

프리볼트입력용 메탈할라이드램프 전자식안정기 개발

(Development of Electronic Ballast for Metal Halide Lamp with Free Voltage Input)

김기정*

(Gi-Jung Kim)

요 약

고압방전램프에는 고압수은램프, 고압나트륨램프와 메탈할라이드램프가 있다. 메탈할라이드램프는 가장 효율 좋은 램프들 중 하나이며 고효율, 고연색성과 집광능력이 좋다. 이 연구의 목적은 AC 100~277V의 프리볼트입력용 전자식안정기를 개발하여 메탈할라이드(MH70W)를 점등시키는 것이다. 개발된 전자식안정기는 프리볼트입력용 컨버터, 플라이백컨버터와 하프브리지인버터, 이그나이터와 보호기 그리고 제어기로 구성되어 있다. 실험 결과 개발된 전자식안정기는 프리볼트입력(AC 100~277V)에 따라 메탈할라이드램프(MH70W)가 매우 잘 점등되었다.

Abstract

HID(high intensity discharge) lamps include high pressure mercury lamp, high pressure sodium lamp and metal halide lamp. Metal halide lamps have been considered to be one of the most effective light sources. These lamps have good efficiency, good color rendering and good focusing capability. The objective of this research is to turn on the metal halide lamp(MH70W) by the developed electronic ballast with free voltage input(AC 100~277V). The developed electronic ballast consists of a free voltage input converter, a flyback converter & half-bridge inverter, ignitor & protector and controller.

Experimental results show that developed electronic ballast turns on the metal halide lamp(MH70W) with free voltage input(AC 100~277V) very well.

Key Words : Free voltage input converter, Metal halide lamp, Electronic ballast

1. 서 론

고압방전램프를 시동시키고 방전을 지속하기 위해서는 안정기가 필요하며 안정기의 종류에는 자기식

안정기와 전자식안정기가 있다. 자기식안정기는 대부분 인덕터와 콘덴서를 사용한 수동소자회로로서 그 부피가 크고 무거워 시공상 불편한 경우가 많으며, 고출력인 경우 60[Hz]의 전원에서 음향공명(acoustic resonance)현상이 발생할 수 있다[1]. 또한 안정기 내부에 구부하보호회로가 없어 램프고장시 계속 안정기가 동작하는 경우가 있어 안정성 확보가 결여되어 있다. 또한 램프와 안정기의 이격거리가 멀 때(35[m] 이상)와 선로전압강하가 클 때(20% 이상) 점등이 안 되는 경우가 많다. 이와같은 자기식안정기의 단점을

* 주저자 : 나노조명 대표
Tel : 971-5541, Fax : 971-7989
E-mail : k52031@hotmail.com
접수일자 : 2001년 11월 28일
1차심사 : 2001년 11월 29일 2차심사 : 12월 10일
심사완료 : 2001년 12월 20일

보완하기 위해서는 전자식안정기가 필요하다. 전자식 안정기의 단점은 자기식안정기에 비해 가격이 비싸다. 그러나 무게가 가벼워 설치가 편리하고 안정기 내부에 보호회로가 내장되어 있어 무부하나 램프고장시 회로를 완전 차단하여 안정성을 확보한다[2]. 또한 안정기의 입력전압이 여러 종류일 때 임의 전압에 따라 사용가능 하도록 회로를 설계할 수 있다. 본 연구에서는 고압방전램프중 가장 연색성이 좋고, 집광 능력이 좋은 메탈할라이드램프(MH70W)를 점등시킬 수 있도록 프리볼트입력(AC100~277V)용 전자식안정기를 개발하여 단일 안정기로서 세계 각국마다 서로 상이한 입력전압에 대처토록 하였다.

2. 프리볼트입력용 전자식안정기설계

2.1 안정기 기본구성

제안된 프리볼트입력용 전자식안정기는 저출력 메탈할라이드 램프(MH70W)를 점등하기 위하여 그림 1과 같이 구성하였고, 특히 프리볼트입력용 컨버터는 입력전압이 AC 100~277[V]의 범위일 때 임의 전압에서 안정기가 동작되도록 개발하였다.플라이백(flyback) 컨버터회로와 하프브리지(half-bridge)인버터회로는 구형파에 정현고주파가 첨가되도록 하여 램프의 효율을 향상시키고, 이그나이터와 보호회로는 램프의 원활한 기동과 램프고장시나 무부하시 회로의 안정성을 확보토록 하였다[3]~[6].

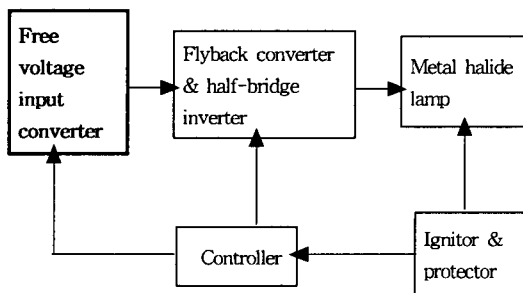


그림 1. 전자식안정기의 구조도
Fig. 1. Block diagram of electronic ballast

2.2 프리볼트입력 회로

전자식안정기에 입력되는 전압이 AC 100~277[V] 범위에서 임의의 전압이 입력되더라도 램프가 점등되도록 그림 2와 같이 프리볼트입력회로로 설계하였다.

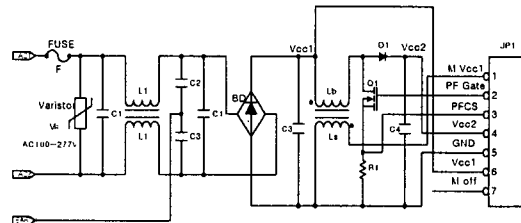


그림 2. 프리볼트입력 회로
Fig. 2. Free voltage input circuit

그림 2와 같은 프리볼트입력회로를 제어하기 위해 그림 3과 같이 PFC IC 3번핀에 제너다이오드를 추가로 사용하여 입력전압이 AC 100~277[V]로 변환되어도 출력전압이 일정하도록 착안하였으며 그림 3의 프리볼트입력용 제어회로는 AC 100~277[V] 까지 범위에서 임의의 전압이 입력되더라도 동작할 수 있도록 Vcc1 전압을 R6과 R8로 분압하여 PFC IC 3번핀 단자전압이 3.2[V] 이상이 되면 IC가 동작하지 않으므로 제너다이오드 ZD1(제너전압 2.7V)을 이용하여 단자전압을 3.2[V] 이하가 되도록 설계하였다. 8번핀 단자에 전원Vcc1 이 저항 R2를 통해 투입되면 7번핀에서 그림 2의 MOSFET(Q1)의 게이트에 전원이 공급되므로 4번핀에 전원이 공급된다. 그러면 PFC IC의 내부회로의 동작에 의해서 Q1이 차단 된다. 이 때 그림 2의 코일 Lb와 Ls는 서로 역방향으로 감겨져 있으므로 Q1이 차단될 때 Ls에는 전압이 유도된다. 이 전원이 5번핀과 8번핀에 동시 공급된다. 8번핀 전원은 Q1의 ON/OFF 동작에 따라 Ls에 유도된 전압이 계속 공급되며 PFC IC의 5번핀에서는 영전류를 검출하여 Q1을 ON시킨다. 1번핀 단자에 그림 2의 Vcc2전압이 R3, R4 와R9에 의해서 분압된 상태로 공급되면 PFC IC내부회로가 동작하여 출력 전압이 높게 될 때 Q1의 스위칭을 느리게하

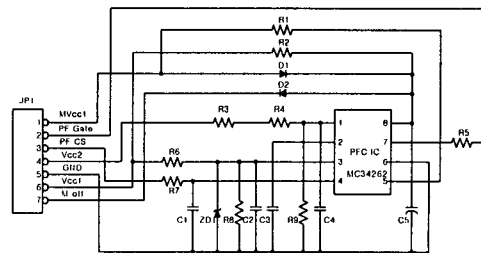


그림 3. 프리볼트입력 제어회로
Fig. 3. Free voltage input control circuit

고 출력전압이 낮아질 때 Q1 스위칭을 빠르게 하여 정전압이 되도록 한다. PFC IC의 3번핀 단자에 전파 정류 전압중 낮은 전압이 입력되면 4번핀의 입력전류가 작아져 콘덴서를 C1을 충전시키는데 긴 시간이 걸린다. 3번핀단자에 높은 전압이 입력되면 4번핀에는 큰 전류가 흘러 콘덴서 C1을 짧은 시간에 충전시킨다. 이와 같은 동작으로 Q1의 도통시간은 그림 4와 같이 항상 일정하다.

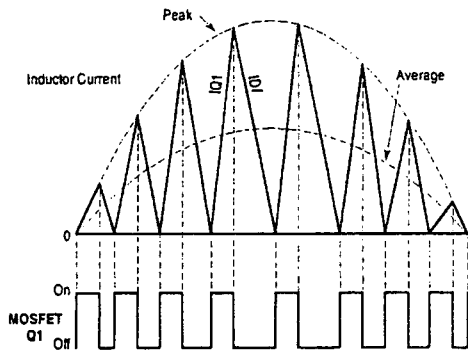


그림 4. 인덕터 전류
Fig. 4. Inductor current

그림 4와 같이 그림 2의 MOSFET(Q1)의 ON-OFF 동작에 따라 인덕터 (Lb)에 흐르는 전류의 피크값은 항상 평균값의 2배이다.

2.3 구형저주파에 정현고주파성분 첨가 회로

메탈헤라이드램프를 고효율로 점등시키기 위하여 그림 5와 같이 구형저주파(square wave low frequency) 발생회로를 타력식하프브리지(half-bridge)인버터로 하고 구형저주파에 정현고주파성분을 첨가하도록 플라이백(flyback)컨버터로 설계하였다. 동작 원리는 플라이백(flyback) DC-DC 컨버터에서 MOSFET(Q2) 스위칭으로 전류원을 PWM 제어하여 하프브리지(half-bridge)인버터에 보냄으로써 구형파가 구현되고 또한 C3, C4 콘덴서에 의하여 저주파인 구형파에 정현고주파 성분인 리플이 10% 정도 첨가되도록 하였다.

그림 5에서 정현고주파를 발생시키기 위한 제어회로는 그림 6과 같이 MC34262의 8번핀 단자에 그림 2의 전원 VCC1이 저항 R3를 통해서 투입되면 7번핀에서 그림 5의 MOSFET(Q2) 게이트에 전원이 공급되어 Q2가 동작하므로 4번핀에 전원이 공급된다. 그

리면 MC34262의 내부회로동작에 의해서 Q2가 차단된다. 이때 그림 5의 코일 Lp와 Lb는 서로 역방향으로 감겨져있으므로 Q2가 차단될 때 Lb에는 전압이 유도된다. 이 전원이 5번핀과 8번핀에 동시 공급되고 5번핀에서는 영전류를 검출하여 Q2를 ON시킨다.

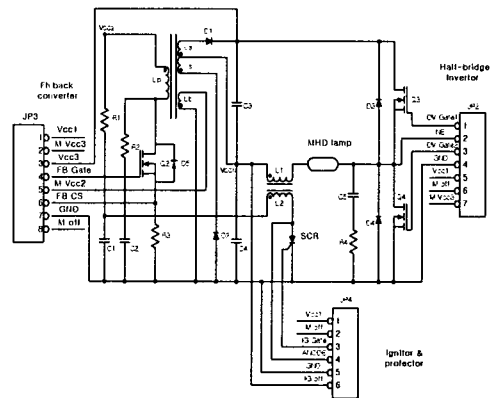


그림 5. 플라이백컨버터 및 하프브리지 인버터회로
Fig. 5. Flyback converter & half-bridge inverter circuits

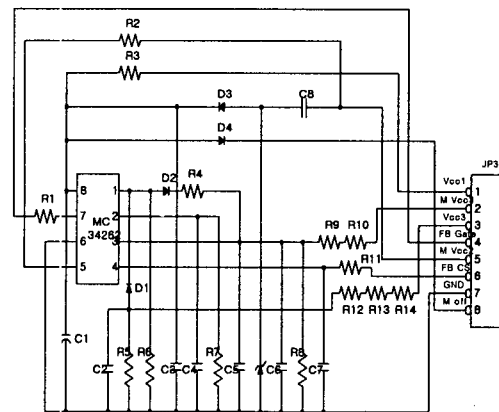


그림 6. 플라이백컨버터 제어회로
Fig. 6. Flyback converter control circuit

그림 5에서 램프구동주파수인 구형저주파를 발생시키기 위한 제어회로는 그림 7과 같다. 그림 7의 동작상태는 그림 5의 MOSFET(Q4)가 OFF되면 제너 다이오드 D3로 일정하게된 전압은 다이오드 D2를 통하여 8번핀 단자에 공급되고 7번핀으로부터 MOSFET(Q3)의 게이트를 구동시킨다. 여기서 데드 타임(dead time)은 1.2[us]이며 듀티 사이클(duty cycle)은 50[%]이다. R2, R3, C1은 IR2151의 출력 주

파수를 결정짓는 시정수용이며 이 시정수에 의하여 출력 주파수를 조정할 수 있어 램프 특성에 따른 최적의 주파수를 임의로 조절할 수 있다.

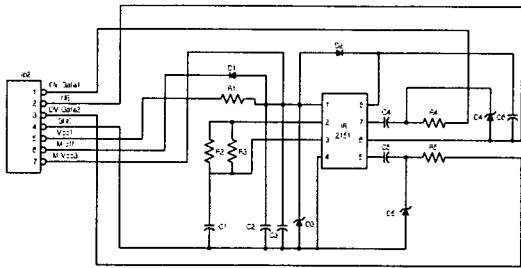


그림 7. 하프브리지 인버터 제어회로
Fig. 7. Half-bridge inverter control circuit

2.4 이그나이터 및 보호회로

메탈헬라이드램프(MH70W)의 초기방전을 위한 이그나이터 고압발생용 인덕터는 그림 5와 같이 L1과 L2로 하였다. 그림 5에서 Vcc2 전압이 그림 8의 R1을 통하여 C1에 충전되고 충전전압이 R1과 R5로 분압되어 40[V]에 이르면 다이아이드가 도통하여 그림 5의 SCR의 게이트를 동작시키므로 L2코일의 역기전력에 의한 L1 코일에 고전압이 유도된다. 램프가 점등되면 VCCN전압이 120[V]가 되고 R6과 R7로 분압된 전압이 10[V] 미만이 되기 때문에 그림 8의 제너다이오드를 도통시킬 수 없다. 이때 트랜지스터(Q2)가 동작하지 못하므로 VCC1 전압은 R8과 R9로 분압되어 FET(Q1)의 게이트에 공급된다. 이렇게 되므로 FET(Q1)이 도통되고 C1의 충전전압은 FET(Q1)으로 방전하여 다이아이드가 차단되므로 고전압은 발생되지 않는다. 무부하보호 부분은 그림 8의 VCC1 전압이 R18, R19에 분압된 전압이 걸리고 또한 R17을 거쳐 C8에 충전된다 C8에 충전된 전압이 10[V]를 넘을 때 트랜지스터(Q3)가 도통되어 타이머 14번핀과 OP앰프의 8번핀에 전압이 인가되어 이들을 동작시키게 된다. 또한 트랜지스터(Q3)가 도통된 전원은 R13을 통하여 C3에 2분 40초동안 초기 충전되며 이 시간동안 타이머 5번핀은 high 상태가 되므로 R11과 R12로 분압된 전압이 트랜지스터 Q4 베이스에 인가되어 도통되므로 PFC용 IC와 플라이백 컨버터 IC 그리고 인버터용 FET 드라이버로 공급되던 Vcc 전원이 트랜지스터 Q4가 단락되어 공급이 중단된다. 이어서 타이머 2번핀에 문턱전압이 인가되면 R14를 통하여 1

번핀으로 20초간 방전한다. 이 시간동안은 타이머의 5번핀은 low 상태가 되므로 트랜지스터 Q4는 차단되고 PFC용 IC와 플라이백 컨버터 IC, 그리고 인버터용 FET 드라이버의 Vcc 전원이 공급되어 안정기의 시동을 시도한다. 다시 또 R13을 통하여 C3에 1분 40초동안 2차 충전되며 이 시간동안 타이머의 5번핀은 high 상태가 되므로 트랜지스터 Q4는 도통되어 PFC용 IC와 플라이백 컨버터 IC, 그리고 인버터용 FET 드라이버의 Vcc 전원이 차단되기 때문에 안정기는 동작하지 못한다. 다시 이어 타이머 2번핀에 문턱전압이 되면 R14를 통하여 1번핀으로 20초 동안 방전한다. 이 시간 동안 타이머의 5번핀은 low 상태가 되므로 Q4는 차단되고 PFC용 IC와 플라이백 컨버터 IC, 그리고 인버터용 FET 드라이버의 Vcc 전원이 공급되어 안정기의 시동을 재시도한다. 이와 같은 동작은 R16을 통하여 C6에 충전되는 10분동안 반복되고 이 시간이 지나면 타이머 9번핀이 low 상태가 되어 OP앰프의 반전단자 2번핀이 low 상태로 되므로 OP앰프의 출력 단자인 1번핀은 high 상태로 된다. 그러면 제너다이오드 (24V)를 거쳐 SCR 게이트를 동작시키므로 도통되어 PFC용 IC와 플라이백 컨버터 IC, 그리고 인버터용 FET 드라이버의 Vcc 전원이 차단되고 계속된 재점등 시도는 중지된다. 그러나 램프의 점등 상태에서는 FET(Q1)이 도통되므로 C8의 단자 전압은 모두 FET(Q1)로 방전되어 트랜지스터(Q3)는 동작하지 못하고 타이머와 OP 앰프는 Vcc 전원이 차단되므로 동작하지 않는다.

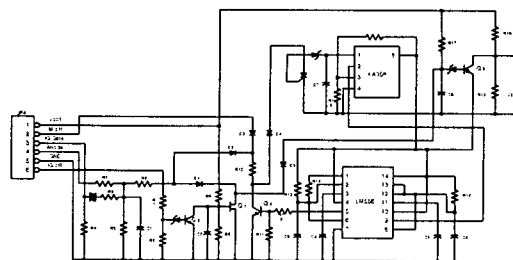


그림 8. 이그나이터 및 보호제어회로
Fig. 8. Ignitor & protector control circuits

3. 실험결과 및 검토

3.1. 프리볼트입력에 따른 정전압파형

그림 9의(a)는 입력전압 277[V]일 때 전파정류된

프리볼트입력용 메탈헬라이드램프 전자식안정기 개발

파형의 피크 전압이 392[V]이고 이 때 PFC IC 3번째 단자전압이 3.2[V] 이상이 되면 IC가 동작하지 않으므로 제너다이오드로 2.7[V]로 제한토록 설계한 결과 측정전압이 2.7[V] 이하인 0~2.5[V]의 범위에서 변화하고 그림 9의(b)는 입력전압이 120[V]일 때 전파정류된 파형의 피크전압이 169[V]이며 이 때도 PFC IC 3번째 전압이 2.7[V] 이하인 0~2.0[V]의 범위에서 변화하므로 IC가 정상적으로 동작됨을 알 수 있다.

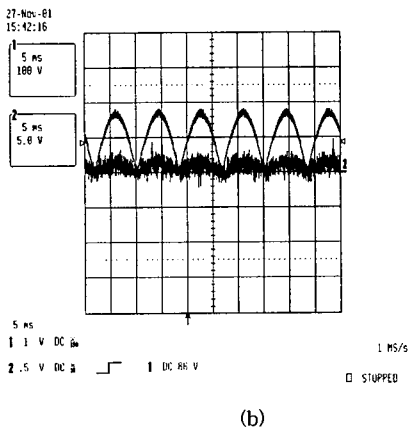
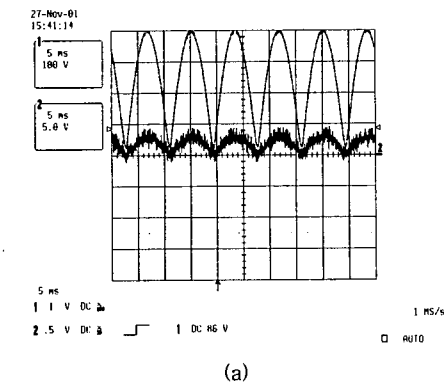
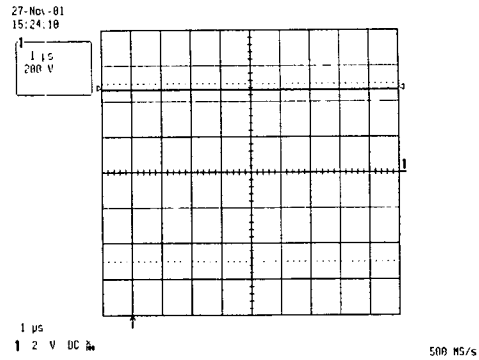
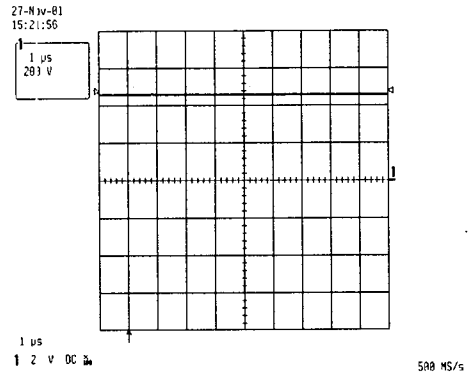


그림 9. 프리볼트입력 파형 [입력전압: (a) 277[V], (b) 120[V]
Fig. 9. Free voltage input waveforms [input voltage: (a) 277[V], (b) 120[V]

그림 10의(a), (b)는 안정기의 입력전압이 각각 AC 277[V] 및 AC 120[V]일 때 그림 2의 출력전압인 VCC2가 다같이 460[V]로 일정하다.



(a)



(b)

그림 10. 프리볼트입력회로의 출력전압파형 [출력 전압: (a) 460[V], (b) 460[V]
Fig. 10. Output voltage waveforms of free voltage input circuit [output voltage: (a) 460[V], (b) 460[V]

3.2 플라이백 (flyback) 컨버터 2차전압 파형

저출력램프(MH70W)의 공급전원주파수를 구형저주파로 하면 방전관내의 전력변화가 일정하게 되고, 또한 이 구형저주파에 구형파크기의 10[%] 정도의 정현고주파를 첨가하면 전극금속도체에서의 표피효과(Skin effect)로 열방출이 골고루되므로 램프 효율이 향상된다. 이와같은 회로가 되도록 설계된 그림 5에서 C3와 접지간 측정한 전압파형은 그림 11과 같이 구형파를 넓혀 놓은 DC200[V]에 AC20[V]의 정현고주파가 첨가된 상태를 보인다.

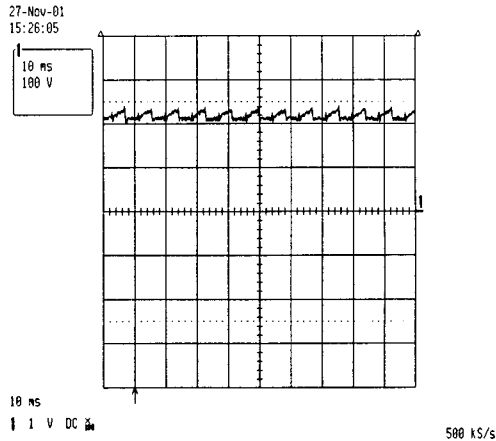


그림 11. 플라야백컨버터의 출력파형
Fig. 11. Flyback converter output waveform

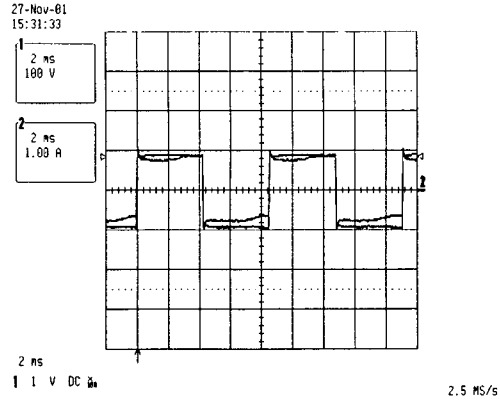


그림 12. 램프전류전압 출력파형
Fig. 12. Lamp output current & voltage waveforms

3.3. 입출력특성

제작된 전자식안정기(MH70W)의 멀티입력전압에 따라 램프의 출력특성을 전원분석기인 PM3000[A] (Voltech사)로 측정한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 측정결과표
Table 1. The measured results

입력전압(V)	100	110	120	220	277
측정항목					
입력전력(W)	82.65	81.37	80.48	78.67	78.69
입력전류(mA)	830.8	741.2	671.6	360	289.7
역률	0.996	0.998	0.999	0.992	0.991
전류고조파 함유율 THD(%)	5.0	4.5	3.4	7.7	13.1
출력 전력(W)	67.80	67.79	67.72	67.89	67.95
출력전압(V)	89.19	89.12	89.27	89.05	89.14
출력전류(mA)	765.7	768.6	768.9	767.9	767.3

측정결과를 검토하면 전자식안정기의 입력전압 변화에 따라서 램프출력의 변동이 거의 없는 정출력임을 알 수 있다. 또한 램프 양단의 출력파형은 그림 12와 같이 전압, 전류파형이 모두 120[Hz]의 구형파이고, 역률이 99[%] 이상임을 알 수 있다.

개발된 멀티입력전압용 메탈헤라이드램프(MH70W)용 전자식안정기는 사진 1과 같고, 부품명은 표 2와 같다.

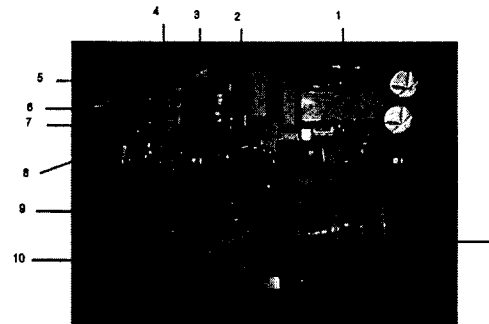


사진 1. 프리볼트입력용 전자식안정기
Photo. 1. Electronic ballast with free voltage input.

표 2. 부품명
Table 2. Parts list

번호	부품명	번호	부품명
1	FET	7	X커패시터
2	LINE FILTER	8	Y커패시터
3	온도퓨우즈	9	Triac
4	바리스터	10	초크트랜스
5	FUSE	11	기동용고압트랜스
6	절연필름		

3.4 이그나이터전압 파형

메탈할라이드램프(MH70W)의 초기방전을 위한 이그나이터전압은 그림 13과 같이 약 3.5~4[kV]이다. 램프는 순간적으로 초기방전되었으며 안정상태는 1분 40초 정도 소요되었다.

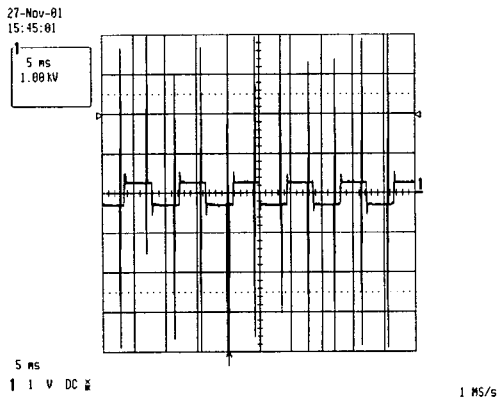


그림 13. 이그나이터전압 파형
Fig. 13. Ignitor voltage waveform

4. 결 론

메탈할라이드램프는 연색성 및 집광능력이 좋고 색온도를 임의로 조절할 수 있는 우수한 광원이므로 본 연구에서는 옥내용으로 가장 많이 사용되는 MH70[W]램프를 선정하여 안정기 하나로 여러 입력전압에서 사용가능토록 전자식안정기를 개발하였다. 개발된 전자식안정기는 입력전압이 AC100~277[V]일 때 임의의 전압에서 램프가 점등되도록 멀티입력 전압회로를 구현한 결과 램프출력이 거의 동일한 정출력으로 되었다. 결론적으로 MH70[W]램프 이하인 저출력용 전자식안정기에 제안된 멀티입력전압회로를 사용하면 안정기 하나로써 입력전압이 상이한 거의 모든 국가에서 사용이 가능하기 때문에 편리성이 향상될 수 있다.

References

- [1] H.L. Witting, "Acoustic Resonance in Cylindrical High-Pressure Arc Discharge", J. Appl. Phys, Vol.49, NO.5, pp. 2680-2683, May, 1978.
- [2] J. V. "Electronic Ballast Design for HID lamps," Janos Melis presents, pp. 1-20, December, 1998.
- [3] Chal Hee Lee, "A study on New High Power Factor High Efficiency Electronic Ballast For Metal Halide Lamp," KAIST, a master's thesis, pp. 1-40, 1990.
- [4] Marico Almeida Co, "High-Power-Factor Electronic Ballast Operating in Critical Conduction Mode" IEEE Transactions on Power Electronics 13, No.1, pp. 93-101, January, 1988.
- [5] Gird VenKataramanan "Pulse Width Modulation with Resonant dc Link Converters" IEEE Transactions on Industry Applications Vol.29, No. 1, pp. 278-284, January 1993.
- [6] Milan M. Jovanovic, R. Fred and C. Y. Lee, "DC Analysis of Half-Bridge Zero-Voltage-Switched Multiresonant Converter" IEEE Transaction on Power Electronics. Vol. 5, No. 3, pp. 160-171, July, 1990.

◇ 저자소개 ◇

김 기 정 (Gijung Kim)

1952년 3월 13일생. 1989년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1995년 강원대학원 졸업(석사). 2000년 강원대학원 졸업(박사). 1996년 건축전기설비 기술사 취득. 1977~1997 대한주택공사 근무. 1998~현재 (주)도화종합기술공사 상무이사. 1999~현재 서울산업대학교 전기정보공학부 시간강사. 2001~현재 나노조명 대표.