

메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기에 관한 연구
Study on Electronic Ballast for Metal Hallide Lamps

오 병 석* 정 화 진 지 철 곤
Oh, Byeong Seok Cheong, Hwa Jin · Chee, Chol Kon
서울대학교 공과대학원 전기공학과
Dept. of Electrical Eng. Seoul National University

ABSTRACT

Incandescent lamps and discharge lamps are generally used as light sources and special ballasts are needed for stable operation of discharge lamps.

In this paper, the author proposes the electronic ballast for metal hallide lamps, experiments with high frequency square wave of frequency 22.52 KHz to avoid the acoustic resonance phenomenon and proves the usefulness of the proposed ballast. Furthermore, the author uses 220 AC voltage as a input voltage source of the proposed ballast.

By examining the proposed ballast, lamp voltage of 139 V(max.) and lamp current of 1.4 A(max) can be measured. Furthermore, stable operation and great luminous fluxes are recognized.

I. 서

조명용 광원으로서 크게 백열등과 방전등을 들 수 있으며, 방전등은 일반적으로 다음과 같은 전기적 특성을 갖는다.¹⁾ 즉, 1) 방전 개시 전압

이 점등시의 램프 전압보다 높다. 2) 전류-전압 특성이 부특성을 갖는다. 3) 교류 점등시에 높은 재점호 전압이 필요하다.

위와 같은 특성의 방전등 중에서, 메탈 할라이드 램프는 고압 수은 램프의 연색성 및 효율을 개선하기 위하여 봉입 수은 기체에 금속 또는 금속 할로겐화물을 혼입한 것이다. 최근에는 양질의 조명을 얻기위한 고연색성, 고효율의 광원으로서 메탈 할라이드 램프를 주목하고 있다. 더불어, 실내 조명을 위한 低watt, compact size의 메탈할라이드 램프에 관한 연구가 긴요한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 실정하에서 상기한 각 조건을 충족시킬 수 있는 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기를 설계, 제안하였다. 이하에서 살펴 보기로 한다.

II. 고압 방전등용 안정기의 분류

방전등용 안정기는 그 회로 원리에 따라 다음과 같이 나누어 보는 것이 일반적이다.

1. 자기(회로)식 안정기

1) 초크 코일형 안정기

이것은 기본적으로 두 개의 상호 독립된 자기

회로와 하나의 전력용 Capacitor로 구성된다. 입력 전압이 200V 이상인 경우에 사용된다. 점등 초기의 전류는 L₂와 C에 의하여 제한되며, 정상 상태에 도달한 이후 L₁은 관전압을 일정하게 하도록 한다.

2) 누설 변압기형 안정기

이것은 입력 전압이 정격 방전 전압보다 낮은 경우에 사용된다. 여기에 사용되는 변압기는 2차측에서 포화 상태를 형성하기 위하여 일정한 공극(空隙)을 두고있다. 이것은 입력 전압의 변동에 대해서도 일정한 이차 전압을 유지하기 위한 것이다.

그러나, 이러한 자기회로식 안정기는 중량, 한류 소자의 잡음, 크기, 특히 소용량의 고압 방전등 구동시의 비용(cost), 효율, 역률 등의 점에서 단점이 있으며, 이러한 점들이 전자식 안정기의 개발, 연구를 필요하게 하였다.

2. 전자(회로)식 안정기

지금까지 제안된 고압 방전등용 전자식 안정기는 주로 음향 공진 현상을 피하기 위하여 방전관의 디자인을 개량한다든가, 시뮬레이션을 통해 음향 공진 현상이 발생하지 않는 인가 주파수를 찾아 낸다든가, 또는 다양한 주파수의 전압을 중첩적으로 인가하는 등의 방법을 사용하고 있다.^{2).5).9)} 구체적으로는

- . 음향 공진 현상이 없는 약 100KHz이상의 전압을 인가하여 구동하는 방법
- . 고주파 및 저주파 전압을 시분할로 인가하여 음향 공진 현상을 피하는 방법
- . 전압의 순시치 변화가 없는 구형파를 인가하여 구동하는 방법
- . 직류 전압을 인가하여 구동하는 방법
- . 시뮬레이션을 통해 알아낸, 음향 공진 현상

이 없는 영역의 주파수를 가진 전압을 인가하여 구동하는 방법 등이 있다.^{2).5).9)}

III. 설계 및 그 구체화

방전등이 가진 전기적 특성(上記 序文 참조) 때문에 방전등의 안정된 점등과 그 이후의 안정된 구동을 위하여는 특별한 안정기를 필요로 하는바, 그에 요구되는 기본적인 기능은 다음과 같다.^{2).3)}

- 1) 방전등의 초기 시동 전압의 공급
 - 2) 방전 개시 이후 관전류를 제한하기 위한 한류 소자로서의 기능
 - 3) 방전 유지를 위한 재점호 전압의 공급
- 또한, 고압 방전등용 안정기의 경우에는 다음의 점까지 고려하여야 한다.^{2).5).9)} 즉,
- 4) 시동시의 인가 전압은 저압 방전등의 경우보다 높기때문에 특별한 점등 회로(Ignition circuit)를 필요로 한다.

5) 방전등을 구동하는 전압의 주파수가 높은 경우에 나타나는 음향 공진(Acoustic Resonances) 현상을 피하여야 한다.

6) 그 밖에 수은, 나트륨을 과잉 봉입한 경우에는 온도 증가에 따른 증기압의 상승, 점등 및 재점등 시간, 점등 직후와 그 이후 관전류와 관전압의 상호 관계 등.

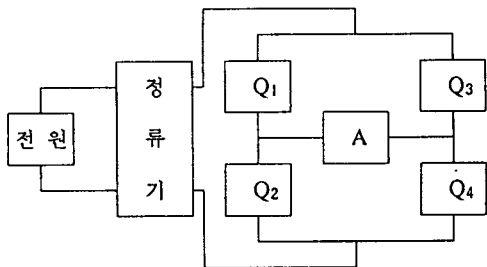
그 밖에도 실용상, 소형·경량화, 저소음, 잡음 전파의 억제, 비용의 절감 등이 필요한 기능이다.

1. 고주파의 구형파 인가 방식

메탈 할라이드 램프내의 절연이 파괴된 이후에 아크(arc)가 불안정하게 되는 것은 음향 공진 현상 때문인데, 음향 공진 현상은 2차 이상의 혼합된 주파수를 가질 수 있으며, 이렇게 다양한 공진 주파수를 가진다는 점이 메탈 할라이드 램프 구동의 어려운 점이다.

지금까지의 연구 결과 공진 현상을 일으키지 않는 몇 가지의 구동 방법이 제시되어 있다(II.2. 참조). 본 논문에서는, 메탈 할라이드 램프에 특히 두드러지는 광범위한 영역에서의 음향 공진 현상을 피하기 위하여, 구형파를 기본형으로 하고, 그 주파수는 上述한 연구에서 제시된 여러가지 면을 고려하여 본 논문에서는 20-50KHz구간의 주파수를 이용하기로 하였고, 실험 결과 메탈 할라이드 램프의 구동에는 22.5KHz주변이 가장 좋다는 것을 알게 되었다. 이는 기존의 연구와도 잘 일치하는 것이며⁶⁾, 본 논문에서 실험한 정확한 값은 22.52KHz이다. 가장 안정된 구동 주파수를 찾기 위하여 인버터의 각 트랜지스터 소자를 제어하는 신호 발생 회로의 신호 주파수를 변경 가능하도록 설계(後述하는 3.신호 발생 회로 참조)하여 여러 개의 램프에 공통적으로 안정된 값을 선택하는 방법을 취하였다. 방전등에 인가되는 인버터의 파형은 다음과 같다.(그림 2. 참조)

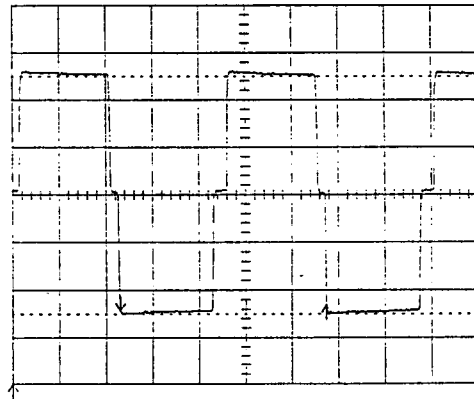
전원에서 공급되는 60Hz의 Sine파를 원하는 주파수로 변환시키기 위하여 그림 3.과 같은 인버터(Inverter)회로를 구성하였다. 이 회로에 사용되는 소자는 전력용 트랜지스터(Transistor)를 사용하였고, 그 제어를 위하여 각 트랜지스터 소자에 신호 발생 회로에서 나오는 신호를 인가하였다.



A : 램프 및 점등 회로
 Qi : 전력용 트랜지스터
 그림 1. 안정기의 기본 회로(인버터 회로의 구성도)
 램프에 전압을 인가하기 위한 인버터회로에서

Q1, Q2 또는 Q3, Q4 소자가 동시에 단락되는 경우가 발생할 수 있으므로(그림 1. 참조), 이를 방지하기 위하여 인버터의 각 트랜지스터 소자를 제어하는 신호 발생 회로에서 Dead time(그림 2. 참조)을 설정하고 있다(신호 발생 회로에 대하여는 후술함).

그 결과, 인버터의 모든 트랜지스터가 OFF 상태로 되어 있는 구간이 생긴다. 그러나, 인덕터가 그 구간에서의 소동 현상이 발생하지 않도록 전류 연속 소자로 기능하고 있으므로, 아크(arc)는 그 방전을 유지하게 된다.



Δt 44.4 μs F 22.52 kHz
 그림 2. 인가 전압의 파형

2. 한류 소자 (Current limiting element)

본 논문에서는 방전등 일반의 전기적 특성인 부저항 특성에 의해 램프 전류가 지나치게 흐르게 되는 결과 발생하는 소동 현상이나 불안정한 점등 상태를 피하기 위하여, 램프 전류를 적절한 값에서 제한하는 한류 소자로서 인덕터(Inductor)를 사용하였다.

이 방식을 사용한 것은, 인덕터 이외의 다른 요소(예컨대, 특별한 전류 제어 회로⁴⁾)를 추가하면 회로가 복잡하여 그 비용의 절감을 기대할 수 없을 뿐 아니라, 기존의 자기 회로식 안정기의 경우와 달리 소자의 인덕턴스(Inductance)값이 크지

않아도 좋기 때문에 기존의 안정기가 보여주는 불리함을 갖지 않기 때문이다.

인버터 회로에서 1A 이상의 과전류가 흐르게 되는 경우에는 신호 발생 회로에서 이를 감지하여, 인버터의 각 트랜지스터의 게이트에 입력되는 신호를 전혀 발생하지 않도록 하였다. 그러나, 이것은 만일의 사태에 대비한 보호 회로일 뿐이지 부특성에 따르는 전류 제한과는 관계없다.

3. 신호 발생 회로(Pulse generating circuit)

방전등에 구형파를 인가하기 위한 인버터의 각 트랜지스터 소자의 제어를 위하여 그림 3.와 같은 신호 발생 회로를 구성하였다. 신호 발생 회로의 주소자는 콤퍼레이터(Comparator)를 사용한 P.W.M (Pulse Width Modulation)방식의 스위칭 소자를 이용하였다. 여기서 발생하는 신호의 주파수는 외부에서 연결하는 저항의 크기와 콘덴서(Capacitor)의 용량으로 결정되는 바, 그 값은 다음의 식으로 주어진다.⁷⁾

$$f = \frac{1.2}{C R} \text{ (KHz)}$$

여기서, C:콘덴서의 용량 (uF)

R: 저항의 크기 (KΩ)

여기서, 인가 전압의 주파수를 가변으로 하기 위하여 위의 저항을 가변 저항으로 하였다. 본 논문에서 실험한 인가 전압의 주파수는 22.52KHz이며, 이것은 실험에 의하여 결정된 값이지만 타 연구에서 밝혀진 바와 잘 일치한다는 것은 既述하였다.(上述 1. 참조)

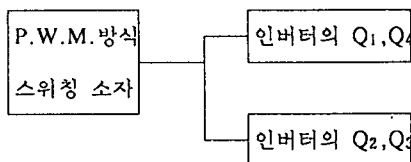


그림 3. 신호 발생 회로

4. 점등 회로 (Ignition circuit)

고압 방전등은 보조 전극이 없으므로 매우 높은 초기 시동 전압이 요구되므로, 그 안정기에는 별도의 점등 회로를 갖추어야 함은 既述하였다(上述한 Ⅲ.의 1),4 참조). 그러나, 대용량의 램프는 별도의 보조 전극을 갖추고 있는 것도 있다.

메탈 할라이드 램프의 경우, 그 시동 전압의 크기는 인가 전압의 주파수와 관계가 있는 바, 그것은 거의 선형 비례 관계이며 구동 주파수가 약 22KHz인 경우 시동 전압의 크기는 약 2500V이다.⁶⁾

5. 보조 전원 회로

인버터 트랜지스터의 구동을 위해 각 트랜지스터의 게이트에 신호를 입력하고 있다는 점은 이미 서술하였다(上述 1. 참조). 그런데, 네 개의 트랜지스터 중 Q1과 Q3의 입력에는 인버터 회로만으로는 기준 접지 전위(Reference ground voltage)를 결정하여 줄 수 없기 때문에, 별도의 절연된 보조 전원을 필요로 한다. 이를 구현한 것이 다음의 그림 4.이다.

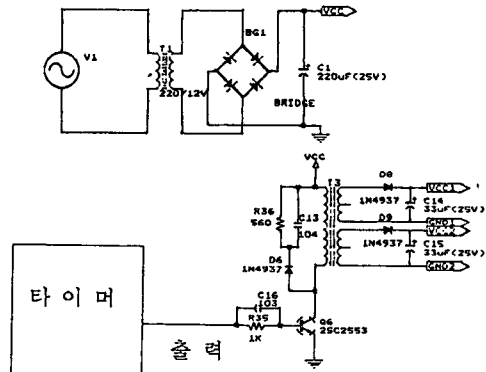


그림 4. 보조 전원 회로

위 보조 전원 회로는 스위칭 레귤레이터 (Switching Regulator)의 일종으로 플라이 백 (Fly-Back)방식 또는 ON-OFF 방식이라고 불린다.⁷⁾ 플라이 백 방식의 보조 전원 회로는 소전력

인 경우에 좋으며, 특히 병렬 동작시에 자동으로 균형을 유지)하므로 특히 채용하였다.

위 보조 전원 회로의 주요 소자인 트랜지스터의 구동을 위하여 여러 가지의 방식이 채용되나, 그 詳論은 본 논문의 범위를 넘어서므로 피하기로 하였다. 본 논문에서는 타이머(Timer)를 사용하여 그의 출력을 위 트랜지스터 제어용 펄스(Pulse)로 사용하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서 설계한 안정기는 크게 정류기, 인버터, 신호 발생 회로, 점등 회로, 보조 전원 회로의 다섯 부분으로 이루어져 있으며, 그 개념도는 다음과 같다.(그림 5. 참조)

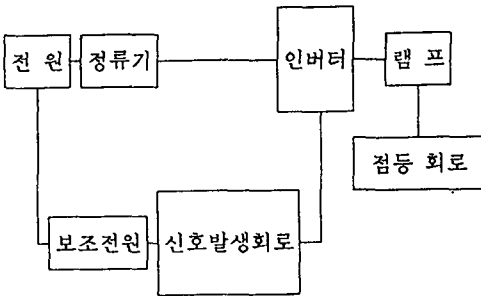


그림 5. 안정기의 개념도

IV. 신안정기의 평가

(1) 설계한 전자식 안정기를 제작하여 작동시킨 결과 안정된 점등 상태를 확인할 수 있었다. 정상 상태에서의 관전압과 관전류의 파형을 그림 6.에 보였다.

(2) 램프가 정상 상태에서 동작하는 동안의 리플율(Rate of Ripple)을 알기 위해 다음의 장치를 구성하였다(그림 7.참조). 광출력의 측정에는 셀레늄 광전지를 사용하였다.

실험 결과 다음과 같은 광출력 파형을 얻었으며, 리플율은 약 7.8 %에 불과하다(그림 8.참조).

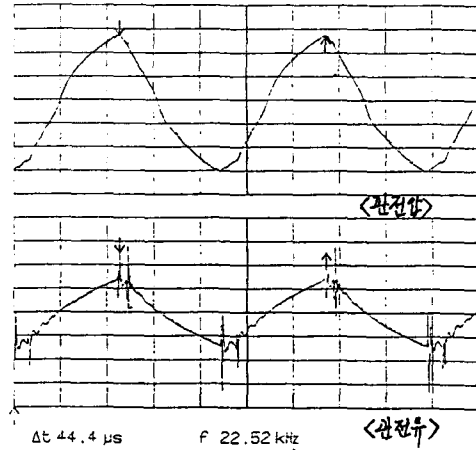


그림 6. 정상 상태에서의 관전압,관전류 파형

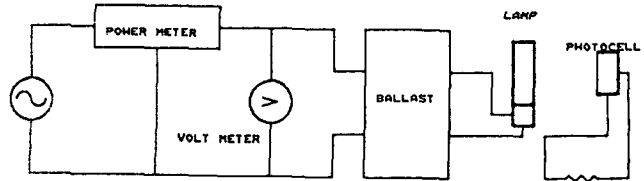


그림 7. 광출력 측정을 위한 실험 장치

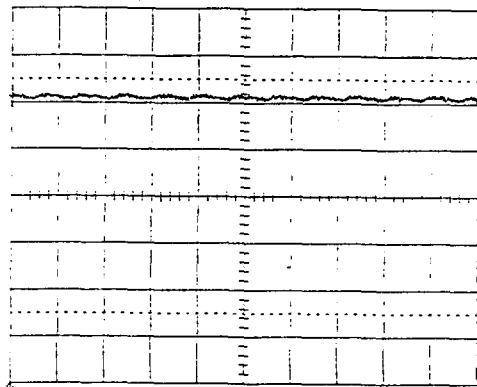


그림 8. 안정 상태에서의 광출력

본 안정기의 리플은 정류 회로를 개선하면 쉽게 제거할 수 있는 것이나, 실제로는 광원으로서 아무런 문제가 없기 때문에 비용만 증가시킬 뿐이어서 그대로 채용하기로 하였다.

(3) 마지막으로, 본 안정기의 입력 전력은 82W이며, 램프 입력 전력이 70W이므로, 그 효율은 85.5%이다. 이는 기존의 안정기에 비하여 현저히 증가한 수치임을 밝혀둔다. (75W 메탈 할라이드 램프용 안정기에 관한 자료에서는 약 80%의 효율

을 보이는 것이 있었다.⁸⁾)

V. 結 語

상술한 바와 같이 정류기, 인버터, 신호 발생 회로, 점등 회로, 보조 전원의 다섯 부분으로 이루어지는 고주파의 구형파 점등 방식 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기를 설계.제작하였다. 기존의 고압방전등은 주로 도로 조명, 투광.조명 등 고연색성을 필요로 하는 실내 조명용 광원으로는 거의 사용되지 못하고 있는 실정이었으나, 본 논문에서 설계한 안정기는 소용량.고효율.고연색성에 탁월한 광출력을 보이는 고압 램프용이므로, 그 의의가 자못 크다 하겠다.

앞으로 다음의 점에서 더욱 깊은 연구가 이루어져야 할 것이다. 즉, 한류 소자에 관한 더욱 다양한 방법의 실험을 실시하여 안정기의 효율 향상을 기하여야 할 것이며, 전원 전압의 예기치 못한 급변에 대한 대응 조치가 있어야 할 것이다. 또한, 보다 훌륭한 실내 조명용 광원으로서의 역할을 다하기 위해, 본 안정기에 조광 기능이 부여되어야 할 것이며, 순간 재점등 회로가 첨가되어야 할 것이다. 이들의 문제점은 안정기의 비용 문제와 상반되는 경향이 있으나, 회로의 보강으로 해결할 수 있을 것이다.

VI. 참 고 문 헌

- (1) 지철근, 전기응용, 문운당, 1987, pp.52-53.
- (2) 여인선, "방전등용 안정기의 발전 추이", 조명.전기 설비 학회 지, 1992.
- (3) 이용영, "The High Pressure Mercury Lamp Ballast Using Triac", 공학 석사 학위 논문, 서울대학교, 1982.
- (4) 정화진, "정전류 초핑을 이용한 구형파 구동형 고압 수은 방전등용 전자 안정기 설계에 관한 연구", 공학 석사 학위논문, 서울대학교, 1992.
- (5) Statnic, E. "High Frequency Operation of HID Lamps". 4.Symp. Light Sources. Karlsruhe. 1986.
- (6) J.Faehnrich & E.Rarsch, "Electronic Ballast for Metal Halide Lamps", J.of the IES, pp.131-140, Summer 1988.
- (7) 도서 출판 세운(편), 스위칭 레귤레이터 設計 노우 하우, 1985, pp.24-29.
- (8) Haruo Nagase 外 3인, "Study of Electronic Ballast for High Intensity Discharge Lamps", J. Illum. Inst. Jpn. Vol. 72 No.2 pp.85-90, 1988
- (9) William R. Alling, "Important Design Parameters for Solid-State Ballasts", IEEE Tran. Ind. Appl., Vol.25, No.2, March/April 1989.