

고주파 램프모형을 포함한 전자식 안정기의 PSPICE 시뮬레이션 연구

한 수빈, 박 석인, 정 봉만, 김 규덕, 정 학근, 유 승원
한국에너지기술연구소

Simulation Study of Electronic Ballast with A High Frequency Lamp Model

Soo-Bin Han, Sukin Park, Bong-Man Jung, Gue-Duck Kim, Hak-Kun Jung, Song-Won You
Korea Institute of Energy Research

Abstract

전자식안정기 설계에 있어서 중요한 램프의 모델링의 연구이며 이 모델은 기존의 방식에서 요구되는 많은 측정값에 의한 방식과는 달리 2개의 파라미터에 의해 결정되는 장점이 있다. 또한 PSPICE로 구현이 용이하므로 시뮬레이션을 통해서 안정기 회로의 L, C값의 초기값을 선택하는데 유용한 방법이 될 수 있다.

I. 서론

현재 형광등용 안정기의 경우 전자식안정기가 점차로 주류를 이루는 경향이다. 보다 효과적인 제품개발을 위해서 과거의 실험적 시행오차에 의한 방식에서 화로설계 소프트웨어를 이용하여 전자식안정기의 정교한 설계가 가능토록 하는 추세이다.

이 때 중요한 것은 램프의 모델링이며 일반적으로 저항으로 보는 방식은 사실상 과도상태 및 시동시의 특성을 감안한 설계가 불가능하게 된다. 왜냐하면 램프의 경우 그 특성이 시변 비선형특성을 갖고 구동전압, 전류에 따라서 순시적으로 변화하기 때문이다. 저항으로 이를 모델링하는 것은 정상상태에서 평균적 특성만을 본 것이며 동적특성을 해석할 수 없게된다.

형광등을 비롯한 방전등은 음저항 특성을 갖고 있기 때문에 안정기에 의한 전류제한이 필요하다. 자기식안정기는 큰 인덕터를 사용하여 전류제한을 하지만 전자식안정기는 20kHz-60kHz의 고주파수로 이 기능을 수행하게 되며 설계시에 형광등에 대한 모델이 주어질 경우 보다 정확한 설계 작업이 가능하여 진다.

형광등 모델에 관한 많은 연구가 수행되었지만 대부분 50/60Hz의 저주파수에서의 관점으로 접근한 모

델이었다. 고주파모델에 대해서는 curve-fitting을 이용한 방식과 방전물리현상을 고려한 모델등이 제시된 바 있었다. 이러한 정교한 모델은 나름대로 정확한 설계치를 얻기 위한 목적이지만 시뮬레이션시 보다 많은 시간을 필요로 하게 된다. 안정기의 경우 회로의 L, C정수 및 토폴로지 형태에 의해서 보다 많은 전류, 전압특성이 결정된다고 볼 수 있기 때문에 처음 회로의 값을 결정하기 위해서는 보다 간단한 모델이 실제적으로 유리할 수 있다. 그러나 단순히 형광등을 저항으로 보는 것은 동작점의 변화를 무시하는 것이므로 동작점에 따른 저항이 변화하도록 할 필요가 있다.

본 논문은 형광등 램프를 묘사할 수 있는 간단한 방정식에 의한 PSPICE모델에 관한 것이다. 이 모델은 기존의 방식에서 요구되는 많은 측정값에 의한 방식과는 달리 2개의 파라미터에 의해 결정되고 동작점의 이동에 반응할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이러한 모델을 사용하여 전자식 안정기의 실용적인 설계가 가능하도록 하였으며 이를 PSPICE 개발틀로 실현하여 모의 실험이 가능하도록 하였다. 도출된 모델의 유용성을 보이기 위하여 실험결과와 비교 분석하였다

II. 모델의 도출

가스방전램프는 방전시 이온화가 발생되어 프라즈마화된 후 음저항특성을 보이는 V-I 특성곡선을 갖게 된다. 고주파수 동작에서는 플라즈마의 농도는 순시적인 램프전압의 변화에 대해 즉각적으로 반응하지 못하고 전류의 rms에 의해 변화하는 저항처럼 동작된다. 그 저항은 전류의 rms치가 증가하고 램프전압

의 rms치가 감소하면 감소한다. 따라서 고주파수 방전시 램프는 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$R_{eq} = \frac{V_H}{I_o} - R_s \quad (1)$$

식에서 R_s 는 [그림 1]과 같이 측정된 $I_{rms}-V_{rms}$ 특성곡선의 기울기로 구하게 된다. 즉

$$R_s = \frac{V_{max} - V_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (2)$$

V_H 는 $I_{rms}-V_{rms}$ 특성곡선을 연장시켜서 전압축과 만나는 전압값으로 설정한다. 이 경우 순시전류 $i_o(t)$ 가 전류에 흐르게 되면 램프의 전압은 다음과 같이 표시할 수 있게된다.

$$\begin{aligned} v_o(t) &= R_{eq} \cdot i_o(t) \\ &= \left(\frac{V_H}{I_o} - R_s \right) \cdot i_o(t) \end{aligned} \quad (3)$$

식에서 R_s 와 V_H 가 정해지고 I_o 만 알 수 있으면 램프의 전압을 구할 수 있게 된다. R_s 와 V_H 는 실험적인 값에 의존하여 구하고 I_o 는 PSPICE모형을 구성하여 구하도록 한다.

[그림 1]은 T5형 형광등램프의 I-V특성으로 예측한대로 선형적인 관계로 변화하고 있으며 파라미터는 $R_s=347\text{ohm}$, $V_H=215\text{volt}$ 가 된다. 이러한 형광등모형을 포함한 전자식안정기를 [그림 2]와 같이 PSPICE로 구현할 수 있는데 여기에서 하프브리지형의 토폴로지를 대상으로 하였으며 램프는 종속전압원으로 모델링된다. 이 종속전압원은 관계식 (2)에 의해서 램프의 순시전압을 구하기 위해 사용되었다. 이때 필요한 파라미터인 V_H 와 R_s 는 램프의 실험에 의해 결정되지만 rms전류는 계산해 주어야 한다. 따라서 램프전류를 측정하고 이것을 다음과 같이 제공값을 구한후

$$v(isq) = i(lamp)^2 \quad (4)$$

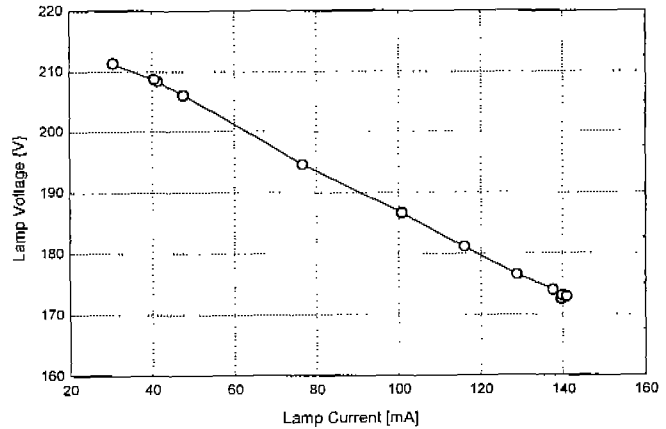
이 값은 다시 저역통과 필터를 지나게 되고 $t > R_1C_1$ 인 경우 캐패시터 C1의 평균전압은 다음과 같게 된다.

$$v(p) = \frac{1}{T} \int_0^T v(isq) dt = \frac{1}{T} \int_0^T i(lamp)^2 dt \quad (5)$$

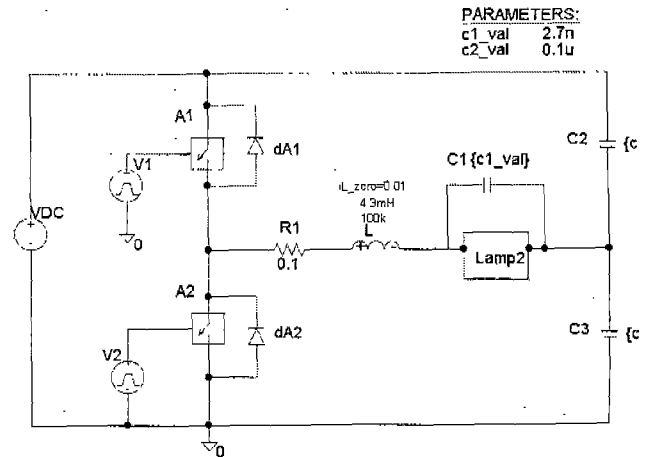
따라서 최종적으로 제공근을 사용하여 rms전압은 다음과 같이 결정된다.

$$v(p) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T^0 i(lamp)^2 dt} \quad (6)$$

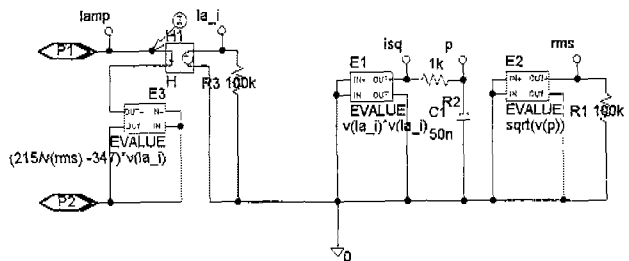
식에서 R_1C_1 시정수는 전력이 변화할 때 형광등의 플라즈마의 전도도의 변화와 관계가 있는 것으로 해석할 수 있다.



[그림 1] 램프의 rms 전류, rms전압 특성



[그림 2] 안정기 시뮬레이션 회로

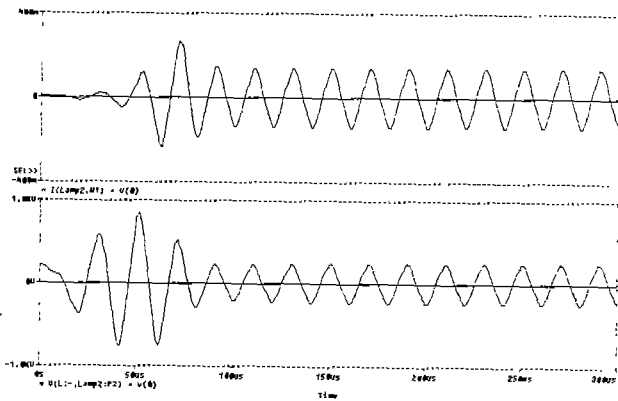


[그림 3] 램프의 PSPICE 모델

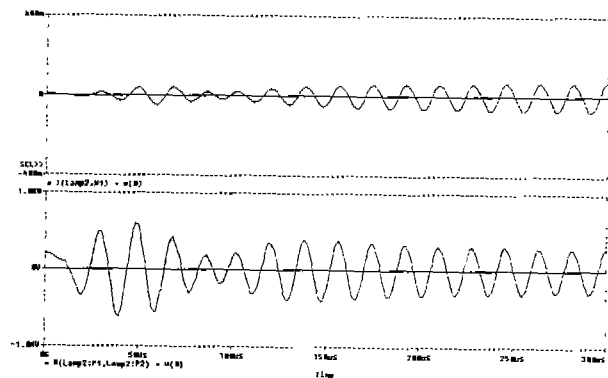
III. 안정기 시뮬레이션

[그림 2]에서 50kHz로 구동하는 전자식 안정기에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 [그림 2]에서 부터 [그림 4]의 경우와 같이 안정기의 램프전압 및

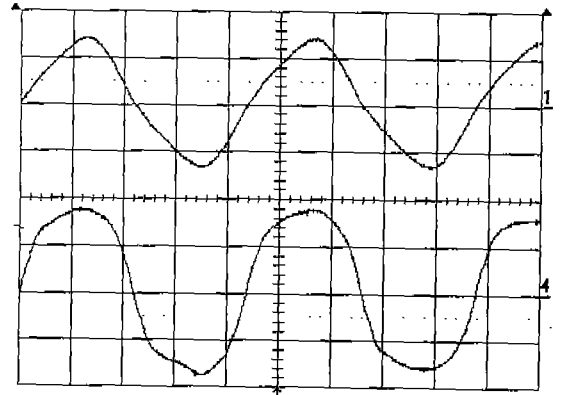
전류에 대한 평균화된 특성을 허용할 수 있는 오차 범위내에서 쉽게 예측할 수 있음을 알 수 있다. 또한 단순히 일정한 저항으로 보지 않고 있기 때문에 동작 점의 변화에 대한 특성을 분석할 수 있다. 특히 조광용 안정기를 설계하는 데 편리한 모델방식이다. 실제 파형과의 비교 경우 실제 파형은 전압/전류의 정현파에서의 왜곡이 존재하는데 이는 존재하는 비선형특성에 기인한다. 평균적 특성외에 파형에 대한 시뮬레이션상에서의 일치를 위해서는 비선형모델을 사용하여야 하며 이 경우는 선형화로 가정된 모델을 curve-fitting등에 의해 비선형 모델을 추출하여 사용하면 가능하나 회로의 초기값설정만을 놓고 본다면 현재의 모델로도 충분한 예측을 할 수 있다.



[그림 4] 시뮬레이션에 의한 램프전류(위, -400mA ~400mA) 전압(아래, -1kV~1kV)



[그림 5] 조광시 시뮬레이션에 의한 램프 전류(위, -400mA~400mA) 전압(아래, -1kV~1kV)



[그림 6] 안정기의 전류, 전압 파형
(200V/div, 100mA/div)

IV 결론

전자식안정기와 같이 고주파수로 구동하는 경우 형광등의 모델은 램프전류에 따라 변화하는 선형저항으로 볼 수 있다. 이 경우 안정기의 회로 파라미터의 초기값을 PSpice 시뮬레이션을 통해서 선정하는데 비록 실제 전압/전류파형은 램프의 비선형특성이 존재하기 때문에 파형에서 차이가 있을 수 있으나 평균화된 특성을 파악하는데 유용한 모델이 될 수 있다. 특히 조광용 안정기를 설계하는 데 있어서 매우 효율적인 설계방향을 제시할 수 있게 된다.

참고문헌

- [1] M. T. Abuelmatti, "Modeling the Current-voltage Characteristic of a Fluorescent lamp for Computer-Aid Design," International Journal of Electronics, Vol. 66, pp. 835-839, 1988.
- [2] S. Ning, "Pspice High Frequency Dynamic Fluorescent Lamp Model," APEC Conference, pp. 641-647, 1996
- [3] S. Yiyong, "Pspice Modeling of Electronically Ballasted compact Fluorescent Lamp Systems," Conference Record of IAS, pp. 2311-2316, 1993.
- [4] Tsai-Fu Wu와, "A PSpice Circuit Model for Low-Pressure Gaseous Discharge Lamps Operating at High Frequency," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 44, pp. 428-4321, 1997