 후에는 주기적으로 아크 갭을 이용한 고압 점화기에 의해서 20kV의 점화 전압이 나타나는 것을 볼 수 있다.

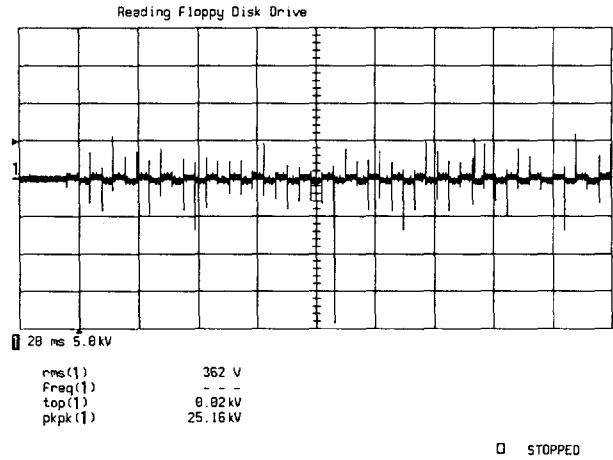


그림 15. 동기식 점화기에 의한 점화 전압 발생 [20ms/div,5kV/div]

Fig. 15. The waveform of ignition voltage to the proposed periodic igniter [20ms/div,5kV/div]

6. 결 론

오랜 기간 동안 메탈할라이드 램프를 포함한 고휘도 방전 램프는, 램프가 뜨거워진 경우에는 재 점등이 불가능하다고 알려져왔다. 하지만 최근들어 램프에 수십 [kV]의 방전 전압을 인가하면, 램프가 뜨거워진 경우에도 순시 재 점등이 가능하다는 내용의 논문이 발표되었다. 이렇게 됨으로써 이제 까지 가로등과 같은 실외 광원으로만 사용되던 고휘도 방전등을 실내광원으로도 사용할 수 있게 되는 계기가 만들어졌다. 일반적으로 램프 상태에 관계없이 램프에 과도한 전압을 인가하게 되면, 램프 수명은 인가 전압에 비례하여 감소하는 특성을 갖는다. 본 논문에서는 음향 공명 현상이 발생하지 않는 저주파 구형파로 구동되는 동일한 전자식 안정기를 사용하여 램프 점등 초기에는 비교적 작은 전압을 램프에 공급하고, 일정시간이 경과한 후에는 높은 전압을 램프에 인가하는 점화기를 제안하였다. 제안한 적용형 점화기는 안정기 동작 초기에는 LC 공진 특성을 이용하여 약 4[kV]의 점화 전압을 발생하고, 0.8초가 경과한 후에는 아크갭을 이용하여 20[kV] 정도의 전압을 램프에 공급한다.

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

감사의 글

본 연구는 강원대학교 BK21 사업단의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Yue-quan Hu, Jun Zhang, wei Chen and Chanuchun Wen, "Analysis and Design of Metal Halide Lamp Ignitor", Proceedings of the 2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists, pp132-137
- [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", 2002 IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp. 363-368
- [3] P.F. Hein, K. arbinger, "An AISC Controlled Ignitor for HI/HS-lamps", Proceedings of the 2000 IEEE Industry Applications Meeting Volume 5, pp. 3394-3398
- [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", Proceedings of the 1999 IEEE 14th Applied Power Electronics Conference, pp. 486-492
- [5] Tasi 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", 2000 26th Annual Conference of the IEEE Industrial, pp. 2261-2266,
- [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, pp. 227-2307.
- [7] M Ponce, A. Lopez, J. Correa, J. Arau, J.M. 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 2001, [pp. 658-663,
- [8] Jinghai Zhou, Fengfeng Tao, Fred C. Lee, Naoki Onishi, Masanao Okawa, "High Power Density Electronic Ballast for HID Lamps", 2002 IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp. 1875-1880
- [9] Miaosen Shen,Zhaoming Qian and Fan Z. Peng, "A Novel Two Stage Acoustic Resonance Freee Eelectronic Ballast for HID Lamps", 2002 IEEE Industry Applications Conference 37th IAS, pp1869-1874p
- [10] Colonel Wm. T. McLyman, "Designing Magnetic Components for High frequency DC-DC Converters", Kg magnetics, Inc 1992

저 자 소 개



조계현(曹桂鉉)
 1998년 강원대학교 졸업(학사)
 2000년 동 대학원 졸업(석사)
 현재, 박사과정



송명석(宋明錫)
 2000 한라대학교 전기공학과 졸업(학사)
 2002년 강원대학교 졸업(학사)
 현재, 강원대학교 대학원 석사과정



박종연(朴鍾演)
 1973년 고려대 전자공학과 졸업(학사)
 1980년 경북대 대학원(석사)
 1984년 동대학원 졸업(박사)
 1973~1976년 KIST연구원
 1977~1984년 울산공과대학 교수
 1984~현재: 강원대학교 전기전자정보통신공학부 전기전자 공 교수