

## 냉 음극 방전램프용 푸시-풀형과 압전형 인버터 특성 비교

권기현\*, 임영철\*, 양승학\*\*

\*전남대학교 전기공학과, \*\*호남대학교 전기전자공학부

### A Comparison of Characteristics of the Push-Pull Inverter and Piezoelectric Inverter for a Cold-Cathode Fluorescent Lamp

Gie Hyoun Kweon\*, Young Cheol Lim\*, Seung Hak Yang\*\*

\*RRC & Dept. of Electrical Eng. Chonnam National Univ.,

\*\*RRC & School of Electrical and Electronic Eng. Honam Univ.

#### Abstract

Nowadays, the inverter for CCFL(Cold-Cathode Fluorescent Lamp) driver is needed as form of compact size, low loss and high efficiency. This paper deals with comparison of characteristics of the electromagnetic push-pull type inverter and the piezoelectric half-bridge inverter for a CCFL driver. From the experimental results, the piezoelectric inverter is proven as more efficient than conventional electromagnetic inverter.

#### 1. 서론

본 논문에서는 노트북 컴퓨터에 사용되는 LCD의 백-라이트 광원인 냉 음극 방전관 구동용 인버터에 관해 논한다. 디스플레이 화면의 대형화에 따라 그에 수반되는 백 라이트용 인버터 또한 소형, 고출력, 고효율화가 요구되어진다. 그러나 현재 사용되는 인버터 크기는 사용되는 변압기의 부피에 따라 결정되므로 변압기를 소형화 해야하는데 이미 소형화의 한계점에 있다. 또 고효율화에 가장 큰 문제점으로 권선 손실이 있다. 그래서 이를 대체하기에 적합한 소자로 기계적인 진동 에너지를 매개로 하여 전기 에너지를 전달하는 압전 변압기(Piezoelectric Transformer)[1]가 있다. 이러한 압전 변압기는 소형, 박막이고, 권선이 없어 권선 손실이 없으며, 전자기적 소음 또한 거의 없고, 세라믹 성분으로 불연성을 갖고 노화가 거의 없다는 등 많은 장점들이 있어 고압 발생용 소자로 눈길을 끌고 있다.

본 논문에서는 압전 변압기를 이용한 하프-브리지 인버터[5],[6] 회로를 설계하여 권선 변압기 사용 인버터와 특성을 비교 분석한다. 현재 사용되는 액정 백 라이트용 권선형 인버터에서는 대부분이 푸시-풀 방식의 트랜스를 사용하여 권선의 인덕턴스를 이용하고 있으며 직류를 교류로 변환하기 위한 스위칭 방식

에서 게이트 신호를 보조 권선을 이용한 자려석을 이용하고 있다. 압전 인버터에서는 권선형 변압기를 대체하여 압전 변압기를 사용하였고 제어 IC를 사용하여 스위칭을 하였다. 또한 휘도 조정 방법에서 램프 전류를 제한 하여 조절하는 방법이 아닌 변압기의 1차측에서 전류를 측정하여 램프 휘도 조정[2]을 하였다. 권선형 변압기를 사용한 인버터와 압전 변압기 사용 인버터의 특성을 비교 분석한 특성들은 입·출력 전압과 전류, 동작 주파수, 휘도, 효율 등이며 압전 변압기 사용과 변압기 1차측 휘도 제어 방법으로 실험한 인버터는 1[mm]이상의 두께를 줄일 수 있고 5[%]이상의 효율이 향상됨을 보였다.

#### 2. 권선형 푸시-풀 인버터

권선형 푸시-풀 인버터 회로는 반도체 스위칭 소자 2개와 공진용 커패시터 1개, 그리고 푸시-풀형 변압기로 구성된 인버터부와 DC-DC컨버터부로 구성되고 있다. 권선형 푸시-풀 인버터의 블럭도를 그림 1에 나타냈다.

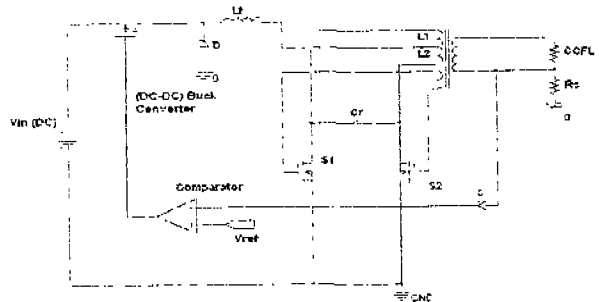


그림 1. 푸시-풀형 인버터 회로

회로의 모드별 기본동작은 그림2에 나타냈으며 스위칭 주기에 따라 4개의 모드가 반복하면서 동작한다.

모드 0 : 초기상태로 공진 커패시터 Cr은 입력전압 Vin의 2배로 충전이 된다.

모드 1 : 스위칭 소자 S1이 턴 온 되어 에너지를 부하로 전달되는 구간

모드 2 : 스위칭 소자 S1 영 전압 턴 오프 되고 스위칭 소자 S2가 턴 온 되기 전까지의 데드 타임 구간

모드 3 : 스위칭 소자 S2가 턴 온 되면서 에너지가 부하로 전달되는 구간

모드 4 : 스위칭 소자 S2 영 전압 턴 오프하고 스위칭 소자 S1이 턴 온 되기 전까지의 데드 타임 구간

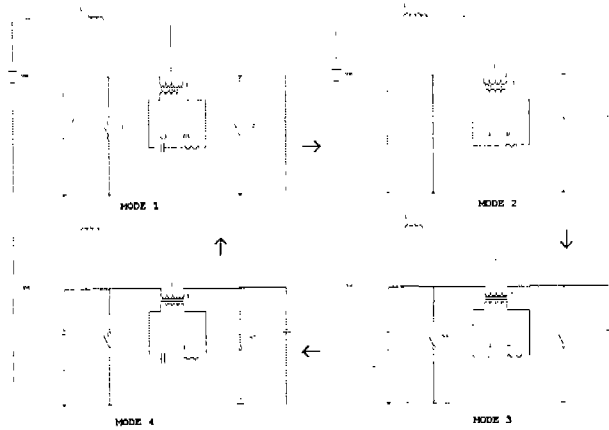


그림 2. 푸시-풀형 인버터의 동작 모드

본 논문에서 실험한 인버터의 특성들로 입력전압은 9~24[V]의 직류이고 출력전압은 램프의 특성에 따라 다르나 실험에 사용한 12.1인치 모니터용 냉 음극 방전램프는 점등 시 1.5[kV]정도 전압이 필요하고, 점등 후에는 약 600~800[V]정도의 요구전압이 있다. 그리고 출력전류는 휘도 제어에 따라 2~6[mA]정도이다. 실험의 결과에서 나타난 단점은 방전램프에 필요한 고전압을 얻기 위해서는 변압기의 권수 비를 높여야 하고 그러면 부피가 커질 뿐만 아니라 회로의 기생용량이나 누설 인덕턴스로 인한 손실이 많아진다. 이는 인버터의 소형화와 고 효율화에 문제점이 되기도 한다. 또한 변압기의 인덕턴스와 공진 커패시터(Cr)에 의해 공진주파수와 스위칭 주파수가 정해지기 때문에, 주파수를 높여 소형화의 실현도 기대하기 어렵다. 그러나 푸시-풀형 인버터의 장점으로는 간단한 회로와 보조 권선으로 반도체 스위칭 구동이 자력식이므로 스위칭 소자를 구동할 드라이버회로가 필요 없다.

### 3. 압전 인버터

압전 변압기를 사용한 인버터 회로는 하프브리지 방식이며, 다양한 입력전압과 휘도제어를 위한 DC/DC 변환부분과 L에 의해 평활 된 DC전원을 AC 전원으로 변환해 주는 스위칭 부분과 전류 검출부분과 휘도 제어 부분으로 구성되어있다. 압전 인버터의 회로는 그림 3에 나타냈다.

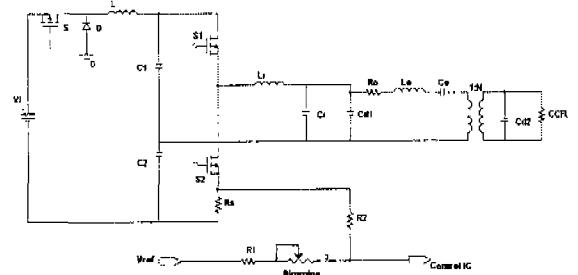


그림 3. 하프-브리지형 압전 인버터

#### 3.1 압전 변압기

압전 변압기는 일부 세라믹 물질에서 나타나는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 혹은 기계적 에너지를 전기적 에너지로 바꾸어 주는 특성을 이용한 것으로 고유공진 주파수의 전압을 인가하면 압전 효과에 의해 고전압의 출력을 얻는다. 이는 소형, 박막이고, 권선이 없어 코어 손실이 없으며, 전자기적 소음 또한 거의 없고, 세라믹 성분으로 불연성을 갖고 노화가 거의 없다는 등 많은 장점들이 있어 고압 발생용 소자로 눈길을 끌고 있다. 본 논문에서 사용된 압전 변압기는 두 점의 입력과 한 점의 출력점이 존재하는 길이 방향의 λ모드 진동을 갖는 로젠 타입의 변압기 [1]이다. 압전 변압기의 외형, 치수, 전극의 위치, 지지 점의 위치, 변위 방향, 진동 스트레스 방향 등을 그림 4에 나타냈다. 길이가 48[mm]이고 폭은 5[mm], 높이가 1.5[mm]이다. 입출력 특성으로 최대 출력 공진 주파수는 70±1[kHz]이고 최대 출력전압은 2[kVrms, ac]이고 출력전류는 6[mA]정도이다.

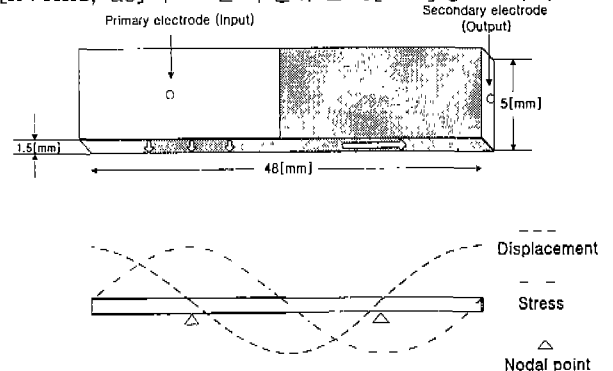


그림 4. 길이방향 λ모드 압전 변압기

### 3.2 전류 흐름에 따른 동작모드

정상상태에서 인버터의 전력변환회로동작은 한 주기 동안의 전류흐름을 기준으로 그림 5와 같이 6개의 동작모드로 나누어 나타낼 수 있다. 모드 1~3과 모드 4~6은 전류의 방향만 다르고 동작은 같다.

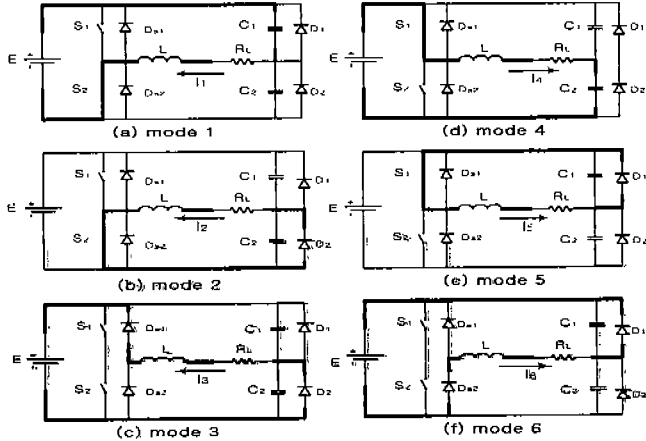


그림 5. 전류 흐름에 따른 인버터의 동작모드

그림 5에서  $R_L$ 은 압전 변압기 입력단의 전체 임피던스를 등가화 한 저항이다.

모드 1은  $S_1$ 이 오프,  $S_2$  온인 상태로 에너지가 부하로 공급되며 커패시터  $C_1$ 이 충전되는 모드이며 그림 5(a)와 같은 루프를 형성하며 이때는 R-L-C 직렬 공진 회로와 같다. 이때 흐르는 전류는 식 1과 같다.

$$i_1(t) = \frac{2E}{\beta L} \exp(-at) \sin \beta t \quad (1)$$

$$\text{단, } a = \frac{R}{2L}, \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \text{이다.}$$

그러므로 커패시터 양단 전압은 식 2와 식 3과 같이 표현 된다

$$V_{C1}(t) = E \left\{ 1 - \frac{1}{\beta \sqrt{LC}} \exp(-at) \sin(\beta t + \delta) \right\} \quad (2)$$

$$V_{C2}(t) = E \frac{1}{\beta \sqrt{LC}} \exp(-at) \sin(\beta t + \delta) \quad (3)$$

$$\text{단, } \delta = \tan^{-1} \frac{\beta}{a} \text{이다.}$$

모드 2는 환류 구간으로 그림 5(b)와 같으며  $V_{C1}$ 이 E인 순간에  $D_1$ 이 도통되어 인덕터에 흐르는 전류가 L-S<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>-R<sub>e</sub>-L의 폐 회로를 통해 환류한다.

환류 구간에서  $i_2(0) = i_1(t_a)$ 일 때, 흐르는 전류는 식 4와 같다.

$$i_2(t_2) = i_1(t_a) \exp(-2a(t_2)) \quad (4)$$

$$\text{단, } t_a = \frac{\pi - \delta}{\beta} \text{이고, } t_2 \text{는 } S_1 \text{이 ON인 구간이다.}$$

모드 3은 전원으로의 환원되는 구간으로  $S_1, S_2$  모두 개방된 상태로 그림 5(c)와 같은 루프를 형성하여 전원으로의 환원된다. 이때 흐르는 전류는 식 5와 같다.

$$i_3(t_3) = -\frac{E}{R} + \left\{ i_2(t_b) + \frac{E}{R} \exp(-2a(t_3)) \right\} \quad (5)$$

여기에서  $t_3$ 는 데드타임으로  $S_1$ 과  $S_2$ 가 모두 OFF인 시간이고,  $t_b$ 는  $S_2$ 가 차단되는 시간이다.

모드 4~6 또한 위와 같으나 스위치 소자와 전류의 방향만 다르다.

### 3.3 정상상태 등가회로 해석

하프브리지 인버터회로는 Re-L-C<sub>1</sub>의 직렬회로에 Re와 C<sub>2</sub>가 병렬로 연결된 등가회로로 나타낼 수 있다. 입력 전압은 구형파가 인가된다. 인버터의 등가회로는 그림 6에 나타냈다.

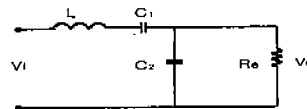


그림 6. 인버터의 등가회로

그림 6에서 Re는 압전 변압기 입력단의 전체 임피던스를 등가화 한 저항으로  $V_0$ 은 압전 변압기의 입력 전압이 된다.

등가회로를 이용하여 입력과 출력의 관계의 전달함수를 알아보기 위해 전압과 전류에 관한 미분 방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$L \frac{d}{dt} i_1(t) + \frac{1}{C_1} \int i_1(t) dt + \frac{1}{C_2} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt = V_i(t) \quad (6)$$

$$R i_2(t) + C_2 \int [i_2(t) - i_1(t)] dt = 0 \quad (7)$$

$$R i_2(t) = V(t) \quad (8)$$

식 6, 식 7, 식 8을 라플라스 변환 후 정리하면 식 9와 같은 전압 이득 식을 구할 수 있다.

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{LC_2 s^2 + \frac{L}{R} s + \frac{C_2}{C_1} + \frac{1}{C_1} R s + 1} \quad (9)$$

이러한 인버터의 등가회로는 L, C<sub>1</sub>의 직렬 공진과 L, C<sub>2</sub>의 병렬 공진이 복합된 구조로 경부하에서는 병렬공진이 주로 동작하며 최대부하에서는 직렬공진의 영향이 크게 나타난다. 무 부하에서 C<sub>1</sub>과 C<sub>2</sub>가 직렬 연결이라면 공진 주파수는 식 10과 같이 표현된다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1 C_2}} \quad (10)$$

점등 후에는 L과 C<sub>1</sub>의 직렬 공진이 주가 되는 특성이 있다. 이는 식 11에 나타냈으며 식 12는 특성 값들이다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC_1}} \quad (11)$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_e} = \frac{Z}{R_e} = \frac{1}{R_L \omega C_1} \quad (12)$$

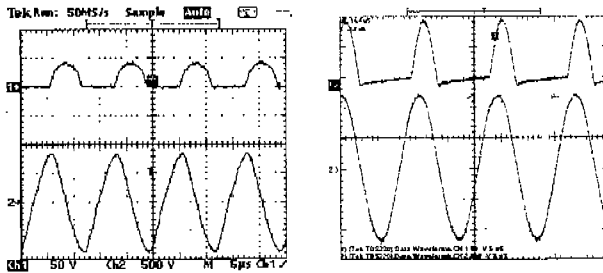
위와 같은 해석에 의해 소자의 특성 값을 찾을 수 있다.

#### 4. 실험 및 특성 비교

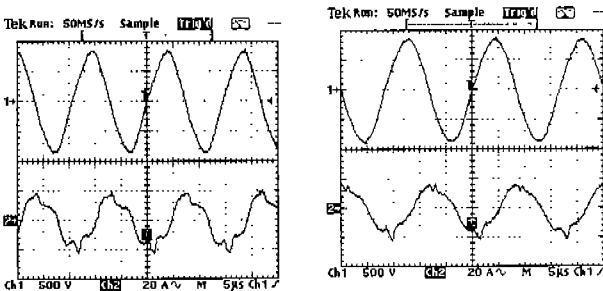
본 실험에 사용한 권선 변압기 사용 인버터는 12.1 인치 모니터용을 사용하였으며 세부 특성으로 입력전압은 DC 9V~25[V]이며 무부하시 출력전압은 최대 1600[V]이며 점등 후 출력전압은 1200[V]였다. 휘도 조절에 따른 공진 주파수는 54[kHz]~60[kHz]이며 출력전류는 최소 2.4[mA], 최대 5.75[mA]였다. 압전 인버터의 입출력 특성으로는 입력전압이 5~20[V]이며 입력전류는 최대 0.5[A]이며 스위칭 주파수와 출력전압 주파수는 69[kHz]이다. 권선 변압기 사용 인버터와 압전 인버터와 특성 비교를 위해 실험에 의한 인버터의 공진전압과 출력전압파형을 그림 7에 나타냈고 출력 전압과 전류 파형을 그림 8에 나타냈다. 그리고 비교 분석한 특성들의 항목과 값을 표 1에 나타냈다.

표. 1 인버터의 입출력 특성

Item	권선형 푸시-풀 인버터				압전 인버터			
	MIN	TYP	MAX	Remark	MIN	TYP	MAX	Remark
Vin[V]	9		25.2		5		20	
In[A]			0.56				0.53	
Vout[V]	1200		1600		700		1600	
Iout(MAX)[mA]	5.15	5.45	5.75	PWM: 90%	5.0	5.8	6.5	Vadj: 2[V]
Iout(MIN)[mA]	2.4	2.7	3.0	PWM: 30%	2.0	2.8	3.5	Vadj: 1[V]
Vout Freq.[kHz]	54	57	60	Vin: 15[V]	68	69	71	Vin: 10[V]
Brightness			150				156	



a) 권선형 푸시-풀 인버터    b) 압전 인버터  
그림 7 인버터 공진 파형과 출력전압파형



a) 권선형 푸시-풀 인버터    b) 압전 인버터  
그림 8 인버터 출력 전압, 전류 파형

#### 5. 결론

액정 백 라이트용 인버터의 소형, 고 효율화에 문제점으로 지적되는 것이 권선 변압기의 부피와 손실이고 회로의 기생용량과 누설 전류이다. 권선형 변압기를 사용한 인버터와 압전 변압기 사용 인버터의 특성을 비교 분석하여 소형, 고 효율화의 문제점들을 해결하려 한다. 입·출력 전압과 전류, 동작 주파수, 휘도, 효율 등을 비교 분석한 결과로써 압전 변압기 사용과 변압기 1차측 휘도 제어 방법으로 실험한 인버터가 1[mm]이상의 두께를 줄일 수 있고 5[%]이상의 효율이 향상됨을 보였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질 전기·전자 부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원으로 연구되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Rosen, C. A., : Ceramic Transformer and Filters, Proc. Electronic Comp. Symp., pp. 205-211. 1956.
- [2] Mu-Shen Lin, Wen-Jung Ho, Fu-Yuan Shih, Dan Y. Chen, Yan-Pei Wu : A Cold-Cathode Fluorescent Lamp Driver Circuit with Synchronous Primary-Side Dimming Control, IEEE TRANSACTION ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. VOL. 45. NO. 2. pp.249-255, APRIL 1998.
- [3] Mark Jordan, John A. OConnor : Resonant Fluorescent Lamp Converter Provides Efficient & Compact Solution, IEEE APEC. pp.424-431, 1993.
- [4] Richard Redl, Koji Arakawa : A Low-Cost Control IC Single-Transistor ZVS Cold-Cathode Fluorescent Lamp Inverter and DC/DC Converter, IEEE APEC pp.1042-1049, 1997.
- [5] Masahito Shoyama, Kuniyasu Horikoshi, Tamotsu Ninomiya, Toshiyuki Zaitzu, yasuihiro Sasaki : Operation Analysis of the Push-Pull Piezoelectric Inverter, IEEE APEC and Exposition, Feb., pp.573-578. 1997.