

단일전력단을 갖는 고효율 고주파 공진형 LED 구동회로

조현철, 서철식, 김동희
영남대학교

High-Power-Factor High Frequency Resonant LED Driver with Single-Stage

조현철, Cheol Sik Seo, 김동희

ABSTRACT

본 논문에서는 조명용 LED 구동 장치를 위한 새로운 방식의 단일전력단을 갖는 LED 구동회로를 제안한다. 제안 회로는 임계모드에서 동작하는 부스트 컨버터를 역률 개선 회로로 사용하였고, LED 구동회로로 LLC 고주파 공진 회로를 채택하였다. 또한, 기존의 역률 개선 회로와 LED 구동회로의 2단 회로를 단일전력단을 갖는 회로로 구성함으로써 고효율, 고효율, 경량 및 소형의 LED 구동회로를 구성하였다. 본 논문에서는 제안한 회로의 동작 원리를 설명하였고, 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안 회로의 타당성을 입증하였다.

1. 서론

최근 LED 기술의 발달로 조명시스템의 소형화·경량화·고효율화를 이룰 수 있고, 램프 수명을 획기적으로 향상시킬 수 있다는 장점 때문에 기존의 조명시스템을 대신해서 LED 조명시스템이 많이 적용하고 있다. 그렇지만, 대부분의 LED 조명시스템은 브릿지 회로를 이용한 전파정류 회로와 DC/DC 컨버터 회로로 구성됨으로 전원측에 고조파 전류왜곡과 전자파 장애를 야기시킨다. 최근 IEC 61000 3 2 Class C와 같은 고조파에 대한 각종 국제 규제가 강화됨으로 고조파 저감과 역률 보상회로에 대한 관심이 높아지고 있다.[1]

일반적으로 LED 조명시스템은 역률 개선(Power Factor Correction : PFC)용 회로와 DC/DC 컨버터회로로 구성되어 거의 단위역률을 이룰 수 있다. 그렇지만, 두 개의 전력 처리단으로 구성됨으로 부품의 소요가 증가하여 가격이 상승하고, 신뢰성이 떨어지는 문제점을 가진다. 따라서, 최근에 이와 같은 문제점을 줄이기 위하여 역률개선용 Converter와 DC/DC 컨버터에서 각각 사용되는 스위칭 소자를 공유로 사용하는 단일 전력처리단의 구조를 가짐으로 하나의 스위치를 줄일 수 있고, 이에 따른 제어회로를 간단하게 구성함으로써 고효율·고역률의 LED 조명시스템을 실현할 수 있게 되었다.

이들 단일 전력 처리단을 갖는 LED 조명시스템에서는 역률개선용으로 Flyback, Single Ended Primary Inductance Converter(SEPIC), Buck Flyback, Bcuk Boost

Converter 등을 불연속 모드(DCM)로 동작시킴으로 단위역률을 이룰 수 있지만, 불연속의 펄스 입력전류가 흐름으로 용량이 큰 입력 필터가 요구되고, 스위칭소자에 큰 피크 전류가 흐름으로 정격 용량이 큰 스위칭소자가 요구된다.[2 3]

본 논문에서는 임계 모드에서 동작하는 단일 전력처리단으로 구성된 새로운 고효율·고역률 LED 구동 회로를 제안하고 기본 동작원리 및 제특성에 관하여 상세히 기술하였다. 또한, 이론해석의 정당성을 입증하기 위하여 연구대상회로의 스위칭 소자로 Power MOSFET를 사용하여 실험을 통해 이론해석의 정당성도 검토하였다.

2. 본론

2.1 회로 구성

그림 1은 역률개선(PFC)용 Boost Converter 회로와 전원 분할용 커패시터를 갖는 LLC형 고주파 공진 컨버터 회로로 구성된 두 개의 전력 처리단을 갖는 LED 구동회로를 보여주고 있다. 일반적으로 역률 개선용 Boost Converter는 저전력 회로에서 불연속 모드(DCM)로 동작시키고 대전력 회로에서는 연속 모드(CCM)로 동작시킨다. 그림 2는 그림 1에서 역률개선용 Boost Converter 회로와 LLC형 고주파 공진 컨버터회로에서 각각 독립적으로 사용하던 스위칭소자(SW_b, SW₁, SW₂)를 단일 스위칭소자(SW₁, SW₂)로 사용함으로써 역률개선기능과 동시에 단일 전력단으로 구현된 새로운 고효율·고역률 LED 구동 회로 토폴로지를 보여주고 있다.

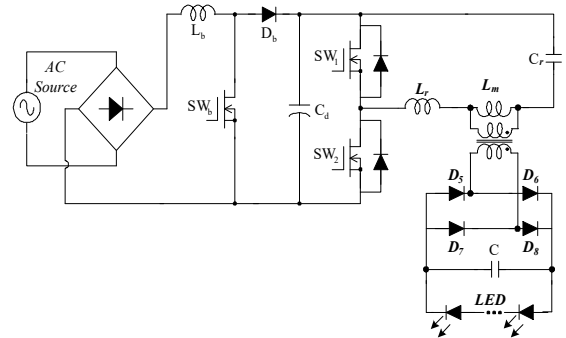


그림 1 두 개의 전력단을 갖는 LED 구동회로
Fig. 1 Two-Stage PFC LED Driver

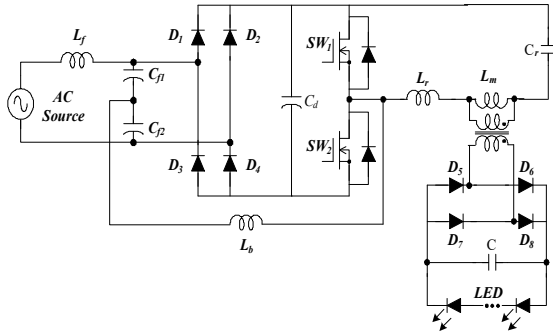


그림 2 제안된 단일 전력단 고역률 LED 구동회로
Fig. 2 Proposed Single-Stage PFC LED Driver

제안된 LED 구동 회로 토폴로지는 브릿지 다이오드를 고속 다이오드로 구성하고, 입력 필터용 커패시터(C_{11} , C_{12})를 2개로 분할하여 전압 분배용으로 사용함으로써 자연스럽게 boost 인덕터에 흐르는 전류를 임계모드로 동작시킨다. 이로 인하여 전원 전류의 왜곡을 줄일 수 있고, DC 링크 전류의 주파수가 스위칭 주파수의 2배가 되며, 스위칭으로 인한 전류의 리플을 줄이기 위한 입력 필터의 크기를 줄일 수 있다.

또한, 정류용 브릿지 다이오드(D_b)를 제거함으로써 기존의 안정기에서는 항상 3개(D_b , D_1 , D_4 또는 D_b , D_2 , D_3)의 반도체 소자를 통해서 전류가 흐르게 되지만, 그림 2의 회로에서는 2개의 소자(D_1 , D_4 또는 D_2 , D_3)를 통해서 흐름으로서 상시 도통되는 다이오드의 수를 한 개 줄일 수 있게 되어 도통손실과 소자의 전압강하를 줄일 수 있다. 또한, 그림 1의 회로에서는 Boost Converter회로가 동작할 때는 항상 스위치 SW_2 에 의해서 동작하는데 비해, 그림 2의 회로에서는 전원의 정(+)의 반주기 동안은 스위치 SW_1 가 동작하고, 부(-)의 반주기 동안은 스위치 SW_2 가 동작함으로써 스위칭 소자에서의 발열에 의한 손실 감소 및 Boost Converter를 역률개선용 회로로 사용함으로써 거의 단위 역률로 동작시킬 수 있다. 더욱이, Boost Converter회로와 고주파 공진 컨버터 회로의 스위치를 같이 공유함으로써 제어회로를 간단하게 구성할 수 있어 회로를 보다 단순화할 수 있다.

2.2 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 임계 모드에서 동작하는 단일 전력단을 갖는 고역률·고효율 LED 구동회로에 대한 타당성을 증명하기 위하여 설계된 회로정수에 MOSFET를 스위칭 소자로 사용하여 실험을 행하였다.

LED 구동시스템 구성은 고조파 성분을 제거하기 위한 필터(Filter), 교류 전원에서부터 직류 전원으로 만드는 AC DC 정류부, 역률 개선을 위한 부스트 능동 역률 개선 회로(PFC)부, 직류전원에서부터 고주파 스위칭을 통해서 부하에 전력을 공급하는 하프 브리지 고주파 공진 컨버터 회로부 그리고 전체 시스템을 제어하는 제어회로 등으로 구성되어 있다.

그림 3과 4는 입력필터로 $C_{11}=C_{12}=0.33[\mu F]$, $L_f=20[mH]$ 를 사용했을 경우의 입력 전압과 전류 파형 및 부스터용 인덕터의 전압과 전류 파형을 보여주고 있다.

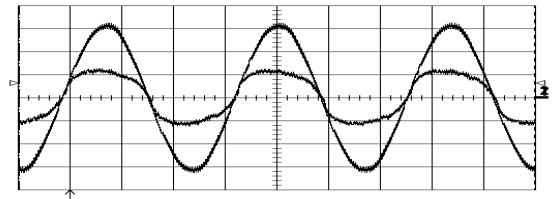


그림 3 입력 전압 및 전류
Fig. 3 Input Voltage and Current

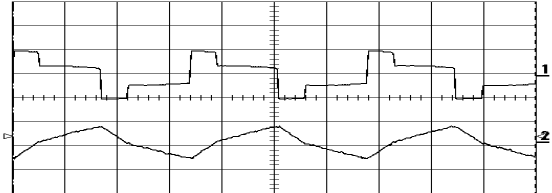


그림 4 부스터 인덕터 전압 및 전류
Fig. 4 Voltage and Current of Boost Inductor

역률 보상용 부스트 컨버터가 임계 모드에서 동작한다는 것을 알 수 있으며, 임계 모드에서 동작함으로써 전류의 피크값이 불연속 모드의 경우 보다 작고 부가적인 입력 전류 제어 없이 고역률이 이루어짐을 알 수 있다. 제안된 고주파 공진 컨버터는 역률이 0.99, 고조파 함유율도 8.5[%]로 전반적으로 양호한 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문은 임계 모드에서 동작하는 역률 개선용 부스트 컨버터 회로와 LLC형 고주파 공진컨버터를 일체화시켜 단일전력단으로 구성된 간단한 구조의 고효율·고역률 LED 구동 회로를 제안하고 기본 동작원리 및 제특성에 관하여 기술하였다. 제안회로는 입력 필터용 커패시터를 2개로 분할하여 전압 분배용으로 같이 사용하여 부스트 컨버터를 임계모드에서 동작시킴으로써 높은 입력역률 및 DC링크전류의 주파수가 스위칭 주파수의 2배로 되어 스위칭으로 인한 전류리플을 줄이기 위한 입력 필터의 크기를 줄일 수 있었고 스위칭 소자를 전원 입력의 반주기동안 교대로 사용함으로써 상시 도통하는 반도체 소자의 숫자를 줄임으로써 도통손실과 소자에 의한 전압 강하를 줄일 수 있었다. 또한, 이론해석의 정당성을 입증하기 위하여 제안회로의 스위칭 소자로 Power MOSFET를 사용해 얻은 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교·검토하여 제안회로의 타당성도 확인하였다.

참고 문헌

- [1] H. Broeck, G. Sauerlander and M. vendt, " Power driver topologies and control schemes for LEDs" in Proc. of IEEE APEC'07, 2007, pp.1319-1325
- [2] Kai Yao, Ming Xu, Xinbo Ruan and Linlin Gu, " Boost Flyback Single Stage PFC Converter with Large DC Bus Voltage Ripple" in Proc. IEEE APEC'09, 15-19 Feb. 2009, pp. 1867-1871.
- [3] D. Gacio, J. M. Alonso, A. J. Calleja, J. Garcia and M. Rico Secades, "A Universal Input Single Stage High Power Factor Power Supply for HB LEDs Based on Integrated Buck Flyback Converter", in Proc. IEEE APEC'09, 15-19 Feb. 2009, 570-576.