

LED 조명용 디밍 가능한 LLC 공진형 컨버터에 관한 연구

신 건, 이우철
한경대학교

Study on The Dimmable LLC Converter for LED Lighting

Geon Shin, Woo Cheol Lee
Hankyong National Univ

ABSTRACT

높은 효율과 긴 수명의 장점들을 갖는 LED는 최근 여러 분야에서 그 쓰임새가 부각되고 있다. 그중 조명용 LED는 일반적인 전원을 바로 사용할 수 없기 때문에 PFC를 비롯한 DC/DC 컨버터 동작을 위한 부가적인 구동회로가 필요하다. 이러한 구동회로는 LED의 장점을 극대화하기 위하여 고효율 달성 및 일정한 휘도를 유지할 수 있도록 설계되도록 요구되어진다. 따라서 본 논문은 스위칭 손실이 보다 적은 LLC 공진 컨버터를 LED 조명용 구동회로에 적용하여 효율을 높이고, 디밍 제어가 가능하도록 구성하여 이를 스위칭 주파수 변화에 따른 동작특성을 분석하였다.

1. 서론

최근 LED 기술의 비약적으로 발전함에 따라 기존 LED 빛의 강한 직진성 및 약한 밝기 문제가 많이 개선되며 가정 및 산업분야에서 일반적인 조명기구로 사용되는 형광등 및 백열등을 대체할 수 있는 수준에 이르렀다. 특히 LED는 기존 광원에 비해 약 4 배 정도 적은 전력으로 유사한 밝기를 낼 수 있고, 수명이 압도적으로 길다는 큰 장점을 갖는다.^[1] 또한 범용성이 크기 때문에 효율적인 전력관리 측면에서도 많은 도움이 될 수 있다. 하지만 이러한 LED는 전기발광효과를 이용한 다이오드의 일종이므로 조명으로 구동 시에는 반드시 순방향 바이어스를 걸어주어야 한다. 또한 LED에 흐르는 전류를 일정하게 유지할 수 있도록 하는 정전류 제어가 필요하다. 이에 따라서 상용 교류 전원을 구동회로를 거쳐 변환하는 과정이 필요하다. 일반적으로 조명구동용 컨버터로는 Flyback 컨버터가 많이 사용되지만 구동회로가 LED의 장점을 극대화시킬 수 있도록 약 90% 이상의 충분한 전력효율을 갖으면서 정전류 제어가 가능하도록 하기위해 본 논문에서는 순환전류 및 스위칭 손실이 보다 적은 LLC 공진 컨버터를 적용하여 LED에 흐르는 전류를 제어하여 빛의 밝기를 조절하면서 이에 따른 동작특성을 분석하였다.

2. 본론

2.1 디밍(Dimming)

LED는 제품에 따라 각각의 전압 및 전류 특성이 다르다. 또한 전류에 비례하여 빛의 밝기가 조절되므로 시간에 따라

LED에 흐르는 전류가 증가할 수 있는 정전압 제어가 아닌 정전류 제어를 구성해야하며 이에 따라 빛의 밝기가 조절되는 것을 디밍(Dimming)이라고 한다.

현재 상용화된 디밍 방식은 크게 그림 1과 같은 특징을 갖는 CCR(Constant Current Reduction)과 PWM(Pulse Width Modulation) 방식이 있다. CCR 디밍은 LED의 밝기를 조절하기 위해 전류의 크기를 연속적으로 조정하는 방법으로 아날로그 디밍이라고 한다. 반면 PWM 디밍 방식은 제어 시 LED로 흐르는 전류가 정격전류 이하에서 온/오프 상태로 동작하게 하는 방법으로, 즉, PWM 디밍 방식은 짧은 시간 동안 LED 전류를 켜고 끄는 동작을 반복한다. 이 때 온/오프를 반복하는 주파수는 빛이 깜빡거려 보이는 시각 효과를 피하기 위해 육안으로 감지할 수 없는 약 200Hz 이상의 주파수가 적절하며 플리커 현상 및 카메라 촬영 시 라인 음영과 잡음을 제거하기 위해서 수 kHz ~ 수십 kHz의 주파수가 필요하게 되며 이에 따라 가용 주파수 영역 제한의 문제점이 존재한다.

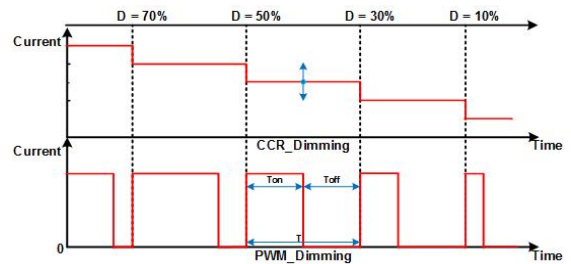


그림 1 CCR Dimming 과 PWM Dimming 비교 그림
Fig. 1 CCR Dimming and PWM Dimming Comparison Diagram

2.2 LLC 공진 컨버터

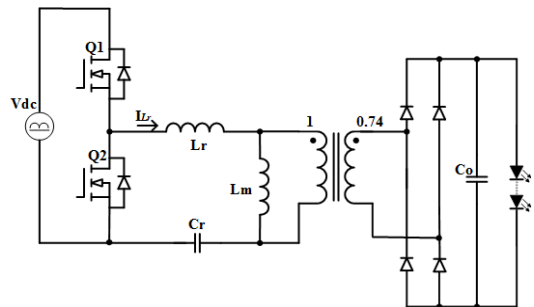


그림 2 일반적인 LLC 컨버터 회로도
Fig. 2 Common LLC Converter Schematic

표 1 LLC 공진 컨버터 파라미터

Table 1 LLC Resonant Converter Parameters

입력전압	220V	Lr	7.16uH
턴 수비	1:0.74	Lm	1.05mH
출력최대전압	231V	Cr	33nF
출력최대전류	1.05A	Co	470uF

전력 전달의 효율을 높이기 위해 ZVS 동작이 가능한 LLC 공진 컨버터를 설계하여 LED 에 전력을 공급하였다. 실험에 사용된 LLC 공진 컨버터의 설계 파라미터 값은 다음 표 1 과 같으며, LED 는 직렬로 구성하였으며 전체적인 회로구성은 그림 2 와 같다. 스위칭 주파수영역은 최대 220kHz 로 설정하였다.

2.3 실험 결과

실험은 PWM 디밍 방식으로 CH 3 의 디밍 전압을 기준으로 하여 10V 에서 1V 의 범위에서 진행되었으며 이에 따라 출력 전압과 전류 및 게이트 신호의 양상을 파악하였다. 디밍 기준 전압이 10V 일 때 게이트 신호의 주파수는 약 66kHz 에서 동작하게 되며 이때의 출력전압은 200V, 출력전류는 700mA 로 정전류 제어가 되어 그림 3 의 (a) 와 같이 출력된다. 디밍 기준 전압을 점점 낮춰가다 보면 게이트 신호의 주파수가 증가하게 되고 LLC 공진 컨버터의 경우 스위칭 주파수가 점차적으로 증가할수록 전압이득이 낮아지게 되므로 그림 3 의 (b) 와 같이 디밍 기준 전압이 5V 일 때 스위칭 주파수가 210kHz 이상의 영역이 되며 출력전압은 118V, 출력전류는 420mA 로 정전류 제어가 되며 동작하게 된다.

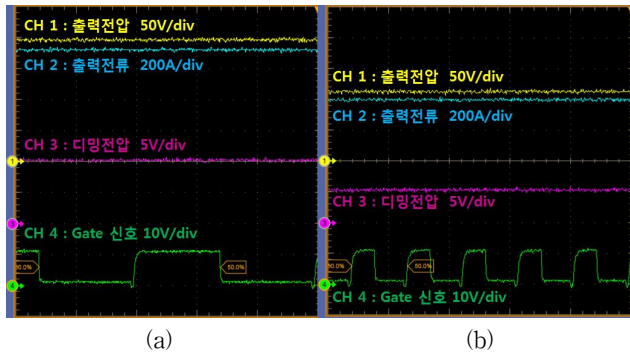


그림 3 PWM Dimming 제어 파형
Fig. 3 PWM Dimming Control Waveform

일반적인 LLC 공진 컨버터에서 LED 의 디밍을 하기 위해 주파수를 더 키우다 보면 스위칭 주파수가 한 없이 높아지게 되며 분명 주파수의 한계치에 도달하게 된다. 본 실험에서도 마찬가지로 휘도조절을 더 하기 위해 디밍을 하게 되면 컨버터의 스위칭 주파수가 210kHz 보다 더 높은 영역으로 동작하게 되므로 스위칭 주파수를 제한할 수밖에 없다.^[2]

이때, 210kHz 이상의 주파수 영역에서는 주파수를 일정하게 유지시키고 게이트 신호를 ON/OFF 시켜 ON/OFF 시간 주기의 듀티 크기를 조절함으로써 출력전류를 일정하게 얻을 수 있다. 다음 그림 4 는 이에 따른 실험 파형이다. (a) 는 디밍 기준 전압이 4V 일 때 스위칭 주파수가 217kHz 이고 출력전

압은 96V, 출력전류는 328mA 로 동작하는 파형이다. (b)는 디밍 기준 전압이 2V 일 때 스위칭 주파수가 219kHz이고 출력전압은 48V, 출력전류는 152mA 로 동작하는 파형이다.

게이트 신호의 ON/OFF 주기의 듀티는 각각 (a)는 약 0.49, (b)는 약 0.16 으로 동작하며 나머지 디밍 기준 전압 영역에서도 ON/OFF 주기의 듀티 조절을 통해 LED 에 흐르는 평균 전류를 조절하여 원하는 휘도로 제어할 수 있는 것을 확인하였다.

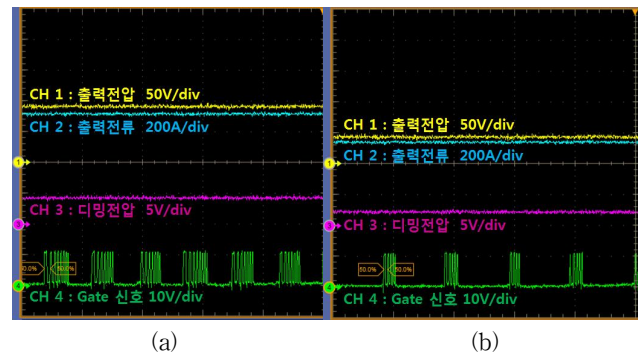


그림 4 PWM Dimming ON/OFF 제어 파형
Fig. 4 PWM Dimming ON/OFF Control Waveform

3. 결론

본 논문에서는 LED의 장점을 극대화하기 위하여 고효율 달성 및 일정한 휘도를 유지할 수 있도록 ZVS 동작이 가능하여 스위칭 손실이 보다 적은 일반적인 LLC 공진 컨버터를 LED 조명용 구동회로에 적용하여 설계하였다. 또한 디밍 제어가 가능하도록 구성하여 이를 게이트 신호의 주파수를 점차적으로 늘려가며 이에 따른 동작특성을 디밍 기준 전압에 따라 분석하였다. 그리고 LLC 공진 컨버터에서 LED 의 디밍을 하기 위해 주파수를 더 키우다 보면 스위칭 주파수가 한 없이 높아지게 되며 주파수의 한계치에 도달하게 되는데 이를 스위칭 주파수 ON/OFF 주기의 듀티 제어를 통해 210kHz 이상의 주파수 영역에서는 주파수를 일정하게 유지시키고 ON/OFF 듀티 크기를 조절함으로써 출력전류를 일정하게 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

본 연구는 중소기업벤처부의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음.
[C0512432, 프로그램이 가능한 고효율 LED 컨버터 개발]

참고 문헌

- [1] Yong Sung Jeon, Chun Taek Lee, Seong Ju Kim, Dal Rae Jin, Jae Du La, Young Seok Kim, "A Dimmable PFC AC DC 1 stage Flyback Converter for LED Driving", Proceedings of KIEE, pp. 320 322, 2012.
- [2] Cherl Jin Kim, Nak Jun Choi, Hwa jun Lee and Eung Seok Kim, "Control of constant current and dimming for Power LED with LLC resonant converter", Proceedings of KIEE, pp. 1008 1010, 2010.