

고효율 LED 구동을 위한 **Balanced Forward-Flyback** 컨버터

황민하, 최윤, 정영진, 오동성*, 한상규
 국민대학교 전자공학과, 삼성전기*

Balanced Forward-Flyback Converter for high efficiency LED drive

Min Ha Hwang, Yoon Choi, Young Jin Jung, Dong Sung Oh*, Sang Kyo Han
 Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ., Samsung Electro-Mechanics Co.*

ABSTRACT

역률개선용 AC/DC Flyback 컨버터의 경우 우수한 역률을 획득할 수 있으나 코어손실이 크고 효율이 낮으며 반면 Forward 컨버터의 경우 코어손실이 작아 높은 효율을 획득할 수 있으나 Dead zone이 존재하여 고역률 획득이 어려운 단점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 Forward 컨버터와 Flyback 컨버터의 장점을 동시에 구현할 수 있는 고효율 및 고역률 Balanced forward flyback 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 스위치 온 시 Forward 컨버터로 동작하며 스위치 오프 시 트랜스포머 자화인덕터 리셋을 위해 Flyback 컨버터로 동작하므로 고역률 및 고효율 획득이 가능하며 Forward 및 Flyback 컨버터가 다루는 에너지량이 전류평형 캐패시터에 의해 항상 절반씩 배분되므로 AC입력전압의 크기에 관계없이 항상 고효율 획득이 가능하다. 제안된 회로의 타당성 검증을 위해 이론적 분석결과와 24W급 LED 조명 회로에 적용한 실험결과를 제시한다.

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 긴 수명, 고효율, 친환경 등의 장점으로 차세대 조명 소자로 각광받고 있다. 조명용 LED 구동회로는 안전규격 만족을 위해서 전기적인 절연이 필수적이고, 25W급의 낮은 전력 용량의 제품에도 역률 보정 기능과 고조파 규제(IEC61000 3 2 Class C)가 적용되며 최근 에너지 소모를 줄이기 위한 방안으로 90% 이상의 고효율 동작을 요구하고 있다. 하지만 기존에 사용되고 있는 소용량 역률개선 Flyback 컨버터^[1]의 경우, 자화 인덕터의 큰 offset 전류로 인한 코어 손실이 전체 시스템 손실요소 중 가장 큰 비중을 차지하므로 고효율 획득이 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 코어의 손실을 저감하기 위하여 Forward 컨버터와 Flyback 컨버터의 결합을 통해 고효율 및 고역률 동작이 가능한 새로운 LED 구동회로를 제안한다.

2. 제안된 Balanced forward-flyback 컨버터

그림 1은 제안된 Balanced forward flyback 컨버터를 이용한 LED 구동회로를 보이고 있다. 제안된 회로는 스위치 온 시 Forward 컨버터로서 D_1 과 L_o 를 통해 출력측으로 에너지 전달을 수행하고 스위치 오프 시 D_2 를 통해 출력 인덕터 전류가 환류하며 이와 동시에 Flyback 컨버터로서 D_2 와 D_3 를 통하여

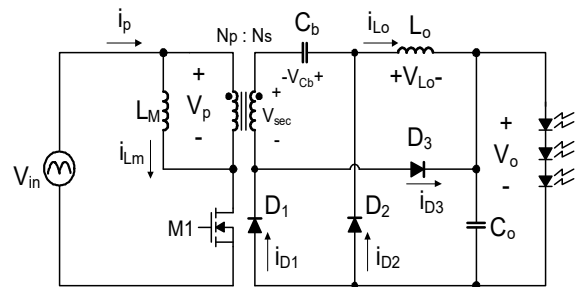
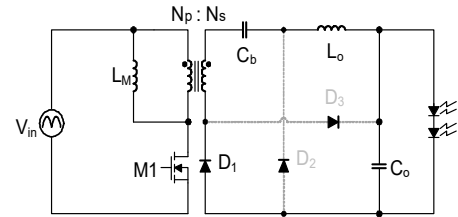
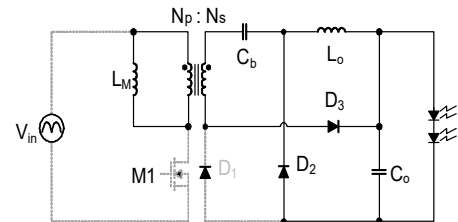


그림 1 제안 Balanced forward-flyback 컨버터를 이용한 LED 구동회로
 Fig. 1 LED driver using proposed balanced forward-flyback Converter



(a) 모드 1: M1 스위치 온



(b) 모드 2: M1 스위치 오프

그림 2 스위치상태에 따른 도통 경로
 Fig. 2 Conductive path according to switch status

자화 인덕터 전류를 출력측으로 전달한다. 특히, 트랜스포머 2차측에 삽입된 DC 블러킹 캐패시터 C_b 는 입력전압 크기에 관계없이 Forward 컨버터의 동작을 가능하게 하므로 자화인덕터의 전류 offset을 최소화 할 수 있어 코어손실 저감을 통한 고효율 달성이 가능하다. 뿐만 아니라 제안된 회로는 기존 Forward 컨버터와 달리 60Hz 입력전압 전구간에 걸쳐 Forward 및 Flyback 컨버터 동작에 의한 전력전달이 항상 이루어지므로 고역률 달성이 가능하다. 한편, 다이오드 D_1 과 D_3 는 항상 출력전압에 클램프 되므로 별도의 RC스너버가 필요하지 않으므로 부가적인 효율 개선효과를 가진다.

2.1 제안된 LED 구동회로의 동작원리

그림 2는 제안된 LED 구동회로의 스위치 상태에 따른 전류 도통경로를 보이고 있다. 스위치 M_1 이 온 되면 그림 2(a)와 같은 도통경로가 형성되며 Forward 컨버터 모드로 동작되어 출력 측으로 에너지를 전달한다. 특히 기존 Forward 컨버터는 입력전압으로부터 트랜스포머 2차측에 유기되는 전압 V_{sec} 가 출력전압보다 작은 경우 출력측으로의 에너지 전달이 불가능하다.^[2] 반면 제안된 회로의 경우 입력전압의 크기에 반비례하여 증감하는 DC 블러킹 캐패시터 C_b 의 전압 V_{cb} 가 V_{sec} 에 더해 지므로 입력전압의 크기에 관계없이 항상 에너지 전달이 가능하다. 바꿔 말해 DC 블러킹 캐패시터 C_b 의 전하평형 원리에 의해 스위치 오프 시 C_b 에 흘렀던 Flyback 컨버터의 동작 전류와 정확히 동일한 크기로 Forward 컨버터 동작 전류가 스위치 온 시 C_b 에 반대로 흐르게 된다. 따라서 Forward 컨버터와 Flyback 컨버터는 부하전류를 동일하게 분담하게 되어 자화 인덕터 전류의 offset을 입력전압의 크기에 무관하게 항상 최소화 할 수 있으며 이로 인해 코어손실을 최소화 할 수 있다. 한편, 스위치 M_1 이 오프 되면 그림 2(b)와 같은 도통경로가 형성되고 이 구간에서는 D_2 및 D_3 가 도통하여 출력 인덕터 전류가 환류하게 되며 동시에 다이오드 트랜스포머의 자화 인덕터 전류를 출력 측으로 전달하게 된다.

2.2 제안된 LED 구동회로의 실험 결과

24W급 조명용 LED 구동회로의 시작품 설계를 위한 입출력 사양과 실험에 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

표 1 제안 LED 구동회로 주요 파라미터
Table 1 Principal parameters for proposed LED driver

Input Voltage	90 V _{rms}	264 V _{rms}
Output Voltage (V_o)	42V	
Output Current (I_o)	570mA	
Trans. Turn ratio	82 : 27	
Magnetizing Inductance	2mH	
Leakage Inductance	25uH	
Ouput Inductor	50uH	

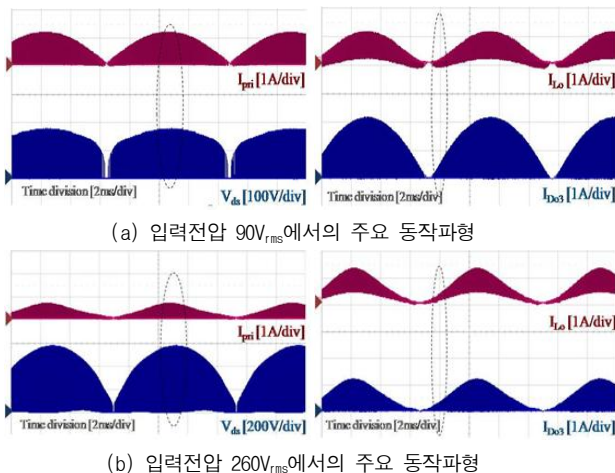


그림 3 제안 Balanced Forward-Flyback 컨버터의 주요 동작 파형
Fig. 3 Experimental waveforms of proposed balanced forward-flyback converter

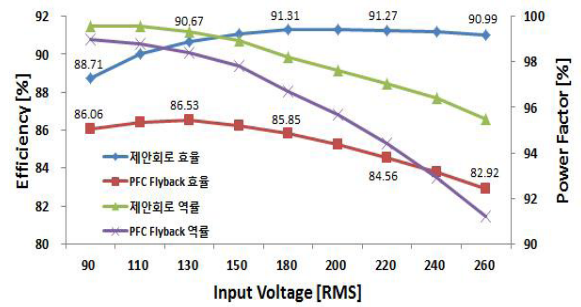


그림 4 제안 Balanced forward-flyback 컨버터의 효율 및 역률
fig. 4 Measured efficiency & powerfactor of proposed balanced forward-flyback Converter

그림 3은 입력전압이 90 및 264V_{rms}일 때 트랜스포머 1차측 전류 I_{pri} , 스위치 양단전압 V_{ds} , 출력 인덕터 전류 I_{Lo} , 다이오드 D_{03} 전류 I_{D03} 를 보이고 있으며 I_{pri} 파형에서 보인바와 같이 입력 전류가 입력전압의 위상을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 한편 출력 인덕터 전류 I_{Lo} 는 2차측에 삽입된 DC 블러킹 캐패시터 C_b 의 전하평형 원리에 의해 항상 연속적으로 흐르는 것을 확인할 수 있으며 이를 통하여 입력전압의 크기에 관계없이 Forward 컨버터 동작이 가능함을 확인 할 수 있다. 그림 4에서는 기존 및 제안회로의 효율 및 역률을 비교제시하고 있다. 제안회로는 기존의 역률개선 Flyback 컨버터에 비해 전반적으로 높은 효율을 보이고 있으며 최대 효율은 91.3%로 약 5% 이상의 효율 개선을 획득하였다. 뿐만 아니라 역률이 가장 낮은 경우인 최대 입력전압 264V_{rms}에서 95.4%의 높은 역률 달성을 통해 제안회로의 우수성을 검증하였다.

3. 결론

기존의 역률 개선 기능을 수행하는 소용량급 Flyback 컨버터는 큰 자화 전류의 offset으로 인한 트랜스포머 코어손실이 전체 효율에 미치는 영향이 매우 높아 90% 이상의 고효율 동작을 기대하기 어려웠다. 반면 본 논문에서 제안한 Balanced forward flyback 컨버터는 트랜스포머의 자화 인덕터 전류의 offset이 줄어들어 코어손실을 최소화 할 수 있으며, Forward 동작 시 트랜스포머의 자화 인덕터 전류를 출력측으로 회생시킴으로써 모든 스위칭 구간에서 전력전달이 가능하므로 효율 및 역률개선에 용이하다. 제안회로의 실험결과 기존대비 약 5% 이상의 효율개선 및 입력전압 전 영역에서 95%이상의 고효율 동작을 확인하였다. 따라서 제안된 회로는 역률 개선 및 고효율 동작에 매우 적합함을 확인하였으며, 유사한 입/출력 사양을 갖는 다양한 응용분야에 적합하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 삼성전기(주)의 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA 2012 H0301 12 2007)

참고 문헌

- [1] 최진봉, 김관우 의 “Flyback Converter를 이용한 절연형 조명용 LED Driver”, 전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집, pp. 167 169
- [2] Huai Wei “Comparison of basic converter topologies for power factor correction” Southeastcon 2008. Proceedings. IEEE, pp. 348 353