

LCD용 백라이트의 CCFL 구동을 위한 특성해석

주경돈*, 윤신용*, 김철진**, 백수현*
 동국대학교*, 한라대학교**

Characteristic Analysis for CCFL drive of LCD backlight

Gyeong-Don Ju*, Shin-Yong Yoon*, Cherl-Jin Kim**, Soo-Hyun Baek*
 Dongguk University*, Halla University**

Abstract - CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) are used to backlight of LCD(Liquid Crystal Display). This paper presents analysis of half-bridge type resonant inverter of CCFL drive in order to stable characteristics, and fluorescent lamp operation frequency is higher than resonant frequency for safe operation. Besides, The Piezoelectric ceramic transformer (PZT) is electro-mechanical device that transfers electrical energy through a mechanical vibration. The modified equivalent circuit model of the PZT considering the operating current level is derived to design the CCFL. The validity of this study was confirmed from the simulation and experiential result.

1. 서 론

산업의 정보화에 따라 통신기기에 대한 수요는 매우 폭발적으로 증가되고 있는 추세이다. 특히 LCD용 모니터인 노트북과 컴퓨터, 휴대용 전자 디스플레이, 휴대용 장치 등에 사용된 백라이트용 냉음극램프(CCFL: cold cathode fluorescent lamps)가 점차적으로 증가되고 있다. 이를 위해서는 램프를 점등하기 위한 인버터의 설계가 중요하다. 구동회로는 저전압을 고전압으로 승압하는 고압 트랜스포머와 공진회로의 설계기술이 요구된다. CCFL은 램프의 사양에 따라 초기 기동 시 1200[V]이상의 고전압과 점등 후 400~800[V]의 일정한 정상전압과 5~6[ma]의 전류를 안정화 시킬 수 있는 전원회로를 요구한다.

LCC Resonant 비대칭 하프브리지 구동회로의 특징 중 출력 임피던스의 크기가 변함에 따른 전압이득의 변화는 고압방전등에 적합한 특성이라 할 수 있다[1]-[4]. 압전 세라믹 트랜스포머(PZT : piezoelectric ceramic transformer)의 특징은 구조가 간단하며, 얇고 가볍다, EMI 문제가 없고, 무화재, 출력단락보호, 고효율 및 고전력밀도 등을 지니고 있다. 응용분야는 CCFL을 위한 DC-AC 인버터, 오존발생기, 고전압 발생기, DC-DC 컨버터, Ballast(안정기) 등에 응용된다[5].

본 연구에서는 CCFL 구동회로의 설계 및 특성을 하프브리지형 LCC 직병렬 공진형 인버터를 적용한 경우와 압전 트랜스포머를 적용한 플라야백 인버터로 나누어 분석하였다. 실험의 타당성을 제시하기 위하여 등가회로를 통한 시뮬레이션과 설계 제작한 회로의 실험결과를 바탕으로 그 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 LCC 공진회로된 하프브리지형 인버터 해석

2.1.1 비대칭 하프 브리지의 구동회로

본 연구에서는 비교적 소자수가 적고 회로 구성이 간단

한 장점을 갖는 비대칭 하프브리지형 LCC 직병렬 공진 인버터를 적용한 CCFL 구동회로를 적용하였으며, 이는 다음의 그림 1과 같다. 그림 1의 회로는 전원전압 이 스위칭 소자 Q₁, Q₂에 의해 인덕터와 직병렬 커패시터로 이루어진 형태이다.

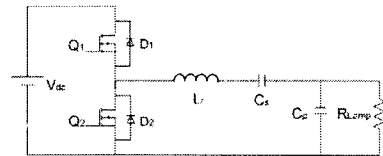


그림 1. LCC 공진형 하프 브리지 인버터

2.1.2 공진회로 해석

그림 2는 LCC 직병렬 공진 등가회로를 나타낸다.

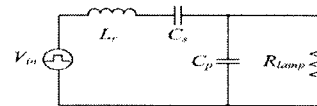


그림 2. 등가회로

LCC 직병렬 공진회로의 정규화 파라미터는 다음의 수식을 통해 산출할 수 있다.

직병렬 커패시턴스의 비(C_n)

$$C_n = \frac{C_s}{C_p} \tag{1}$$

직렬로 연결된 C_s, C_p 의 합성 임피던스(C_t)

$$C_t = \frac{C_s \cdot C_p}{C_s + C_p} \tag{2}$$

공진주파수 (f_r)

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_t}} \tag{3}$$

스위칭주파수와 공진주파수의 비 (ω_n)

$$\omega_n = \frac{\omega_s}{\omega_r} \tag{4}$$

특성 임피던스 (Z_o)

$$Z_o = \omega_o \cdot L_r = \frac{1}{\omega_o \cdot C_s} = \sqrt{\frac{L_r}{C_s}} \quad (5)$$

정상상태의 Q

$$Q = \frac{Z_o}{R_{lamp}} \quad (6)$$

공진회로의 전압이득은 입력임피던스와 출력임피던스의 비로 나타내며 식(7)과 같이 표현된다.

전압이득(M)

$$M = \frac{1}{\sqrt{1 + C_n(1 - \omega_n^2)^2 + Q^2(\omega_n - 1/\omega_n)}} \quad (7)$$

식(7)로부터 C_p/C_s , ω_n , Q값에 따라 전압이득이 변화함을 알 수 있으며, C_p/C_s 값은 회로의 직병렬 공진 특성을 결정하게 되는 중요한 요소가 된다.

2.2 압전변압기를 적용한 플라이백 인버터 해석

2.2.1 압전 트랜스포머의 구조와 원리

압전 세라믹 트랜스포머(PZT)는 1956년 C. A. Rosen에 의해 처음 제안되었다. 전자계 에너지에 의존하는 자기 트랜스포머와 달리 PZT는 기계적인 응력으로 전기에너지를 발생한다. 압전 트랜스포머의 동작원리는 그림 3과 같다.

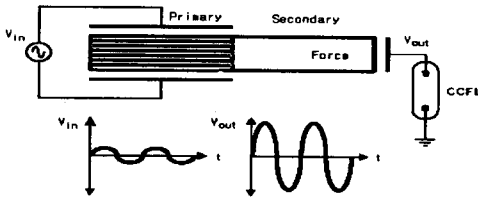


그림 3. 압전 세라믹 트랜스포머의 구동원리

그림 3은 길이 방향의 수평(longitudinal) 모드 구조로 된 다층 PZT를 나타낸 것이다. 자기 트랜스포머는 자기경로에 의해 1차로부터 2차로 에너지를 전달하지만 PZT는 1차의 전기에너지를 기계에너지로 변환하며 이를 다시 증폭된 전기에너지로 변환시킨다.

그림 3의 PZT는 1차 저압측은 단층이나 2차 고압측은 다층구조로 되어 있다. 여기서 단층구조는 제조과정이 간단하고 가격이 싸며 비교적 저전압 계인을 얻지만 다층구조는 제조과정이 복잡하고 가격이 비싸며 고전압 계인을 얻는다. 다층 PZT는 고전압을 발생하기 때문에 CCFL에 적용되고 있다.

2.2.2 플라이백 인버터 및 트랜스포머

본 연구에서는 점등을 위한 공진 플라이백 인버터를 설계하였다. 고전압의 승압은 압전 트랜스포머를 이용하였다. PZT 제어기는 플라이백 토폴로지를 이용한 PZT 백라이트의 디밍을 제어하기 위해 주파수 제어회로를 구성하였다. 공진 플라이백 기법에서 N형 MOSFET (IRF740) 스위칭은 압전 트랜스포머 1차에서 정류된 반 정현파를 발생하며 이때 듀티 사이클 50%로 동작한다. 그림 4는 압전 트랜스포머에 의해 CCFL을 점등하기 위한 플라이백 인버터이다.

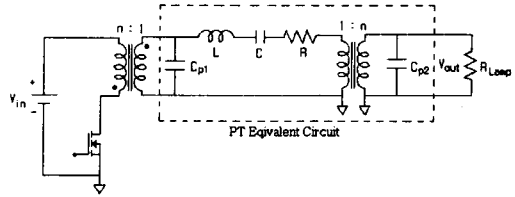


그림 4. CCFL 점등을 위한 플라이백 인버터회로

그림 4의 구동회로에서 자기트랜스포머는 플라이백 기법을 이용하여 압전 트랜스포머의 1차측에 전압을 공급한다. 이때 자기트랜스포머는 저전류를 위해 낮은 턴수비(3:1)와 전압비로 인해 작은 구조로 설계하였다. 압전 트랜스포머는 고전압의 승압이 가능한 전압 변환비 50을 이용하였다. 이때 높은 Q 값을 지닌 압전 트랜스포머의 공진주파수 f_o 와 동조 되도록 스위칭 주파수 f_s 를 선정하였다. CCFL의 점등을 위해서는 공진주파수는 스위칭주파수 보다 약간 커야 한다. 이때 스위칭 주파수를 위한 L_s 의 값은 다음 식과 같다. ($L_s = L_1$)

$$L_s = \frac{1}{\omega_o^2 C_{p1}} \quad (8)$$

$$Q = \omega_o \frac{L}{R} \quad (9)$$

여기서 L_1 : 1.1[mH], L_2 : 228[uH], V_{in} : 5[V], I_{in} : 1.3[A], V_{const} : 600[V], V_{peak} : 1200[V], I_{out} : 5.5[mA], V_{out} : 32V, Q_1 : 19.31, Q_2 : 49.8, P_{out} : 3.5W.

2.2.3 압전 트랜스포머의 등가회로 모델

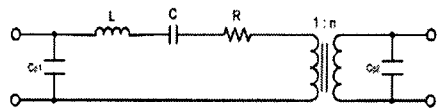


그림 5. PZT의 등가회로 모델

등가회로의 파라미터 값은 구조에 의해서 결정된다. 여기서 1차 커패시턴스 C_{p1} 은 1차 전극의 다층구조와 물질의 유전율 상수로 결정된다. 출력 커패시턴스 C_{p2} 는 1차와 2차 전극사이 거리로 인하여 매우 작은 값이 된다. 식 (10)에서 보여진 것처럼 PZT 커패시턴스는 구조와 물질의 함수이다.

$$C_{p1} = \frac{Lw_l \epsilon}{2t} \quad (10)$$

$$C_{p2} = \frac{Lw_l \epsilon}{2t} \quad (11)$$

여기서 L:길이, w:폭, l_o :층수, t:두께, ϵ :유전율 간단한 공진주파수 근처의 기계적인 압전 계인은 그림 5와 같이 R, L, C 회로에 의해 구할 수 있으며 이에 관계되는 수식은 다음과 같다.

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (12)$$

그림 5의 PZT에 대한 파라미터는 c_{p1} : 29.766pF, c_{p2} : 80pF, R :157.268 Ω , L :2.683 μ H, c :480.174nF, n:50, ω_o : 48kHz 이다. 이 파라미터는 임피던스 계측기 HP4194에 의해 측정하였다. PZT의 기계적인 공진주파수는 부하에 따라 변한다. 이들의 변화는 직접적으로 전기적인 전압이득에 영향을 준다. 압전세라믹 사양은 43x5.5x2.3[mm]이다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 하프브리지형 인버터의 해석결과

그림 6는 Matlab을 이용해 전압이득 변화요소에 따른 전압이득의 변화를 시뮬레이션한 결과이다. Matlab 시뮬레이션을 통하여 스위칭 주파수 대 공진주파수 비가 $f_n \approx 1.3$ 일 때 즉, $f_s \approx 1.3f_r$ 일 때 전압이득은 최대가 되는 것을 확인하였다.

초기 구동시의 스위칭 주파수를 50[kHz]로 설정을 하고 $f_n \approx 1.3$ 이 되도록 공진 주파수를 40[kHz]로 설정하여 인덕턴스 값과 직병렬 커패시턴스 값을 얻을 수 있다. 계산결과 $L_r = 6.8[mH]$, $C_p = 2200[pF]$, $C_s = 6600[pF]$ 의 값을 얻었다.

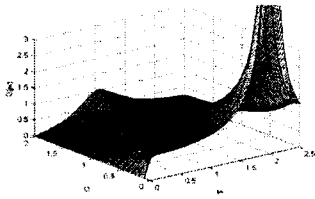


그림 6. $C_p/C_s = 1/3$ 일 때 Q 와 f_s/f_r 의 변화에 따른 전압이득

표 1은 시뮬레이션을 위해 사용된 CCFL의 사양이다.

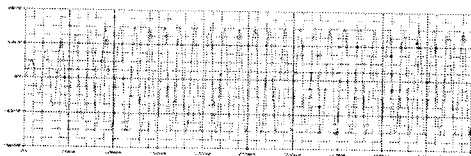
표 1. 실험에 사용된 CCFL사양

항 목	값
관 경 [mm]	2.4
관 장 [mm]	257
램프 전압 [V_{rms}]	570
램프 전류 [mA_{rms}]	6
램프 전력 [W]	3.42

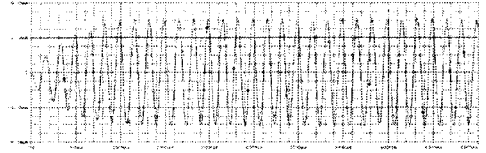
설계 과정에 의한 소자선정의 타당성을 확인하기 위해 그림 1의 CCFL 구동회로를 기준으로 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 시뮬레이션에 사용된 회로 정수는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션의 회로정수

항 목	값
스위칭주파수 [kHz]	50
입력전압 [V]	310
L_r [mH]	6.8
C_s [pF]	6600
C_p [pF]	2200
램프등가저항 [Ω]	100



(a) 출력전압

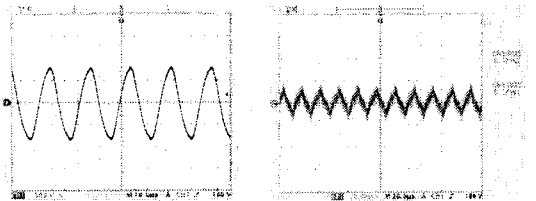


(b) 출력전류

그림 7. 하프브리지형 인버터의 시뮬레이션 결과 파형

시뮬레이션 결과파형은 그림 7에 나타내었다. 출력전압과 전류는 램프점등에 필요한 전압과 전류를 충족시키는 것을 알 수 있다.

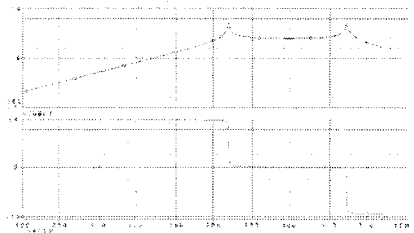
그림 8은 하프브리지형 인버터의 실험결과에 따른 출력 전압과 전류를 각각 측정된 결과로서 비교적 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.



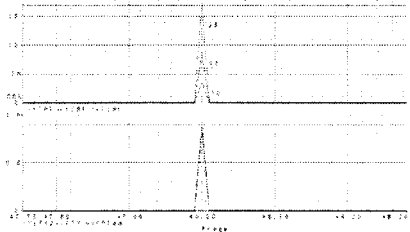
(a) 출력전압 (b) 출력전류
그림 8. 하프브리지형 인버터의 실험결과 파형

3.2 플라이백 인버터의 해석결과

그림 9(a)의 보드선도에서는 공진주파수 48[kHz]에서 전압이득이 가장 큼을 알 수 있으며, 이때의 위상은 안정된 위상여유를 얻었다.



(a)



(b)

그림 9. 보드선도와 공진주파수에서 전압이득

그림 9(b)는 부하 50k Ω , 100k Ω , 250k Ω 에 대해서 공진주파수에 대한 전압이득과 램프 부하저항 100k Ω 에 대한 전압이득 1100V 결과는 아래 그림과 같다.

그림 10(a)는 공진에 의한 압전 세라믹 2차측 램프 점등전압 1200[V], 그림 10(b)는 램프 점등전류 8[mA], 그림 10(c)는 압전 세라믹의 1차 입력전압 12[V]를 나타낸 것이다.

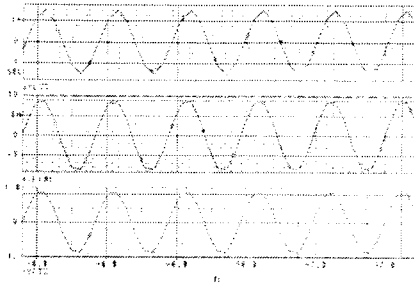


그림 10. 램프전압, 램프전류 및 입력전압 파형

그림 11의 Ch1는 제작된 플라이백 인버터의 제어기의 듀티 사이클 50%를 나타낸 것이며 그림 11의 Ch2는 램프의 점등전압을 나타낸 것이다. 여기서 공진주파수는 48.3[kHz]이며 램프 출력전압은 552[V]임을 알 수 있었다.

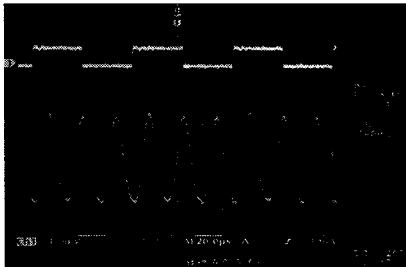


그림 11. 제어신호 및 점등전압

4. 결 론

본 연구에서는 LCC 직병렬 공진형 비대칭 하프브리지형 인버터와 압전 트랜스포머를 적용한 플라이백 인버터를 적용한 CCFL 구동회로의 설계 및 특성을 분석하였다. LCC 직병렬 공진특성의 공진형 비대칭 하프브리지형 인버터의 경우 제시된 수식을 통하여 선정된 회로정수로 설계 제작한 회로로부터 실험과 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션과 실험결과로부터 스위칭 주파수와 공진주파수의 비가 1:3이하, 직병렬 커패시턴스의 비가 약 1:3일 때 안정적인 동작을 하게 됨을 확인할 수 있었다.

압전 트랜스포머를 적용한 플라이백 인버터의 경우 노이즈의 영향을 거의 받지 않으며 자기 트랜스포머에 비해 작은 부피로 고 전력밀도를 발생할 수 있는 승압용 압전 트랜스포머를 이용하였다. 램프의 점등은 공진특성을 이용하는 것으로서 이때 공진 현상은 압전 세라믹의 고유 기계적인 공진주파수와 스위칭 주파수가 거의 일치하도록 구성하였다. 이를 위해서 L-C 공진은 측정된 압전 세라믹의 입력측 C_{p1} 과 기계적인 공진주파수에 의해 플라이백 2차측 인덕턴스 L_2 를 결정하였으며 이로부터 48[kHz]에서 공진이 발생하였고 약 600[V]의 전압이득이 발생함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Joel A. Donahue, P.E. and Milan M. Jovanovic, "The LCC Inverter as a Cold Cathode Fluorescent Lamp Driver", APEC 1994, pp.427-433.
- [2] Ray L. Lin Fred C. Lee, Eric M. Baker and Dan Y. Chen, "Inductor-less Piezoelectric Transformer Electronic

- Ballast for Linear Fluorescent Lamp," IEEE proceeding, 2001, pp.664-669
- [3] S. Y. Yoon, G. S. Choi, K. H. Han, N. H. Kim, I. J. Maen, S. H. Baek "Winding Method of Fly-back Transformer Considering Flux Distribution" Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference, pp.1281-1284, 2004.
- [4] D. E. Lee, S. Y. Yoon, I. N. Kim, C. J. Kim, S. H. Baek "Resonant Characteristics of LCC Series-Parallel for Single Phase Power Source" Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference, pp. 1208-1210, 2004.
- [5] C. J. Kim, D.S.Hong, Y.H.Hwang, S. Y. Yoon," The Drive and Control Circuit Design of Cold Cathode Fluorescent Lamp for LCD Back Lighting" Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference, pp.1211-1213, 2004.