

공진 점등 기능을 갖춘 HID 램프의 저주파수 구형과 2단 전자식 안정기의 디지털 제어

김형배*, 유창규**, 이우철*
한경대학교*, 인터파워**

Digital Control of low-frequency square-wave two-stage electronic ballast for HID Lamps with resonant ignition

Hyung-Bae Kim*, Chang-Gyu Yoo**, Woo-Cheol Lee*,
Hankyong National Univ*, Interpower**

ABSTRACT

본 논문은 공진 인버터를 적용한 HID램프를 구동하기 위한 전자식 안정기를 설계하고 구현하였다. 제안된 전자식 안정기는 스위치 턴온 오프시의 손실을 줄이기 위해서 소프트 스위칭 기법인 ZVS(Zero-Voltage Switching)을 도입하였다. 점등은 LC필터의 공진주파수범위에서 폴브리지 인버터 제어에 의한 공진으로 이루어진다. 점등후에 컨버터는 저주파수 구형파로 동작한다. 공진 기동시의 LC필터의 공진주파수는 ($f_0=160\text{kHz}$)이고, 고조파를 감소시키고 음향공진현상을 피하기 위한 벽컨버터 스위칭 주파수(고주파수: $50\sim 60\text{kHz}$ 와 저주파수: 170Hz)를 선택하였다. 실험을 통해 공진 인버터를 적용한 HID램프용 전자식 안정기가 안정적으로 동작함을 확인하였다.

1. 서론

HID 램프는 고효율, 긴 수명 및 우수한 색 재현성으로 인하여 여러 가지 용도로 이용되며, HID 램프를 구동하기 위해서는 램프 동작 특성에 맞는 안정기가 필요하다.

안정기는 크게 자기식(Magnetic)과 전자식(Electronic)으로 나뉘어진다. 과거에는 주로 자기식 안정기가 이용되었는데, 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 나뉘어진다.

3단 구성은 역률 보상 (Power Factor Correction)회로와 DC-DC 컨버터, DC-AC 인버터로 구성되며, 이를 위한 인버터로는 주로 풀브릿지(full-bridge) 회로가 사용된다. 2단 구성은 3단 구성에서 DC/DC 컨버터가 생략된 것이며, 인버터로는 풀브릿지 (full-bridge) 회로 또는 하프브릿지 (half-bridge) 회로가 사용된다.

이러한 2단 구성 안정기는 각각의 경우에 따라 또다시 고주파 전류 구동 방식과 저주파 전류 구동 방식으로 나뉘어진다. 고주파 전류 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.

본 논문은 2단 구성 안정기로서 내부 LC에 의한 공진을 이용하여 점화기의 동작을 연음으로써, 외부 점화기를 사용하지 않는 장점을 가진다.

램프 점등을 위한 공진회로와 음향공진현상을 피하기 위하여 저주파 전류 구동 방식을 채택하였으며, 마이크로프로세서를 이용하여 램프 점등에 필요한 고주파수 게이트 파형을 구현하였다.

2. 전자식 안정기 회로

2.1 회로의 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 폴브릿지 인버터의 기본회로이며, 스위치 $Q_1 \sim Q_4$ 는 MOSFET이 사용되었고 벽 컨버터의 소자로 사용되는 L_1 과 C_1 내부 점화기 L_2 공진 캐패시터 C_2 , C_3 및 램프 저항으로 구성되어 있다.

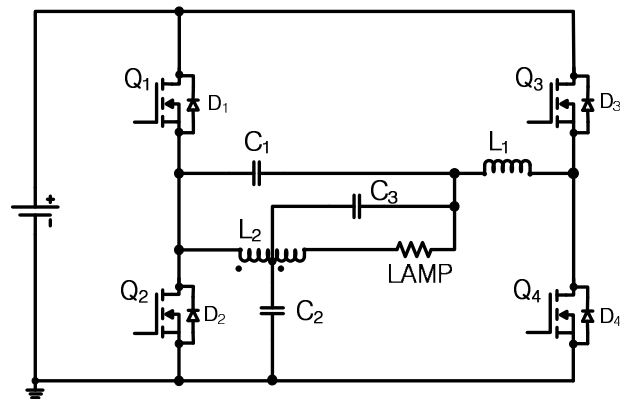


그림 1 제안된 폴브릿지 인버터
Fig. 1 Proposed full-bridge inverter

2.2 공진 점등

HID 램프의 점등 시 방전 개시전압은 고압 방전등 내부의 압력, 온도, 전극의 간격등에 따라 다르지만 통상 $1\text{kV}\sim 4\text{kV}$ 이다. 고압 방전등을 점등시키기 위한 고전압 발생회로는 변압기 L_2 의 1차측과 공진 캐패시터 C_2, C_3 로 램프 점등 전에 공진회로를 형성한다.

LC의 공진 주파수는 약 ($f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$)이며, 스위칭 주파수는 공진 주파수 f_0 로부터 비교적 먼 주파수 대역에서 스위칭하여 램프가 점등 전압에 도달할 때까지 공진 주파수 f_0 로 접근하며 감소하고, 램프가 점등 될 때까지 주파수의 sweep은 반복된다.

공진 기동시 스위치 $Q_1 \sim Q_4$ 는 HID 램프의 점등 전압을 얻기 위하여 공진 주파수 f_0 로 감소하며 고주파로 동작한다. 스위치 Q_1, Q_4 가 한 쌍으로 동작하며, 마찬가지로 스위치 Q_2, Q_3 가 한 쌍으로 동작한다. 스위치 Q_1 이 Trun on 되는 동안, 스위치 Q_4 는 Turn on, Q_2, Q_3 는 Turn off 되고, Q_2 와 Q_3 가 Turn on 되었을 동안에는 Q_1 과 Q_4 가 Turn off 된다.

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

2.3 정상상태 동작원리

공진 기동에 의하여 점등된 인버터는 음향 공명 현상을 막기 위하여 스위치 Q_1 과 Q_2 가 저주파 구동을 하며 Q_3 과 Q_4 는 고주파 구동한다. Q_1 이 Trun on 되는 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 구형과 안정기로 동작하게 된다.

3. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서는 PSIM 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 바탕으로 실제 실험 회로를 구현하여 공진에 의한 램프 점등 전압이 발생함을 확인하였다. 표1은 실제 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Value
입력전압	400V
인덕터(L_1)	200uH
캐패시터(C_1)	330nF

그림 2은 공진 기동 시 램프 점등 전압 시뮬레이션파형으로 공진 기동 이후 정상상태의 램프 전압을 센싱받아 램프가 점등되었는지 판단 후 램프가 점등될 때까지 재점등 구간을 나타내었다.

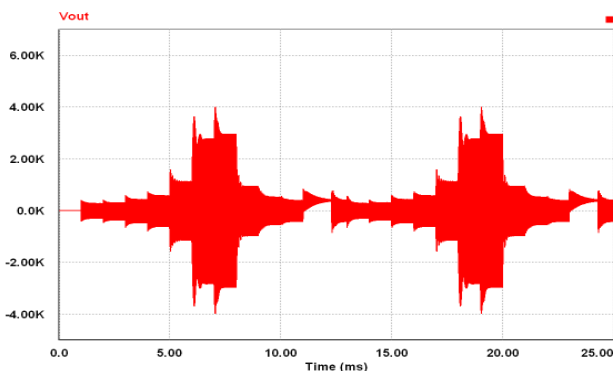


그림 2 시뮬레이션 파형
Fig. 2 simulation waveforms

그림 3은 정상상태 동안의 램프의 전압, 전류 시뮬레이션 파형이다.

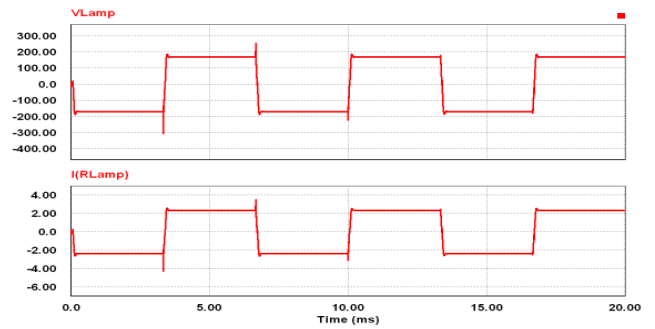


그림 3 시뮬레이션 파형
Fig. 3 simulation waveforms

그림 4은 공진 기동 시 실험 파형을 나타낸다. 위의 파형은 HID 램프를 점등시키기 위한 공진 기동 시 램프 전압이다. 스위칭 주파수가 공진 주파수 f_0 로 접근할수록 램프 점등 전압이 증가되는 것을 확인하였다.

아래의 파형은 공진 기동 시 MOSFET의 게이트 구동 파형이다. HID 램프 점등 전압에 도달하기까지 고주파로 스위칭함을 알 수 있다. 고전압이 발생된 이후에 MOSFET의 게이트 구동 파형이 저주파수로 교번하며 저주파수 구형과 안정기로 동작함을 확인하였다.

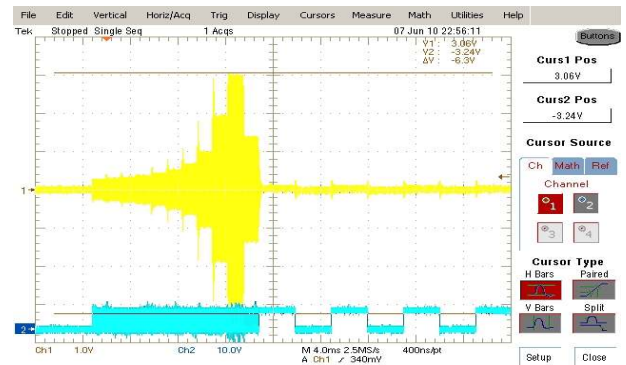


그림 4 실험 파형
Fig. 4 Experimental waveforms

4. 결론

본 논문에서는 저주파수 구형과 전자식 안정기의 내부 인덕터와 캐패시터를 이용한 LC공진 점등을 제안하였다. HID램프를 점등시키기 위한 고전압(3kV이상)의 발생을 시뮬레이션 및 실험 파형으로부터 확인하였고, 이후 ZVS 및 저주파 구동방식 안정기를 제작하여 실험을 진행할 것이다.

중소기업청의 산학연 공동기술개발지원사업 결과물임

참고 문헌

- [1] 이인규, "MHD 램프용 전자식 안정기의 분석과 설계", Seoul National University Library.
- [2] F. Javier Diaz, F. J. Azcondo, Ch. Brafias, R. Casanueva "Control of low-frequency square-wave electronic ballast with resonant ignition using a dsPIC30F2010"
- [3] Francisco J. Azcondo, F. Javier Diaz, Rosario Casanueva "Low-frequency square-wave electronic ballast with resonant ignition using digital mode and power control"