

HID 램프의 스파이크 전류를 제어하기 위한 새로운 2단 전자식 안정기의 디지털 제어.

정우진, 유창규*, 이우철
 한경대학교, *인터파워

Digital control of a novel two-stage electronic ballast for spike current control of HID lamps

Woo-Jin Jung, Chang-Gyu Yoo*, Woo-Cheol Lee
 Hankyong National Univ., *Interpower

ABSTRACT

본 논문에서는 고압 방전등을 위한 2단 저주파식 구형파 전자식 안정기를 제안한다. 안정기는 저주파수 구형파 전류를 램프에게 공급하기 위해 인버터와 PFC 단으로 이루어져 있다. 저주파수로 구동하기 때문에 음향 공진 현상은 발생하지 않는다. 그러나 저주파수 극성 반전시 스파이크 전류가 발생하게 되는데 램프전류에 더해져서 흐르기 때문에 램프의 정격 전력 특성에 나쁜 영향을 미치게 된다. 이에 대한 대책으로 새로운 제어 방식이 안정기를 제안하였다. 제안된 안정기는 HID 램프를 위해 150W의 프로토타입 안정기로부터 시뮬레이션 및 실험적인 결과들에 의해 검증하게 된다.

1. 서론

최근 할로겐 화합물을 첨가한 고압 수은 방전등인 메탈 할라이드 등이 우수한 연색성과 광효율로 각광을 받고 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고 그 전기적 점등 특성이 매우 복잡하다. 초기 점등을 위해서는 고압의 점화 펄스가 필요하다. 고압에 의한 전계에 의해 관 내부의 전자가 가속되고 충돌로 인해 이온화 되어 램프 양단의 절연이 파괴되어 점등이 된다. 램프는 점등 후, 저주파수로 동작하여 극성 변환시 스파이크 전류가 발생하게 된다. 스파이크 전류 발생시 램프의 수명이 줄어드는 문제가 발생하게 된다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 마이크로 프로세서를 채용한 150W HID lamp 디지털 안정기를 설계, 제작한다. 디지털 안정기는 PFC, Full-bridge LC 공진 인버터, 마이크로프로세서 및 회로구동용 Buck 전원부로 구성된다. LC 공진 인버터는 점화 고전압 발생을 수행하며 마이크로프로세서를 이용하여 출력제어를 하고, 램프 전류-전압을 검출하여 on, off를 감지한다. 스파이크 전류를 제어하기 위해 저주파수 데드타임을 조절하여 구형파 램프 전류의 포락 곡선 범위 안에 스파이크 전류를 유지한다.

제안된 스위칭 방식의 타당성을 검증하기 위해 먼저 시뮬레이션을 통하여 검증 후 실험으로 증명하려고 한다.

2. 제안된 안정기

제안된 안정기는 PFC단과 Full-Bridge Inverter, Buck Converter를 결합하였고, 게이트 구동은 마이크로 프로세서를 이용하여 발생시키고, 공진 후 램프의 전압을 검출 받아서 점등과 재점등 여부를 결정하였다. 그림 1에서 제안된 안정기를 보여준다. 초기 점등 고전압을 얻기 위해 풀 브릿지 스위치를 교번적으로 동작시켜 LC 공진 회로에 구형파를 인가한다.

3. 정상 상태 스파이크 전류 제어

회로에서 Q_1, Q_2 는 170Hz의 저주파 스위칭 Q_3, Q_4 는 50kHz의 고주파 스위칭을 한다. 기존 제어 방식의 동작 원리는 그림1에서와 같이

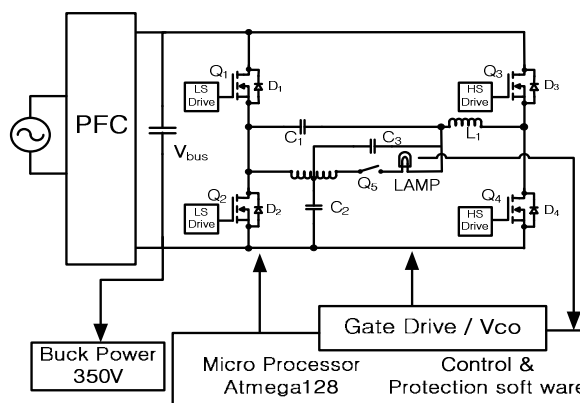


그림 1 제안된 안정기

첫 번째 저주파 반주기에서는 Q_1, Q_4 가 동작을 한다. Q_1 이 On상태를 유지하는 동안, Q_4 가 On상태에서는 $Q_1, C_1, Lamp, L_1, Q_4$ 를 통한 (전력 공급 모드)전류의 흐름을 보이고, Q_4 가 OFF 상태가 되면 L_1, Q_3 의 내부 다이오드 $D_3, Q_1, C_1, Lamp$ 를 통해 (환류 모드)전류가 흐른다.

그림 2(a)에서 첫 번째 구간이 끝나는 지점, $t=t_1$ 일 때, 모든 스위치가 OFF되는 '데드 타임'이 시작된다. 이 동작구간에는 Q_2 와 Q_3 의 내부 다이오드 D_2, D_3 과 벽 필터 소자 C_1, L_1 를 통해서 벽 필터 에너지 저장 소자에 저장된 에너지를 DC 전압원에 다음과 같이 환류 한다.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_{bus} - V_{\alpha}}{L} \quad (1)$$

데드 타임이 끝나는 $t=t_2$ 인 지점에서 Q_2, Q_3 이 동작하게 된다. 이 때 부하전류는 첫 번째 저주파 반주기에서와 반대 방향으로 흐르게 된다. $t=t_1$ 인 지점에서 Q_1/Q_2 Junction 전압이 HIGH에서 LOW로 급격히 변화하는 것을 볼 수 있다.(약 수백 nsec) 이 전압의 급격한 변화로 인해 점화 콘덴서 C_2 와 C_3 로 spike 전류가 흐르게 되고, 램프 전류와 같은 방향으로 증첩이 된다. 이 같은 이유로, 저주파 구형파 램프 전류의 전류 포락범위보다 더 높은 범위를 갖게 된다. 이는 정격 전력으로 구동되어야 하는 램프 특성에 위배가 된다. 따라서 다음과 같은 새로운 제어 방식을 제안하였다.

제안된 제어 파형 그림2(b)에서 동작 원리는 $t=t_0$ 에서 Q_1, Q_4 는 ON 상태이고, Q_2, Q_3 는 OFF상태이다. Q_1 이 On상태를 유지하는 첫 번째 반주기 동안, 인덕터 전류 $I(L_1)$ 이 피크치에 도달하게 되는 지점에서 Q_4 를 OFF시키고, Q_1 은 계속 ON상태를 유지한다. t 가 t_1 에 도달할 때까지 벽 필터 C_1, L_1 와 램프와 Q_1, Q_3 의 내부 다이오드 D_3 을 통해서 환류 전류가 흐르기 시작한다. $t=t_1$ 일 때, $I(L_1)$ 의 전류는 환류가 끝나고 Q_1 은 OFF한다. 그리고 Q_1/Q_2 Junction 전압은 데드타임 구간에서 서서히 감소하다가 t_2 에서 HIGH에서 LOW로 바뀌고, 램프와 점화 콘덴서

C₂와 C₃를 통해서 spike 전류가 흐른다. 이 때 spike의 피크는 저주파 램프전류의 포락 범위 안에 존재하게 되어 램프 구동에 영향을 미치지 못한다.

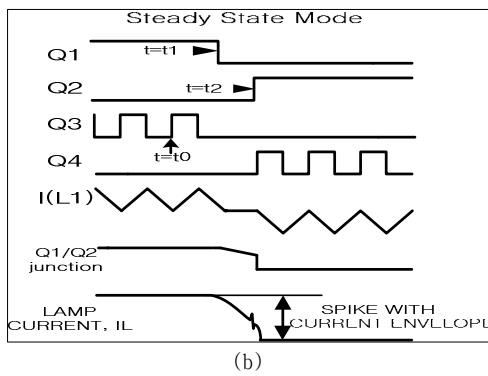
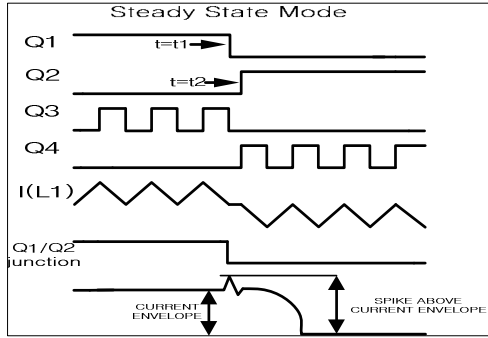


그림 2 제어 파형 (a) 기존 제어 파형 (b) 제안한 제어 파형

제안된 회로에서 영 전압 스위칭을 위하여 인덕터를 DCM에서 동작하게 하도록 하였다. 인덕터의 전류의 경계조건을 선정하기 위한 인덕터 전류의 최소값을 수하는 수식은 다음과 같다.

$$I_{Lmin} = I_{Lavg} - \frac{V_o \times (1 - D) \times T}{2L} \quad (2)$$

$$= I_{Lavg} - \frac{V_i \times D(1 - D) \times T}{2L}$$

수식 (1)에서 인덕터 전류의 최소값이 음의 구간이 나오도록 하면 DCM으로 동작하므로 이를 이용하여 인덕터를 설계하도록 하였다.

4. 시뮬레이션 및 결과 파형

표1은 시뮬레이션 사용된 각 파라미터 값으로 시뮬레이션을 구현하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Value
입력전압 (V_{in})	400V
출력전압 (V_{out})	200V
필터커패시터/인덕터 (C/L)	330nF/200uH

그림 3(a)에서 인덕터 전류가 제로에서 스위치를 Turn-on 함으로써 영 전압 스위칭을 하는 것을 볼 수 있고, 기존 제어 방식의 동작 파형에서 램프에 흐르는 전류가 포락 범위보다 더 높은 범위에 있는 것을 알 수 있다. 이 문제를 제안한 제어 방식으로 동작시키면 spike 전류가 제어된 것을 그림 3(b)에서 확인할 수 있다.

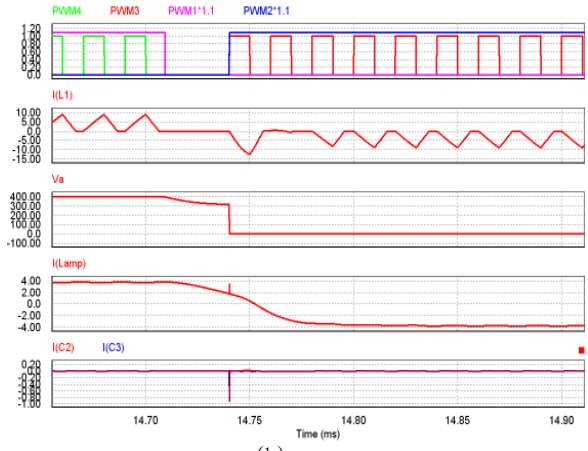
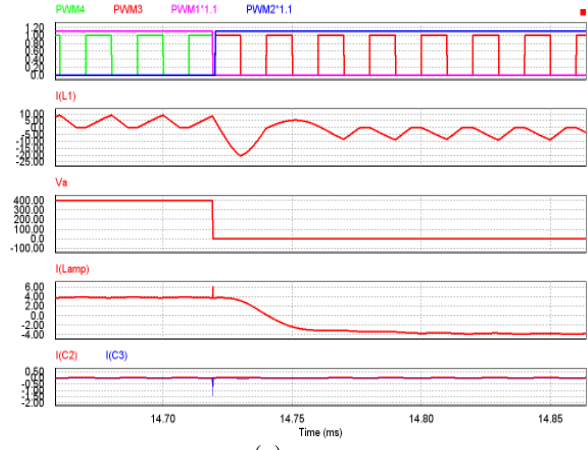


그림 3 시뮬레이션 제어 파형 (a) 기존 제어 파형 (b) 제안한 제어 파형

5. 결론

본 논문에서는 저주파 구동방식을 사용하였다. 제안한 디지털 안정기의 제어 방식은 시뮬레이션을 통해 정상 상태에서 저주파 구동과 램프의 극성 변화 시 나타나는 spike 전류를 램프 전류의 포락범위 안에 유지하였다. 현재 실험을 통하여 공진 기동까지 완료한 상태이고, 회로 설계를 최적화 하여 제안된 회로의 신뢰성을 입증하겠다.

중소기업청의 산학연 공동기술개발지원사업 결과를

참고 문헌

- [1] Byoung-Chol Cho, Sung-jin Moon, In-Kyu Lee and B.H.Cho, "A New HID Lamp Ballast using Internal LC Resonance and Coupled Inductor Filter", Proceedings ICPE'01, Seoul.
- [2] Azcondo, F.J.; Diaz, F.J.; Casanueva, R.; Branas, C.; Zane, R.; "Low-frequency square-wave electronic ballast with resonant ignition using digital mode and power control" Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. Apec '06.
- [3] Miaoshen Shen, Zhaoming Qian, Senior Member, IEEE, and Zheng Peng, Senior Member, IEEE, "Design of a Two-Stage Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast for HID Lamps", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.39, NO.2, MARCH / APRIL 2003