

순시 재 점등 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기

문성진, 조보형
서울대학교 전기공학부

Electronic Ballast for Metal Halide Lamps

Seong-jin Moon and B. H. Cho
Department of E.E , Seoul National University

ABSTRACT

New electronic ballast for metal halide lamps is proposed. New ballast has higher efficiency than that of conventional ballast. Proposed 2 stage ballast uses low arm switch as synchronous rectifier switch. Switch-on voltage drop is smaller than that of diode in small current(<1.5A). High arm switch is turned on in zero voltage in proposed ballast. So conduction loss and switching loss are reduced.

Index word - synchronous rectifier switch, zero voltage switching, conduction loss, switching loss

1. 서 론

메탈 할라이드 램프는 많은 광량과 좋은 연색성, 색 재현성으로 인해 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 그러나 점등 시에 높은 전압이 필요하고 과도상태와 정상상태의 기체 상태가 달라 안정기의 전자화가 어려웠다^[1]. 이에 본 논문에서는 실내 조명에 사용 가능한 70W MHD 램프를 위한 전자식 안정기를 제작, 연구하였다. 실내 조명용으로 사용하기 위해 순시 점등이 가능, 순시 재 점등이 가능한 새로운 회로를 제시하였다. 기존의 3단 회로는 설계가 쉽고, 각 부분의 기능이 분리되어 있어 많이 사용되고 있다. 그러나 낮은 효율로 인하여 스위치와 다이오드에 많은 열이 발생한다. 또한 기존의 2단 회로는 인버터와 컨버터를 통합하기는 하였으나 바디다이오드의 사용으로 효율이 높지 않다^[2].

새롭게 제시된 회로는 주요 스위치가 영 전압에서 스위칭하므로 스위칭 손실이 크게 저감되었다. 또한 인덕터 전류가 Freewheeling 할 때, 스위치를 동작시켜 도전손실을 크게 저감하였다. 새로 제안된 회로는 기존의 회로에 비해 높은 효율을 갖는다.

램프의 수명을 연장하고, Acoustic resonance를 피하기 위해 50Hz 저주파로 램프를 구동하였다^{[3][4]}.

또한 정상상태에서 일정한 광 출력을 내도록 정 전력 제어를 수행하였다. 복잡한 점등 특성과 신호 제어를 위해 마이크로프로세서를 사용하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 안정기

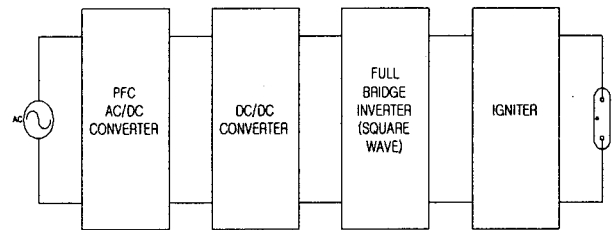


그림 1 기존 3단 안정기 구성도 - 각 부분의 기능이 잘 분화되어 있어 설계가 용이하다.

기존의 3단 안정기는 각 블록의 기능이 분리되어 있어 제일 많이 사용되고 있다. 설계가 용이하고 제어가 간단하다. 그러나 3단 구성이어서 효율이 높지 않다. 램프 전류는 Buck 스위치가 온 되었을 때, 3개의 스위치를 거치고, Buck스위치가 오프 되었을 경우 스위치 두 개와 다이오드 하나를 거치므로 도통 손실이 매우 크다.

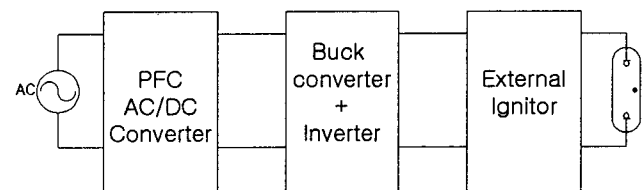


그림 2 기존 2단 안정기 구성도

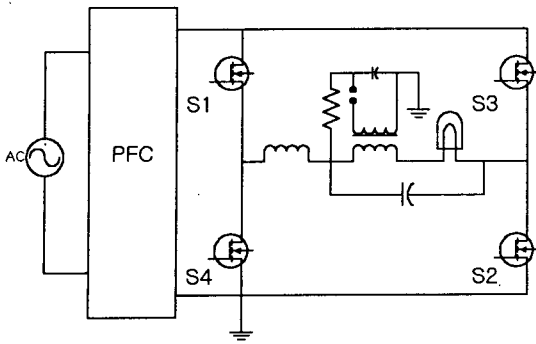


그림 3 기존 2단 안정기 회로도

기존의 3단 구성에서 Converter와 Inverter를 하나로 통합하였다. 동작은 네 스위치 중에서 한쪽은 접지에 연결하고 대각선 위쪽의 스위치를 온 오프하여 Buck Converter와 같이 동작시킨다. 이 때 접지된 스위치의 반대쪽 스위치의 바디다이오드가 Freewheeling 다이오드로 사용된다. 이와 같은 동작으로 Converter와 Inverter를 통합하였으나, 바디 다이오드를 사용하므로 효율이 높지 않다. 인버팅 시에 바디다이오드의 성능 저하로 램프가 꺼지기 쉽다. 이를 막기 위해 별도의 다이오드를 low arm 스위치에 병렬로 설치하여 사용하기도 한다.

2.2 제안된 안정기

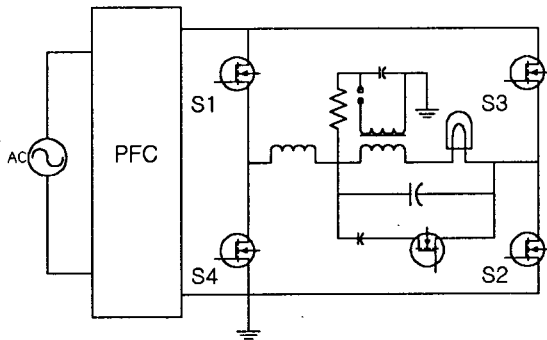


그림 4 제안된 2단 안정기 회로도

제안된 안정기는 기존의 저주파 구동 안정기에서 문제가 되었던 열 손실을 저감하였다. 제안된 안정기는 high arm 스위치 구동 시 영 전압에서 스위칭하여 스위치 온 손실을 저감하였다. 제안된 안정기는 freewheeling 구간에서 다이오드를 통해 흐르는 전류를 스위치로 도통시킴으로써 도통 손실을 저감하였다. 작은 전류가 흐를 때, 스위치의 온 저항과 전류의 곱에 의한 스위치 온 전압은 다이오드 전압 강하보다 월등히 작다. 70W 램프의 경우 정상 상태에서 0.7A-0.8A가 흐른다. 이때 다이오드 전압 강하는 약 0.8V이고, 스위치 전압 강하는 0.3V이다. 기존의 3단, 2단 안정기의 경우 다이오드에 의한 도통 손실은 전체 효율을 크게 저하시킨다. 제안된 안

정기는 다이오드로 흐르는 구간을 최소화 하기 위하여 구동신호를 그림 6과 같이 구성한다. 기존의 2단 구성에서의 구동신호가 그림 5에 나타나 있다. 기존의 신호는 Freewheeling 구간에서 바디다이오드를 사용하여 동작하고, 제안된 안정기는 바디다이오드 대신 스위치를 구동하여 동작한다. Low arm 스위치 동작 시에도 영 전압에서 스위치를 켜므로 스위칭 손실이 발생하지 않는다.

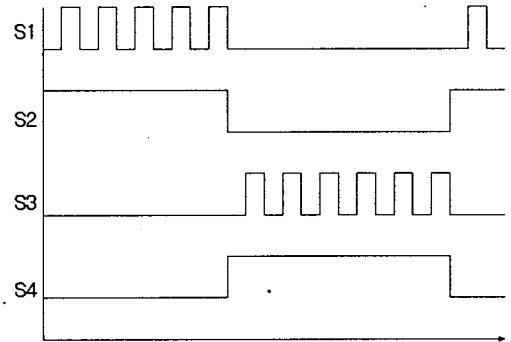


그림 5 기존 2단안정기 구동 신호

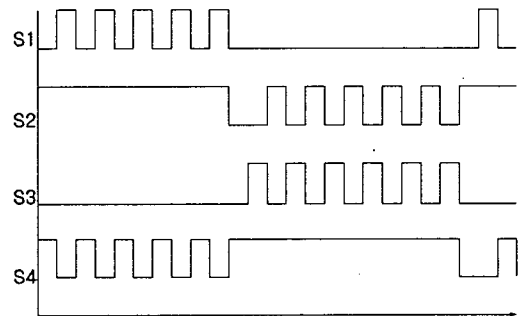


그림 6 제안된 2단 안정기 구동신호

동작모드를 보면 다음과 같다.

- (1) $T_0 - T_1$ 구간: S1(또는 S3) 스위치가 온 된다. 역 방향으로 흐르던 인덕터의 전류는 다시 서서히 증가하여 전류의 극성이 역전된다. 역전된 전류는 계속 증가하다가 S1(또는 S3) 스위치가 오프될 때 이 모드는 끝난다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = V_i, i(T_0) < 0$$

- (2) $T_1 - T_2$ 구간: S1(또는 S3) 스위치가 오프 되고, 인덕터의 전류는 S4(또는 S2) 스위치의 바디다이오드를 통해 흐른다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = V_i, i(T_1) > 0$$

- (3) $T_2 - T_3$ 구간: S4(또는 S2) 스위치가 온 된다. 바디다이오드에 흐르고 있던 전류는 스위치로 흐르게 된다. 인덕터의 전류는 서서히 감소하여 전류가 영이 된다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = V_i, i(T_2) > 0$$

(4) $T_3 - T_4$ 구간: 인덕터 전류의 극성이 반전되어 흐른다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = V_i, i(T_3) < 0$$

(5) $T_4 - T_5$ 구간: S4(또는 S2) 스위치가 오프 되고, 인덕터의 전류는 S1(또는 S3) 스위치의 바디다이오드를 통해 흐른다. $T_0 - T_1$ 구간이 시작되면 S1(또는 S3) 스위치는 영 전압 스위칭(ZVS)을 하게 되어 스위칭 손실이 크게 줄어든다.

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = V_i, i(T_4) < 0$$

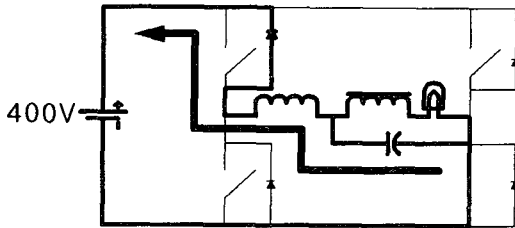


그림 7 T_0 이전. 인덕터 전류가 전원쪽으로 흐른다.

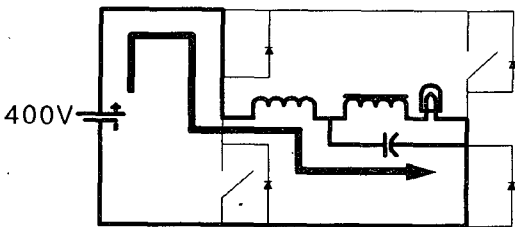


그림 8 $T_0 - T_1$ 인덕터 전류가 증가한다.

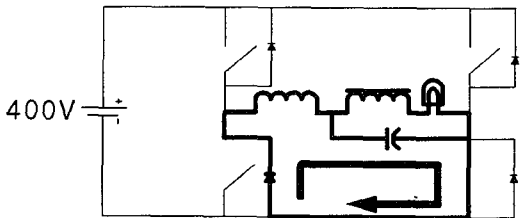


그림 9 $T_1 - T_2$ 인덕터 전류가 바디다이오드로 흐른다.

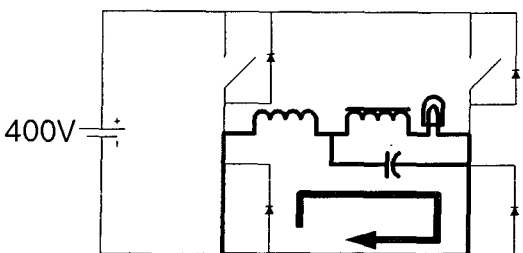


그림 10 $T_2 - T_3$ 인덕터 전류가 스위치로 흐른다.

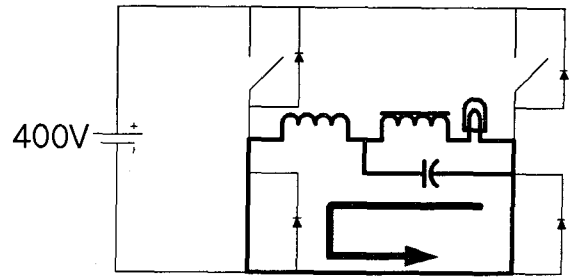


그림 11 $T_3 - T_4$ 인덕터 전류가 반전되어 흐른다.

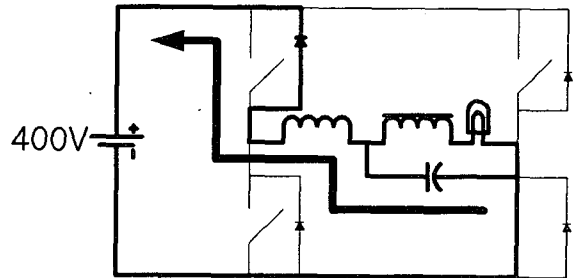


그림 12 $T_4 - T_5$ 인덕터 전류가 전원쪽으로 흐른다.

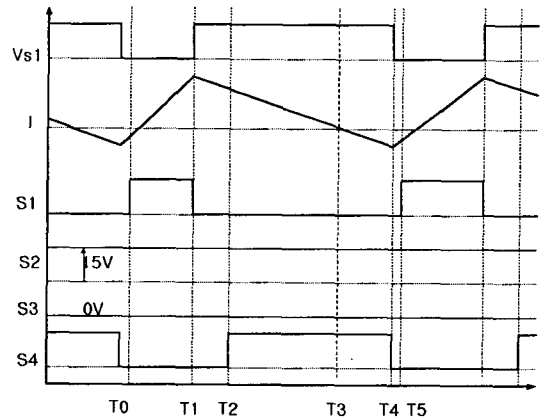


그림 13 스위치 구동신호와 인덕터 전류 파형

3. 실험 결과

실험에 사용된 인덕터의 크기는 0.76mH이며, 램프와 직렬로 연결된 이그나이터의 인덕턴스는 0.75mH이다. 정상 상태 리플 제거용 커패시터의 크기는 0.47uF이다. 기존의 3단 회로의 경우 Buck 다이오드의 열 손실과 도통 손실로 인하여 그리 높지 않은 효율을 나타냈다. 측정 결과 효율이 86%였으며, 스위치의 온도 상승분이 40도를 넘었다. 제안된 안정기의 경우 Buck 다이오드의 손실은 스위치의 도통 손실로 대체되어 다이오드의 열 손실은 3분의 1이하로 줄었다. 또한 high arm 스위칭 시에 영 전압 스위칭 하므로 스위칭 손실이 거의 사라져 스위치의 온도 상승분이 15도를 넘지 않았다. 측정 결과 전체 효율은 90%를 나타내었다.

다음은 기존 회로와 제안된 회로의 비교이다.

4. 결 론

표 1 기존 안정기와 제안된 안정기 사이의 비교표

비교항목	기존 3단	기존 2단	제안된 2단
효율	86 %	86 %	90 %
소자 수	스위치 5개 다이오드 1개	스위치 4개	스위치 4개
제어기	단순함	복잡함	복잡함
가격	비싸다.	싸다.	싸다.

순시 재 점등이 가능한 새로운 2단 안정기를 제안하였다. 제안된 안정기는 기존의 저주파 구동 안정기에서 문제가 되었던 열 손실을 저감하였다. 먼저 high arm 스위치 구동 시 영 전압에서 스위칭하므로 스위치 온 손실을 저감하였다. 또한 free-wheeling 구간에서 다이오드를 통해 흐르는 전류를 스위치로 도통시킴으로써 도통 손실을 저감하였다. 실험결과 제안된 안정기는 기존의 안정기와 비교하여 매우 높은 효율을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Franke and F. Waymouth, "Reignition Characteristics of Metal Halide Lamps And Their Effect On Ballast Design," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, pp. 201~213, April, 1967.
- [2] H. Nishimura and M. Fukuhara, "A New Electronic Ballast for HID Lamps," *Journal of the Illuminating Engineering Society*, pp. 70~76, Summer, 1988.
- [3] H. Peng and I. Pitel, "Evaluation of Acoustic Resonance in MHD Lamps and An Approach to Detect Its Occurrence," *IEEE Applied Power Electronics Conference Proceeding*, pp. 2276~2283, 1997.
- [4] H. L. Witting, "Acoustic Resonances in Cylindrical High Pressure Arc Discharge," *Journal of Applied Physics*, vol. 49, no. 5, pp. 2680~2683, May, 1978.

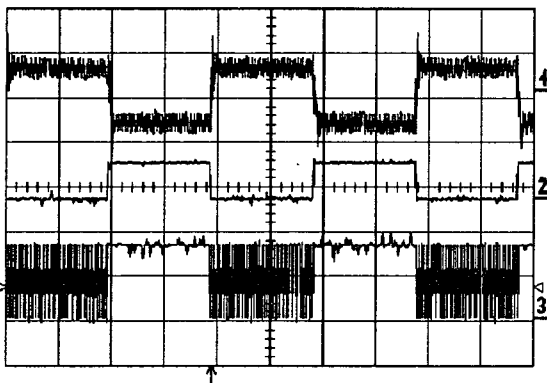


그림 14 램프 전류 파형, 50Hz로 구동 (5ms, 1A/div)

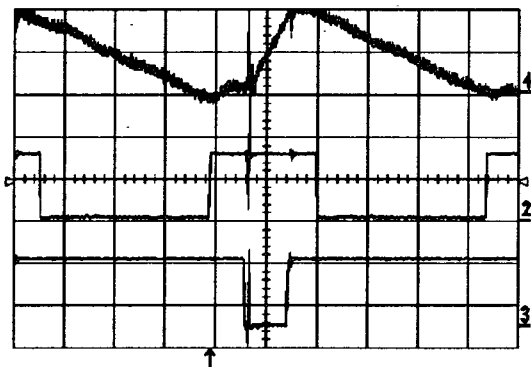


그림 15 인덕터 전류 파형, Low일 때 스위치 구동 (5us, 1A/div)

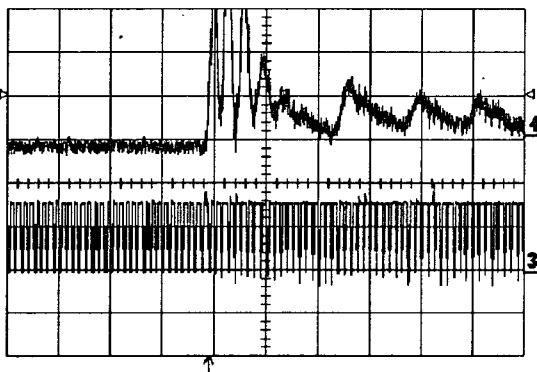


그림 16 램프 점등시의 램프 전류 파형(200us, 2A/div)