

대화면 LCD TV용 CCFL 병렬 구동에 관한 연구

장영수, 윤 석, 남원석, 이재광, 노정욱, 한상규, 홍성수, 사공석진, 권기현*, 김종선*
 국민대학교 전력전자연구소, *삼성전기(주) P&M사업부

A study on the CCFL parallel driving circuit for the large LCD TV

Young-Su Jnag, Seok Yoon, Won-Suk Nam, Jae-Kwang Lee, Chung-wook Roh,
 Sang-kyoo Han, Sung-soo Hong, Suk-chin Sakong, *Gi-Hyun Kwon, *Jong-Sun Kim
 Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

현재 LCD 인버터의 경쟁력을 키우기 위해 인버터 하나로 다수의 램프를 병렬 구동하는 방식이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 병렬 구동방식 중 Jin Balance와 O2 Micro 방식에 대해 이론적으로 분석하고, 특히 각각의 램프 전류 편차를 일정하게 유지하기 위한 자화 인덕턴스 값의 설계에 대하여 설명하였다. 위의 결과를 이용하여 새로운 전류 평형 방식을 제안하고 수학적으로 분석하였으며, 제안 방식의 정확성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 대화면 LCD시장이 확대되면서, TFT-LCD의 발전과 함께 핵심부품인 백라이트의 발전도 동시에 진행되었다. TFT-LCD의 크기가 점차 늘어나고 또한 휘도의 증가 요청이 꾸준히 요구되고 있어 백라이트의 중요성이 커지고 있다.

점점 대화면화 되고 있는 LCD TV의 시장 규모를 키우기 위해서는 LCD TV의 가격을 내려야 한다. 이를 위해 낮은 가격의 LCD Backlight를 요구하고 있으며, 이를 위해 인버터 원가 절감이 필수이고 이를 해결하기 위해 인버터 1개로 여러 개의 램프를 동시 점등할 수 있는 기술들이 연구 개발되고 있다.

본 논문에서는 기존 특화 병렬 구동방식 중 Jin Balance^[1]와 O2Micro^[3]방식에 대해 이론적으로 분석하였고, 새로운 전류 평형 방식을 제안하고 수학적으로 분석하였다.

2. 기존 특화 병렬 구동 회로

2.1 O2Micro사의 다등 점등 회로

그림 1 은 O2Micro사에서 제안한 다등 점등회로와 개념도를 나타내었다.

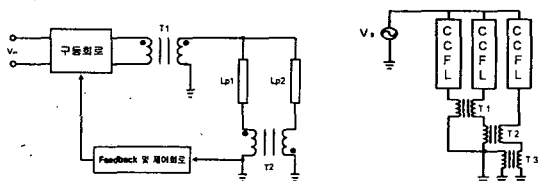


그림 1 O2Micro사의 다등 점등 인버터 회로도 및 개념도

2.1.1 전류 평형 원리

전류 평형 원리를 증명하는데 Current Balun의 원리를 이용

하였다.^[2] 2개의 램프를 사용한 그림 1 의 회로도에서 변압기 T1의 2차측에 인가된 전압을 V_s 라고 가정하고, CCFL은 전기적으로 저항으로 모델링되므로 Burning 상태의 램프를 저항 R로 정의하였다. T1의 2차측 회로를 그림 2 에 등가적으로 표현하였다.

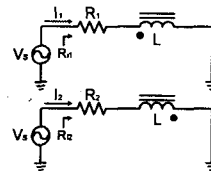


그림 2 2개의 램프를 사용한 O2Micro사의 인버터 2차측 등가회로 위의 등가회로에서 I_1 과 I_2 에 관한 식을 구해보면 다음과 같다.

$$I_1 = V_s \times \frac{1}{R_1} \times \frac{1 + \frac{j\omega}{R_2}}{1 + \frac{j\omega}{\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)}}} \quad I_2 = V_s \times \frac{1}{R_2} \times \frac{1 + \frac{j\omega}{R_1}}{1 + \frac{j\omega}{\frac{R_1 R_2}{L(R_1 + R_2)}}} \quad (1), (2)$$

식 (1), (2)에서 pole과 zero는 각각 하나씩 존재한다.

I_1 과 I_2 가 동일하기 위해서는 $\omega \gg$ pole, zero 조건을 만족해야 한다. 위의 조건을 만족시킬 수 있도록 L 값이 커져야만 각 램프 단의 R_i 가 R_1, R_2 저항의 평균값으로 수렴하여 I_1 과 I_2 의 전류 평형이 이루어짐을 알 수 있다.

$f=50[\text{kHz}], R_1=100[\text{k}\Omega]$ 이라 가정하고 I_1 과 I_2 의 전류 평형이 이루어지기 위해서 L 값이 1.6[H] 이상의 큰 값이 필요하므로, 적절한 L 값을 사용하여 I_1 과 I_2 가 일정한 오차 범위 내에 존재하도록 해야 한다.

R_1 과 R_2 가 10[%] 오차일 때 I_1 과 I_2 의 오차를 3[%] 이내로 만들고자 한다.

$$R_1=100[\text{k}\Omega], R_2=90[\text{k}\Omega], f=50[\text{kHz}]$$

위 조건을 식 (1), (2)에 대입하여 계산해 보면 $L=242[\text{mH}]$ 일 때 I_1 과 I_2 가 3[%] 오차를 갖는다.

2.1.2 시뮬레이션을 통한 검증

2.1.1에서 증명하고 계산한 내용을 Pspice 시뮬레이션을 통하여 검증해 보았다. 그림 3 은 O2Micro사 다등 점등 회로의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 3 에서 보면 I1의 peak값은 8.098[mA]이고, I2의 peak값은 8.341[mA]이므로 %오차가 3[%]임을 알 수 있다.

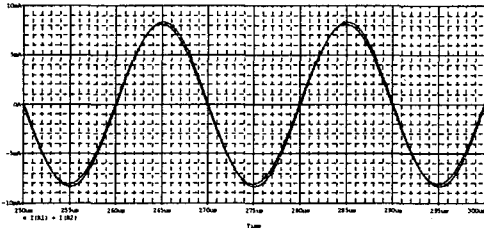


그림 3 O2Micro 방식의 인버터 램프 전류 파형

2.2 Jin Balance 다등 점등 회로

그림 4 는 Jin Balance 다등 점등 회로의 회로도와 개념도를 나타내었다.

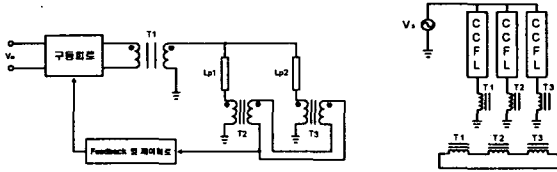


그림 4 Jin Balance 다등 점등 인버터 회로도와 개념도

2.2.1 전류 평형 원리

그림 4 의 회로에서 변압기의 2차측 회로를 그림 5 에 등가적으로 표현하였다.

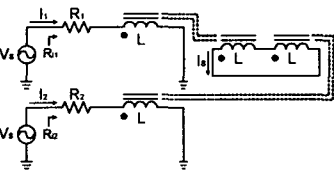


그림 5 2개의 램프를 사용한 Jin Balance 인버터 2차측 등가회로 위의 등가회로에서 I_1 과 I_2 에 관한 식을 구하여 보면 아래 식 (3), (4)와 같다.

$$I_1 = V_s \times \frac{1}{R_1} \times \frac{1 + \frac{j\omega}{R_2}}{1 + \frac{j\omega}{\frac{2R_1R_2}{L(R_1+R_2)}}}, \quad I_2 = V_s \times \frac{1}{R_2} \times \frac{1 + \frac{j\omega}{R_1}}{1 + \frac{j\omega}{\frac{2R_1R_2}{L(R_1+R_2)}}} \quad (3), (4)$$

식 (3), (4)에서 pole과 zero는 각각 하나씩 존재한다.

O2Micro 다등 점등 회로의 경우처럼 L값이 커져야만 각 램프의 전류 평형이 이루어짐을 알 수 있다. R_1 과 R_2 가 10[%] 오차이고 I_1 과 I_2 의 오차를 3[%] 이내 상태에서 L값을 계산해 보면 $L=484[mH]$ 일 때 I_1 과 I_2 가 3[%] 오차를 갖게 됨을 알 수 있다.

2.2.2 시뮬레이션을 통한 검증

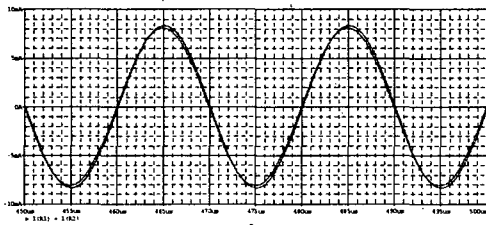


그림 6 Jin Balance 인버터 램프 전류 파형

2.2.1에서 증명하고 계산한 내용을 Pspice 시뮬레이션을 통하여 검증해 보았다. 그림 6 은 Jin Balance 전류 평형 방식의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 6 에서 보면 I_1 의

peak값은 8.098[mA]이고, I_2 의 peak값은8.341[mA]이므로 %오차가 3[%]임을 알 수 있다.

3. 제안 특화 병렬 구동 회로

3.1 Hybrid Type I

그림 7 은 제안한 Hybrid Type I 다등 점등 회로의 회로도와 개념도를 나타내었다.

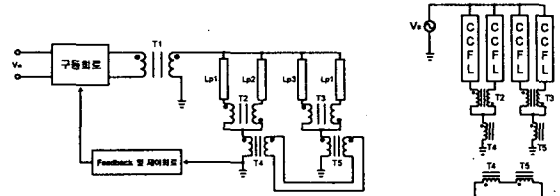


그림 7 Hybrid Type I 다등 점등 인버터 회로도와 개념도

3.1.1 전류 평형 원리

그림 7 의 회로에서 변압기의 2차측 회로를 그림 8 에 등가적으로 표현하였다.

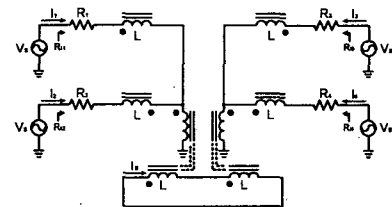


그림 8 Hybrid Type I 인버터 2차측 등가회로

위 등가회로에서 I_1, I_2, I_3, I_4 에 관한 식을 구하여 보면 아래 식 (5), (6), (7), (8)과 같다.

$$I_1 = 2V_s \times \frac{\{R_2R_3R_4 - 4\omega^2L^2(R_2 + R_3 + R_4)\} + j2\omega L\{R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4 - 4\omega^2L^2\}}{A + j\omega LB} \quad (5)$$

$$I_2 = 2V_s \times \frac{\{R_1R_3R_4 - 4\omega^2L^2(R_3 + R_4)\} + j2\omega L\{R_1(R_3 + R_4) + R_3R_4 - 4\omega^2L^2\}}{A + j\omega LB} \quad (6)$$

$$I_3 = 2V_s \times \frac{\{R_1R_2R_4 - 4\omega^2L^2(R_1 + R_2 + R_4)\} + j2\omega L\{R_1(R_2 + R_4) + R_2R_4 - 4\omega^2L^2\}}{A + j\omega LB} \quad (7)$$

$$I_4 = 2V_s \times \frac{\{R_1R_2R_3 - 4\omega^2L^2(R_1 + R_2 + R_3)\} + j2\omega L\{R_1(R_2 + R_3) + R_2R_3 - 4\omega^2L^2\}}{A + j\omega LB} \quad (8)$$

$$A = 2R_1R_2R_3R_4 - 4\omega^2L^2\{R_1(R_2 + R_3 + R_4) + R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4\}$$

$$B = 3\{R_1R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4(R_1 + R_2)\} - 4\omega^2L^2(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$$

위 식 (5), (6), (7), (8)에서 pole과 zero는 하나씩 존재한다.

상기 다등 점등 회로의 경우처럼 L값이 커져야만 각 램프의 전류 평형이 이루어짐을 알 수 있다. R_1, R_2, R_3, R_4 가 10[%] 오차이고 I_1, I_2, I_3, I_4 의 오차를 3[%] 이내 상태에서 L값을 계산해 보면 $L=242[mH]$ 일 때 I_1, I_2, I_3, I_4 가 3[%] 오차를 갖게 됨을 알 수 있다.

3.1.2 시뮬레이션을 통한 검증

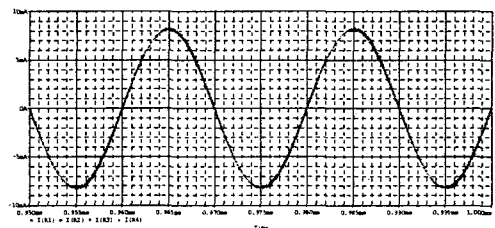


그림 9 Hybrid Type I 인버터의 램프 전류 파형

3.1.1에서 증명하고 계산한 내용을 Pspice 시뮬레이션을 통하여 검증해 보았다. 그림 9 은 제안한 Hybrid Type I 다등 점등 회로의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 9 에서 보면 I₁의 peak값은 8.093[mA]이고, I₂와 I₃의 peak값은 8.215[mA]이고, I₄의 peak값은 8.336[mA]이므로 I₁을 기준으로 %오차가 3[%]임을 알 수 있다

3.2 Hybrid Type II

그림 10 은 제안한 Hybrid Type II 다등 점등 회로의 회로도와 개념도를 나타내었다.

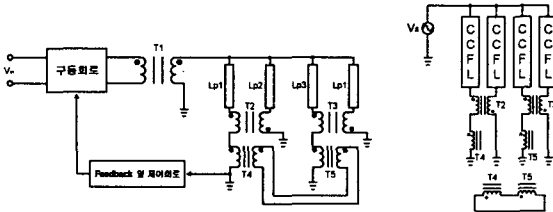


그림 10 Hybrid Type II 다등 점등 인버터 회로도 및 개념도

3.2.1 전류 평형 원리

그림 10 의 회로에서 변압기의 2차측 회로를 그림 11 에 등가적으로 표현하였다.

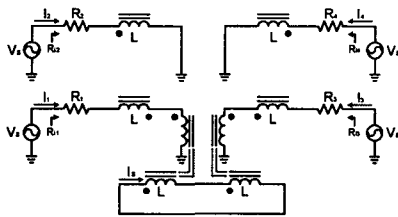


그림 11 Hybrid Type II 인버터 2차측 등가회로

위 등가회로에서 I₁, I₂, I₃, I₄에 관한 식을 구하여 보면 아래 식 (9), (10), (11), (12)와 같다.

$$I_1 = \frac{(C_{11} - \omega^2 L^2 C_{12} + 4\omega^4 L^4) + j\omega L(D_{11} - \omega^2 L^2 D_{12})}{(A_{11} - \omega^2 L^2 A_{12} + \omega^4 L^4 A_{13}) + j\omega L(B_{11} - \omega^2 L^2 B_{12})} \times V_s \quad (9)$$

$$I_2 = \frac{(C_{21} - \omega^2 L^2 C_{22} + \omega^4 L^4 C_{23}) + j\omega L(D_{21} - \omega^2 L^2 D_{22} + 4\omega^4 L^4)}{(A_{21} - \omega^2 L^2 A_{22} + \omega^4 L^4 A_{23}) + j\omega L(B_{21} - \omega^2 L^2 B_{22} + \omega^4 L^4 B_{23})} \times V_s \quad (10)$$

$$I_3 = \frac{(C_{31} - \omega^2 L^2 C_{32} + 4\omega^4 L^4) + j\omega L(D_{31} - \omega^2 L^2 D_{32})}{(A_{31} - \omega^2 L^2 A_{32} + \omega^4 L^4 A_{33}) + j\omega L(B_{31} - \omega^2 L^2 B_{32})} \times V_s \quad (11)$$

$$I_4 = \frac{(C_{41} - \omega^2 L^2 C_{42} + \omega^4 L^4 C_{43}) + j\omega L(D_{41} - \omega^2 L^2 D_{42} + 4\omega^4 L^4)}{(A_{41} - \omega^2 L^2 A_{42} + \omega^4 L^4 A_{43}) + j\omega L(B_{41} - \omega^2 L^2 B_{42} + \omega^4 L^4 B_{43})} \times V_s \quad (12)$$

위 식 (9), (10), (11), (12)을 살펴보면 상기 다등 점등 회로의 경우처럼 L값이 커져야만 각 램프의 전류 평형이 이루어짐을 알 수 있다. R₁, R₂, R₃, R₄가 10[%] 오차이고 I₁, I₂, I₃, I₄의 오차를 3[%] 이내 상태에서 L값을 계산해 보면 L=654[mH]일 때 I₁, I₂, I₃, I₄가 3[%] 오차를 갖게 됨을 알 수 있다.

3.2.2 시뮬레이션을 통한 검증

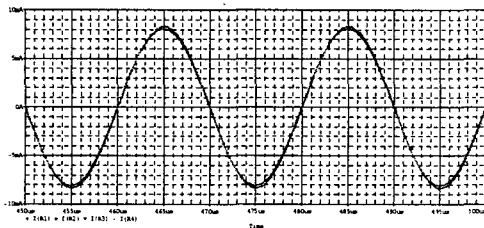


그림 12 Hybrid Type II 인버터의 램프 전류 파형

3.2.1에서 증명하고 계산한 내용을 Pspice 시뮬레이션을 통

하여 검증해 보았다. 그림 12 는 제안한 Hybrid Type II 다등 점등 회로의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 12 에서 보면 I₁의 peak값은 8.109[mA]이고, I₂의 peak값은 8.076[mA]이고, I₃의 peak값은 8.299[mA]이고, I₄의 peak값은 8.376[mA]이므로 I₁을 기준으로 %오차가 3[%]임을 알 수 있다.

3.3 Hybrid Type I, II 및 기존 전류평형 방식비교

Hybrid Type I 은 기존의 Jin Balance 방식과 거의 동등한 전류 평형 특성을 가진다. 다만, 상위 계층의 트랜스포머에 인가되는 전류는 기존에 비해 2배로 증가하여, 트랜스 동통 손실이 커져 부피 및 크기가 증가해야 하는 단점이 있다.

Hybrid Type II에서 트랜스포머에 인가되는 전류는 Jin Balance 방식과 동일하나, 동일한 전류 평형 특성을 유지하기 위해서는 각 트랜스포머의 L 값이 Jin Balance 방식에서 필요한 L 값에 비해 2배 이상이 필요하다. 이를 위해 권선 수가 커져야 하므로 트랜스포머의 부피가 증가하게 된다.

표 1은 각 방식의 특성을 비교한 표이다.

표 1 N개 램프 구동 시 각 전류 평형 방식의 특성 비교

| 방식명 | 트랜스포머 전류스트레스 | 필요 인덕턴스 | 트랜스포머 부피 및 크기 | 전류평형오차 |
|-------------|--------------|---------|---------------|--------|
| Jin Balance | 1 | L | 100 | Good |
| O2Micro | 1 | L | 100 | Good |
| Hybrid I | N | L | >100 | Good |
| Hybrid II | 1 | 2L | >100 | Good |

4. 결론

본 논문에서는 전류 평형 변압기를 이용한 다등 점등 회로의 전류 평형이 이루어지는 원리를 수학적으로 증명하였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 전류 평형 변압기의 L 크기에 따라 전류 평형의 편차가 결정된다. L 크기는 전류 평형 변압기의 부피와 관련이 있으므로 동일한 전류 편차를 내기 위해 L 값이 작을수록 경쟁력을 확보할 수 있다. 램프의 특성과 동작 주파수에 따라 적절한 전류 편차를 가질 수 있도록 L 값을 계산할 수 있으므로 전류 평형 변압기의 최적 설계가 가능하게 되었다.

본 논문에서 새롭게 제안한 Hybrid type I, II에 대해서도 수학적으로 증명하여 전류 평형이 이루어짐을 증명하였다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] Sheng Tai Lee, "Circuit structure for driving a plurality of Cold Cathode Fluorescent Lamps" U.S. Patent 6 781 325 B2, Aug. 24, 2004.
- [2] Kenneth L. Kaiser, "Electromagnetic Compatibility Handbook (II)" pp17-8"17-10.
- [3] "Microsemi Integrated Products" Microsemi Corporation Proprietary & Confidential Information.