

표시장치에 적용되는 CCFL의 모델과 인버터 구동

김철진*, 유병규*, 윤신용**
 한라대학교*, 동국대학교**

A Modeling and Driving Performance for CCFL Applied to the Display Unit

Cherl-Jin Kim*, Byeong-Kyu Yoo*, Shin-Yong Yoon**
 Halla Univ*, Dongguk Univ**

Abstract - The Cold cathode fluorescent lamp (CCFL) are widely 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. Dimming methods of CCFL are used to pulse frequency modulation(PFM) or pulse width modulation(PWM). In this paper, CCFL driving and control circuit is designed by half-bridge type series and parallel resonant inverter that variable frequency modulation method to control the output voltage current. The validity of this study is confirmed from the simulation and experimental results.

까지 증가되고, 램프의 광 출력은 평균전류까지 급격히 비례하며, 램프는 전류를 제어하는 저항과 같은 부저항 특성을 가지게 된다.

그림 1의 (a)에 CCFL의 V-I특성을 제시하였으며, 이러한 특성은 고출력 임피던스 구동을 요구하므로 저출력 임피던스를 갖도록 초기 점등시 전류제한과 부하의 부저항 특성을 개선할 수 있는 직렬커패시터가 결합되어야 한다. 분석의 간소화를 위해서 CCFL의 등가모델을 그림1의 (b)에 나타내었다.

여기서, V_{FR} 은 전체 동작범위에서의 정상전압이며, CCFL의 임피던스 R_{FR} 은 정상전압에서 부저항으로 근사화 되도록 고려되었다.

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 적용이 확대되고 있다.

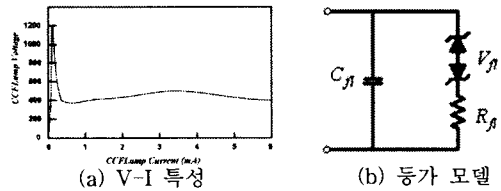
CCFL은 초기 기동시 1200[V] 이상의 고전압을 요구하며 점등 후 400~800[V]의 정상전압과 5~6[mA]의 전류로 안정화된다. 그러나 CCFL과 같은 가스 방전 램프는 방전이 일어나기 전까지의 영역에서 부저항 특성을 가지며, 방전관이 이온화되는 전압이상의 큰 전압이 인가되는 경우 불안정한 상태가 나타나므로 이러한 부저항 특성을 갖는 램프의 안정기에서는 설계의 다양화와 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해서 적합한 등가모델이 필요하게 된다. 특히 CCFL의 전압 및 전류의 상호 관계에 있어서 충분한 조건을 갖는 모델링이 필요하다.

본 연구에서는 CCFL의 전기적 특성을 보다 명확히 표현하기 위해서 간소화된 PSpice 등가모델을 적용하여 직병렬공진기의 전압이득 특성을 이용한 LCC 직병렬공진형 인버터를 구성하였다. 설계·제작한 회로의 시뮬레이션 및 실험결과를 통하여 CCFL에 대한 PSpice 모델의 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 CCFL특성

CCFL은 항복영역에서 정상상태로 구동되는 가스방전 소자이다. 가스방전에 있어서, CCFL의 특성은 온도에 매우 의존적이며, 고주파 및 AC구동주파수에 대한 램프의 전류는 저항으로 조절되는 실효값으로 나타나고, 후에 항복이 시작된다. 초기 이온화되지 않은 상태에서 이온화가 진행되기 시작하면서, CCFL의 공급전압은 항복개시레벨



(a) V-I 특성 (b) 등가 모델
 그림 1. CCFL의 특성 모델

2.2 공진형 인버터의 동작원리 및 해석

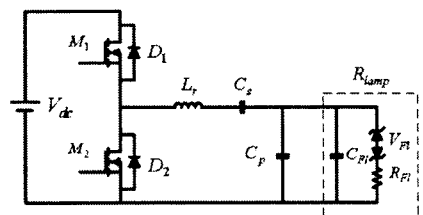


그림 2. LCC 직병렬공진형 인버터의 등가회로

그림 2는 LCC 직병렬공진형 인버터의 등가회로를 나타내고 있으며, 스위칭소자 M_1, M_2 의 교번동작에 의해 구형파 전원이 인가되는 형태이다. 직병렬 공진은 직렬 부하에서 레귤레이션 부족의 단점을 제거하고, 병렬부하에 대해서는 부하전류가 독립이 되므로 안정적인 동작을 하는 장점을 가진다. CCFL의 기생커패시턴스는 병렬커패시턴스에 비하여 매우 작으므로 무시할 수 있고, 램프 점등 전과 후로 해석할 수 있다.

점등전에는 램프등가저항 R_{lamp} 가 매우 크기 때문에 개방회로로 가정되고 L_r 과 C_r, C_b 의 합성커패시턴스로 이루어진 병렬공진회로의 특성을 가지게 된다. 이때의 공진주파수 f_r 와 Q 는 식(1), (2)와 같다.

점등전 :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times \left(\frac{C_s \times C_p}{C_s + C_p}\right)}} \quad (1)$$

$$Q=0 \quad (2)$$

여기서, L_r : 공진인덕턴스
 C_p : 병렬커패시턴스
 C_s : 직렬커패시턴스

점동 후에는 램프의 증가저항이 낮아지므로 병렬커패시턴스 C_p 의 영향이 줄어 L_r 과 C_s 의 직렬공진회로의 특성을 가지게 된다. 이때의 공진주파수와 Q 는 식(3), (4)와 같다.

점동후 :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \times C_s}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\sqrt{L_r/C_s}}{R_{lamp}} \quad (5)$$

공진커패시턴스 C_s , C_p 및 공진인덕턴스 L_r 은 각각 식(1), (3)을 이용하여 구할 수 있다. 등가회로의 입력측에서 본 공진회로의 임피던스 Z 는 식(5)와 같다.

$$Z = j\omega L_r + \frac{1}{j\omega C_s} + \frac{R_{lamp}}{1 + j\omega C_p R_{lamp}} \quad (5)$$

인버터의 전압이득은 임피던스의 비로 나타낼 수 있으며, $f_r = 1/(2\pi\sqrt{L_r \times C_s})$, $Q = (\sqrt{L_r/C_s})/R_{lamp}$, $\omega = 2\pi f$ 이므로 R_{lamp} , L_r , C_p , C_s 를 Q 와 f_r 로 대입하면 식(6)과 같고, 그 크기는 식(7)과 같다.

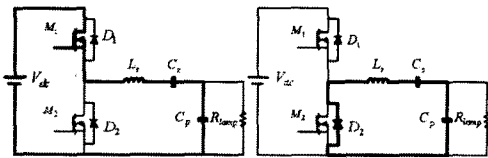
$$G(j\omega) = \frac{V_{lamp}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2) + jQ(f_n - 1/f_n)} \quad (6)$$

(여기서, $f_n = f_s/f_r$ (주파수 비))

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (C_p/C_s)(1 - f_n^2)^2 + Q^2(f_n - 1/f_n)^2}} \quad (7)$$

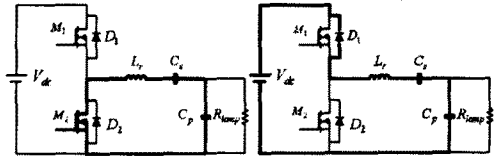
이 식에서 C_p/C_s 에 따른 전압이득이 변화함을 알 수 있으며, 이 값은 회로의 직렬병렬 공진특성을 결정하게 된다.

2.3 모드 해석



(b) MODE1

(c) MODE2



(d) MODE3

(e) MODE4

그림 3. 모드별 해석

MODE1

M_1 이 on되면 V_{dc} 에 의해 공진회로에 전원이 공급되고 전원 에너지는 L_r 에 축적된다. 인덕터에 흐르는 전류 i_L 은 인덕턴스와 입력전압의 비에 비례하는 기울기로 증가한다.

$$i_L = \frac{V_{dc}}{\beta L} \exp(-\alpha t) \sin \beta t \quad (8)$$

$$\text{여기서, } \alpha = \frac{R_{lamp}}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_{lamp}}{2L}\right)^2}$$

C 는 C_s 와 C_p 의 합성커패시턴스

MODE2

M_1 이 off시 위상지연전류에 의해 D_2 를 통해 전류루프를 형성하게 된다.

MODE3

MODE2가 끝나고 M_2 가 on되면 공진회로에 축적된 에너지는 MODE3와 같은 루프로 방출된다.

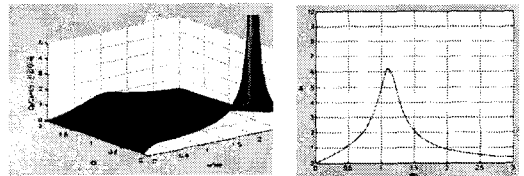
MODE4

M_2 의 개방으로 인해 인덕터를 통해 흐르던 전류는 D_1 을 거쳐서 V_{dc} 로 회생된다.

M_1 , M_2 의 주기적인 교대 동작을 통하여 구형파교류가 발생되며, 공진탱크의 필터 작용으로 정현적인 교류출력이 램프에 인가된다.

2.4 공진회로 설계

공진회로에서 병렬커패시턴스와 직렬커패시턴스의 비 C_p/C_s , 스위칭주파수와 공진주파수의 비 f_s/f_r , 그리고 공진파형의 quality factor Q 에 의해 전압이득을 결정할 수 있다.



$$C_p/C_s = 1/3$$

$$f_s/f_r = 1/3$$

그림 4. f_n 의 변화에 따른 전압이득

그림 (4)와 같이 스위칭 주파수가 $f_s/f_r = 1/3$ 일 때 전압이득이 최대가 되고, 스위칭 주파수가 증가하거나 감소하면 전압이득은 감소한다. 시뮬레이션 된 전압이득 특성에 의해 스위칭주파수와 공진주파수의 비, 직렬커패시턴스의 비를 결정하고 주어진 식에 의해 커패시턴스 값과 인덕턴스 값을 결정한다.

따라서, 본 연구에서는 회로의 입력전압, 램프의 기동 전압과 점동후의 전압을 고려해 직렬커패시턴스의 비를 1/3, 스위칭주파수는 공진주파수보다 약 1.3 배 이

하로 결정하였으며, 전압이득이 급격히 변하지 않는 범위 내에서 주파수를 가변함으로써 조도조절 범위를 결정하였다.

2.5 TL494를 이용한 주파수 가변

그림 5는 본 연구에서 LCC 직병렬공진형 인버터를 대상으로 구동 및 조도조절을 수행하기 위해서 TL494를 적용한 회로도이다.

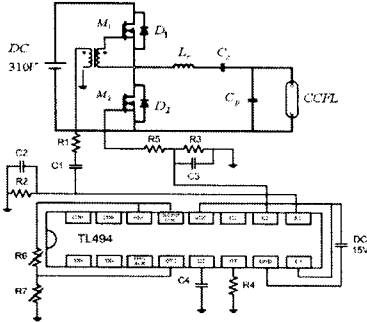


그림 5. TL494를 적용한 비절연 LCC 회로도

PWM 제어 전용 소자인 TL494에 의해 회로는 푸시풀(Push-Pull) 모드로 동작하며, 출력주파수의 상관관계는 다음의 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_s = \frac{1}{2R_i \cdot C_i} [Hz] \quad (9)$$

2.6 시뮬레이션 및 실험 결과

표 1과 2는 설계 및 시뮬레이션을 위해 사용된 회로 정수 및 CCFL 사양이며, 그림 (6)에 PSpice 시뮬레이션 모델을 나타내었다.

표 1. 회로정수 표2. CCFL사양

항 목	값	항 목	값
스위칭주파수 [kHz]	51.75	관경[mm]	1.8
입력전압[V]	310	관장[mm]	135
L[mH]	9	램프전압 [Vrms]	410
C ₁ [pF]	5000	램프전류 [mA]	6
C ₂ [pF]	1650	램프전력 [W]	2.46
램프등가저항 [kΩ]	94.16		

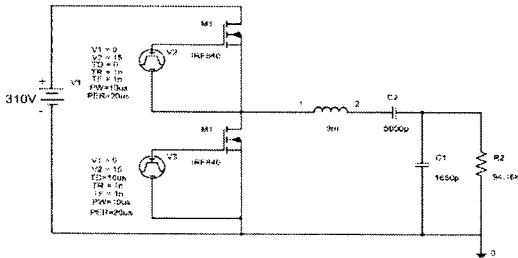
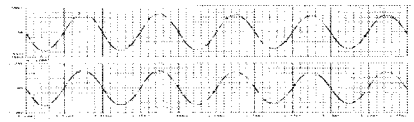
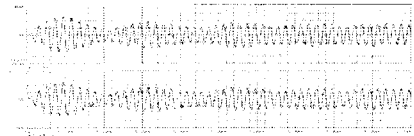


그림 6. PSpice 시뮬레이션 회로도

본 연구에서 선정된 소자 값을 적용한 시뮬레이션 및 실험결과를 각각 그림 7과 8에 나타내었다.

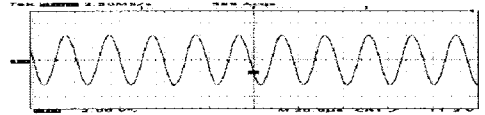


(a) 정상상태 전압 및 전류파형

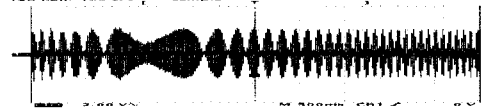


(b) 기동시 전압및전류파형

그림 7. PSpice 시뮬레이션 파형



(a) 정상상태 전압파형



(b) 기동시 전압파형

그림 8. 실험측정파형[200V/div]

그림 8에 (a)는 정상상태의 전압파형이며, (b)는 기동시 전압파형을 나타낸 것이다. 공진주파수와 스위칭 주파수의 비는 약 1.08이며, 점등전압은 412[V]로 이론적인 수치와 유사함을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 간소화된 PSpice 등가모델을 적용한 CCFL을 대상으로 회로 구성이 간단하고 낮은 스위칭 손실과 높은 전압이득 특성을 갖는 CCFL 구동용 전원 원회로인 LCC 직병렬공진형 인버터의 특성분석 및 설계방법을 제시하였다. 수식으로부터 선정된 회로정수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 설계·제작한 회로의 실험결과로부터 스위칭 주파수와 공진주파수의 비는 약 1.3이하, 직병렬 커패시턴스의 비가 1.3일 때 안정적 인 동작이 되는 것을 확인할 수 있었다.

[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] Mark Jordan, John A. O'Connor, "Resonant Fluorescent Lamp Converter Provides Efficient and Compact Solution", Unitorde application note U-141
- [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 Rrovert Nerone, "Design of a 2.5-MHz, Soft Switching, Class-D Converter for Electrodeless Lighting", IEEE Trans, On Power Electronics. Vol12, No3, May 1997
- [5] S.A.EI-Hamamsy, "Design of High-Efficiency RF Class-D Power Amplifier", IEEE Trans, On Power Electronics. Vol 9, No3, pp.297-308, May 1994
- [6] 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.