
Short-Arc 램프용 전자식 안정기의 설계 및 제작

김일권* · 한주섭** · 길경석**

Design and Fabrication of an Electronic Ballast for Short-Arc Lamps

Il-kwon Kim* · Ju-seop Han** · Gyung-suk Kil**

본 논문은 중소기업청 주관 2005년도 기술혁신개발사업과 한국학술진흥재단 신진연구자
연수지원사업으로 수행되었으며, 관계부처 지원에 감사드립니다.

요 약

본 논문은 승압형 컨버터, 강압형 컨버터 및 저주파 인버터를 이용한 고휘도 Short-Arc 램프용 전자식 안정기의 설계 및 제작에 관하여 기술하였다. 제안한 안정기는 130 [Hz]의 구형 저주파를 램프에 인가함으로써 고압 방전 램프에서 발생할 수 있는 음향공명현상을 제거하였으며, 25 [kHz]의 고주파 전압을 중첩시켜 아크튜브의 전극에서 발생할 수 있는 열적 불균형을 해소하였다. 또한 전압·전류의 합을 이용한 정전력 제어를 수행하여, 주위 환경 및 램프의 노화에 따른 램프 전압의 변화에 대하여 안정한 점등상태를 유지하였다. 실험결과로부터, 제작한 전자식 안정기의 램프 전압, 전류 및 전력은 각각 123.8 [V], 8.1 [A]와 1,002 [W]로 측정되었다.

ABSTRACT

This paper deals with an electronic ballast for high intensity short-arc discharge lamps, which consists of a boost converter, a step down converter operated as a current source with power regulation and a low frequency inverter with external ignition circuit. The ignition circuit generates high voltage pulses of 130 [Hz] up to 5 [kV]. A reignition circuit is equipped in the ballast, and it operates the lamp at a regular interval for protection when an ignition fails. Acoustic resonance phenomenon was eliminated by operating a low frequency square wave voltage and current. The measured lamp voltage, current and consumption power were 123.8 [V], 8.1 [A] and 1,002 [W], respectively. From the experiment, we confirmed that the prototype ballast operates the lamp with a constant power.

키워드

Electronic Ballast, Short-Arc lamp, Step down converter, High pressure discharge lamp

I. 서 론

최근 각 지역마다 야간 경관조명 및 스포츠 조명 시설에 대한 투자가 증가함에 따라 조명탑, 대형 홀, 체육관의 설립이 해마다 증가되고 있다. 스포츠 조명용으로 각광받

고 있는 고휘도 Short-Arc 램프는 기존 메탈할라이드 램프에 비해 광효율 및 연색성을 크게 개선한 고효율 램프이다. 이는 광원의 크기가 순수한 점광원에 가깝기 때문에 등기구의 설계 및 목표 배광을 얻기가 용이하여 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 그러나 램프를 점등하기 위

* 오진산업사

** 한국해양대학교 전기전자공학부

한 안정기는 10 ~ 25 [kg]이 넘는 자기식 안정기를 사용하므로 수십 ~ 수백개의 램프를 사용하는 대형 조명시설의 경우 조명기구의 크기가 커지고 무게가 증가하므로 전체 조명설비의 설계 및 유지, 보수비용이 증가하게 된다. 이러한 기존의 자기식 안정기를 전자식 안정기로 대체하면 부피 및 무게를 1/4 ~ 1/5 정도로 감소시킬 수 있기 때문에 감소분만큼 조명설비의 비용을 크게 절감할 수 있다. 또한 정전력 제어를 통해 광출력을 일정하게 유지하여 우수한 조명연출을 실현할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 정전력 제어가 가능한 소형, 경량의 1 [kW]급 고휘도 Short-Arc 램프용 전자식 안정기를 설계, 제작하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

제안한 전자식 안정기는 130 [Hz]의 구형 저주파를 램프에 인가함으로써 고압 방전 램프에서 발생할 수 있는 음향공명현상을 제거하였으며, 25 [kHz]의 고주파 전압을 중첩시켜 아크튜브의 전극에서 발생할 수 있는 열적 불균형을 해소하였다. 또한 강압형 컨버터를 제어함에 있어 램프 전압, 전류 피드백 신호의 합을 이용한 정전력 제어를 수행하여 램프 출력을 안정화 하였다.

램프의 점등을 위하여 펄스 트랜스와 양방향 스위칭 소자를 이용한 외장형 점화기를 제작하였으며, 램프의 점등 유무 검출을 통한 자동 재점등 기능을 추가하였다.

II. 전자식 안정기의 설계

2.1 안정기의 기본 구성

그림 1은 제작한 전자식 안정기의 구성도를 나타낸 것으로 크게 승압형 컨버터, 강압형 컨버터 및 저주파 인버터로 나눌 수 있다.

승압형 컨버터는 범용의 역률개선 IC를 이용하여 220 [V] 상용전원을 정류한 후 DC 400 [Vmax]로 변환한다. 강압형 컨버터는 승압형 컨버터에 의해 승압된 직류 전원을 스위칭 소자의 시비율을 제어함으로써 점등 초기에 램프로 인가되는 전류를 일정하게 제한하며 정상상태일 때 정전력 제어를 수행하는 2단의 전력 제어기로 구성하였다. 저주파 인버터는 풀브릿지형 인버터 회로를 적용하여 램프로 인가되는 전압 및 전류를 130 [Hz]의 저주파수의 구형파로 변환한다. 또한 점화기에 구동전압을 공급하여 초기 점등시 3 ~ 5 [kVpk]의 고전압 펄스를 발생시킨다.

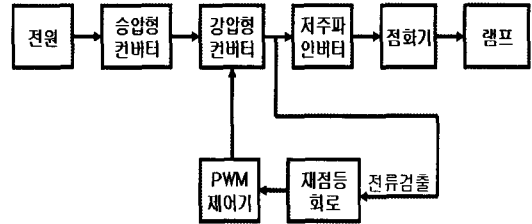


그림 1. 전자식 안정기의 구성도
Fig. 1 Block diagram of the electronic ballast

2.2 승압형 컨버터 회로

승압형 컨버터는 범용의 역률개선 IC인 모토로라사의 MC34262를 이용하여 회로를 구성하였으며 개략적인 회로를 그림 2에 나타내었다.

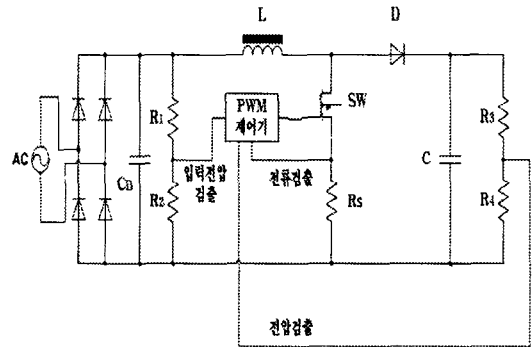


그림 2. 승압형 컨버터 회로
Fig. 2 Power factor correction circuit

이 회로는 220 [V] 상용전원을 직류 전원으로 변환하며 전과정류된 입력전압을 피드백 신호와 승산하여 스위칭 소자의 시비율을 조절함으로써 입력전류를 정현파로 만들어 역률을 개선한다. 그러나 본 연구에서는 역률개선보다는 전압의 승압을 목적으로 회로를 설계하였다. 이처럼 전압을 승압하면 점등시 고전압 발생에 유리하며 점등 후 발광 개시에 이르기까지 아크 전류를 유입하기에 용이한 장점이 있다[1].

2.3 램프 전력 제어

정상상태의 램프 전압은 제조사마다 그 특성치가 다르며 점등 방향, 밀폐된 등기구 적용 및 램프의 노화 정도에 따라 수 ~ 수십 [V]의 차이가 발생하게 된다. 따라서 안정한 광출력 및 동작특성을 얻기 위해서는 정전력 제어가 필수적이다[2,3].

이상적인 정전력 제어는 램프 전압과 전류의 곱을 이용하여 제어하는 것이 바람직하지만 제어회로가 복잡하고 무부하시 또는 점등 직후와 같이 램프 전압 및 전류의 값이 급격히 낮아지는 경우 전력 제어의 오차가 커지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 3에서와 같이 점등 후 램프 전압의 상승에 따라 2단의 제어회로로 구성하였으며, 정전력 제어는 램프 전압과 전류의 곱을 일정하게 제어하는 방법을 적용하였다. 이와 같은 제어방법은 이상적인 정전력 곡선의 부분적인 경사면이 거의 일정한 점을 이용한 것이다.

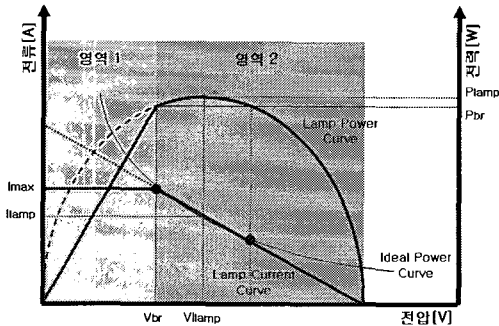


그림 3. 정전력 제어 특성
Fig. 3 Characteristics of the electronic ballast

램프의 전력을 제어하기 위해서는 램프의 전압과 전류에 대한 신호를 검출해야 한다. 하지만 제한한 안정기는 램프가 풀브릿지 인버터 양단에 연결되어 있기 때문에 플로팅된 램프 전압과 전류를 검출하는 것은 어렵고 제어가 복잡해지는 문제가 있다. 따라서 강압형 컨버터 출력 특성을 이용한 간접적인 검출방법을 사용하였다. 이는 컨버터 출력 전압의 평균 전압은 램프 전압과 동일하고, 컨버터 코일의 평균 전류가 램프 전류와 동일한 특성을 이용한 것으로서 그림 4와 같이 저항 R_1 과 R_2 를 이용한 강압형 컨버터 출력 전압과 검출 저항 R_s 양단의 전압으로 램프의 전압, 전류의 값을 검출하였다. 초기 점등 후 검출 저항을 통하여 램프 전류를 검출하고 기준값과 비교하여 스위칭 소자의 시비율을 조절함으로써 램프로 흐르는 과전류를 제한하며, 이후 램프의 전압이 점차 증가하여 정상상태에 도달하면 램프 전압과 전류의 피드백 신호를 기준 전력값과 비교하여 정전력 제어를 수행한다.

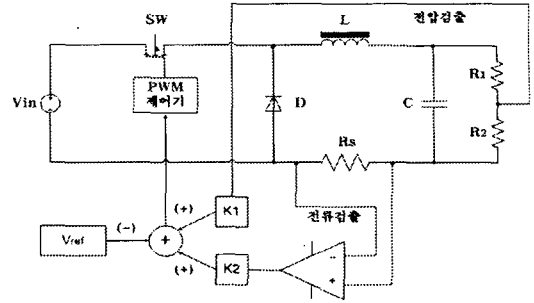


그림 4. 강압형 컨버터 회로
Fig. 4 Step down converter circuit

2.4 점등 회로

그림 5는 점등 회로를 나타낸 것으로 이는 풀브릿지 인버터 양단에 램프와 직렬로 연결되며 펄스 트랜스 1차측은 양방향 스위칭 소자에 연결된다.

인버터의 반주기마다 강압형 컨버터 출력전압이 양방향 스위칭 소자의 트리거 전압에 도달하면 스위칭 소자가 도통되어 펄스 트랜스 1차측에 펄스 전류가 흐르게 된다. 이에 따라 2차측 권수비에 의한 3 ~ 5 [kV_{pk}]의 고전압이 램프에 인가되어 램프가 점등된다. 램프가 점등된 후에는 양방향 스위칭 소자 양단에는 트리거 전압보다 낮은 램프 전압만이 인가되어 스위칭 소자를 도통시키지 못하므로 펄스 트랜스 1차측은 개방된 회로가 된다.

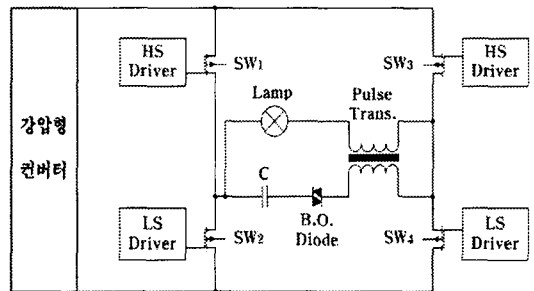


그림 5. 풀브릿지 인버터 및 점등 회로
Fig. 5 Full-bridge inverter and ignition circuit

2.5 재점등 회로

램프가 점등되어 일정시간이 흐르면, 아크-튜브는 방전에 의하여 강렬한 빛을 방출함과 동시에 내부가 고온, 고압의 상태가 된다. 이 때 순간 정전이나 일시적 소동 후 램프가 충분히 식기 이전에 재점등을 시도하면 램프의 방전개시전압이 매우 높아져 점등되지 못한다. 이 때문에 자연 냉각에 의해 내부 압력이 낮아져서 램프가 재점등

될 때까지 점화기는 지속적으로 램프에 고전압을 인가하므로 램프, 스위칭 소자 및 제어 IC에 불필요한 전압 스트레스를 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 타이머를 이용하여 램프가 냉각되는 동안 일정시간마다 재점등을 시도하도록 구성하였다.

그림 6은 램프의 점등 유무를 판단하는 전류 검출회로를 나타낸다.

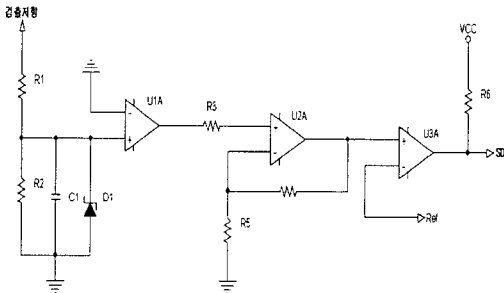


그림 6. 전류 검출회로
Fig. 6 Current sensing circuit

램프가 점등되면 강압형 컨버터의 검출저항 R_s 양단에 전압강하가 발생하고, 이 전압은 증폭기, 비교기를 통하여 타이머 IC로 인가된다. 타이머 IC의 출력은 강압형 컨버터의 PWM 제어기의 Shut-Down 핀에 연결되며, 이에 따라 램프의 정상 점등시 점등을 유지하며, 만일 램프가 점등되지 않을 경우 타이머 IC가 동작하여 2분 간격으로 재점등을 시도한다.

일반적인 고압 방전 램프는 5 ~ 10분 내에 냉각이 되므로 제안한 재점등 회로의 적용은 램프가 재점등되는 동안 2 ~ 5회 정도만 고전압이 인가되어 불필요한 전압 스트레스를 줄일 수 있다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 승압형 컨버터 회로의 출력 특성

그림 7은 램프가 정상상태에 도달했을 때 승압형 컨버터의 출력 전압을 나타낸 것이다. 무부하시 DC 400 [V_{max}] 와는 달리 램프가 점등되어 부하가 증가하자 약 20 [V]의 전압강하가 발생하였으며 120 [Hz]의 리플이 포함되었다. 그러나 이러한 리플은 강압형 컨버터에 의해 감소되기 때문에 실제 램프 출력에는 영향이 없는 것으로 판단된다.

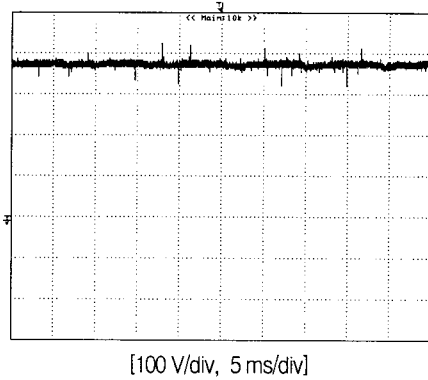


그림 7. 강압형 컨버터의 출력 전압
Fig. 7 Output voltage waveform of the boost converter

3.2 점등 회로의 출력 특성

강압형 컨버터는 무부하시 출력전류가 없기 때문에 LC 필터의 충,방전 시정수에 따라 펄스성 전압이 발생하며 이 때문에 점등 회로의 출력 특성을 관찰하기가 어렵다.

따라서 풀브릿지 인버터 양단에 더미 부하를 연결하여 점등 회로의 양방향 스위칭 소자의 트리거 전압 이상의 전압을 발생시켰다.

그림 8은 풀브릿지 인버터 양단에 백열전구를 이용한 500 [W] 더미 부하를 연결한 후 펄스 트랜스 양단의 전압을 측정된 파형이다. 점등 회로는 풀브릿지의 동작에 의하여 반주기 마다 고전압 펄스를 발생시키며 최대 전압은 3.4 [kV_{pk}]로 측정되었다. 램프가 점등된 후 점화기 양단의 전압은 램프 전압으로 낮아지므로 더이상 고전압을 발생시키지 않았다.

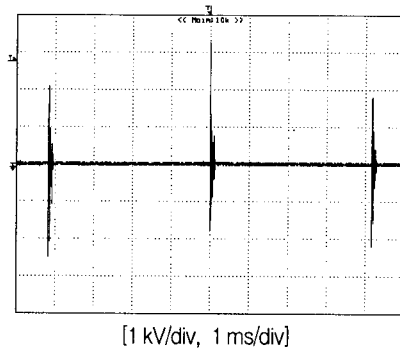


그림 8. 점화기 출력 전압
Fig. 8 Ignition voltage waveform

3.3 램프 출력 특성

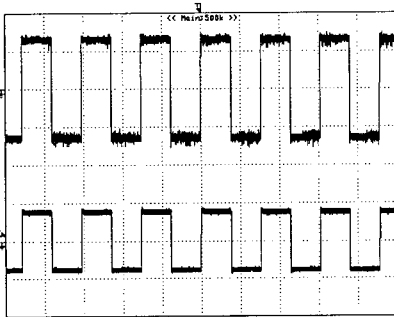
램프가 점등된 직후, 램프 전류는 안정기의 동작에 의하여 9.3 [A]로 제한되었으며 램프 전압은 약 20 ~ 30 [V] 정도로 급격히 낮아지는 전형적인 부성저항 특성을 나타내었다. 시간이 경과함에 따라 램프의 임피던스는 점차 증가하여 정상 상태에 도달하였다. 이 때 램프 전압, 전류의 파형을 그림 9에 나타내었으며 램프 전압 및 전류의 값은 각각 123.8 [V], 8.1 [A]로 측정되었다.

저주파수의 구형파 전원 인가는 램프 전력의 순시치가 일정하므로 음향공명현상을 제거할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점과는 달리 상대적으로 직류로 구동되는 구간이 길어져서 램프를 DC로 구동할 때와 유사하게 램프의 수명이 단축되는 단점이 있다. 이 때 저주파수의

구형파에 고주파 전압을 중첩시키면 램프 전극의 열적 불균형을 해소하여 이러한 단점을 해결할 수 있다. 제한한 안정기는 고주파 리플 전압을 저주파수의 구형파에 중첩시켜 이러한 문제를 해결하였다.

그림 10은 130 [Hz] 구형파 전원에 25 [kHz]의 고주파 리플을 중첩시킨 파형을 확대하여 나타낸 것이다. 이 때 고주파 리플의 크기는 강압형 컨버터의 출력 캐패시터의 값을 이용하여 쉽게 조절할 수 있다.

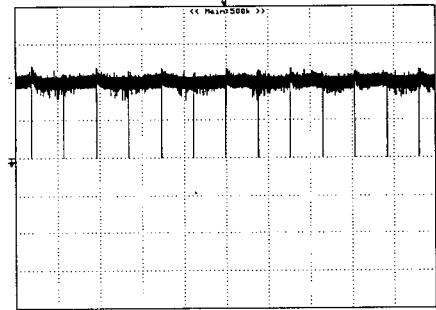
그림 11은 오실로스코프의 내장합수를 이용하여 램프에 전달되는 전력의 파형을 나타낸 것이다. 측정된 램프 전력은 1,002 [W]이며, 램프 출력이 일정하게 제어됨을 확인하였다. 이처럼 구형파 전원을 이용한 구동방식은 램프의 출력이 항상 일정하기 때문에 플라카 현상 및 음향공명현상을 제거할 수 있으며 램프의 광출력을 안정화할 수 있다.



상 : 램프 전압 [100 V/div, 5 ms/div]
하 : 램프 전류 [10 A/div, 5 ms/div]

그림 9. 램프 전압 및 전류

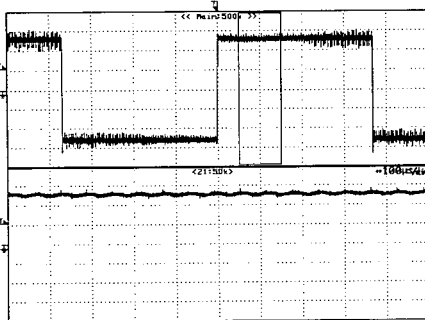
Fig. 9 Output voltage and current waveforms



[500 W/div, 5 ms/div]

그림 11. 램프 전력 파형

Fig. 11 Output waveform of the lamp power



상 : 램프 전압 [50 V/div, 1 ms/div]
하 : 고주파 전압 [50 V/div, 100 μs/div]

그림 10. 고주파 중첩 파형

Fig. 10 High frequency overlapping waveforms

램프의 수평 점등 이외에 $\pm 45^\circ$, 수직 점등 시에도 강압형 컨버터의 정전력 제어에 의하여 최대 3 ~ 5 [W] 정도 감소를 나타내었으며, 램프의 점등 방향에 따라 램프의 전력에는 커다란 변화가 없음을 확인하였다.

3.4 재점등 회로 특성

재점등 회로에 있어 램프의 점등 유무를 판단하는 것은 매우 중요한 부분이다. 그림 12는 점등 직후, 강압형 컨버터의 검출저항 R_s 양단의 전압을 측정 한 파형이다. 이 전압은 강압형 컨버터의 인덕터에 흐르는 전류와 동일하기 때문에 간접적으로 컨버터의 동작 특성을 알 수가 있다. 그림에서와 같이 강압형 컨버터의 스위칭 주파수는 약 13 [kHz]를 나타내었고 이 때의 듀티비는 8.45 [%]로

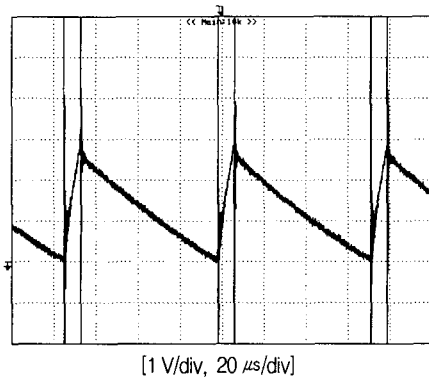


그림 12. 검출 저항의 출력 파형
Fig. 12 Voltage waveform of the sensing resistor

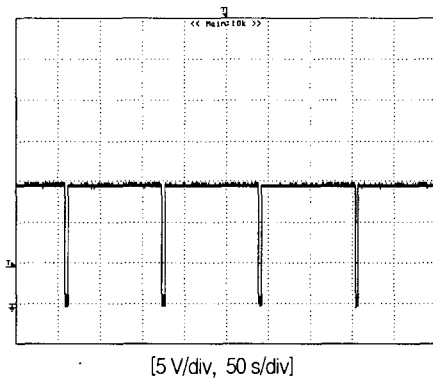


그림 13. 타이머의 출력 파형
Fig. 13 Output voltage waveform of the timer

측정되었다. 램프의 전류가 검출되었을 때에는 전류 검출 회로는 타이머 IC를 Shut-down시켜 점등을 유지하며, 이때 강제적으로 안정기의 전원을 제거하였다가 즉시 전원을 인가하면 타이머 IC가 동작하여 약 2분 간격으로 재점등을 시도하였다. 그림 13은 이 때 타이머 IC의 출력 파형을 나타낸 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 승압형 컨버터, 강압형 컨버터와 저주파 인버터를 이용하여 정전력 제어가 가능한 1 [kW]급 고휘도 Short-Arc 램프용 전자식 안정기를 설계, 제작하였다.

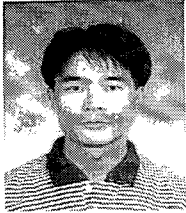
실험결과, 제안한 안정기는 소형, 경량화와 더불어 정전력의 안정적인 동작 특성을 확인 할 수 있었으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 승압형 컨버터는 범용의 제어IC를 이용하여 설계, 제작하였으며 무부하시 DC 400 [Vmax], 램프가 점등된 후에는 약 380 [V]를 유지하였다.
- 2) 강압형 컨버터를 이용한 전력제어는 램프전류, 전압의 합을 이용한 정전력 제어를 수행하였으며 수평, ± 45 [°], 수직 점등에 의한 램프전압의 변화에도 안정한 점등특성을 유지하였다.
- 3) 양방향 스위칭 소자와 고압 펄스 트랜스를 이용하여 별도의 점화기를 제작하였고, 최대 3.4 [kV]의 고전압을 램프에 인가하였다.
- 4) 플브릿지 인버터를 이용하여 130 [Hz]의 구형파를 램프에 인가함으로써, 음향공명현상을 제거하고 25 [kHz]의 고주파 전압을 중첩시켜 전극의 열적 불균형을 해소하였다.
- 5) 증폭기, 비교기를 이용한 전류 검출회로를 제작하여 타이머 회로와 함께 이상 소등시 자동 재점등 기능을 추가하였다.
- 6) 램프가 정상 상태에 도달했을 때 램프의 전압, 전류 및 전력은 각각 123.8 [V], 8.1 [A]와 1,002 [W]로 측정되어 안정적인 동작특성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] H. Kakehashi, "HID-Lamp Igniter Using A Two-Stage Magnetic-Pulse-Compression Circuit", Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1174-1178, 1998
- [2] Kaiser W, "Hybrid Electronic Ballast Operating The HPS Lamp At Constant Power", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 34, No. 2, pp. 319-324, 1998
- [3] Ichirou Oota, "A High Efficiency Power Control Circuit for Metal Halide Lamp", Pro. of the IEEE Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 1168-1173, 1998

저자소개



김 일 권(Il-kwon Kim)

1997년 2월 한국해양대학교 전기공
학과 공학사
2001년 2월 한국해양대학교 전기공
학과 공학석사

2004년 8월 한국해양대학교 전기공학과 박사과정 수료
2005년 5월 - 현재 : 오진산업사 차장
※ 관심분야: 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기
술, 고압 방전램프용 전자식 안정기



한 주 섭(Joo-sep Han)

1997년 2월 부경대학교 제어계측공
학과 공학사
1999년 2월 한국해양대학교 전기공
학과 공학석사

2003년 2월 한국해양대학교 전기공학과 공학박사
※ 관심분야: 고전압 발생 및 계측, 피뢰기 열화진단기술



길 경 석(Gyung-suk Kil)

1984년 2월 인하대학교 전기공학과
공학사
1987년 8월 인하대학교 전기공학과
공학석사

1996년 2월 인하대학교 전기공학과 공학박사
1996년 4월 - 현재 : 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수
※ 관심분야: 고전압 발생 및 계측, 전력설비 열화진단기술