

# 대화면 Backlight를 위한 EEFL 구동용 압전 인버터 설계 및 분석

박홍순, 양승학\*, 임영철, 한근우\*\*

전남대학교 전기공학과 RRC, 호남대학교 전기공학과\*, LG 이노텍(주)

## The Design and Analysis of the Piezoelectric Inverter to Drive EEFL for a Large Screen

Hong-Sun Park, Seung-Hak Yang\*, Young-Cheol Lim, Keun-Woo Han\*\*

RRC & Dept. of Electrical Engineering Chonnam National University

\*Electrical Engineering Honam University

\*\*LG Innotek Co. Ltd

### ABSTRACT

현재 LCD(Liquid Crystal Display)용 광원으로 주로 냉음극 방전램프(CCFL : Cold Cathode Fluorescent Lamp)가 사용되고 있으며, 그 외 LED를 비롯해서 외부전극 방전램프(EEFL : External Electrode Fluorescent Lamp), 면광원(FFL : Flat Fluorescent Lamp), 전계 방출램프(FEL : Field Emission Lamp)등 다른 광원에 대한 적용도 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 멀티램프 구동이 유리하여 인버터 개수를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있는 EEFL을 사용하였으며, 변압기의 자체 손실을 줄이고 소형화가 가능하며, 높은 승압 비를 갖는 압전 변압기를 병렬로 연결하여 멀티램프 구동이 가능하도록 하였다. 최적의 EEFL 구동회로를 구성하기 위해서 Push-Pull 타입의 압전 인버터를 설계하였으며, 설계된 인버터 회로에 대한 시뮬레이션 분석을 수행하고, 향후 여러 형태의 구동 방법을 적용하므로써 압전 변압기에도 대화면 멀티 램프 구동용 인버터의 제작이 가능함을 제시하였다.

### 1. 서 론

일반적으로 액정 디스플레이 (LCD : Liquid Crystal Display)는 TV, Laptop PC, Monitor, Video Cam, Mobile Phone, Navigation 등 전자정보기기 전반에 걸쳐 사용되고 있다. 그러나 자체 발광능력이 없기 때문에 Backlight 용 광원이 필요하게 되고 냉음극 방전램프의 사용이 일반적이다.

또한 최근 LCD 모니터 화면의 대형화에 따라서 패널 뒷면에 여러 개의 방전램프를 장착함으로써 백라이트를 하고 있으며 기존의 냉음극 방전램프 대신에 외관전극 형광램프 (EEFL : External Electrode Fluorescent Lamp)를 사용하면 저 전류 고전압으로 구동할 수 있는 장점을 이용하여 기존의 냉음극 방전램프의 멀티램프 구동 시 전류의 분담으로 여러 개의 인버터가 필요 하였던 것을 인버터의 수를 줄 일수 있게 한다.

방전램프 구동용 인버터로는 권선 변압기를 사용하는 것이 일반적이나 이는 코어나 권선 손실에 의해 효율이 낮으며, 부피나 중량 또한 크다. 또 파열에 의한 화재의 위험성 등 단점이 있다. 이를 대체하기 적합한 소자로서 압전 변압기가 있는데 고효율, 소형, 경량, 불연성, 저 EMI 등 많은 장점이 있는 반면 공진주파수가 있는 일종의 세라믹 소자를 사용하게 되어

주파수 의존도가 높고, 좁은 최대 전력전달 진동주파수 대역을 가지며, 입력 측 커패시턴스에 기인한 매칭 회로설계의 어려움이 있고, 깨지기 쉽다는 단점이 있어 인버터 설계 시 주의가 필요하다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 외관전극 형광램프를 적용한 대화면 LCD Backlight 인버터 구동에 압전 인버터의 적용 가능성과 압전 변압기 특성에 부합된 회로를 설계하기 위하여 관경 4.0mm, 관장 740mm 로 기준부하를 선정하고, 압전 변압기는 KongHoong사의 약 10W Rosen 타입의 적층형 변압기를 사용하였다.

이 압전 변압기는 임피던스 분석기(HP4149)로 통한 어드미턴스 측정법을 이용하여 압전 변압기의 공진점을 측정하였고, 이를 기반으로 전기적인 등가회로를 구성하였으며 최적화의 EEFL 구동회로를 구성하기 위해서 Push-pull을 적용하여 압전 인버터를 설계하였다.<sup>[2]</sup>

### 2. 외관전극 형광램프와 압전 변압기의 구조 및 특징

#### 2.1 외관전극 형광램프의 구조 및 동작원리

EEFL은 방전 공간 내부에 전극이 없으며, 유리관 양끝 외부에 설치된 외관전극의 용량성 결합에 의하여 작동된다. CCFL이 방전관 내부의 양 끝에 설치된 금속전극이 방전 플라즈마에 노출되어 직접 금속전극으로 전류가 흐르는 직류형 방전인 반면에, EEFL은 방전관 내부의 양 끝에 하전입자가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내부의 양 끝에 하전입자가 쌓여서 플라즈마 전류가 방전관 내에 교차적으로 흐르는 교류형 방전이다. 따라서 외관전극 형광램프는 전극이 직접 플라즈마와 상호 작용을 피할 수 있어서 수명에 매우 유리하며, 전극이 외부에 설치되므로 램프의 제작이 매우 간편하다.

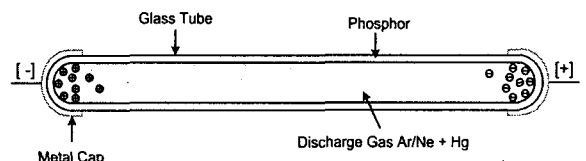


그림 1 EEFL 구조  
Fig. 1 Construction of EEFL

그림 1에 EEFL의 램프구조와 하전입자의 동작에 대한 개념을 나타내었다. 유리관의 내벽에는 RGB의 삼원색 발광 형광체를 코팅하고, 방전기체는 네온과 아르곤의 혼합기체에 미량의 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉합한다. 양끝의 유리관에 구리재질의 외부전극을 캡 형태로 설치한다.

EEFL은 정현파 구동보다는 구형파 구동에 의하여 고휘도와 고효율을 얻는데 효과적이므로, 벽전하의 거동에 따른 자기 방전 동기화 방식을 제시하였다.<sup>[3]</sup>

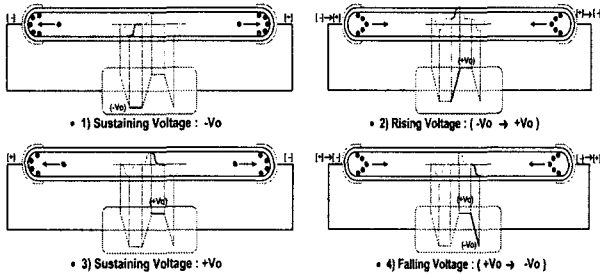


그림 2 EEFL 전기적 구동방법  
Fig. 2 Driving Method of EEFL Electric Charge

## 2.2 압전 변압기 구조 및 등가회로

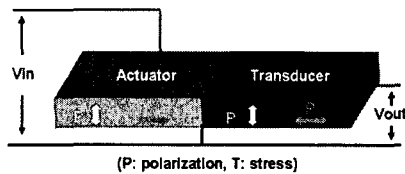


그림 3 압전 변압기의 구조  
Fig. 3 Structure of Piezoelectric Transformer

본 논문에서 사용된 압전 변압기의 크기는 7.4(W) x 35.0(L) x 3.1(T)[mm]이며, 이러한 압전 변압기의 특징으로는  $\lambda/2$ ,  $\lambda$ ,  $3\lambda/2$ 에서 공진 특성이 있으나 본 연구에서는  $\lambda/2$ 로 48kHz 부근의 공진주파수를 사용하였다.

어드미턴스 계측법을 통한 압전 변압기의 등가 방법은 입·출력 단을 교차적으로 단락시킨 후 임피던스 분석기(HP4194A)로 각각의 변수 값을 얻을 수 있으며, 또한 어드미턴스 계측에 의해 얻어진 파라미터를 통하여 등가회로화 할 수 있다. 그림 4는 회로 설계 시에 중요 인자로서 입·출력측 커패시턴스 값(Cd1, Cd2)과 승압비(1:N)가 있다. 보통 Cd1은 수십~수백 [nano]이며, Cd2는 수[pico]이다.

임피던스 분석기를 통한 압전 변압기의 등가회로의  $C1=155nF$ ;  $C2=18.9pF$ ,  $N=50$ ,  $R=1.75\Omega$ ,  $L=1.13mH$ ,  $C=7.99nF$ 의 값들을 얻을 수가 있었다.

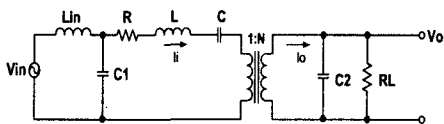


그림 4 압전 변압기의 등가회로  
Fig. 4 Equivalent Circuit of Piezoelectric Transformer

## 3. 압전 인버터의 적용 토폴로지 및 AC 분석

### 3.1 압전 인버터의 적용 토폴로지

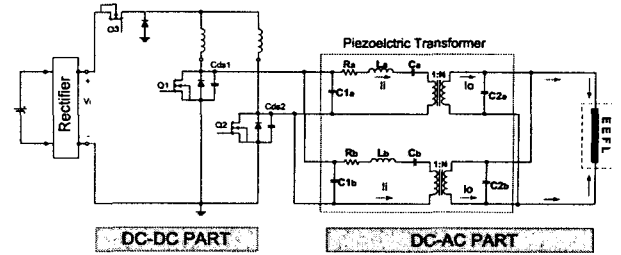


그림 5 Push-Pull 타입의 압전 인버터  
Fig. 5 Piezoelectric Inverter of Push-Pull Type

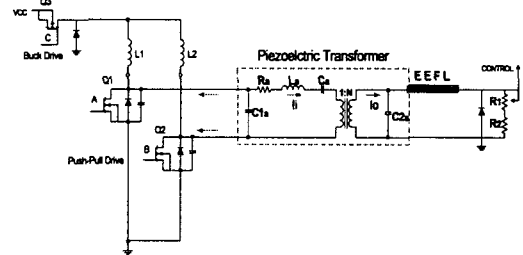


그림 6 전류 생성 Push-Pull 컨버터  
Fig. 6 Current Creation Push-Pull ZVS Resonant Converter

그림 5. 은 H-H 구동방식을 적용한 Push-Pull 타입의 압전 인버터이며, Push-Pull 타입 변환기는 ZVS (Zero Voltage Switching) 가 용이하고 변환 효율이 우수하며, 비교적 제어 쉬운 등 많은 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 30인치 대형 LCD Backlight 인버터에서 사용하고 있는 관경 4.0mm, 관장 730mm EEFL을 하나의 컨트롤 IC를 통하여 Master와 Slave 양측에 인버터를 제어하는 형태로 구성하고 H-H 램프 구동방식이 적용된 Push-Pull 타입의 토폴로지를 구성하였다.

그림 6은 본 논문에서 적용하고 있는 전류 생성 Push-Pull 컨버터를 나타낸다. 공진 주파수를 통하여 ZVS (Zero Voltage Switching) 구동을 하며, Push-Pull 출력 MOSFET (Q1&Q2)를 50% 듀티비로 교번 구동하여 ZVS을 발생한다. 전류 공급은 Push-Pull 단의 Buck Regulator (Q3)을 통하여 가능하며 제어 회로는 평균전압과 기준 전류 센싱 저항 ( $R1+R2$ ), 정류기 (D2)의 기준전압의 비로 가능하게 한다. 또한 R1을 통한 전류 제어로 램프의 휘도 제어를 가능하게 하며 변압기 2차 측은 300~1500[V] 이상의 다양하고 균형 잡힌 정현파를 발생하고 콘덴서 C2는 부하의 전압, 전류의 균형을 잡아준다.

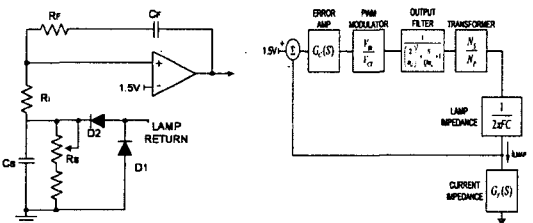


그림 7 EEFL 인버터의 블록선도  
Fig. 7 Block Diagram of Inverter for Driving EEFL

압전 변압기는 기존의 권선형 변압기와 달리 공진 주파수 부근에서 구동해야 하며 부하에 따라 공진 주파수가 변환하는 특성을 가지고 있다. 또한 압전 변압기의 부하로 연결된 외관 전극 형광램프의 점등 상태에 따라 등가 임피던스가 변하는 특

성을 가지고 있어 결과적으로 구동 주파수를 가변 해야 한다. 본 논문에서 인버터의 스위칭 회로는 입력되는 전압에 비례하는 주파수를 출력하는 장치인 주파수 변조 (VCO : Voltage Controlled Oscillator) 방식을 이용하여 입력 전압을 가변시킴으로써 주파수를 제어하고, 전압-주파수 변환기의 입력 전압은 최종 부하인 냉음극관의 출력전류를 피드백시킴으로써 점등 상태에 따른 구동 주파수가 결정되도록 설계하였다. 전압-주파수 변환기의 초기 출력은 압전 변환기의 무부하 공진 주파수와 같게 설정하였으며, 전압-주파수 변환기의 입력으로 부계환되도록 설계하였다.<sup>[4]</sup>

### 3.2 압전 인버터의 AC 분석

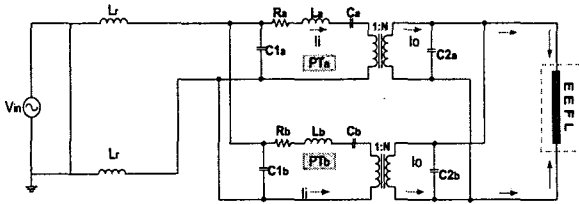


그림 8 AC 분석을 위한 등가 회로  
Fig. 8 Equivalent Circuit for AC Analysis

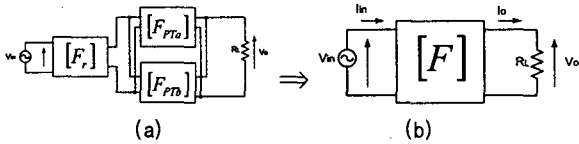


그림 9 F 행렬 구성  
Fig. 9 F-matrix Scheme

그림 8은 압전 인버터의 AC분석을 위한 등가회로이다. 그림 8과 같이 등가회로를 통하여 압전 변환기의 승압비와 효율 분석이 가능한데 이를 위해서 AC 등가회로는 F 행렬을 이용하였다. 그림 11은 압전 변환기의 AC 분석을 위한 F행렬을 나타내고 있으며, 여기서  $F_{PTa}$ ,  $F_{PTb}$  는 압전 변환기의 등가회로인 PTa, PTb를 함수화한 것이며, 입력 전류·전압, 출력 전류·전압의 심볼은 각각  $V_{in}$ ,  $I_{in}$ ,  $V_o$ ,  $I_o$  로 표현 하였다.

$$\begin{bmatrix} V_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix} = [F] \begin{bmatrix} V_o \\ I_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$F = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, F 행렬의 요소는 다음 식으로 표현된다. 입·출력 전압  $V_{in}$ ,  $V_o$  는 각각 다음 식으로 표현된다.

$$V_o = \left| \frac{R_L}{AR_L + B} \right| V_{in} \quad (3)$$

$$V_{in} = \frac{2 \times 144}{\pi} \sin \omega t \quad (4)$$

입·출력 전력  $P_{in}$ ,  $P_o$ 로 각 표현 된다.

$$P_{in} = Re \left( \frac{CR_L + D}{AR_L + B} \right) V_{in}^2 \quad (5)$$

$$P_{out} = \frac{R_L}{|AR_L + B|^2} V_{in}^2 \quad (6)$$

효율은

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 (\%) \quad (7)$$

이 된다.

## 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

### 4.1 시뮬레이션

본 절에서는 모델링된 압전 변환기의 부하 램프를 회로 해석 프로그램인 PSpice로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 실제로 제작된 압전 인버터와 동일하게 그림 10와 같이 EEFL일 때 적용하였다. 선정된 Push-Pull 방식을 동일하게 적용하였으며, 스위칭 소자의 주파수는 압전 변환기와 공진을 위하여 듀티비 0.5로 딜레이 시간을 가지고 스위칭 주파수 48 [kHz] 로 사용하였다. 그림 10의 EEFL인 경우 외부 전극으로 인한 커패시터 성분 때문에 기존의 CCFL일 때의 저항으로만 구성되어 있지 않고 직병렬로 커패시터를 부착하여 시뮬레이션을 하였다.

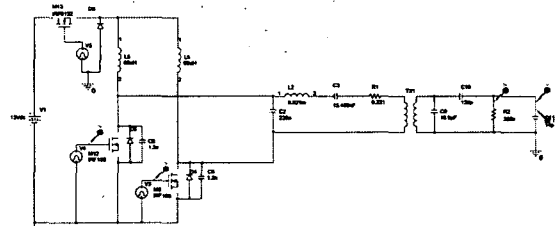
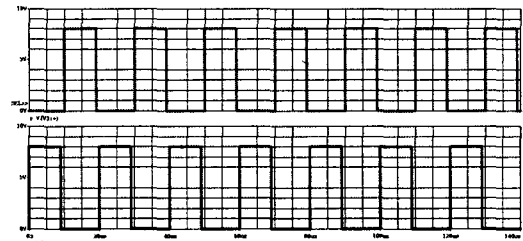
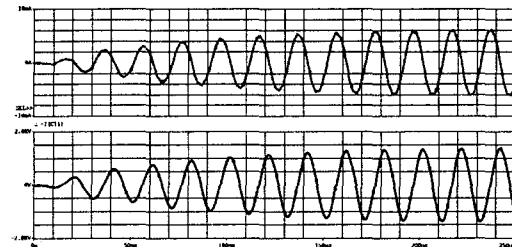


그림 10 압전 변환기를 이용한 Push-Pull 인버터 PSpice 모델  
Fig. 10 Push-Pull Inverter PSpice Model Using Piezoelectric Transformer

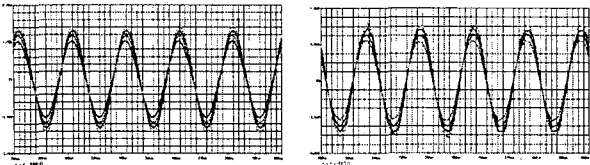


(a) Switching Waveform



(b) Output of Current(상) and Voltage(하)

그림 10 Push-Pull 인버터의 시뮬레이션 파형  
Fig. 10 Simulation Waveforms of Push-Pull Inverter



(a) Voltage Waveform (b) Current Waveform  
 그림 11 부하 저항 변동에 따른 출력 전압전류 파형  
 Fig. 11 Output Voltage · Current Waveforms with Load Resistor Variation

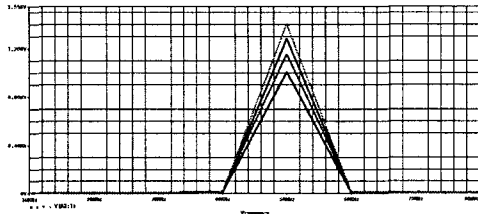


그림 12 FFT에 따른 압전 변압기의 출력 전압  
 Fig. 12 Output Voltage of Piezoelectric Transformer as FFT<sup>[5]</sup>

그림 10은 EEFL 출력 파형으로써 (a)의 구형파에 의해 스위칭 되어 생성된 정현파가 EEFL을 구동하여 (b)의 램프 전압, 전류 파형을 확인 할 수 있다. 또한 EEFL의 특성인 고전압 저 전류 구동과 전류가 전압보다 90도 앞선 형태도 확인하였다. 또한 그림 14는 부하저항을 300[k $\Omega$ ], 250[k $\Omega$ ], 100[k $\Omega$ ], 50[k $\Omega$ ] 가변시의 전압과 전류의 출력 파형이며, 그림 12는 FFT(Fast Fourier Transform)에 따른 압전 변압기의 출력 전압이다.

#### 4.2 실험 결과

설계된 인버터에서 부하 EEFL의 관경 4.0mm, 관장 740mm 인 경우 구동전압은 1500[V], 램프전류는 7.72[mA] 정도이며 방전관의 저항은 대략 330[k $\Omega$ ] 정도이다.

그림 13은 High-High 램프 구동방식을 이용한 EEFL 구동용 인버터의 출력 전압, 출력 전류, 입력 스위칭 전압 파형으로써 안정적인 정현파 구동이 잘 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다. 그리고 High-High 램프 구동방식을 이용 시 무리 없이 각각의 램프가 발광하였으며 공진주파수 48[kHz] 대역에서 구동되어 압전 변압기와의 매칭도 잘되고 있음을 확인 할 수 있다.

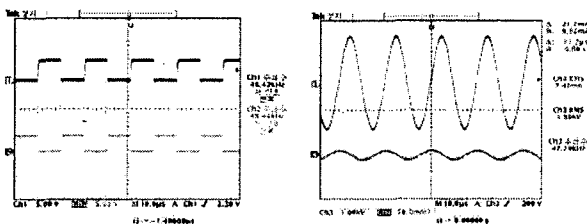


그림 13 EEFL 출력 파형  
 Fig. 13 Output Waveforms of The EEFL

### 5. 결론

본 논문은 EEFL의 전기적 특성을 분석을 하였으며, 압전 변압기를 이용하여 32inch급 대화면 LCD Backlight를 위한 EEFL 구동용 인버터를 제작하였으며, 전자회로 해석 프로그램인 PSpice를 이용하여 EEFL 구동용 압전 인버터의 시뮬레이

션을 통한 분석을 하였다. 설계, 제작된 압전 인버터는 Push-Pull 방식으로 ZVS를 함으로써 고효율을 꾀하고 있으며, 압전 변압기의 사용으로 인버터와 LCD 패널간의 불필요한 간섭현상(EMI)을 줄일 수 있다.

주로 소형 LCD Backlight 인버터에 적용되었던 압전 인버터를 H-H 방식을 적용함으로써 30인치 이상 대형 LCD Backlight 로의 적용 가능성을 검증하였으며, EEFL과 달리 대형 CCFL구동에 있어서 전류 편차와 휘도 불균형 등의 문제점이 있었지만, EEFL의 경우 H-H 램프 구동방식의 적용으로 휘도와 효율 등이 크게 개선됨을 알 수 있다.

H-H 램프 방식을 적용하는데 있어서 압전 변압기의 단점인 용량 한계에 대한 문제는 어느 정도 개선이 되었지만 기존의 권선형 변압기에 비해서 아직도 구동 전압과 전류가 높은 편이며, 효율 또한 권선형 변압기에 비해 낮은 편이다.

본 논문은 산업자원부 지정 '전남대학교 RRC-HECS' 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### 참고 문헌

- [1] 조미령, "LCD 후면 광원용 형광 램프에서 EEFL 임피던스의 최적화에 관한 연구", 광운대학교 대학원, 2002.
- [2] Doo-Oh Hur, Tae-Ku Kang, Cheol-Hwan Cho, Hae-Min Lee, Hyung-Keun Ahn, Deuk-Young Han, "Design and Fabrication of Piezoelectric Ceramic Transformer for the LCD Backlight, Properties and Applications of Dielectric Materials", Proceedings of the 5th International Conference, Vol.2. pp.843-846.1997.
- [3] Y. Takeda, M. Takagi, Y. Watanaba, M. Amano, H. Nakano, "High Reliability External Electrode Mercury Fluorescent Lamp for a LCD TV's Backlight", SID 2002 DIGEST. pp.364-349.
- [4] J. H. Han, Y. C. Lim, S. H. Yang, G. H. Kweon, "Design of the Backlight Inverter for Multi-lamp Driving", ICPE-2001, pp.80-83.
- [5] Lak-Hoon Hwang, Moon-Taek Cho, and Ik-Soo Ahn, "A Study on the PSPICE Modeling of CCFL Drive Circuit Using a Piezoelectric Transformer", 전력전자학회 논문지 제8권 제2회 2003, pp.180-191.