

# Pspice를 이용한 고압나트륨 램프용 자려식 전자식 안정기 설계

(A Design of Self-Exciting Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamp Using the Pspice)

노재엽\* · 김순기 · 이진우

호서대학교 전기공학과, 신성대학 전기과

(Jae-yup No\* · Soon-Gi Kim · Chin-Woo Yi)

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

## 요 약

본 논문은 고압 나트륨 램프용 전자식 안정기의 회로 특성을 보다 효율적이고 경제적으로 비교 평가하기 위해, Pspice를 이용하여 전자식 안정기 구동회로를 시뮬레이션하고 이를 실제 안정기 출력과 비교한 논문이다. 본 논문에서 사용한 방식은 공진형 인버터를 이용한 Half-Bridge Inverter 구조의 자려식 구동방식으로서 실제 안정기의 동작 특성과 같은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

## 1. 서 론

현재 사용되고 있는 전자식 안정기는 부하의 LC공진과 출력귀환 변압기를 통하여 회로를 구동하는 방식을 많이 사용한다. LC 공진회로에 사용되는 인버터는 고주파에서 히스테리시스 현상을 보이는 비선형 회로이므로 공진주파수의 결정이 간단하지 않다. 따라서 전자식 안정기를 정확하게 해석 설계하기 위해서는 인덕터, 변압기 및 방전관의 비선형성을 고려한 이론적인 해석과 시뮬레이션 및 이를 기초로한 설계기법이 반드시 이루어져야 한다[1].

일반적으로, 전자식 안정기에 사용되는 공진형 인버터는 스위치의 구동방식에 따라 그림 1과 같이 자려식과 타려식으로 구분된다. 자려식은 게이트 구동회로가 전류 트랜스포머로 구성되어 공진 전류에 의해 자동적으로 게이트가 구동되므로 간단한 회로구성을 가진다는 장점이 있으며, 영전압턴 온(zero voltage turn on)이 되고 별도의 보조 회로를 추가하면 고속의 스위칭이 가능하여 스위칭 손실과 구동손실을 매우 작게 할 수 있다. 그러나 자려식의 전자식 안정기는 전원전압의 변화에 따라 광출력이 민감하게 변하고 방전시의 돌입전류에 의해 램프의 수명이 저하될 수 있다. 타려식은 별도의 구동회로로 게이트를 직접 구동하므로

스위칭 주파수를 가변할 수 있어, 초기 시동시 필라멘트 예열을 통하여 램프의 수명을 연장시키고 조광을 통하여 추가의 절전효과를 얻을 수 있으나 제어회로가 매우 복잡하고 고주파 동작시 구동손실이 커진다는 단점이 있다[2].

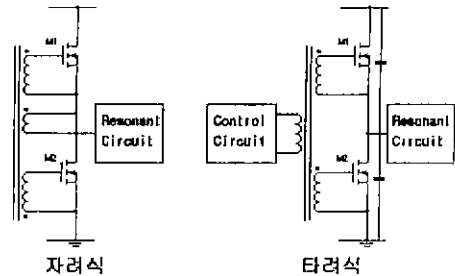


그림 1. 공진형 인버터의 게이트 구동방법

이러한 전자식 안정기를 설계할 경우 회로특성을 평가할 수 있는 정확한 방법은 필수적이며, 회로특성을 알아보기 위하여 회로를 직접 제작하여 실험할 수도 있지만 이렇게 할 경우, 회로구성 및 특성 해석에 많은 시간과 계측장비 및 경비가 필요하다. 따라서 회로를 제작하기 전에 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 계산하고, 측정 평가하는 과정은 현재 회로설계 및 제작시 중요한 과정이라고 할 수 있다.

현재, 여러가지 시뮬레이션 프로그램의 보급으로 전자식 안정기의 컴퓨터 시뮬레이션이 가능하게 되었고, 이에 따라 실제 회로와의 특성비교가 용이하게 되었다.

본 논문에서는 Microsim사의 Pspice로 자려식의 전자식 안정기 인버터 회로를 시뮬레이션하여 실제 제작한 안정기의 특성 실험을 통해 동작을 확인하였다.

## 2. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 그림 2와 같이 Gate Drive 트랜스포머를 포함한 RLC 공진형 인버터방식을 사용하였고, 공진주파수는 30[kHz]로 설계하였으며 스위칭 동작은 트랜스포머에 의해 MOSFET M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub>에 위상이 서로 다른 게이트 전압을 인가시켜 교대로 ON, OFF하도록 하였다.

MOSFET의 스위칭 주파수는 자려식 공진이므로 L<sub>s</sub>와 C<sub>p</sub>, C<sub>s</sub>로 이루어진 공진회로의 주파수와 같으며, AC 200[V]의 구형파 전압이 공진탱크에 인가되고, L<sub>s</sub>에 공진전류가 흘러 방전등을 공진주파수로 발광시킨다[3].

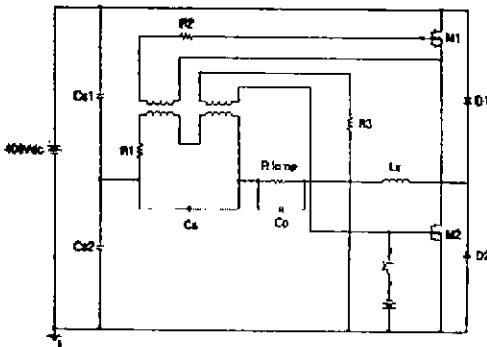


그림 2. PSpice에 의한 인버터 회로

초기시동시 MOSFET M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub>를 비롯하여 L<sub>s</sub>와 C<sub>p</sub>, C<sub>s</sub>로 이루어진 공진회로만으로는 램프를 점등시킬 수 없기 때문에, 그림 3과 같은 별도의 시동회로(Ignitor)를 필요로 한다.

시동회로의 동작은 회로 양단에 직류전원 전압이 인가되고, 램프는 높은 임피던스를 가지므로 전류는 흐르지 못한다. 트랜스 A점이 부의 극성일 때 D<sub>1</sub>을 통하여 B점 전압의 피크치까지 C<sub>1</sub>에 충전되고, 다음 위상에서 A점이 정 위상이 되면 R<sub>2</sub>

와 R<sub>3</sub>의 전압비에 따라 피크치에서 DIAC이 Break over 전압이 되면 트리거 펄스를 발생하여 SCR은 도통된다. 이 전압은 CB점의 전압에 C<sub>1</sub>에 충전된 전압의 합이며, 이 전압이 AC, CB의 권선비에 의하여 승압되고 다시 트랜스포머의 1차권선

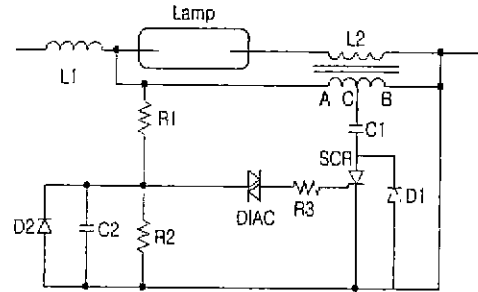


그림 3. 시동회로

과 2차 권선의 비로 다시 승압되어 램프를 시동하게 된다. 시동이 끝나면 램프의 임피던스는 급격히 낮아지고 램프전류가 흐르게되며 AB양단의 전압은 램프전압으로 낮아지므로, DIAC은 Break over 전압 이하로 되고 시동회로의 작동은 정지하게 된다[4].

본 논문에서는 MOSFET M<sub>2</sub>의 게이트 단자에 초기 스위칭을 위한 DC 36[V]의 전압을 인가하여 시동회로를 구성하였다.

또한, 회로의 소자값과 램프의 등가 저항값을 산출하기 위하여 램프의 출력 P<sub>out</sub>과 램프전압 V<sub>lamp</sub>를 각각 150[W]와 100[V]로 가정하고 (1)식에 대입하여 램프의 등가저항을 계산하였다.

$$R_{lamp} = \frac{V_{lamp}^2}{P_{out}} = \frac{100^2}{150} = 66.7 [\Omega] \quad (1)$$

정상상태에서의 공진탱크는 그림 4와 같이 간단한 RLC 회로로 등가화할 수 있으며 이때, MOSFET의 스위칭에 의해 만들어진 AC 200[V]의 구형파는 (2)식과 같은 Fourier series로 전개시 제 1 고조파가 AC 255[V]의 피크치를 갖고 그 이외의 고조파는 공진탱크에 거의 영향을 미치지 않으므로, 255[V]의 피크치를 갖는 정현파로 가정하였다[3].

$$v(t) = \frac{4V_m}{\pi} (\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots) \quad (2)$$

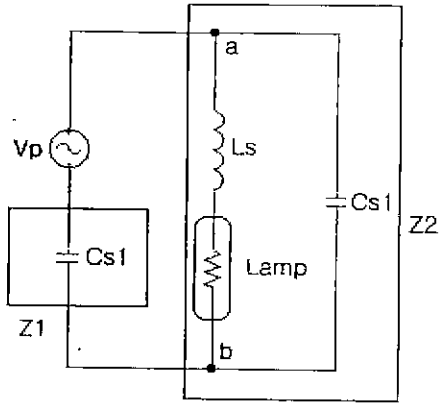


그림 4. 시동시 공진탱크의 단순 모델링

이때, ab 양단에 인가되는 전압을  $V_{ab}$ 라 하면

$$V_{ab} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} V_p \quad [V] \quad (3)$$

여기서,  $Z_1 = \frac{1}{j\omega C_{s1}}$ ,  $Z_2 = \frac{Z_{ab} \cdot j\omega C_{s1}}{Z_{ab} + j\omega C_{s1}}$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \quad [Hz] \quad (4)$$

(3)식에 의하여 ab 양단의 전압을 구하고 램프 양단에 인가되는 전압을 전압분배 법칙에 의하여 계산하면 (4)식과 연립하여 다음과 같은 L, C 소자값을 구할 수 있다.

$$L = 0.85[mH], \quad C = 33[nF]$$

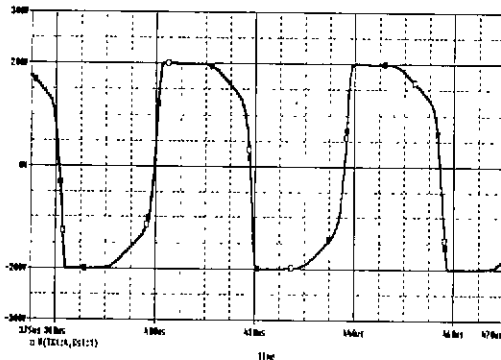


그림 5 램프입력 구형파 전압

그림 5에서 그림 9까지는 Pspice로 시뮬레이션 할 경우 각 부의 전압, 전류특성을 보여주고 있다. 그림 5의 경우 MOSFET의 스위칭에 의해  $L_s$  양단에 나타나는 AC 200[V]의 구형파 입력이며, 그림 6은 MOSFET  $M_1$ 과  $M_2$ 에 의한 드레인 전류로 약 3.8[A]의 피크치를 갖는다.

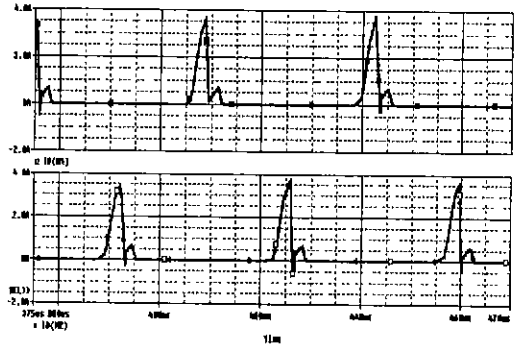


그림 6. MOSFET  $M_1, M_2$ 의 드레인 전류

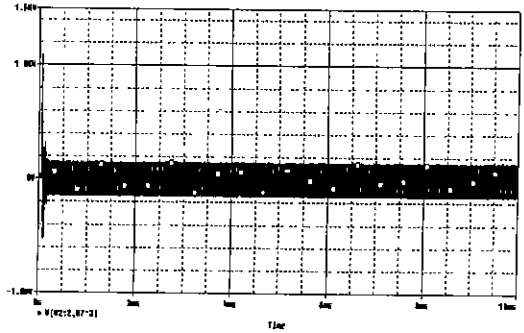
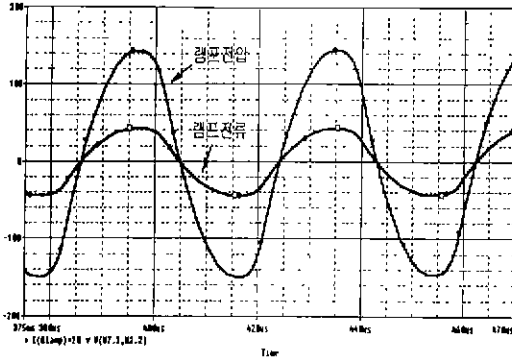


그림 7. 램프의 초기 시동전압

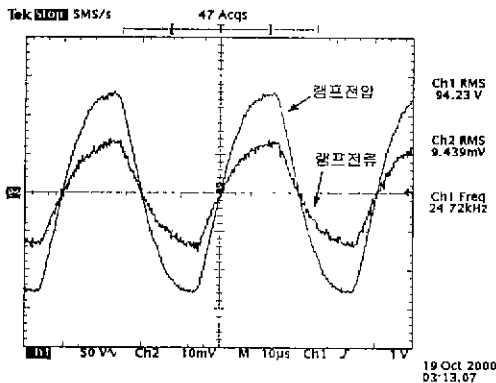
그림 7은 초기점동시 DIAC의 트리거에 의해 램프가 방전을 일으키는 시동전압을 보여준다. 실제 제작된 안정기의 시동전압은 약 1.6[kV]였으나 시뮬레이션을 행한 결과 약 1.1[kV]의 시동전압을 얻을 수 있었다.

그림8 (a) (b)는 시뮬레이션과 실제 제작된 안정기의 출력을 각각 비교한 파형이다. 시뮬레이션의 출력은 약 162[W], 실제 안정기 출력은 178[W]로써 약 16[W]정도 시뮬레이션 출력이 적게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

그림 9는 시뮬레이션으로 얻은 램프출력 전압을 Fourier series로 전개하여 동작 주파수 특성을 표시한 그림으로, 공진주파수보다 약 4[kHz]정도 낮은 동작 주파수 특성을 얻을 수 있었다.



(a) 시뮬레이션 출력



(b) 실제 안정기 출력

그림 8. 시뮬레이션과 실제 안정기의 출력 비교

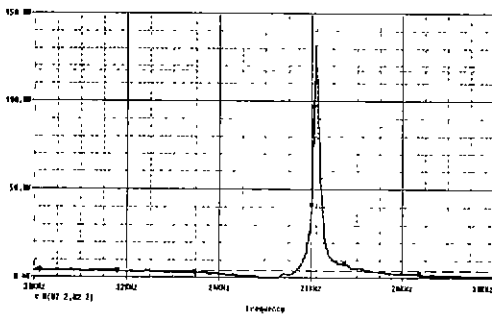


그림 9. 동작주파수 특성

### 3. 결론

본 논문에서는 Pspice를 이용하여 150[W] 고압 나트륨 램프 전자식 안정기를 Half-Bridge Inverter

구조의 자력식 구동회로로 시뮬레이션하고 실제 제작된 안정기와 출력을 비교해 보았다. 앞에서 비교한 바와 같이 시뮬레이션과 실제 안정기 사이에는 출력에서 차이가 있으나, 이것은 점등시 변화하는 램프의 부저항 특성을 시뮬레이션 상에서 간단히 저항으로 표현한 데에서 오는 오차라고 본다.

따라서, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 모의 실험을 통하여 대략적인 회로 특성을 확인할 수 있다는 관점에서 볼 때, 본 논문은 의미가 있다고 생각되며, 앞으로 변압기와 램프의 저항 특성을 시뮬레이션 상에서 정확하게 구현시킬 수 있는 연구가 더 필요하다고 본다.

### 참고 문헌

- [1] 서남길 외2, “고압 나트륨등 구동용 전자식 안정기 개발”, 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.2789, 1999.
- [2] 류태하 외3, “고성능 전자식 안정기에 적합한 공진형 인버터의 혼합형 구동방식과 제어 IC”, 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.2786, 1999.
- [3] 최종문 외3, “나트륨등 및 메탈할라이드램프용 전자식 안정기 개발”, 호서대학교 산학협동연구소, pp.44, 1998.
- [4] 조성권 외6, “효율적 조명기술 개발 연구Ⅱ”, 한국 동력자원연구소, pp.77-pp78, 1989.
- [5] 조성권 외6, “효율적 조명기술 개발 연구 I”, 한국 동력자원연구소, pp.124-128, 1989.
- [6] 이덕출 외3, “회로이론”, 동일출판사, pp.192, 2000.