

백라이트 유닛에 적합한 고주파 구동 냉음극형관램프(CCFL)의 시뮬레이션모델

김철진*, 유병규*, 신흥교**
 한라대학교*, 경상대학교**

A CCFL simulation model applied to the back-light unit
 with high frequency operation

Cherl-Jin Kim*, Byeong-Kyu Yoo*, Heung-Kyo Shin**
 Halla Univ*, GyeongSang National Univ**

Abstract - The Cold cathode fluorescent lamp(CCFL) are used to illuminate the liquid crystal display(LCD). Ballasts are required for CCFL because the lamp need high starting voltage and behave negative dynamic resistant characteristics in the desired region of operation. In this paper, the lamp impedance model is proposed, and this model is established from some equations and measured electrical characteristics of CCFL. The validity of porposed lamp model is verified from the simulation and experimental results.

1. 서 론

표시장치(Display)의 백라이트 유닛(BLU)에 적용되는 광원인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)은 소형, 고효율 및 장수명의 특징을 가지며, 최근 표시장치의 산업적 발전과 더불어 조명시스템에서 중요한 역할을 차지하고 있다.

CCFL과 같은 가스방전램프는 초기 기동시 높은 점등전압과 방전이 일어나기 전까지의 영역에서 부저항 특성을 가지며 방전관이 이온화되는 전압이상의 큰 전압이 인가되는 경우 불안정한 상태가 나타나므로 이러한 부저항 특성을 갖는 램프의 안정기에서는 안정화가 요구된다.

안정화를 위한 예비단계에서 가스방전램프는 일반적으로 컴퓨터 시뮬레이션을 용이하게 하기위한 모델 또는 등가회로가 사용되어야 한다. 따라서, 가스방전램프의 특성을 기술 할 수 있는 모델의 제시와 설계의 다양화 및 시뮬레이션을 용이하게 하기 위한 적합한 모델이 필요하다.

본 연구에서는 CCFL의 전기적 특성을 정확히 기술하기 위해서 MATLAB 툴로부터 얻어진 CCFL의 V-I특성을 이용하여 PSpice모델을 수립하였다. 제안된 모델의 전기적 안정화를 위해 설계 제작한 하프브릿지 타입 LCC 직병렬 공진형 인버터를 구성하여 회로의 시뮬레이션 및 실험결과를 통하여 CCFL에 대한 PSpice모델의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 CCFL모델 개념

CCFL의 점등원리는 형광등의 열전자 방출에 의한 점등방식과는 달리 강한전계에 의한 전자방출을 특성을 이용한다.

CCFL양극에 점등전압이 인가되면 램프의 양극에서는 강한전계에 의한 전자가 방출되고 방출된 전자는 수은원자를 여기 시키고 램프는 이온화가 진행된다. 이때, 발생된 자외선의 양은 램프내의 수은 원자의 이온화와 비례하며, 방사된 자외선은 램프관 내에 부착되어 있는 형광물질에 의해 가시광선으로 전환된다.

램프의 이온화 밀도는 램프양단에 인가된 전압에 의해서 발생된 램프양단을 통해 흐르는 전력 P_L 과 비례관계

를 갖는다.

모델에서, 이온화 밀도 ρ 는 순시램프전력 P_L 과 관련된 것으로 가정하면, 라플라스 조건으로부터 1계 저역통과 필터를 이용하여 실현할 수 있다.

$$\rho(s) = C \frac{1}{1+\tau s} P_L(s) \tag{1}$$

(여기서, C 는 일정한 비례계수, τ 는 이온화/재결합을 위한 시정수)

이온화 밀도 ρ 와 상수 C 가 평균램프전력 \overline{P}_L 로 치환된다면 해석은 간소화되며, \overline{P}_L 는 램프가스의 이온화 정도에 비례한다.

식 (1)로부터 \overline{P}_L 이 순시램프전력 P_L 의 저역통과필터의 형태임이 명백해진다.

$$\overline{P}_L(s) = \frac{1}{1+\tau s} P_L(s) \tag{2}$$

일정한 이온화에 대한 램프의 V-I특성은 고주파동작에서 조도조절이 가능한 고주파 안정기를 사용함으로써 측정할 수 있다.

그림 1은 MATLAB 툴로부터 구해진 CCFL의 전력에 대한 고주파특성을 나타내고 있다.

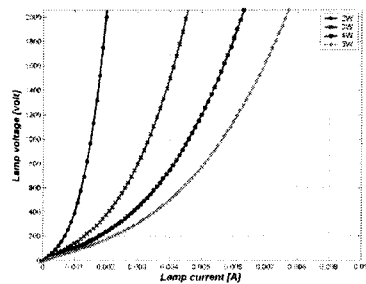


그림 1. CCFL의 고주파특성

램프의 이온화가 일정한 상태를 유지하는 또 다른 경우는 직류에서 발생하며, 직류전원으로부터 램프와 직렬로 큰 가변저항을 사용하여 램프의 직류특성을 측정할 수 있다.

그림 2는 MATLAB 툴로부터 구해진 조도조절에 따른 CCFL의 $V_{rms} - I_{rms}$ 특성을 나타낸 것이며, 그림 3에 CCFL의 임피던스 특성을 나타내었다. 그림 2로부터 높은 조도조절(고 전력) 범위에서는 부저항 특성을 가지며, 낮은 조도조절(저 전력) 범위에서는 정저항특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

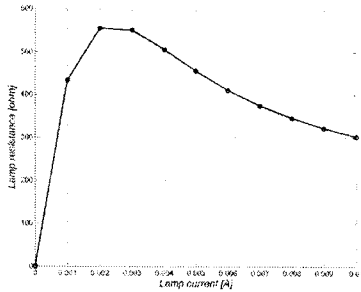


그림 2. CCFL의 $V_{rms} - I_{rms}$ 특성

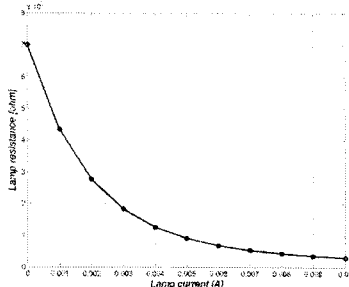


그림 3. CCFL의 임피던스 특성

그림 2와 3의 두 특성에 대한 CCFL의 $V_{rms} - I_{rms}$ 곡선에 대한 방정식은 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{rms} = A_0 + A_1 \times \text{EXP}(-A_2 \times I_{rms}) - A_3 \times \text{EXP}(-A_4 \times I_{rms}) \quad (3)$$

표 1의 방정식 파라미터 $A_0 - A_4$ 는 최소자승법에 의해서 쉽게 유도되었다.

표 1. 식 (1)의 모델 파라미터

Parameter	value
A_0	500
A_1	1200
A_2	550
A_3	200
A_4	130

고주파 동작에서 램프의 저항을 고려한다면 등가 램프 임피던스 R_{lu} 는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$R_{lu} = V_{rms} / I_{rms} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)로부터 I_{rms} 의 함수로 표현된 R_{lu} 에 대한 방정식은 식 (5)으로 표현될 수 있다.

$$R_{lu} = [A_0 + A_1 \times \text{EXP}(-A_2 \times I_{rms}) - A_3 \times \text{EXP}(-A_4 \times I_{rms})] / I_{rms} \quad (5)$$

그 후에 순시램프전압 $V_{(t)}$ 및 순시램프전류 $I_{(t)}$ 에 대한 특성은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{(t)} &= R_{lu} \times I_{(t)} \\ &= [A_0 + A_1 \times \text{EXP}(-A_2 \times I_{rms}) - A_3 \times \text{EXP}(-A_4 \times I_{rms})] / I_{rms} \times I_{(t)} \quad (6) \end{aligned}$$

개발된 램프모델의 기초 개념은 식 (6)로부터 표현될

수 있다.

여기서, 램프 순시전압 $V_{(t)}$ 는 램프 순시전류 $I_{(t)}$ 와 실효치 램프전류 I_{rms} 의 변수로부터 얻어진다.

2.1.1 CCFL의 PSpice모델 유도

PSpice 모델에서 CCFL의 실효치 전류는 그림 4의 R-C적분회로로부터 구할 수 있으며, 전류원 I_S 는 순시전류 $I_{(t)}$ 의 제공과 같다. 전압 V_A 는 식 (7)로부터 시분레이션 시간 T 의 함수로 계산되었다.

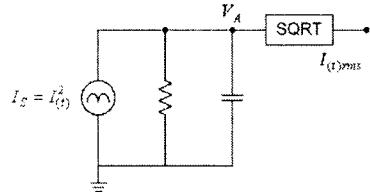


그림 4. 실효치를 구하기 위한 적분회로

$$V_A = \int_0^T I_{(t)}^2 dt / T = I_{rms}^2 \quad (7)$$

여기서, $R=1$, $T \gg C$ 이다.

따라서, 전압 V_A 는 실효치 전류 $I_{(t)}$ 의 제곱평균이다. 그림 5는 램프모델 방정식 (6)에 의한 CCFL의 PSpice모델이며, 램프의 실효치 전류를 얻기 위한 R-C적분회로가 포함되어 있다.

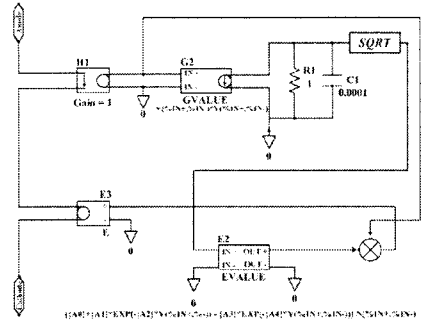


그림 5. CCFL의 PSpice 램프모델

CCFL모델 회로에서, I_S 는 램프순시전류를 검출하기 위한 이득 1을 갖는 전류제어 전압원이며, C_2 는 공급할 수 전압제어 전류원이다. E_2 는 식 (5)를 나타낸 전압제어 전압원이며, E_3 는 램프순시전압을 발생하기 위한 이득 1을 갖는 전압제어 전압원이다.

2.2 공진회로의 동작특성

본 연구에서는 직렬공진 특성과 병렬공진특성을 갖는 LCC 비대칭 Harf-Bridge공진형 인버터회로를 구성하였으며, CCFL의 램프 모델을 적용한 회로는 그림 6과 같다.

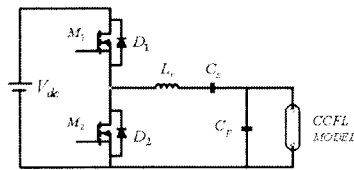


그림 6. LCC 직병렬 공진형인버터

제시한 LCC 직병렬 공진형인버터의 MODE별 동작은 그림 7에 나타내었다.

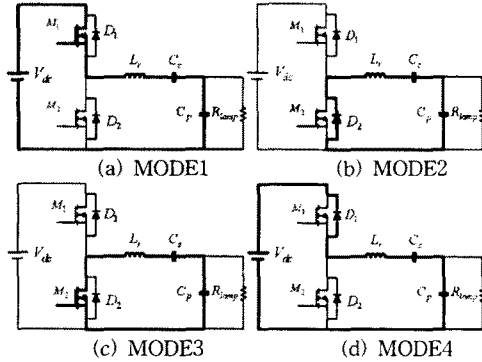


그림 7. LCC 직병렬 공진형인버터의 모드별 동작

2.2.1 시뮬레이션 및 실험 결과

표 2와 3은 설계 및 시뮬레이션을 위해 사용된 회로정수 및 CCFL 사양이며, 그림 8은 LCC 직병렬 공진형인버터의 PSpice시뮬레이션 모델을 나타낸 것이다.

표 2. 회로정수 표 3 CCFL사양

항 목	값
스위칭주파수 [kHz]	51.75
입력전압[V]	310
L_r [mH]	9
C_r [pF]	5000
C_f [pF]	1650

항 목	값
관경[mm]	1.8
관장[mm]	135
램프전압 [Vrms]	410
램프전류[mA]	6
램프전력[W]	2.46

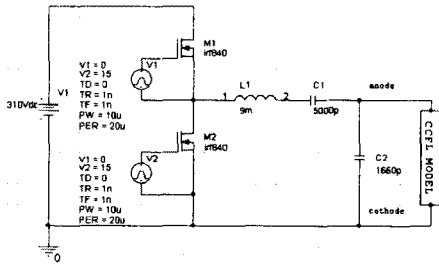


그림 8. PSpice 시뮬레이션 회로도

본 연구에서 선정된 소자 값을 적용한 시뮬레이션 및 실험 결과는 그림 9와 10에 각각 나타내었다.

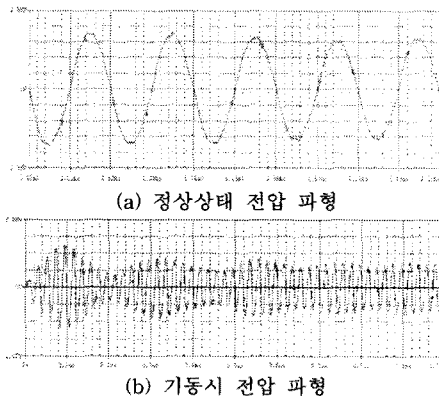


그림 9. PSpice시뮬레이션 파형

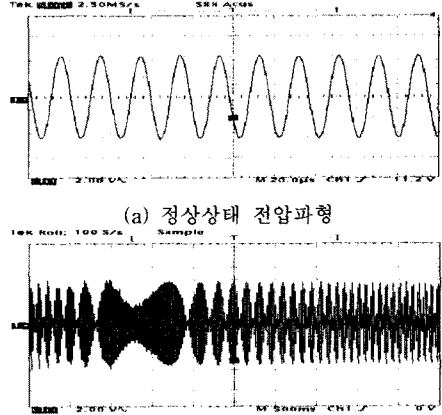


그림 10. 실험측정파형[200V/div]

그림 9의 (a)는 정상상태의 전압파형이며, (b)는 기동시 전압파형을 나타낸 것이다. 공진주파수와 스위칭 주파수의 비는 약 1.08이며, 정상상태전압은 412[V]로 이론적인 수치와 유사함을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 MATLAB 툴을 이용하여 CCFL의 전기적 특성을 정확히 기술하기 위한 방법으로 최소자승법을 통해서 정상상태에서의 $V_{rms} - I_{rms}$ 모델 파라미터를 구할 수 있었으며, 모델파라미터로부터 CCFL에 대한 PSpice 모델을 유도하였다. 또한 유도된 모델을 이용하여 회로 구성이 간단한 LCC 비대칭 Half Bridge 공진형인버터회로를 구성하여 모드별 분석 및 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 모델의 전기적 안정화를 위해 설계·제작한 하프브릿지 타입 LCC 직병렬 인버터를 구성한 회로의 시험결과를 통하여 CCFL에 대한 PSpice 모델의 타당성을 입증하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 육성지원사업 (I-2004-0-074-0-00)에 의하여 수행된 과제입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J.A. Donahue and M.M. Jovanovic, "The LCC inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver," in proc, IEEE APEC'94, 1994, pp.427-433
- [2] U. Mader and Dr. P. Horn, "A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps" IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1928-1934, 1992.
- [3] Joel A. Donahue, P.E and Milan M. Jovanovic, "The LCC Inverter as a Cold Cathode Fluorescent Lamp Driver", APEC 1994, pp.427-433
- [4] Louis R. Nerone, "Design of a 2.5-MHz, Soft Switching, Class-D Converter for Electrodeless Lighting", IEEE Trans, On Power Electronics. Vol 12, No3, May 1997
- [5] L. R. Nerone, "A mathematical model of the class D converter for compact fluorescent ballast", IEEE Trans., power electron. vol. 10, PP 708-715, Nov las. 1995.
- [6] T. Liu, K. J. Tseng, and D. M. Vilathgamuwa, "A PSpice model for the electrical characteristic of fluorescent lamps" in Proc. IEEE PESC'98, 1998, pp. 1749-1754.