

# 압전변압기를 이용한 LCD Backlight 구동

(LCD Backlight Drive Using The Piezoelectric Transformer)

임성운\* · 최연호 · 원철호 · 구본호 · 김이국

(Sung - Woon Im · Youn - Ho Choi · Chul - Ho Won · Bon - Ho Koo · Lee - Kook Kim)

## 요 약

기계적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환시키는 장치인 압전변압기는 고전압·고효율의 소형변압기이다. 압전변압기는 노트북용 LCD backlight 구동장치로 적합하며, 공진주파수에서 동작시 거의 정현파에 가까운 교류파형을 출력하는 장치이다. 본 논문에서는 입력 DC 전압으로부터 FET를 구동시키는 게이트 신호로 변환시킨 다음 LC공진을 통하여 정현파를 생성시켜 압전변압기를 구동시키는 인버터에 대하여 논의하였다. 실험결과 압전변압기의 전압 이득과 공진주파수는 부하에 비례하며, 전압 이득은 입력전압의 변화에는 무관하게 나타났다.

## Abstract

The piezoelectric transformer converts electrical energy into mechanical energy. It is high efficiency and small size transformer for high output voltage. The piezoelectric transformer operates the resonance frequency and the output voltage waveform is close to sine wave. Therefore, it is suitable for driving the LCD backlight in the notebook computer. In this paper, we discussed about the inverter which is driving piezoelectric transformer by generating sine wave through LC resonance after converting input DC voltage to the gate signal of FET. As the result of experiments, it was showed that the resonance frequency and voltage gain of the piezoelectric transformer was proportional to the load variation, and voltage gain was independent of the input voltage variation.

Key Words : LCD Backlight, Piezoelectric Transformer

## 1. 서 론

압전변압기는 압전세라믹을 이용하여 입력(1차)측에 전기신호를 가하면 압전세라믹에 기계적 진동이

생기고 이 진동이 출력(2차)측에 전달되어 다시 전기신호로 변환 출력되는 원리의 소자이다[1]. 따라서 전통적인 전자식 변압기에 비하여 권선이 불필요하므로 구조가 간단하고 소형화, 박형화, 경량화가 가능하다. 또한 에너지 변환과정 중에 자기에너지로의 변환이 없으므로 종래 권선 변압기에서 볼 수 없었던 누설 자속에 의한 효율 저하가 없으며, 권선저항 등에 의한 손실이 없다는 장점을 가지고 있다. 표피효과가 없어서 고주파화에 유리하고, 1, 2차측간의 전기절연

\* 주저자 : 경일대학교 IT대학 제어계측공학과 부교수  
Tel : 053-850-7324, Fax : 053-850-7612  
E-mail : swim@kiu.ac.kr  
접수일자 : 2003년 1월 24일  
1차심사 : 2003년 2월 4일  
심사완료 : 2003년 2월 21일

을 고려할 필요가 없으며, 전자 노이즈를 발생시키지 않고, 불연성이며, 권선 변압기에 비하여 고주파수에서 고효율화가 가능한 장점을 가지고 있다[2].

1950년대 중반 Rosen에 의해 발표된 압전세라믹 변압기는 고전압 발생용으로의 응용 가능성이 주목을 받아, 70년대에 이르기까지 주로 TV, CRT monitor display의 수평출력부분 고전압 발생장치에 응용하려는 연구가 활발히 전개되었으나 압전재료 특성상의 전력용량의 한계, 그에 따른 구동회로의 미비로 인하여 본격적인 실용화 적용까지는 가지 못하였다[1][3]. 그 후 연구활동은 대전력용 압전재료의 개발, 대전력 및 고효율 구동회로의 개발 등에 초점이 맞춰져 진행되었으며, 그 결과 압전재료의 특성개선 측면뿐만 아니라 구동회로면에서도 많은 발전을 이루어냈다. 90년대에 들어서는 notebook PC 등에 사용되는 LCD(Liquid Crystal Display) panel의 backlight용 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)의 부하특성이 압전세라믹 변압기의 출력특성과 잘 부합하는 점이 착안되어 각 사에서는 실용화 목적의 연구개발 활동이 활발히 전개되었으며, 그 결과 기존의 자기식 변압기로서는 달성하기 어려운 소형, 박형, 고효율의 backlight용 압전형 인버터가 부분적으로나마 실용화되기에 이르렀다[4-6].

본 논문에서는 압전변압기의 여러 가지 특성 실험을 한 결과를 통하여 압전변압기를 이용한 13" LCD backlight의 냉음극 형광등을 구동하기 위한 회로를 구성한 후 13" LCD backlight에 적용하였으며, 이를 통하여 향후 최적화된 구동회로 방식을 개발할 수 있으며, 고효율 압전 인버터의 실현이 용이할 것이다.

## 2. 압전변압기의 구조 및 원리

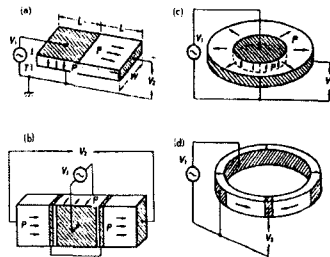


그림 1. 압전변압기의 구조  
Fig. 1. The architectures of piezoelectric transformer

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제2호, 2003년 3월

압전변압기는 그림 1과 같이 여러 가지 형태로 제안되고 있으나 제작의 용이성과 실용성 면에서 Rosen형(장방향) 압전변압기가 유리하다. 장방향 압전변압기는 그림 1의 (a)에서 보는 바와 같이 판 형태의 세라믹 소자에 한쪽 반은 두께 방향의 단면에 다른 한쪽은 길이 방향의 단면에 각각 전극을 부착하였으며, 전자는 두께 방향으로 후자는 길이 방향으로 각각 직류 고전압을 가하여 분극처리 하였다. 그림 1에서 화살표 방향(P 방향)이 분극 방향을 나타낸다. 두께 방향의 전극부를 구동부, 길이 방향의 전극부를 발전부라 하며, 각각 권선형 변압기의 1차측 및 2차측에 해당한다.

압전변압기의 동작은 구동부의 길이 L과 발전부의 길이 L의 합으로 표현되는 총 길이 2L에 의해서 결정되는 고유 공진 주파수의 입력 전압을 구동부측에 인가하면 역압전 효과에 의해서 길이 방향으로 강한 진동이 발생한다. 이 기계적 진동은 압전 효과에 의해 발전부측에 전하가 발생하며 따라서 출력단에서 교류 고전압을 얻을 수 있다. 즉, 구동부 측에 축적된 정전에너지가 역압전 효과에 의하여 탄성에너지로 변환되며, 세라믹 소재는 일체형이기 때문에 변환된 탄성에너지가 구동부측에서 발전부측으로 이동해 간다. 이때 탄성에너지는 압전세라믹 소자의 응력과 변형의 곱으로 표현되고, 이렇게 해서 전달된 탄성에너지는 압전효과에 의해서 다시 정전에너지로 변환되는데 구동부측의 정전 용량에 비하여 발전부측의 정전 용량을 충분히 작게 함으로서 교류 고전압을 얻을 수 있다.

## 3. 등가회로에 의한 해석

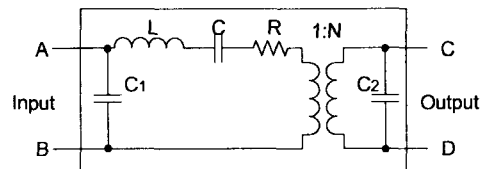


그림 2. 압전변압기의 등가회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of piezoelectric transformer

그림 2는 압전변압기의 등가회로이며, 압전변압기의 전송특성을 해석하기 위하여 1차측을 2차측으

### 압전변압기를 이용한 LCD Backlight 구동

로 변환시켜면 그림 3과 같다. 그림 2에서 알 수 있듯이 2차측에 부하를 가지면 압전변압기의 공진주파수는 2차측 병렬 캐패시터  $C_2$ 와 부하저항  $R_L$ 에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

그림 3으로부터 입력전압과 2차측의 캐패시터와 저항에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$nE_1 = n^2R(i_R + i_C) + E_2 \quad (1)$$

$$i_C = j\omega_s C_2 E_2 \quad (2)$$

$$i_R = \frac{E_2}{R_L} \quad (3)$$

여기서  $\omega_s$ 는 공진각주파수이고,  $1/\sqrt{LC}$ 이다.

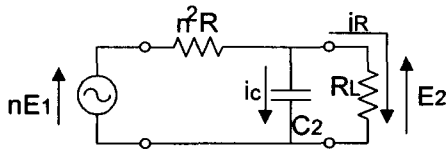


그림 3. 2차측으로 환산된 압전변압기의 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit of piezoelectric transformer referred to secondary

식 (1)-(3)으로부터 전압 이득  $G$ 는 다음과 같다.

$$G = \frac{E_2}{E_1} = \frac{n}{1 + \frac{n^2R}{R_L} + j\omega_s C_2 n^2 R} \quad (4)$$

$R_L$ 이 무한대일 때,  $G$ 는 최대가 되며, 다음과 같다.

$$G_{MAX} = \frac{n}{\sqrt{1 + (\omega_s C_2 n^2 R)^2}} \quad (5)$$

출력  $P_2$ 는

$$P_2 = \frac{|E_2|^2}{R_L} = \frac{n^2 E_1^2}{R_L [(1 + \frac{n^2R}{R_L})^2 + (\omega_s C_2 n^2 R)^2]} \quad (6)$$

과 같으며, 입력  $P_1$ 은 다음과 같다.

$$P_1 = n^2 R |i_C + i_R|^2 P_2 = E_2^2 [\frac{n^2 R + R_L}{R_L^2} + (\omega_s C_2)^2 n^2 R] \quad (7)$$

따라서, 효율  $\eta$ 은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{1 + \frac{n^2 R}{R_L} + (\omega_s C_2)^2 n^2 R R_L} \quad (8)$$

### 4. 압전변압기의 특성

압전변압기는 수직과 길이 방향의 분극과정을 거친 압전체로서 수직 방향으로 분극된 압전체에 교류 전압이 인가되면 압전 역효과에 의한 기계적인 진동이 발생되고 길이 방향 압전체로 압전 정효과에 의한 교류 전압을 출력시킨다. 변압비는 입출력측 임피던스의 비에 따라 결정되는데 공진점에서의 임피던스 값은 입력측이 수[Ω], 출력측은 수[kΩ] 정도이다.

압전변압기를 구동하기 위해서는 기계적인 공진 주파수와 동일한 주파수의 교류 전압을 공급해 주는 것이 효율적이다. 출력측이 개방된 무부하 공진주파수에서부터 부하의 임피던스 값이 낮아짐에 따라 압전변압기의 공진 주파수도 낮아지며, 변압비도 감소한다. 따라서, 부하에 따라 변하는 공진주파수 대역에서 구동하는 것이 압전변압기를 응용하는데 있어 중요한 부분이다.

본 논문에서 사용한 압전변압기는 일본 Tamura에서 제작한 단층 Rosen형 압전변압기이며, LCD backlight의 경우 LG Phillips사의 13 "LCD를 사용하였다. 다음은 압전변압기의 특성을 측정하기 위한 측정회로(그림 4)와 공진 주파수(67.4kHz)에서의 특성 파형(그림 5)이다.

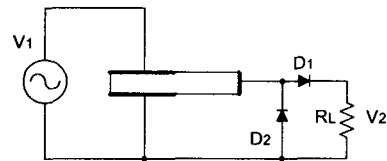


그림 4. 압전변압기 특성 측정회로  
Fig. 4. Characteristic measurement circuit of piezoelectric transformer

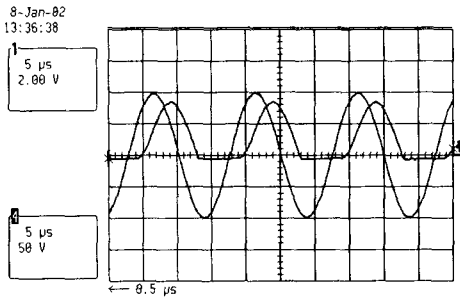


그림 5. 공진주파수에서의 입력전압(ch.1)과 출력전압(ch.4) 파형(RL = 200kΩ)  
 Fig. 5. Input voltage(ch.1) and output voltage(ch.4) waveforms at resonant frequency

그림 6은 LCD의 크기에 따라 부하조건이 변하며, 또한 부하의 변화에 따라 압전변압기의 공진주파수의 변화정도를 알아보기 위한 실험결과이다. 입력전압이 20[Vpp]일 경우 부하저항의 변화에 따른 공진주파수는 부하가 클수록 압전변압기의 공진주파수는 점차 증가되며, LCD의 크기가 클수록 부하에서 소모되는 전력이 증가하므로 압전변압기의 공진주파수는 점차 줄어드는 현상을 보인다.

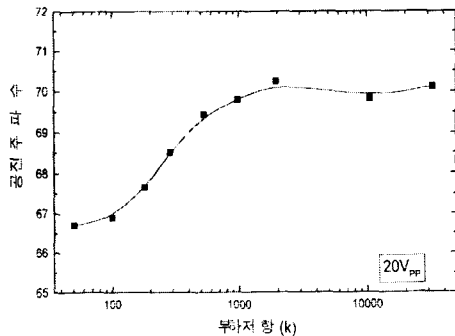


그림 6. 부하저항의 변화에 따른 공진주파수의 변화 특성(입력전압 : 20Vpp)  
 Fig. 6. Variation characteristic of resonant frequency when varying load resistor (Input voltage : 20Vpp)

그림 7은 부하저항이 178[kΩ]으로 일정할 때 입력전압 변화에 따른 압전변압기의 입력과 출력의 승압비의 변화정도를 관찰하기 위한 실험결과로서 입력전압의 변화에 관계없이 압전변압기는 거의 일정한

승압비(거의 10배정도)를 유지하고 있으며, 이 실험을 통하여 단층 로젠형 압전변압기의 승압 특성은 입력전압과 무관하다는 것을 알 수 있다.

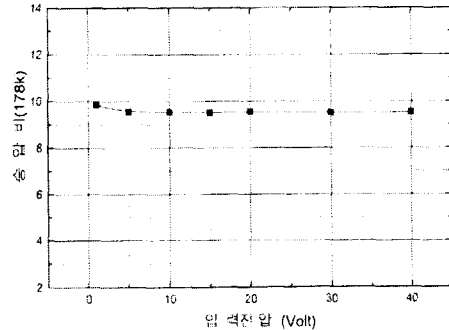


그림 7. 입력전압 변화에 따른 압전변압기의 승압비 특성(부하저항 : 178kΩ)  
 Fig. 7. Voltage gain characteristic of piezoelectric transformer when varying input voltage(load resistor : 178kΩ)

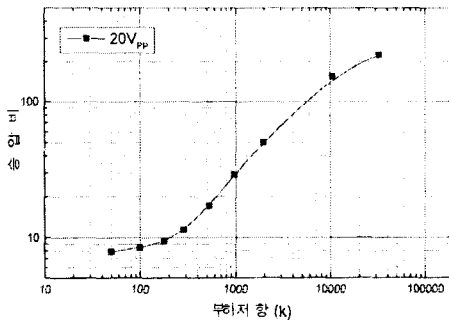


그림 8. 부하저항의 변화에 따른 압전변압기의 승압비 특성(입력전압 : 20Vpp)  
 Fig. 8. Voltage gain characteristic of piezoelectric transformer when varying load resistor (Input voltage : 20Vpp)

그림 8은 입력전압이 20[Vpp]로 일정할 경우 부하저항의 변화에 따른 압전변압기의 입력과 출력의 승압비로서 식 (4)에서 볼 수 있듯이 부하저항이 클수록 승압비는 점차 증가되는 현상을 보이고 있다. 부하에서 소모되는 전력이 증가할수록 일반적으로 압전변압기는 효율이 감소되는 특성을 가지고 있으므로 승압비는 감소되는 특성을 가지고 있음을 실험결과에서 알 수 있다.

### 5. 압전변압기를 이용한 인버터

압전변압기의 구동방식으로 종래에는 자려발진 방식이 주류를 이루었지만 변환 효율에 한계가 있기 때문에 변압기의 2차 출력을 궤환해서 주파수 제어를 한 타려발진 방식을 채용하고 있다. 이것은 냉음극형광램프로 흐르는 전류를 검출하고 이것이 일정하게 되도록 발진주파수를 제어하여 정전류 동작을 행하고 있다.

또한 변압기의 입력전압 과형으로 기계적 진동을

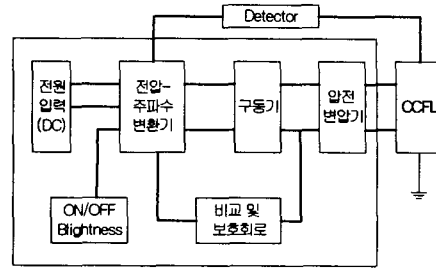


그림 9. 제작된 회로의 구성도  
Fig. 9. Block diagram of designed circuit

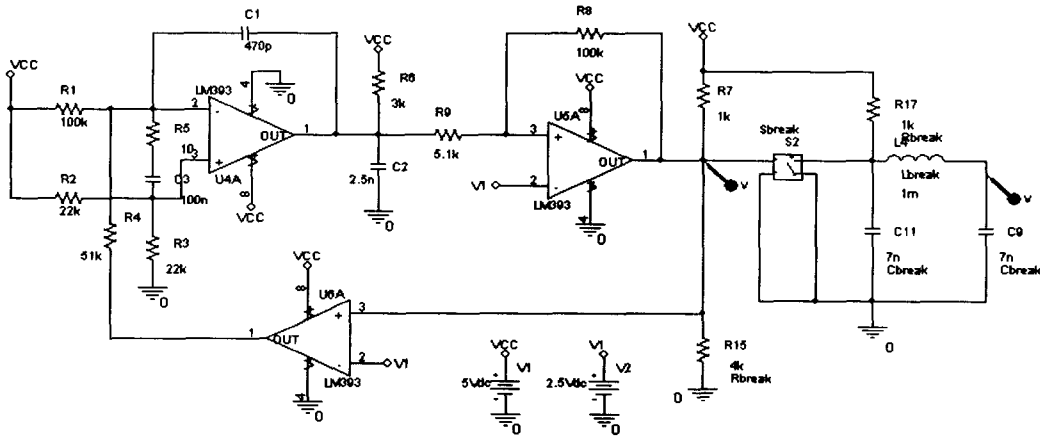


그림 10. 전압-주파수 변환기  
Fig. 10. Voltage-frequency converter

하기 위한 가장 효율이 좋은 과장으로 FET로 발생시킨 구형파를 초크코일과 압전변압기의 용량성분과 공진에 의한 정현파로 변환함으로써 구동의 고효율화를 꾀하고 있다.

그림 9는 본 논문에서 사용하고 있는 CCFL을 구동하기 위한 구동부의 블록도이며, 그림 10은 그림 9 구동 블록도의 전압-주파수 변환기를 구현하기 위한 Pspice 모의실험 회로이며, 그림 11은 Pspice 모의실험 과형으로 전압 5[V]를 인가시 먼저 구형파를 발생시킨 후 공진에 의하여 정현파를 발생시키게 된다. 이때 구동기에서는 정현파 출력을 약 10배정도 증폭시킨 후 압전변압기의 입력에 인가된다.

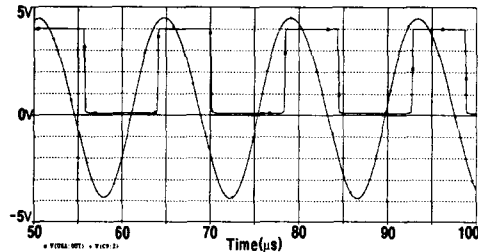


그림 11. 전압-주파수 변환기의 모의실험 파형  
Fig. 11. Simulation waveforms of voltage-frequency converter

그림 12는 전압-주파수 변환기의 출력과 압전변압기의 출력과형이다. 전압-주파수 변환기의 출력은 인버터 스위칭 소자인 FET에 입력되며, FET의 출

력이 압전변압기의 입력과 연결된다. 또한, 일반적으로 압전변압기는 공진 주파수 대역을 통과시키는 밴드 패스 필터의 기능을 가지고 있으므로 압전변압기의 입력단에 고조파 성분이 포함된 전압이 인가되더라도 그림 12에서 볼 수 있듯이 압전변압기의 출력은 노이즈가 거의 없는 정현파형이 출력됨을 알 수 있다.

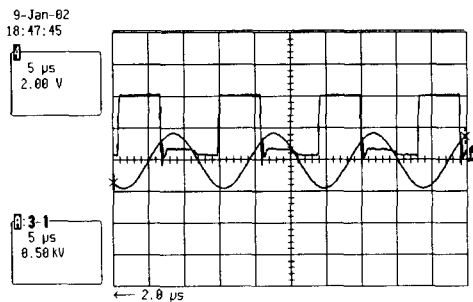


그림 12. 전압-주파수 변환기와 압전변압기의 출력 파형  
Fig. 12. Output voltage waveforms of voltage-frequency converter and piezoelectric transformer

## 6. 결 론

본 논문은 단층 Rosen형 압전변압기의 특성을 분석한 후 이를 통하여 LCD backlight 구동회로를 구성하여 LCD backlight를 구동시키는 방법에 대한 연구결과로서 실험에 사용한 단층 Rosen형 압전변압기의 특성은 부하저항에 따라 공진주파수와 승압비는 비례하는 현상을 가지고 있으며, 입력전압의 변화에는 승압비가 무관함을 알 수 있다. 또한, 압전변압기는 전압-주파수 변환회로의 출력에 많은 고조파 성분이 포함되어 있더라도 압전변압기의 출력은 노이즈가 매우 적은 정현파가 출력되므로 13 "LCD backlight를 구동하는데 별 무리가 없음을 알 수 있다.

향후 압전변압기의 용량을 증가할 경우 15 "용 LCD backlight까지도 구동할 수 있을 것이며, 본 논문에서 제시한 압전 인버터 구동회로를 좀더 수정 보완할 경우 산업체에서 소형 PDA용 LCD backlight 구동용으로 적용할 수 있을 것이다.

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제2호, 2003년 3월

## References

- [1] C. A. Rosen, "Ceramic transformers and filters", Proceedings of the Electronic Symposium, pp. 205-211, May 1956.
- [2] Zaitzu T et al, "Piezoelectric Transformer converter with PWM Control", IECE Transaction on Communications, Vol. E80-B, No. 7, pp. 1035-1044, 1997.
- [3] H. W. Katz, "Solid state magnetic and dielectric devices", John Wiley & Sons, 1959.
- [4] T. Zaitzu et al, "Piezoelectric transformer converter with frequency control", IEEE INTELEC'95 Proc., pp. 175-180, Oct. 1995.
- [5] M. Sugimoto et al, "Very compact inverter for color LCD backlight utilizing a packaged piezoelectric transformer", SID'96 Digest, pp. 757-760, 1996.
- [6] M. Shoyama, T. Zaitzu et al, "Operation analysis of the push-pull piezoelectric inverter", Proceeding of APEC, pp. 573-578, Feb. 1997.

## ◇ 저자소개 ◇

### 임 성 운 (任成雲)

1964년 10월 24일생. 1987년 경북대 전자공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 제어계측공학과 부교수.

### 최 연 호 (崔演鎬)

1970년 4월 30일생. 1992년 경북대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 비주유텔 근무.

### 원 철 호 (元哲昊)

1968년 2월 3일생. 1992년 경북대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 제어계측공학과 조교수.

### 구 분 호 (具本鎬)

1956년 7월 30일생. 1980년 경북대 전자공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 제어계측공학과 부교수.

### 김 이 국 (金利國)

1946년 9월 30일생. 1969년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 전기공학과 교수.