

슬림형 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 평판형 트랜스포머를 적용한 LLC 공진컨버터에 관한 연구

孫虎仁[†], 金昌宣*, 金大年**

A Study on LLC Resonant Converter using the Planar Transformer for the
LED Backlight of Slim-Type LCD TV

Ho-In Son, Chang-Sun Kim, and Dae-Nyeon Kim

요 약

LCD TV의 슬림화를 위한 전원장치는 고효율 및 고전력 밀도를 요구하고 있다. 최근 LCD TV의 LED 백라이트는 소비전력이 매우 적고 수명이 반영구적이며 밝기가 뛰어난 동시에 기존의 CCFL 보다 적은 공간을 차지해서 두께를 혁신적으로 줄일 수 있는 장점을 지니고 있다. 그리고 본 논문에서는 LED 백라이트 구동용 고주파 평판형 트랜스포머를 이용하여 LLC 공진컨버터를 제안 적용하였고 실험 결과에 대하여 서술한다.

ABSTRACT

The power supply devices for reducing the size of the LCD TV are increasingly required for high efficiency and high power density. Recently, the LED backlight of the LCD TV comes into the spotlight for LCD TV, because the conventional CCFL backlight has difficult to use constantly according to the mercury restrictions. And In this paper, the LLC resonant converter using the planar transformer for slim-type LED backlight of LCD TV is presented and verified through an experimental prototype for 47 inch LCD TVs with LED backlight system.

Key Words : LCD, LED, LLC Resonant Converter, Planar Transformer

1. 서 론

최근 평면 디스플레이의 기술이 발전하면서 디스플레이 장치들이 대형화 및 슬림화가 되어가고 있는 추세이다. 특히 Liquid Crystal Display (LCD) TV의 경

우 높은 전력밀도와 고효율 특성을 요구한다. 그러나 기존의 CCFL 백라이트 램프간 균등한 휘도를 표현하기 어렵고, 이는 LCD 백라이트의 품질 저하 문제로 이어진다. 또한 CCFL 백라이트는 향후 수은 규제에 따른 지속적인 사용에 어려움을 가진다. 이러한 CCFL을 대체하기 위한 광원으로 LED(Light Emitting Diode)가 각광받는다. LED 백라이트는 소비전력이 매우 적고 수명이 반영구적이며 밝기가 뛰어난 동시에 기존의 CCFL 보다 적은 공간을 차지해서 두께를 혁신적으로 줄일 수 있는 장점을 가진다. 이러한 장점에도 불구하고 LED는 전체 동작온도 범위에서 2.5V ~

[†]교신저자 : 정회원, 목포대 전기공학과 박사과정
E-mail : shi9788@naver.com

*정회원, 목포대 전기공학과 교수

**정회원, 건동대 신재생에너지공학과 교수

접수일자 : 2010. 6. 8

1차 심사 : 2010. 6. 22

2차 심사 : 2010. 6. 30

심사완료 : 2010. 7. 20

3.9V 사이에서 변하는 순방향 전압(V_f) 강하를 갖는다. 백라이트용 LED는 병렬 스트링을 직렬로 연결하는 구조이기 때문에 넓은 전압 범위를 가진다. 더욱이 LLC 공진컨버터는 PFC (Power Factor Correction) 출력을 입력으로 이용하고 20ms 동안의 hold-up 타임^[1] 동안 출력을 유지 되어야 하기 때문에 기존의 LLC 공진컨버터 보다 더 넓은 전압 이득을 가져야 한다. 이러한 특성을 가지는 LED 백라이트 구동에 필요한 전원을 공급하기 위한 전원 장치의 고용량, 고효율, 소형화 추세에 따른 고주파수(high frequency) 전원 장치들이 제안 된다^[2-3]. 이 중 LLC 공진컨버터는 주 스위치(FET)에 내장된 역방향 다이오드가 턴 온(turn-on) 된 상태에서 주 스위치를 턴 온 시킴으로서 ZVS(Zero Voltage Switching)가 가능하며, 스위칭 주파수가 증가 될수록 야기되는 주 스위칭 소자의 스위칭 손실(switching loss)을 감소하는 장점을 갖으며, 출력 다이오드의 턴 오프(turn-off)시 발생하는 역 전류가 현저히 감소되어 소프트 스위칭이 가능하다. 그리고 LED 백라이트 구동용으로 넓은 전압 이득에도 안정적인 출력 전압을 얻기 위해서는 트랜스포머의 누설인덕턴스를 줄이는 것이 필요하다.

본 연구에서는 넓은 전압의 변동에도 안정적인 출력 전압을 얻기 위해 누설인덕턴스가 작은 고주파 평판형 트랜스포머(planar transformer)를 이용하였다. 누설인덕턴스를 최소화한 평판형 트랜스포머를 이용한 LED 백라이트 구동용 LLC 공진컨버터의 동작원리를 설명하였고, 슬립형 47인치 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 LLC 공진컨버터 시제품을 제작하여 300V ~ 400V의 입력 전압과 127V ~ 155V의 출력 전압에도 안정적인 출력전압을 얻는 것에 대해서 검증하였다.

2. LLC 공진형 컨버터의 동작 특성

LLC 공진컨버터 회로를 그림 1에 도시하였다.

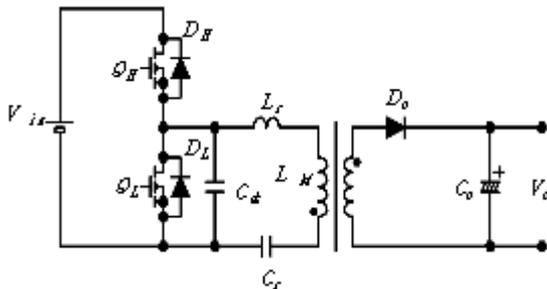


그림 1 LLC 공진컨버터
Fig. 1 LLC Resonant converter

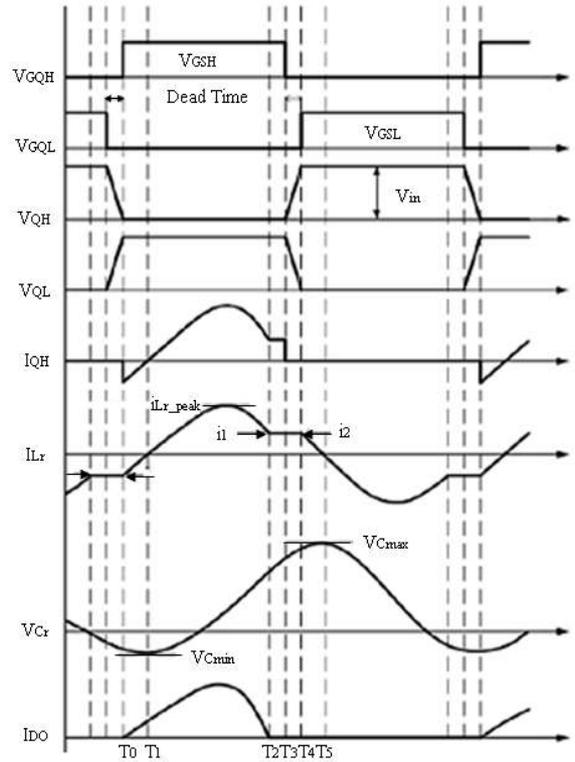


그림 2 LLC 공진컨버터의 주요 파형
Fig. 2 Key waveform of the LLC Resonant converter

여기서, C_{ds} 는 주 스위치(Q_H)의 내부 기생 커패시턴스 및 트랜스포머의 기생 커패시턴스의 등가 병렬 커패시턴스를 나타낸다. 그림 2와 3은 스위칭 한주기 동안 주요 소자의 전류, 전압 파형 및 각 모드별 동작을 나타내고 있다.

모드 I ($t_0 \leq t \leq t_1$) : 주 스위치(Q_H) 또는 내부 병렬 다이오드(D_H)가 턴 온 되어, 트랜스포머의 누설인덕턴스(L_r) 및 자화 인덕턴스(L_m), 공진 커패시터(C_r)에 의한 공진전류가 1차 측 회로에서 환류되는 구간이다. 기생 커패시턴스(C_{ds})의 전압이 입력 전압(V_{in})으로 충전되어, 주 스위치의 내부 다이오드(D_H)를 턴 온 시키는 순간부터 [모드 I] 이 개시한다고 가정하였으며, 주 스위치(Q_H)가 턴 오프(turn-off) 되기까지 구간이 지속된다. 내부 다이오드(D_H)가 턴 온 상태에서, 주 스위치(Q_H)가 턴 온 됨으로, 영전압 스위칭(ZVS)이 가능하다.

모드 II ($t_1 \leq t \leq t_2$) : 주 스위치(Q_H)가 턴 오프 되어, 입력 전압(V_{in})으로 충전되어 있는 기생 커패시턴스(C_{ds})가 트랜스포머의 누설인덕턴스(L_r), 자화 인덕턴스(L_m) 및 공진 커패시터(C_r)를 통해 방전하는 구간이다.

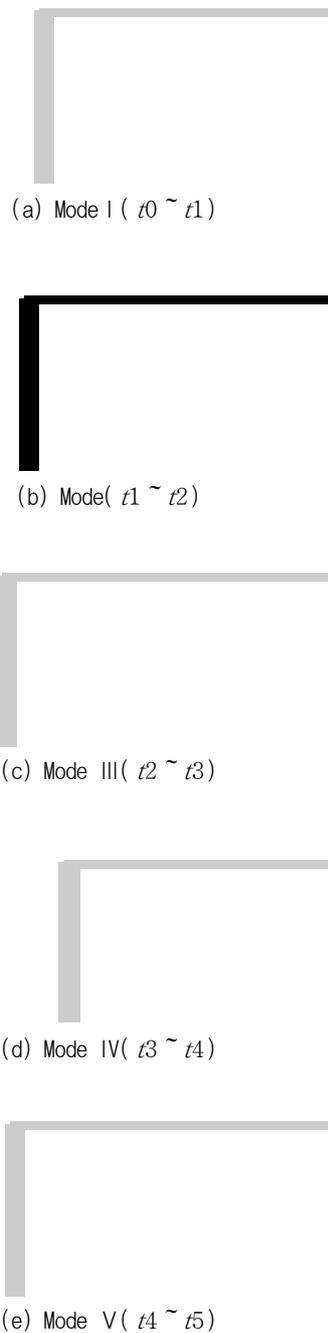


그림 3 LLC 공진컨버터의 동작 모드
Fig. 3 Operational modes of the LLC Resonant converter

모드 III ($t_2 \leq t \leq t_3$) : 기생 커패시턴스(C_{ds})가 모두 방전한 후, 트랜스포머 내 자화 인덕턴스(L_m)의 역기전력에 의해 주스위치 병렬 다이오드(D_L)가 턴 온 되어, 누설 인덕턴스(L_r), 자화 인덕턴스(L_m) 및 공진

커패시터(C_r)를 통해 전류 공진하는 구간이다. 또한, 내부 다이오드(D_L)가 턴 온 상태에서, 주스위치(Q_L)가 턴 온 됨으로, 영전압 스위칭이 가능하며, 이 구간동안 자화 인덕턴스(L_m) 역기전력이 상승되어 출력 다이오드(D_O)를 턴 온 시킴으로서, 2차 측으로 에너지가 전달된다. 출력 다이오드(D_O)에 인가되는 전류는 1차 측 공진전류 파형에 의존하며, 이상적 트랜스포머의 1차 측 권선에 유입되는 전류가 위상 반전되는 영 지점에서 출력 다이오드(D_O)가 턴 오프 됨으로, 영전류 스위칭(ZCS)에 의한 소프트 스위칭이 가능하다.

모드 IV ($t_3 \leq t \leq t_4$) : 출력 다이오드(D_O)가 턴 오프 된 후, 주 스위치(Q_L) 및 누설 인덕턴스(L_r), 자화 인덕턴스(L_m), 공진 커패시터(C_r)를 통해 1차측 전류가 환류되는 구간이다.

모드 V ($t_4 \leq t \leq t_5$) : 주 스위치(Q_L)가 턴 오프 되는 구간으로서, 턴 오프시, 누설 인덕턴스(L_r), 자화 인덕턴스(L_m), 공진 커패시터(C_r)를 통해 기생 커패시턴스(C_{ds})가 입력 전압 (V_{in})으로 충전 되며, 이후 모드 I 구간에서 주기 반복된다.

3. LED 백라이트용 LLC 공진컨버터 설계

LED 백라이트 구동을 위한 LLC 공진 컨버터의 파라메타 특성을 이론적으로 분석 하고, 넓은 전압의 변동에도 안정적인 으로 소프트 스위칭을 위해 누설인덕턴스가 작은 고주파 평판형 트랜스포머(Planar Transformer)를 이용하였다.

3.1 공진 파라메타 설계

회로 해석의 용이성을 위하여 AC 등가회로를 이용하여 분석하였다. 그림 4는 LLC 공진컨버터의 AC 등가회로를 나타낸 것이다. 1차측 전류는 공진에 의해 사인파로 표현이 되고, 구형파 전압(V_{RI})은 출력 정류기의 입력으로 표현이 된다. 여기서 R_{ac} 는 등가 부하저항으로 부하저항, 정류다이오드 그리고 커패시터 필터를 등가화한 값이다.

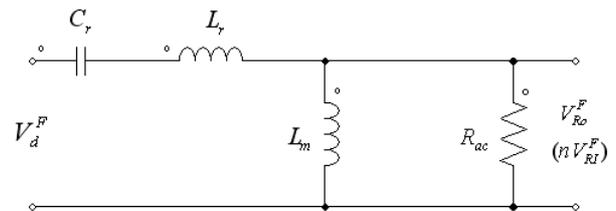


그림 4 AC 등가회로의 LLC 공진컨버터
Fig. 4 AC equivalent circuit of LLC resonant converter

부하 저항^[4]에 대한 등가 수식은 식 (1)과 같다.

$$R_{ac} = \frac{8n^2}{\pi^2} R_o \quad (1)$$

등가 부하저항이 단락일 때의 주파수 즉 공진주파수와 개방일 때의 주파수 즉 코너 주파수 (corner frequency)를 식 (2), (3)에 정의하였다.

$$f_{r1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (2)$$

$$f_{r2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_m + L_r)C_r}} \quad (3)$$

그림 4로부터 표준화된 공진 주파수는 공진 주파수 (f_r)와 스위칭 주파수(f_s)의 비이고, λ 는 누설인덕턴스와 자화 인덕턴스 비이고, Z_o 는 특성 임피던스이다. 그리고 Q 는 Quality Factor이다.

$$f_n = \frac{f_{sw}}{f_r}$$

$$\lambda = \frac{L_r}{L_m}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} = 2\pi f_r L_r = \frac{1}{2\pi f_r C_r}$$

$$Q = \frac{Z_o}{R_{ac}} = \frac{Z_o}{n^2 R_{oac}} = \frac{\pi^2 Z_o P_{out}}{8n^2 V_{out}^2}$$

그리고 위의 공진 파라메타로부터 얻어진 입/출력에 대한 전압이득(M)^[5-6] 특성은 식 (4)과 같다.

$$M(f_n, \lambda, Q) = \frac{1}{\sqrt{(1 + \lambda - \frac{\lambda}{f_n^2})^2 + Q^2 (f_n - \frac{1}{f_n})^2}} \quad (4)$$

그리고 무부하 조건에서($Q=0$), 전압 이득^[6-7]은 식 (5)과 같다.

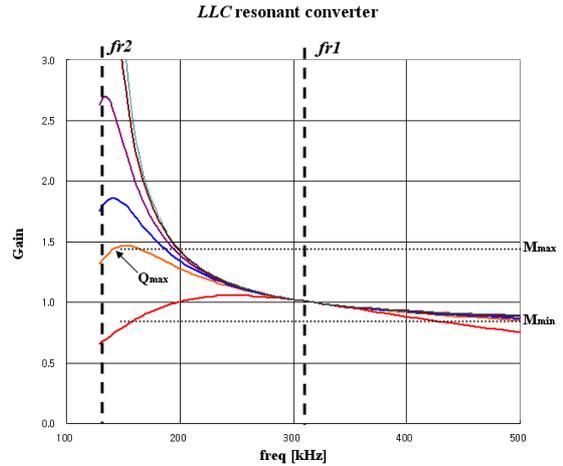


그림 5 LLC 공진컨버터의 DC 특성
Fig. 5 DC characteristic of LLC resonant converter

$$M_{OL}(f_n, \lambda) = \frac{1}{\left|1 + \lambda - \frac{\lambda}{f_n^2}\right|} \quad (5)$$

3.2 동작 모드

LED 백라이트 구동용 LLC 공진컨버터의 표준화된 공진 주파수 및 Q 변화에 대한 전압이득 변화를 알아 보기 위해 그림 5와 같이 DC 특성을 나타내었다.

누설인덕턴스와 자화 인덕턴스 비(λ)가 0.2이고, 입력 전압 400V와 출력 전압 127V에서 공진주파수와 스위칭 주파수가 같다. 무부하에서 컨버터의 안전한 동작을 보장하기 위해 최대 동작 주파수를 설정하는 것이 필요하다. 최소 전압 이득 (M_{min}) 은 식 (6)와 같다.

$$M_{min} = 2n \frac{V_{out.min}}{V_{dc.max}} \quad (6)$$

최대출력 및 최소 입력 전압 조건에서 최소 주파수로 컨버터가 동작하게 된다. 이때 최대 전압 이득 (M_{max}) 은 식 (7)와 같다.

$$M_{max} = 2n \frac{V_{out.max}}{V_{dc.min}} \quad (7)$$

유도성과 용량성 모드 사이에서 최대 전압 이득을 얻기 위한 최대 Quality Factor (Q_{max})와 표준화된 최소 주파수를 식 (8), (9)와 같다.

$$f_{n.min} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{M_{max}^2}\right)}} \quad (8)$$

$$Q_{max} = \frac{\lambda}{M_{max}} \sqrt{\frac{1}{\lambda} + \frac{M_{max}^2}{M_{max}^2 - 1}} \quad (9)$$

마지막으로 식 (6)에서 계산된 최소 전압 이득을 이용하여 표준화된 최대 주파수는 식 (10)과 같다.

$$f_{n.max} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{M_{min}^2}\right)}} \quad (10)$$

누설인덕턴스(L_r)와 자화 인덕턴스(L_m) 비(λ)가 클수록 전압이득이 높아지며 스위칭 동작을 하기 위한 표준화된 공진 주파수의 스위칭 범위가 협소해진다. 이러한 협소한 스위칭 주파수 범위와 높은 전압이득 특성은 자화 인덕턴스에 흐르는 전류를 증가시켜 도통 손실을 증가시키는 원인이 된다. 따라서 중부하에서도 주어진 입력전압 변동범위에 대한 1차측 스위칭 소자가 영전압 스위칭을 이룰 수 있는 자화인덕턴스와 자화 인덕터 전류를 구하고 λ 와 Q 값을 적절하게 사용해야 한다. LED 백라이트 구동용 LLC 공진컨버터는 그림 5에서 볼 수 있듯이 ZVS 영역 중에서도 스위칭 동작영역이 표준화된 주파수가 1보다 낮은 주파수에서 사용하고 있으며, 이러한 경우 주스위칭 소자의 영전압 스위칭 (ZVS) 뿐만 아니라 변압기 2차측 정류 다이오드의 영전류 스위칭 (ZCS)을 얻을 수 있다.

3.3 평판형 트랜스포머 설계

LCD TV의 슬림화를 위해서는 고주파 스위칭 변압기에서 크게 문제화가 되는 누설 인덕턴스 및 개생 캐패시터를 최소화하고 전력 손실을 최소화하는 것이 필요하다.

고주파 변압기의 전력손실은 크게 철손(core loss)과 동손(copper loss)으로 나눌 수 있으며 특히 슬림화를 위한 고주파 스위칭에서는 표피효과(skin effect)나 근접효과(proximity effect) 등의 손실이 대부분이다. 슬림화를 위한 높은 주파수의 동작은 와전류의 원인이 되어 교번자속을 발생한다. 주전류를 포함한 이 와전류는 주전류 방향과 반대이며, 이로 인해 도체의 중앙부의 전류는 상쇄되고 전류의 분포는 도체표면에서 중

심을 향하여 지수함수 적으로 감소한다. 전류밀도가 도체 표면에서중앙까지 e^{-l} 의 계수로 감소하는 침투 깊이 σ 는 도전율이나 투자율과 같은 재료의 특성에 따라 다르고, 주파수의 제곱근에 반비례 한다. 60°C에서 동의 침투 깊이는 대략 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{2,230}{\sqrt{f(kHz)}} [\mu m] \quad (11)$$

이런 표피효과나 근접효과들은 기생적인 AC 저항과 누설인덕턴스를 가지므로 고밀도 스위칭 전원 컨버터 성능 향상을 위해서는 이러한 기생성분들을 줄여야만 한다.^[7-8]

그리고 열확산을 고려하여 내외부 층의 턴수를 대칭적으로 분포하도록 하고, 자기적 결함을 고려하여 1-2차의 층을 샌드위치 권선하는 것이 필요하다. 그리고 온도상승 범위 내에서 높은 출력의 전력 밀도를 가지는 것이 필요하다. 온도상승은 코어의 자속밀도의 함수로 추정할 수 있으며, 열평형을 고려한 손실은 식 (12)와 같이 표현할 수 있다. 여기서 ΔT : 최대 코어 온도 - 주변 온도, R_{th} : 트랜스포머의 열저항

$$P_{loss} = \frac{\Delta T}{R_{th}} \quad (12)$$

트랜스포머의 열저항과 코어 유효 체적 사이에서 관계는 식 (13)와 같다.

$$P_{th} = \frac{C_{th}}{(V_e)^{0.54}} \quad (13)$$

여기서 V_e 는 m^3 당 코어의 실효 단면적이고, C_{th} 는 35.1×10^{-3} 이다. 식 (13)를 식 (12)에 대입하면 트랜스포머의 손실은 식 (14)와 같다.

$$P_{loss} = \frac{\Delta T}{C_{th}} (V_e)^{0.54} \quad (14)$$

트랜스포머의 자속 포화를 피하기 위해서 자화 곡선의 선형 영역에서 동작 되어야 하기 때문에 최대 허용 자속밀도 B_{max} 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$B_{max} = \frac{V_{in,min}}{k_f N_p A_e f_{sw}} \quad (15)$$

여기서 V_{in} 는 최소 입력 전압이고, k_f 는 사인파일 때 4.44, 구형파일 때 4 이다. 코일의 권선수는 자속인 전압과 시간에 대한 전류의 변화이므로 식 (16)과 (17)을 적용하여 1, 2차권선수를 산출하였다.

$$N_1 = \frac{V_{in} D}{B_{max} A_e f_{sw}} \quad (16)$$

$$N_2 = \frac{V_{in}}{2 V_{out} N_1} \quad (17)$$

여기서 V_{in} 은 입력전압, V_{out} 는 출력전압, D 는 듀티 사이클이다. 식 (16)으로부터 계산된 1차 코일의 자기 인덕턴스(L_m)는 식 (18)과 같이 계산할 수 있다.

$$L_m = \frac{\mu_0 N_1^2 A_e}{l_g + \frac{l_e}{\mu_e}} \quad (18)$$

그림 6는 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 LLC 공진컨버터의 평면 트랜스포머이다.

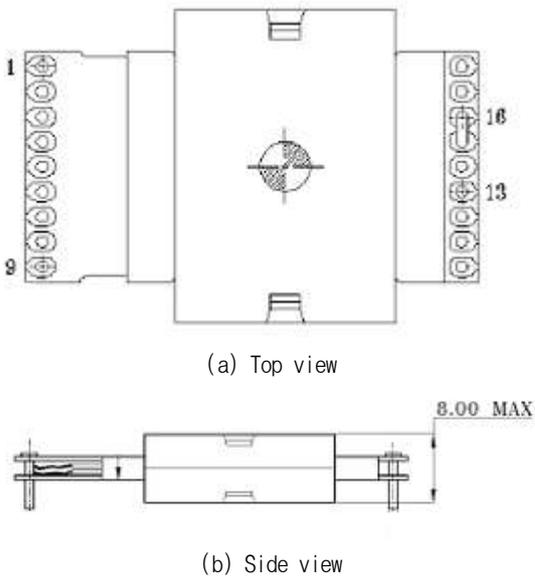


그림 6 평판형 트랜스포머의 도면
Fig. 6 The mechanical drawing of planar transformer

LED 백라이트용 LLC 공진컨버터의 평면 트랜스포

머의 설계 사양은 다음과 같다.

- 1) 코어는 Planar EE32이다.
- 2) 코어의 유효 체적은 129mm² 이다.
- 3) 동작 주파수는 최대 500kHz 까지 가변된다.
- 4) 기생 누설 인덕턴스는 1.68uH 이다.
- 5) 기생 커패시터는 100pF 이다.
- 6) 코어 손실은 3.95W이다.

4. 실험 결과

슬림형 47인치 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 시제품을 만들고 실험적으로 검정하였다. 그림 7은 LED 백라이트용 LLC 공진컨버터의 시제품 사진이다.

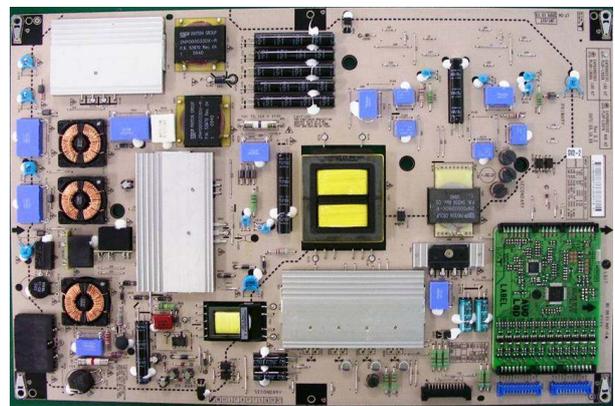


그림 7 LED 백라이트 구동용 전원 장치
Fig. 7 The power supply for LED backlight of the LCD TV

LLC 공진컨버터의 입력 전압은 hold-up 타임을 고려하여 300 ~ 400V이고, 출력 전압은 LED 특성을 고려하여 127 ~ 150V 이다. 넓은 입/출력 전압의 전 범위에서 소프트 스위칭 동작을 확보하기 위한 주요 설계 파라미터는 다음과 같다. 트랜스포머의 슬립화를 위해 공진 주파수를 310kHz이고, 공진 파라미터는 $L_m=285\mu H$, $L_r=58\mu H$, $Cr=4.4nF$ 이다. 그림 8은 입력 전압 400V, 출력전압 150V일때 무부하에서 동작 파형이다. 여기서 Ch1은 출력전압, Ch2는 Q2의 드레인과 소스 전압이고, Ch3은 1차측 공진전류이다. 그림 9는 입력전압 300V, 출력전압 150V일 때 중부하에서 동작 파형이다.

그림 10은 입력전압 400V, 출력전압 127V일 때 무부하에서 동작 파형이다. 그림 11은 입력전압 400V, 출력 전압 127V일 때 중부하에서 동작 파형이다. 그림 8 ~ 11의 실험 결과를 보면 전 부하 영역에서 입력 전압이

300V/ 출력전압이 155V와 입력 전압이 400V/ 출력전압이 127V에서 충분한 ZVS 마진을 보장할 수 있는 평판형 트랜스포머의 설계가 된 것을 알 수가 있다.

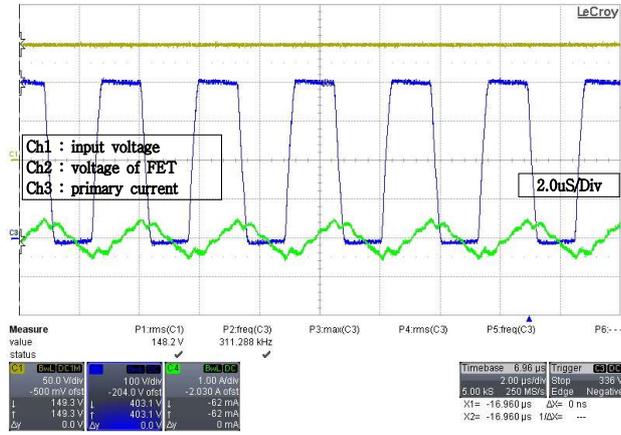


그림 8 입력전압(400V), 출력전압(150V)과 무부하 조건에서 실험파형

Fig. 8 Experimental waveform in conditions of input voltage(400V), output voltage(150V) and no load

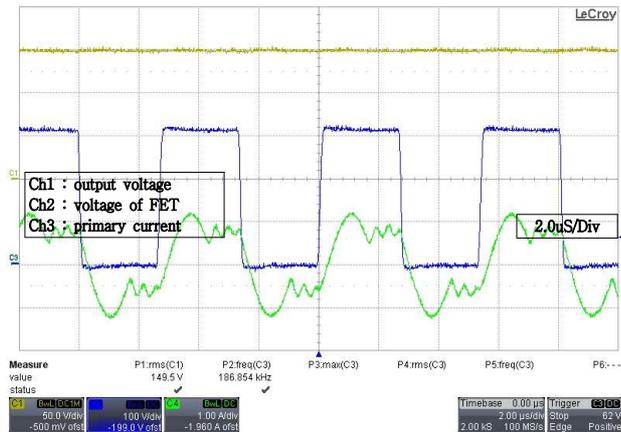


그림 9 입력전압(300V), 출력전압(150V)과 중부하 조건에서 실험파형

Fig. 9 Experimental waveform in conditions of input voltage(300V), output voltage(150V) and full load

그림 12는 측정된 효율을 보여주고 있다. 위 결과와 같이 입력전압이 낮고 출력전압이 높을수록 순환전류가 증가하기 때문에 효율은 감소하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 슬림형 47인치 LCD TV의 LED 백

라이트 구동용 고주파 평판형 트랜스포머를 적용한 LLC 공진컨버터를 제안하였다. 평판형 트랜스포머를 적용함으로써 누설 인덕턴스의 감소로 인한 넓은 입/

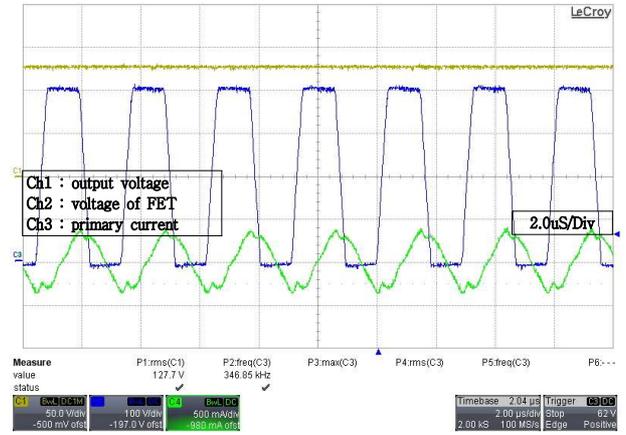


그림 10 입력전압(400V), 출력전압(127V)과 무부하 조건에서 실험파형

Fig. 10 Experimental waveform in conditions of input voltage(400V), output voltage(127V) and no load

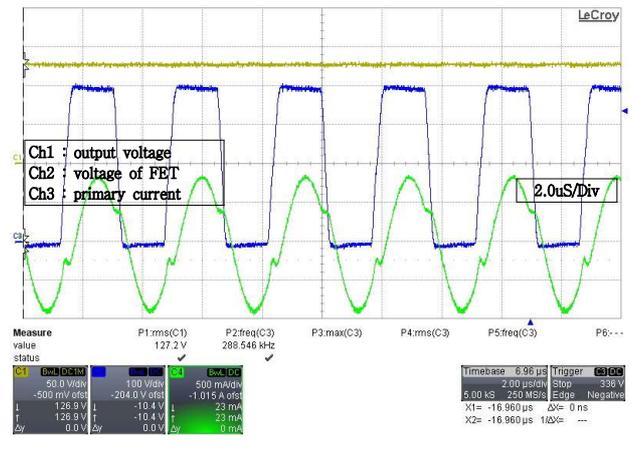


그림 11 입력전압(400V), 출력전압(127V)과 중부하 조건에서 실험파형

Fig. 11 Experimental waveform in conditions of input voltage(400V), output voltage(127V) and full load

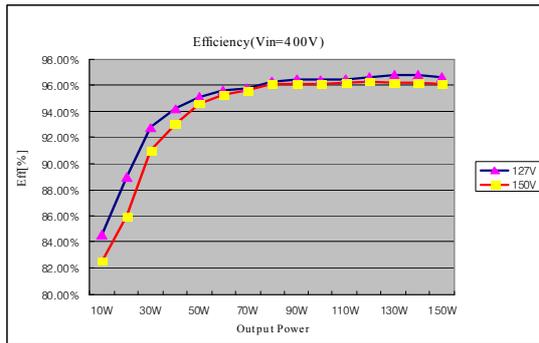


그림 12 출력전압에 따른 효율
Fig. 12 The measured efficiency according to output voltage variation

출력 전압 변화와 모든 부하 범위조건에서 MOSFET의 ZVS 마진은 확보 할 수 있다. 더욱이 누설 인덕턴스 및 기생 캐패시터의 감소는 동작 주파수를 증가시키고, 고효율 및 높은 전력 밀도를 가지는 LLC 공진 컨버터의 구현이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Yang, B., Lee, F.C., Zhang, A.J., and Huang, G.: "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion", *Proc. 17th Annual IEEE Conference on applied power electronics*, pp. 1108-1112, 2002.
- [2] Jiangtao Feng, Yuequan Hu, Wei Chen and Chau-chun Wen, "ZVS Analysis of Asymmetrical Half-Bridge Converter", *IEEE PESC'01*, pp. 243-247, 2001. 6.
- [3] Bor-Ren Lin and Chien-Lan Huang, "Analysis and Implementation of a Dual-Output LLC Resonant Converter", *International Journal of Electronics*, Vol. 96, Issue 7, pp. 733-747, 2009. 7.
- [4] 최향식, "Design Consideration of half-bridge LLC resonant converter", *Journal of Power Electronics* Vol. 7, No. 1, pp. 13-20, 2007. 1.
- [5] Steady-state Analysis of the LLC Resonant Converter, *Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 2001*, pp : 728-735, 2001.
- [6] A Comparison of Half Bridge Resonant Converter Topologies, *IEEE Trans. on Power Electronics*, pp: 174-182, 1988.
- [7] 최선호, 박진영, 김은수, "300W 평면 변압기적용 포워드 컨버터", *전력전자학회지*, Vol. 9, No. 6, pp. 560-567, 2004. 12.
- [8] 김현식, 허정섭, 김중령, 민복기, "초소형 고효율 평면변압기의 기술동향", *전력전자학회지*, Vol. 6, No. 5, pp. 22, 2001.

저 자 소 개



손호인(孫虎仁)

1975년 4월 19일생. 2001년 울산대 제어계측공학과 졸업. 2005년 한양대 전기공학과 졸업(석사). 2005년~2009년 LG이노텍(주) POWER연구실 선임연구원. 현재 목포대 전기공학과 박사과정.



김창선(金昌宣)

1966년 1월 11일생. 1990년 한양대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1997년~현재 목포대 전기공학과 교수. 당 학회 학술위원.

김대년(金大年)



1973년 11월 26일생. 2001년 울산대 제어계측공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전자정보시스템공학과 졸업(석사). 2010년 동 대학원 전기전자정보시스템공학과 졸업(공학박사). 2010년~현재 건동대 신재생에너지공학과 교수.