

HID 램프를 자동 인식하는 안정기 설계

Ballast Design for HID Lamps with Automatic Identification

李 治 煥[†]
(Chi-Hwan Lee)

Abstract - An electronic ballast with automatic identification between HPS and MH lamps is proposed in this paper. The behavior of the lamp impedance is studied at both cold-starting and warm-starting. Lamp identification is carried out by taking into account the rate of impedance changing at constant current driving mode just after ignition. The ballast consists of 8-bit microcontroller and LCC resonant inverter.

Key Words : HID Ballast, Electronic Ballast, Lamp Identification

1. 서 론

오랫동안 사용된 고압방전(HID) 램프의 코일식 안정기는 저가격과 고신뢰도의 장점을 가지고 있으나, 약 85[%]의 낮은 효율, 80[%]이상의 높은 전류 왜형을 및 저역율의 문제가 있으며 램프를 최적 조건으로 구동하기에는 부적합하다. 현재, 효율이 좋은 전자식 안정기로 대체되고 있으며 코일식 안정기에 비해 많은 이점을 제공한다. 전자식 안정기는 93[%] 이상의 효율과 경량화, 플리커 제거, 고역율 및 램프의 수명 연장 등의 효과가 있다. 코일식 안정기에 비해 많은 전자파 방출과 내구성 등이 문제로 남아있다.^[1]

HID 램프는 점등, 시동, 정상출력 등의 상태에 따라 전기적 특성이 변화하며, 사용시간에 비례하여 정격전압도 상승하는 비선형 시변 특성을 가진다. 그리고 초기 점등을 위한 고전압 펄스의 발생과 인가방법에 따라 램프 수명에 직접적 영향을 미치는 것으로 연구되어 있다.^[2] HID 램프는 많은 종류가 있으며 램프 특성에 따라 각기 다른 전자식 안정기가 적용되고 있다. 메탈헬라이드 램프(MH)와 고압나트륨 램프(HPS)가 가장 많이 사용되며, 특수 목적으로 HQL, UHP 등이 있다.

전자식 안정기에서 고주파로 구동하면 램프의 아크가 불안정하게 되는 음향공명 현상이 발생하며 이것을 해결하기 위해 400[Hz] 구형파 구동법과 수 10[kHz] 구동 주파수를 주파수 확산법^[3]으로 스펙트럼을 분산시키는 방법 등이 연구되어 있다. 400[Hz] 구형파 구동은 안정된 아크를 얻을 수 있으나 부가적 고전압 발생회로와 많은 전력소자가 필요하고 스위칭 구간에서 광속이 영으로 되어 고속 촬영용 광원으로 부적합

하다. 주파수 확산법은 안정된 광속유지가 가능하나 램프에 따라 확산대역폭을 조정하여야 한다. 음향공명은 램프의 구조에 따라 특성이 결정되며 램프의 전기적 특성과 무관하다. HPS 램프는 공명현상이 일어나지 않는 주파수 대역이 넓게 분포되어 있으나, MH 램프는 공명현상이 넓은 주파수 영역에서 나타난다.^[4,5,6]

전자식 안정기에 회로구성과 제어기법 등에 대한 기술은 정착되었으며 많은 제품이 출시되고 있다. 그러나 아직 전자식 안정기 구동 램프의 점등 특성과 수명, 디밍 등에 대한 연구가 부진하며, 같은 출력의 램프라도 램프종류에 따라 전기적 특성이 다르므로 전용의 전자식 안정기가 요구되고 있다. 아직까지 하나의 안정기에서 서로 다른 램프의 구동은 불가능하다.

본 연구는 마이크로제어기를 채용한 전자식 안정기에서 MH 및 HPS 램프를 자동 인식하여 구동할 수 있는 기법을 제안한다. 전자식 안정기는 PFC, half-bridge LCC 공진 인버터^[7,8], 제어기 및 회로구동용 전원부로 구성된다. 초기 기동시 램프는 일정 전류 모드로 구동하며, 램프 전압의 증가에 따른 램프 임피던스 변화를 검출하여 접속된 램프를 인식토록 하였다. LCC 공진 인버터는 점등 고전압 발생과 출력제어를 동시에 수행하며 램프 전류-전압이 감시된다. 마이크로프로세서는 램프상태에 따른 최적제어와 보호기능 등이 수행된다. 제작된 250[W]안정기는 MH 및 HPS 램프 인식에 평균 30초가 걸렸으며 안정기 효율 94[%]를 달성하였다.

2. 전자식 안정기 구성

제안된 전자식 안정기의 구성은 그림 1과 같다. 교류 입력은 유니버설 전압 범위 80~270[V]이며 EMI 저감을 위해 2단의 라인 필터를 사용한다. PFC와 LCC 공진인버터는 제어기가 관할하며, 최소 입력전압 60[V]에서 동작하는 DC-DC flyback 전원부를 가진다.

[†] 교신저자, 正會員 : 威德大學校 電子工學部 副教授 · 工博
E-mail : chlee@uu.ac.kr

接受日字 : 2005年 5月 31日

最終完了 : 2005年 9月 12日

PFC 제어는 LT1249로 행하며 LCC 공진인버터는 gate 드라이브와 CD4046 VCO를 포함한다.

Boost PFC는 3가지 모드로 동작될 수 있다. 가장 많이 이용되는 영전류모드 스위칭 방법은 MOSFET 스위칭 손실을 줄일 수 있으나 연속전류모드 스위칭 보다 큰 피크전류와 인덕터에서 많은 손실을 가진다. 또한 영전류모드 스위칭은 큰 전류 맥동으로 인하여 수 100[kHz] 대역에서 많은 EMI를 발생시킨다. 500[kHz] 이하의 EMI 56[dBμV] 기준을 만족시키기 위해 안정기는 연속전류모드 스위칭을 채택한다.

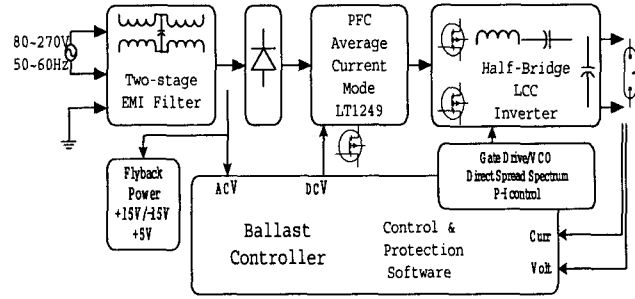


그림 1. 전자식 안정기 구성
Fig. 1. Configuration of the electronic ballast

Boost 출력단과 공진 인버터의 스위칭 전류는 전해콘덴서의 수명단축에 치명적으로 작용하며 안정기 수명을 결정하는 요소이다. 전자식 안정기는 그림 2와 같이 전해콘덴서 C2와 직렬로 인덕터 L1을 삽입하여 고주파 전류는 필름콘덴서 C1이 담당하며 C2에는 낮은 주파수 성분의 전류가 흐르도록 한다. 스위칭 주파수 ω에서 C1의 리액턴스에 비해 L1의 리액턴스를 크게 유지할 필요가 있으므로, $X_{L1} > 10X_{C1}$ 으로 가정하면, L1은 다음과 같이 결정 될 수 있다.

$$L_1 > \frac{10}{\omega^2 C_1} \quad (1)$$

공진인버터는 점등에 필요한 고전압 발생과 램프 전류를 제어하기 위해 그림 3과 같이 LCC로 구성한다^[8]. PFC 출력전압 Vdc는 공진인버터의 실효인가 전압 Vs를 제공한다.

$$V_s = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} \quad (2)$$

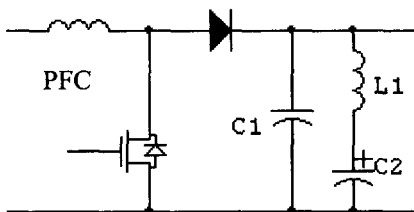


그림 2. 전해 콘덴서의 LPF
Fig. 2. Low pass filter for electrolytic capacitor

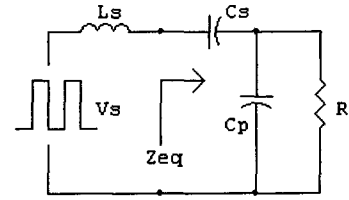


그림 3. LCC 공진 인버터 회로
Fig. 3. Circuit of LCC resonant inverter

방전 개시 전의 공진 주파수 ωs는 다음과 같다.

$$\omega_s = 1/\sqrt{L_s \frac{C_s C_p}{C_s + C_p}} \quad (3)$$

Cp는 고전압 발생을 위한 보조 콘덴서이며, 점등된 램프는 등가 저항 R로 표현 할 수 있으며, 등가 임피던스 Zeq는 등가저항 Req와 등가리액턴스 Ceq로 나타낼 수 있다.

$$Z_{eq} = R_{eq} + \frac{1}{j\omega_s C_{eq}} \quad (4)$$

$$R_{eq} = \frac{R}{\omega_s^2 R^2 C_p^2 + 1} \quad (5)$$

$$C_{eq} = \frac{kC_p(\omega_s^2 R^2 C_p^2 + 1)}{1 + (1+k)(\omega_s^2 R^2 C_p^2)} \quad (6)$$

여기서 $C_s = kC_p$ 이다. 이때의 공진 주파수 ω0는 다음으로 주어진다.

$$\omega_0 = 1/\sqrt{L_s C_{eq}} \quad (7)$$

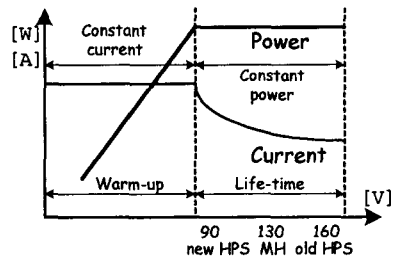


그림 4. 안정기 전압-전류 곡선
Fig. 4. Ballast V-A curve

그림 4는 HID 램프의 전압-전류 곡선을 보인다. 방전 개시 후 초기에는 약 30[V]의 램프전압에서 시작하여 천천히 증가하게 되며 MH 램프는 정격전류의 1.2배, HPS 램프는 정격전류의 1.4배를 공급한다. 이때 상승되는 전압은 램프 임피던스 변화에 해당한다. HPS 램프는 정격전압이 90[V]이며 사용시간에 따라 상승한다. MH 램프는 130[V]로 사용시간과 무관하다. HID 램프는 초기 공급 전류가 규정된 값을 유지 못하면 전압 상승이 일어나지 않는다. 램프전압이 높은 MH를 기준으로 정전류를 공급하면 초기에 HPS 램프는 매우 느린 전압상승을 나타내게 된다.

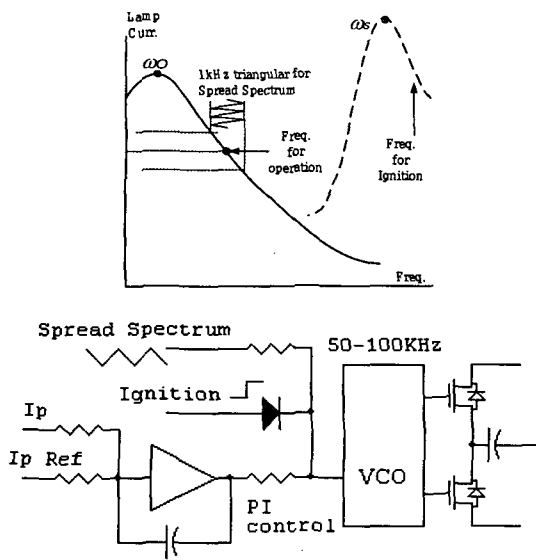


그림 5. 전류제어기
Fig. 5. Current controller of the ballast

그림 5는 공진인버터의 주파수 제어특성과 제어기 구성을 나타낸다. 램프전류 I_p 를 제어하기 위한 PI제어기는 OP amp로 구현되고, 검출된 I_p 와 제어기에서 출력된 기준 전압으로 동작된다. 점등전압은 다이오드를 통해 인가되는 전압, 즉 최대주파수 ω_0 로 동작하게 하여 발생시킨다. 음향공명 제어를 위한 스펙트럼 확산은 PI 제어기 출력과 함께 인가되는 삼각파 전압으로 발생한다.

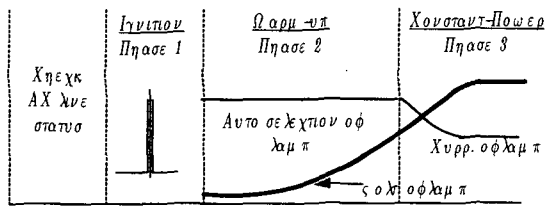


그림 6. 제어 모드
Fig. 6. Program modes of control

제어기 프로그램은 램프 구동을 위한 3개의 phase와 인터럽트 루틴으로 구성된다. Phase 1은 약 1~2 [kV]를 인가하는 초기 점등 구간으로 고전압은 20~70[us] 구간에서 인가한다. 방전 후 MH 램프는 약 0.1초 정도의 불안정한 글로우 방전 기간을 가지며 램프전압과 전류가 아크방전으로 안정화되면 phase 2로 전이된다. HPS 램프는 방전 후 아크방전으로 전이된다. 점등 고전압은 1초 주기로 10회 인가하고 점등 실패 시 20초 주기로 최대 15번 인가한다.

Phase 2는 아크 방전이 개시된 후 정상 출력이 될 때까지 정전류 제어를 행한다. MH 램프는 정격전류의 약 1.2배가 요구되며 HPS 램프는 정격전류의 약 1.4배가 필요하다. 일반적으로 MH 램프의 정격전압은 130[V], HPS 램프는 90[V]이므로 250[W] 램프에서 초기 전류는 2.3[A]/MH, 3.4[A]/HPS 이다. MH 및 HPS 램프는 서로 다른 점등 특성을 보이며, phase 2에서 임피던스 변화가 매우 다른 양상을 보인다. 초기에는 MH 램프의 시동 정전류 운전에서 램프는 임피던스가 상승하고, 이러한 상승 기울기를 관측하여 그림 7과

같이 접속된 램프를 자동으로 인식케 할 수 있다. MH 램프는 매우 빠른 상승을 보이며 상대적으로 HPS 램프는 느리게 변화한다. Warm-start 경우에도 임피던스의 변화 특성은 유사하게 진행되는 특성을 가진다.

Phase 2 구간에서의 램프전압은 전체적으로 상승하는 경향을 가지나 부분적으로 불안정한 특성이 관측된다. 이러한 불규칙한 램프전압의 외란을 제거하기 위해 인식 시작시점에서부터 전압을 적분하여 최종시점에서 전체 적분치를 기준치와 비교한다. 또한 warm-start의 경우 초기 램프전압이 높은 값을 가지므로 적분시간과 램프전압 상한치를 고려하여 인식종료 시점을 결정한다.

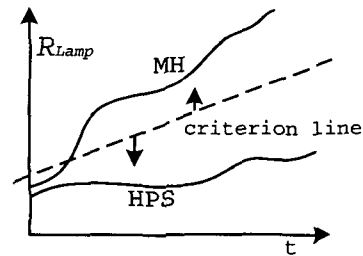


그림 7. 램프 임피던스 변화
Fig. 7. Variations of lamp impedance

3. 실험

250[W] MH 및 HPS 램프를 구동하는 전자식 안정기는 그림 8과 같이 제작되었다. PFC 인덕터 700[μH], 공진인덕터 250[μH]를 사용하고 전해콘덴서는 100[μF]을 부착하였다. 전압제어 발진기 CD4046을 이용하여 구동주파수를 제어하고, 램프 전압 및 전류를 제어기의 ADC에 연결하였다. LCC 인버터의 시동 고전압은 직렬공진 주파수의 인가시간에 비례하며 약 2[kV] 얻어진다. 표 1에 전기적 성능을 나타낸다. HPS 램프의 경우 MH 램프 보다 안정기 손실이 증가되었다. 이것은 LCC 공진회로에 흐르는 램프전류가 증가되었기 때문이다. 공진회로에서, 공진 인덕터의 손실이 가장 크며 전류에 직접 비례한다.

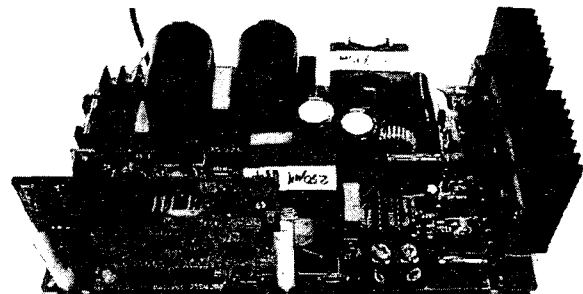


그림 8. 실험 안정기
Fig. 8. Experimental ballast

램프 인식을 위해 초기에는 MH램프의 구동전류 2.4[A]를 공급하고 임피던스 변화를 측정하였다. HPS 램프는 초기 구동전류보다 작은 전류이므로 전압상승은 매우 느리게 나타나게 된다. 그러므로 초기의 짧은 구간에서 접속된 램프를 인식할 수 있다. 그림 9는 MH 램프의 cold-start 특성을 보인다

다. 약 40초 동안 자동인식을 위한 임피던스 변화를 측정하며 MH 램프로 인식된 후, 구동전류의 변화 없이 phase 2를 진행하게 된다. 완전점등에 약 70초가 소요된다. 그림 10은 램프가 충분한 온도 상승 후, 재 점등 할 때 나타나는 특성을 보인다. 방전 후, 램프전압은 급격한 상승을 보이며 램프인식에 약 18초를 소요하며 완전점등에 약 36초가 걸린다. Phase 3의 전환에서도 cold start보다 빠른 상승 특성이 관측된다.

표 1. 안정기 성능

Table 1. Characteristics of the ballast

	MH 250[W]	HPS 250[W]
Input Power[W]	263	269
Efficiency[%]	95	93
P.F.	0.99	0.99
ATHD[%]	7	7

은 15[V]이며 인식 구간에서 거의 상승하지 못하고 있다. 램프인식이 완료되면 정격 시동전류 3.4[A]를 공급하여 램프전압을 정상적으로 상승시킨다. Phase 2의 정전류 구간에 약 180초 이상이 소요된다. 그림 12는 warm start이며 램프가 충분한 온도를 유지하므로 인식구간에서 약간의 전압 상승이 관측된다. 그러나 MH 램프에 비하여 매우 느린 상승을 보이고 있다. Cold start 경우에 비해 짧은 phase 2 시간이 소요된다. 인식 구간에서 임피던스 변화가 미소하므로 최대 인식 시간 40초를 모두 소비하고 있다.

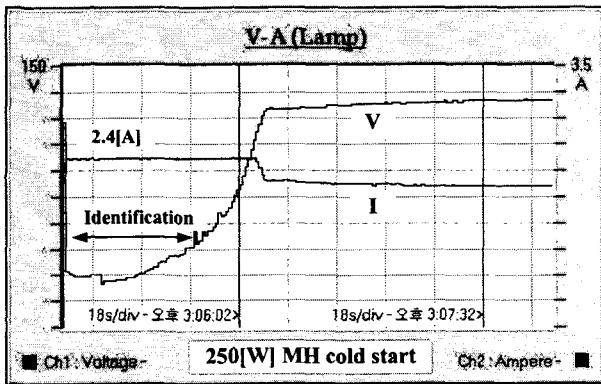


그림 9. Cold start시 임피던스 특성

Fig. 9. Characteristics of impedance at cold start (MH 250[W])

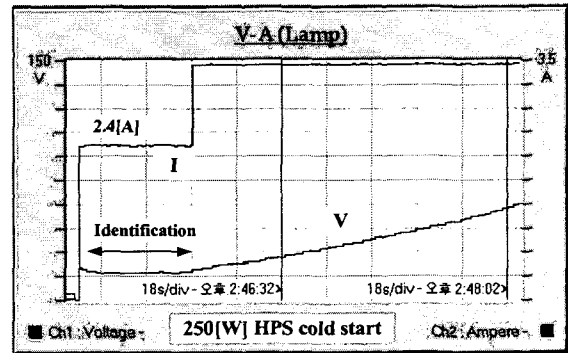


그림 11. Cold start시 임피던스 특성

Fig. 11. Characteristics of impedance at cold start (HPS 250[W])

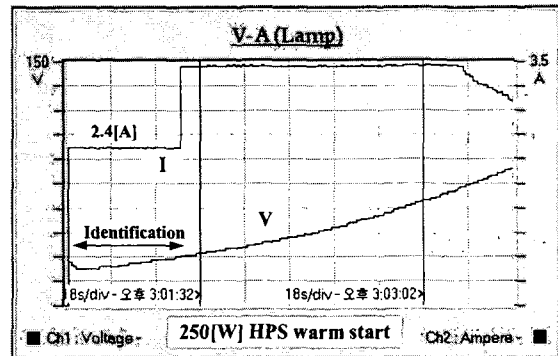


그림 12. Warm start시 임피던스 특성

Fig. 12. Characteristics of impedance at warm start (HPS 250[W])

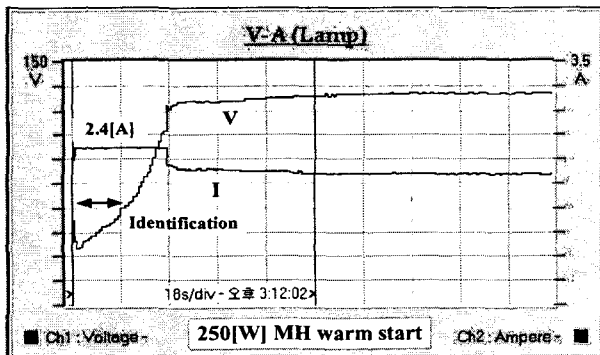


그림 10. Warm start시 임피던스 특성

Fig. 10. Characteristics of impedance at warm start (MH 250[W])

HPS 램프의 시동 임피던스 특성은 그림 11, 그림 12에 나타난다. 초기에는 2.4[A] 전류로 인하여 램프전압의 상승이 매우 느리게 나타난다. 이것은 초기 전류가 3.4[A]에 미치지 못하기 때문이다. 그림 11의 cold start 경우, 초기 램프 전압

4. 결 론

MH 및 HPS 램프를 자동으로 인식하고 구동하는 전자식 안정기를 설계, 제작하였다. 램프 인식은 초기 기동 시, 나타나는 램프의 임피던스 변화를 측정하고 기준값과 비교, 판단하며 cold start와 warm start의 변화에도 램프를 인식하였다. Warm-up 구간에서 MH 램프를 기준으로 정전류를 공급하여 MH 램프는 정상적인 점등이 진행되지만 HPS 램프는 전압상승이 느리게 나타나는 것을 이용하였다. 250[W] MH 및 HPS 램프를 기준으로, 마이크로제어기를 이용하여 전자식 안정기를 제작하고 실험하였고, 평균 30초 이내에 접속된 HID 램프의 종류를 인식하고 구동 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Marcio A. Co and C. Z. Rezende, "Microcontrolled electronic gear for HID lamps-comparisons with electromagnetic ballast", IEEE IES Conf. 2002, pp.468-472.
- [2] Douglas Dorr and Arshad Mansoor, "Applying HID high-pressure sodium lamps in a variable- voltage environment", IEEE IAS Conf. 1995, pp.2059-2065.
- [3] L. Laskai, P. Enjeti and I. J. Pitel, "White-noise modulation of high frequency high intensity discharge lamp ballasts", IAS'94 meeting Reports, pp.1953-1961, 1994.
- [4] 이치환, "진폭변조에 의한 메탈헬라이드 램프의 음향공명 감소", 조명전기설비학회 논문지, vol. 14, no. 5, pp.43-49, Sep. 2000.
- [5] 이치환, "고압 나트륨등용 전자식 안정기의 설계", 대한전자공학회 전력전자 학술발표회 논문집, vol. 20, no. 1, pp.99-102, 1998.
- [6] 이치환, "400W 메탈 헬라이드 램프의 전자식 안정기 구현", 조명전기설비학회 학술대회, pp.111-115, 2000.
- [7] Shmuel Ben-Yaakov and Michael Gulko, "Design and performance of an electronic ballast for high-pressure sodium(HPS) lamps", IEEE Trans. on IE vol. 44, no. 4, pp.486-491, Aug. 1997.
- [8] J. Correa, M. Ponce, A. Lopez and J. Arau, "A comparision of LCC and LC filters for its application in electronic ballast for metal-halide lamps", IEEE PESC 2001, pp.114-119.

저 자 소 개



이 치 환 (李 治 煥)

1961년 8월 6일 생. 1984년 영남대 전자공학과 졸업. 1994년 경북대 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1998년~현재 위덕대 전자공학부 부교수

Tel : 054-760-1613

Fax : 054-760-1619

E-mail : chlee@uu.ac.kr