

전자식 안정기를 위한 형광램프 모델링

(Modeling of Fluorescent Lamp for Electronic Ballast)

이진우

호서대학교 제1공학부 전기전공

Chin Woo Yi

Dept. of Electrical Engineering, Hoseo University

Abstract

This paper introduces a fluorescent lamp model based on gas discharge phenomena. This model was applied to electronic ballast. Simulation and experimental results were presented to verify the feasibility of the modeling.

1. 서론

효율적인 형광램프용 전자식 안정기의 설계를 위하여는 형광램프의 전기적 특성 파악이 매우 중요하다. 그러나 형광램프는 비선형 특성을 갖고 있어 특성의 표현이 곤란하여, 회로설계시 간략화된 등가저항모델을 사용하고 있으나 실제 안정기 제작과정에서 많은 시행착오를 겪고 있는 실정에 있다. 그러므로 전자식 안정기회로 설계시 수식모델에 적용이 가능한 형광램프의 수식모델의 개발이 필요하며, 이러한 모델은 형광램프용 안정기 설계의 효율성을 제고할 수 있어, 설계에 필요한 시간과 자원의 절감이 가능하며, 본 연구의 결과는 저압 불활성기체방전, 금속증기혼합 불활성기체방전, 고압 MHD 방전과 금속증기혼합 펄스구동 엑시머 레이저 등에서의 원용이 가능할 것이다.

본 연구에서는 형광램프용 전자식 안정기 설계에 필요한 형광램프의 전기적 특성의 모델링을 수행하였다.

본 연구의 결과는 형광램프의 특성의 이론적 규명이 가능할 뿐만 아니라 전자식 안정기 설계에 직접 활용이 가능하게 될 것이다.

형광램프를 비롯한 방전램프의 모델링에 관한 연구들은 다음과 같이 분류 할 수 있다.

(1) 등가콘덕턴스 모델로 방전램프의 전기적 특성을 시뮬레이션하는 방법으로, 이 모델에서는 방전램프 내의 전자밀도 변화를 전자밀도, 전류 및 순시콘덕턴스로 표현하여, 각 항의 계수를 실측된 전기적 특성으로부터 회귀하여 구한다음, 이 식과 회로방정식을 연립시켜 방전특성을 해석하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 모델방정식을 구성하는 항에대한 이론적 근거가 희박하고, 램프전압과 전류의 변화만을 계산하므로, 일반적인 방전램프의 해석에는 한계가 있다. (V. J. Francis, 1948; S. C. Peek, 1968; H. Bo, 1973,1983)

(2) 에너지평형식을 이용하여 회로방정식과 함께 시뮬레이션하는 방법으로 이론적 근거가 명확하고 고찰방법이 뛰어나지만 에너지평형식 중의 방사에너지를 온도의 함수로 정확히 표현하는 것이 어렵고 계산이 대단히 복잡하게 된다.(J. J. Lowke, 1975; C. L. Chalek, 1981) 이러한 단점을 보완하기 위하여 방전관 내부에서 일어나는 전기적, 열역학적 현상을 단순화시켜서 방전관 내의 기체온도에 대한 시간적 변화를 전기적 입력에너지와 방시 및 전도에 의한 손실에너지와의

차에 비례한다고 가정하여, 이를 방전관 전체에 대한 에너지퍼형원리에 따라 결합시키는 모델을 구성하였다. 그러나 이 모델은 간편하게 사용할 수는 있으나 방전램프 내의 온도분포를 고려하지 않았으며, 온도방사 및 공진선의 자기흡수 현상을 무시 하였다. (E. L. Laskowski, 1981)

(3) 방전기체의 에너지레벨을 고려하여, 방전관 내의 전자, 기저상태 및 여기상태의 원자에 대한 입자평형식과 전자의 에너지평형식을 구성하고, 이로부터 방전관의 물리적, 전기적 특성을 구하는 방법이다. 이 중에는 전자의 에너지 분포 함수를 Max-wellian 분포로 가정하는 대신, 높은 에너지를 갖는 전자의 결핍을 보정하는 Two Electron Group Model (2-EGM)을 제안하여 사용하고 있다. 방전기체의 에너지레벨 모델에 기초한 입자 및 에너지평형식은 이론적 근거가 명확하다. (J. Polman and P. C. Drop, 1972, 1974; L. Vriens, 1973)

(4) 방정식의 해를 수치해석을 이용하지 않고, 해석적인 방법을 사용하여 구하는 방법으로, 대체로 전리평형식, 여기원자에 대한 입자평형식 및 전자에너지평형식을 이용하고, 전자기동도를 간단한 형태로 표현하여, 방전변수 사이의 수식적인 관계를 구하는 것이다. 방정식의 구성은 방전기체의 에너지레벨을 고려한 모델에 기초하므로 위의 세번째 방법과 유사하나, 해석적인 결과를 얻기 위하여, 방전관 전체에 대한 평형식으로 변환되는 점이 다르다. 이 중에는 별도 매개변수의 조정없이도 제반 물리량과 방전변수에 따른 변화가 실험치에 근접한 결과를 얻을 수 있을 뿐 아니라 이들 사이의 수식표현을 가능하게 한 연구도 있다. 그러나 해석적인 해를 얻기 위하여 많은 가정을 사용하고 있으며, 그 중에서도 방전관 내의 전자밀도 또는 방전전류의 변화에 관계없이 전자온도가 일정하다고 가정한 점과 이에 따라 각종 천이확률계수가 일정하게 되는 것은 이론적

인 근거를 약화시키는 점으로 지적되고 있다. (W. L. Lama, 1982)

2. 본 론

2.1 회로의 수학적 모델

방전 플라즈마는 약이온화되어 있으며, 축방향으로 균일하며, 축대칭이라고 가정한다. 수은의 기저상태와 회유 가스 원자의 밀도는 축의 단면에 대하여 일정하다고 가정한다. 본 모델에 고려한 수은의 여기레벨은 $Hg(6^1P_1)$, $Hg(6^3P_0)$, $Hg(6^3P_1)$, $Hg(6^3P_2)$ 이다. 에너지레벨 다이어그램을 그림 1에 나타내었다.

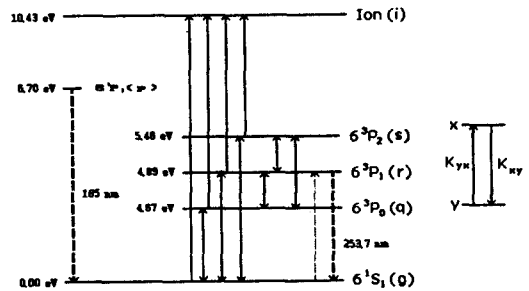


그림 1 수은원자의 에너지레벨

n_q , n_r , n_s , n_e 에 대한 연속 방정식을 다음 식 (1)-(4)에 표시하고 있으며, 전자에너지 U_e (Maxwellian 전자 기체에 대하여 $=3/2 kT_e$)에 대한 보존 방정식을 식(5)에 나타내고 있으며, 회로방정식을 식(6)으로 표현하였다. 그림 2에 나타난 회로는 시험 램프 모델에 사용한 회로의 개략도이다.

$$\frac{\partial}{\partial t} n_q(r,t) = -D_f \nabla^2 n_q(r,t) + n_e(r,t) [K_{qg} n_g + K_{qr} n_r + K_{qs} n_s + K_{qe} n_e(r,t)] - (K_{qg} + K_{qr} + K_{qs} + K_{qe}) n_q(r,t) \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_r(r,t) = -D_f \nabla^2 n_r(r,t) + n_e(r,t) [K_{rg} n_g + K_{rr} n_r + K_{rs} n_s + K_{re} n_e(r,t)] - (K_{rg} + K_{rr} + K_{rs} + K_{re}) n_r(r,t) - \frac{m(r,t)}{r^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_s(r,t) = -D_f \nabla^2 n_s(r,t) + n_e(r,t) [K_{sg} n_g + K_{sr} n_r + K_{ss} n_s + K_{se} n_e(r,t)] - (K_{sg} + K_{sr} + K_{ss} + K_{se}) n_s(r,t) \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} n_s(r,t) = -D_s \nabla^2 n_s(r,t) + n_s(r,t) [K_{p1} n_i + K_{p2} n_s(r,t) + K_{p3} n_s(r,t) + K_{p4} n_s(r,t)] \dots (4)$$

$$\frac{d}{dt} \{ n_s(0,t) U_s(t) \} = n_s(0,t) \{ -2v_{sat} [U_s(t) - U_{s1}] + \mu_s \{ F(t) \}^2 + \sum_{n,j} K_{n,j} n_s(0,t) \Delta U_{n,j} \} - \frac{n_s(r,t)}{\tau_{eff}} \Delta U_{n,j} \times 1.1 \dots (5)$$

$$L_c \frac{dI(t)}{dt} + R_c I(t) + \frac{1}{C_c} \int I(t) dt + V_s(t) = V_s(t) \dots (6)$$

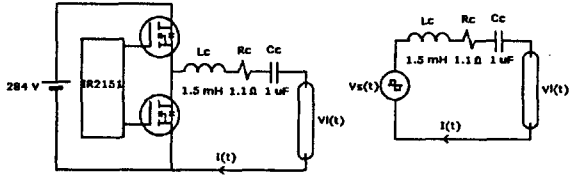


그림 2 모델링에 사용한 형광등 회로

2.2 수학적 해석 및 실험 결과

식(1)-(4)는 시간 변수(t)와 길이 변수(r)을 갖는 연립 편미분 방정식이다. 또한 식(5), (6)은 시간 변수(t)를 갖는 연립 상미분 방정식이다. 이들 방정식을 FDM과 2계 Runge-Kutta방법의 혼합법을 사용하여 수치적으로 풀어 해를 구하였다. 경계조건은 축에서는 Dirichlet condition을 관벽에서는 Neumann condition을 사용하였다.

본 모델의 타당성은 40[W] T-10 램프(관벽온도 40[°C])에 대한 램프 전압과 전류의 파형과 전류-전압 특성 곡선을 이론치와 실험치를 비교하여 검증하였다.

그림 3에 램프 전압과 전류 파형의 시뮬레이션 결과를 그림 4에 이들의 실험 결과를 도시하였다. 또한 그림 5에 램프 전류-전압특성의 시뮬레이션 결과를 그림 6에 실험 결과를 나타내었다.

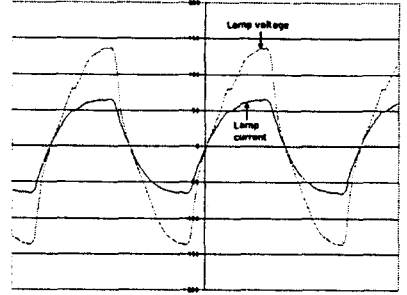


그림 3 램프 전압, 전류의 시뮬레이션 결과

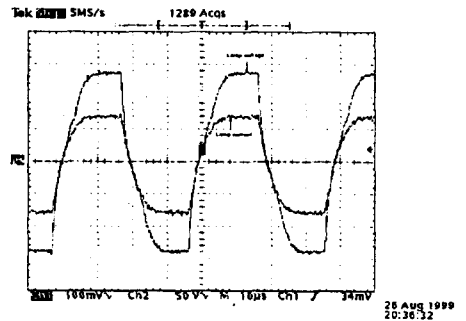


그림 4 램프 전압, 전류의 실험결과

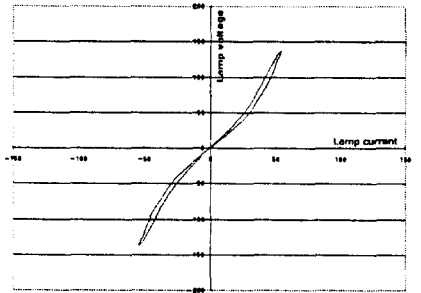


그림 5 램프 전류-전압 특성 시뮬레이션 결과

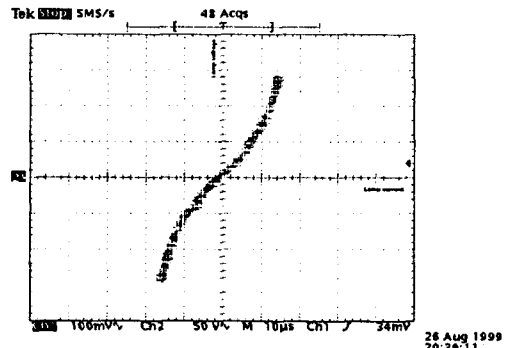


그림 6 램프 전류-전압 특성의 실험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 전자식 안정기를 위한 광범위한 램프 전력 및 구동 주파수에 적합한 개선된 형광 램프 모델을 제안하였다. 이 모델은 형광램프의 동작 특성을 이해하는데 유용한 도구가 될 것이며, 형광램프용 전자식 안정기의 설계에 도움을 줄 것이다. 더욱 정확한 해를 얻기 위한 모델에는 정확한 전자분포함수, 공진방사 및 전극 전압 강하에 대한 문제가 해결되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. H. Yu, H. M. Huang, and T. F. Wu, "Self-Excited Half-Bridge Series Resonant Parallel Loaded Fluorescent Lamp Electronic Ballasts", IEEE APEC Conference Record 1995, pp. 657-664.
- [2] Sun, Yiyong, "Using PSpice to Determine Lamp Current Variations Due to Electronic Ballast Component Tolerance", IEEE IAS Conference Record 1994, pp.1974-1978
- [3] U. Mader and P. Horn, "A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps", IEEE IAS 1992, pp. 1928-1934
- [4] Ning Sun and Bryce Hesterman, "PSpice High Frequency Dynamic Fluorescent Lamp Model", IEEE 1996, pp.641-647
- [5] Koichi Wani, "Simulation Model for Fluorescent Lamps", J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 73, No. 9 1989, pp. 8-12
- [6] Cayless, M. A., "Theory of the Positive Column in Mercury - Rare Gas Discharge", Brit. J. Appl. Phys. Vol. 14, No. 12, 1963, pp. 863-869