

實驗値에 의한 螢光램프의 起動 및 周波數特性 모델링 (A Characteristics Modelling of Start-up and Frequency of Fluorescent Lamp by Empirical Values)

합중결* 생산기술연구원
 백수현 동국대학교 전기공학과
 김일남 대유공업전문대 전기공학과
 맏인재 동국대학교 전기공학과

요 약

형광램프 시스템의 설계에서 안정기의 설계는 형광램프의 특성을 고려하는 것이 매우 중요하다. 특히, 시동시 과도특성에 근거한 형광램프의 동작모델을 등가회로로 알아내기 위해 실험에 의해 얻어진 결과를 등가회로 모델링과 Pspice 시뮬레이션에 의해 나타난 결과와 비교 분석하였으며, 특히 고주파용 형광램프의 동작 특성은 동작주파수, 형상, 램프 전압 및 전류값에 따라 차이가 많기 때문에 형광램프의 특성은 안정기의 특성을 고려한 형광램프 시스템의 동작특성 정합성에 매우 중요하다. 형광램프에 대한 고주파 특성으로 가장 많이 사용되는 주파수 영역(12Khz - 50Khz)에 대해서 실험, 분석한 결과 형광램프의 부(負) 임피던스 동작특성을 파악하고 고주파 형광램프의 최적 특성치를 선택할 수 있는 방법을 제시하였다.

1. 서 론

형광램프의 장점으로는 다른 램프에 비해 증대된 광효율로 인한 에너지 절약과 장수명에 의한 유지보수비의 감소이다. 형광램프시스템은 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 미친다. 여기서, 전자충돌 밀도는 시동시간 동안 안정기에 공급된 전기에너지에 비례한다. 그러므로 안정기의 설계는 정상동작상태 뿐만 아니라 시동초기 과정에서 램프에 미치는 영향을 고려해야 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 스타아트 안정기는 필라멘트가 전류를 충분히 유지하도록 가열될 때까지 아아크 전류가 증가되지 않기 때문에 램프수명 단축에 영향을 주는 충격을 감소 시킬수 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⁾ 형광램프가 고주파로 동작될때는 프리커가 없고, 높은 광출력 및 낮은시동전압등의 많은 장점이 있다.⁵⁾ 즉, 시동전압의 크기는 예열전류의 크기 및 예열기간에 의해 결정된다. 예열형 필라멘트는 냉음극 시동조건보다 쉽게 열전자를 방출하므로 램프양단에 걸리는 전압을 작게 해도 램프를 쉽게 시동할 수 있다.

3. 형광램프 시스템의 실험결과 및 고찰

램프의 동작특성중 과도특성 과 정상상태특성의 두개의 다른 특성은 램프의 구동방법에 따라 다르게 나타난다. 현재까지 대부분의 논문들은 정상상태만을 다루었다 그러나 시동시 램프 양단에 걸리는 불

필요한 큰 에너지 충격은 램프수명을 감소시키는 단점이 있으므로 최적의 인덕턴스값을 결정하기 위한 형광램프의 시동시 과도특성을 좀더 정확히 해석해야 한다.

형광램프의 과도특성은 다음의 두가지 요소에 의해 주로 좌우된다고 할 수 있다. 첫째는 인덕턴스에 의해 안정기에 에너지가 축적되고, 둘째는 축적된 에너지를 적당한 시간내에 램프양단에 인가 해주는 문제이다. 이를 실험적으로 파악하기 위하여 그림.1과 같이 Vf를 램프양단에 걸리는 전압, Vpp를 침두전압 그리고 If를 램프시스템에 입력전압의 영전위 후의 경과시간 이라고 놓는다. 시동침두전압의 크기는 필라멘트의 예열시간에 관련이 있다. 즉, 예열시간이 길면 램프를 시동하는데 낮은 침두전압이 요구된다. 또한, 인덕턴스에 축적된 에너지의 점등하는 시각도 침두전압의 크기에 영향을 준다. 즉, 이 두개의 요소로 부터 과도특성을 찾는 것이다. 즉, 적당한 인덕턴스와 필라멘트 예열시간을 선정해서 최소의 Vpp를 만들 수 있다. 예열시간은 (2)의 제약에 의해서 램프수명에 관계되므로 무한정 길어질 수 없게 된다. 여기서 우리는 예열시간을 1.0초로 놓고 시험을 행했다. 시험장치로는 FL40W(TL형) 으로 구성된 램프시스템의 등가회로 모델을 만들었다. 그리고 자기식안정기로는 임피던스 $Z=341[\Omega]$, 주파수 $f=60[\text{Hz}]$, 기준전류 $I=0.435[\text{A}]$ 를 사용했다.

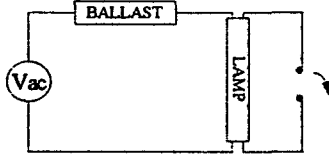


그림. 1. 형광램프 시스템

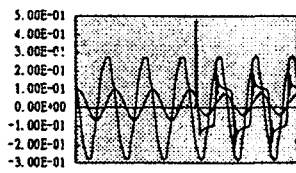


그림. 2. 형광램프 시스템의 입력전압, 램프전압 및 램프전류 파형.

그림.2는 시간에 따른 전압, 전류의 파형을 나타내며, 시동시 나타나는 램프 양단의 피크 전압파형(약470V)을 포함한 파형을 측정할 결과 동작중인 램프의 전압응답 파형은 구형파이다. 이것은 램프전압이 정상상태에서 펄스를 포함하는 것을 의미한다. 이파형을 FFT를 사용해서 분석한 것으로 그림.3에서 나타내는 것 처럼 스위칭 동작의 상태를 나타낸다. 여기서 X축의 2는 60Hz를 나타낸다. 이것은 램프입력전압을 60Hz의 우수고조파 스펙트럼으로 놓은 것이다.

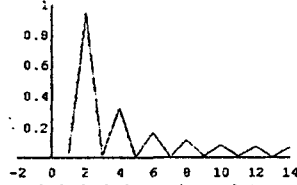


그림. 3 정상상태시 Vf의 주파수 스펙트럼

여기서 FFT 결과는 60Hz(기본파)의 배수의 우수고조파를 포함하는 과도특성을 나타낸다. 또한 램프 판전류의 과도 변화율을 살펴보면 형광램프의 등가회로에는 회로소자 캐패시터 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 두개의 부분회로로 구성할 수 있다. 즉, R2와 스위치(대개 글로우스타아터)는 예열시와 기동시에 대해 각각 필라멘트의 저항성분을 나타내며, R3와 C는 램프의 고유 성분을 나타낸다.

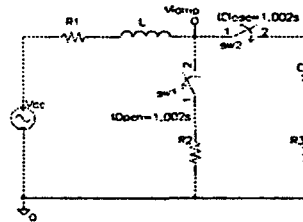


그림. 4. 형광램프의 등가회로

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

그림.5는 그림.4의 등가회로를 사용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

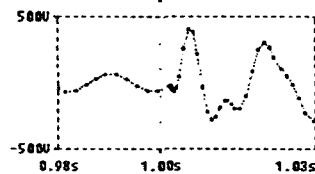


그림. 5 PSpice 시뮬레이션 결과

실험방법으로 그림.1에서 주어진 시스템에 대해 그림.4와같은 특성을 가진 스위치소자를 하드웨어적으로 만들어, 시동시에는 스위치 SW1은 닫혀지고, 반면에 스위치 SW2는 열려진다. 이상태는 입력전원이 인가되었을때 스타아터가 필라멘트를 예열하도록 하

는 것이며, 1.0초후, 즉, 120 사이클후의 영전위 (Zero Crossing)가 지나고 2mSec가 지나면 (정현파 입력의 약 68도 위상)에서 스위치 SW1은 필라멘트를 통해서 예열되는 전류를 차단하도록 열고, 스위치 SW2는 램프를 시동하도록 동기적으로 동작하는 스위치회로를 구성했다. 이때에 인터 L에 의해서 고전압이 발생하고 이것은 형광램프를 시동하도록 램프의 양단에 가해진다. 그림. 6은 필라멘트 예열시간의 가변 (0.8초에서 2.2초까지 변화)에 의해 형광램프가 점등될수있는 점화위상각의 위치를 측정한 결과로 예열시간의 변화시 램프를 점등시킬 수 있는 최소점등 위상각의 영역을 측정할 수 있었다.

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

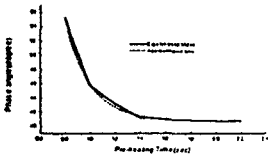


그림. 6 점등시 예열시간과 점화위상각의 관계

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. 형광램프의 고주파특성 실험결과 및 고찰

형광램프에 고주파 전자식안정기의 채택으로 조광(Dimming)제어에 필요한 주파수 제어를 위한 고주파 전자식안정기에 의한 형광램프 시동 전압특성을 검토하였고⁶⁾ 또한, 형광램프를 고주파수로 동작시키면 고효율화를 달성할 수 있으며 시동과 동작 특성을 좋게 할 수 있다.^{3) 9) 10)} 이와같이 형광램프에 전자식안정기의 채택은 출력을 조광(Dimming)제어할 수 있는 이점과 효율등이 좋기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다.^{4) 5) 11) 12)} 형광램프의 고주파 비선형의 동작특성을 모델링 하기 위해 절전형 형광램프로 사용되는 직경26mm(T8) FHF32W용 형광램프에 대해서 고주파 전자식안정기에 일반적으로 많이 사용되는 주파수대역(12Khz - 50KHz)에 대해 형광램프의 특성을 파악하고 비선형의 등가회로를 모델링 하였다.

형광램프는 저압수은램프의 일종으로 부저항 특성을 가지고 있기때문에 그 특성을 파악하는데 매우 복잡하다. 특히, 고주파 동작에 의한 형광램프의 특

성으로 부저항특성 과 커패시턴스의 변화에 의한 특성은 형광램프의 동작주파수와 고주파 형광램프용 안정기와와의 정합성특성에 중요한 영향을 끼친다. 그림 7.과 같은 고주파 형광램프 시스템에서 동작주파수에 따른 형광램프의 특성을 램프전류의 함수로서 비선형특성을 분석하고 모델링하여 최적의 조건으로 동작할 수 있는 안정기의 주파수 설정및 조광(Dimming)제어를 할 수 있는 형광램프의 특성을 파악 하였다.

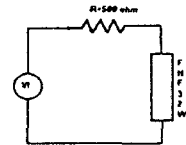


그림 7. 고주파 형광램프 시스템

실험방법으로 형광램프에서 일반적으로 많이 사용되는 영역의 고주파 점등에 의한 특성분석과 그에따른 형광램프를 최적의 특성으로 동작시킬 수 있는 형광램프의 고주파 동작특성을 분석 하였다. 그림 8.은 고주파 형광램프 시스템에서 고주파 형광램프를 시동시키기에 필요한 최소의 입력 전압으로 동작주파수에 대한 실험값을 나타낸 것으로 동작주파수의 고주파의 증가에 따라 낮은 입력전압으로 동작시킬 수 있는 특성을 나타내고 있다.

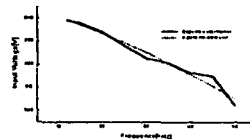


그림 8. 시동시 동작주파수에 따른 입력전압

그림 9. 는 동작주파수의 증가에 비례해서 램프전압이 상승됨을 나타내고 있으며, 그림 10.은 동작주파수의 증가에도 불구하고 램프전류가 감소하면서 전체적으로 램프전력이 감소함을 나타내며, 그림 11.과 같이 램프전력이 감소함을 알 수 있었다. 즉, 위의 실험에서 시동 순간의 입력전압, 램프전류및 램프전력의 특성이 동작 주파수의 부특성 함수로 됨을 알 수 있다. 또한, 고주파 형광램프에서 동작주파수의 변동과 램프전압의 조정에 의해서 형광램프를 조광(Dimming)제어 할 수 있음을 잘 나타내고 있다.

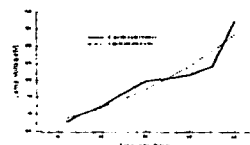


그림 9. 시동시 동작주파수및 램프전압

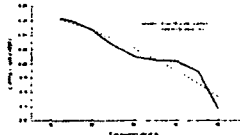


그림 10. 시동시 동작주파수 및 램프전류

또한, 이것은 형광램프가 입력전압 및 주파수 특성에 의해서 임피던스가 변화하는 특성을 가지고 있음을 잘 나타내고 있다. 즉, 입력전압이 낮으면 임피던스가 상대적으로 커지는 특성으로 나타내고 있다.

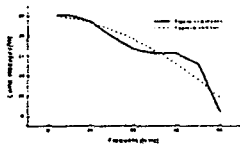


그림 11. 시동시 동작주파수 및 램프전력

형광램프의 고주파 비선형특성을 모델링하기 위해서는 실험조건으로 주파수를 일정하게 25KHz로 고정시킨 상태에서 입력전압을 222V(시동전압)부터 256V(정격전압)까지 가감 시키면서 동작되는 고주파 형광램프의 특성을 분석하고 파악하기 위한 방법으로 실험을 행하였다. 실험결과 그림 12. 와 같이 형광램프는 부임피던스의 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

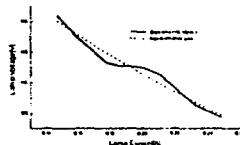


그림 12. 25KHz인가시 V-I 특성곡선

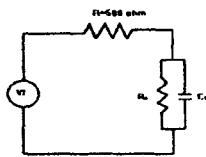


그림 13. 고주파형광램프의 등가회로

즉, 그림 13.과 같이 고주파 형광램프는 전류의 증가에 의해서 부임피던스 특성을 가진 비선형적인 관계로 나타남을 알 수 있다. 여기서 C_L 값은 실제적으로 매우 작은것으로 나타나고 있다. 그러므로, 고주파로 동작되는 형광램프에 전자식안정기의 사용은 주파수 특성에 의한 램프의 특성을 파악해서 최적의 주파수 대역에서 램프를 동작시키는 것이 중요하다. 이것은 결국 형광램프에서 최적의 조광(Dimming) 제어가 실현될 수 있을 뿐만 아니라 전체 시스템의 설

용에 따라 에너지 절감 및 효율적인 조명설계를 할 수 있게 된다.

5. 결론

본 논문은 시동시의 과도특성을 분석하였고, 그 등가회로를 Pspice로 시뮬레이션 한것과 비교하였다. 실험적 결과와 등가회로 모델의 시뮬레이션은 효율성이 있음을 나타냈고, 또한, 예열시간의 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 스타타터의 램프 모델에 대한 점등 시동전압의 정확한 모델을 구할 수 있는 점등조건을 찾을 수 있다. 또한 고주파로 동작되는 형광램프의 동작특성에 대한 실험치로 형광램프가 가진 비선형 부임피던스 특성을 확인하고 비선형특성을 모델링 하였다. 그 결과 형광램프의 동작특성을 고주파동작 영역에서 찾아내고 임피던스의 변화를 모델링해서 전자식안정기의 설계시 형광램프의 형상, 전압 및 전류값에 의한 최적의 동작주파수 설정 및 조광(Dimming) 제어를 용이하게 할 수 있다.

향후에는 콤팩트형광램프등과 같이 형상적으로 고주파에 의해 영향을 많이 받는 다양한 종류의 형광램프와 보다 높은 고주파 영역의 주파수대역에서의 실험으로 특성을 모델링해서 적용하면 넓은 범위에서 형광램프의 모델링이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Yiyoong Sun, "PSPICE modeling of electronically ballasted compact fluorescent lamp system," *IEEE-IAS Annual Meeting*, 1993, pp. 2311-2316.
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*, 1993, pp 2283 - 2290
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*, 1983, pp. 36 - 46,
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 500KHz",

Journal of The Illuminating Engineering Society,
Winter 1987, pp. 56 - 61.

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, October 10-14, 1995,
pp. 586 - 590.

8. E. E. Hamer, T. K. McGowan, "Characteri-
stics of Various F40 Fluorescent Systems at 60Hz
and High Frequency", *IEEE*, 1985, pp 11 - 16.

9. J. H. Campbell, E. G. Downie, "Magnetic
Frequency Multipliers for High Frequency
Operation of Fluorescent Lamps", *Electric
Construction Maintenance*, Vol 53, Nov 1954.

10. C. M. Verheij, "New Steps in Develop-
ment of Compact Single-Ended Fluorescent Lamps",
Journey of IES, 1985, pp. 85 - 94.

11. G. S. Evans, P. E. Snyder, "Performance of
Fluorescent Lamps", *Illuminating Engineering*,
January 1966, pp. 51 - 57.

12. S. A. Kalinowsky, J. J. Martello, "Electrical
and Illumination Characteri- stics of Energy-
Saving Fluorescent Lighting as a Function of
Potential", *Transactions on Industrial
Applications IEEE Vol. 25 No. 2, March/April 1989*,
pp. 208 - 215.