LCD 인버터의 기생 용량 측정 방법

이재광, 이광일, 윤석, 권기현*, 노정욱, 한상규, 홍성수, 사공석진, 김종선*
국민대학교 전력전자 연구소, *삼성전기(주) P&M 사업부

Measurement Method of a Parasitic Capacitance in LCD Backlight Inverter

Jae-Kwang Lee, Kwang-Il Lee, Seok Yoon, Gi-Hyun Kwon*, Chung-wook Roh,
Sang-kyoo Han, Sung-Soo Hong, Suk-Chin Sakong, Jong-Sun Kim*
Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

본 논문에서는 Liquid crystal display (LCD) Backlight module중에 Cold cathode fluorescent lamp (CCFL)를 포함한 인버터가 가지고 있는 기생 용량 측정 방법을 고안하였다. CCFL의 부성 저항 특성을 고려하여 램프의 정적 저항 성분을 일정하게 유지시키고 입력 전압 대 출력 전압의 비 중 최대 Gain을 갖는 주파수를 찾아내 기생 용량을 계산하는 Algorithm을 완성하였다. 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 비교 검증함으로써 측정 방법의 유효성을 입증하였다.

1. 서 론

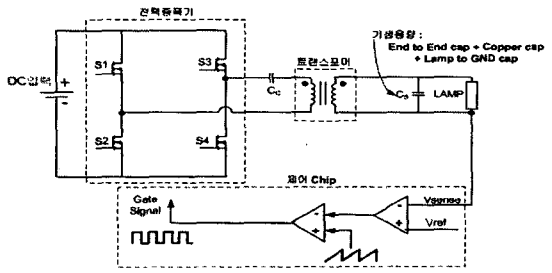


그림 1 LCD Backlight 용 인버터 회로 블럭도

그림 1은 전력 증폭기를 풀-브릿지(Full-Bridge) 형태로 구성된 인버터 회로의 일예이다. 트랜스포머는 램프 점등 및 유지 방전에 필요한 고전압으로 승압하는 한편, 트랜스포머 2차 측의 커패시터 C_S와 공진회로를 형성하기 위한 인덕턴스를 제공한다. 여기서 C_S는 트랜스포머의 권선과 권선사이에 존재하는 커패시터 성분과 Copper의 커패시터 성분과 램프의 커패시터 성분의 합으로 표현되는 기생용량이다.

일반적으로, 트랜스포머 설계는 주어진 램프의 사양을 만족하는 전압 및 전류를 생성해내도록 인버터의 동작 주파수를 선정하고 C_S가 어떤 값을 가진다고 가정하고 공진 탱크 값을 선정하게 된다.[1] C_S값은 통상 10pF에서 20pF사이로 매우 적고 램프의 배열구조에 따라 바뀌고 베이스 샷시와의 이격거리와도 관계가 있어 정확한 측정이 매우 어렵다. 문제는 C_S값을 정확히 모르는 상태에서 개발자의 감에 의존하여 턴수나 턴비를 정하고 최적의 턴수 및 턴비를 찾기 위해 실험을 통한 반복 작업을 수행하게 된다는 것이다. 이로 인해 트랜스포머의 개발 과정을 무수히 반복하여 Non-recurring Cost가 증가하게 된다.

2. 기생 용량 측정 방법

2.1 기생 용량 추출 구성 방법

LCD용 광원을 구동하기 위한 인버터의 전력증폭기는 풀-브릿지(Full-Bridge),하프-브릿지(Half-Bridge),푸시-풀(Push-Pull) 형태의 회로를 사용하여 트랜스포머의 1차 측에 구형파의 입력을 인가하게 된다.[2] 기생용량 값을 추출하는데 트랜스포머 1차 측에 구형파가 인가되면 기본 주파수의 성분 외에 고조파 성분의 주파수의 성분이 함께 인가되어 정확한 값을 도출하는 것이 어려운 것으로 판단하였다. 이에 가장 적합한 방법으로 기본 주파수만 인가할 수 있도록 Power Amplifier를 이용해서 기생용량 값을 추출하는 방법을 고안하였다. 그림 2와 같이 Function Generator로 정현파 입력을 Power Amplifier에 인가하여 Power Amplifier의 정현파 출력으로 직접 트랜스포머를 구동하는 방식으로 기생용량 값을 추출할 수 있었다. 기본주파수 성분을 최대로 하기 위해 50% 고정 듀티로 동작한다.

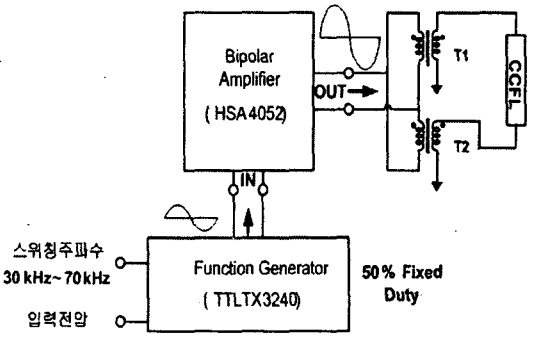


그림 2 기생 용량 측정 Hardware 구성도

한편 CCFL은 램프에 인가되는 전압이 높을수록 관 전류가 작아지는 부성 저항 특성을 가지고 있다. 이를 위해, 스위칭 주파수가 가변되더라도 관 전류 값을 고정시켜 부성 저항 값을 고정시켜야 전달함수를 통한 주파수 해석으로 기생용량 값을 추출 할 수 있다. 따라서, 스위칭 주파수가 가변되더라도, 관 전류 값을 고정시키기 위해 정현파 구동 전압의 진폭 크기가 가변되어야 한다. 진폭의 크기는 Function Generator의 출력 정현파의 크기를 조절함으로써 변화된다.

2.2 기생 용량 측정 방식

CCFL은 전기적으로 가변 저항의 성질을 가지고 있다. 점등 전에는 수 [MΩ] 이상의 저항을 보이다가 점등이 된 후에는 수백 [kΩ] 정도의 저항을 나타낸다. 기생용량을 측정하는 방법은 대략적인 관 전류의 값을 측정하는 Global Tuning과 입력 전압을 가변시켜 관 전류가 일정하게 유지시켜 미세하게 측정하는 Fine Tuning으로 나누어진다. 그림 3은 기생용량 측정 방식을 나타내는 흐름도이다.

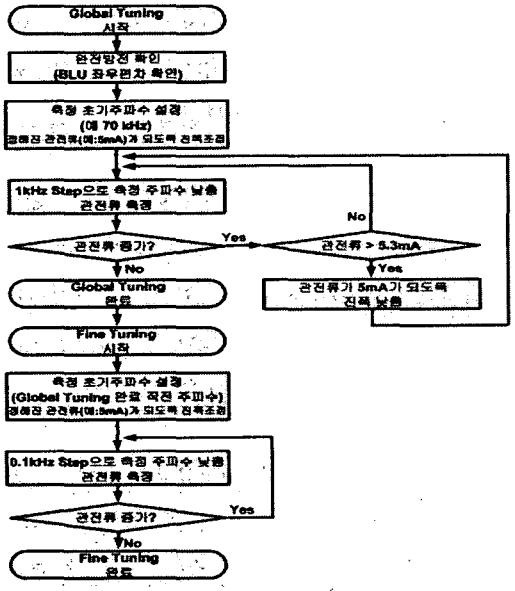
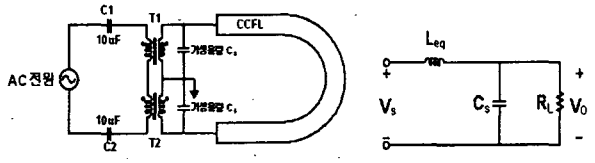


그림 3 기생 용량 측정 흐름도

관 전류가 5mA의 예를 들어 측정 방법을 설명하겠다. 점등이 되는 입력 전압과 주파수를 맞추어 램프를 활성화 시켜준다. 70kHz에 관 전류 5mA를 맞춘다. 주파수를 1kHz 단위로 가변 시키면서 관 전류가 가장 높아 졌다가 어느 정도 낮추어지는 지점까지 Global Tuning을 한다. 이때, 관 전류의 오차가 0.3mA 이상이면 입력 전압을 낮춘다. 관 전류가 가장 높은 주파수 전후 1kHz를 0.1kHz 단위로 Fine Tuning 한다. 가장 높은 관 전류가 Peak Frequency f_p이다. 각각의 관 전류에 대해서도 위와 같은 동작을 반복한다.



(a) 양측 구동회로 (b) 2차측 등가회로

그림 4 양측 구동회로와 2차측 등가회로

실제적인 램프는 U자 구조이고 양측구동을 하므로 트랜스포머, 기생용량이 각각 2개인 그림 4(a)의 회로이다. 그림 4(a)는 위아래가 대칭구조이므로 양측구동회로를 단측 구동회로로 볼 수 있는데 이때 AC전원의 진폭은 반으로 줄어들고 2차 측에서 바라본 테브난 등가 인덕턴스 L_{eq} 로 표현된다. C_S는 트랜스포머 2차측의 Capacitance와 램프의 Capacitance의 합으로 표현되는 기생용량이고 R_L은 램프의 관 전류에 따른 Static Resistance를 표현한다. 트랜스포머 2차 측에 서 본 등가회로를 나타낸 것이 그림 4(b)의 회로도이다.

그림 4(b)로부터 전압이득을 라플라스 함수로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \frac{1}{s^2 L_{eq} C_s + s(L_{eq}/R_L) + 1} \quad (1)$$

식 (1)의 Magnitude Function은 식 (2)와 같다.

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1-4\pi^2 f_p^2 L_{eq} C_s)^2 + (2\pi f_p L_{eq}/R_L)^2}} \quad (2)$$

Magnitude Function을 미분한 방정식의 해의 분자 항을 '0'으로 놓고 풀이한 값이 Peak Frequency가 되며 식 (3)과 같이 유도된다.

$$f_p = \frac{\sqrt{C_s R_L^2 / L_{eq} - 1/2}}{2\pi C_s R_L} \quad (3)$$

측정된 Peak Frequency로부터 기생용량을 계산하려면 식 (3)을 이용하여 식 (4)와 같이 구해진다.

$$C_s = \frac{R_L \pm \sqrt{R_L^2 - 8\pi^2 f_p^2 L_{eq}^2}}{8\pi^2 f_p^2 L_{eq} R_L} \quad (4)$$

각 전류마다 측정되어진 Peak Frequency와 테브난 등가 인덕턴스, 관 전류에 따른 고정 저항 값을 식 (4)에 대입하여 기생용량 값을 도출한다.

3. 실험결과 및 시뮬레이션

3.1 피 시험 장치 데이터

본 실험에 사용된 BLU (Back Light Unit)의 CCFL은 20" LCD Panel에 사용되는 'LTA200V2'모델의 램프로 그 특성을 표. 1에 나타냈다.

표 1 CCFL 전압-전류 특성

램프전압(Vrms)	관전류(mArms)	Static Res(kΩ)
1580±7%	3.0	526.7±7%
1540±7%	4.0	385±7%
1500±7%	5.0	300±7%
1480±7%	5.5	269.1±7%

실험을 위해서 사용된 트랜스포머는 양측 구동을 위해 2개이며 턴비는 100이다. AP102B Network Analyzer를 사용하여 2차측을 개방하고 측정한 1차측 인덕턴스 L_{pri}, 1차측을 개방하고 2차측에서 측정한 2차측 인덕턴스 L_{sec}, 2측을 단락 시키고 측정한 1차측에서 본 등가 누설 인덕턴스 L_{S1}, 1차측을 단락 시키고 2차측에서 본 등가 누설 인덕턴스 L_{S2}가 표 2와 같이 측정되었다.

표 2 트랜스포머의 인덕턴스 값

	L_{pri}	L_{S1}	L_{sec}	L_{S2}
L값(H)	639.9μ	34.44μ	6.129	336.0m

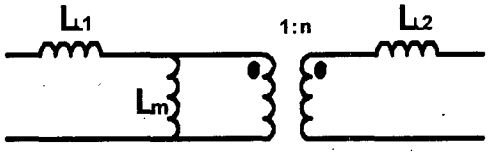


그림 5 트랜스포머 등가 회로

그림 5는 자화 인덕턴스 L_m, 1차측 누설 인덕턴스 L_{L1}, 2차측 누설 인덕턴스 L_{L2}로 구성되어진 트랜스포머의 등가 회로이다. 표 2에 측정된 데이터로부터 자화 인덕턴스를 구하는 식은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$L_m = \frac{\sqrt{(L_{pri}-L_{L1})L_{sec}}}{n} \quad (5)$$

식 (5)로부터 1차측 누설 인덕턴스는 식 (6)과 같다.

$$L_{L1} = L_m - L_{pri} \quad (6)$$

2차측 누설 인덕턴스는 식 (7)로 표현된다.

$$L_{L2} = L_{sec} - n^2 L_m \quad (7)$$

결합계수 k는 식 (8)과 같이 구해진다.

$$k = \frac{L_m}{L_m + L_{L1}} = \frac{L_m}{L_{pri}} \quad (8)$$

테브난 등가 인덕턴스 L_{eq}를 구하면 식 (9)가 된다.

$$L_{eq} = (L_{L1} // L_m)n^2 + L_{L2} = \frac{L_{L1}L_m}{L_{L1}+L_m} n^2 + L_{L2} \quad (9)$$

트랜스포머의 턴비는 100임을 알고 있고 식 (5)~(9)로부터 계산된 각각의 값은 표 3에 나타냈다. L_{S2}와 L_{eq}는 동일한 값인데 표에 보듯이 L_{S2}와 L_{eq} 오차가 1.8% 정도로 정밀하게 측정되었음을 알 수 있다.

표 3 트랜스포머 특성

L_m(μH)	L_{L1}(μH)	L_{L2}(mH)	k	L_{eq}(mH)
609.2	30.72	37.44	0.952	329.9

3.2 실험을 통한 검증

기생용량측정 방법의 유효성을 입증하기 위해 관 전류를 각각 3mA, 4mA, 5mA, 5.5mA의 경우에 주파수를 30~70kHz까지의 범위 내에서 1 kHz의 단위로 가변시켜 측정하고, 정밀한 데이터 측정을 위해 가장 높은 관 전류가 측정된 주파수에서 위아래로 0.1 kHz의 범위로 하여 Fine Tuning을 한다. 최대 전압이득을 가지는 각 관 전류의 Peak Frequency를 표. 4에 나타냈다.

표 4 관 전류의 Peak Frequency

관전류(Irms)	3 mA	4 mA	5 mA	5.5 mA
f_P(kHz)	69.8	62.5	50.6	41.5

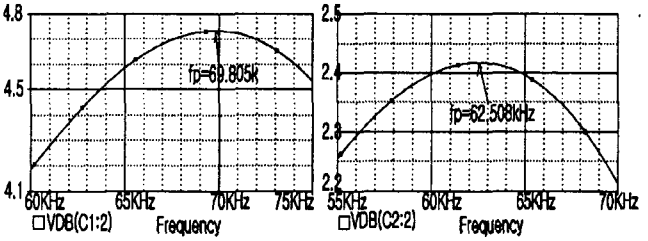
Peak Frequency이용해 계산된 기생용량 값은 표 5와 같다. 식 (4)에서 보는 봐와 같이 하나의 Peak Frequency에서 기생용량 값은 두 가지의 값이 존재하게 된다. 이를 C_{S1}, C_{S2}로 표현하였다. 표. 5에서 보는 봐와 같이 관 전류가 3mA, 4mA에서의 C_{S2} 와 관 전류가 5mA, 5.5mA에서의 C_{S1}이 비슷함을 알 수 있고, 0.55%의 오차 내에서 기생용량이 존재 하는 것을 보면 기생용량 값은 12.8pF 정도의 값이다.

표 5 계산된 기생용량

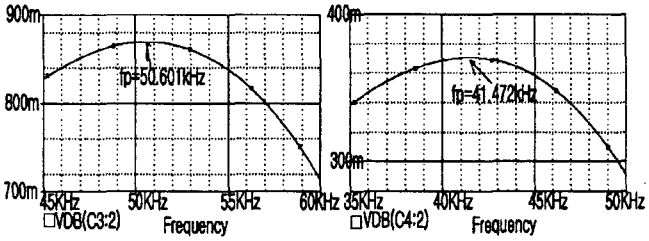
Irms(mA)	Rlamp(kΩ)	fp (kHz)	Cs1 (pF)	Cs2 (pF)
3	263.3	69.8	2.92	12.84
4	192.5	62.5	6.81	12.84
5	150	50.6	12.77	17.23
5.5	134.5	41.5	12.77	31.81

3.3 시뮬레이션

계산된 기생용량 값이 정확하지를 확인하기 위해 Pspice Simulation을 그림 6에서 나타내었다. 그리고 각각의 관 전류에 기생용량 값을 시뮬레이션에 의해 나타난 값과 계산된 값을 표 6에서 비교하였다. 각각의 관 전류에 따른 Peak Frequency의 시뮬레이션 값과 측정한 값이 비슷함을 보인다.



(a) 관 전류가 3mA 일때 (b) 관 전류가 4mA 일때



(c) 관 전류가 5mA 일때 (d) 관 전류가 5.5mA 일때

그림 6 전압이득을 통한 Peak Frequency

표 6 시뮬레이션과 측정된 Peak Frequency 비교 [단위:kHz]

Irms(mA)	3	4	5	5.5
측정 값	69.8	62.5	50.6	41.5
시뮬레이션	69.805	62.508	50.601	41.472

4. 결 론

본 논문은 CCFL의 부성 저항 특성을 고려하여 램프의 Static Resistance를 일정하게 유지하도록 스위칭 주파수를 가변시킴에 따라 출력 정현파의 진폭크기를 변화시키고 정현파의 기본 주파수만 인가 할 수 있는 구성 방법을 제시 하였다. 최대 전압이득을 갖는 Peak Frequency를 찾는 방법을 설명하였고 이를 이용 주파수 해석을 통한 기생 용량 값을 추출하는 수식을 완성하였다.

실측된 데이터와 시뮬레이션을 통해 비교 검증함으로써 제안된 방법의 유효성을 입증하였다. 개발에 들어가는 Non-recurring Cost를 저감시킬 것으로 판단된다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었슴

참 고 문 헌

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

[2] Sheng Tai Lee, "Circuit structure for driving a plurality of Cold Cathode Fluorescent Lamps" U.S. Patent 6781325B2, Aug.24, 2004.