

LED 조명을 위한 Single-Stage AC-DC 컨버터의 일차측 전류 제어 기법

김준호, 문건우

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

Abstract

본 논문은 부스트 컨버터가 통합된 형태의 Single-Stage AC-DC 컨버터에서 스위치를 통과하는 전류의 정보를 이용하여 일차측 전류 제어 루프를 구성하기 위한 전류 복원 기법을 제안한다. 밸리-필 회로가 추가된 Single-Stage AC-DC 부스트 컨버터 통합형 플라이백 컨버터로 구성된 6W/250mA 출력의 프로토타입을 제작하여 일차측 전류 제어와 전류 복원 기법을 이용하여 일정 전류 제어가 이루어짐을 확인하였다.

1. 서론

최근 Light Emitting Diode(LED)는 높은 광효율로 조명 기구의 광원으로써 주목 받고 있다. LED가 발생시키는 빛의 세기는 LED를 흐르는 전류의 크기에 비례하므로 일정한 휘도의 빛을 발생시키기 위한 일정 전류 제어가 필요하다. 기존에 주로 사용된 Single Stage AC-DC 플라이백 컨버터는 출력 전류에 120Hz 리플이 발생한다는 문제점을 가지고 있었다 [1]. 따라서 120Hz의 출력 전류 리플을 저감시킬 수 있는 밸리-필 회로가 추가된 부스트 컨버터 통합형 플라이백 컨버터를 제안한다.

LED를 이용한 조명 기구는 안전을 위해 절연형 컨버터를 주로 사용한다. 따라서 출력 전류 측정을 위한 오픈-커플러와 이차측 피드백을 위한 소자들이 필요하다. 그러나 오픈-커플러가 온도 변화에 민감하고 높은 가격을 가지기 때문에 LED 조명 기구에 사용하기에 적절하지 않다 [2]. 따라서 제안하는 회로에서 일차측 전류 제어를 적용하기 위한 전류 복원 기법을 제안한다.

2. 본론

2.1 제안하는 회로의 동작

제안된 밸리-필 회로가 추가된 부스트 컨버터 통합형 플라이백 컨버터는 그림 1과 같다. 제안된 회로의 동작은 그림 2와 같다. 스위치의 동작에 따라 밸리-필 캐패시터 (C_{yf1} , C_{yf2})의 연결이 직렬과 병렬로 변동된다. 스위치가 꺼지면 그림 2. (a)와 같이 직렬로 연결되고, 부스트 인덕터에 저장된 에너지가 밸리-필 캐패시터로 전달된다. 스위치가 켜지면 그림 2. (b)와 같이 병렬로 연결되고, 밸리-필 캐패시터에 저장된 에너지가 변압기로 전달된다. 120Hz 리플은 밸리-필 캐패시터가 입력 받는 전력의 변동이 원인이다. 직렬 연결된 캐패시터에 에너지가 전달될 때 두 캐패시터는 절반씩의 에너지를 저장하게 된다. 따라서 저장된 에너지를 변압기에 전달할 때에 120Hz의 리플은 절반으로 감소된다.

2.2 전류 복원 기법

저가의 시스템에서는 가격 저감을 위해 오픈-커플러와 이차측 피드백 소자들을 사용하지 않고 제어 루프를 구성한다. 이러한 환경에서 출력 전류의 제어를 위해 사용되는 제어 기법이 일차측 전류 제어 기법이다. LED 조명 기구는 가격 저감과 일정 전류 제어가 필요하므로 일차측 전류 제어가 필요하다.

제안하는 회로에서 스위치가 켜져 있는 동안 스위치를 흐르는 전류는 부스트 인덕터에 흐르는 전류(I_{LB})와 변압기에 흐르는 전류(I_{pri})가 더해진 전류이다. 그러므로 저가의 시스템에 주로 사용되는 방식인 센싱 저항을 스위치의 소스에 위치시켜 저항 양단의 전압을 측정하여 결과를 통해 전류를 센싱하는 방식으로는 변압기를 흐르는 전류를 측정하는 것이 불가능하다. 따라서, 이러한 일반적인 스위치 전류의 센싱으로는 일차측 전류 제어의 기반인

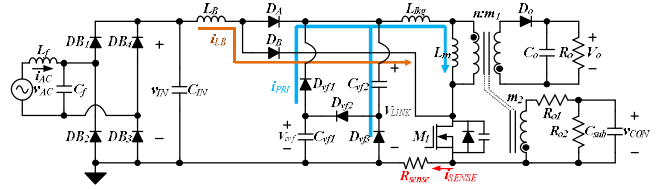


그림. 1. 제안된 회로

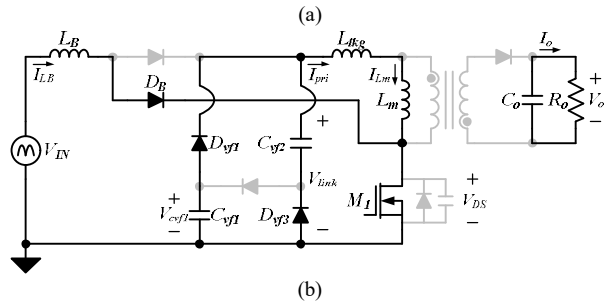
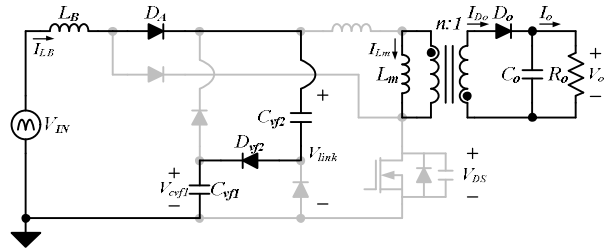


그림. 2. 제안된 회로의 동작 (a) 스위치 꺼짐 (b) 스위치 켜짐

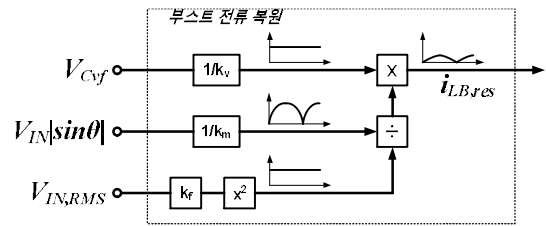


그림. 3. 부스트 전류 복원 기법 블록 다이어그램

출력 전류와 센싱 전류 사이의 (1)과 같은 배수 관계가 성립되지 않는다.

$$i_{sec,peak} = \frac{n}{m_1} i_{pri,peak} \quad (1)$$

n 은 일차측 권선 수, m_1 은 이차측 권선수를 의미한다.

따라서 일차측 전류 제어의 구성을 위해서는 저항을 이용해 구해진 스위치를 흐르는 전류에 대한 정보에서 변압기를 흐르는 전류의 정보만을 복원할 수 있는 제어 기법이 필요하다.

제안하는 복원 기법은 센싱을 통해 구한 전류 정보에서 부스트 인덕터에 인가되는 전압으로부터 복원한 부스트 인덕터 전류를 제거하는 방식이다. 제안된 기법을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이 그림. 3이며, 수식은 다음과 같다.

$$i_{LB,res} = \frac{V_{Cyf}}{V_{IN,RMS}^2} kV_{IN} \sin \theta \quad (2)$$

V_{Cyf} 는 밸리-필 캐패시터의 전압으로 부스트 컨버터의 출력 전압이고, $V_{IN} \sin \theta$ 는 입력 전압, $V_{IN,RMS}$ 는 입력 전압의 RMS 값

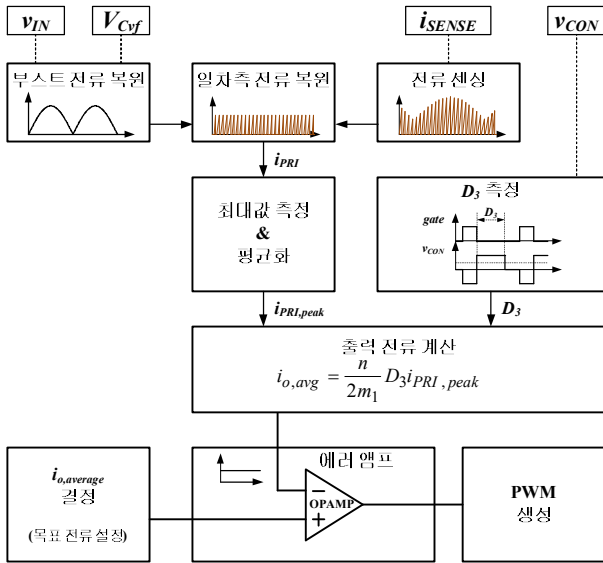


그림. 4. 부스터 전류 복원을 이용한 일차측 전류 제어 루프

표. 1 사용된 소자

Components/Parameters	Value
부스터 인덕터	L_B 1.65mH
변압기	$L_m (L_{lk2})$ 800μH (3μH)
	turns ratio ($n m_1 m_2$) 96:48:30 (16:8:5)
캐패시터	C_{vf1}, C_{vf2} 10μF
	C_o 200μF
다이오드	D_A, D_B UF4006
	$D_{vf1}, D_{vf2}, D_{vf3}, D_o$ UF4004
스위치	M_1 IPA60R385

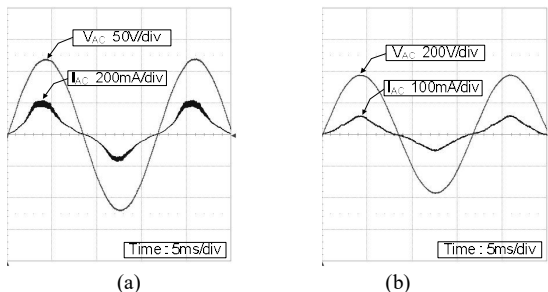


그림. 5. 입력 전압과 전류 파형 (a) 85V_{rms} (b) 265V_{rms}

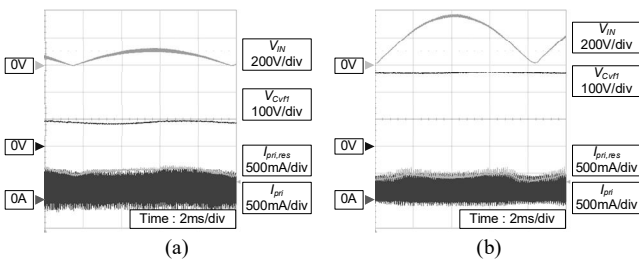


그림. 6. 일차측 전류 복원 (a) 85V_{rms} (b) 265V_{rms}

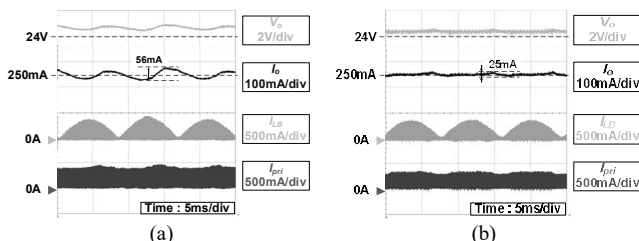


그림. 7. 출력 전압, 출력 전류, 부스터, 변압기 전류 (a) 85V_{rms} (b) 265V_{rms}

으로 입력 에너지를 의미한다. k는 각 변수에 곱해진 상수의 곱(k/k_{vm})을 나타낸다. 이 연산의 결과로 나타나는 $i_{LB, res}$ 는 복원된 부스터 인덕터 전류이다.

2.3 일차측 전류 제어

부스터 전류 정보를 이용하여 (3)의 수식을 통해 변압기를 흐르는 전류 정보를 구할 수 있다.

$$i_{PRI, peak} = i_{SENSE, peak} \frac{V_{cvf}}{V_{IN, avg}^2} kV_{IN} \quad (3)$$

$i_{SENSE, peak}$ 는 스위치에 흐르는 전류의 최대값, $i_{PRI, peak}$ 는 변압기를 흐르는 전류의 최대값을 의미한다. 그림 4는 일차측 전류 제어 루프의 블록 다이어그램이다. V_{COV} 은 3차 권선으로 얻은 전압 정보이고 스위치가 꺼지면, 출력 다이오드(D_o)가 도통되는 동안 (+) 전압이 나타난다. 이로부터 출력 다이오드가 도통되는 시간을 측정할 수 있다. 이렇게 구해진 $i_{PRI, peak}$ 와 D_3 의 값으로부터 (4)를 통해 출력 전류의 평균값을 계산할 수 있다. 따라서 (1)의 수식이 성립되며 일차측 전류의 센싱으로 출력 전류의 예측이 가능하다.

$$i_{o, avg} = \frac{n}{2m_1} i_{pri, peak} \frac{D_3}{f_{sw}} \quad (4)$$

구해진 출력 전류 정보와 목표 전류와의 오차를 이용하여 스위치의 펄스 신호를 생성할 수 있다.

3. 설계 및 실험 결과

입력은 universal line(85V_{rms} ~265V_{rms})의 조건을 가지며, 출력 조건은 24V/250mA이다. 회로에 사용된 소자는 표. 1과 같다. 부스터 전류의 복원을 위해 TMS28027 DSP를 사용하였으며, 각 정보는 내부의 12bit ADC를 이용하여 입력 받았다. 복원된 전류는 SW5901 칩에 전달되어 일차측 전류 제어 루프를 형성하였다.

그림. 5는 입력 전압과 입력 전류의 파형이며, universal line에서 입력 전류의 파형이 전압 파형을 따르고 있음을 확인할 수 있다. 85V_{rms}에서 0.951, 265V_{rms}에서 0.961으로써 전 입력 전압 구간에서 0.9 이상의 역률을 달성하였다.

그림. 6은 일차측 전류를 복원한 그래프이다. 복원된 전류는 $I_{pri, res}$ 이고 I_{pri} 는 전류 프로브를 이용하여 측정된 전류의 파형이다. 결과에서 볼 수 있듯 입력 전압이 변동되었을 때에도 복원된 전류의 파형이 프로브를 이용하여 측정된 값의 최대값을 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

그림. 7은 출력 전압 및 출력 전류, 그리고 부스터 인덕터와 변압기에 흐르는 전류를 측정한 결과이다. 넓은 전압 범위에서 두 전류가 불연속 전도 모드로 동작함을 확인할 수 있다. 밸리-필 회로를 이용해 최대 출력 조건에서 전류 리플이 최대 22.4%로 저감되었으며, 50% 가량의 전류 리플을 보이는 플라이백 컨버터 기반의 시스템에 비해 저감되었음을 확인할 수 있다 [1]-[2].

4. 결론

본 논문에서는 밸리-필 회로가 추가된 부스터 컨버터 통합형 플라이백 회로를 이용한 실험을 통해 universal line(85V_{rms}~265V_{rms}) 동작에서 부스터 전류의 복원 및 변압기를 흐르는 전류의 복원이 가능함을 확인하였다. 6W/250mA 출력의 LED 전구 프로토타입을 제작하여 전류 복원 기법을 이용한 일차측 전류 제어 기법의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012-0000981)

참고 문헌

- [1] Jae-Eul Yeon, Dong-Soo Kim, Kyu-min Cho, Hee-Jun Kim, "A Single Stage Flyback Power Supply Unit for LED lighting Applications," ELECO, 2009, pp. 288-292
- [2] Chun-Ching Lee, Ta-Yung Yang, and Seunguk Yang, "Design Optimization of TRIAC-Dimmable AC-DC Converter in LED Lighting," 27th APEC, 2012, pp. 831 - 835