

SPICE를 이용한 무전극 램프의 모델링 및 시뮬레이션

(A SPICE Modeling and Simulation of Electrodeless fluorescent lamp Endura)

박석인* · 한수빈 · 정봉만 · 유승원 · 장우진
(S. Park · S. Han · B. Jung · S. Yu · W. Jang)

Abstract

Electroded lamps operated at a high enough frequency can usually be modeled for the purpose of ballast design, as a resistor. Electrodeless fluorescent lamps include other components such as the arc tube's inductance. But, that's impedance is small and so will be neglected in this paper. So, electrodeless fluorescent lamps is modeled as a resistor. A SPICE compatible model was developed for an electrodeless fluorescent lamp(OSRAM SYLVANIA ICETRON/ENDURA 150W).

1. 서론

형광램프는 형광물질이 내부에 코팅된 유리구로 구성된다. 유리구내부에는 수은과 비활성가스가 조합되어 있다. 램프 동작이 시작되면 수은이 활성화되어 자외선을 방출하여 이것이 형광물질에 도달하여 빛을 낸다. 전극이 있는 램프에서는 전극을 통한 전류에 의해서 수은이 활성화된다. 대부분의 상용 무전극 램프에서는 전자기 유도에 의해서 램프에 전력을 공급한다.

고주파로 동작하는 전극이 있는 램프에서는 안정기설계에서 저항으로 모델링된다. 전자기 유도 램프에서는 다른 요소가 포함된다. 그림 1은 무전극 형광램프 엔두라 광원의 구조도이다. 램프의 방전경로는 두 개의 트랜스포머에 연결된 하나의 2차측권선으로 저항과 인덕턴스로 모델링된다[1]. 각각의 트랜스포머는 램프의 끝부분에 1차권선이 감긴 토로이달 코어로 구성된다.

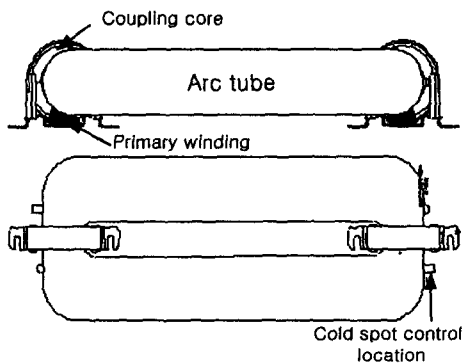


그림 1. 엔두라 광원의 구조

2. 무전극형광램프의 Spice 모델링

무전극 형광램프 엔두라 150W는 전기적 모델에서 발광관은 저항과 인덕턴스로 모델링되며 2.67Ω의 저항 성분과 220nH의 인덕턴스성분을 가진다[2]. 250kHz에서 동작시에 발광관의 인덕턴스의 리액턴스는 0.35Ω이다. 발광관의 인덕턴스는 전체 임피던스에 0.7%정도이므로 모델링에서 무시할 수 있다. 발광관의 임피던스는 램프 전류에 따라 변화한다. 발광관의 램프 전류는 다음과 같이 표현된다.

$$I_{lamp} = \frac{V_{lamp}}{R_{eq}} \quad (1)$$

여기서 I_{lamp} , V_{lamp} , R_{eq} 는 각각 램프전류, 램프전압, 고주파하에서 동작시 램프의 등가 저항이다.

등가 저항 R_{eq} 는 램프 전류의 실효치의 함수이므로, 등가 저항 R_{eq} 의 값은 램프의 실효치 전압과 전류를 측정하여 얻을 수 있다.

램프는 이처럼 램프전압과 전류를 측정하므로써, 중속전압원(전류원)의 형태로 모델링할 수 있다.

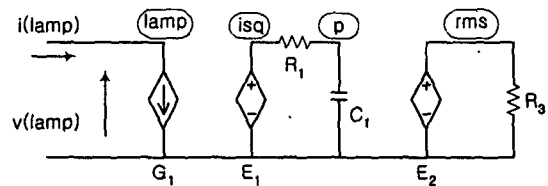


그림 2. 제안된 무전극 형광램프 모델

그림 2는 램프를 식 (1)에 의해서 변화하는 저항을 종속전류원(G_1)으로 모델링한 것이다. G_1 함수의 표현식은 램프전압을 램프의 실효전류함수인 저항 R_{eq} 로 나누는 것이다.

$$G_1 = \frac{V_{lamp}}{R_{eq}(i(rms))} \quad (2)$$

종속전압원 E_1 의 출력치는 램프 전류($i(lamp)$)의 제곱에 비례한다.

$$E_1 \equiv \{i(lamp)\}^2 \quad (3)$$

노드 (isq)에서의 전압출력신호 ($v(isq)$)는 저주파 성분을 얻기 위해서 저주파필터($R_1 C_1$)을 통과한다. 주파수 $f > 1/(2\pi R_1 C_1)$ 이고, 시간 $t > R_1 C_1$ 일 때 node (p)의 C_1 의 평균 전압은 다음과 같다.

$$v(p) = \frac{1}{T} \int_0^T v(isq) dt \quad (4)$$

$$\equiv \frac{1}{T} \int_0^T [i(lamp)]^2 dt$$

여기서, T 는 시상수 $R_1 C_1$ 이다.

필터 전류 I_{rms} 는 노드 (p)의 캐패시터 C_1 의 평균 전압의 제곱근인 E_2 에서 얻을 수 있다.

$$E_2 \equiv \sqrt{v(p)} \quad (5)$$

노드 (rms)의 전압 $v(rms)$ 는 램프 전류의 실효치이다. 이 전압은 식(1)에 의해서 램프전류를 계산하기 위해서 $R_{eq}(v(rms))$ 의 식에 쓰인다. $R_{eq}(v(rms))$ 함수는 램프 전류의 함수로써 위에서 설명한 바와 같이 실제 램프의 전류와 전압과의 관계를 측정하여 얻을 수 있다. 그림 3은 측정된 전류와 전압에서 얻은 등가 저항의 값들이다[3].

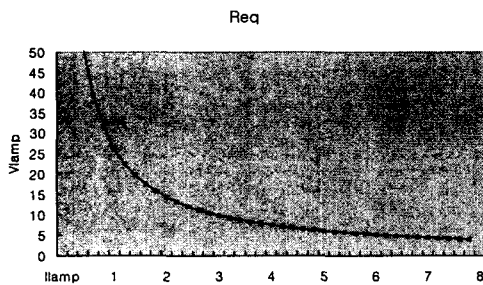


그림 3. 램프전류에 따른 R_{eq} 의 변화

3. 시뮬레이션 결과

그림 4는 시뮬레이션을 하기 위한 간단한 회로이다. 하프 브리지 형태의 간단한 안정기 회로와 공진회로 L, C, r 그리고 엔두라 150W가 결합된 형태이다.

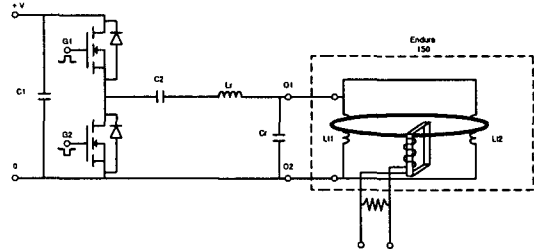


그림 4. 시뮬레이션 모델 회로

그림 5는 그림 4의 시뮬레이션 모델회로를 PSPICE로 모델링한 그림이다.

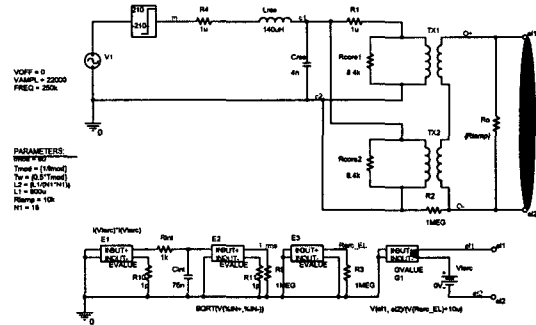


그림 5. SPICE Simulation 모델

두 개의 트랜스포머는 토로이달 코어를 나타내고, 램프는 그림 2에서의 같이 종속전압원 G_1 과 부차적인 소스원 ($E_1 - E_3$)로 구성되었다.

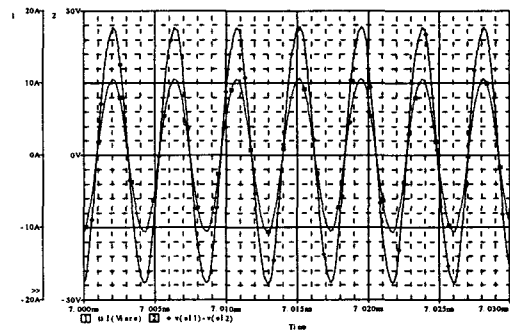


그림 6. 램프 전압과 전류 파형

그림 6는 램프의 전압과 전류파형이다.

램프 모델의 동적특성을 알아보기 위해서 그림 5의 시뮬레이션 모델에 구형파 전압원과 이상적인 스위치를 연결하여 램프 전류에 왜란을 주어 보았다. 그림 8은 왜란을 60Hz와 2kHz로 주었을 때의 램프 전압과 전류의 파형이다.

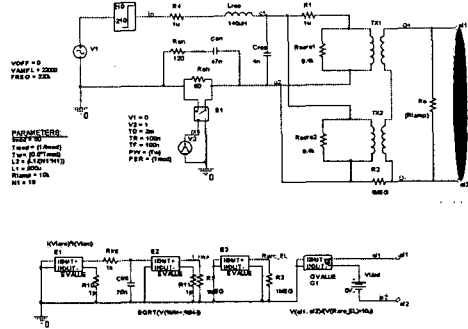
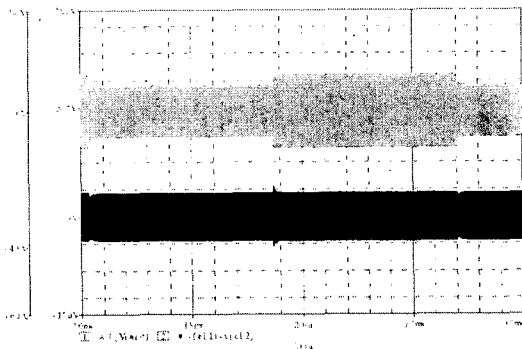
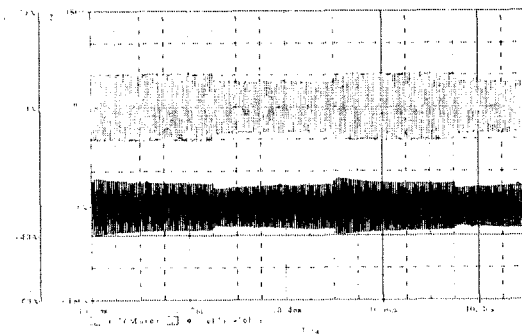


그림 7. SPICE Simulation 동적 특성 모델



(a) 60Hz 변조시 전압 전류 파형



(a) 2kHz 변조시 전압 전류 파형

그림 8. 램프의 동적 특성

4. 결론

무전극 형광램프 엔두라 150W의 전기적 등가회로는 저항과 인덕턴스 성분으로 구성할 수 있다. 그러나 인덕턴스의 임피던스는 저항성분에 비해 작은 값이므로 시뮬레이션 모델을 만들 때 무시할 수 있다. 무전극 형광램프를 저항으로 모델링하고 램프 전류와 램프 전압의 측정으로 램프의 저항값을 구하고, 시뮬레이션 모델을 종속전압원으로 구성하였다. 앞으로 계속된 실험으로 실제적인 무전극 형광램프 안정기 설계에 이용할 수 있도록 모델 파라미터의 개선이 필요하다.

참고 문헌

- (1) Pjejak, R. B., Godyak, V. A., and Alexandrovich, B. M. "A simple Analysis of an inductive RF discharge" Plasma Sources Science. Technology, 1 pp. 179-189. 1992
- (2) James N. L. and Benjamin M. A. "Ballasting Electrodeless Fluorescent Lamps" Journal of the Illuminating Engineering Society, pp. 89-99. summer, 2000.
- (3) Sam Ben-Yaakov, Moshe Shvartsas and Jim Lester "A Behavioral SPICE Compatible model of an electrodeless fluorescent lamp" APEC, pp. 948-954. 2002
- (4) Wharmby, D. O., "Electrodeless lamps for lighting : A Review," IEE Proceedings-A, Vol.140, No. 6, November 1993.
- (5) 오솔람사, "제품사양서", 2000
- (6) Wharmby, D. O., "Electrodeless lamps for lighting : A Review," IEE Proceedings-A, Vol.140, No. 6, November 1993.