

螢光램프의 起動時 過渡特性 모델 解析

(A Transient Model Analysis of a Fluorescent Lamp at Startup Time)

咸仲杰* · 白壽鉉**

(Jung-Keol Ham · Soo-Hyun Baek)

요 약

형광램프는 에너지효율이 높아 상업용 조명설비에 많이 사용된다. 형광램프 시스템의 설계에서 안정기의 설계는 형광램프의 특성을 고려하는 것이 매우 중요하다. 특히, 시동시 형광램프의 과도특성은 안정기 설계시 좀더 많은 설계사양들을 제공하게 된다.

이 논문에서는 시동시 과도특성에 근거한 형광램프의 동작모델을 등가회로로 나타냈다. 이 모델은 제조사가 다른 형광램프에도 폭 넓게 적용이 가능하다.

실험에 의해 얻어진 결과를 등가회로 모델에 의한 Pspice 시뮬레이션에 의해 나타난 결과와 비교한 결과, 본 논문에서 제시한 모델이 실질적으로 효용성이 있음을 나타냈으며, 자기식안정기 및 전자식안정기의 설계시 형광램프의 시동과도특성에 의한 안정기 조건 설계들을 더욱 명확하게 알아낼 수 있었다.

Abstract

Fluorescent lamps are widely accepted to energy efficient commercial lighting applications. In designing a fluorescent lamp system, a ballast design heavily relies on the characteristic of a fluorescent lamp under consideration. Especially, at startup time, the transient characteristic of a fluorescent lamp puts much tighter specifications of a design.

In this paper, based on the transient characteristic at the startup time, a transient behavioral model of a fluorescent lamp is presented with an equivalent circuit. The model is applicable to the wide range of fluorescent lamps provided by different manufacturers.

The experimental results are compared with the results provided by PSPICE simulation. The result shows the model is effective in practice. As a result, we could identify more accurate startup constraints to decide the design of either an electromechanical or an electronic ballast.

*正會員：産業技術研究院 先任研究員
接受日字：1996年 8月 26日

**正會員：東國大學校 電氣工學科 教授

1. 서 론

형광램프는 일반적으로 상업용 및 옥내 조명용으로 사용된다. 형광램프의 장점으로는 다른램프에 비해 증대된 광효율로 인한 에너지 절약과 장수명에 의한 유지보수비의 감소이다.

형광램프의 기본적 동작원리는 최초의 사용 이래로 변화가 거의 없다. 즉, 전극, 충전가스(대개 아르곤), 수은 및 유리관 내벽에 도포된 형광물질로 구성된 형광램프와 안정기로 구성되어 있다. 여기서 안정기는 형광램프를 점등시키기 위해 매우 중요한 역할을 한다. 즉, 램프를 점등시키기 위해 펄스를 발생시켜 전자의 충돌을 일으키며, 이때에 발생하는 전자 충돌의 밀도는 램프의 수명에 매우 커다란 영향을 준다. 여기서, 전자충돌 밀도는 시동시간 동안 안정기에 공급된 전기에너지에 비례한다. 그러므로 안정기의 설계는 정상동작상태 뿐만 아니라 시동초기 과정에서 램프에 미치는 영향을 고려 해야한다.

즉, 시동초기시 램프에 미치는 영향중 램프수명은 램프 그 자체와 안정기의 형태에 따라서 달라진다. 지금까지 안정기는 램프수명과 관련된 과도동작 특성을 고려하지 않고 설계되었다. 여기서 우리는 과도시 램프의 정확한 모델을 찾고, 이로인해 램프의 수명을 길게 할 뿐만 아니라 안정기의 최적설계를 할 수 있다. 본 논문에서는 형광램프의 수명도 길게하고 안정기를 최적설계할 수 있는 형광램프의 과도 특성을 등가회로 모델로 얻고자 한다.

2. 형광램프 시스템의 개요

최근에 형광램프의 동작에 관련된 여러편의 논문이 발표되었다. 정상상태에서의 저항-램프 모델을 사용한 Pspice 시뮬레이션의 램프모델이 등가저항으로서 특정 지어졌다.¹⁾ 형광램프의 시동시에 램프양단에는 매우 높은 전압의 펄스가 걸리면서 램프가 시동되기 때문에 시동과정은 램프수명에 영향을 준다. 즉, 고전압의 펄스는 램프의 필라멘트에 충격을 주고, 램프의 수명을 짧게한다. 즉, 시동과정의 충격은 램프 수명에 여러가지

영향을 주기 때문에 매우 중요하다.²⁾ 래피드 스타트 안정기는 필라멘트가 전류를 충분히 유지하도록 가열될 때까지 아아크전류가 증가되지 않기 때문에 램프수명 단축에 영향을 주는 충격을 감소 시킬 수 있다. 또한, 안정기는 정상상태에서 전류증가에 의한 파손을 막기 위해 램프전류를 제한하는 것이다.³⁾ 고주파 동작 형광램프 시스템은 형광램프내의 이온화된 가스의 열시정수가 저주파수 일때보다 크고 전류는 거의 정현파이기 때문이다.^{4) 5)} 형광램프가 고주파로 동작될 때는 플리커가 없고, 높은 광출력 및 낮은시동전압등의 많은 장점이 있다.⁶⁾ 즉, 시동전압의 크기는 예열전류의 크기 및 예열기간에 의해 결정된다.⁷⁾ 예열형필라멘트는 냉음극 시동조건보다 쉽게 열전자를 방출하므로 램프양단에 걸리는 전압을 작게해도 램프를 쉽게 시동할 수 있다.

3. 형광램프 시스템의 실험결과 및 고찰

램프의 동작특성중 과도특성과 정상상태 특성의 두개의 다른 특성은 램프의 구동방법에 따라 다르게 나타난다. 재래적인 형광램프 시스템의 설계는 가격의 효율적인 면과 램프의 장수명화에 대한 각 특성을 고려하지 않고 단순화 되었다. 그러나 본 논문은 안정기의 두 상태를 모두 고려해서 설계 될 수 있도록 하였다. 사실상, 안정기의 인덕턴스는 램프의 점등, 안정기의 크기 및 가격 결정의 요인이 되며, 시동시의 큰 피크 전압은 램프수명을 감소시킨다. 그러므로 재래적인 안정기의 설계 방법으로는 최적조건이 될 수 있는 시스템을 구현하는데 어려움이 많다. 본 연구는 실험을 통해서 자기식안정기의 인덕터가 시동시에 시동 펄스전압을 발생시켜 점등하고 정상상태에서는 전류의 증가를 제한하면서 최적의 설계가 될 수 있는 조건을 찾는 방법을 연구하였다. 즉, 램프의 특성을 등가회로 모델로 하여 성능 및 가격적인 면에서 최적의 설계방법을 찾고자 한다.

현재까지 대부분의 논문들은 정상상태만을 다루었다 그러나 시동시 램프 양단에 걸리는 불필요한 큰 에너지 충격은 램프수명을 감소시키는

단점이 있으므로 최적의 인덕턴스값을 결정하기 위한 형광램프의 시동시 과도특성을 좀더 정확히 해석 해야한다.

형광램프의 과도특성은 다음의 두가지 요소에 의해 주로 좌우 된다고 할 수 있다. 첫째는 인덕턴스에 의해 안정기에 에너지가 축적되고, 둘째는 축적된 에너지를 적당한 시간내에 램프 양단에 인가 해주는 문제이다. 이를 실험적으로 파악 하기 위하여 그림 1과 같이 V_{pp} 를 램프 양단에 걸리는 첨두전압 그리고 Tf를 램프시스템에 입력전압의 예열전류가 차단되는 입력전압 인가(1초)후의 영전위부터의 경과시간 이라고 놓는다.

시동첨두전압의 크기는 필라멘트 예열시간에 관련이 있다. 즉, 예열시간이 길면 램프를 시동하는데 낮은 첨두전압(시동전압)이 요구된다. 또한, 인덕턴스에 축적된 에너지의 점등하는 시각도 첨두전압의 크기에 영향을 준다.

즉, 이 두개의 요소로부터 과도 특성을 찾는 것이다.

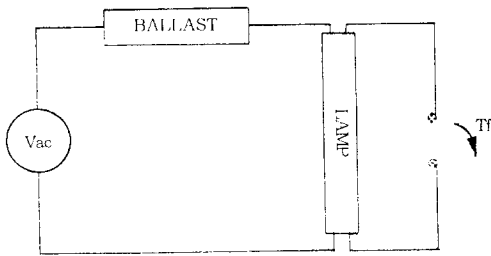


그림 1. 형광램프 시스템
Fig. 1. Fluorescent Lamp System

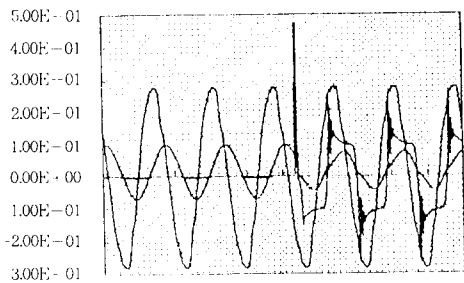


그림 2. 형광램프 시스템의 입력전압, 램프전압 및 램프전류 파형
Fig. 2. Input Voltage, Lamp Voltage and Lamp Current Waveform of Fluorescent Lamp System

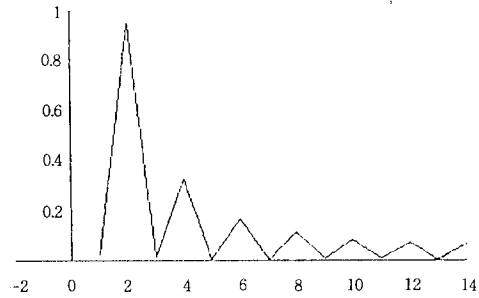


그림 3. 정상상태시 Vf의 주파수 스펙트럼
Fig. 3. Frequency Spectrum of Vf at startup time

즉 적당한 인덕턴스와 필라멘트 예열시간을 선정하여 최소의 V_{pp} 를 만들 수 있다. 예열시간은 램프수명에 관계되므로 무한정 길어질 수 없게 된다. 여기서 우리는 예열시간을 1.0초로 놓고 시험을 행했다.

시험장치로는 FLA0W(TL형)으로 구성된 램프 시스템의 등가회로 모델을 만들었다. 그리고 자기식안정기로는 임피던스 $Z=341(\Omega)$, 주파수 $f=60(\text{Hz})$, 기준전류 $I=0.435(\text{A})$ 를 사용했다.(주위온도 $25(^{\circ}\text{C})$)

그림 2는 시간에 따른 전압, 전류의 파형을 나타내며, 시동시 나타나는 램프 양단의 피크 전압파형(약 $470(\text{V})$)을 포함한 파형을 측정 한 결과 동작중인 램프의 전압응답 파형은 구형파이다. 이것은 램프전압이 정상상태에서 펄스라는 것을 의미한다.

이 파형을 FFT를 사용해서 분석한 것으로 그림 3에서 나타내는 것 처럼 스위칭 동작의 상태를 나타낸다. 여기서 X축의 2는 $60(\text{Hz})$ 를 나타낸다. 이것은 램프 입력전압을 $60(\text{Hz})$ 의 우수고조파 스펙트럼으로 놓은 것이다.

여기서 FFT 결과는 $60(\text{Hz})$ (기본파)의 배수의 우수고조파를 포함하는 과도특성을 나타낸다. 또한 램프 관전류의 과도 변화율을 살펴보면 형광램프의 등가회로에는 회로소자 커패시터 C의 특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 그러므로 램프의 과도특성은 그림 4와 같이 등가회로로 표현할 수 있다. 즉 그림 4는 안정기의 인덕턴스 L과 내부저항 R1으로 구성되며, 램프는 다음과 같이 두

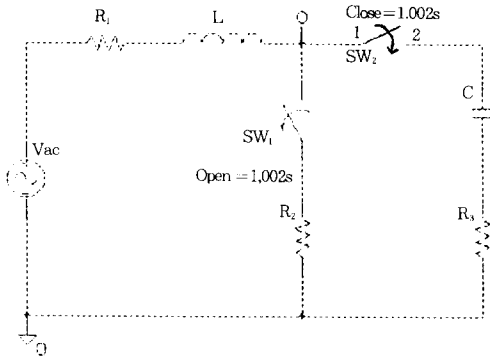


그림 4. 형광램프시스템의 등가회로
Fig. 4. Equivalent Circuit of Fluorescent Lamp system

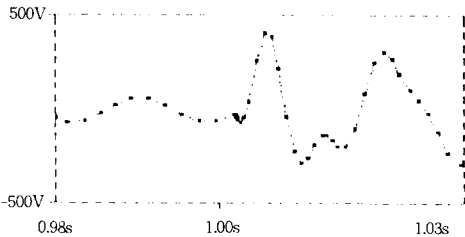


그림 5. PSPICE 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Result of Pspice Simulation

개의 부분회로로 구성할 수 있다. 즉, R2와 스위치(대개 글로스타터)는 예열시와 기동시에 대해 각각 필라멘트의 저항성분을 나타내며, R3와 C는 램프의 고유 성분을 나타낸다.

시동시, 형광램프 양단에 걸리는 시동 피크 전압은 필라멘트의 예열시간과 입력전압의 영전위 후의 점화되는 위상각의 위치에 따라서 다르게 된다. 여기서, 우리는 일련의 실험후에 가장 적합한 예열시간에서 시작해서 이 논문을 통해서 그값을 결정해서 사용했다.

그림 5는 그림 4의 등가회로를 사용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

실험방법으로 그림 1에서 주어진 시스템에 대해 그림 4와 같은 특성을 가진 스위치 소자를 하드웨어적으로 만들어, 시동시에는 스위치 SW1은 닫혀지고, 반면에 스위치 SW2는 열려진다. 이 상태는 입력전원이 인가되었을 때 스타터가 필라멘트를 예열하도록 하는 것이며, 1.0초후, 즉, 120 사이클후의 영전위(Zero Crossing)가 지나고

2mSec가 지나면(정현파 입력의 약 68degree 위상)에서 스위치 SW1은 필라멘트를 통해서 예열되는 전류를 차단하도록 열고, 스위치 SW2는 램프를 시동하도록 동기적으로 동작하는 스위치회로를 구성했다.

이때에 인덕터 L에 의해서 고전압이 발생하고 이것은 형광램프를 시동하도록 램프의 양단에 가해진다.

그림 6은 예열시간의 가감 변화 및 스타터의 점화 위상각 차이에 따른 램프전류(상) 및 램프 양단에 걸리는 전압파형(하)을 형광램프의 점등 상태를 확인하면서 과정을 데이터로거로 나타낸 것이다.

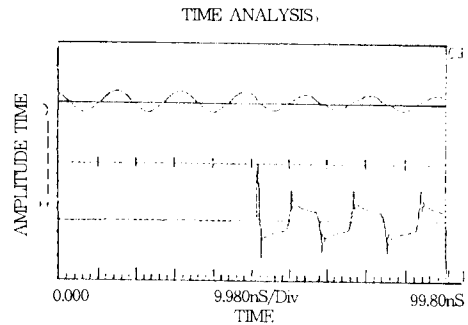


그림 6. 램프전류(상) 및 램프전압파형(하)
Fig. 6. Lamp Current(UP) and Lamp Voltage Waveform (DOWN) at startup time

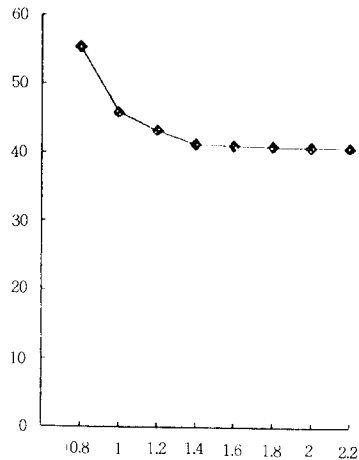


그림 7. 점등시 예열시간과 점화위상각의 관계
Fig. 7. Relation of Preating Time and Ignition Phase at startup time

그림 7은 필라멘트 예열시간의 가변(0.8초에서 2.2초까지 변화)에 의해 형광램프가 점등될 수 있는 점화위상각의 위치를 측정한 결과로 예열시간의 변화시 램프를 점등시킬 수 있는 최소점등 위상각의 영역을 측정할 수 있었다.

이 실험방법에 의한 결과 필라멘트 예열시간이 1.4초를 초과하는 경우에는 최소점화 위상각(약 41degree)부근으로 포화됨을 알 수 있었다.

즉, 램프시스템 설계시 과도특성과 정상상태 특성 모두는 램프의 수명과 램프설계시 관련된 가격적인 면에서 커다란 영향이 있다. 또한, 고전적인 램프시스템 설계는 시동시에 지나치게 많은 에너지가 필요하게 되며, 이러한 특성은 시공상에서 과용량 설정 및 순간 순시전력의 증대로 발전소나 변전소에 짧은 순간동안 커다란 돌입전류가 발생하는 원인이 된다.

4. 결 론

본 논문은 시동시의 과도특성을 분석하였고, 그 등가회로를 Pspice로 시뮬레이션 한것과 비교하였다. 실험적 결과와 등가회로 모델의 시뮬레이션은 효율성이 있음을 나타냈고, 또한, 예열전류의 예열시간에 대한 시동전압의 특성을 알아낼 수 있었다. 즉, 점등시 필요한 예열시간과 시동전압의 관계 및 인덕터 L과 위상각 변화에 따른

시동전압 특성을 파악하였다. 최종적으로 등가회로의 시뮬레이션 및 점등위상각에 의한 안정기의 최적 설계 및 전자식 스타터의 램프 모델에 대한 점화 시동전압의 정확한 모델을 구할 수 있는 점등조건을 찾을 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) Yiyoong Sun, "PSPICE modeling of electronically ballasted compact fluorescent lamp system," IEEE-IAS Annual Meeting, pp. 2311~2316, 1993.
- 2) C.R. Sullivan and A.C. Drescher, "Influence of on-time and use frequency on cost effectiveness of compact fluorescent lamps", IEEE-IAS Annual Meeting, pp.2283~2290, 1993.
- 3) E.E. Hammer, "Fluorescent system interaction with electronic ballasts" Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 20, Winter 1991.
- 4) E.E. Hammer, "Fluorescent lamp Starting Voltage Relationship at 60[Hz] and High Frequency", Journey of IES, pp.36~46, 1983.
- 5) V.J. Francis, "Fundamentals of Discharge Tube Circuit", Metherul and Co. LTD., London, 1948.
- 6) E.E. Hammer, "High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamps Up to 500[kHz]", Journal of the Illuminating Engineering Society, pp.56~61, Winter 1987.
- 7) J.K.Ham, S.Y.Lee, S.H.Baek, K.Y.Lee, "A Transient Modeling of a Fluorescent Lamp at Start-Up Time", ICPE '95, pp. 586~590, October 10~14, 1995.

◇ 著 者 紹 介 ◇



함 중 걸(咸仲杰)
1956년 2월 19日生. 1981年 漢陽大 學校 工科大學 電氣工學科卒. 1987年 同大學院 電氣工學課 卒(석사). 現在 生産技術研究院 先任研究員. 電氣應用技術士.



백 수 현(白壽鉉)
1949年 5月 20日生. 1972年 한양대 전기공학과 졸. 1974年 한양대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1983年 한양대 대학원 전기공학과 졸(박사). 現在 東國大 電氣工學科 教授. 大韓電氣學會 總務理事.