

# LLC 공진형 하프브리지 컨버터를 이용한 LED 전원 공급기

장영근, 장도현  
호서대학교

## A LED Power Supply using LLC Resonant Half-bridge Converter

Young-Geun Jang, Do-Hyun Jang  
Hoseo University

### ABSTRACT

LLC 공진형 컨버터는 영전압 스위칭과 영전류 스위칭이 가능하여 높은 효율로 동작하고 안정적인 전원 공급이 가능하다. 본 논문은 LED 전원 공급 장치로 쓰이고 있는 플라이백 컨버터와 LLC 공진형 하프브리지 컨버터를 비교하여 LLC 공진형 컨버터의 우수성을 입증하고, 그 특성을 분석하였다.

### 1. 서론

최근 에너지 위기와 빠르게 확산되고 있는 녹색 산업 성장의 일환에 의해 백열등과 형광등이 점차 사라지고 있다. 이에 따라 수명이 길고, 전력대비 효율이 높으며, 친환경적인 LED는 백열등과 형광등 등의 기존 조명이 가진 단점을 해결할 수 있는 대안으로 각광받고 있다. 그러나 LED는 반도체의 성질을 지닌 일종의 광전자 소자로서 이를 효율적으로 발광시키기 위해서는 적절한 전원 공급 솔루션이 필요하다. 최근 쓰이고 있는 LED 전원 공급 장치로는 플라이백 컨버터가 대표적이다.

플라이백 컨버터는 비교적 생산 단가가 저렴하고, 구성이 간단하여 시장성이 좋다는 장점이 있으나 FET에 걸리는 전압 스트레스와 코일에 의해 다이오드 D에 걸리는 역전압 때문에 손실이 크게 증가한다.

따라서 본 논문은 전원 공급 장치로서 플라이백이 가지는 단점들을 해결하기 위해 LLC공진형 컨버터를 이용한 전원 공급 장치를 제안하고, LED를 부하로 하는 LLC 공진형 컨버터를 설계하여 특성을 분석하였다.

## 2. 플라이백 컨버터 및 LLC 공진형 컨버터

### 2.1 플라이백 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치

그림 1은 조명용 절연형 LED 전원 공급 장치를 나타낸 것이다. 플라이백 컨버터는 SMPS 방식으로 구동하고 스위칭 부는 PWM 제어 IC를 이용하여 드라이브 회로의 피드백을 받아 필요한 정전압을 얻는 방식이다. 벅-부스트 컨버터의 절연형으로서 주요 동작 및 듀티에 따른 입출력비는 변압비를 제외하면 벅-부스트와 동일하다. 플라이백 컨버터는 구조가 매우 간단하기 때문에 구성이 쉽고, 저가의 제어 IC가 많이 개발되어 LED 전원 공급 장치 뿐만 아니라 다방면의 전원 회로에 많이 사용되고 있다. 그러나 스위치와 출력 다이오드의 전압 스트레스가 매우 커서 효율이 악화되고, 출력 전류가 불연속적이므로 출력 레귤레이션이 불안정하다. 뿐만 아니라, 출력 다이오드가 턴 오

프 될 시 발생하는 큰 서지 전류 때문에 고전력에 약하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 LED 전원 공급 장치로서 플라이백 컨버터가 가진 이러한 단점들을 보완하기 위해 LLC 공진형 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치를 제안하였다. <sup>(1)</sup>

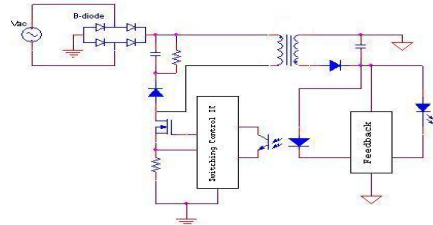


그림 1. 플라이백 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치  
Fig 1. A LED Power Supply using Fly-back Converter

### 2.2 하프브리지 LLC 공진형 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치

그림 2는 하프 브리지 LLC 공진형 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치이다. 고 전력 밀도와 자성 소자의 수를 줄이기 위해 한 개의 코어로 컨버터의 자성 소자(Lm, Lr, T)를 통합하여 설계하였다. 이처럼 자로를 분배함에 따라 자속 리플이 감소되므로 코어의 손실을 더욱 줄일 수 있다.

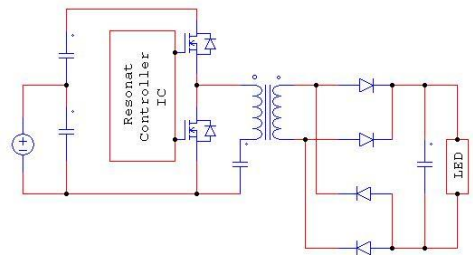


그림 2. 하프 브리지 LLC 공진형 컨버터를 이용한 LED 전원 공급 장치  
Fig 2. A LED power supply using half-bridge LLC resonant half-bridge converter

### 2.3 LLC 공진형 컨버터 해석

LLC 공진형 컨버터는 두 개의 공진 주파수를 가지고 있다. 하나는 낮은 공진 주파수를 결정하는 자화 인덕턴스 Lm, 누설 인덕턴스 Lr, 공진 커패시터 Cr에 의한 공진 주파수이며, 다른 하나는 더 높은 공진 주파수를 결정하는 Lr과 Cr에 의한 주파

수이다.

더욱 높은 공진 주파수는 ZVS(Zero Voltage Switching) 영역에 속해 있다. LLC 컨버터는 이 영역에 의해 설계하였다. 그림 2는 LLC 공진형 컨버터의 DC 특성과 세 가지 동작 영역을 나타낸다. Region1과 Region2는 고주파 동작에 사용되는 ZVS 영역이며, Region3은 ZCS(Zero Current Switching) 영역으로서 컨버터가 반드시 이 영역에 속하는 것은 아니다.<sup>(2)</sup>

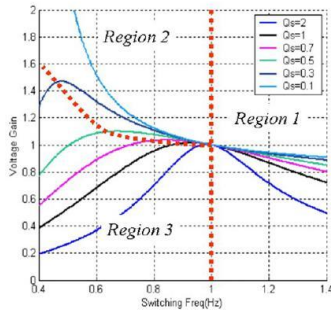


그림 3 LLC 공진형 컨버터의 DC 특성과 동작 영역  
Fig. 3 DC characteristic and operating regions of LLC resonant converter

### 3. LLC 공진형 컨버터 시뮬레이션 및 실험

#### 3.1 LLC 공진형 컨버터 시뮬레이션

그림 4는 LLC 공진형 컨버터의 동작을 입증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 시스템의 입출력과 각 수치는 실험용으로 제작한 LLC 컨버터와 동일하다. (a), (b), (c)는 각각 LLC 공진형 컨버터의 스위치 전류, 게이트-소스 전압, 드레인-소스 전압을 나타낸다. 역-병렬로 연결된 다이오드를 통해 전류가 흐르므로서 드레인-소스 전압이 0인 되는 동안 게이트-소스 전압이 턴 온 된다. 이에 따라 전압과 전류가 겹치는 부분은 사라지게 되며, 이 때 용량성 손실은 제거되고, 스위치 손실은 최소화된다.<sup>(3)</sup>

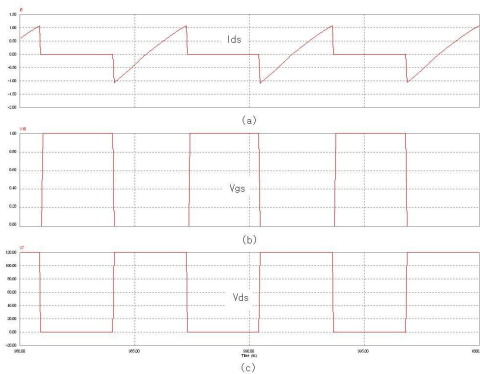


그림 4 LLC 공진형 컨버터 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Simulation results of LLC resonant converter

#### 3.2 LLC 공진형 컨버터 실험

본 논문은 LED 전원 공급 장치로서 입력 전압은 DC 120V이며 출력은 24V/50W로 설계하여 시험하였다. 최종적인 설계 사양은 표 1과 같다. 기존의 LLC 컨버터의 경우 변압기의 1차 측은 한 개의 코일, 2차 측은 두 개의 코일로 권선한 것과 달리 실험에 사용한 회로의 경우 1차 측과 2차 측의 코일을 각각 한 개의 코일로 권선하고 다이오드를 역으로 병렬 연결하여 변압기의 설계를 더욱 간단하게 하였다.

표 1 LLC하프브리지 공진 컨버터 설계 결과

Table 1 Design results of LLC Half-bridge resonant converter

설명	단 위	파라미터	값
자화인덕턴스	uH	Lm	100
공진인덕턴스	uH	Lr	20
공진 커패시터	nF	Cr	120
스위칭 주파수	kHz	fs	80~240
공진 주파수	kHz	fr	100

그림 4는 최대 출력 조건에서 파형을 측정할 것이다. 게이트 전압이 턴 온 되는 동안 스위치 전류가 0밀로 내려가는 순간 드레인-소스 전압은 턴 온 동작하는 것을 확인할 수 있다. 이는 시뮬레이션과 일치하는 결과로 LLC 공진형 컨버터가 동작하는 것을 확인할 수 있다.

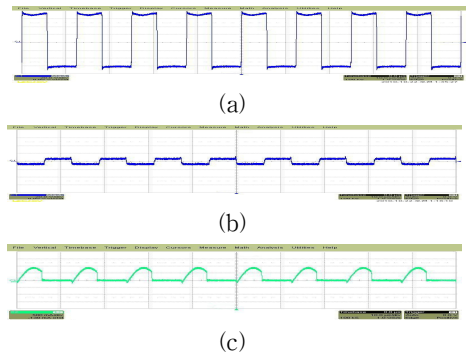


그림 5 LLC 공진형 컨버터의 스위치 동작 파형  
Fig. 5 Switch Waveform of LLC resonant converter

### 3. 결론

커다란 LED 경관 조명의 경우 광원을 면으로 구성하기 위해서는 많은 수의 LED를 Array로 구성해야 하므로 고전력 용인 경우가 많다. 하지만 플라이백 컨버터는 스위치에 가해지는 전압, 전류 스트레스로 인해 효율이 저하되는 단점과 다이오드에 발생하는 큰 전압 서지로 고전력에 약하여 LED 전원 공급 장치로서 한계점을 가지고 있다. 그러나 LLC 공진형 컨버터의 경우 ZVS, ZCS로 인해 고효율의 스위치 동작이 가능하다. 또한 고전력이 가능하다는 장점으로 인해 주로 큰 전력을 필요로 하는 LED 경관조명에 사용할 시 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1]Tae-Hyung Kang "A Survey on the Technical Trend of LCD Display Power Module" pp. 6-7  
 [2]Yan Liang, Wenduo Liu, Bing Lu, J.D.van Wyk "Design of Integrated Passive Component for a 1MHz 1kW Half-bridge LLC Resonant Converter" IEEE pp. 2223-2224, 2005  
 [3]Hang-Seok Choi "Resonant Converter Design-LC & LLC Resonant half-bridge Converter" Fairchild Application Note Part1 pp. 3-5