LCD Backlight를 위한 CCFL 구동용 인버터 트랜스포머의 설계와 응용

조상호, 한상규, 노정욱, 홍성수, 사공석진, 권기현*, 이효범*
국민대학교 전력전자 연구소, (주) 삼성전기 P&M 사업부*

Design and Application of CCFL Drive Inverter Transformer for LCD Backlight

Sang-Ho Cho, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh, Sung-Soo Hong, Sug-Chin Sakong, *Gi-Hyun Kwon, *Hyo-Bum Lee
Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

LCD TV의 대형화에 따라 하나의 백라이트용 냉음극 방전램프(Cold Cathode Fluorescent Lamp ; CCFL)를 이용한 백라이트는 휘도의 한계가 있어 대형 디스플레이에서는 여러 개의 램프를 사용하여 필요한 휘도를 만들고 있다. 본 논문에서는 냉음극 방전램프 16개를 사용하는 42인치 LCD TV용 대형 백라이트 구동을 위한 인버터의 트랜스포머를 각기 다른 램프의 특성에 대해 동일한 관 전류 출력을 갖도록 설계하였다.

1. 서 론

LCD의 크기는 대형화되고 대형 백라이트 디스플레이에서는 한 개의 램프로 적정한 휘도를 내는데 한계가 있기 때문에 여러 개의 램프를 사용하게 된다. 그러나 램프가 동일한 제작 과정을 거치더라도 점등, 주파수, 전압, 전류특성이 같지 않아 램프 간 균등한 휘도를 나타내기가 어렵다. 따라서 동일한 관 전류를 출력할 수 있는 인버터 트랜스포머의 설계는 중요한 요소가 되고 있지만, 지금까지의 인버터 트랜스포머는 명확한 설계 기준 없이 설계되어 많은 시행 착오와 소요 시간을 수반했다. 따라서 본 논문에서는 인버터 트랜스포머 개발 시 개발 기간 단축 및 개발 재료비를 절감할 수 있고, 시장 요구에 신속한 대응이 가능한 인버터 트랜스포머의 설계 기준을 제시하였다.

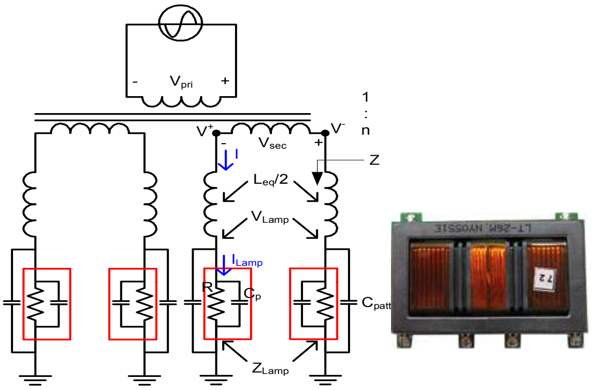

그림 1 인버터 트랜스포머와 램프의 모델링 및 실제 형상

본 논문에서는 LCD TV의 화면이 42인치용이며, 16개의 램프가 균등한 배열로 설치되어 있는 LCD 백라이트를 구동하기 위한 인버터 트랜스포머를 설계 한다. LCD 백라이트를 위한 CCFL 구동용 인버터 트랜스포머와 2 차 측의 각각 단자에 직렬로 연결된 램프는 그림 1과 같이 모델링 할 수 있다.

2 차 측에서 보이는 등가 인덕턴스(L_{eq})는 절반으로 나눠져 각각의 램프에 직렬로 연결되어 있다고 가정한다. 또한 정상 상태에서 전류 분배를 통해 일정한 전류를 출력하기 위한 패턴 캐패시턴스(C_{patt})는 램프와 병렬로 연결되어 있다. 램프는 부성 저항의 특성을 갖는 저항(R)과 기생 캐패새턴스(C_p)가 병렬 연결되어 있는 구조로 모델링 할 수 있다. 램프의 다른 한 단자는 접지되어 있다. 이러한 트랜스포머 4개가 병렬로 구동되어 16개의 램프를 점등한다.

2. 인버터 트랜스포머의 설계 과정

본 논문에서는 트랜스포머 2 차 측의 각각 단자에 연결된 램프의 특성이 다를 경우에도, 허용 범위 내의 전류를 출력할 수 있는 트랜스포머를 설계하는 것을 목적으로 한다.

2.1 램프 및 등가 인덕턴스의 임피던스 계산

트랜스포머의 2차 측에 연결된 램프는 부성 저항의 특성을 갖는 저항(R)과 기생 캐패새턴스(C_p)의 병렬 구조로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{Lamp} = R \parallel \frac{1}{j\omega C_p} = \frac{R - j\omega C_p R^2}{1 + (\omega C_p R)^2} \quad (1)$$

여기에서 $\omega = 2\pi f_s$ 로서, f_s 는 동작 주파수이다.

또한 저항 R은 램프 전압(V_{Lamp})과 램프 전류(I_{Lamp})가 스펙으로 주어지면 식(1)을 이용해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R = \ldots Z_{Lamp} \ldots C_p \ldots V_{Lamp}^2 \quad (2)$$

트랜스포머 2 차 측에서 보이는 등가 임피던스(Z)는 램프와 패턴 캐패시턴스(C_p)의 병렬 구조에 절반의 등가 인덕턴스가 직렬 연결된 값으로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z = j\omega \frac{L_{eq}}{2} + \left(R \parallel \frac{1}{j\omega C} \right) = \frac{R}{1 + (\omega C R)^2} + j\omega \left(\frac{L_{eq}}{2} - \frac{C R^2}{1 + (\omega C R)^2} \right) \quad (3)$$

여기에서 $C = C_p + C_{patt}$ 이다.

2.2 권선 비 결정

그림 1에서 램프 전류(I_{Lamp})는 전류 I가 전류 분배 법칙에 의해 램프로 나눠져 들어가는 전류로서 전류 I는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{Lamp} \times [redacted] \times C_{patt} \quad (4)$$

여기에서 $Z_{Cpatt} = [redacted] \, j\omega C_{patt}$ 이다.

따라서 그림 1의 트랜스포머 2 차 측 각각의 전압 V^{+}와 V^{-}는 $V = V^{+} = V^{-} = I \times [redacted]$ 이고, 전압 V^{+}와 V^{-}는 RMS 값으로서 서로 크기는 같고, 위상은 반대인 정현파이다.

그림 1에서 트랜스포머 2 차 측의 양단 전압 V_{sec}의 피크값은 $V_{sec_peak} = 2\sqrt{2}[redacted]$ 인 정현파임을 알 수 있다.

그림 1에서 트랜스포머 1 차 측의 양단 전압 V_{pri}의 기본파 성분의 피크값을 푸리에 변환으로 구하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{pri_peak} = \frac{2V_{in}}{\pi} [redacted] (\sin D\pi + \sin(1-D)\pi) \quad (5)$$

여기에서 V_{in}은 입력 전압, D는 시비율을 의미한다.

트랜스포머의 권선 비 n은 위에서 구한 1 차 측과 2 차 측의 전압에 의해 아래와 같이 표현된다.

$$n = [redacted] \; V_{pri_peak} \quad (6)$$

1 차 측 전압에 따른 2 차 측 전압을 알면, 특성이 다른 램프를 트랜스포머에 적용 시, 임의의 등가 인덕턴스 L_{eq}에 따른 전류 편차 정도를 알 수 있다.

2.3 트랜스포머 설계

특성이 다른 램프를 트랜스포머에 적용 시, 전류 편차 스펙을 만족하는 임의의 등가 인덕턴스 L_{eq}를 알면 그에 따른 트랜스포머의 자화 인덕턴스(L_m), 1 차-2 차 누설 인덕턴스(L_{L1}, L_{L2})를 다음의 식을 통해 알 수 있다.

$$L_{eq} = L_{L1} + n^2 L_{L2} \quad (7)$$

$$k = [redacted] = [redacted] \quad L_{L1} + L_m \quad L_{L2} + n^2 L_m \quad (8)$$

$$L_m = [redacted] \; n^2 (1-k)$$

$$\therefore L_{L1} = [redacted] \; k \quad (9)$$

$$L_{L2} = [redacted] \; 1+k$$

여기에서 k는 결합 계수를 의미한다.

식 (9)를 이용해 트랜스포머의 자화 인덕턴스(L_m), 1 차-2 차 누설 인덕턴스(L_{L1}, L_{L2})의 값을 알면, 아래의 식과 권선 비 n을 이용해 트랜스포머의 1 차 측 권선 수 N_{pri}와 2 차 측 권선 수 N_{sec}를 알 수 있다.

$$L = [redacted] \; l_m \rightarrow N_{pri} = [redacted] \; \mu A_c \quad (10)$$

여기에서 A_c는 코어의 단면적, l_m은 코어의 자로의 길이, μ는 코어의 투자율을 의미한다.

2.4 영전압스위칭(Zero Voltage Switching)조건 확인

그림 2는 인버터에 사용된 스위치 소자의 ZVS를 가능하게 하는 최악의 조건을 나타내고 있다. 그림 2는 인버터의 스위치가 턴 온되는 순간 스위치에 역전류가 흐르기 시작하는 순간을 보여주고 있다. 트랜스포머 1 차 측의 전압과 전류가 최소한 θ 이상의 위상 차이가 보장되어야 스위치의 ZVS를 보장할 수 있다. θ는 다음과 같이 표현할 수 있고, $\theta + 180^{\circ}$ 의 위상 차이까지 ZVS를 가능하게 한다.

$$\theta = \frac{0.5 - D}{2} [redacted] \times 180^{\circ} \quad (11)$$

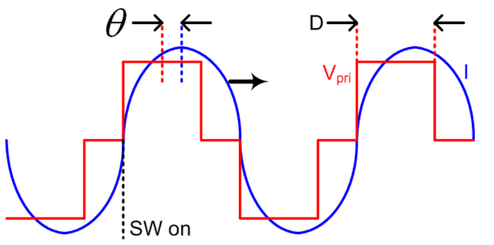

그림 2 인버터 스위치의 ZVS를 가능하게 하는 최악의 조건

3. 설계 및 실험 결과

인버터 트랜스포머 설계에 앞서 아래의 값들은 알고 있다고 가정한다.

- L_{eq} : 트랜스포머 2 차 측에서 바라 본 등가 인덕턴스. $L_{eq} = L_{L1} + n^2 L_{L2}$
- C : 램프 캐패시턴스(C_p)와 패턴 캐패시턴스(C_{patt})의 합.
- V_{Lamp} : 램프 전압
- I_{Lamp} : 램프 전류
- V_{in} : 트랜스포커 1 차 측 입력 전압
- D : 트랜스포머 1 차 측 전압 시비율
- f : 동작 주파수
- k : 트랜스포머 결합 계수

3.1 트랜스포머 설계

설계 조건은 다음과 같다. 인버터 트랜스포머 2 차 측의 각 단자에 연결된 램프는 부성 저항의 특성을 갖는 저항으로 모델링 할 수 있는데, 이 저항 값이 램프마다 조금씩 다를 경우에도 설계된 트랜스포머의 등가 인덕턴스에 의해 램프 전류는 스펙 내의 전류 편차를 만족해야 한다. 또한 트랜스포머의 등가 인덕턴스에 의해 생기는 등가 임피던스(Z)의 위상은 그림 2의 ZVS를 보장해야 한다. 본 논문에서 설계할 인버터 트랜스포머의 설계 조건 및 상수 값은 아래 표와 같다.

표 1 인버터 트랜스포머의 설계 조건 및 상수 값

L_{eq}	0.67H	R	174.5kΩ ± 5%
C_p	11.4pF	V_{in}	24V
C_{patt}	6.9pF	D	0.34
V_{Lamp}	1100V_{rms}	f	62.5kHz
I_{Lamp}	8mA_{rms}	k	0.84

표 2 트랜스포머 코어의 설계 변수

A_c [mm^2]	L_m [mm]	μ_r
43	140.8	1300

본 논문의 2장에서 유도한 수식을 바탕으로, 표 1과 2의 값들을 적용하였다. 그림 3은 본 논문이 제시하는 인버터의 트랜스포머 설계에 관한 순서도이다. 임의의 등가 인덕턴스(L_{eq})를 선정 후, 그 값이 스위치의 ZVS와 관 전류 스펙을 만족하는지 확인한다. 아래의 표 3은 인버터 트랜스포머의 자화 인덕턴스(L_m), 1 차·2 차 누설 인덕턴스(L_{L1}, L_{L2})의 값과 이에 따른 1 차 측 및 2 차 측의 권선 수를 나타내었다.

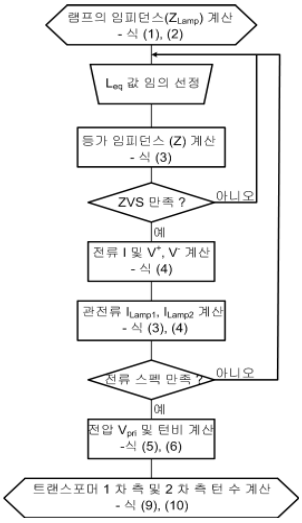

그림 3 인버터 트랜스포머의 설계를 위한 순서도

표 3 인버터 트랜스포머의 설계 지표

L_m	L_{L1}	L_{L2}	n	N_1	N_2
$210\mu H$	$40\mu H$	$364mH$	95.374	22	2098

3.2 실험 결과

표 3의 값을 바탕으로 회로 및 트랜스포머를 구성해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

본 논문에서는 냉음극 방전램프 16개를 사용하는 42인치 LCD TV용 대형 백라이트 구동을 위한 인버터의 트랜스포머를 설계하였다.

정상 상태에서의 관전류 측정 실험 결과를 RMS 값으로 아래 표 4에 나타내었다. 또한 그림 5는 16개의 냉음극 방전램프의 관전류가 모두 전류 스펙(관전류 : $8.0mA_{rms}$±$0.5mA_{rms}$)을 만족함을 보여주고 있다. 그림 6은 각 관 전류의 파형으로서, Asymmetric ratio 스펙(10% 이하)도 만족함을 보여준다.

설계 데이터와 실제 실험 데이터를 비교 검증함으로써 제안된 방법의 유효성을 입증하였다.

표 4 각 램프의 램프 전류 값

Lamp #	전류 [mA_{rms}]	Lamp #	전류 [mA_{rms}]
1	8.22	9	8.24
2	8.10	10	7.91
3	8.06	11	8.06
4	8.20	12	8.20
5	8.12	13	8.17
6	8.22	14	8.02
7	8.19	15	8.02
8	7.90	16	7.98

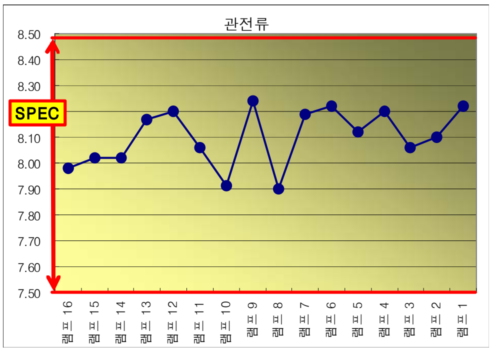

그림 5 각 램프의 관전류 값 및 전류 스펙

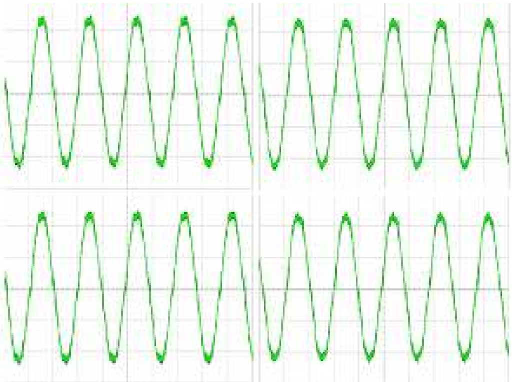

그림 6 각 램프의 전류 파형도를 통한 Asymmetric ratio 확인 ($5mA/div$, $10us/div$)

4. 결 론

본 논문은 CCFL을 이용한 백라이트의 경우, CCFL의 각기 다른 특성에 따라 램프의 관 전류에 편차가 생기고, 이에 따라 품질이 저하되는 현상을 해결할 수 있는 인버터 트랜스포머의 설계 방법을 제시하였다.

그림 3에서 나타낸 순서도에 의해 설계된 트랜스포머는 실험을 통해 16개의 램프 관 전류를 비교한 결과 설계 값과 부합하는 결과를 얻을 수 있었다.

이러한 설계 방법은 LCD 응용을 위한 트랜스포머 선정 Tool로 개발하였고, 인버터 개발 시 트랜스포머 개발 기간 단축 및 개발 재료비를 절감할 수 있을 뿐 아니라, 시장 요구에 대한 신속한 대응도 가능할 것으로 기대된다.

이 논문은 (주)삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] Ferroxcube, "Design of CCFL Backlight Inverters with Frame & Bar Cores", 2003, January

[2] Murilo Cervi, "Fluorescent Lamp Model Based on the Equivalent Resistance variation", IEEE, 2002

[3] C.-C. Chen, "Design and Development of Digital Control Multi-lamp Back-Light Modules for TFT-LCD TV", IEEE, 2005