

# LCD 백라이트용 트랜스포머 없는 냉음극관(CCFL) 구동 회로

최은석, 윤현기, 문건우, 윤명중, 강문식\*  
한국과학기술원, 삼성전자\*

## Transformer-less CCFL Driver for LCD Backlight

Eun-Seok Choi, Hyun-Ki Yoon, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn,  
and Moon-Shik Kang\*  
KAIST, Samsung Electronics\*

### ABSTRACT

The conventional cold cathode fluorescent lamp (CCFL) driver for LCD TV has a transformer for each lamp to step up the high sinusoidal waveform from the low input voltage. The transformer used in the conventional topology causes the driver to have bulky size and high cost. This paper proposes a new transformer-less CCFL driver for LCD backlight that is based on the parallel-loaded resonant inverter topology. This resonant topology enables the circuit to supply enough high voltage for CCFL without a transformer. Also, with current-balancing technique, this transformer-less inverter drives 16 CCFL lamps.

### 1. 서론

TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) 은 오늘날 핸드폰부터 LCD TV에 이르기까지 많은 전자기기의 주요 디스플레이 장치로 널리 쓰이고 있다. LCD는 자체 발광 소자가 아니기 때문에 광원 역할을 해주는 백라이트 (Backlight unit)가 필요하다. 이러한 백라이트용 램프로는 현재 냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)가 주를 이루는 가운데, 외부전극 형광램프(External Cathode Fluorescent Lamp, EEFL)나 LED(Light Emitting Diode)등을 사용되기도 한다. 작은 화면을 갖는 노트북의 경우에는 램프 1~2개를 도광판과 확산 시트를 이용하여 전체 화면에 고른 밝기의 빛을 보낼 수 있지만, 큰 화면을 갖는 TV의 경우에는 그렇지 못하다. 따라서 32인치 LCD TV의 경우, 16개의 냉음극 형광램프가 LCD 패널 바로 아래에 자리잡은 직하형 방식이 사용된다.

냉음극 형광램프를 구동하는 회로로는 그림 1에서처럼 트랜스포머를 이용한 인버터가 많이 사용되어왔다.[1]~[5] 전통적으로 이러한 종래의 회로에서는 라인 입력으로부터 정류 및 강압한 24V<sub>dc</sub>의 낮은 입력 전압으로부터 램프의 발광 개시 전압인 최대 2kV정도의 높은 전압을 얻기 위해서는 큰 권선비를 갖는 트랜스포머가 필수적이다. 고압용 트랜스포머는 저압부와 고압부가 나누어지고 그 절연 간격 유지를 위한 격벽이 요구되며 이에 그 부피가 커지고 제작 과정이 복잡해지고 제작 단가가 높아진다. 이는 대형 화면일수록 램프 개수가 늘어남에 따라 트랜스포머가 더 많이 필요하게 되어 그 문제점이 더욱 커

진다.

그리하여 본 논문에서는 트랜스포머가 없는 냉음극관 구동 회로를 제안한다. 제안한 회로는 라인 입력을 정류한 400V<sub>dc</sub>의 전압을 입력으로 하여 기존 회로에게 필요한 강압형 컨버터가 필요없으며 인덕터와 커패시터간의 공진을 이용하여 램프 발광 전압인 최대 2kV의 전압을 공급할 수 있다. 여기에 전류 밸런싱 회로를 사용하면 제안한 회로 하나만으로 다수의 램프를 동시에 구동할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 구동 회로의 동작 원리, 설계 과정 그리고 실험 결과를 제시하여 그 타당성을 검증한다.

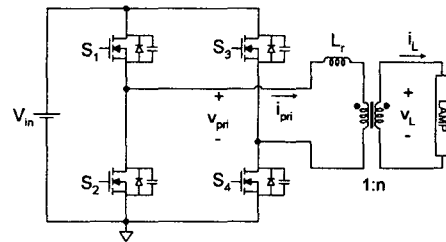


그림 1 종래의 트랜스포머를 사용한 CCFL 인버터

### 2. 제안한 회로

#### 2.1 제안한 회로

제안한 트랜스포머가 없는 냉음극관(CCFL) 구동 회로는 그림 2와 같으며, 기본적으로 풀-브릿지 형태의 병렬 부하 공진 인버터(Parallel-loaded resonant inverter)이다. 공진 인버터 중에서 직렬 부하 공진 인버터(Series-loaded resonant inverter)의 경우에는 강압에 적합하고 병렬 부하 공진 인버터는 승압에 유리한 토폴로지이다. 그리하여 낮은 입력 전압으로부터 높은 램프 전압을 공급하는 CCFL 구동 회로에는 병렬 부하 공진 인버터가 더욱 적합하다. 이에 덧붙여 제안한 회로는 멀티-레벨 회로를 이용하여 공진 회로 양단에 입력 전압을 두 배로 증가시킴으로써 손쉬운 전압 승압에 유리하다.

#### 2.2 제안한 회로의 동작 원리

제안한 CCFL 구동회로의 동작 파형은 그림 3과 같다. 그림 3에서 보이는 것처럼 스위치 M<sub>1</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>6</sub> 그리고 M<sub>8</sub>을 켜게 되면 공진 회로의 한쪽 끝의 전위는 V<sub>a</sub>=2V<sub>in</sub>이 되고, 동시에 반대쪽 끝의 전위는 V<sub>b</sub>=0이 되어 공진회로 양단에는 V<sub>ab</sub>=2V<sub>in</sub>

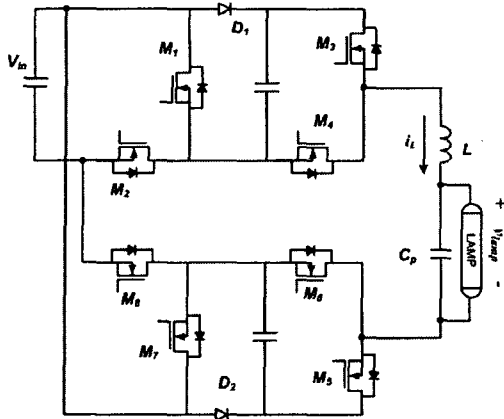


그림 2 제안한 트랜스포머가 없는 냉음극관 구동회로

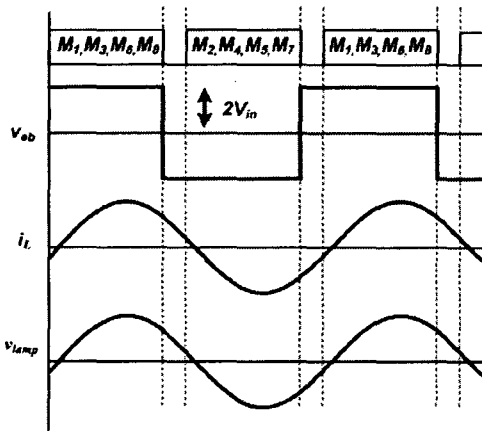


그림 3 제안한 회로의 동작 파형

이 걸리게 된다. 이와 대칭적으로  $M_2, M_4, M_5$  그리고  $M_7$ 이 켜지게 되면  $V_{ab} = -2V_{in}$ 이 되어 한 주기 동안 공진 회로 양단에는 입력 전압의 두 배가 되는 크기를 갖는 구형파가 인가된다. 이때 LC 공진 회로의 고유 주파수보다 높은 스위칭 주파수로 구동시키면 ( $\omega > \omega_0$ , Above resonant operation) 스위치  $M_1 \sim M_4$ 의 영전압 스위칭이 가능하게 된다.

### 2.3 제안한 회로의 분석

제안한 회로는 병렬 부하 공진 인버터의 특성을 갖는다. 제안한 회로를 그림 4 (a)와 (b)처럼 등가 회로로 변환할 수 있다. 이 때  $R_{po}$ 는 실제 램프가 발광할 때 보이는 부하 저항으로 생각해도 무방하다. 여기서 이 회로의 주요 파라미터를 다음과 같이 정의한다.

- Corner Frequency :  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC_p}$
- Characteristic impedance :  $Z_0 = \omega_0 L = 1/(\omega_0 C_p) = \sqrt{L/C_p}$
- Quality factor (at  $f_0$ ):  $Q_L = \omega_0 C_p R_{po} = R_{po}/\omega_0 L = R_{po}/Z_0$
- Resonant frequency :  $\omega_r = 1/\sqrt{LC_s}$
- Quality factor(at  $f_r$ ) :  $Q_r = 1/(\omega_r L) = 1/(\omega_r C_s R_{so})$

그림 4의 공진 회로 전체의 입력 임피던스  $Z$ 를 구해보면 다음과 같다.

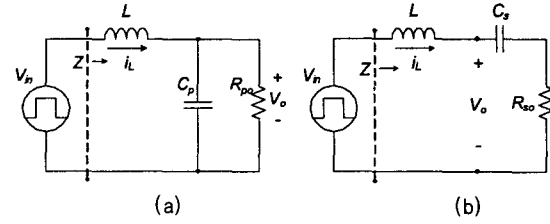


그림 4 제안한 회로의 등가 회로

$$Z = j\omega L + (R_{po}) // \left( \frac{1}{j\omega C_p} \right) = j\omega L + R_{po} + \frac{1}{j\omega C_p}$$

$$= \frac{R_{po} \left\{ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + j \frac{1}{Q_L} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right\}}{1 + j \left( Q_L \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} = |Z| e^{j\theta} \quad (\text{식. 1})$$

$$\frac{|Z|}{Z_0} = \sqrt{\frac{Q_L^2 \left\{ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\}^2 + \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{1 + \left( Q_L \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}, \quad \theta = \arctan \left\{ \frac{1}{Q_L} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \left[ \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + \frac{1}{Q_L^2} - 1 \right] \right\}$$

여기서, 입력전압의 기본파 성분  $V_{in,1} = V_m \cdot \sin(\omega t)$ 에서

$$V_m = 4V_{in}/\pi, \quad V_{in,1,rms} = 2\sqrt{2}V_{in}/\pi \approx 0.9V_{in} \quad (\text{식. 2})$$

그러면 위에서 구한 임피던스들을 이용하여 기본파성분이 출력으로 전해지는 입력력 관계식을 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_m} = \frac{1}{1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + j \frac{1}{Q_L} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)} = |G| e^{j\phi} \quad (\text{식. 3})$$

$$|G| = \frac{1}{\sqrt{\left\{ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\}^2 + \frac{1}{Q_L^2} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}, \quad \phi = \arctan \left\{ \frac{\frac{1}{Q_L} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)}{1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} \right\}$$

이 식을 바탕으로 입력 전압( $V_{in}$ )과 출력 전압( $V_o$ )의 관계식을 구해보면,

$$G(\omega) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_{in,1,rms}}{V_{in}} \cdot \frac{V_o}{V_{in,1,rms}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^2 + \left[ \frac{1}{Q_L} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]^2}} \quad (\text{식. 4})$$

### 2.4 제안한 회로의 설계

앞의 회로 분석을 바탕으로 하여 제안한 구동 회로를 설계해본다. CCFL은 발광을 시작할 때에는 매우 큰 임피던스를 가지는 부하로 동작하다가 발광 개시된 후에 정상동작에 이르면 그 임피던스의 값이 작아지는데 대략 150k~280kΩ을 가진다. 따라서 발광 개시 시점에서는 큰  $Q_L$ 을 가지므로, 설계할 때에는 정상동작에서의 승압 조건에 맞추어 설계하면 된다. 램프 하나를 제안한 구동 회로로 구동시키고자 하는 설계 조건은 아래와 같다.

- 입력 전압 :  $V_{in} = 400V_{dc}$
- 스위칭 주파수 :  $f = 60kHz$

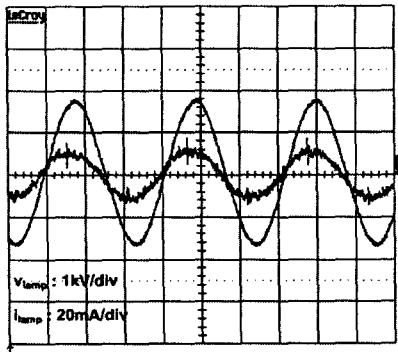


그림 5 제안한 회로의 관전압과 관전류 (램프 하나 구동할 때)

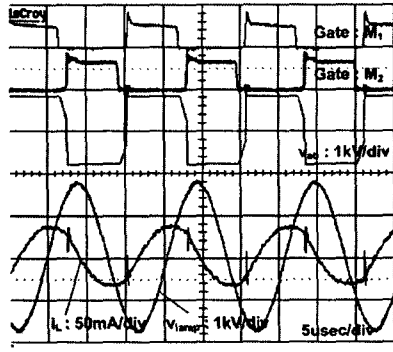


그림 6 공진인덕터 전류, 게이트 신호,  $V_{ab}$  (램프 하나 구동할 때)

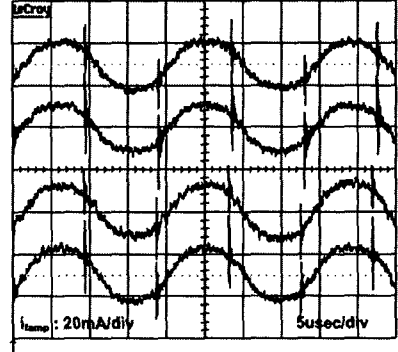


그림 7 전류 밸런싱했을 때의 관전류들

- 램프 전압 : 1,200  $V_{rms}$  (running)  
1,400 $V_{rms}$  (firing @25°C)

위와 같은 조건으로부터 앞서 구한 식 (3)으로부터, 스위칭 주파수를  $f=1.15f_0$ 로 가정하면,

$$G(\omega) = \frac{V_{lamp}}{V_{in}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{[1-(1.15)^2]^2 + \left[\frac{1}{Q_L}(1.15)\right]^2}} = \frac{1200}{400 \cdot 2}$$

$$\therefore Q = 2.1$$

그러면 주어진 스위칭 주파수에서 램프의 등가 저항,  $R_{po}=150k\Omega$ 로부터 위의  $Q_L$ 을 만족하는 인덕터와 커패시터의 값들을 구할 수 있다.

$$L = \frac{R_{lamp}}{\omega_0 Q_L} = \frac{150k\Omega}{2\pi(60kHz)(2.1)} = 202[mH]$$

$$C_p = \frac{1}{\omega_0^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 60kHz)^2 (202mH)} = 34[pF]$$

### 3. 실험 결과

위에서 구한 설계값들을 바탕으로 제안한 회로로 실제 램프에 대한 구동 실험을 해보았다. 실험 조건은 아래와 같다.

- 입력 전압 :  $V_{in} = 400V_{dc}$
- 스위칭 주파수 :  $f=55\sim 65kHz$
- 램프 : CCFL (750mm x  $\phi$ 3mm)
- 인덕터 :  $L=160mH$
- 커패시터 :  $C_p = 33pF$

그림 5와 6은 램프 하나를 제안한 구동 회로로 구동시켰을 때의 실험파형으로, 그림 5는 관전압과 관전류를, 그림 6은 공진 인덕터 전류와 관전압, 게이트 신호 등을 보인 것이다. 발광을 개시한 이후에는 램프는 등가적으로 저항 성분으로 보이기 때문에 그림에서 보듯이 관전압과 관전류가 거의 위상차가 나지 않는다. 이때의 관전압은 1.21k $V_{rms}$ , 관전류는 7.1mA $_{rms}$ 이다. 그림 7는 전류 밸런싱 회로를 사용하여 제안한 회로 하나로 램프 16개를 동시에 구동했을 때 전체 16개 중 4개의 램프들의 관전류들을 비교한 것이다. 관전류들 사이의 전류 편차가 거의 없음을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 LCD 백라이트용 트랜스포머가 없는 냉음극관(CCFL) 구동 회로를 제안하였다. 제안한 회로는 병렬 부하 공진 인버터 방식으로, 멀티-레벨 회로를 이용하여 입력 전압의 두 배만큼의 전압을 공진 회로에 인가할 수 있어 램프가 발광할 수 있는 만큼의 높은 전압을 안정적으로 공급할 수 있다. 그리고 기존의 회로에서 승압을 위하여 사용하던 트랜스포머가 없기 때문에 그로 인해 생긴 부피나 가격 문제가 해결되며 회로 제작이 한결 용이해진다. 더욱이 라인 입력을 정류한 전압을 입력으로 하기 때문에 기존 LCD TV에 장치되던 별도의 강압형 컨버터가 필요 없게 된다. 본 논문에서는 제안한 회로의 동작 원리, 분석 그리고 설계 및 실험 결과를 통하여 제안한 회로를 검증해보았다. 제안한 트랜스포머가 없는 냉음극관 구동 회로는 램프 개수가 많은 LCD TV용 대형 BLU의 저가격화 및 경량화에 유리하리라 기대된다.

이 논문은 디스플레이센터 프로그램을 통한 삼성전자 LCD 총괄의 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] D.Tadesse, et al, "A comparison of Power Circuit Topologies and Control Techniques for a High Frequency Ballast", IEEE Transactions On Power Electronics,1993, pp.2341-2347.
- [2] R. L. Steigerwald, "A comparison of half-bridge resonant converter topologies," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 35, April. 1998, pp. 174-182.
- [3] J. A. Donahue, P.E. and M. M. Jovanovic, "The LCC Inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver", IEEE, 1994, p. 427-423.
- [4] G. Hsieh, C. H. Lin, C. H. Lin, H. I Hsieh, "Primary-Side Charge-Pump Dimming Controller for the Cold-Cathode Fluorescent Lamp Ballast", IEEE, 2001, p.717-723.
- [5] W. Chen, "Series-Parallel Resonant forward Inverter as a cold cathode fluorescent lamp driver", IEEE, 2002, p.943-947.