2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

액정디스플레이 후광 인버터 구동 IC

정 동열, 장 천섭, 이 승주
인터피온 반도체 주식회사

LCD Backlight Inverter Drive IC

Jeong Dong-Youl, Jang Cheon-Seob, Lee Seung-Zoo
Interpion Semiconductor Co. Ltd.

Abstract - A LCD backlight inverter control IC based on the piezoelectric transformer (PZT) for Cold Cathode Fluorescent Lamp (CCFL) lighting is proposed. It is indeed a variable frequency, variable duty (VFVD) controller having dual feedback control loops for achieving both the regulation of lamp current and the maximum efficiency. The PWM controller regulates the lamp current, while the PLL controller tunes the operating frequency to the frequency that the efficiency of the combined LC-PZT resonator becomes maximum. The mixed PLL/PWM control technique lets the backlight inverter operate at the maximum efficiency in spite of the variation of component and environment. The controller features include a protection for an open or broken lamps, and an open lamp regulation.

1. 서 론

오늘날 LCD는 PC, 정보기기, 의료기기 등 여러 분야에서 사용되고 있으며, 후광원으로 냉음극관 (CCFL)을 사용한다. 냉음극관을 구동하기 위해서는 700~800[V]의 AC 전원이 필요하며 이를 위한 고효율의 인버터가 필요하다. 이러한 인버터에서 마그네틱 트랜스포머 대신에 PZT가 점차 사용되고 있다[1][2]. PZT는 마그네틱 트랜스포머에 비해 자기적인 간섭 현상을 일으키지 않고 비교적 소형인 장점이 있는 반면에 높은 Q의 공진 특성으로 인해 동작 주파수 변화에 따라 효율의 변화가 큰 단점이 있다. PZT는 기본적으로 BPF(Band Pass Filter)이므로 입력을 구형파로 인가하여도 비교적 정현파에 가까운 출력을 얻을 수 있다. 하지만 구형파 입력의 고조파 성분으로 인하여 효율이 떨어지게 된다. PZT 입력과 직렬로 인덕터를 부가하여 주면 PZT의 입력 커패시턴스 성분과 LC 공진 회로를 구성하게 된다. LC 공진에 의해 PZT의 입력단 전압은 정현파가 되어 깨끗한 정현파 출력을 얻을 수 있으며 또한 LC 공진에 의해 부가적인 이득이 생기므로 PZT 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다. 이는 마그네틱 트랜스포머를 사용하는 경우 커패시터를 부가하여 트랜스포머의 자화인덕턴스 성분과 LC 공진회로를 구성하는 것과 유사하다. LC-PZT 구동의 관건은 어떤 주파수로 구동하여야 최대의 효율을 얻을 수 있는가 하는 점이다.

본 논문에서는 PZT 구동의 LCD 후광 풀브리지 인버터 제어 IC를 제안한다. PLL/PWM의 혼합제어기법을 사용하며 PLL 제어기는 부품의 변화에 무관하게 최대 효율 주파수에서 동작하도록 제어하며 PWM 제어기는 램프 전류를 제어한다. 버스트 디밍시 램프 전류의 오프에서 온으로 될 때 램프 출력 전류의 피킹이 발생하게 되는데 이는 적분기의 커패시터 포화에 의해 발생하는 것으로 인테그랄 와인드업(Integral Windup)이라고 한다. 본 논문은 이러한 문제를 제거하는 앤티-인테그랄 와인드업(Anti-Integral Windup) 기능과 오픈 램프 보호기능 및 오픈 램프 레귤레이션 기능을 제공한다.

2. 본 론

2.1 인버터 시스템

그림 1은 직렬 공진 풀브리지 후광 인버터 시스템의 간략화된 그림으로 CCFL에 수백 볼트의 AC 전압을 공급하기 위하여 입력 DC 전압, Vin을 고압의 AC로 변환하는 동시에 CCFL 램프의 전류를 수밀리암페어의 rms 전류로 레귤레이션 하는 시스템이다. 램프 전류의 레귤레이션은 PWM 제어에 의해 이루어진다. CCFL 전류는 Rs에 의해 검출되어 전압으로 변환되고 정류기와 필터를 거쳐 DC 전압 Vdc가 된다. 부궤환 루프에 의해 Vdc는 전류제어 기준전압, Vcr과 같아진다. LC-PZT 공진기의 총 이득은 주파수 변화에 따라 변하며 따라서 효율도 주파수에 변화에 따라 변한다. 또한 최대 이득(효율)의 공진주파수도 PZT, L 혹은 부하 저항값등 파라미터 변화에 의해 변한다. PLL 제어기는 이러한 파라미터의 변화에도 최대 효율을 얻을 수 있도록 PWM 주파수를 조절한다. PLL 제어는 LC-PZT의 입력 구동 신호에 대해 출력 신호의 위상을 원하는 위상으로 맞추는 것이다. 위상 비교기의 출력은 위 두 신호의 위상차에 따라 DC 전압이 달라지며 이 DC 전압이 원하는 위상차의 DC 전압이 되도록 PLL에 의해 제어된다. 루프필터를 거친 위상 비교기의 DC 전압 Vpd는 기준 위상 전압 Vph와 비교되어 발진기의 주파수를 변조시킨다. 이 변화된 주파수로 PWM 구동을 하므로 LC-PZT의 구동 주파수가 달라지게 되고 LC-PZT의 주파수 특성으로 인해 LC-PZT 출력의 위상도 변하게 된다. 따라서 위상 비교기의 DC 전압도 변하게 되고 이 변화에 의해 주파수가 또 변하는 루프를 구성하게 된다. 이 궤환 루프를 부궤환으로 만들어 주면 부궤환에 의해 Vpd는 Vph와 같아지도록 제어된다. LC-PZT의 구동 신호는 MOSFET 스위치의 출력 신호를 감지하여 얻을 수 있다. 그러나 풀브리지 인버터에서 LC-PZT 입력 구동 신호는 차동으로 감지하여야 하는데 잡음이 많고 또한 공진에 의해 한쪽 폴의 출력은 네거티브로 떨어지는 등 정확한 위상 정보를 얻기 어렵다. 그러나 스위치 출력은 스위치 입력에 대해 180도 위상차가 있고 스위치 입력 신호는 구동 IC에서 출력하므로 위상 비교기의 한 입력은 제어 IC로 부터 얻을 수 있고 다른 한 입력은 CCFL 램프 출력으로부터 얻는다. 이러한 PLL/PWM 혼합 제어기는 안정도 측면에서 제어기를 안정화시키기가 어려운 구조이다. 왜냐하면 주파수 변화에 의해 LC-PZT 공진기의 이득이 변하고 이에 따라 램프 전류도 변한다. 램프 전류의 제어는 PWM에 의해서만 수행되고 PLL은 인버터가 최대 효율로 동작하도록 PWM 주파수만 제어하는 것인데 PLL에 의한 주파수 제어에 의해 출력 램프 전류가 영향을 받으므로 PLL과 PWM 제어기는 서로 독립되어 있지 않다. 이러한 시스템의 안정하도록 보상하는 것은 매우 어려우므로 과도 상태 후

정상상태에서는 PLL 제어기에 의한 PWM 제어기의 영향이 거의 없도록 PLL 루프의 대역폭을 충분히 낮추어 주어야 한다.

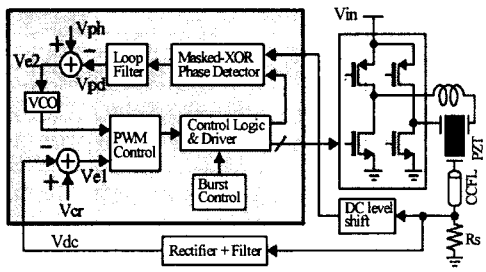

그림 1. 후광 인버터 시스템

그림 2는 LC-PZT 공진기의 주파수 특성을 보이고 있다. LC-PZT의 복합 공진기는 기본적으로 두개의 공진기가 직렬로 연결된 것으로 두개의 공진 주파수를 가지게 되며 낮은 공진 주파수, *fspu*와 높은 공진 주파수, *fopt*에서 출력 위상은 각각 -90도와 -270도가 되고 *fopt*에서 최대의 효율을 가진다. 이는 PZT의 기계적 공진 특성에 기인한 것으로 공진 주파수보다 낮은 주파수 영역에서는 주파수 변화에 따라 이득의 변화가 크고 높은 영역에서는 작은 특성이 있는데 LC에 의한 공진 주파수를 PZT 자체의 공진 주파수보다 높은 쪽에 두면 LC-PZT의 총 이득이 최대가 되기 때문이다. PLL 제어기는 PWM 동작 주파수를 LC-PZT의 최대 효율 주파수에 맞추어 주므로 LC-PZT의 출력 위상은 입력에 대해 -270도의 위상차를 가지게 된다.

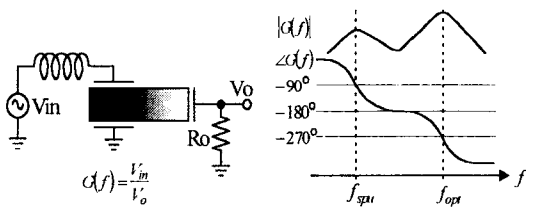

그림 2. LC-PZT 공진기의 주파수 특성

그림 3은 LC-PZT의 공진 주파수에서 입출력 위상차 -270도를 구별하기 위한 기본적 위상 비교기로 사용할 수 있는 XOR 게이트와 그 특성을 보이고 있다. *XOR* 게이트는 두 입력의 위상차에 대해 출력의 DC 값이 0도에서 -180도처럼 증가하는 영역과 -180도에서 -360도처럼 감소하는 두개의 구간이 존재한다. XOR 게이트의 이러한 특성으로 인해 PLL 궤환 루프에서 어느 한 영역은 부궤환 루프가 되고 다른 한 영역은 정궤환 루프가 된다. 최대 효율의 동작 주파수는 LC-PZT 공진기의 출력 위상이 -270도가 되는 주파수이므로 XOR 게이트에서 위상차가 -180도에서 -360도 사이에서 부궤환 루프가 구성되도록 PLL을 구성하여야 하며 동시에 0도에서 -180도의 위상차에 대해서도 부궤환 루프가 되어야 한다. 그러나 *XOR* 게이트는 0도에서 -180도 사이에서는 정궤환 루프가 되므로 사용할 수 없다. 그림 4는 이 문제를 해결하기 위한 새로운 위상 비교기와 그 특성을 보이고 있다. 어느 한 입력, *IN1*을 *DFF*의 클록으로 다른 한 입력, *IN2*를 D 입력으로 하면 *IN1*에 대해 *IN2*의 위상이 0에서 -180도 사이만큼의 위상차가 있는 경우 *DFF Q* 출력은 하이가 되어 출력 Vo가 하이가 되고 -180도와 -360도 사이에서는 *Q*가 영이므로 Vo는 *IN1*과 *IN2*의 XOR 값이 출력된다. 후광 인버터 시스템에서 *IN1*은 LC-PZT 공진기 구동 입력 신호이고 *IN2*는 CCFL 출력 전류의 로직 신호이다.

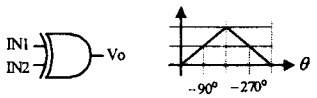

그림 3. XOR 게이트와 입력 위상차에 따른 출력 DC 전압의 특성

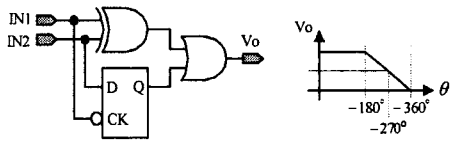

그림 4. 새로운 위상 비교기와 전달 특성

그림 5는 전압 제어 발진기의 간단한 회로도를 보이고 이다. *VTUNE*은 위상 비교기의 DC 전압과 기준 위상 설정 전압의 차전압으로 정상 상태에서는 기준 위상 설정 전압과 같다. 그림에서 증폭기 *A1*은 커패시터 *CT*를 충방전하기 위한 기준 전류를 발생하기 위한 것이고 A2는 발진기의 튜닝 영역을 설정하기 위한 것이다. 방전 제어기는 삼각파의 발진폭을 설정하는 비교기준 전압 *VH*와 *VL*을 커패시터 전압 *VCT*와 비교하여 *Q1*을 온 혹은 오프 할지를 결정하는 회로이다. *VCT*가 비교 기준 전압 *VH*보다 작을 때에는 *Q1*은 온 되어 CT를 충전하고 *VH*보다 큰 순간 *Q1*은 오프 되어 방전하며 래치에 의해 VCT가 *VH*보다 작아져도 계속해서 *Q1*은 오프 상태에 있고 이에 따라 *CT*는 계속해서 방전한다. *VCT*가 *VL*보다 작아지는 순간 *Q1*은 다시 온 되어 *CT*를 충전하며 마찬가지로 래치에 의해 *VCT*가 *VH*보다 커질 때까지 충전하며 결국 *VCT*는 진폭이 *VH-VL* 인 삼각파가 된다. 이 발진기의 발진 주파수를 *f*, 발진 중심 주파수를 *fc*, 주파수 조절 영역을 *a* (*fc*에서 ± 10[%] 발진주파수가 변한다고 할 때 *a*=0.1) 라고 하면 다음의 수식을 얻을 수 있다.

$$f = \frac{1}{2C_T(VH-VL)}\frac{V_r}{R_T}\left(1+\frac{\alpha}{1-\alpha}\cdot\frac{V_{TUNE}}{V_{TUNE,center}}\right) \quad (1)$$

$$f_C = \frac{1}{2C_T(VH-VL)}\frac{V_r}{R_T}\left(1+\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \quad (2)$$

이때 중심 발진주파수 *fc*와 주파수 조절영역 *α*를 얻기 위한 *RT*와 *RTUNE*의 값은 다음의 수식으로부터 정할 수 있다.

$$R_T = \frac{1}{2C_T}\frac{V_r}{(VH-VL)f_C}\left(1+\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \quad (3)$$

$$R_{TUNE} = \frac{1-\alpha}{\alpha}\cdot\frac{V_{TUNE,center}}{V_r}R_T \quad (4)$$

PWM 온-오프 스위칭 전환시 스위치의 한 폴에서 상측과 하측 스위치가 동시에 온 되어 입력 DC 전원부터 GND까지 암 쇼트가 발생할 수 있다. 이러한 암 쇼트는 스위치의 파괴를 가져올 수 있으며 파괴되지 않더라도 효율의 급격한 저하를 가져오게 된다. 이러한 암 쇼트를 방지하기 위해서는 상측과 하측 스위치의 온-오프 전환시 두개의 스위치가 동시에 오프되어 있는 기간을 두어

야 하며 이 시간을 데드타임이라고 한다. 그림 6은 데드타임을 주기 위한 회로와 동작 파형을 보이고 있으며 데드타임 TD는 전류원 *I*와 커패시터 *C*에 의해 조절된다.

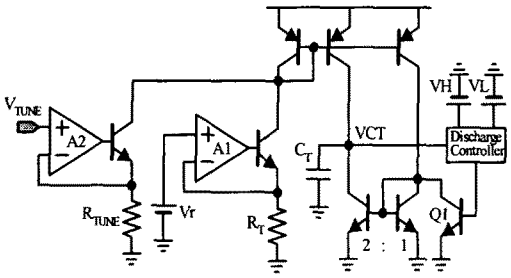

그림 5. 전압 제어 발진기

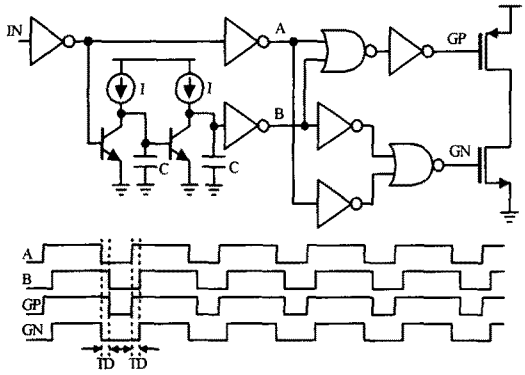

그림 6. 데드타임 발생기

PZT의 공진 특성은 부하 저항에 따라 달라진다. 부하 저항에 따른 PZT 이득의 변화를 그림 7에 보였다. PZT 이득은 부하 저항이 커질수록 커지며 공진 주파수도 높아진다. 램프가 오픈 혹은 깨진 경우 부하 저항은 무한대가 되고 이때 PZT의 이득은 최대가 되는데 이 경우 출력 전류는 영이므로 PWM 제어기는 최대 듀티비로 구동하게 되고 이에 따라 PZT의 출력에는 수천 볼트의 출력 전압이 발생하여 결국 PZT가 파괴된다. 이러한 현상의 방지를 위하여 OLP (Open Lamp Protection) 기능이 구현되어 있으며 OLP시 인버터 시스템은 셧다운(Shutdown)된다. 이는 자기 트랜스포머(Magnetic Transformer)를 사용하는 후광 인버터에서 SCP(Short Circuit Protection)를 하는 것과 유사하다. 부하가 쇼트 되었을 시 PZT 이득은 거의 없으므로 SCP 기능은 필요하지 않다.

풀브리지 인버터는 출력 파워를 많이 낼 수 있어 대화면 LCD 구동에 적합하다. 화면의 크기가 커질수록 이에 비례하여 램프의 크기도 커지게 되는데 LCD 사용 시스템의 주위 온도의 변화 혹은 램프의 노화 등에 따라 램프가 켜지는 시간이 차이가 나게 된다. 즉 오픈 램프와는 다르게 램프가 정상 상태이지만 램프 점등 시간이 길어 질 수 있다. 이 경우 OLP 기능만 있으면 램프가 점등되지 않음으로 인해 일정 시간 후 PZT 출력 전압이 높아져 OLP가 동작하고 인버터는 동작을 멈추게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 PZT가 파괴되지 않으면서도 램프의 점등을 위한 충분한 AC 전압을 일정 시간 동안 공급하도록 PZT 출력 전압을 일정하게 유지하는 OLR(Open Lamp Regulation) 기능이 필요하다. 즉 PZT 출력 전압을 레귤레이션하는 기능이 필요하며 그림 8은 이 회로를 보이고 있다. 그림 8에서 에러 앰프 *A1*은 램프 전류를 레귤레이션 하기 위한 것이고 에러 앰프 *A2*는 OLR을 위한 것으로 *A1*과 *A2*의 출력은 다이오드 *D1*과 *D2*에 의해 OR 되어있다. 그림에서 분압이득 *K*는 램프가 정상적으로 점등되기 위한 초기 전압보다는 크고 PZT가 파괴되는 전압보다는 작은 범위에서 정류기가 온 되어 출력 전압이 나오고 이에 따라 *A2*가 동작할 수 있도록 설정된다. 전원 공급 후 램프가 정상적으로 점등되면 램프 전류가 흐르므로 정류기 출력 A는 영이고 B에는 전압이 나온다. 그러므로 *A2*의 출력 전압은 하이가 되어 *D2*는 오프 되고 *D1*은 온 되어 전류제어 PWM 구동을 한다. 만약 램프가 오픈 되었거나 혹은 노화등의 원인으로 인해 점등이 되지 않아 PZT의 출력이 충분히 커져서 정류기 출력 전압 A가 나오면 램프 전류가 영이므로 *A1*의 출력은 하이가 되어 *D1*은 오프 되고 *D2*는 온 되어 OLR이 이루어진다.

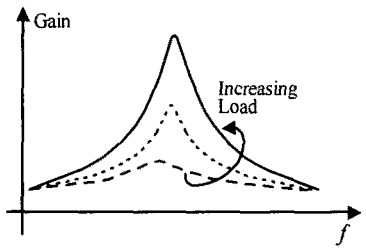

그림 7. PZT의 부하 저항에 따른 이득 특성

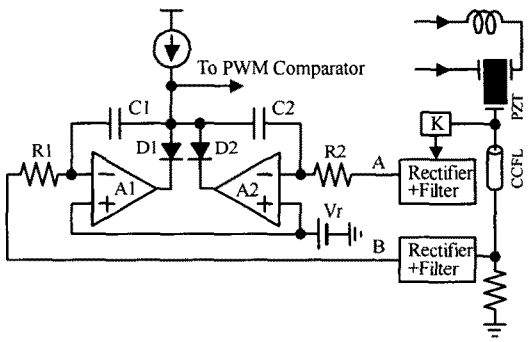

그림 8. 간략화 된 OLR 회로도

후광 인버터가 초기 동작할 때는 램프의 상태에 따라 점등 시간이 다르나 보통 수~수십(msec) 정도 시간이면 점등이 된다. 이러한 초기 동작시 램프의 전류는 영이므로 PWM 제어기는 최대 듀티로 구동하게 되고 적분기 커패시터에는 에러가 최대로 축적되게 된다. 이후 램프가 점등되면 이 축적된 커패시터 전압에 의해 램프 전류는 최대치로 흐르게 되어 전류의 피킹이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 램프 전류를 영에서 점차로 증가시켜 점등하기 위한 소프트 스타팅 (Soft Starting) 기능이 필요하며 그림 9는 이 회로도를 보이고 있다. 에러 앰프는 두개의 플러스 단자를 가지고 있으며 LTA (Loser Takes All) 동작을 한다. 즉 두 플러스 단자에서 전압이 낮은 단자가 에러 앰프의 플러스 단자 역할을 한다. 그림에서 $Vss > Vr$이고 EN은 칩 인에이블 신호로 칩 오프시 하이가 되어 *Css*를 방전시키며 온 되면 로우가 되어 *Css* 전압은 영부터 *Vss*로 충전하게 된다. *Css* 단자 전압이 *Vr* 보다 작은 기간이 소프트 스타팅 시간이 되며 이 기간 동안 *Css* 단자 전압이 에러 앰프의 플러스 단자 역할을 한다. 부궤환에 의해 마이너스 단자 전압, *Vn*은 *Css* 단자 전압과 같으므로 *Vn*도 영에서 지수함수적으로 증가한다. 램프가 점등되기 전에 출력 전류는 영이므로 *Vo*는 영이고

따라서 적분기 커패시터 C의 전압도 지수 함수적으로 충전하며 Eo도 마찬가지로 지수함수적으로 증가한다. 이 Eo가 PWM 비교기에서 삼각파와 비교하면 펄스폭이 점점 증가하는 파형이 되고 소프트 스타팅 기능을 하게 된다.

LCD의 밝기를 조절하기 위한 방법으로 아날로그 디밍(Dimming)과 출력을 주기적으로 단속하여 램프의 평균값을 제어하는 버스트 디밍이 있다. 램프의 길이가 짧은 경우에는 아날로그 디밍만으로도 충분한 다이내믹 영역을 얻을 수 있지만 램프가 긴 경우 아날로그 디밍만으로 램프 전류를 줄이게 되면 램프 밝기가 한쪽은 밝고 다른 쪽은 어두운 현상이 나타나는 문제가 생긴다. 이에 따라 대화면 LCD에서 버스트 디밍은 필수적이다. 버스트 디밍의 출력 단속주기는 대략 100~200[Hz]이며 본 논문의 제어 IC는 이를 위한 버스트 발진기를 내장하고 있다. 버스트 오프시 풀브리지 인버터의 PMOS는 모두 오프하고 NMOS는 모두 온 되도록 하여 LC-PZT에 축적된 에너지를 빨리 소모시켜 턴 오프 시간을 줄이도록 되어 있다. 또한 UVLO (Under Voltage Lock-Out) 기능, OLP (Open Lamp protection) 기능을 제공하며, 앤티 인테그랄 와인드업 기능을 제공하여 버스트 디밍시 전류의 피킹 현상을 제거한다.

그림 10은 인버터 구동 IC의 칩 사진이며 2730×2430 [μm^2] 이다.

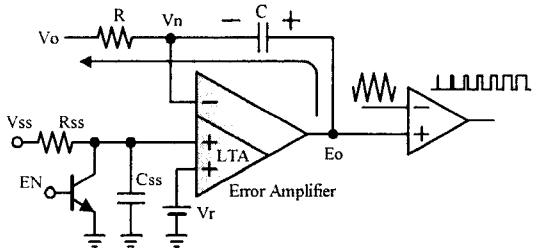

그림 9. 소프트 스타팅

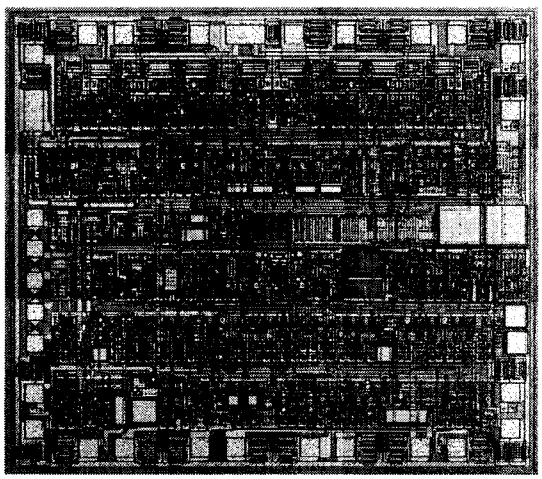

그림 10. 후광 인버터 구동 IC의 칩 사진

2.2 실험 결과..

그림 11은 실험 결과 파형으로 맨 위의 파형은 삼각파 발진기의 발진 파형이고 가운데 파형은 LC-PZT 공진기 구동 신호의 180도 위상 반전된 신호이며 마지막 파형은 램프 출력 전류 센스 저항의 전압 파형이다. IC 내부에서 삼각파 발진 주파수를 2-분주 시킨 주파수로 MOSFET 스위치들을 구동하므로 가운데 파형의 주파수는 삼각파 주파수의 1/2이다. 그림의 맨 아래에 보이는 램프 전류 파형이 가운데 구동 파형에 대해 -90도 위상차가 있음을 볼 수 있다. 가운데 파형이 실제 구동 신호에 대해 180도 위상 반전된 신호이므로 실제 전류 파형은 -270도 위상차가 있으며 이는 LC-PZT 공진기의 최대 효율 주파수이며 88[%]의 효율을 가진다. 위상이 맞지 않았을 경우에는 -250도에서 80[%], -180도에서 81[%]의 효율을 가진다.

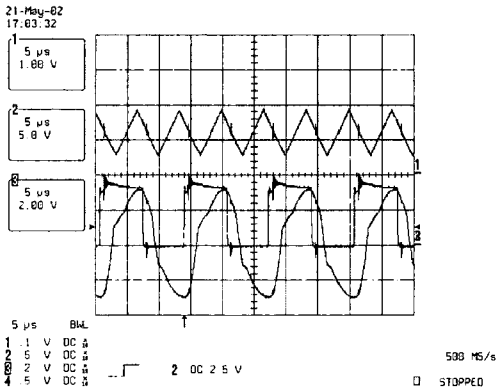

그림 11. 실험 결과

3. 결 론

PLL/PWM 복합 구동의 풀브리지 후광 인버터 제어 IC를 제안한다. 구형파를 필터링하고 이득도 주기 위하여 PZT의 입력 커패시턴스와 LC 공진을 이루도록 하는 LC-PZT가 CCFL 램프를 구동하는 AC 변압기로 사용된다. LC-PZT는 두개의 공진 주파수를 가지며 각각의 공진 주파수에서 입력 구동 신호에 대해 출력 신호는 -90도와 -270도의 위상지연이 생기며 -270도가 LC에 의한 공진 주파수가 되도록 L을 정하면 최대 효율 주파수가 된다. 이러한 LC-PZT 변압기는 자기 트랜스포머와 다르게 공진 특성으로 인하여 주파수 변화에 따라 이득이 변하며 고정 주파수 PWM 제어 방식만으로는 파라미터 변화에 의한 효율의 저하를 방지할 수 없다. PLL 제어기는 PZT 특성의 변화 등 파라미터 변화에 무관하게 최대의 효율로 동작할 수 있도록 PWM 주파수를 조절한다. 본 논문의 제어 IC는 소프트 스타팅, 아날로그/버스트디밍, OLP, OLR 등의 기능을 제공한다.

[참 고 문 헌]

[1] Jeong Dong-Youl, Joo Sung-Jun, Hong Soon-Kil, "The Piezoceramic Transformer Based LCD Backlight Inverter Control IC", 2001 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Application of Advanced Semiconductor Devices, pp. 165-170, 2001

[2] Williams, J., "Ultracompact LCD Backlight Inverters", Linear Technology Co., Application Note 81, Sep. 1999.