

내부 공진을 이용해 점등하는 메탈할라이드 고압방전등 전자식 안정기

조병철, 문성진, 이인규, 조보형
 서울대학교 전력전자 시스템 연구실

The Electronic Ballast of HID (High Intensity Discharge) Lamp using internal resonance

B. C. Cho, S. J. Moon, I. K. Lee, B. H. Cho
 Power Electronics System Lab in Seoul National University

ABSTRACT

A high ignition voltage is required for the metal halide (MHD) lamp. In this paper, the ballast ignited by internal LC resonance of buck converter with minimum size is proposed. For minimizing the ignition current for device safety, the characteristic impedance is maximized. But this results in a large steady state ripple, which may cause the acoustic resonance. The steady state ripple cancellation network using the coupled inductor is proposed.

매우 복잡하다 [1]. 그림 1에 그 점등 특성을 나타내었다. 램프를 초기 점등시키기 위해서는 고압의 점화 펄스가 필요하다. 이를 통해 관 내부의 전자가 가속되어 충돌로 인해 이온화되어 램프 양단의 전극을 통한 전도도가 증가되며, 램프의 임피던스는 매우 낮은 값을 갖게 된다. 이때 필요한 초기 점등 전압은 펄스의 숫자 및 인가된 시간, 전극간의 간격, 관 내부의 압력 및 온도와 관련을 갖게 된다.

램프는 점등 후, 전극의 온도가 차츰 증가되는 글로우 구간을 거쳐 아크방전 단계로 천이 하게 된다.

1. 서 론

전체 전력 소비의 20% 가량이 램프를 켜는데 소비되고 있다. 따라서 적절한 램프의 사용은 매우 중요하다. 최근, 할로겐 화합물을 첨가한 고압 수은 방전등인 메탈할라이드등이 우수한 연색성과 광효율로 각광을 받고 있다.

메탈할라이드등을 점등 할 수 있는 안정기는 크게 자기식과 전자식으로 나뉜다. 자기식 안정기는 전류를 제한해 주는 직렬 인덕터와 무효전력을 보상해 주는 커패시터로 구성되어 있어 가격이 싸고 간단하며 높은 신뢰성을 보장할 수 있다. 그러나 전자식 안정기에 비해 여러 단점을 갖는다. 전자식 안정기가 자기식 안정기에 비해 갖는 장점은 다음과 같다. 첫째, 짧은 글로우 구간을 가지므로 램프의 수명이 연장된다. 둘째, 전력을 제어하므로 빛의 색이 지속적으로 안정적이다. 특히, Dimming 등을 통해 에너지 절감의 경제적 효과도 거둘 수 있다. 셋째, 크기를 축소시키고 무게를 감소시킬 수 있다. 넷째, 가청 노이즈 및 flicker 현상을 제거할 수 있다. 다섯째, 효율 및 역률을 개선시킬 수 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고, 그 점등 특성은

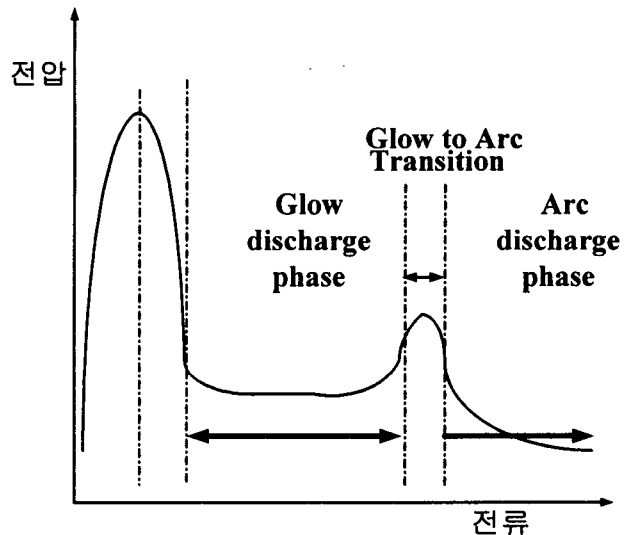


그림 1 메탈 할라이드 램프의 점등 특성
 Fig. 1 The Characteristics of the MHD Lamp

다. 이때 램프 전류는 전극에서 방출된 열 전자에 의한 성분이 주를 이루게 되며, 방전이 계속될수록 램프 양단 전압은 차츰 증가하게 된다. 램프가 아크 방전을 지속할 때에는 램프의 입력 전력 주파수와 관 내부의 온도 혹은 압력 변동이 방전등 내부

의 공진 주파수와 일치할 때 아크의 흐름이 불안정해지는 음향공진 현상이 일어날 수 있으며, 이를 막기 위해서 저주파 구동의 경우 입력 전류 성분의 리플이 DC 전류에 비해 충분히 작은 값이 되도록 유지 시켜줘야 한다.

본 논문에서는 방전등의 초기 점등 방법에 따른 몇 가지 안정기를 소개하고, 음향 공진을 막으면서 초기 점등 전압을 LC 공진을 이용해 얻는 안정기를 제안한다.

2. 기존의 안정기

1.1 외부 이그니터를 사용해 점등하는 안정기

그림 2에 간단화 된 회로를 나타내었다. 점선의 경로를 통해 개방회로 전압에 의해 커패시터에 충전된 에너지가 S1의 Trigger 소자가 개방회로 전압 근처에서 단락될 때 고압 변압기의 턴비에 의해 2차측에 전달된다. 이때 램프에는 실선의 경로를 통해 고압이 인가된다.

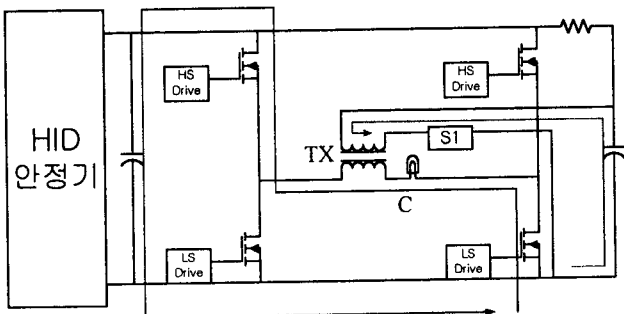


그림 2 외부 이그니터를 사용한 안정기
Fig. 2 The ballast using the external ignitor

이를 통해 순시 재 점등이 가능한 수십 kV의 고압을 얻을 수 있다. 또한, 램프에 직렬로 인덕터가 연결되어 있어 램프의 정상 상태에서 약간의 리플을 제거해주는 장점을 갖는다. 그러나 고압회로가 차지하는 면적이 크고, 가격이 비싸다는 단점이 있다.

1.2 내부 공진을 이용해 점등하는 안정기

1.2.1 LCC 공진형 안정기

LCC 공진형 인버터는 스위치의 동작을 통해 구형파를 만들고, 이를 LCC 네트워크를 통해 정현파로 만들어 램프의 전압과 전류를 인가하게 된다. 따라서 램프의 전력이 순시적으로 바뀌게 되고, 음향공진 주파수에서 구동할 경우 음향 공진의 가능성이 생기게 된다. 특히 램프마다 음향공진 주파수가 달라 범용 안정기를 개발하는 것이 어렵다.

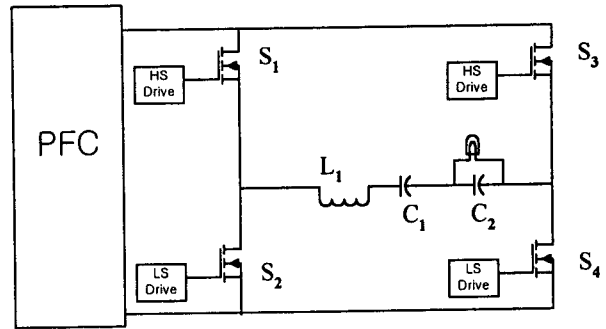


그림 3 LCC 공진형 인버터를 이용한 안정기
Fig. 3 The ballast using the LCC resonant inverter

1.2.2 LC 공진형 안정기 [2]

그림 4에 LC 2차 stage를 통해 공진하는 안정기를 나타내었다. S1, S2는 각각 교번적으로 동작하여 구형파의 전압을 A-B에 인가한다. 이때 L과 C의 상대적인 크기와 스위칭 주파수에 의해 점등단계에서 (L_1+L_2)와 C_2 가 공진하여 램프 양단에 고전압을 인가하게 된다.

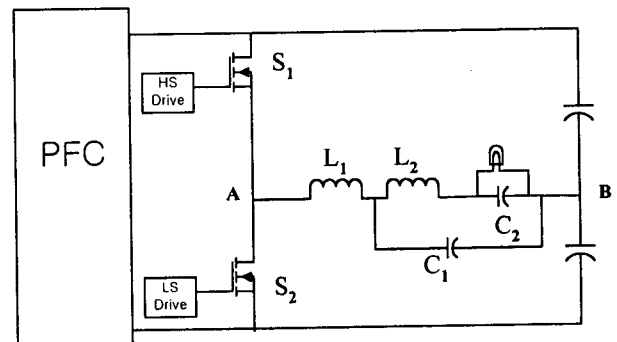


그림 4 LC 공진을 통해 점등하는 안정기
Fig. 4 The ballast using LC resonance

이 회로의 경우, 정상상태 리플을 줄여 음향 공진을 막기 위해서는 스위칭 주파수가 충분히 높아야 하며, 공진시 공진 전류에 의한 스위치 파괴를 막기 위해 L_2 가 충분히 커야한다. 또한 추가적인 인덕터의 사용으로 전체적인 회로의 크기가 증가하게 된다.

3. 제안된 안정기

제안된 안정기는 LC 공진을 통해 초기 고전압을 얻는다. 그리고 큰 특성 임피던스로 인해 생기는 추가의 영 리플 전류 회로를 통해 정상상태 리플을

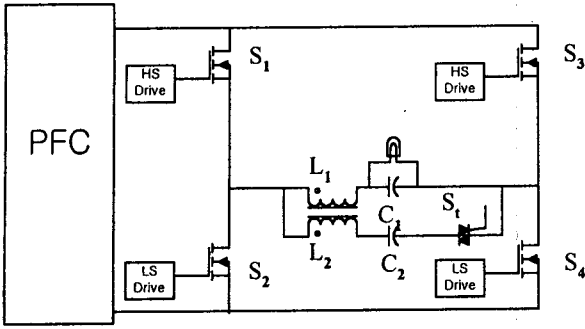


그림 5 제안된 안정기
Fig. 5 The Proposed Ballast

제거하게 된다. 인덕터를 결합시켜 전체적인 크기를 줄일 수 있으며, 스위칭 주파수를 낮게 유지시킬 수 있어, 스위칭 손실을 감소시킬 수 있다.

그림5 와 그림6에서 제안된 안정기와 그 게이팅 신호를 나타내었다. 초기 점등 고전압을 얻기 위해

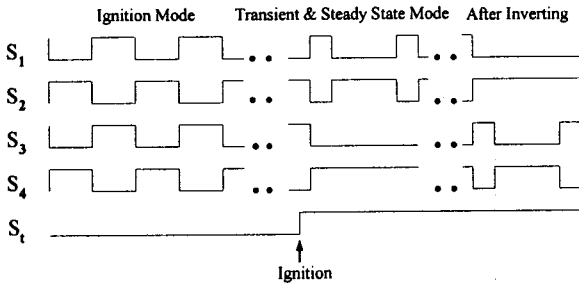


그림 6 스위치의 게이팅 신호
Fig. 6 Timing chart of S1, S2, S3, S4 and Si

풀 브릿지 스위치를 교번적으로 동작시켜 LC 공진 네트워크에 구형파를 인가한다. 이때의 등가회로는 그림 8과 같다.

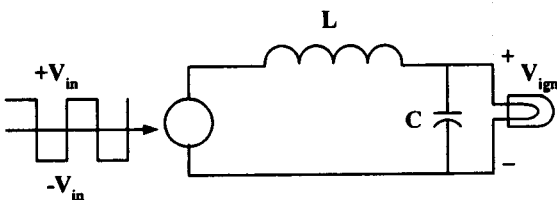


그림 7 초기 점등 단계에서의 등가회로
Fig. 7 The equivalent circuit of the ignition mode

점등시의 입력전류와 점등 전압은 식(1)-(2)로 주어진다.

$$I_{in,pt} = \frac{V_{ign}}{Z} \quad (1)$$

$$f_{ig} = f_o \times \sqrt{1 + \frac{4}{\pi} \frac{V_{in}}{V_{ign}}} \quad \text{where } f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

초기 점등이 성공하면 트라이앵클을 연결하여 영리플 전류 회로를 동작시킨다. 그때의 등가회로는 그림8과 같다. 식 (3)-(4)는 누설 인덕턴스를 나타낸 것으로 $n=k$ 이면 $L_{k2}=0$ 이 되고, 1차측의 L_{k1} 양단의 전압차가 0이 되어 이상적으로 전류 리플이 0이 된다.[3]

$$L_{k1} = (1-kn)L_1 \quad (3)$$

$$L_{k2} = n(n-k)L_1$$

$$k = \frac{L_m}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad n = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (4)$$

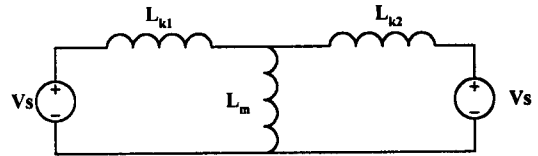


그림 8 정상상태 등가회로
Fig. 8 The equivalent circuit at the steady state

설계 방법은 아래와 같다.

- 1) 식(1)과 식(2)에서 공진주파수와 특성 임피던스를 결정한다.
- 2) 1)을 바탕으로 L_1 과 C_1 을 설계한다.
- 3) 정상상태 리플을 고려하여 턴비를 결정한다.

4. 실험결과

그림 9는 실제 150W 메탈할라이드 램프(CDM-TD, Philips)를 대상으로 실험한 초기 점등 전압 결과이다. 초기 점등 전압은 약 1.25kV 이다.

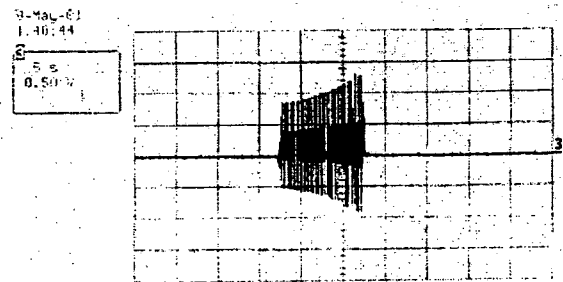


그림 9 초기 점등 전압(500V/div)
Fig. 9 The ignition voltage (500V/div)

참 고 문 헌

그림 10은 저항부하에서 리플 제거회로가 없을 때의 파형이며 약 400mA의 리플이 측정되었다.

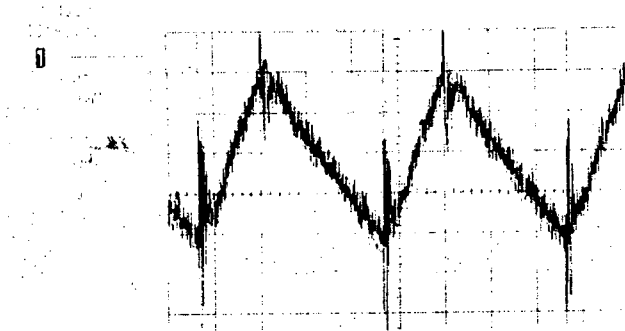


그림 10 리플제거 회로가 없는 부하전류 (100mA/div)
Fig. 10 The Load current without Zero ripple current circuit (100mA/div)

- [1] L. C. Pitchford, I. Peres, K. B. Liland and J. P. Boeuf, "The Breakdown and glow phases during the initiation of discharges for lamps," Applied Physics, 1 July, 1997.
- [2] Yiyong Sun, Takeshi Goriki, "Driving Circuit For High intensity Discharge Lamp Electronic Lamp", US Patent 6,020,691
- [3] Rudolf P. Severns and Gordon (Ed) Bloom, "Modern DC-To-DC Switchmode Power Converter Circuits", pp. 273~282, Van Nonstrand Reinhold.

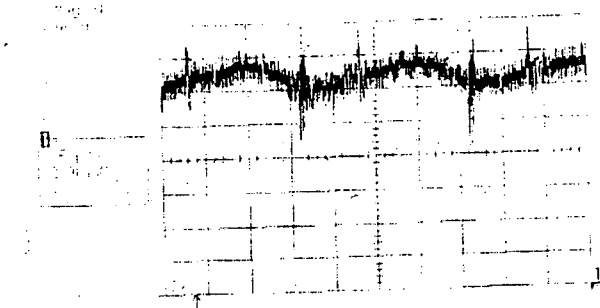


그림 11 영 전류 리플 회로 동작 시 부하 전류 (100mA/div)
Fig. 11 The load current using the Zero Ripple Current circuit (100mA/div)

그림 11은 리플제거 회로가 동작하고 있을 때 부하 전류로 리플이 약 1/4정도로 감소 됐음을 확인할 수 있다. 실제로 C_2 가 이상적인 직류 전원이 되지 못하므로 리플 전류는 0이 되지 않는다.

4. 결 론

외부 이그니터가 없는 리플 제거형 안정기를 제안하였다. LC 공진을 통해 이그니터를 대체했으며, 영 리플전류 회로를 적용하여 정상상태 리플을 제거, 음향공진 현상을 막았다.

이 논문은 (주)삼화양행의 연구비 지원에 의하여 연구되었습