

고효율 고역률 단일 전력단 포워드 플라이백 컨버터

최 윤, 강정일*, 오동성**, 한상규
국민대학교 POESLA, 삼성전자*, 삼성전기**

High efficiency and high power factor single-stage forward-flyback converter

Yoon Choi, Jeong-il Kang*, Dong-sung Oh**, Sang-Kyoo Han

Power Electronics System Laboratory, Kookmin Univ., *Samsung Electronics. Co. Ltd, **Samsung Electromechanics.

ABSTRACT

본 논문에서는 고역률 및 고효율 동작이 가능한 단일 전력단 forward-flyback 컨버터를 제안한다. 기존 단일전력단 forward 컨버터의 경우, 입력 전압이 출력 전압보다 낮은 경우 Dead zone 구간이 발생하여 고역률 획득이 어려우며, 자화 인덕터 offset 전류가 크기 때문에 자기소자의 손실로 인한 고효율 동작이 어렵다. 본 논문에서 제안하는 forward-flyback 컨버터는 2차 측에 삽입된 DC 블러킹 캐패시터에 의해 자화 인덕터의 offset 전류를 감소 할 수 있고, 입력 전압에 관계 없이 항상 출력 측으로 에너지를 전달 할 수 있으므로 고효율 및 고역률 획득에 유리하다. 또한 coupled inductor를 사용한 출력 인덕터에 의해 출력 다이오드에는 각 각 동일한 전류가 흐르며, 전압 스트레스를 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 제안된 단일 전력단 forward-flyback 컨버터의 타당성을 검증을 위하여 45W급 LED 전원 공급장치의 시제품 제작을 통한 실험 결과를 제시한다.

1. 서론

현재 조명으로 가장 많이 사용되고 있는 형광등은 환경오염 물질인 수은, 납 등의 중금속 물질로 구성되어 있어 큰 환경문제를 일으키는 반면, LED(Light Emitting Diode)는 중금속과 같은 환경오염 물질을 사용하지 않아 기존 광원에 비해 친환경적이며 긴 수명, 고효율 등의 장점으로 차세대 광원으로 각광받고 있다. 조명용 LED 구동회로는 안전규격 만족을 위해 전기적인 절연이 필수적이며, 일반적인 전원회로와 달리 25W 이하의 낮은 전력 용량의 제품에도 역률 보정 기능과 고조파 규제가 적용되고 에너지 소모를 줄이기 위해 90%이상의 고효율 동작이 요구된다. 하지만 기존의 역률 보정 Flyback 컨버터는 코어 손실 등으로 인하여 적정수준 이상의 효율을 얻기가 힘든 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 기존 Flyback 컨버터에 비해 코어 손실이 저감되어 고효율 동작이 가능한 Forward-Flyback 컨버터를 제안한다.

2. 제안된 Forward-Flyback 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안하는 단일 전력단 Forward-Flyback 컨버터를 보이고 있다. 제안된 회로는 1차 측 구조는 Flyback 컨버터와 동일하며, 2차 측은 DC 블러킹 캐패시터 1개와 2개의 환류 다이오드 및 출력 인덕터로서 1개의 coupled inductor로 구성된다.

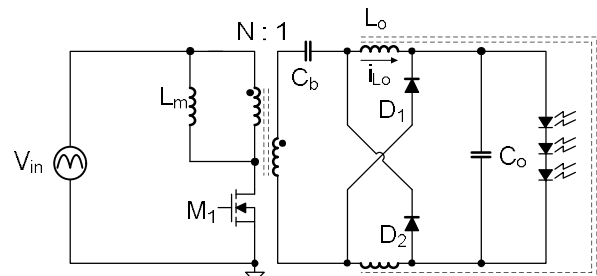
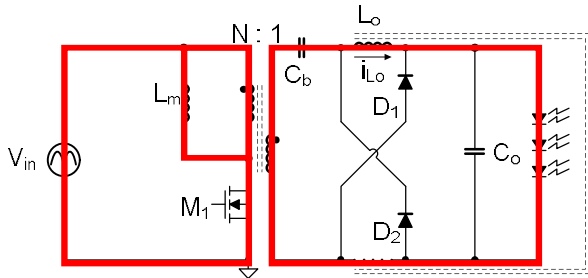


그림 1 제안된 Forward-Flyback 컨버터

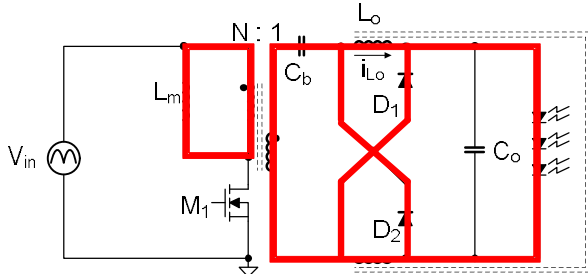
제안된 회로는 스위치 온 시 Forward 컨버터로서 1차 측 에너지와 2차 측 DC 블러킹 캐패시터 C_b 에 충전된 에너지가 함께 출력으로 전달되는 동작을 하며, 스위치 오프 시 Flyback 컨버터로서 자화 인덕터 전류를 출력 측으로 전달한다. 특히, 트랜스포머 2차 측에 삽입된 DC 블러킹 캐패시터 C_b 는 입력전압의 크기에 관계없이 Forward 컨버터 동작을 가능하게 하므로 자화 인덕터의 전류 offset을 최소화 할 수 있어 코어 손실 저감을 통한 고효율 달성이 가능하다. 뿐만 아니라 제안된 회로는 기존 Forward 컨버터와 달리 입력전압 전구간에 걸쳐 Forward 및 Flyback 컨버터 동작에 의한 전력전달이 항상 이루어지므로 고역률 및 고효율 달성이 가능한 장점이 있다.

2.1 제안된 LED 구동회로의 동작원리

그림2는 제안된 LED 구동회로의 스위칭 상태에 따른 전류 도통 경로를 보이고 있다. 스위치 M1이 온 되면 그림2(a)와 같은 도통 경로가 형성되며 Forward 컨버터 모드로 동작되어 출력 측으로 에너지를 전달한다. 특히 기존 Forward 컨버터는 입력전압으로부터 트랜스포머 2차 측에 유기되는 전압 V_{sec} 가 출력전압보다 작은 경우 출력 측으로 에너지 전달이 불가능하였던 반면, 제안 회로의 경우 입력전압의 크기에 반비례하여 증감하는 DC 블러킹 캐패시터 C_b 의 전압이 트랜스포머 2차 측 양단 전압에 더해지므로 입력전압의 크기에 관계없이 항상 에너지 전달이 가능하다. 즉, DC 블러킹 캐패시터의 전하평형 원리에 의해 스위치 오프 시에 C_b 에 충전된 전류와 정확히 동일한 크기로 스위치 온 시에 방전된다. 따라서 Forward 컨버터와 Flyback 컨버터는 부하전류를 동일하게 분담하게 되어 자화 인덕터 전류의 offset을 입력전압의 크기에 무관하게 항상 최소화 할 수 있기 때문에



(a) 모드 1: M1 스위치 온



(b) 모드 2: M1 스위치 오프

그림 2 스위칭 상태에 따른 도통 경로

코어손실을 최소화 할 수 있다. 한편 스위치 M1이 오프 되면 그림 2(b)와 같은 도통 경로가 형성되고 이 구간에서는 자화 인덕터에 저장된 에너지가 출력부하로 전달됨과 동시에 출력 인덕터의 전류는 다이오드 D1과 D2를 통해 환류 한다. 이론적으로 coupled inductor는 결합된 각 각의 인덕터 전류가 동일하게 흐르므로 각 출력 다이오드에는 전류가 정확히 반반씩 나눠 흐르게 되므로 전류 스트레스 측면에서 유리하며, 전압스트레스 역시 두 다이오드가 동일하게 된다.

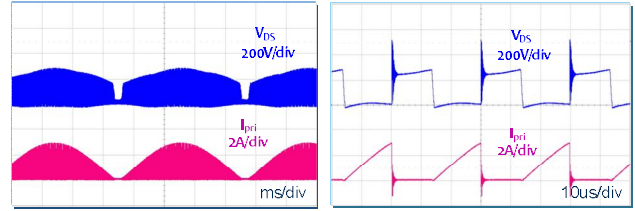
2.2 제안된 LED 구동회로의 실험 결과

45W급 조명용 LED 구동회로의 시제품 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

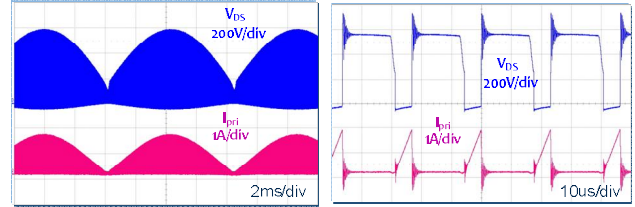
표1 제안 LED 구동회로의 주요 파라미터

ITEMS	VALUES
Input voltage V_{in}	90~300Vrms
V_o/I_o	34V/1.36A
P_{o_max}	46.4W
Control Method	BCM mode
Turn ratio	2:3:1
L_m/L_o	800uH/200uH

실험결과 주요 동작파형을 그림3에 나타내었다. 그림3(a)와 그림3(b)는 각 각 입력전압 90Vrms와 300Vrms 일때 1차 측 전류 및 스위치 양단 전압파형이다. 파형에서 볼 수 있듯이 입력전압 범위에 관계없이 Forward 컨버터 동작이 가능함을 확인 할 수 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 그림4에서 제시한 바와 같이 제안 회로의 최대 효율은 91.3%이고, 최대 입력전압 300Vrms에서도 약 0.96의 고역률 동작을 확인하였다. 따라서 제안회로는 입력전압에 관계 없이 전구간에서 Forward 동작함에 따라 고효율 달성에 용이하며 Dead zone 구간 없이 전 구간에서 에너지를 전달하므로 고역률 달성이 유리함을 실험을 통해 검증하였다.



(a) 1차 측 전류 및 스위치 동작 파형 (V_{in} :90Vrms)



(b) 1차 측 전류 및 스위치 동작 파형 (V_{in} :300Vrms)

그림 3 제안 Forward-flyback 컨버터의 주요 동작파형

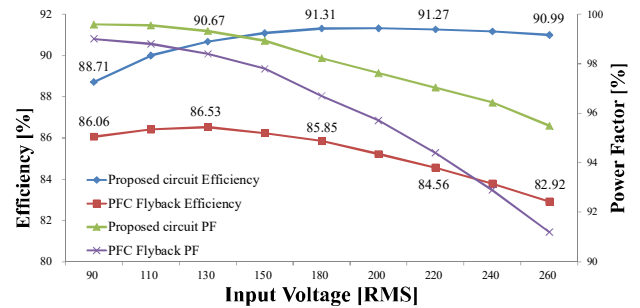


그림 4 입력전압에 따른 제안 회로와 기존회로의 효율 및 역률

3. 결론

본 논문에서는 고효율 및 고역률 단일전력단 Forward-Flyback 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로는 2차 측에 삽입된 DC 블리킹 캐패시터의 전하평형 원리에 의하여 입력전압에 관계없이 항상 Forward 동작 및 Flyback 동작이 이루어 지기 때문에 자화 인덕터 전류의 offset을 최소화 할 수 있으므로 기존 Flyback컨버터에 비해 코어 손실이 저감되므로 고효율 달성에 유리하다. 또한 입력전압의 전 구간에서 에너지를 전달할 수 있으므로 고역률 및 고효율 달성에 유리한 장점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 회로는 LED 구동회로뿐만 아니라 다양한 단일 전력단 전원회로에 적합할 것으로 예상된다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-2007)

참고 문헌

- [1] F. Xiaoyun, L. Xiaojian, and W. Yan, "Research and analysis of the design development and perspective technology for LED lighting products," in Proceeding of CAID&CD, pp. 1330-1334, Nov. 2009.
- [2] Huang-Jen Chiu Yu-Kang Lo, Jun-Ting Chen, Shih-Jen Cheng, Chung-Yi Lin, and Shann-Chyi Mou, "A High-Efficiency Dimmable Driver for Low-Power Lighting Applications", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 2, pp. 735, Feb. 2010