

변압기를 이용한 외장형 HID 램프용 공진형 이그니터

(External Resonant Ignitor for HID Lamps by Using the Transformer)

이우철*

(Woo-Cheol Lee)

Abstract

The electronic ballast for HID lamps needs high ignition voltage which is consisted of high voltage pulse ignitor. However, In the case of street lamp it is far from a lamp to a ballast, the conventional pulsed high voltage ignitor can not turn on the HID lamps because of reduction of ignition voltage. Therefore, it needs to do the research on a resonant ignition to turn on the HID lamps. However, the resonant circuit which is consisted of LC occurs over current, so the capacity of the ignitor increases. The capacity of the ignitor can be reduced by using the transformer. In this case, the capacitor for resonance is installed to the secondary of the transformer, and the capacitor needs high withstanding voltage. Therefore, it needs to do the research on a resonant ignition to reduce the voltage over the resonant capacitor by dividing the secondary of the transformer.

Key Words : HID(High Intensity Discharge), Resonant Ignition, Transformer

1. 서 론

HID(high intensity discharge) 램프는 고휘도 방전 램프라고 하며 각종 가스 중의 방전에 의한 발광 원리를 이용한 램프로 수은램프, 나트륨램프, 메탈헬라이드램프 등이 있다. 특징으로는 고 휘도, 고 효율, 장 수

명, 소형화 등의 많은 장점을 가지고 있어 여러 분야에 사용된다. 최근에는 LED조명이 더 많은 주목을 받고 있지만 아직까지는 HID 램프의 좋은 연색성과 긴 수명 때문에 백화점 및 대형매장에서 전시용 조명등으로 사용되어지고 있으며, HID 램프를 구동하기 위해서는 램프 동작 특성에 맞는 안정기가 필요하게 된다 [1-2]. 안정기는 크게 자기식(Magnetic)과 전자식(Electronic)으로 나누어지는데, 과거에는 주로 마그네틱 안정기가 이용되었지만, 현재에는 안정기의 크기, 효율 및 램프 구동 성능을 고려하여 전자식 안정기의 수요가 늘어나는 추세이다. HID 램프는 초기 동작을 위한 점등(ignition)에는 수 kV(1~5kV)의 높은 점등용 전압이 필요하며, 점등 방법에는 두 가지 방법이 존재한다. 첫 번째 방법은 외부 점화기의 펄스를 이용하

* 주저자 : 환경대학교 전기전자 제어공학과
IT 융합연구소
* Main author : Hankyong National University Dept.
of Electrical Electronic & Control
Engineering Professor, Institute for
information technology convergence
Tel : 031-670-5323, Fax : 031-670-5329
E-mail : woocheol@hknu.ac.kr
접수일자 : 2014년 8월 20일
1차심사 : 2014년 8월 22일
심사완료 : 2014년 10월 6일

여 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 전이가 필요하다[3]. 특히 가로등용 HID 램프인 경우 기동 거리가 길어지게 되어 선 길이에 따른 감쇄 현상으로 펄스형 이그니터는 기동이 원활치 않게 된다. 따라서 이를 해결하기 위한 대책으로 공진형 이그니션 회로를 이용하여 점등 시 고전압을 발생시킬 수 방법이 제시된다.

본 연구에서는 이그니터 회로의 공진부분을 외장형으로 하여 이그니터부의 과전류를 개선하고 공진용 커패시터의 과전압을 줄일 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 HID 전자식 안정기

그림 1은 공진 기동 외장형 2단 구성의 전자식 안정기를 보여준다[4-5]. 1단은 PFC(Power Factor Correction)부로 구성되어 일정전압의 DC 전압을 얻게 되고, 전원 측 역률 및 고조파를 제어하게 된다. 2단은 풀 브릿지 인버터로 구성하여 스위치 Q1, Q2는 고주파로 구동을 하며, Q3, Q4는 저주파로 구동을 한다. 공진 기동 회로를 내장을 하게 되면 기동 시 뿐만 아니라 정상 상태 시에도 계속 공진 탱크 회로로 전류가 흐르게 되어 효율 저하의 원인이 되며, 극성 변환 시 과도 전류가 발생하게 되는 문제점이 발생된다[6]. 따라서 외장형 공진기동부에 대한 연구가 필요하게 된다.

그림 2는 공진 기동후 정상 상태에서 게이트 파형을 보여준다. 스위치 Q3과 Q4가 저주파 구동을 하여 스위칭 손실이 현저히 줄어들게 되며 Q1과 Q2는 CRM(Critical Conduction Mode or Boundary Conduction Mode) 구동 방식으로 턴 온 손실을 줄일 수 있다.

CRM 모드인 경우 CCM(Continuous Conduction Mode) 모드와는 달리 스위치에 흐르는 전류가 0일 때 스위치를 턴 온하게 되기 때문에 턴 온 시에 스위칭 손실은 현저하게 줄일 수가 있다[7].

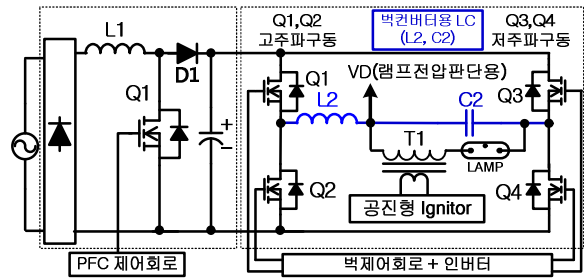


그림 1. 공진 기동형 외장형 HID 전자식 안정기
Fig. 1. External HID electronic ballast for resonant ignition

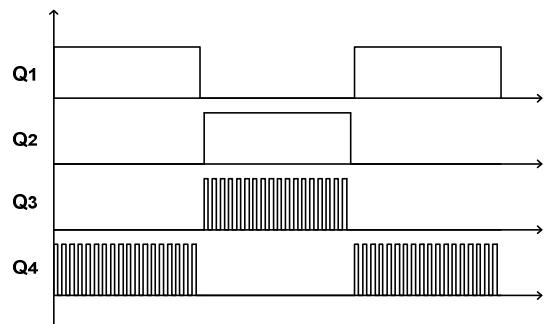


그림 2. 점등후 정상 상태시 게이트 파형
Fig. 2. Gate waveform of steady state after ignition

2.2 기존의 회로

HID 램프를 점등하기 위해서는 램프에 인가되는 전압이 2kV이상의 전압이 필요하다. 따라서 정상상태에서는 입력부인 PFC(Power Factor Correction)에서는 출력전압을 400V로 승압하여 제어를 하고, 점등 시는 보다 높은 출력 전압을 얻기 위하여 500V로 승압을 하여 HID 램프용 인버터에 전압을 공급하게 된다. 공진을 위한 외장형 하프 브릿지 인버터는 PFC 출력전압을 입력으로 하여, L-C공진을 통해 전압을 2kV까지 높여 램프를 점등하게 된다. 그림 1에서 공진용 L, C 값은 L_r , C_r 이며 C_o 는 선 길이에 따른 기생 커패시

터 성분을 나타낸다.

그림 3처럼 회로를 구성하게 되면 램프 측에 필요한 고 전압을 만들 수는 있지만 인버터 측에 전류가 많이 흐르게 된다. 공진 주파수에서의 시뮬레이션 파형을 그림 4에 나타내었다.

시뮬레이션 상의 파라미터 값은 실제 사용하고자 하는 값을 사용하였다. 이때 L_r 값은 $8.9\mu\text{H}$, C_r 값은 123nF 이고, 공진 주파수는 약 150kHz 이다. 시뮬레이션 파형에서 $Q1$ 은 게이트 파형, V_o 는 램프 측 출력전압, $I(L_r)$ 은 L_r 의 전류를 나타낸다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

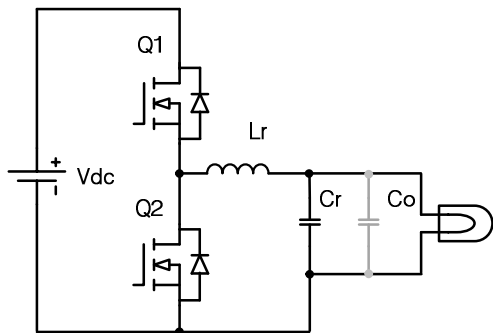


그림 3. L-C 공진을 이용한 회로
Fig. 3. L-C resonant circuit

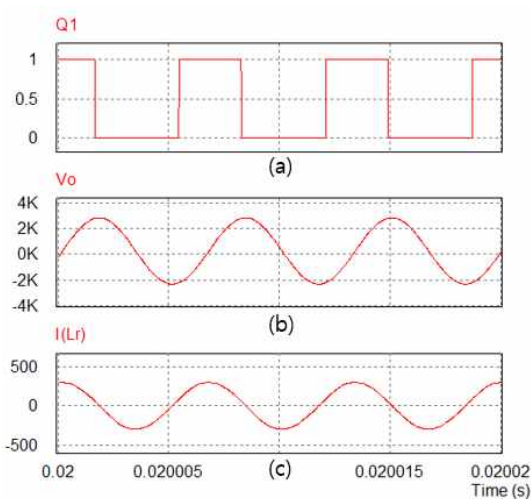


그림 4. 그림 3의 시뮬레이션 파형
(a) Q1 게이트 파형 (b) 출력전압 (c) L_r 전류
Fig. 4. Simulation waveform of Fig. 3

L-C 필터만을 사용하여 공진하면 원하는 전압을 얻을 수 있지만 공진용 이그니터 쪽 인버터 전류가 많이 흐르게 되고 따라서 그림 5와 같이 변압기를 사용하고 2차 측에 공진 커패시터를 달아 공진함으로써 2차 측에 높은 전압을 만들어 내고 인버터 측의 전류는 감소를 시킬 수 있다. 이 경우 변압기 2차 측의 공진용 커패시터는 변압기가 없을 경우에 비해 변압기 턴수비($n=N_2/N_1$)의 제곱에 반비례하기 때문에 훨씬 작은 용량의 커패시터만으로도 변압기가 없을 경우와 마찬가지로 공진 조건을 만족시킬 수 있다. 이때 공진 전압이 2차 측에 설치된 커패시터에 걸린다고 해도 2차 측에는 훨씬 적은 전류가 흐르게 된다. 비록 1차 측 전류는 2차 측 전류의 턴수 비에 의해 커지게 되나 커패시터 값이 턴수 비에 제곱에 반비례하여 작아지기 때문에 1차 측 전류는 변압기가 없을 때 보다 줄어 들게 된다. 커패시터 $C1$ 은 DC 차단용 커패시터로 공진 커패시터에 비해 큰 값으로 설계가 되어 있어 공진에 영향을 주지는 않는다.

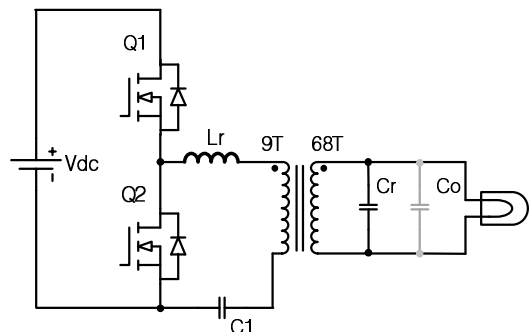


그림 5. 변압기를 추가한 회로
Fig. 5. Circuit with transformer

그림 6은 그림 5의 회로를 공진주파수에서의 시뮬레이션을 하여 나타내었다. 인버터에 흐르는 전류 $I(C1)$ 의 크기가 작아진 것을 확인할 수 있다. C_r 값은 2.2nF 이고 이는 그림 3에서의 C_r 값(123nF)을 턴수 비로 환산한 값과 동일하다. 따라서 공진 주파수는 그림 3과 거의 동일한 153kHz 로 스위칭하였다. 변압기를 사용하지 않은 그림 3의 공진 주파수와 약간 차이가 나는 이유는 변압기 파라미터 값에 기인하다.

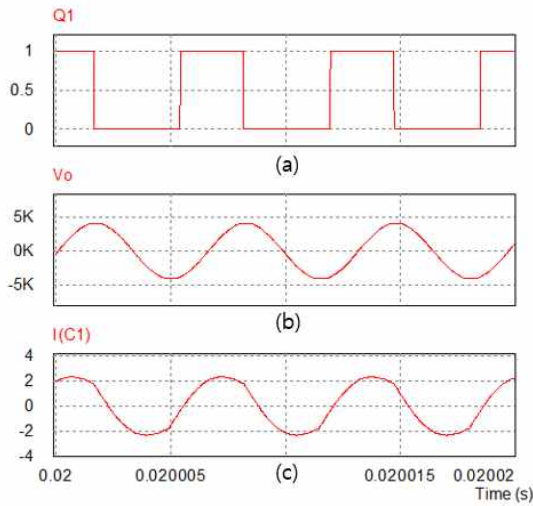


그림 6. 그림 5 시뮬레이션 파형
 (a) Q1 게이트 파형 (b) 출력전압 (c) Lr 전류
 Fig. 6. Simulation waveform of Fig. 5

2.3 인버터 동작 및 변압기 모델링

회로의 공진 기동형 인버터는 PWM 하프 브릿지 인버터로 구성하였다. C1을 통해 직류전압을 제거하여 Lr과 변압기와 Cr로 구성된 공진 회로에 $1/2V_{dc} \sim -1/2V_{dc}$ 의 전압레벨을 갖는 구형파가 인가된다. 공진 시 변압기 1차 측에 걸리는 전압은 정현파가 된다. 변압기 모델링은 그림 7과 같다. 1, 2차측 누설 인덕턴스는 L_p , L_s 이며 L_m 은 자화 인덕턴스 값을 나타낸다.

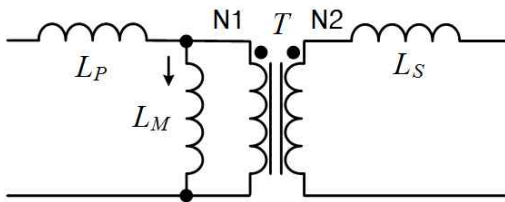


그림 7. 변압기 모델링
 Fig. 7. Transformer modelling

그림 8은 변압기 파라미터 측정 방법을 보여준다. 변압기의 1차 측, 2차 측을 각각 open, short한 후 측정을 하여, 4개의 측정값을 얻을 수 있다. 여기서 L_{2s} , L_{2o} 는 변압기 2차 측을 short, open 했을 때 변압기 1차 측에서 측정된 인덕턴스 값이며, L_{1s} , L_{1o} 변압

기 1차 측을 short, open했을 때 변압기 2차 측에서 측정된 인덕턴스 값을 나타낸다. 이 측정값들은 식 (2)~(5)처럼 각각의 방정식으로 표현될 수 있다.

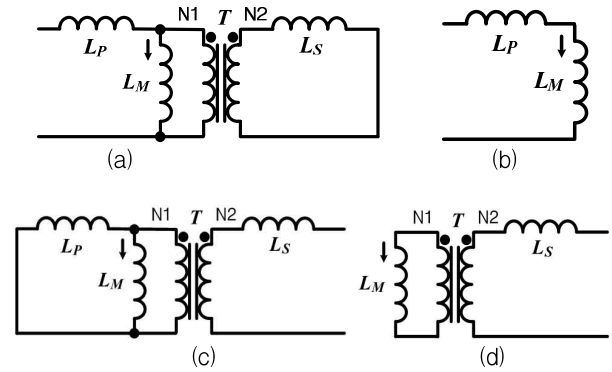


그림 8. 변압기 파라미터 측정 방법
 (a) 2차 측 단락, 1차 측 측정
 (b) 2차 측 개방, 1차 측 측정
 (c) 1차 측 단락, 2차 측 측정
 (d) 1차 측 개방, 2차 측 측정
 Fig. 8. Measurement method of transformer parameters

$$L_{2s} = L_p + L_m / \left\{ \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \times L_s \right\} \quad (2)$$

$$L_{2o} = L_p + L_m \quad (3)$$

$$L_{1s} = \left\{ L_p // L_m \right\} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + L_s \quad (4)$$

$$L_{1o} = L_m \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + L_s \quad (5)$$

식 (2)~(5)를 연립하여 풀어내면 식 (6)~(8)처럼 L_m , L_p , L_s 의 값을 계산할 수 있다.

$$L_m = \frac{N_1}{N_2} \sqrt{L_{2o}(L_{1o} - L_{1s})} \quad (6)$$

$$L_p = L_{2o} - L_m \quad (7)$$

$$L_s = L_{1o} - \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 L_m \quad (8)$$

2.4 공진 회로

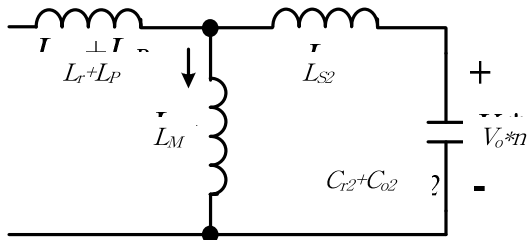


그림 9. 공진형 이그니터 회로의 등가 회로
Fig. 9. Equivalent circuit of resonant ignitor circuit

그림 9는 공진형 이그니터의 등가 회로를 보여준다. C1은 인버터의 직류제거를 위해 사용되어, 공진주파수에 영향을 미치지 않는다. 공진을 일으키는 부분은 그림 4에서 Lr, Cr, Co와 그림 7에서 Lp, Lm, Ls가 되며 이 파라미터들은 그림 9와 같이 등가화할 수 있다. 여기서 Ls2는 Ls를 1차 측으로 등가화한 값이고 Cr2는 Cr을 1차 측으로 등가화한 값이고, Co2는 Co를 1차 측으로 등가화한 값이 된다. 그림 9에서 공진 주파수는 다음과 같이 유도가 된다.

$$Ls2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Ls, \quad Cr2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 Cr \tag{9}$$

$$Co2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 Co, \quad Ceq = Cr2 + Co2 \tag{10}$$

$$Leq = (Lr + Lp) // Lm + Ls2 \tag{11}$$

$$fo = \frac{1}{2\pi \sqrt{Leq \times Ceq}} \tag{12}$$

2.5 제안된 변압기 2차 측을 분리한 회로

그림 5에서 변압기를 추가하여 인버터 측에 흐르는 전류를 줄일 수가 있었으나 공진용 커패시터가 변압기 2차 측에 연결이 되어 램프에 인가되는 공진전압을 다 감당하게 되어 있어 고전압의 커패시터가 필요하게 되는 문제가 발생된다[8]. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 그림 10에 새로운 공진형 이그니션 회로도

가 제안된다. 변압기 2차 측에 탭을 내어서 9 : 68 턴인 기존의 변압기를 9 : (34+34) 턴으로 2차 측을 나누고 그중 34턴에만 공진 커패시터 Cr을 추가하여 구성하게 된다. 목적은 램프 점등 시에 필요한 2kV 이상의 높은 전압이 Cr에 그대로 인가되기 때문에 Cr의 사양이 높아지게 되는데 이를 낮추기 위한 것이고, 변압기 턴수 비에 비례하게 전압이 1차 측에서 2차 측으로 넘어가기 때문에 2차 측 턴 수의 절반에 Cr을 설치하여 Cr에 걸리는 전압을 절반으로 줄이기 위함이다. 이렇게 구성할 경우 턴수 비가 절반으로 줄어들게 되어 Cr의 전압이 절반으로 줄어들 수 있게 된다.

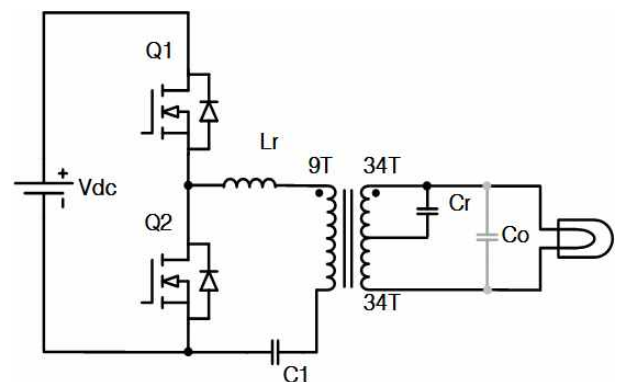


그림 10. 변압기 탭을 낸 공진형 이그니터 회로도
Fig. 10. circuit diagram of the resonant issued a tap of the transformer

먼저 그림 11에서 기생 커패시터인 Co부분을 제외한 등가회로를 나타내었다. Co를 제외하게 되면 9 : 34 턴 비인 변압기로 생각할 수 있는데, Ls2, Cr2 값은 각각 Ls와 Cr을 1차 측으로 등가화한 값이다. 기존의 변압기와 턴수 비만 다른 변압기로 생각할 수 있고 Ls값만 기존 값의 절반으로 떨어지게 된다. 이 경우 턴수가 절반으로 감소하여 Cr값을 증가하여 Cr2로 변환시 값이 1/4배가 되어 공진 주파수가 2배로 증가하게 된다.

그림 12는 기생커패시터 Co를 포함한 등가회로이다. Co를 1차 측으로 등가화해서 Co2로 나타내었고 공진 커패시터 Cr를 변압기 2차 측 중간에 달아주었기 때문에 등가 변환된 Cr2를 그림과 같이 연결하였고, Ls2는 턴수 비가 절반이 되어 그림 11의 값과 같게

변압기를 이용한 외장형 HID 램프용 공진형 이그니터

되고, L_m 값은 절반으로 나누어 구성하였다.

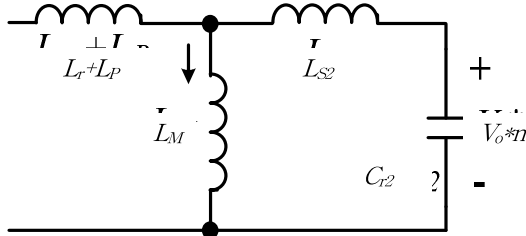


그림 11. Co 제외한 등가회로
Fig. 11. Equivalent circuit without Co

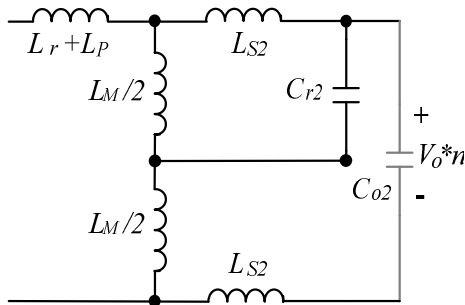


그림 12. Co 포함한 등가회로
Fig. 12. Equivalent circuit with Co

그림 12의 파라미터 값들은 C_r 은 9:34인 턴수비를 적용하여 식 (15)와 같이 계산하였다. C_o 값은 9:68턴인 턴수비를 적용하여 식 (16)과 같이 계산하였다. 회로가 7차 방정식으로 표기가 되어 그림 9와 식 (14)와 같은 등가회로로 표현한 공진점 계산이 어렵기 때문에 전달함수를 구하여 계산하였다. 또한 L_{s2} 부분이 포함되는 경우 계산이 복잡하게 되어 L_{s2} 를 제외하여 근사적으로 계산하였다. 전달함수 식 (15)를 MATLAB을 이용한 보드선도를 통해 공진주파수를 구할수 있다.

$$C_{r2} = \left(\frac{N_2/2}{N_1} \right)^2 C_r \quad (13)$$

$$C_{o2} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 C_o \quad (14)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{L_m^2 C_r s^2 + 4L_m}{4L_m^2 L_p C_r C_o s^4 + (L_m^2 C_r + 4L_m L_p C_o + 2L_m L_p C_r) s^2 + 4L_p} \quad (15)$$

3. 실험 결과

그림 13과 그림 14는 제작된 하브 브릿지 인버터와 제어기를 보여준다. 제어기로는 DSP TMS320F28335를 사용하여 구현하였다.

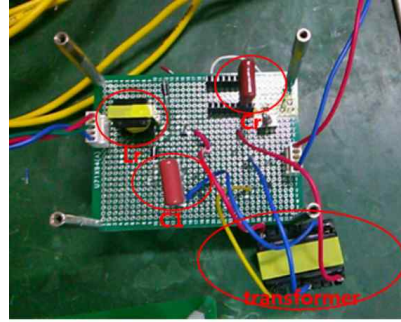


그림 13. 공진 회로부
Fig. 13. Resonant circuit

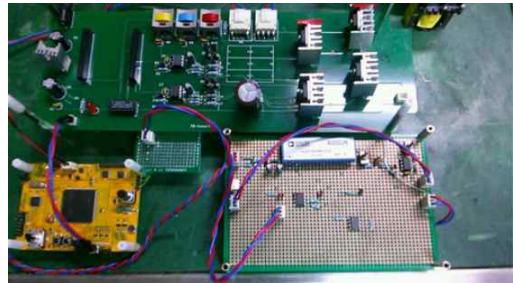


그림 14. 하브 브릿지 인버터와 제어기
Fig. 14. Half bridge inverter and controller

3.1 9:68턴 변압기를 사용한 실험

표 1은 제작한 변압기의 파라미터 값과 이를 이용한 공진 주파수 계산식 (14)와 실험을 통해 측정된 공진 주파수를 나타냈다. 실험값과 시뮬레이션 값이 차이가 생기는 이유는 보유한 RLC meter의 측정 최대 주파수가 1kHz이기 때문에 주파수가 커질수록 오차가 발생하게 됨을 추정할 수 있다.

그림 15는 9 : 68턴의 변압기와 변압기 2차 측에 2.2nF의 공진용 커패시터(C_r)를 사용하였을 때의 실험파형이다. 이에 대한 회로는 그림 5에 나타나 있다. V_t 는 변압기 1차 측 전압을 나타내고, V_o 는 회로의 출

력부분 즉 램프단의 전압을 나타내고, $I(c1)$ 은 커패시터 C1의 전류 즉 인버터 전류를 나타낸다. 동작 주파수는 150kHz이며 이는 공진주파수로 가장 큰 전압이 발생된다.

표 1. 변압기 파라미터 값 (N1:N2=9:68)
Table 1. Transformers parameter values (N1:N2=9:68)

Lm	Lp	Ls	공진 주파수	
			계산치	실험
7.38 μ H	3.37 μ F	83.7 μ H	153kHz	150kHz

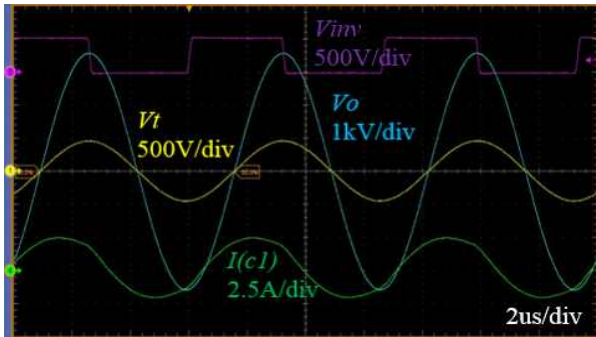


그림 15. (9:68)턴 변압기와 2차 측에 2.2nF의 커패시터와 출력 측에 기생 커패시터 없을 시 실험 파형

Fig. 15. Experimental waveform when the transformer of (9:68) turn and capacitor of 2.2nF and parasitic capacitor were not used

출력 전압 V_o 를 보게 되면 3.6kV의 최대값이 걸리는 것을 알 수 있으며, 이때 변압기 1차 측 전압 V_t 는 약 500V의 최대 값이 걸리는 것을 알 수가 있다. 또한 공진용 커패시터 C_r 에는 출력전압 3.6kV가 다 걸리는 것을 알 수가 있다. 또한 1차 측에 인버터에 흐르는 전류 $I(c1)$ 은 시뮬레이션 결과인 그림 6과 같이 약 2.5Apeak의 전류가 흐르는 것을 알 수가 있다.

3.2 9:(34+34)턴 변압기를 사용한 실험

표 2는 탭을 낸 9 : (34+34)턴 변압기 사용기 파라미

터 값을 보여준다. 여기서 L_{s2} 는 2차 측 누설 인덕턴스를 1차 측으로 환산한 값이다.

표 2. 변압기 파라미터 값 (N1:N2=9:34+34)
Table 2. Transformers parameter values (N1:N2=9:34+34)

Lm	Lp	Ls2	공진 주파수	
			계산치	실험
7.57 μ H	3.18 μ F	23 μ H	296kHz	285kHz

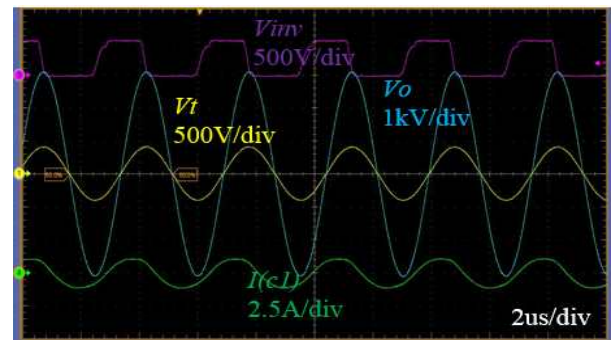


그림 16. (9:34+34)턴 변압기와 2차 측 일부에 2.2nF의 커패시터와 출력 측에 기생 커패시터 없을 시 실험 파형 I

Fig. 16. Experimental waveform when the transformer of (9:34+34) turn and capacitor of 2.2nF and parasitic capacitor were not used I

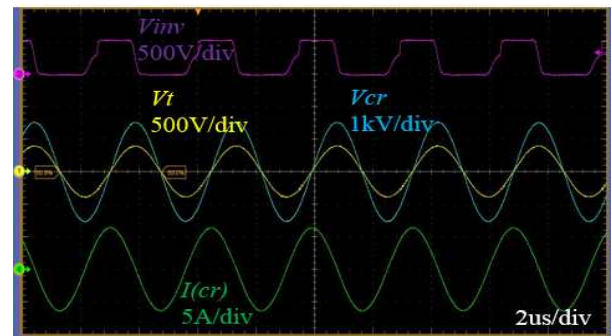


그림 17. (9:34+34)턴 변압기와 2차 측 일부에 2.2nF의 커패시터와 출력 측에 기생 커패시터 없을 시 실험 파형 II

Fig. 17. Experimental waveform when the transformer of (9:34+34) turn and capacitor of 2.2nF and parasitic capacitor were not used II

그림 16은 제안된 9 : (34+34)턴인 변압기의 2차 측의 일부인 34턴에 공진용 커패시터 Cr(2.2nF)를 설치했을 경우의 실험파형으로 그림 15와 같이 변압기 1차 측 전압(Vt), 출력 측 전압(Vo)은 유사하다.

그림 17은 그림 16과 같은 조건에서 측정된 파형으로 그림 16에 공진용 커패시터 (Cr)에 걸리는 전압 Vcr과 전류 I(cr) 파형이 추가되었다. 공진용 커패시터의 전압 Vcr은 출력전압 Vo의 절반이 걸리는 것을 알 수가 있다. 그러나 그림 15에 비하면 스위칭 주파수는 거의 2배가 되는 것을 알 수가 있다.

4. 결 론

HID(high intensity discharge) 램프는 고 휘도, 장 수명, 소형화 등의 많은 장점을 가지고 있어 여러 분야에 사용되고 있다. 그러나 다른 램프와는 달리 HID 램프는 기동 시 고압이 필요하게 된다. 종전에는 고압 펄스형 이그니터를 사용하였다. 그러나 가로동용 HID 램프인 경우 기동 거리가 길어지게 되어 선 길이에 따른 감쇄 현상으로 펄스 형 이그니터는 기동이 원활치 않게 된다. 따라서 이를 해결하기 위한 대책으로 공진형 이그니션 회로를 이용하여 점등 시 고전압을 발생시킬 수 방법이 제시되었다. 그러나 단순한 LC 필터를 이용한 공진회로는 공진용 이그니터 인버터부에 과전류가 발생하여 인버터부의 용량이 커져야 하는 단점이 있다. 따라서 변압기를 사용하여 인버터부의 전류 용량을 줄일 수 있는데, 이 경우 공진용 커패시터는 변압기 2차 측에 설치를 하게 되는데 그럴 경우 커패시터가 공진전압을 다 감당하게 되어 커패시터의 내압이 높아져야 해서 커패시터의 크기가 커지고 가격이 비싸지는 단점이 있다. 따라서 변압기의 2차 측 턴 수를 분배하여 2차 측의 일부에 커패시터를 설치하여 공진시킴으로써 램프에는 실제 출력전압이 다 걸리게 하고 공진용 커패시터에는 출력전압이 절반만 걸리게 하여 전압의 부담을 줄여 줄 수 있는 방법에 대해서 시뮬레이션 및 실험 결과로 타당성을 입증하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
[No.2013R1A1A2064271]

References

- [1] M. Ponce, A. Lopez, 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] 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.
- [4] M. Shen, Z. Qian and F. Z. Peng, "A novel two-stage acousticresonance free electronic ballast for HID lamps," Conf. Rec.IEEE-IAS Annu. Meeting, 2002, pp. 1869-1874.
- [5] T. J. Liang, C. M. Huang and J. F. Chen, "Two-stage High-Power-Factor Electronic Ballast for Metal-Halide Lamps," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 12, Dec. 2009, pp. 2959-2966.
- [6] W. C. Lee, "Transient Current Control of Two-Stage Electronics Ballast for HID Lamps", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 28, No. 1, pp. 1-8, Jan. 2014.
- [7] W. C. Lee, "Digital Control of Low-Frequency Square-Wave Two-Stage Electronic Ballast for HID Lamps with Resonant Ignition and High Efficiency", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, No. 2, pp. 1-8, Feb. 2013.
- [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.

◇ 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 전기전자제어공학과 교수. 2011년~현재 전력전자학회 학술위원.