

압전 변압기를 이용한 멀티램프 구동용 인버터 설계

조성구, 임영철, 양승학*
 전남대학교 전기공학과, 호남대학교 전기공학과*

Design of Inverter for driving the Multi-lamp using a Piezoelectric Transformer

Cho Sung Koo, Lim Young Cheol, Yang Seung Hak*
 RRC & Electrical Engineering Chonnam National University
 RRC & Electrical Engineering Honam University*

ABSTRACT

액정 디스플레이의 백라이트 광원으로 냉음극 방전램프(CCFL: Cold Cathode Fluorescent Lamp)가 일반적으로 사용된다. 최근 LCD 모니터의 두께는 갈수록 얇아지며, 화면은 넓어지고 있는 대형화 추세이다. 기존의 권선형 변압기를 이용 인버터를 구성하여 멀티램프를 구동하고 있지만 이는 코어나 권선 손실에 의한 효율 저하와 부피나 중량의 증가, 그리고 과열에 의한 화재의 위험성을 가지고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 본 논문에서는 압전 변압기를 이용한 멀티램프 구동용 인버터를 설계 지침에 따라 구성하였다. 인버터 하나로 압전 변압기를 병렬로 연결하는 방식을 이용하였고, 또한 전류 부담이 적은 외관 전극 형광 램프(EEFL: External Electrode Fluorescent Lamp)를 이용한 멀티램프 구동 방법을 압전 인버터에 적용 가능한지 고찰하였다. 적용한 방식으로는 풀-브리지(Full-Bridge)회로를 응용하였다.

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 백라이트용 광원이 필요로 하여 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 사용함으로써 저전류

고전압으로 구동할 수 있는 장점을 이용하여 기존의 냉음극 방전 램프의 멀티램프 구동시 전류의 부담으로 여러 개의 인버터가 필요하였던 것을 인버터의 수를 줄이고자 사용되어지고 있다. 방전램프 구동용 인버터로는 권선 변압기를 사용하는 것이 일반적이거나 이는 코어나 권선 손실에 의해 효율이 낮으며, 부피나 중량 또한 크다. 또 과열에 의한 화재의 위험성 등 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 고효율, 소형, 경량, 불연성, 저 EMI 등 많은 장점을 가지고 있는 압전 변압기를 이용한 멀티램프 구동용 인버터를 설계 지침에 따라 구성하였고 전류 부담이 적은 외관 전극 형광 램프(EEFL)를 이용한 멀티램프 구동 방법을 압전 인버터에 적용 가능한지 고찰하고자 한다.

본 논문에서는 하나의 인버터로 압전 변압기 두 개를 병렬 구동하였고 부하로는 CCFL과 EEFL을 사용하여 압전 변압기 특성에 부합되고 병렬 운전이 가능 하도록 회로를 설계하기 위하여 CCFL인 경우 관경 2.6mm, 관장 360mm으로, EEFL인 경우 관경 3.0mm, 관장 370mm을 기준부하로 선정하고 파워 스테이지는 풀 브리지를 적용하여 6W급 압전 인버터를 설계하므로써 압전 변압기 특성에 부합된 회로 설계기법을 체계화하고 향후 대형 화면에 적용이 가능한 멀티 램프용 인버터를 설계하고자 한다.

2. 압전 인버터 회로의 설계 절차^[1]

2.1 Step 1. 부하의 선정

방전램프의 방전특성은 램프 양단의 전극에 고전압을 인가하면 전계에 의한 전자 방출이 일어나 내부에 삽입된 수은(Hg)을 여기하여 자외선을 발산하며, 이는 형광물질에 부딪혀 가시광선으로 빛을

발한다. 점등 특성으로는 점등 시 높은 전압과 점등 후 안정된 유지 전압, 전류가 필요하다.

부하의 선정에 있어서 고려해야 할 점은 방전 램프의 길이, 관경 등에 따라서 점등 전압과 전류가 다르다는 것이며, 냉음극 방전램프와 외관전극 형광 램프의 점등 특성이 다르므로 부하를 선정한 다음 압전 변압기의 선정과 인버터 설계시 전류 및 전압 용량을 결정하는 중요한 요인이 되기 때문에 부하의 선정은 중요하다.

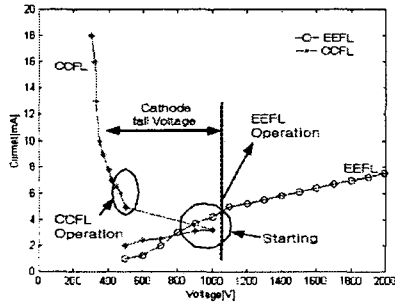


그림 1 EEFL과 CCFL V-I 특성곡선
Fig. 1 V-I Characteristics curve of EEFL and CCFL

EEFL인 경우에는 CCFL과 다르게 고전압 저전류를 요구하며 그림 1과 같이 CCFL과 EEFL의 V-I 특성곡선에서도 이를 확인할 수 있고 외부 구조와 전극의 위치는 그림 2와 같이 다를 수 있다.

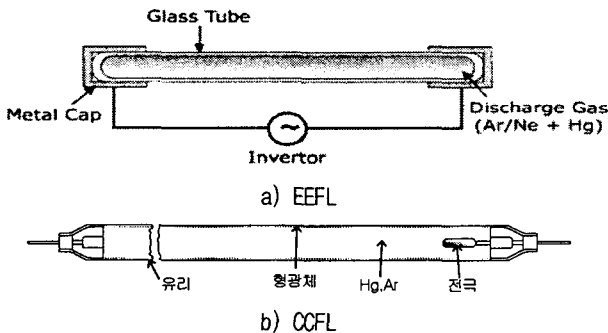


그림 2 EEFL과 CCFL의 구조
Fig. 2 Construction of EEFL and CCFL

LCD모니터 화면은 대형화, 슬림화에 따라 방전 램프의 길이 또한 길어지고 얇아지고 있어 더 높고 큰 초기 점등전압과 소비전류가 요구된다.

2.2 Step 2. 압전 변압기 선정 및 특성 분석

2.2.1 압전 변압기^[2]

승압용 압전 변압기의 승압비는 입출력의 임피던스에 따라 결정되는데 공진점에서의 임피던스는 입력측에 대해 출력측이 훨씬 높은 값을 가진다.

압전 변압기의 높은 승압비를 얻으려면 공진주파

수와 동일한 구동주파수의 선형적 교류전압을 인가하여야 하며, 부하에 따라 공진주파수의 차이가 있으므로 구동주파수의 매칭이 필수적이라 하겠다.

본 논문에서 사용된 압전 변압기의 크기는 7.4(W) × 35.0(L) × 3.1(T)[mm]이다. 변압기 전압 전달특성과 공진점을 측정하기 위해 네트워크 분석기(HP3577A)를 사용하여 $\lambda/2$, λ , $3\lambda/2$ 에서 공진 특성을 나타냈으나 본 논문에서는 $\lambda/2$ 로 55kHz 부근의 공진주파수를 사용하였다. 이는 방전램프의 세경화에 따른 고주파수 구동이 램프 포화를 야기하여 더 이상의 효율상승이 없기 때문이다. 본 논문에서 사용한 압전 변압기의 승압비는 최대 50배, 최소 40배이다.

2.2.2 압전 변압기의 등가회로

본 논문에서는 등가회로의 파라미터를 임피던스 분석기(HP4194A)로 이용하여 G-B에 의한 어드미턴스 궤적법을 사용하여 구하여 그림 3과 같은 전기적인 등가 회로를 얻을 수 있다.^[3]

회로 설계 시에 중요 인자로서 입·출력측 커패시턴스값(Cd1, Cd2)과 승압비(1:N)가 있다. 보통 Cd1은 수십~수백[nano]이며, Cd2는 수[pico]이다.

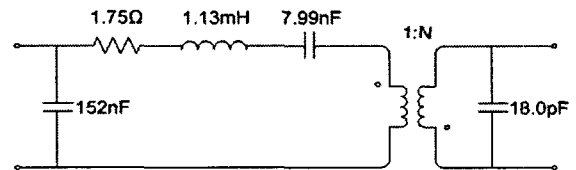


그림 3 압전 변압기의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit of PT

2.3 Step 3. 인버터 적용 토폴로지 선택 및 설계

2.3.1 전력변환 토폴로지 선택^[4]

백라이트 구동을 위한 인버터는 다음과 같이 세 가지의 요건이 필수적이다. 첫째로 다양한 직류입력에 대응하기 위한 DC/DC 변환기가 있어야 한다. 이는 일반적인 랩톱 컴퓨터의 경우, 배터리와 어댑터의 출력이 다르기 때문이다. 둘째로 고압의 정현파에서 최대 효율로 램프를 구동하기 위한 DC/AC 변환기가 필요하다. 마지막으로 모니터의 화면 밝기 조절을 위한 휘도제어가 있어야 한다. 이외에 부가적으로 부하의 손상 시 과전압보호, 저전압 입력방지 그리고 온/오프 회로 등이 필요하다.

압전 변압기를 이용한 전력변환 토폴로지는 매우 다양하다. 특징으로는 다음과 같은 것들이 있다. Pre-transformer single methode는 간단한 구조와 제어가 쉬운 반면에 높은 품질계수와 큰 공진 인덕터를 요구하고 ZVS(Zero Voltage Switching)설정이 어렵다는 단점이 있다. 또한 푸시-풀과 하프-

브리지의 변환기는 ZVS 설정이 용이하고 변환효율도 우수하며 제어 용이성 등의 장점이 있으며 하프-브리지의 단점은 upper side의 공진전압을 이용하므로 변압기의 노화가 일어날 수 있고 스위칭 소자 구동 시 주의가 필요하다.

본 논문에서는 높은 전력변환효율과 저전압 구동시 좋은 특성을 갖는 풀-브리지를 응용 설계하였고 이는 변압기 병렬 구동시 높은 전력전달을 위해서이다.

2.3.2 멀티램프 구동용 인버터^[5]

그림4는 실제로 30인치 이상급에서의 멀티램프 구동용 인버터의 구성도이다. 인버터는 램프의 수에 따른 많은 전력을 전달하기 위해 직렬 공진형 풀 브리지를 이용하였다. 변압기 1차 측에 스위칭 신호의 발생과 광범위한 입력 전압을 위한 DC/DC 컨버터 부분과 램프의 점등을 위한 DC/AC 인버터 부분, 그리고 모니터 화면의 밝기 조절을 위한 램프 전류 검출과 휘도 제어 부분으로 구성되어 있다.^[6] 특히 30인치 이상급에서는 부하 램프의 길이와 관경이 늘어남으로서 변압기 출력 하나만으로 구동이 어렵기 때문에 변압기 두 개를 병렬로 구성하여 부하 램프의 양쪽에서 변압기 출력을 입력하여 구동하는 일명 High-High 방식을 사용한다.

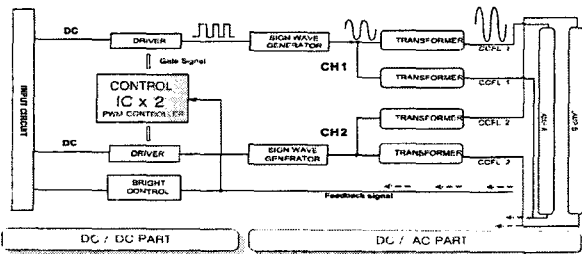


그림 4 멀티램프 구동용 인버터의 구성도
Fig. 4 Diagram of multi-lamp inverter

이에 본 논문에서는 압전 변압기를 이용한 멀티램프 구동용 인버터를 제안하여 High-High 방식에 적용이 가능하도록 병렬 구동방식의 인버터를 그림 5와 같이 구성하였다.

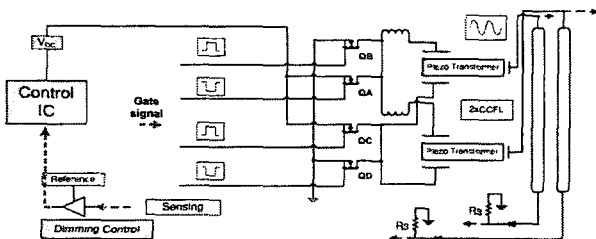


그림 5 병렬 압전 변압기를 이용한 인버터의 구성도
Fig. 5 Diagram of piezoelectric inverter

그림5는 압전 변압기를 병렬로 구성한 인버터의

구성도이다. 풀 브리지를 이용하여 두 개의 변압기가 병렬로 연결되고 각각의 램프를 구동하고 있는데 이것은 향후 압전 변압기의 용량이 증가에 따라 High-High 방식에 사용되어질 수 있다.

본 논문에서는 제어 IC에 의해서 QA와 QD, QC와 QB가 교번적으로 턴온되면서 정현파의 흐름을 생성한다.

2.3.3 구동 주파수 선정

압전 변압기는 특정 주파수에서 동작하기 때문에 주파수 선정이 매우 중요하다. 따라서 주파수 변조 방식(PFM)을 많이 이용하며, 전압제어 주파수 변조 (VCO: Voltage Controlled Oscillator) 방식의 사용이 일반적이며, 구성은 그림 6과 같다. 그림 6은 제어 IC의 주파수 설정 부분이며, V_{comp} 는 IC의 비교기 출력 전압이다. 전류 I의 크기에 따라 RC공진에 따른 발생 클럭의 주파수가 변화된다. R_t , C_t 는 주파수를 설정하기 위한 R_r 은 그 범위를 설정하기 위한 소자이다.

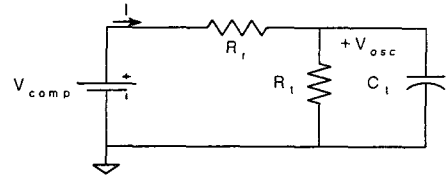


그림 6 VCO 설정
Fig. 6 Programming of the VCO

초기상태에서 방전시간 t 는 고유응답의 시정수를 통하여 구할 수 있으며, 식 (1)은 마디방정식과 전압방정식이다. 이를 이용하여 시정수를 구하면 식 (2)와 같이 방전시간을 구할 수 있다.

$$\frac{V_{osc}}{R_t} + C_t \frac{dV_{osc}}{dt} = 0, V_{osc} = V_{osc0} \times e^{-\frac{1}{R_t C_t} t} \quad (1)$$

$$t(V_{osc}) = R_t C_t \times \ln\left(\frac{V_{osc}}{V_{osc0}}\right) \quad (2)$$

V_{osc0} 은 초기 전압이고 V_{osc} 는 방전 후 최종전압이다. 식 (3)~(5)은 설정된 VCO의 방전 특성 식으로부터 이를 이용하여 방전시간을 구할 수 있다. 방전시간은 식 (4)에 나타났다. 발진기 주파수는 충전시간과 방전시간의 합으로 표현되며, 그 시간은 같은 것으로 보고 주파수 설정은 방전시간의 2배의 역수로 식 (5)와 같이 표현된다. 식 (1)~(5)을 이용하여 공진 주파수에서의 R_t , C_t , R_r 을 구할 수 있다.

$$V_{osc}(t) = [V_{osc}(t) - (R_t // R_r)I]e^{-t/(R_t // R_r)C_t} + (R_t // R_r)I \quad (3)$$

$$at (R_t \times R_r)I = V_{comp}$$

$$t(V_{comp}) = \frac{R_t \times R_r \times C_t}{R_t + R_r} \times \ln \left[\frac{V_{osc}(R_t + R_r) - V_{comp}R_t}{V_{osc0}(R_t + R_r) - V_{comp}R_t} \right] \quad (4)$$

$$Frequency = \frac{1}{2 \times t(V_{comp})} \quad (5)$$

2.3.4 공진회로 설계

그림 5에 나타낸 토폴로지에서 보다 정현파에 가까운 파형을 만들 때에 조절 가능한 부분은 인덕터 뿐이다. 이는 압전 변압기 제작 시에 모든 상수 값들이 정해지기 때문이다. 따라서 인덕터의 선정이 공진회로 매칭의 핵심이며 고려되어야 할 사항으로 높은 품질계수와 온도 안정성 등이 고려되어야 할 사항이다. LC 공진 주파수는 반드시 스위칭 주파수보다 커야하므로 인덕터의 용량은 다음의 식 (6)과 (7)을 통하여 구할 수 있다. 스위칭 주파수가 55kHz 부근이고, Cd1이 152nF이므로 인덕터 용량은 54uH 보다 작은 값으로 선정하여야 한다. 작은 용량은 고주파에 의해 정현파가 되지 않으며 입력 전류의 증가로 효율 또한 내려간다. 큰 인덕터의 경우는 입력전류의 감소로 인해 충분한 출력을 얻기 힘들다. 따라서 선정된 인덕터의 용량으로 33uH이다.

$$f < \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_{d1}}} \quad (6)$$

$$L < \frac{1}{4\pi^2 \cdot f^2 \cdot C_{d1}} \quad (7)$$

2.4 Step 4. 휘도 제어 및 보호회로 설계

2.4.1 휘도 제어

LCD 백라이트용 인버터의 필수 요건중 하나로 화면의 밝기 조절이 있다. 제어방식에는 아날로그 방식과 버스트(Burst) 방식이 있으나 본 논문에서는 버스트 제어방식을 사용하였다. 아날로그 제어 방식은 밝기조절을 위해 직류 기준 값을 조정하는 것으로 매우 간단하나 수동소자(가변저항)를 사용한 방법으로 현재는 거의 사용되지 않는다. 버스트 제어방식은 가변 펄스폭 방법으로 인버터의 온/오프를 디지털적으로 제어하며 보편화되어 있다.

2.4.2 보호회로 설계

사용된 보호회로로는 부하 오픈 시 과전압 방지와 저전압 입력시 자동 오프 기능등이다. 특히 보호회로의 경우는 병렬 구동시 필수적이다. 병렬 구동중 하나의 변압기의 램프가 깨지거나 만약 회로의 이상 동작시 과전압은 압전 변압기의 특성 상 무부하시 최대 승압비를 나타내므로 갑작스런 부하 개방상태가 되면 발진이 계속 커져 과진동 하게 된

다. 이로 인한 파손을 방지하여 인버터 전체와 다른 한쪽의 변압기에 무리가 가지 않도록 지속적인 센싱이 그림 5와 같이 필요하다. 저 전압 입력시 구동을 방지하는 VCO 동작에 의해 최대 공진점 즉 최소 임피던스에서 동작할 수 있다. 이로 인해 과전류 입력으로부터 변압기를 보호하기 위한 보호회로가 구성된다.

3. 실험 결과 및 고찰

설계된 인버터의 효율은 그림7과 같은 시스템을 구성하여 측정하고 식 (8)~(10)을 이용하여 계산하였다. CCFL은 관경 2.6mm, 관장 360mm인 경우 구동전압은 740V, 램프전류는 6.0mA 정도이며 방전관의 저항은 대략 130kΩ 정도이다. EEFL인 경우에 구동전압은 대개 1.0~2.0kV이고, 전류는 2.5mA~6.0mA이며, 방전관의 저항은 대략 330kΩ 정도이다.

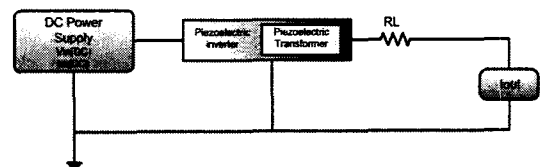


그림 7 압전 인버터 효율 측정 시스템
Fig. 7 Efficiency Measurement system

$$P_{in} [W] = V_{in} \times I_{in} \quad (8)$$

$$P_{out} [W] = R \times I_{out}^2 \quad (9)$$

$$Efficiency[\%] = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (10)$$

설계된 풀 브리지 압전 인버터에서의 특성 값은 아래의 표 1과 같다.

표 1 실험결과

Table 1 Experimental Results

ITEM	Calculated		Experiment	
Vin		3-12V	7-12V	
VCO	Rt		820kΩ	
	Ct		470pF	
	Rr		160kΩ	
	Frange	43-61kHz	52-56kHz	
Lr		54uH	33uH	
Load	EEFL	CCFL	EEFL	CCFL
	330kΩ	130kΩ	3.0mm/ 370mm	2.6mm/ 360mm
Dimming	Burst		5-50%	
Efficiency		EEFL	88.3%	
		CCFL	86.1%	

CCFL과 EEFL 구동시 효율은 표1과 같이 나타냈으며 또한 그림 8과 9는 병렬 변압기에 각각에서의 CCFL과 EEFL 출력전압, 출력전류, 입력 스위

칭 전압 파형으로써 CCFL과 EEFL 역시 안정적인 정현파 구동이 잘 이루어지고 있음을 관찰할 수 있다. 그리고 압전 변압기를 병렬로 이용시 무리 없이 각각의 램프가 발광하였으며 공진주파수 55kHz 대역에서 구동되어 압전 변압기와의 매칭도 잘 되고 있음을 확인할 수 있다.

향후 이 방식을 응용하여 High-High 방식에 적용하고, 변압기 앞단에 직렬 공진을 위한 인덕터를 하나만 사용하는 방법, 더 높은 용량을 갖는 압전 변압기를 이용 2~3개 이상의 EEFL을 변압기 하나씩에 구동시키는 멀티램프 방법 등으로 응용할 수 있도록 연구가 필요함을 제시하였다. 또한 병렬 구동시 보호회로 설계, 각각의 변압기의 임피던스 매칭을 통한 전류의 균일화가 고려되어야 한다.

EEFL 구동시 특성중 고전압 저전류 구동이 되어짐을 확인할 수 있었지만 구동시 전압과 전류의 위상의 차이가 나서 역률의 감소가 되어 이를 보상하기 위한 연구가 필요함을 제시하였다. 그리고 점등시 무리 없이 램프가 구동되어 압전 인버터와 잘 구동이 되어짐을 확인할 수 있었다.

마지막으로 설계시 본 논문에서 제안한 설계절차를 이용 Step.1부터 Step.4까지의 절차에 따라 1) 부하의 선정, 2) 압전 변압기 선정 및 특성 분석, 3) 전력변환 토폴로지 선택 및 설계, 4) 제어 및 궤환 회로로 설계하였고 그 결과 설계, 제작된 인버터에서 특성 값을 비교 분석하였고 이론과 실험이 거의 일치함을 보였다.

4. 결 론

1. 하나의 인버터로 압전 변압기 두 개를 병렬 구동하여 각각의 부하 램프가 잘 구동되었고, 향후 이 방식을 응용한 여러 형태의 구동 방법을 제시하여 압전 변압기로도 대형 멀티램프 구동용 인버터로 이용되어 질 수 있음을 제시하였다.

2. 압전 인버터 설계시 Step.1부터 Step.4까지의 설계 지침에 따라 부하를 선정하고, 압전 변압기의 선정 및 특성을 분석한 다음 전력변환 토폴로지를 선택하여 설계하며 마지막으로 제어 및 궤환회로를 설계하였다.

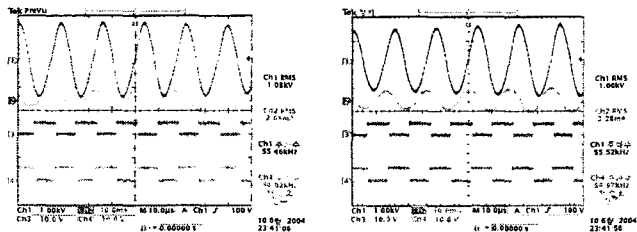
3. 압전 인버터를 이용한 정현파 구동시 안정적인 EEFL의 점등과 저전류 고전압 구동특성을 확인할 수 있었다. 하지만 EEFL의 정현파 구동시 전압과 전류의 위상 차이로 역률의 감소가 있어 향후 정현파 구동시 역률 개선 문제를 제시하고 있다.

4. 향후에는 압전 변압기를 이용 보다 높은 전력 전달 특성과 높은 효율을 갖는 다양한 멀티 램프 구동용 토폴로지를 연구하고 이에 따른 보호회로 설계 및 임피던스 매칭을 통한 균일한 전류 제어를 실현해야 한다.

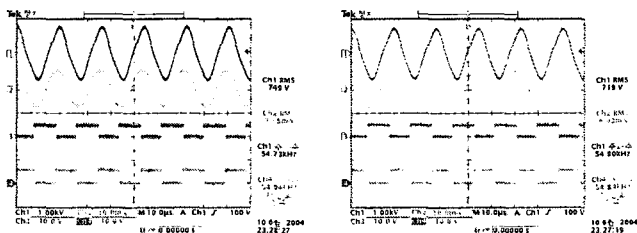
이 논문은 한국과학재단 지정 '전남대학교 RRC-HEC'의 연구비 지원으로 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 권기현, 임영철, 조성구, 양승학, 윤석진, "압전 변압기 구동을 위한 인버터 회로 설계" 전력전자 하계 학술대회 논문집, 2003, pp 616-620
- [2] 35th ICAT Smart Actuator Symposium : Conference Note. April 18-19, 2002.
- [3] Chih yi Lin, "Design and Analysis of Piezoelectric Transformer Converters", Academic Press, 1997.
- [4] G. H. Kweon, Y. C. Lim, S. H. Yang. "An analysis of the backlight inverter by topologies" IEEE, ISIE-2001, pp 896-900, 2001.
- [5] 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
- [6] Mu-Shen Lin, Wen-Jung Ho, Fu-Yuan Shih, Dan Y. Chen and Yan-Pei Wu : A Cold-Cathode Fluorescent Lamp Driver Circuit with Synchronous Primary-Side Dimming Control, IEEE TRANS. ON Industrial Electronics. Vol. 45. No. 2. pp.249-255, April 1998.



램프1 램프 2
그림 9 EEFL 출력 파형
Fig. 9 Output waveform of the EEFL



램프1 램프 2
그림 10 CCFL 출력 파형
Fig. 10 Output waveform of the CCFL