

E급 영전압 스위칭 방식의 형광램프용 전자식 안정기 설계

(The Design of an Electronic Ballast for Fluorescent Lamp Using Class E Zero-Voltage-Switching Type)

노재엽* · 박재권 · 김순기 · 이진우

호서대학교 전기공학과, CL Tech, 신성대학 전기과

(Jae-Yup No* · Jae-Kweon Park · Soon-Gi Kim · Chin-Woo Yi)

Dept. of Electrical Eng. Hoseo Univ. · CL Tech · Dept. of Electrical Eng. Shinsung Coll.

요 약

본 논문에서는 E급 영전압 스위칭(zero-voltage-switching) 인버터 방식의 타려식 형광램프용 전자식 안정기를 설계하였다. 이론을 통하여 각 파라미터 값을 산출하고, PSpice를 이용한 시뮬레이션을 통하여 램프 출력을 예측하였으며, 실제 안정기를 제작하여 전기적 특성을 살펴보았다.

1. 서 론

고역률, 고주파 전자식 안정기는 기존의 자기식 안정기에 비하여 역률과 효율이 높고 고주파 전류에 의한 플리커 현상을 제거할 수 있으며 소형, 경량화는 물론 램프의 수명을 연장시킬 수 있는 장점이 있어 최근 빠르게 발전하고 있다[1].

이러한 고역률, 고주파 전자식 안정기의 설계는 대표적으로 boost 컨버터를 사용하여 AC전압을 DC전압으로 변환하고 입력전류를 제어하여 고역률의 전류를 만드는 역률 보상기(PFC) 설계와 공진회로를 갖는 인버터 회로 설계의 두 단계로 나눌 수 있으며, 이미 이를 이용한 고효율 전자식 안정기가 제작되어지고 있다. 하지만 부수적인 소자의 추가로 인한 회로의 복잡성과 높은 비용은 이들의 적용에 제한 요소로 작용한다.

이러한 이유로 역률 보상기 설계 단계와 인버터 설계 단계를 하나로 통합한 single-stage 설계기법에 대한 연구가 되어지고 있다.

특히, E급 인버터는 구조가 간단하고 일정한 듀티 사이클 제어로 고역률과 영전압 스위칭 상태를 이룰 수 있기 때문에, single-stage 안정기 토폴로지 중에서 높은 효율을 얻을 수 있는 특징이 있다 [1][2].

본 논문에서는 E급 영전압 스위칭 인버터를 이

용한 타려식의 형광램프용 전자식 안정기를 설계하였다. 먼저, 각 파라미터 값을 이론적으로 계산하고, PSpice 시뮬레이션을 통해서 회로의 전기적 특성을 예측 하였으며, 실제 안정기를 제작하여 그 특성을 고찰하였다.

2. 안정기 설계

2.1 해석 및 파라미터 값 산출

E급 영전압 스위칭 인버터는 그림 1(a)와 같이 한 개의 스위치와 부하 회로망으로 구성되어 있으며 공진 회로의 소자값이 정확하게 선택 되어진다면 스위치는 영전압에서 턴 온 되어 전류와 전압 파형이 겹쳐지지 않으므로 스위칭 손실은 이론적으로 영으로 되어 높은 효율을 얻을 수 있다[2].

스위치가 ON일 때, 공진 회로는 커패시턴스 C_1 이 스위치에 의하여 단락되므로 L, C, R_i 으로 구성되며 이 때, 공진주파수와 부하의 전압확대율은

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$Q_{L1} = \frac{\omega_{01}L}{R_i} = \frac{1}{\omega_{01}CR_i} \quad (2)$$

이다.

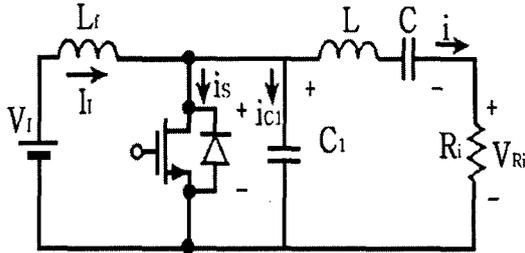
스위치가 OFF일 때에는 C_1 과 C가 직렬접속 되어지기 때문에 C_1 , L, C 그리고 R_i 의 직렬 공진회

로 구성되며, 이 때 공진주파수와 부하의 전압확대율은

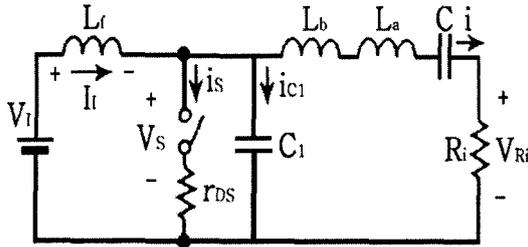
$$f_{02} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{LCC_1}{C+C_1}}} \quad (3)$$

$$Q_{L2} = \frac{1}{\frac{\omega_{02}LCC_1}{C+C_1}} \quad (4)$$

가 되며 부하의 회로망은 위의 두 공진주파수와 부하의 전압확대율에 의해서 결정 되어진다.



(a) 회로



(b) 등가 회로

그림 1. E급 영전압 스위칭(ZVS) 인버터 회로

그림 1(b)는 위의 공진 동작에 대한 인버터 등가 회로이며, 동작주파수 f 가 공진주파수 f_{01} 보다 크게 되면 인덕턴스 L 은 두개의 직렬 인덕턴스 L_a 와 L_b 로 나눌 수 있으며 L_a 는 동작주파수 f 에서 C 와 함께 공진이 된다. 이 때 공진 주파수와 전압확대율은 다음과 같다.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_a C}} \quad (5)$$

$$Q_L = \frac{\omega(L_a + L_b)}{R_i} = \frac{1}{\omega C R_i} + \frac{\omega L_b}{R_i} \quad (6)$$

그림 1에서 직렬 공진회로에 흐르는 전류

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (7)$$

$$i_s + i_{C1} = I_I - i = I_I - I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (8)$$

스위치가 ON($0 < \omega t < \pi$)일 경우에 $i_{C1} = 0$ 이므로 MOSFET에 흐르는 전류

$$i_s = I_I - I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (9)$$

이며, 스위치 양단에 인가되는 전압 $v_s = 0$ 이다.

스위치가 OFF($\pi < \omega t < 2\pi$)일 경우 $i_s = 0$ 이므로 C_1 에 흐르는 전류

$$i_{C1} = I_I - I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (10)$$

가 되고, 스위치 양단에 인가되는 전압

$$v_s = \frac{1}{\omega C_1} \{ I_I (\omega t - \pi) + I_m [\cos(\omega t + \phi) - \cos(\pi + \phi)] \} \quad (11)$$

가 된다.

또한, $v_s(2\pi) = 0$ 의 조건을 식(10)에 대입하고 푸리에공식을 적용하면 I_I , I_m , v_{Rim} 등의 각 관계식을 산출할 수 있다.

본 논문에서는 램프전력 $P_{Rim} = 40$ [W], 동작주파수 $f = 25$ [kHz], 전압확대율 $Q_L = 5$ 로 설정하여 다음과 같은 요소 값을 산출하였다.

$$R_i = 174 \text{ } [\Omega], \quad L_f = 48 \text{ } [\text{mH}],$$

$$L = 7.8 \text{ } [\text{mH}], \quad C = 6.2 \text{ } [\text{nF}]$$

$$C_1 = 6.8 \text{ } [\text{nF}]$$

2.2 시뮬레이션

본 논문에서는 위에서 산출한 각 파라미터 값을 그림 2와 같은 인버터 회로에 적용하여 PSpice 시뮬레이션을 하였으며 이론값과 근사한 회로특성을 갖는 것을 확인하였다.

그림 3은 PSpice 시뮬레이션을 통한 스위치 양

단 전압 v_s 의 파형으로 스위치가 ON일 때, 영 전압 스위칭을 하고 스위치가 OFF일 때 전압의 피크 값이 이론상으로 계산한 555.7[V]와 거의 같은 약 550[V]의 피크값을 갖는 것을 볼 수 있었다.

그림 4는 PSpice 시뮬레이션을 통한 램프의 출력전압, 전류의 파형이다.

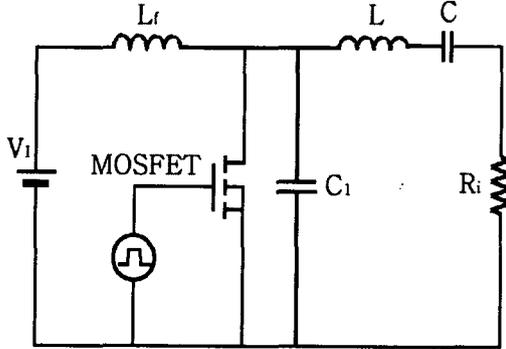


그림 2. PSpice에 의한 인버터 회로

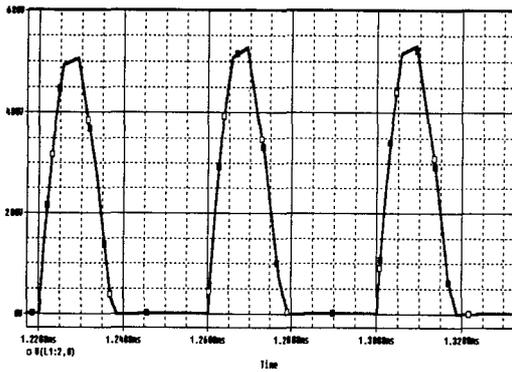


그림 3 PSpice에 의한 스위칭 전압파형

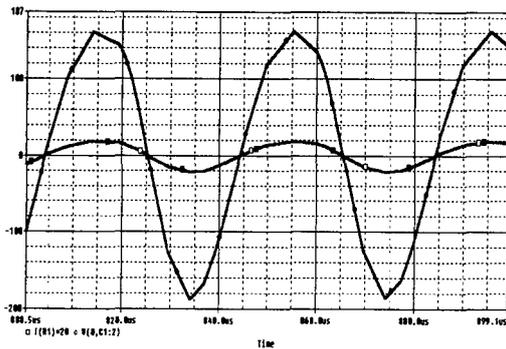


그림 4. PSpice에 의한 출력 전압, 전류파형

3. 실험 및 결과

본 논문에서는 스위치 구동용 제어 IC AD4046B 와 IR2118를 사용하여 듀티비 0.5, 주파수 25[kHz]의 15[V] 구형파 전압을 게이트 구동 신호로 하였으며 인버터 회로의 스위칭 소자는 $V_{DS}=600$ [V], $I_D=20$ [A]의 power MOSFET IRF460A를 사용하였다.

또한 실제의 안정기 회로 제작에 있어서는 초크 코일 L_f 에 의한 스위칭 서지전압 스트레스를 고려하여 스위치 단에 스너버 회로를 구성하였으며 안정된 점등을 이루는 것을 확인하였다.

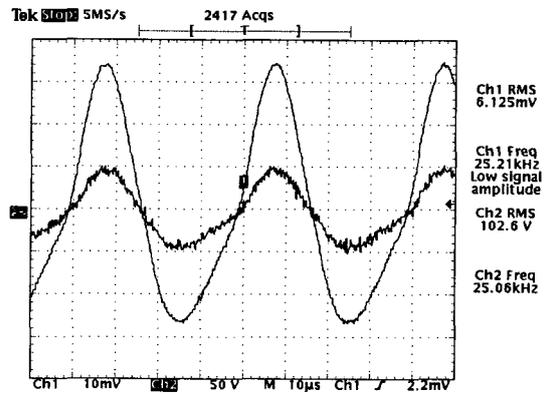


그림 5. 안정기의 램프 출력 전압, 전류 파형

그림 5는 제작 되어진 E급 영전압 스위칭 방식의 전자식 안정기 출력 전압, 전류 파형으로, 이론상의 계산 값과 PSpice에 의한 시뮬레이션 값은 큰 차이 없이 거의 일치하지만 실제 안정기에서의 출력전압, 전류는 이론값보다 다소 낮은 값을 갖는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 구조가 간단하고 비용이 저렴한 E급 영전압 스위칭(ZVS) 인버터 방식의 전자식 안정기를 설계하고, 이론상으로 얻어진 각 파라미터 값을 PSpice로 시뮬레이션 하여 안정기의 전기적 특성을 예측하였으며, 실제 안정기를 제작하여

램프의 안정된 전기적 특성을 확인하였다.

안정기 설계에 있어서 적은 비용의 고효율 전자식 안정기의 제작은 분명히 주요한 관심대상이 될 수 있을 것이며, 이미 각 단점을 보완한 여러 가지 개선된 방식들이 제안 되어지고 있다. 앞으로 좀 더 이에 대한 연구가 활발해지고 고성능의 반도체 소자의 개발이 이루어진다면 경제적인 측면에서 큰 효과가 있을 것으로 기대되어진다.

참 고 문 헌

- [1] Wood, P.N. "Fluorescent ballast design using passive PFC and crest factor control", IEEE IAS 1998 Annual Meeting. Records, pp. 2076-2081.
- [2] Maeian K. Kazimierczuk, "Resonant Power Converters", John Wiley & Sons Inc., pp. 348-378, 1995.
- [3] Robert Boylestad, "Electronic Devices and Circuit Theory", Prentice Hall Inc., pp.92-102, 1999.
- [4] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics", Prentice Hall Inc., pp.446-460, 1988.
- [5] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", McGraw-Hill Inc., pp.413-426.
- [6] 권종덕, "전원장치 설계 및 응용", 한국산업기술연구원, pp.74-80, 1998.