

공진 점등 기능과 효율 향상을 위한 HID 램프의 저주파수 구형파 2단 전자식 안정기

(Digital Control of Low-Frequency Square-Wave Two-Stage Electronic Ballast for HID Lamps with Resonant Ignition and High Efficiency)

이우철*

(Woo-Cheol Lee)

Abstract

In this paper, electronic ballast using resonant inverter for HID lamp is designed and implemented. The proposed electronic ballast is used the soft switching technology ZVS(Zero Voltage Switching) to reduce turn-on and turn-off loss. The ignition of proposed electronic ballast is achieved by controlling a full bridge inverter which is consisted of LC filter for resonance. After ignition the ballast operates as a low frequency square wave inverter by controlling a full bridge inverter as a buck converter. After ignition at resonant frequency of $f_s=160\text{kHz}$, the switching frequency of a buck converter is consisted of 50kHz of high frequency and 170Hz of low frequency. This is for attenuating high frequency harmonics and avoiding acoustic resonance. The experimental results show that electronic ballast using resonant inverter is operated stably.

Key Words : HID(High Intensity Discharge), Resonance Ignition, Acoustic Resonance,
Low Frequency Square-Wave

1. 서 론

HID(High Intensity Discharge) 램프는 다른 광원에 비해서 효율이 높은 장점을 가지고 있지만, 점등 전압이 높고 과도 상태가 길어 가로등 및 옥외 조명등으로만 사용되어 왔다. 그러나 최근 HID 램프의 좋은 연색성과 긴 수명 때문에 백화점 및 대형매장에서 전사용 조명등으로 사용되어지고 있으며, HID 램프를 구동하기 위해서는 램프 동작 특성에 맞는 안정기가 필요하게 되었다[1-2].

안정기는 크게 자기식(Magnetic)과 전자식(Electronic)

* 주저자 : 환경대학교 전기전자제어공학과 부교수
IT융합연구소
* Main author : Hankyong National University Dept.
of Electrical Electronic & Control
Engineering Associate Professor, Institute
for information technology convergence
Tel : 031-670-5323, Fax : 031-670-5329
E-mail : woocheol@hknu.ac.kr
접수일자 : 2012년 11월 12일
1차심사 : 2012년 11월 14일
심사완료 : 2012년 12월 13일

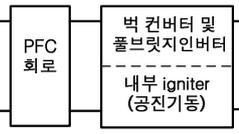
으로 나누어지는데, 과거에는 주로 마그네틱 안정기가 이용되었지만, 현재에는 안정기의 크기, 효율 및 램프 구동 성능을 고려하여 전자식 안정기의 수요가 늘어나는 추세이며, 전자식은 다시 DC/DC 컨버터의 유무에 따라 3단 구성과 2단 구성으로 나누어진다. 3단 구성은 역률 보상(Power Factor Correction)회로와 DC-DC 컨버터, DC-AC 인버터로 구성되며, 이를 위한 인버터로는 주로 풀 브릿지(full-bridge) 회로가 사용된다. 2단 구성은 3단 구성에서 DC/DC 컨버터가 생략된 것이며, 인버터로는 풀 브릿지(full-bridge)회로 또는 하프 브릿지(half-bridge) 회로가 사용된다. 이러한 2단 구성 안정기는 각각의 경우에 따라 또다시 고주파 구동 방식과 저주파 구동 방식으로 나누어진다. 고주파 구동 방식은 인버터의 높은 주파수 전류를 필터링 없이 램프에 주입하여 램프를 구동하는 방식이고, 저주파 전류 구동 방식은 인버터의 전류를 LC필터로 필터링하여 램프에 저주파로 교번하여 주입하는 방식이다[3].

HID 램프는 초기 동작을 위한 점등(ignition)에는 수kV(1~5kV)의 높은 점등용 전압이 필요하며, 점등 방법에는 두 가지 방법이 존재한다. 첫 번째 방법은 외부 점화기의 펄스를 이용하여 램프를 점등하는 방법이고, 두 번째 방법은 공진을 이용하여 램프를 점등하는 방법이다. 외부 점화기의 펄스를 이용한 램프 점등은 공진을 이용한 점등에 비해 점등 전압의 피크의 크기가 더 크고 외부 점화기의 수명에 따른 안정기의 안전도 및 신뢰도가 저하되기 때문에 공진을 이용한 램프 점등 방법이 고압 방전 램프 전자식 안정기에 유리한 방식이며, 일단 점등이 이루어지면 글로우 방전에서 아크 방전으로의 천이가 필요하다[4].

본 논문은 2단 구성 안정기로서 내부 LC에 의한 공진을 이용하여 점화기의 동작을 얻음으로써, 외부 점화기를 사용하지 않는 장점을 가진다. 또한 램프가 정상상태 동안의 음향공명현상을 피하기 위하여 저주파 전류 구동 방식을 채택하였으며, 마이크로컨트롤러를 이용하여 램프 점등에 필요한 고주파수 게이트 파형 및 저주파수 구형파를 구현하였다.

기존의 3단 구성과 제안된 2단 구성을 비교 하면 표 1과 같다.

표 1. 기존의 방식과 비교
Table 1. Comparison of the conventional method

3단 구성	2단 구성
1. 회로도 	1. 회로도 
2. 구성 -PFC(Power Factor Correction) 컨버터 -전류/전력을 일정하게 제어하기 위한 강압형 벡(Buck) 컨버터 -저주파 구형파를 만드는 풀 브리지 인버터(고압발생 이그니터 포함) -외부 이그니터(펄스 기동형)	2. 구성 -기존 회로와 동일한 PFC 컨버터 -벡 컨버터와 풀 브리지 인버터를 하나로 통합한 인버팅 & 벡 기능의 컨버터 -내부 이그니터(공진 기동형)
3. 장단점 -외부 igniter의 펄스는 공진 점등에 비해 고전압을 사용한다.(5kV) -점등 시 램프와 안정기 사이가 멀어질수록 전압의 감쇠가 일어난다.	3. 장단점 -3단 구성에 비해 원가 절감 효과. -공진에 의한 점등은 펄스에 의한 점등에 비해 상대적으로 낮은 전압이 요구.(3kV정도) -램프와 안정기 사이가 멀어도 펄스 점등에 비해 전압의 감쇠가 적다.

2. 전자식 안정기의 회로 해석

2.1 회로 구조

그림 1은 제안된 2단 구성 안정기를 나타낸다. 안정기는 기동시 Q_1 과 Q_4 , Q_3 과 Q_2 가 교번으로 고주파로 주파수 sweep를 하게 되고, 정상 상태시 Q_1 과 Q_2 는 저주파 Q_3 과 Q_4 는 고주파로 스위칭 하게 된다. 또한 Q_3 과 Q_4 는 정상 상태시 소프트 스위칭을 하도록 설계하였다. 소프트 스위칭은 인덕터에 흐르는 전류가 0이 될 때 스위치를 켜는 CRM(Critical Conduction Mode) 방법이다. 인덕터에 흐르는 전류가 0이 되면 전류는 더 이상 거의 흐르지 못하지만 회로상에 존재하는 용량성 성분으로 인해 공진 전압이 나타나면서 드레인-소스간 전압이 낮아지게 된다. 이 순간에 스위치를 켜게 되면 스위칭 손실과 노이즈를 줄일 수 있다. 그러나 기존의 벡 컨버터용 L_f 과 C_f 를 공진 점등용으로 같

이 사용하게 되면, 공진시의 고전압 점등 전압을 만드는 과정에서 스위치 전류가 너무 커지므로 이를 해결하기 위하여 점등을 위하여 인버터 내부에 별도의 변압기 T_1 에 포함된 인덕터와 용량이 작은 C_2, C_3 를 이용하여 점등하도록 하여 기동시 공진에 의한 스위치 전류를 감소시켰다[5]. 또한 램프 전압 점등유무를 판단하기 위하여 V_D 전압을 검출한다.

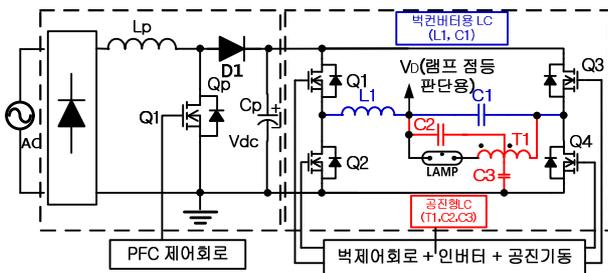


그림 1. 제안된 2단 구성 안정기의 회로도
Fig. 1. The circuit diagram of the proposed 2 stage ballast

2.2 공진 점등

HID 램프의 점등 시 방전 개시전압은 고압 방전등 내부의 압력, 온도, 전극의 간격 등에 따라 다르지만 통상 1kV~5kV이다. 고압 방전등을 점등시키기 위한 고전압 발생회로는 변압기 T_1 의 1차측 내부 인덕턴스 L_2 와 공진 캐패시터 C_2, C_3 로 램프 점등 전에 공진회로를 형성한다. 변압기 T_1 1차측에 공진에 의한 전압이 유기되면 턴수 비에 의해 2차측에도 고전압이 유기되며, 발생된 고전압에 의해 방전관의 절연이 파괴되어 램프의 점등이 시작된다. LC의 공진 주파수는 식 (1)과 같다.

$$f_o = 1/2\pi \sqrt{L_2(C_2 + C_3)} \quad (1)$$

스위칭 주파수는 공진 주파수 f_o 로부터 비교적 먼 주파수 대역에서 스위칭하여 램프가 점등 전압에 도달할 때까지 공진 주파수 f_o 로 접근하면서 감소하고, 램프가 점등될 때까지 주파수의 sweep은 반복된다. 공진 기동시 스위치 $Q_1 \sim Q_4$ 는 HID 램프의 점등 전압을 얻기 위하여 공진 주파수 f_o 로 감소하며 고주파로 동

작한다[6].

그림 2는 공진 기동시 스위치 게이트 파형이다. 스위치 Q_1, Q_4 가 한 쌍으로 동작하며, 마찬가지로 스위치 Q_2, Q_3 가 한 쌍으로 동작한다[7].

또한 스위치 Q_1, Q_4 와 스위치 Q_2, Q_3 의 스위칭 동작에 의한 회로의 파괴를 막기 위하여 Dead time은 1μsec로 세팅되었다.

공진시 L_2, C_2, C_3 의 전달함수는 식 (2)와 같다.

$$G_f(s) = \frac{1}{L_2(C_2 + C_3)s^2 + 1} \quad (2)$$

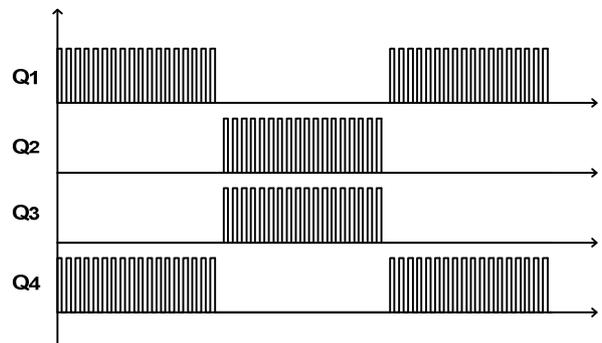


그림 2. 공진 기동시 스위치 게이트 파형
Fig. 2. waveforms of resonant sequence switch gate

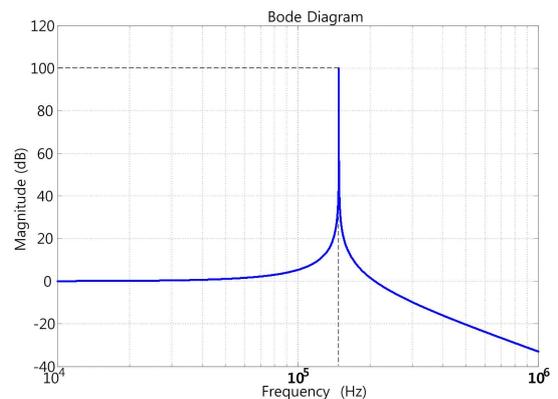


그림 3. 공진 기동시 보드 선도
Fig. 3. Bode plot of resonant ignition

그림 3은 공진시의 보드선도를 나타낸다. 그림과 같이 공진은 약 165kHz에서 나타남을 알 수 있다. 공진 주파수보다 높은 주파수대에서 스위칭을 하여 공진

주파수에 가까워짐에 따라 전압 이득이 커져 높은 전압이 발생하게 된다. 공진주파수를 지나치면 다이득이 줄어들게 된다. 따라서 점등이 되지 않으면 다시 처음부터 동작을 하게 된다[8].

그림 4는 공진 기동 및 정상 상태에서 동작 상태도이다. 동작 스위치를 턴온하게 되면 프로그램이 동작되어 공진 기동을 시작하게 되는데 이때 250k~160kHz 까지 1ms 마다 주파수 sweep을 하여 서서히 공진점으로 다가가게 되고 주파수 sweep이 끝난 후 정상상태 동작을 하게 된다. 이때 음향공명현상을 없애기 위해 저주파수 구동을 하게 되는데 저주파는 170Hz 고주파는 50~60kHz로 스위칭하게 된다[9]. 또한 램프 점등 유무를 판단하기 위하여 램프 전압을 검출 받아 램프가 온이라고 판단되면 정상상태를 유지하고 그렇지 않고 램프가 오프라고 판단되면 다시 공진 기동으로 돌아가 주파수 sweep을 하게 된다.

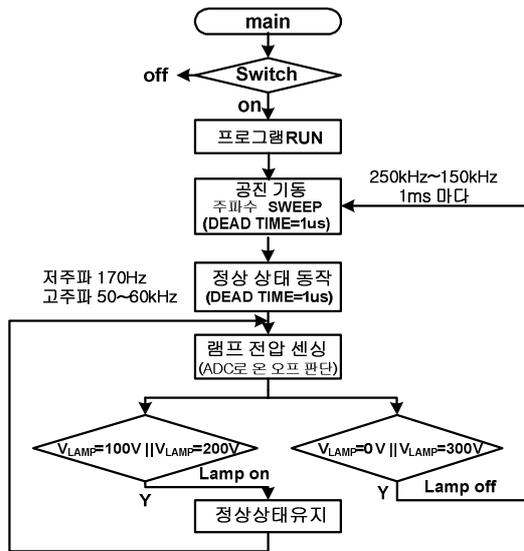


그림 4. 공진 기동 및 정상 상태에서 동작 상태도.
Fig. 4. Flowchart of waveforms under resonant ignition and steady state

램프의 온/오프를 판단하기 위해 실제 램프 양단 전압을 센싱 받아서 설계해야 하지만 점등 시 램프 양단 전압이 고전압이기 때문에 램프의 양단 전압보다는 램프의 한쪽단과 접지 전압을 검출 받아서 A/D 컨버터를 위한 전압 레벨로 분배를 하여 사용하였다.

그림 5는 램프 on/off를 판단하는 회로를 보여준다. 램프의 전압 범위 설정은 KVL을 적용하여 검출 받은 전압을 계산하였다. 계산된 전압 범위를 설정하여 램프의 온/오프를 판단하도록 하였다. 즉 DC-link 전압이 300V, 램프 전압이 100V라고 하고 램프가 꺼져 있는 경우 스위치 Q_1 과 Q_4 가 턴온된 경우 그림 5 (a) 처럼 램프 전압은 DC-link 전압이 걸리게 되고, Q_2 와 Q_3 가 턴온된 경우는 그림 5 (b)처럼 0V가 검출된다. 램프가 켜져 있는 경우 스위치 Q_1 과 Q_4 가 턴온된 경우 그림 5 (c)처럼 램프 전압은 100V가 걸리게 되고, Q_2 와 Q_3 가 턴온된 경우는 그림 5 (d)처럼 200V가 검출된다. 램프 점등의 유무에 따라 다시 공진 기동과 정상상태 운전이 결정된다.

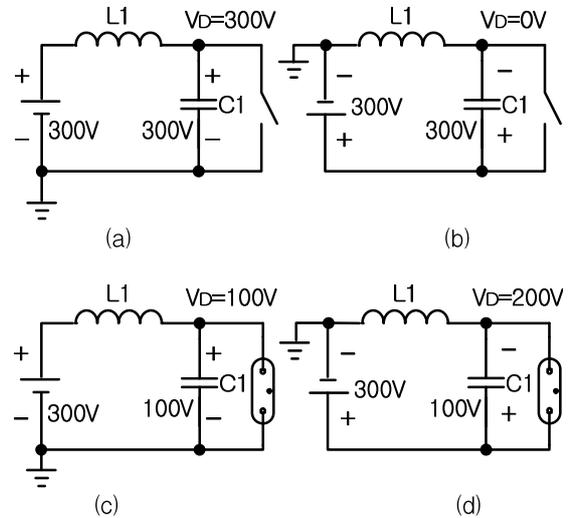


그림 5. 램프 온/오프를 판단하는 회로.
Fig. 5. Circuit diagram of decision the lamp on/off
(a) 램프가 꺼진 상태에서 Q_1 과 Q_4 가 턴온시 (b) 램프가 꺼진 상태에서 Q_2 과 Q_3 가 턴온시 (c) 램프가 켜진 상태에서 Q_1 과 Q_4 가 턴온시 (d) 램프가 켜진 상태에서 Q_2 과 Q_3 가 턴온시

2.3 정상 상태

음향 공명 현상을 막기 위하여 스위치 Q_1 과 Q_2 가 저주파 구동(170Hz)을 하며, Q_3 과 Q_4 는 고주파 구동한다. Q_1 이 Trun on되는 반주기 동안에는 Q_4 가 고속으로(50~60kHz) Turn on-off를 반복하며, Q_2 가 Trun

on되는 나머지 반주기 동안 Q_3 가 Turn on-off를 반복하는 저주파수 구형파 안정기로 동작하게 된다[10]. 그림 6은 정상상태시 게이트 파형을 보여준다. 스위치 Q_1 과 Q_2 가 저주파 구동을 하여 스위칭 손실이 현저히 줄어들게 되며 Q_3 과 Q_4 는 CRM(Critical Conduction Mode or Boundary Conduction Mode) 구동방식으로 턴온 손실을 줄일 수 있다. CRM 모드인 경우 CCM(Continuous Conduction Mode) 모드와는 달리 스위치에 흐르는 전류가 0일 때 스위치를 턴온하게 되기 때문에 턴온 시에 스위칭 손실은 현저하게 줄일 수가 있다. 그러나 턴오프할 때 스위치 손실은 CCM과 마찬가지로 발생된다. 일반적인 스위칭 소자의 턴온, 턴오프 손실에 관한 수식은 다음과 같다.

$$P_{SW} = \frac{1}{T_s} \int P_A(t) dt = (W_{on} + W_{off})f_s \quad (3)$$

벽컨버터로 동작하는 정상상태에서의 전달함수는 식 (4)와 같다.

$$G_v(s) = \frac{R_{lamp}}{R_{lamp}L_1C_1s^2 + L_1s + R_{lamp}} \quad (4)$$

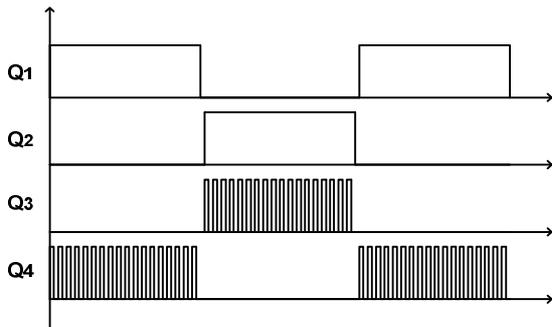


그림 6. 정상상태시 게이트 파형
Fig. 6. Gate waveform of steady state

그림 7은 정상상태시 보드 선도를 보여주며 램프가 노후 되어 램프 저항이 커짐에 따라 양호도 낮은 커지게 됨을 알 수 있다. 램프의 정격은 150W, 90V정도이고, 말기의 램프 전압은 130~140V가 되며 최대 150V라고 가정하면 램프 저항의 크기를 50Ω에서 150Ω으로 설정할 수가 있다.

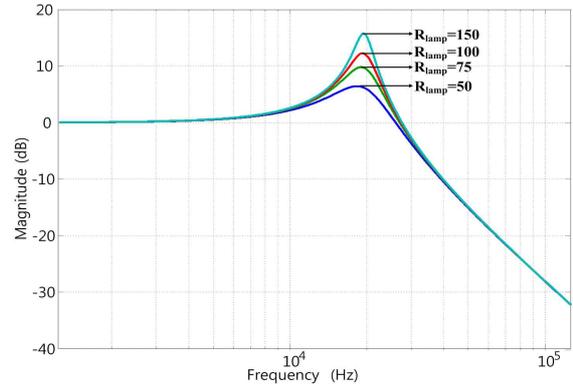


그림 7. 정상상태시 보드 선도
Fig. 7. Bode plot of steady state

3. 시뮬레이션 및 실험 분석

본 논문에서는 PSIM 프로그램을 이용한 시뮬레이션과 실제 실험 회로를 구현하여 공진에 의한 램프 점등 전압이 발생함을 확인하였으며, 표 2는 실제 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다.

표 2. 시스템 파라미터
Table 2. System parameter

Parameters	Value
Input voltage (V_{dc}), 출력	300V, 150W
LC 필터(L_f, C_f)	200μH, 330nF
공진용 커패시터(C_3, C_3)	1.2nF, 1.2nF
변압기(T)	$L_p=0.48mH, L_s=0.4mH, L_m=0.1mH$
동작 주파수,벽컨버터 주파수	170Hz, 60kHz~100kHz
방전 개시 전압	3~4kV

3.1 시뮬레이션 파형

그림 8은 공진에 의해 점등이 되지 않았을 시 주파수 sweep을 반복하는 시뮬레이션 파형으로 램프에 인가되는 방전 개시 전압이다. 비록 고전압이 인가가 되었으나 램프 전압 검출회로에 의해 램프가 점등이 안된 것으로 판단되어 재점등에 들어가게 된다.

그림 9 (a)는 공진 점등후 정상상태 램프 전압 파형이고, 그림 9 (b)는 램프 전류 파형이다. 램프 전압 검출회로에 의해 램프가 점등이 된 것으로 판단되어 정

상상태 운전이 하게 된다. 만약 램프가 꺼져 있다고 판단이 되면 다시 재점등에 들어가게 된다.

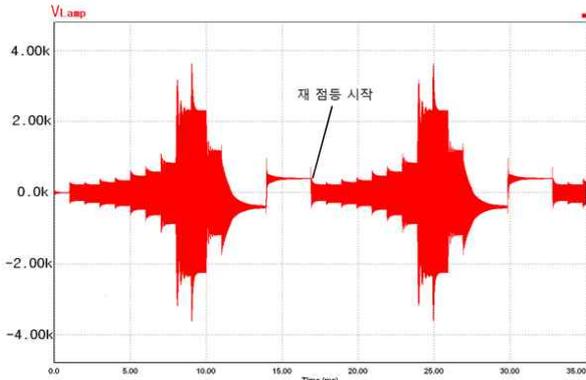


그림 8. 재 점등시 램프 전압 파형
Fig. 8. Waveform of ramp voltage at reignition

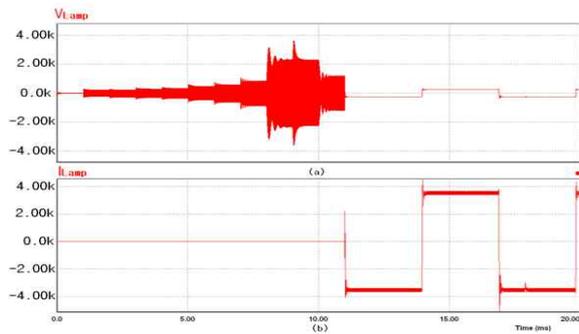


그림 9. 점등 후 정상 상태 전압 전류 파형
(a) 램프 전압 파형, (b) 램프 전류 파형
Fig. 9. Waveform of voltage, current in steady state after ignition

3.2 실험파형

그림 10은 공진 기동시 램프의 방전 개시 전압으로 써 램프가 점등되지 않으면 주파수 sweep을 반복하여 재점등하는 파형을 나타낸다. 그림 10은 시뮬레이션 파형과 같이 공진에 의한 HID램프의 점등 전압의 실제 실험 파형이다. 그림 10의 첫 번째 파형은 램프 전압 파형이고, 두 번째 파형은 스위치 Q₁의 주파수 sweep 게이트 파형이다. 첫 번째 파형에서 알 수 있듯이 주파수 sweep에 따라 공진점에 도달할수록 램프 양단에 인가되는 방전 개시 전압은 약 3000V로 증가

됨을 확인하였다. 또한 AD컨버터로 한주기 동안의 램프전압을 검출 받아 점등여부를 판단하여 램프가 점등이 안되고 있다고 판단이 되어 다시 램프를 재 점등하는 파형이다.

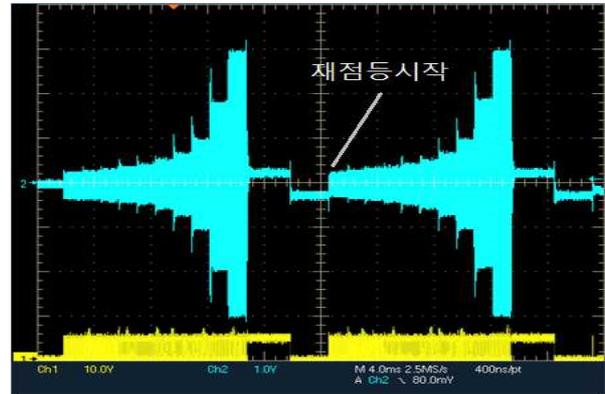


그림 10. 재 점등시 램프 전압 파형
(a) Ch2: 램프 전압 파형(1000V/div),
(b) Ch1: 게이트 파형(5V/div)
Fig. 10. Waveform of lamp voltage at reignition

그림 11은 공진 기동 후 램프가 턴온되어 정상상태에서의 실험 파형이다. AD컨버터로 한주기 동안의 램프전압을 검출 받아 점등여부를 판단하여 램프가 점등이 되어 있다고 판단이 되어 정상상태 운전 모드로 동작을 한다.

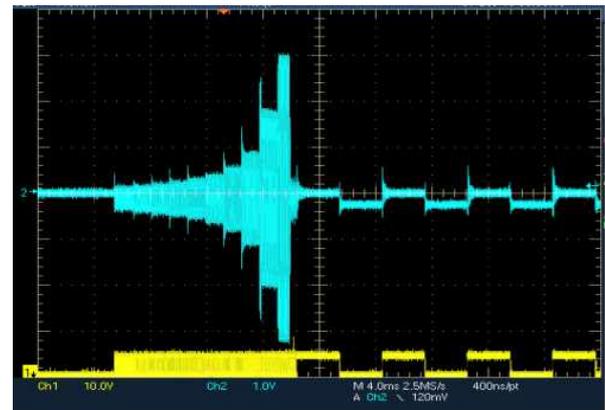


그림 11. 램프 점등 및 정상상태 실험 파형
(a) Ch2 : 램프 전압 파형(1000V/div),
(b) Ch1 : 게이트 파형(5V/div)
Fig. 11. Experimental waveform of lamp voltage at reignition

그림 12는 공진 기동후 정상 상태시 램프 전압, 전류 파형이다. 램프 전류는 약 1.2A이며 램프 전압은 130V이며 약 150W를 보여준다. 기본주파수는 170Hz로 저주파 구동을 하고 있음을 보여준다. 저주파 절체시 스파이크 전압과 전류가 발생됨을 알 수가 있다.

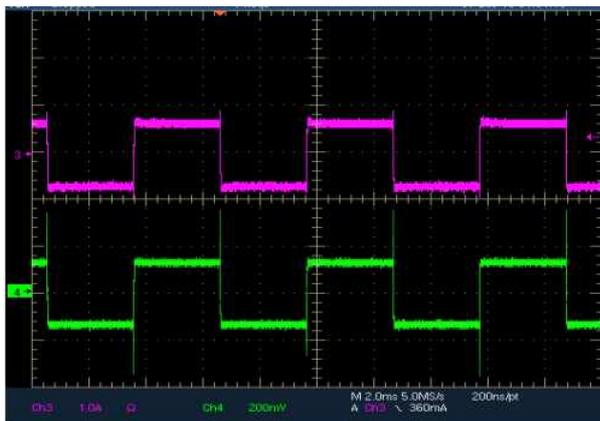


그림 12. 정상 상태시 램프 전압 전류 파형
(a) Ch3 : 램프 전류 파형(2A/div),
(b) Ch4 : 램프전압 파형(200V/div)

Fig. 12. Experimental waveform of lamp voltage at reignition

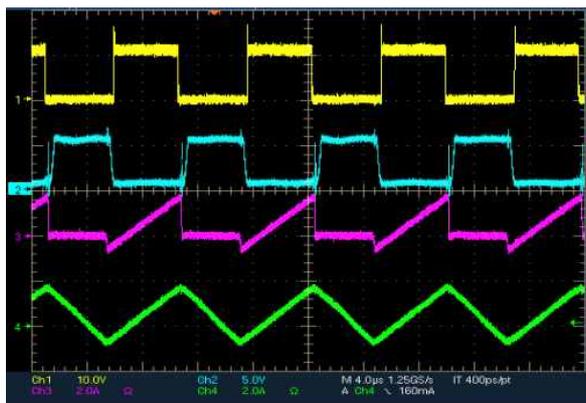


그림 13. 영전압 스위칭 파형
(Ch1 : 게이트 파형(10V/div), Ch2 : FET 양단전압 : VDS(5V/div), Ch3 : FET 전류 파형(2A/div), Ch4 : 인덕터 L_I 전류(2A/div)

Fig. 13. Switching waveforms of zero voltage

그림 13은 정상상태 운전 시 고주파 스위칭 하는 Q_3 에 대한 실험 파형이다. Ch1은 Q_3 게이트 파형으로 70~100kHz로 동작한다. Ch2는 V_{ZCD} (Zero Current

Detect) 파형으로 스위치의 다이오드가 턴온되면(약 0.7V) 하강 엣지를 검출하여 스위치를 턴온시킨다. Ch3과 Ch4는 각각 스위치 전류, 인덕터 전류 파형으로 스위치 전류가 전류 지령치보다 크게 될 경우 스위치를 턴오프하게 된다. 이 경우 인덕터 전류는 freewheeling하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 메탈할라이드 램프용 전자식 안정기의 음향 공명 현상을 개선하기 위하여 음향 공명 주파수의 영향이 없는 저주파에서 안정기를 구동하여 안정기가 안정적으로 동작하도록 하였다.

안정기의 점등은 안정기의 내부 캐패시터와 인덕터를 이용한 LC공진 점등을 제안하여 별도의 외부 점화기가 필요치 않게 되었으며, 이를 150W HID램프를 사용하여 고전압 발생을 확인하였다.

또한 마이크로컨트롤러의 AD 컨버터로 램프 on/off를 판단하여 램프가 점등되지 않거나 소등되면, 재점등 하도록 하였으며, 정상상태에서는 저주파수 구형파로 동작하며 스위치 드레인-소스 전압이 약 0V가 되는 순간 스위치를 턴온시키는 소프트 스위칭을 함으로써 스위치의 손실을 줄이는 안정기를 구현하였다.

안정기가 풀브리지 인버터로 정상상태 동작하는 동안 저주파 스위치 절체 시 스파이크 전류가 발생하게 되는데, 이를 감소시키기 위한 추가의 연구를 진행 할 것이다.

References

- [1] M. Ponce, A. Lbpez, J. Correa, J. Arau, J.M. Alonso, "Electronic Ballast for HID Lamps with High Frequency Square Waveform to Avoid Acoustic Resonances", Applied Power Elec, Conf, APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE, Vol.2, pp.658-663, 2001.
- [2] D.H.J. van Casteren, M.A.M. Hendrix, "Improved current control for HID lamp drivers", IEEE IAS Annual Meeting, Vol.2, pp.1182-1187, Oct. 2005.
- [3] Miaosen Shen, Zhaoming Qian, Fang Zheng Peng, "Design of a Two-Stage Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE Transactions on Industry Applications, Volume.39, pp.424-430, Apr.2003.
- [4] C-Y Park, K-N Kim, "Ignition Characteristics Analysis

According to the Cable Length Between the Ignition and Lamp”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No. 6, pp. 24-30 June 2009.

[5] Masato H. Ohsato, Masataka Ohsawa, Gunji Kimura, “Characteristics of Single-Ended Resonant-Type Inverter for HID Lamps”, IEEE International Conference on Power System Tech, vol.3, pp.1665-1668, 2000.

[6] Tsong-Juu Liang, Wen-Bin Shyu, Chun-An Cheng, Chia-Ming Chuang, Jiann-Fuh Chen, “Investigation on Transient and Steady -State Characteristics with Electronic Ballast of Automotive HID Lamps”, Power Electronics Specialists Conf, pesc 02., IEEE 33rd Annual, Volume:4, pp.1651-1655, 2002.

[7] Zhuang Zuo, Dianguo Xu, Xiangjun Zhang, Hankui Liu, “Design of a Novel Low-Frequency Square-Wave Digital Electronic Ballast for HID Lamps”, IEEE Power Electronics Specialists Conf, PESC 2007, pp.3112-3116, June. 2007.

[8] B-J Lee, K-N Kim, C-Y Park. “Protection Circuit Design of Electronic Ballast for MHD Lamps”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 22, No. 6, pp. 1-6 June 2008.

[9] T-W Um, Y-H Kim, “Design of an Automotive HID Ballast using Variable Frequency Switching Flyback Converter”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 22, No. 4, pp. 166-171 April 2008.

[10] Mark W. Fellows, “A study of the high intensity discharge lamp -electronic ballast interface”, IEEE IAS Annual Meeting, Industry Applications Conf, Vol.2, pp.1043-1048, Oct. 2003.

◇ 저자소개 ◇



이우철 (李雨哲)

1964년 3월 24일생. 1987년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1989년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업. 1988~1998년 효성중공업 기술연구소 책임연구원. 1995~2001년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2007~2009년 Virginia

Polytechnic Institute and State University USA Visiting Professor. 현재 한경대학교 전기공학과 부교수. 2011년~현재 전력전자학회 학술위원. 2012년~현재 대한전기학회 편집위원.