

# LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> 공진 타입의 하프 브리지 인버터 구조를 가지는 전자식 안정기 보호회로 설계

논문
58-8-12

## Design of the Protection circuit for Electric ballast with LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> resonance type Half-bridge Inverter

최현희\* · 박종연†  
(Hyeon-Hui Choe · Chong-Yun Park)

**Abstract** - The electric ballast for ceramic metal halide lamp needs a protection circuit to prevent from over voltage and over current in the case that the lamp or the electric ballast are in faults. In this paper, cost-effective and high performance protection circuit is proposed for the electric ballast. The proposed protection circuit is adapted to the electric ballast with LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> resonance type half bridge inverter. The experimental results demonstrate that the proposed circuit can protect effectively under open and short fault conditions.

**Key Words** : Electric Ballast, Protection Circuit, LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> Resonance type Half Bridge Inverter

### 1. 서론

고출력의 메탈 할라이드 램프는 현재 가로등, 공장, 도로 조명 광원으로 널리 이용되고 있다. 높은 효율을 가지는 나트륨램프 또한 널리 쓰이고 있으나 낮은 연색성으로 인해 사용 범위가 점차 줄어들고 있다. 최근에는 새로운 친환경 조명 광원으로 LED가 주목 받고 있지만 상대적으로 높은 가격으로 인해 100W 이상의 조명광원으로 쓰이기에는 적합하지 않다. 반면 메탈 할라이드 램프는 긴 수명과 넓은 스펙트럼 분포를 가지는 세라믹 메탈 할라이드 램프가 개발되어 고출력 램프 조명 시장에서의 입지가 더욱 커지고 있다.[1]

메탈 할라이드 램프를 점등시키기 위해서는 높은 이그니션 전압을 발생시키고 점등 후 일정한 전압, 전류를 램프에 공급하기 위한 안정기가 필요하다. 기존에는 설계가 쉽고 가격이 저렴하며 신뢰성이 높은 자기식 안정기를 이용하여 램프를 점등시켰으나 최근에는 고효율, 역율 개선, 광원의 밝기 조절 요구를 충족시킬 수 있는 전자식 안정기의 수요가 증가하고 있다. 안정기는 램프를 점등시키기도 하지만 램프가 연결되지 않은 무부하 상태이거나 단락 사고가 발생할 경우 내부 회로를 보호할 수 있는 보호회로를 필요로 한다. 특히 전자식 안정기는 내부 회로가 주로 능동 소자로

구성되어 있어 과전류, 과전압에 대한 보호가 필요하다.[2][3]

본 논문은 LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> 공진 타입의 하프 브리지 인버터 구조를 가지는 전자식 안정기의 보호회로를 제안하였다. L과 C의 공진전압을 이용하여 램프를 점등시키는 이 구조의 전자식 안정기는 다른 구조의 전자식 안정기보다 보호회로에 대한 필요성이 더욱 크다. 제안된 보호회로는 무 부하, 단락 보호 회로 기능 외에 재 점등 기능을 가지고 있어 램프가 점등에 실패할 경우 여러 번의 이그니션 전압을 발생시켜 안정적으로 램프를 점등할 수 있도록 구현하였다.

### 2. 전자식 안정기 구조

#### 2.1 L<sub>s</sub>C<sub>s</sub>C<sub>p</sub> 공진 타입 하프 브리지 인버터

전자식 안정기 구조는 그림 1과 같다. 입력 전류의 역률 보상을 위해 Boost Converter를 이용한 능동 역률보상 회로(Power Factor Correction)를 Inverter 전단에 구성하였다. PFC에 의해 형성된 400V의 DC전압은 Inverter에 입력되고 LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub>공진을 이용해 램프를 점등시킨다. ZVS(Zero Voltage Switching)을 위해 다이오드를 스위치(S1, S2)와 병렬 연결하였다. PWM IC인 TL494(OnSemiconductor社)를 이용하여 스위칭 주파수를 제어하였고 Driver IC는 FAN7382(Fairchild社)를 사용하였다. 각 IC의 전원은 SMPS를 통해 공급하였다.[4][5]

\* 준 회원 : 강원대 전기·전자공학과 석사과정  
† 교신저자, 정회원 : 강원대 전기·전자공학과 교수  
E-mail : cypark@kangwon.ac.kr  
접수일자 : 2009년 4월 13일  
최종완료 : 2009년 7월 23일

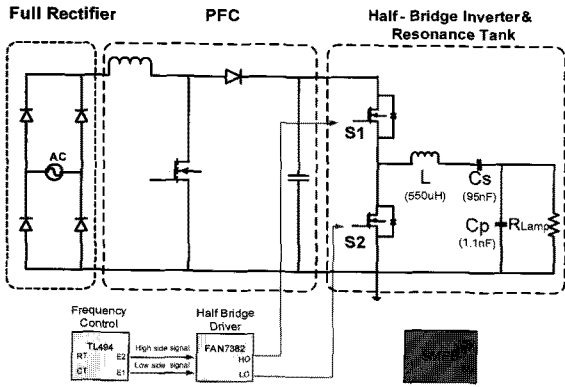


그림 1  $LC_S C_p$  공진 타입 하프 브리지 인버터  
Fig. 1  $LC_S C_p$  Resonance type Half-Bridge Inverter

2.2 동작 원리

400V의 DC전압을 입력으로 받은 Inverter는 그림 2와 같은 스위칭 주파수의 변화에 따라 램프를 점등시킨다. 램프가 점등되기 전에는 무한대의 임피던스를 가지므로  $C_p$  양단 전압은 그림 2의 Curve1과 같이 나타난다. 안정기에 전원이 공급되면 주파수 제어회로에 의해 스위칭 주파수는 ①에서부터 낮아지게 되고 ②에서 높은 전압이 발생하여 램프가 점등된다. 램프 점등 후  $C_p$  양단전압은 Curve2를 따르게 되고 스위칭 주파수는 낮아진 후 ④로 고정되면서 램프에 공급되는 전력이 일정하게 유지된다.

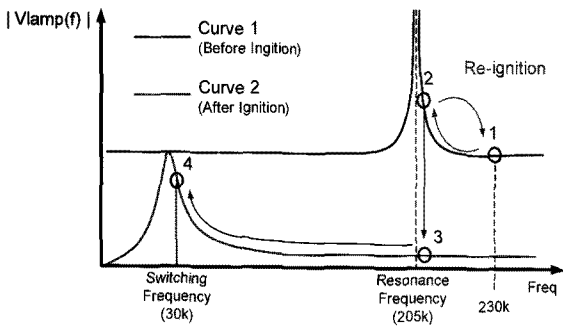


그림 2 스위칭 주파수 변화  
Fig. 2 Variation of the Switching Frequency

주파수 제어회로는 그림 3과 같이 구성하였다. 전원공급 후 0V인 C 방전 signal로 인해 트랜지스터는 Off상태이다. C 방전 signal은 TL494의 RT단에 직렬 연결되어 있는 C(940uF)를 방전시키기 위한 신호이다. RT단에 흐르는 전류량에 비례하여 스위칭 주파수가 변하는 TL494의 초기 스위칭 주파수를 230kHz부터 낮아지도록 하기 위해 대용량의 C(940uF)가 RT단의 전압분배 저항에 병렬 연결된다. C 방전 signal은 TL494의 전원을 Off시키고 공급할 때 230kHz부터 스위칭을 시작하게 하는 역할을 한다. 이때 C 방전 signal과 TL494의 전원은 서로 다른 값을 동기 맞추어 출

$LC_S C_p$  공진 타입의 하프 브리지 인버터 구조를 가지는 전자식 안정기 보호회로 설계

력한다.[6] 램프에 정격 전압, 전류를 공급하기 위해 일정 스위칭 주파수(30kHz)로 낮아진 High side와 Low side switch 신호는 C 방전 signal의 변화가 없을 경우 일정하게 유지된다.

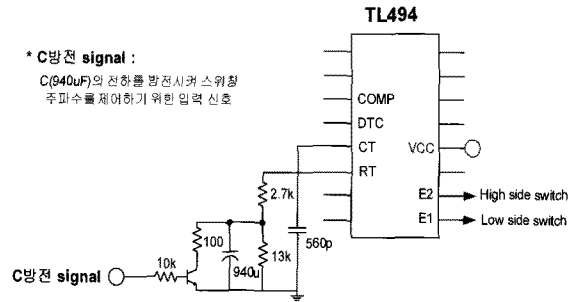


그림 3 주파수 제어 회로  
Fig. 3 Frequency Control Circuit

그림 4, 5는 제시된 안정기를 이용해 200W 세라믹 메탈 할라이드 램프(ecoCM-200W 삼립社)를 점등시킨 파형을 나타낸 것이다.

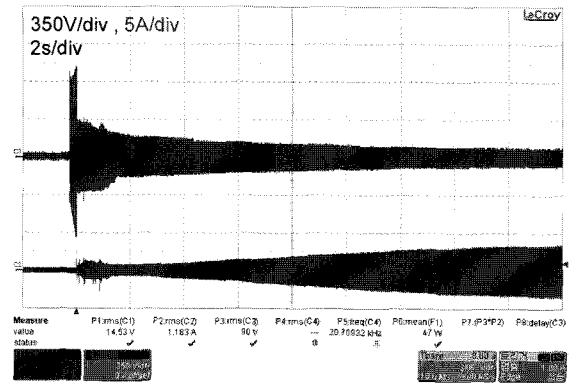


그림 4 램프 전압, 전류(과도 상태)  
Fig. 4 Lamp Voltage and Current(Ignition condition)

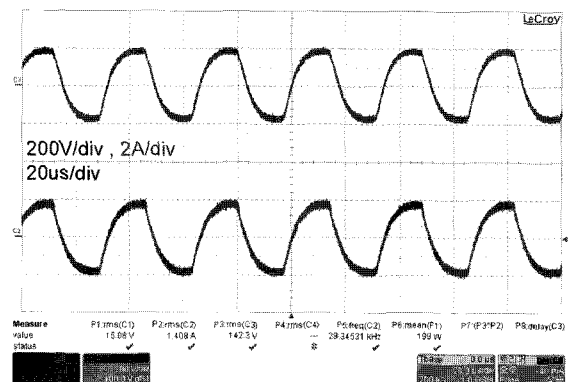


그림 5 램프 전압, 전류(정상상태)  
Fig. 5 Lamp Voltage and Current(Stable condition)

### 3. 보호 회로

#### 3.1 보호회로 구성

$$|V(w)| = \frac{wR_z C_s}{\sqrt{(1-w^2 LC_s)^2 + [wR_z(C_s + C_p)(1 - \frac{w^2 LC_s C_p}{C_s + C_p})]^2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{IN} \quad (1)$$

$w$  : 인버터 스위칭 각 주파수

$R_z \approx \infty$  : 정상상태 램프 등가 저항인  $R_{Lamp}$ 의 점등 전의 무한대 등가 저항

$V_{IN}$  : 인버터 입력 전압 = PFC 출력 전압

보호회로를 설계하기 위해서는 Inverter 출력이 단락, 무부하 또는 정상상태인지를 판단해야 한다. 따라서 그림 7과 같이 램프 전압 검출 회로를 구성하여 부하의 상태를 판단하였다. 램프가 점등될 경우 Inverter는 30kHz로 고정된 스위칭주파수에 의해 램프전압, 전류를 일정하게 유지한다. 하지만 무부하일 경우 램프를 점등시키기 위해 높은 상태에 있던 스위칭주파수가 낮아지면서  $LC_s C_p$  회로의 공진 주파수에 접근함에 따라 Inverter 출력에는 이그니션 전압 이상의 높은 전압이 형성된다. 이때 무부하로 판단하기 위한 전압보다 높은 전압이 검출되면 무부하로 판단하게 된다. 출력 전압은 식 (1)과 같다.[5] 단락일 경우에는 검출되는 전압이 0V이므로 정상상태일 경우보다 낮은 전압을 단락 판단전압으로 정하여 비교하면 단락 상태를 판단할 수 있다.

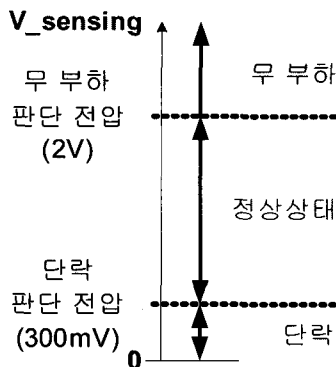


그림 6 부하 상태 판단

Fig. 6 Load condition estimation

정상상태일 경우 검출 전압은 평균 1V의 값을 가진다. 단락상태일 경우 이상적인 검출전압은 0V이다. 하지만 Inverter의 스위칭 동작으로 인해  $L, C_p, C_s$ 를 통해 흐르는 전류의 damping 현상은 평균 수십mV의 Offset 전압과 damping 전압을 형성한다. 회로 상에 존재하는 노이즈를 고려하여 여러 차례 실험 결과 300mV를 정상상태와 단락상태 판단전압의 경계점으로 정하였다. 무부하 판단전압인 2V는  $C_p$  양단 전압이 1kV일 경우의 검출 전압이다. 본 논문에서 사용된 부하인 ecoCM-200W는 실험 결과 1kV이하에서 점등되어 2V를 무부하 판단전압으로 정하였다. 무부하 판단 전압은 부하의 종류에 따라 다르게 결정하여야 한다.

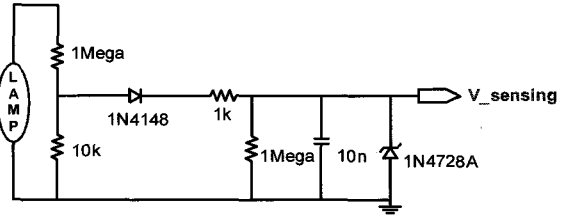


그림 7 램프 전압 검출 회로

Fig. 7 Lamp voltage sensing circuit

그림 7의 부하 상태 판단을 위한 검출 회로를 이용하여 그림 8과 같은 보호회로를 설계하였다. 부하가 단락일 경우 2분(Delay1)이 지나도 검출 전압이 단락상태로 판단되면 Inverter를 제어하는 PWM IC와 Driver IC의 전원을 차단한다. 무부하일 경우는 무부하로 판단 후 IC의 전원을 차단함과 동시에 주파수 가변회로와 Delay2가 동작하게 된 후 다시 IC에 전원을 공급하고 스위칭주파수를 가변하여 램프를 점등시키기 위한 동작을 반복하게 된다. 이와 같은 재점등 동작은 지속적으로 반복되다가 2분(Delay1) 후에 멈추게 된다. 실제로 구성된 보호회로를 그림 9에 나타내었다.

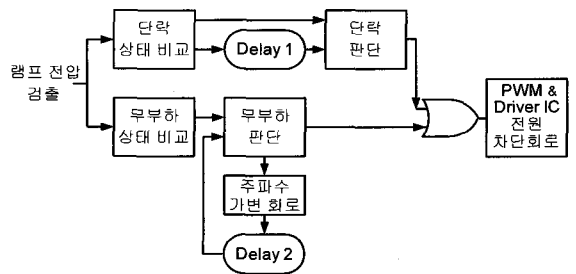


그림 8 보호회로 블록도

Fig. 8 Block diagram of the Protection circuit

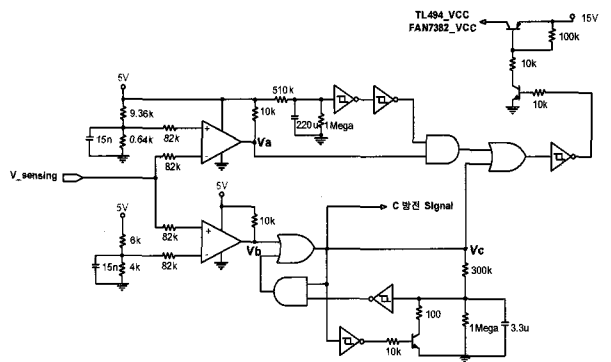


그림 9 보호회로

Fig. 9 Protection circuit

#### 3.2 단락 보호회로

일반적으로 Inverter는 부하가 단락일 경우 Inverter 출력 전류는 무한대로 흐르게 된다. 하지만  $LC_s C_p$  공진타입 하프

브리지 인버터는  $L$ 로 인해 일정전류로 제한된다. 단락일 경우 Inverter의 등가 임피던스는  $L$ 과  $C_s$ 만 존재한다. 따라서 출력전류는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.  $\frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{IN}$ 는 Inverter 입력 전압  $V_{IN}$ 의 기본파 성분(30kHz)의 전류를 계산하기 위함이다.

$$|I(w)| = \frac{C_s w_s}{(1 - LC_s w_s^2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{IN} \quad (2)$$

( $w_s$  : 스위칭 주파수)

스위칭 주파수가 30kHz일 때  $|I(w)| \approx 3.8121A$ 가 되고 그림 10에 단락 전류를 나타내었다.

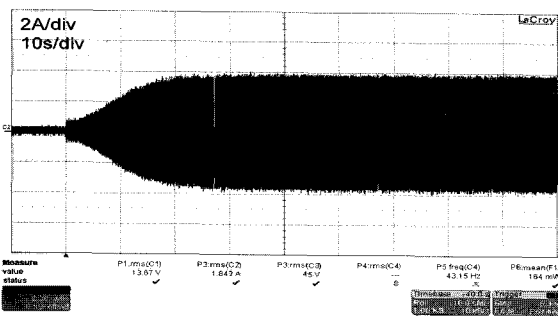


그림 10 단락 전류  
Fig. 10 Short circuit current

하지만 이 전류로 인해 안정기는 전력을 소비하게 되고 Inverter 스위치의 파손을 가져올 수 있다. 따라서 단락이 발생된 Inverter를 보호하고 모든 동작을 멈추도록 보호회로를 구성해야 한다.

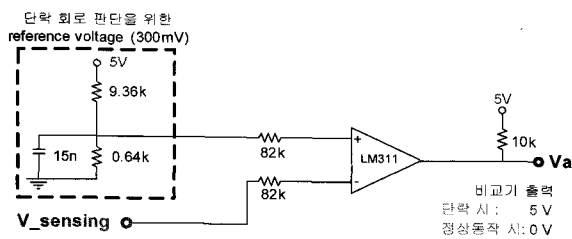


그림 11 단락 판단 회로  
Fig. 11 Short load detector

단락 판단 회로는 300mV와 그림 7의 램프 검출 전압을 비교하여 단락 시에는 5V, 정상상태 시에는 0V의 출력을 단락 보호회로의 AND gate( $V_a$ )에 입력시킨다. 2분의 Delay후에 AND gate( $V_a$ )는 High를 출력하게 되고 무 부하 보호회로와 상관없이 전원공급회로의 전원은 차단된다. 2분의 시간은 램프가 점등되고 과도구간을 지나 정상상태의 전압, 전류를 보이는 시간으로 램프가 점등된 상황에서 보호회로가 단락으로 인식하여 오판하지 않기 위해 결정하였다.[1]

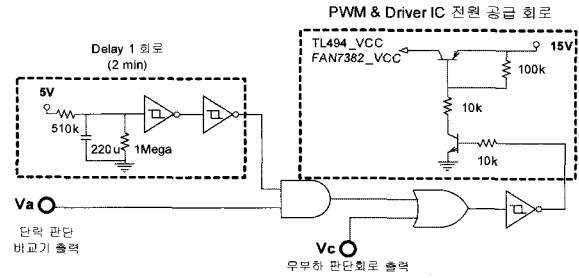


그림 12 단락 보호회로  
Fig. 12 Short load protection circuit

### 3.3 무 부하 보호회로

무 부하일 경우 이그니션 전압을 발생시키기 위해 스위칭 주파수는 가변된다. 스위칭 주파수가  $LC_s C_p$  공진 주파수와 가까워짐에 따라  $C_p$  양단전압에는 필요 이상의 전압이 램프 전압 검출 회로에 비례하여 나타나게 되고 2V의 무 부하 파단 전압과 비교되어 비교기는 5V를 출력하게 된다. 비교기 출력은 무 부하 보호회로에 입력되어 IC의 전원을 차단한다. 그림 14의 C 방전 signal은 재 점등을 위한 주파수 제어 신호이고 TR, NOT gate, R, C를 이용해 Delay2 회로를 구성하였다. 이 회로를 통해 안정기는 재 점등 동작을 반복하게 되고 스위칭 주파수는 Delay2에 동기 되어 그림 2의 ①과 ②를 반복하여 변하게 된다. 재 점등 동작은 Delay1이 High가 되는 2분 후에 완전히 멈추게 된다.

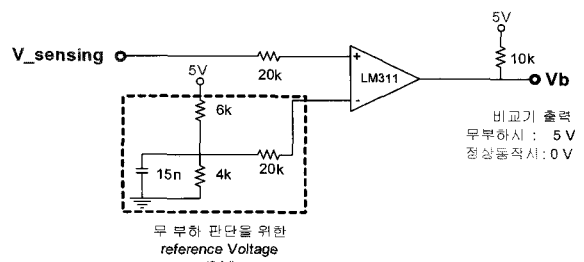


그림 13 무 부하 판단 회로  
Fig. 13 Open load detector

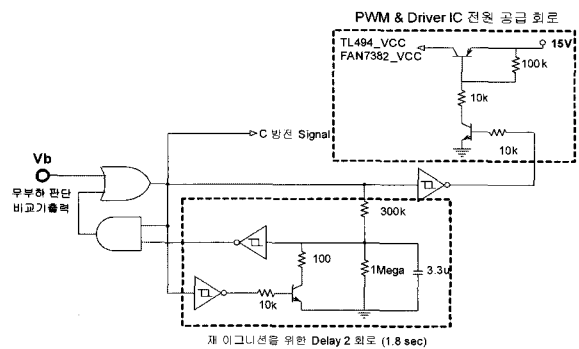


그림 14 무 부하 보호 및 재 점등 회로  
Fig. 14 Open load protection and Re-ignition circuit

4. 실험 결과

부하는 (주)삼립사의 ecoCM-200W를 사용하였다. Inverter의 공진  $LC_sC_p$ 값은  $L=550\mu\text{H}$ ,  $C_s=95\text{nF}$ ,  $C_p=1.1\text{nF}$ 이며 Inverter 스위치는 ST사의 26NM60을 사용하였다. 그림 15는 단락, 정상, 무 부하 상태의 램프 검출 전압 ( $V_{sensing}$ )이다.

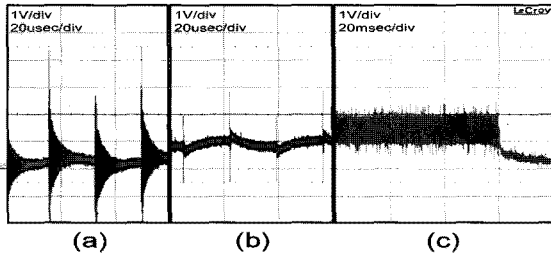


그림 15 (a) 단락상태 검출 전압  
 (b) 정상상태 검출 전압  
 (c) 무 부하상태 검출 전압  
 Fig. 15 (a) Short load  $V_{sensing}$   
 (b) Normal load  $V_{sensing}$   
 (c) Open load  $V_{sensing}$

그림 16, 17은 보호회로가 동작하고 있는 단락, 무 부하상태에서의 전류, 전압 파형이다. 그림 18은 재 점등 회로가 동작하고 있는 것을 보여준다.

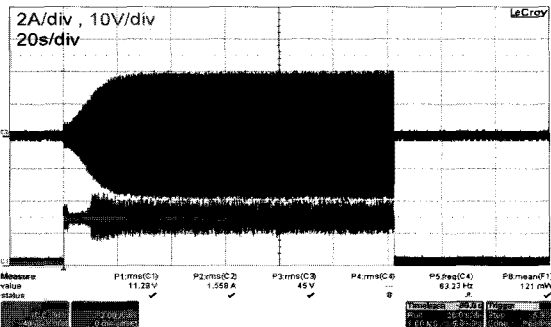


그림 16 Inverter 전류 및 IC 전원  
 Fig. 16 Inverter current and IC supply voltage

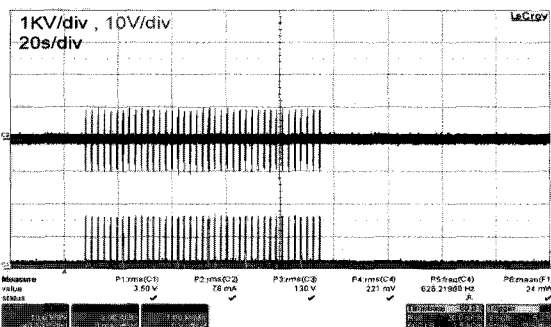


그림 17  $C_p$  전압 및 IC 전원  
 Fig. 17  $C_p$  voltage and IC supply voltage

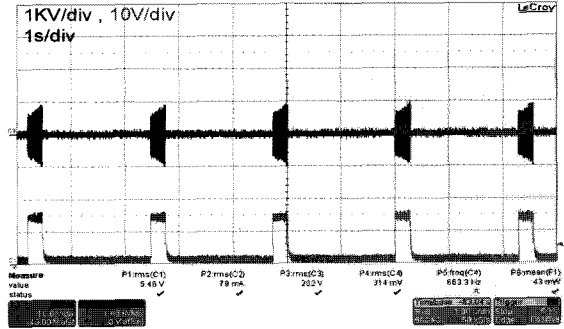


그림 18  $C_p$  전압 및 IC 전원  
 Fig. 18  $C_p$  voltage and IC supply voltage

5. 결론

$LC_sC_p$ 공진 타입 하프 브리지 인버터 구조를 가지는 전자식 안정기의 단락, 무 부하 보호회로를 구현하였다. 제안된 보호회로는 이그니션 전압을 일정 주기로 발생시키는 재 점등 기능을 가지고 있어 램프가 안정적으로 점등 할 수 있도록 하였다. 재 점등 동작은 약 2분 동안 지속 되며 이후에는 무 부하로 판단하여 Inverter의 모든 동작은 정지하게 된다. 또한 부하가 단락일 때에도 스위칭 동작을 하던 Inverter는 2분 후에 모든 동작을 멈추도록 설계하였다. 제안된 보호회로는 램프 검출 전압( $V_{sensing}$ )을 통해 안정기의 부하상태를 판단하여 각 상황에 맞는 보호회로 기능을 한다. 본 논문은 각 보호회로의 동작 원리를 서술하였고 실험을 통하여 증명하였다.

참 고 문 헌

[1] PHILIPS, "Original thinking in Lamps & gear 2004/5"  
 [2] 한수빈, 박석인, 송유진, 정학근, 정봉만, "방전등 안정기의 보호회로 기술 현황" 한국조명·전기설비학회 2008 춘계학술대회 논문집, 2008. 5, pp. 133 ~ 135  
 [3] 한수빈, 박석인, 정학근, 송유진, 정봉만, "HID 안정기에서의 보호회로에 관한 연구" 전력전자학회, 전력전자학회 2008 추계학술대회 논문집, 2008. 10, pp. 215 ~ 217  
 [4] Christian Brañas, Francisco J. Azcondo, Salvador Bracho "Contributions to the Design and Control of LCsCp Resonant Inverters to Drive High-Power HPS Lamps" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 47, NO. 4, AUGUST 2000  
 [5] 임병노, 장목순, 임기승, 박종연, "시동전류 제한을 통한 메탈 할라이드 램프용 안정기의 최적 설계", 대한전기학회 논문집, Vol 57, No 3, pp 409-414, 2008  
 [6] OnSemiconductor, "TL494 Datasheet"

## 저 자 소 개



### 최 현 희 (崔賢熙)

1982년 5월 23일생. 2008년 강원대학교  
전기전자정보통신공학부 전기전자 전공  
졸업. 2008년~현재 동 대학원 전기전자  
공학과 석사과정

Tel : 010-3802-0523

Fax : 033-241-3775

E-mail : love2mani@naver.com



### 박 종 연 (朴鐘演)

1951년 2월 23일생. 1973년 고려대 전기  
공학과 졸업. 1990년 경북대 대학원 졸업  
(석사). 1984년 경북대 대학원 졸업(박  
사). 1977~1984년 울산공대 조교수, 부교  
수. 1984년~현재 강원대 전기전자 정보  
통신공학부 교수

Tel : 033-250-6292

Fax : 033-241-3775

E-mail : cypark@kangwon.ac.kr