

## Half Bridge 구조를 이용한 자동차 헤드라이트용 전자식 안정기 개발

(Development of Electronic Ballast for Automotive HID lamp using Half Bridge Inverter)

조계현\* · 박종연 · 박재일

(Gye - Hyun Jo · Chong - Yeun Park · Jae - Il Park)

### 요 약

최근 고급차의 헤드라이트용 램프로 메탈헬라이드 램프가 사용되어지면서 자동차의 고급스런 분위기와 많은 광량으로 인하여 사물의 판독이 용이하여 특히 야간 운전시 많은 사람의 안전에 기여하고 있다[1][2][3]. 그러나 현재까지 국내에 개발된 안정기는 신뢰도 및 안정성이 낮기 때문에 고가에 수입하여 일부 차에만 적용되고 있는 상태이다[4]. 본 논문은 자동차 헤드라이트용 전자식 안정기에 관한 내용을 다루었다. 전자식 안정기의 구성은 플라이백 컨버터, 하프브리지 인버터, 램프 이그니션을 위한 이그나이터 부분으로 이루어졌다. HID 램프가 가지는 음향공명 현상을 피하기위해서 400[Hz]의 구형파로 램프를 동작 시켰으며, 램프 점등 초기에 더 많은 에너지를 램프에 공급하는 방법으로 램프 동작 주파수를 가변시키는 방법과 동시에 램프 점등 상태를 안정화를 위한 상태 전이 전류 공급 회로를 사용하였다. 본 논문의 확인 및 평가는 12[V] 축전지와 35[W] HID 램프를 사용해서 확인하였다.

### Abstract

An electronic ballast for driving automotive HID lamps is presented. The circuit topology is composed of a fly back converter, a half bridge inverter, and ignitor using voltage doubler. A prototype was developed and tested on a 35W lamp with a 12V input voltage. To avoiding acoustic resonance, the half bridge inverter is operated at 400Hz and provided a squared-wave voltage source to the lamp. The transient and steady state characteristics of the tested HID lamps are measured and analyzed.

Key Words : automotive HID lamp, half bridge inverter, take over current, ignitor

### 1. 서 론

메탈헬라이드 램프는 방전관 내부에 특정한 색과 파장을 방사하는 금속을 넣음으로써 높은 연색성과 다양한 색온도를 만들어 낼 수 있기 때문에 기존의

할로젠램프가 가지는 낮은 색온도에 비하여 색 재현도가 우수하다는 장점을 가지고 있다. 오랜 시간동안 자동차 헤드라이트는 할로젠램프가 사용되었다. 하지만 최근 들어 높은 램프 광 효율과 긴 수명 그리고 좋은 연색성을 지니고 있는 HID(high intensity discharge) 램프가 자동차 헤드라이트에 사용되기 시작하였다. 하지만 HID 램프는 높은 주파수로 동작하면, 음향 공명 현상이 발생하여, 램프 불빛이 떨리는 단점이 있다. 이러한 현상은 구동회로에서 일정한 주파수의 정현파 전류를 공급할 때, 방전등에 인가

\* 주저자 : 강원대학교 전기공학과 박사과정  
Tel : 033-250-6292, Fax : 033-241-3775  
E-mail : gye Hyun1@hotmail.com

접수일자 : 2002년 12월 16일  
1차심사 : 2002년 12월 26일, 2차심사 : 2003년 1월 27일  
심사완료 : 2003년 2월 15일

되는 입력 전류 주파수에 의한 램프 전력 주파수와 방전등 내부의 온도 변동이 서로 공진하는 주파수에서 아크의 흐름이 불안정하여 나타나는 현상이다 [5]. 이러한 현상은 10[kHz]에서 1[MHz]사이에서 광범위하게 나타난다. 이제까지 이러한 음향공명현상을 피하기 위해서 램프 동작 주파수를 시간에 따라 가변시키는 방법, 음향공명현상이 일어나지 않는 구간에서 램프를 동작시키는 방법, 1[kHz]이하의 저주파로 구동시키는 방법 등이 제시되어왔다[6][7][8].

본 논문에서는 저주파 구형파로 동작시키는 방법을 따랐다. 또한 메탈 할라이드 램프의 용도가 자동차로 국한되기 때문에, 점등 후 빠른 시간 내에 정격 출력을 가져야하며, 재 점등도 가능해야하기 때문에 램프가 뜨거워진 상태에서도 안정적으로 재 점등이 이루어 질 수 있도록 충분한 양의 상태 전이 전류를 공급하는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 전자식 안정기 구조

본 논문에서 제안한 자동차 메탈 할라이드 램프용 안정기의 기본 구성은 그림1과 같다. 첫 번째로는 자동차용 건전지에서 얻는 입력 전압(9-16V)를 DC-DC 컨버터를 이용하여 200[V]-600[V]로 승압하여 인버터에 보내지는 컨버터 부분이다. 두 번째는 앞단의 컨버터에 의해서 승압된 전압을 가지고 인버터에서는 음향공명이 일어나지 않는 구형 저주파로 스위칭하여 램프에 알맞은 전압을 인가하는 인버터 부분이다. 그리고 상태전이 전류를 공급하기 위한 부분과 램프 점등을 위한 고전압 발생부인 이그나이터 부분이다[9][10][11].

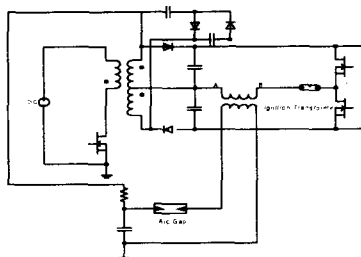
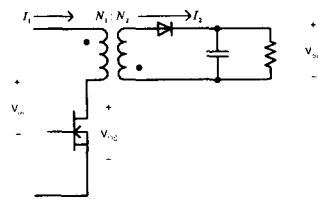


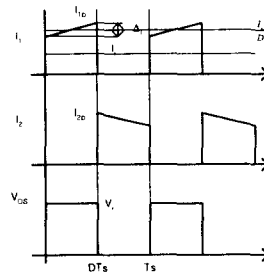
그림 1. 전자식 안정기 기본 구조  
Fig. 1. The basic structure of electronic ballast

## 2.1 DC-DC 컨버터 부분[9]

DC-DC 컨버터는 램프에 전원을 공급하기 위하여 자동차의 배터리 전압 12[V]를 승압하여 인버터에 공급하게 된다. 본 논문에서는 입력단에 큰 리플 전류가 흐르고 효율은 낮지만 구성이 간편하고 크기를 소형화 할 수 있어 자동차용에 보편적으로 사용될 수 있는 그림2와 같은 플라이백 구조를 사용하였다[5].



(a) dc-dc 컨버터 구조



(b) 동작 파형

그림 2. DC-DC 컨버터 구조와 파형  
Fig. 2. The dc-dc converter structure and waveform

출력을 35[W]로 하고 플라이백 코어를 EER3541S로 사용하였을 때, 입력 전류는 식(1)과 같이 계산한다.

$$I_{in} = \frac{P_{out}}{\eta V_{inmin}} = \frac{35}{0.8 \times 9} = 4.86 \text{ [A]} \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $I_{in}$ 은 입력 전류이고  $V_{inmin}$ 은 최소 입력 전압이며  $P_{out}$ 은 출력, 그리고  $\eta$ 는 플라이백 컨버터의 효율로 0.8로 설정하였다.

1차측 인덕턴스  $L_1$  값의 결정은 식(2)와 같은 관계식으로부터 구할 수 있다.

Half Bridge 구조를 이용한 자동차 헤드라이트용 전자식 안정기 개발

$$V_i = L_1 \frac{di}{dt} \approx L_1 \frac{\Delta i}{DT_s} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, D는 duty ratio이며,  $T_s$ 는 동작 주기를  $\Delta i$ 는 입력 전류의 변동 폭이다.

그러므로 1차 측 인덕턴스  $L_1$  은 식(3)과 같이 결정되어진다.

$$L_1 = \frac{V_{inmin} D_{max} T_s}{\Delta i} \dots\dots\dots(3)$$

여기에서  $\Delta i$ 는 그림2 (b)를 이용하여 식(4)와 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta i = 2(I_p - \frac{I_i}{D}) = 2(I_p - \frac{P_o}{\eta D V_{inmin}}) \dots\dots\dots(4)$$

결과적으로 식(3)을 이용하여,  $L_1$  을 구하기 위해서는 식 (4)으로부터  $\Delta i$ 를 구해야하나 자체가  $\Delta i$  의 함수가 됨으로서 독립적으로 결정되지 못하기 때문에 일반적으로  $\Delta i$  는  $I_p$  의 30-50%로 정한다.[9] 본 설계에서는  $\Delta i$  는  $I_p$  의 30%로 하여 계산하였고, 식(4)에  $I_p = \frac{\Delta i}{0.3}$  을 대입하여 얻은 결과 입력전류의 변동폭을 계산한 결과는 식 (5)와 같다.

$$\Delta i = \frac{P_o}{2.83\eta D_{max} V_{inmin}} = 3.43 \text{ [A]} \dots\dots\dots(5)$$

식(5)에서 얻은 결과를 식(3)에 대입하면 1차 인덕턴스 값을 식(6)과 같이 얻을 수 있다.

$$L_1 = \frac{V_{inmin} D_{max} T_s}{\Delta i} = \frac{9 \times 0.5}{3.43 \times 64000} = 20.49 \text{ [uH]} \dots\dots(6)$$

1차 인덕턴스의 권선수는 식(7)을 이용하여 얻는다.

$$N_1 = \frac{L_1 I_p}{B_m A_e} = \frac{L_1 \times \Delta i}{0.3 B_m A_e} \text{ [T]} \dots\dots\dots(7)$$

$$= \frac{20.49 \times 10^{-6} \times 3.43}{0.3 \times 0.28 \times 109 \times 10^{-6}} = 7.67$$

회로 적용에 있어서는  $N_1$  은 8T을 감아서 사용하였다. Half Bridge 구조는 정상 상태시 부하에 인가되는 전압과 DC link 전압과의 관계가 2배 만큼의 차이가 있으므로 정상 상태시 DC link 전압을 최소 전압인 200[V]로 설정하였다. 또한 램프가 점등되기 전에는 램프가 점등된 후 형성되는 전압보다 큰 약 400[V]가 인가된다. 그러므로 2차 인덕턴스가 가지는 권선은 식(8)과 같다.

$$N_2 = \frac{D_{min} \times V_o}{D_{max} \times V_{inmin}} \times N_1 \text{ [T]} \dots\dots(8)$$

$$= \frac{(1-0.5) \times 200}{0.5 \times 9} \times 8 = 177.77$$

실제 적용에 있어서는 176T을 사용하였고, 그림3과 같이 88T씩을 2 분할하여 사용하였다.

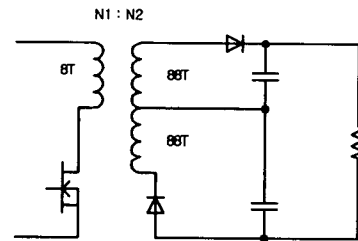


그림 3. 사용한 DC-DC 컨버터 구조  
Fig. 3. The dc-dc converter structure using electronic ballast

2.2 DC-AC 인버터

자동차 메탈할라이드 램프용 안정기에 사용되는 인버터 구조에는 풀 브리지(Full Bridge)방식과 하프 브리지(Half Bridge)방식이 있지만 현재까지는 일반적으로 풀 브리지 인버터를 많이 사용하고 있다 [9][11]. 하지만 풀 브리지 방식은 하프 브리지 보다 스위칭 소자를 2개 더 사용하여 가격이 올라가며 또한 구동용 IC를 추가로 더 사용하게 되는 등 시스템 전체적으로 복잡하고 제어 IC의 가격이 상승하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 그림4와 같이 회로가 간단하고 구동이 간편한 하프 브리지 방식을 채택하였다.

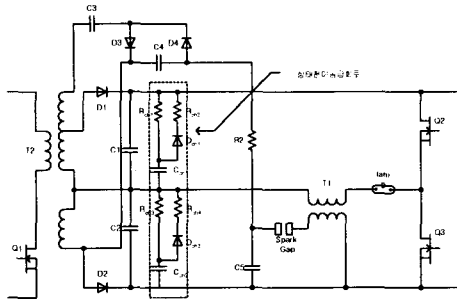


그림 4. 전자식 안정기 인버터 구조  
Fig. 4. The inverter structure of prototype ballast

### 2.3 주파수 천이를 이용한 전력 공급

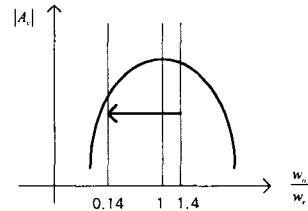
자동차용 메탈 할라이드 램프는 뜨거운 상태에서 재 점등이 이루어져야 하기 때문에 아크 상태로 이 전하더라도 이후 수십 [ms]동안 어느 정도의 전류를 필요로 한다.

일반적으로 상태 천이 전류는 컨버터에서 안정적으로 공급해 줘야하는데 DC-DC 컨버터의 응답 속도가 빠르지 못하므로 일반적으로 Half Bridge나 Full Bridge 인버터를 사용하는 안정기에서는 그림4에서 표시한 부분과 같이 별도의 회로를 삽입하여 평상시  $R_{ch1}$ 를 통하여  $C_{ch1}$ 에 전압을 충전하였다가 램프가 점등되어 상태가 변동될 때,  $R_{ch2}$ 를 통하여 램프에 컨버터가 반응할 때까지 공급하는 방법을 사용한다.

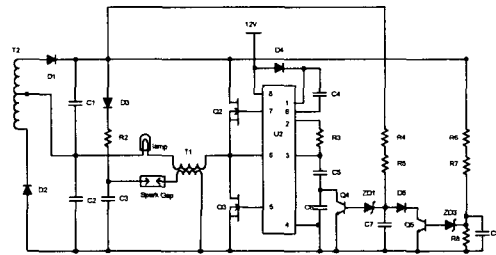
일반적으로 Half Bridge 인버터 구조를 가지는 구조에서는 한 개의 상태 천이 전류 공급회로를 부착하는 것은 플라이백 출력 전압이 약 400[V]-600[V]까지 되므로  $C_{ch1}$ 의 컨덴서 용량이 증가하여 시스템의 부피가 증가하는 단점이 있어서 그림4와 같이 작은 용량을 갖는 상태 천이 공급 회로를 부착하는 것이 더 효과적인 것으로 실험결과 판명되었다. 또한 본 논문에서는 그림5와 같이 DC link 전압을 감지하여 램프가 글로우 상태와 아크 상태를 판별하여 동작 주파수를 달리하도록 하였다. 그림5의 (a)는 글로우 상태일 때 주파수 변동에 의한 동작 특성이며 (b)는 구현 회로도이다.

그림5 (a)에서와 같이 램프 점등 전에는 공진주파수 부근에서 동작하여 램프 점등 초기에 필요한 전

압과 전류를 공급하도록 하였다.



(a) 동작주파수의 이동



(b) 구현 회로도

그림 5. DC link 전압 판별을 이용한 전력 공급 방법  
Fig. 5. The power supply method using detection of DC link voltage

글로우 상태일 때는 Half Bridge 구조가 가지는 공진 특성을 이용하여 동작 주파수를 공진 주파수보다 약간 큰 곳에서 동작하게 하여 공진 특성에 의한 증가된 공진 전류를 상태 천이 공급회로에 첨가하였다. 증가된 상태 천이 전류로 인해 램프가 아크상태로 안정적으로 천이되며, 바로 동작 주파수가 400Hz로 감소되어 음향공명 현상이 일어나지 않도록 하였다.

### 2.4 이그나이터

램프의 전극 양단에 방전 개시 전압으로서 초기 점화시 2[kV], 재 점화시 25[kV]-30[kV]가 요구된다. 재 점화의 경우 높은 점등 전압을 피하려면 램프를 냉각 시키면 되지만 지연 냉각시 초기 점화 상태로 회복하려면 10분 이상 소요되므로 자동차 전조등 응용에는 부적합하다. 따라서 25[kV]이상의 출력을 낼 수 있는 점화기가 필요하다. 출력 단에 높은 이그니션 전압을 얻기 위해서는 이그니션용 트랜스포머 제작에 신중을 기해야한다.

## Half Bridge 구조를 이용한 자동차 메탈라이드용 전자식 안정기 개발

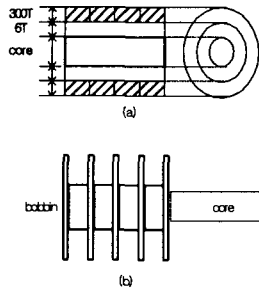


그림 6. 제작한 이그니션용 트랜스포머 보빈 특성  
Fig. 6. The bobbin structure of prototype ballast for ignition

본 논문에서는 이그니션 트랜스포머는 그림6에서와 같은 여러 개로 구분되어있는 보빈을 사용하였다. 이그니션 트랜스포머 2차 측에는 높은 전압과 많은 전류가 흐르므로 보빈과 코일 선택에 주의해야한다. 우선 발생한 고압 전압에 의한 누설로 인한 출력 전압 감소효과를 막기 위해서 권선과 권선사이를 충분히 절연시켜주기 위해서 그림6 (b)와 같이 층간 절연 막을 만들었다. 이러한 효과는 전압에 의한 누설 보호와 함께 2차측 기생 커패시턴스를 줄여주는 효과를 함께 얻을 수 있어 고압을 발생, 유지하기에 유리하다[5][10]. 또한 이그니션 트랜스포머 2차측에 흐르는 전류로부터 특성을 유지하기 위해서 2차권선을 적절한 굵기의 코일을 선택해야하며, 대 전류로 인한 코어의 포화를 방지하기 위해서 Bar 코어 형태를 선정하였다.

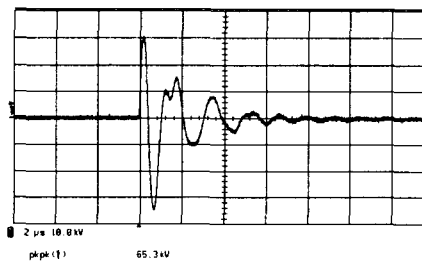


그림 7. 무 부하시 이그니션 전압  
Fig. 7. The ignition voltage waveform of no load condition

그림 7은 무 부하 상태에서 측정된 이그니션 전압으로 램프 순시 재 점등에 필요한 30[kV]정도의 전압

이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

## 3. 실험 결과 및 검토

### 3.1 DC-DC Converter 부분

제안된 자동차 메탈라이드 램프용 안정기의 특성을 측정하기 위한 회로도는 그림 8과 같다. 성능을 검토하기 위하여 입력단과 출력 단을 Oscilloscope를 이용하여 특성을 분석하였고 또한 자동차 램프의 정상상태와 과도 상태일 때의 안정기 파형을 측정하여 얻은 결과를 분석하였다.

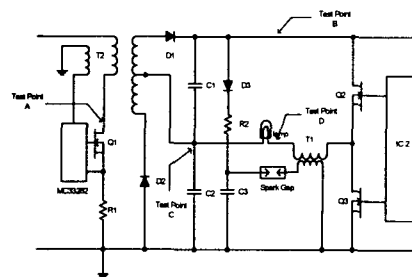


그림 8. 제작한 전자식 안정기  
Fig. 8. The prototype ballast

그림 9은 그림 8의 측정 회로도에서 Oscilloscope로 플라이백 컨버터 FET 드레인 A점을 측정한 파형으로 플라이백 컨버터의 FET가 64[kHz]의 주파수로 스위칭하는 것을 볼 수가 있고 Peak 전압이 30[V]로 본 논문에서는 FET의 내압을 무 부하 상태때를 대비하여 60[V] 내압의 IRF 540 FET2개를 병렬로 사용하였다.

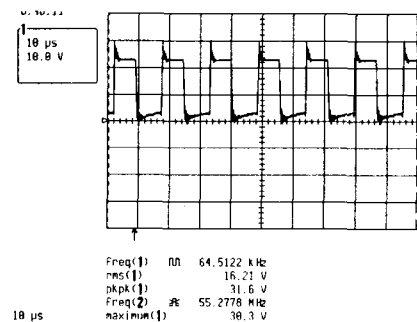


그림 9. 플라이백 컨버터 스위칭 FET 동작 파형  
Fig. 9. The voltage waveform of FET between D-S in flyback converter

### 3.2 Inverter 부분

그림 10과 11는 그림 8의 측정 회로도의 램프 양단 C와 D를 측정한 것으로 각각의 파형에서 위쪽 파형은 램프 전압을, 아래쪽 파형은 램프 전류 파형이다.

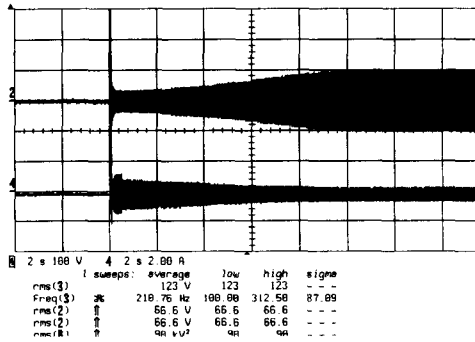


그림 10. 시간에 따른 램프 전압 전류 변화  
Fig. 10. The transient characteristics of lamp voltage and current

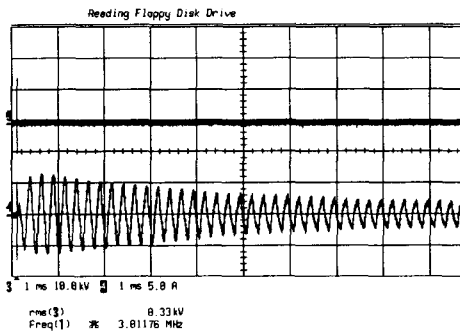


그림 11. 램프 점등 초기 고주파수로 동작하는 파형  
Fig. 11. The voltage waveform of lamp voltage and current at transient state

그림 10은 시간 경과에 따른 변하는 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 또한 그림 11은 램프 점등 초기 안정기의 동작 주파수가 하프브리지 구조가 가지는 공진 주파수 부근의 고주파수로 동작하는 것을 측정 한 그림이다. 램프 점등 초기 약 15[ms] 동안 고주파수로 동작하다가 램프가 아크상태로 천이되면,

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제2호, 2003년 3월

그림 12와 같이 저주파수로 동작한다.

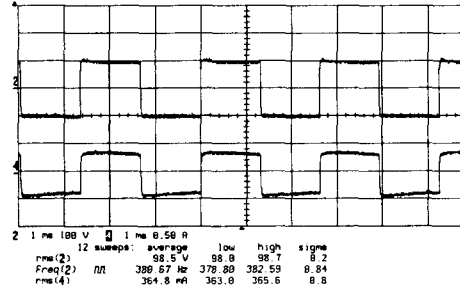


그림 12. 정상 상태시 램프 전압, 전류 파형  
Fig. 12. The voltage waveform of lamp voltage and current at steady state

램프 전압 전류 파형에서 보는 것과 같이 인버터 주파수가 음향공명 주파수 대역이 아닌 370[Hz]의 저주파 구형파로 램프에 공급되는 것을 알 수 있으며 램프 전압은 98.5[V]이고 램프 전류는 364.8[mA]이므로 램프 전력은 약 35[W]인 것을 알 수가 있다.

그림 13는 300[μs]동안 공급되는 상태 천이 전류 양을 확인한 결과이다. 그림에서와 같이 제한 규정을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

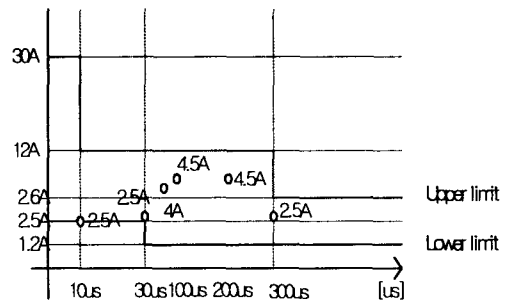


그림 13. 상태 천이 전류 공급 특성  
Fig. 13. The take over current characteristics of prototype ballast

그림 14는 안정기를 on/off 할 때 나타나는 파형이다. 일정한 간격으로 on/off를 반복한다 할지라도 램프 점등에 이상이 없는 것으로 나타났다.

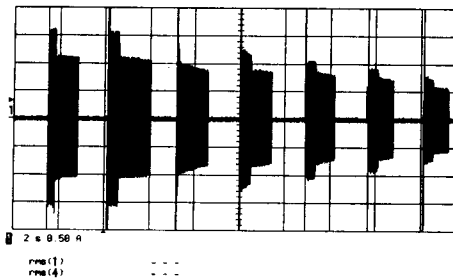


그림 14. 연속적인 on/off시 램프 전류 특성  
Fig. 14. The on/off characteristics of prototype ballast

#### 4. 결 론

본 논문은 자동차 헤드라이트 램프용 안정기를 구조가 간단한 하프브리지 인버터를 사용하여 회로를 구성하였다. 인버터의 동작 주파수를 램프 상태에 따라서 다른 주파수로 제어하는 방법을 적용함으로써 램프가 뜨거운 상태에서 순시 재 점등시 상태전이 전류를 원활히 공급하여 램프를 재 점등하는 것에 무리가 없도록 하였다.

DC-DC 컨버터 동작에 있어서 인버터 동작 주파수를 가변하는 방법을 사용하여 얻을 수 있는 장점으로 램프가 뜨거운 상태에서 저주파 구동방식보다 인버터의 최대 전류가 낮지만 인버터의 최소 전류값을 키울수있다는 장점을 갖는다는 것이다. 이러한 특성으로 인해서 램프 점등 및 순시 재 점등 상태를 원활하게 하여 차가운 램프 상태에서 점등시 고주파 전류에 의한 소등을 막을 수 있다.

또한 이그나이터 트랜스포머 제작에서도 멀티섹션 형태의 보빈을 사용하여 트랜스포머 2차측에 나타나는 기생 커패시턴스를 감소시킴으로써 램프에 인가되는 이그니션 전압이 최대가 되도록 하였다. 증가된 이그니션 전압과 충분한 상태전이 전류 공급으로 인해서 램프의 순시 재 점등 문제를 안정적으로 해결할 수 있다는 것을 실험 결과를 통해서 검증하였다.

- 감사의 글 -

본 연구는 강원대학교 BK21 사업단의 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- (1) Dr. Chr. Meyer and Ir. H. Nierhuis, "Discharge Lamps" PHILIPS TECHNICAL LIBRARY 1988, pp.216-226.
- (2) Alberto Reatti, "Low-cost high power density electronic ballast for automotive HID lamps", IEEE Trans power electronics, VOL15, No2, March 2000, pp.361-368.
- (3) W.H.Lake and J.M.Davenport, "Low wattage metal halide lamps", Journal of IES, Japan, 1982, pp.66-73.
- (4) N.Funumori, H.Nishimura, K.Uchihashi, and M. Fukuhara, "A study of HID lamp life when operated by electronic ballasts", Journal of the Illuminating Engineering Society, winter 1995, pp.41-47.
- (5) 조규찬, "자동차 고압 방전등 안정기의 설계 및 해석", 서울대학교 대학원, 2001.
- (6) H.J.Faenrich and E. Rasch, "Electronic Ballast For Metal Halide Lamps", Journal of the Illuminating Engineering Society, summer 1988, pp.131-140.
- (7) S.Wada, A. Okada, and S. Morii, "Study of HID Lamps with Reduce Acoustics Resonance", Journal of the Illuminance Engineering Society, Winter 1987, pp.162-175.
- (8) M. Gulko and S. Ben-Yaakov, "A MHz Electronic Ballast for Automotive-type HID Lamps", in Proc. IEEE PESC '97 pp.39-45.
- (9) 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", 성안당.
- (10) Chin S.Moo, Tsai F. Lin and Ying C. Chung, "Designing an ignitor for short-arc xenon lamps", IEEE IAS annual Meeting, pp.612-617, 1999.
- (11) A. Fratta, F. Villata, E. Canavesio, "Comparative design of a new DC/DC conversion scheme for gas discharge lamp in automotive applications", IEEE pp.542-548.

#### ◇ 저자소개 ◇

##### 조계연 (曹桂鉉)

1998년 강원대학교 졸업(학사), 2000년 동대학원 졸업(석사), 현재, 박사과정.

##### 박종연 (朴鍾演)

1973년 고려대 전자공학과 졸업(학사), 1980년 경북대 대학원(석사), 1984년 동대학원 졸업(박사), 1973~1976년 KIST연구원, 1977~1984년 울산공과대학 교수, 1984~현재 강원대학교 전기전자정보 통신공학부 전기전자전공 교수.

##### 박재일 (朴載日)

1997년 강원대학교 산업대학원(석사), 현재 강원지방 중소기업청 공업 연구관.