

# 넓은 출력범위를 갖는 LED 조명을 위한 하프-브릿지 제타 컨버터를 통합한 고효율 비대칭 하프-브릿지 컨버터

백재일<sup>1</sup>, 이재범<sup>1</sup>, 김재국<sup>2</sup>, 문건우<sup>1</sup>  
KAIST<sup>1</sup>, 삼성전기<sup>2</sup>

## ABSTRACT

본 논문은 넓은 출력범위를 갖는 LED 조명을 위한 하프 브릿지 제타 컨버터를 통합한 고효율 비대칭 하프 브릿지 컨버터를 제안한다. 넓은 출력 범위에서 기존의 비대칭 하프 브릿지 컨버터는 낮은 시비율에서 동작하기 때문에 영전압 스위칭이 어려운 출력 범위에서 높은 효율을 획득하기 어렵다. 또한, 하프 브릿지 LLC 컨버터는 넓은 영전압 스위칭 범위를 갖지만 큰 코어 손실로 높은 효율을 획득하는데 한계가 있다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 문제를 해결하기 위해 기존의 비대칭 하프 브릿지 컨버터의 스너버 다이오드를 스위치로 변경한 새로운 하프 브릿지 컨버터를 제안한다. 낮은 출력범위에서는 스너버 스위치를 꺼서 기존의 비대칭 하프 브릿지로 동작시키며, 높은 출력 범위에서는 스너버 스위치를 켜서 하프 브릿지 제타 컨버터로 동작시켜 전 출력 범위에서 고효율을 달성 할 수 있다.

## 1. 서론

최근 Light Emitting Diode(LED)는 높은 광 효율로 인해 조명 기구의 광원으로써 주목 받고 있으며, 다양한 용도로 다양한 출력전력을 필요로 한다. 하지만, 현재는 DC/DC 컨버터를 좁은 출력범위에서 설계하기 때문에 효율은 좋지만, 요구되는 출력조건 마다 개별적인 DC/DC 컨버터가 필요하기 때문에 양산성이 낮아지고, 이는 높은 가격을 초래한다. 따라서, 요구 출력이 다양해짐에 따라 넓은 출력 범위에서 고효율을 갖는 컨버터에 대한 관심이 증가하고 있다.

높은 출력 전력을 요구하는 LED 조명의 경우 PFC(Power Factor Correction) 단과 DC/DC 단으로 구성된 two stage 구조를 사용한다. PFC 단은 역률규제를 만족시키고, DC/DC 단에서는 출력전압을 제어한다.

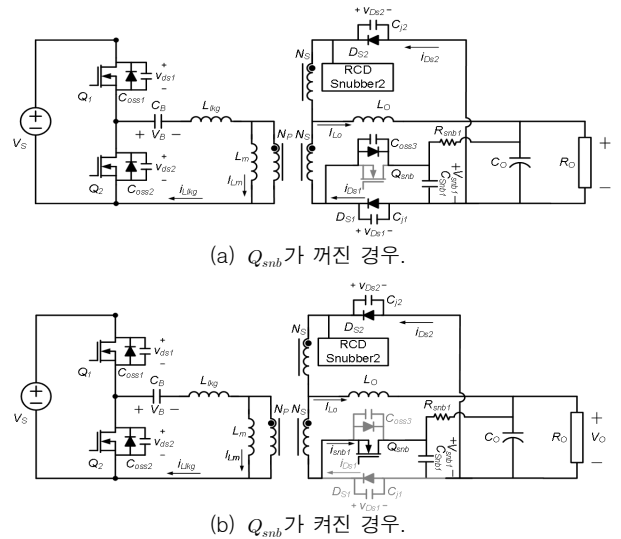
DC/DC 단으로는 소자수가 적고 가격이 저렴한 플라이백 컨버터를 사용가능하지만 하드 스위칭과 변압기의 큰 자속변화( $\Delta B$ )에 의한 코어손실 때문에 넓은 출력범위에서 낮은 효율을 갖는다. 다음으로, 비대칭 하프 브릿지 컨버터의 경우 넓은 출력 범위에서 좁은 영전압 스위칭 범위로 인해 낮은 효율을 갖는다.<sup>[1]</sup> 마지막으로 하프 브릿지 LLC 컨버터의 경우, 전 출력 범위에서 영전압 스위칭이 가능하지만, 출력 범위가 넓은 경우 변압기의 최적설계가 어렵고 큰  $\Delta B$ 에 의한 코어손실로 인해 고효율을 획득하는데 한계가 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존 컨버터들의 큰 스위칭 손실과 코어손실을 동시에 저감시키기 위해 기존의 비대칭 하프 브릿지 컨버터의 스너버 다이오드를 스위치로 변경한 고효율 하프 브릿지 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 넓은 영전압 스위칭 범위와 최적화된 변압기 설계로 인해 넓은 출력범위에서 고효율을 획득 할 수 있다.

## 2. 본론

### 2.1 제안하는 컨버터의 동작 설명 및 주요파형

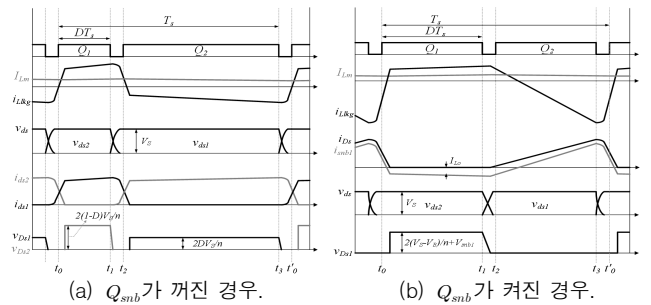
제안된 컨버터는 그림 1과 같다. 제안된 컨버터는 출력전력이 낮고 좁은 범위(90 120W)에서는 그림 1(a)와 같이 스너버 스위치  $Q_{snb}$ 를 꺼서 비대칭 하프 브릿지 컨버터로 동작한다.<sup>[2]</sup> 반면, 출력 전



(a)  $Q_{snb}$ 가 꺼진 경우.

(b)  $Q_{snb}$ 가 켜진 경우.

그림 1. 제안된 컨버터의 회로.



(a)  $Q_{snb}$ 가 꺼진 경우.

(b)  $Q_{snb}$ 가 켜진 경우.

그림 2. 제안된 컨버터의 주요파형.

력이 높고 넓은 범위(120 180W)에서는 그림 1(b)와 같이  $Q_{snb}$ 를 켜서 하프 브릿지 제타 컨버터로 동작한다.<sup>[3]</sup> 제안된 컨버터의 주요 동작 파형은 그림 2와 같으며, 여기서  $V_B, V_{snb1}, I_{Lm}$ , 그리고  $I_{Lo}$ 는 상수로 가정한다.

### 2.1.1 $Q_{snb}$ Off시 동작 설명 [반주기]

**Mode1** $[t_0 - t_1]$ :  $Q_1$ 이 켜지고  $Q_2$ 가 꺼진 상태로  $D_{S1}$ 을 통해 출력으로 전력을 전달한다.

**Mode2** $[t_1 - t_2]$ :  $Q_1$ 이 꺼지면  $I_{Lm}$ 에 걸리는 전압이 0V가 될 때까지  $I_{Lm}$ 과 1차 측으로 투영된 전류의 합에 의해  $C_{oss2}$ 가 방전되며, 그 이후에는  $I_{Lkg}$ 에 저장된 에너지에 의해  $C_{oss2}$ 가 방전 된다.

### 2.1.2 $Q_{snb}$ On시 동작 설명 [반주기]

**Mode1** $[t_0 - t_1]$ :  $Q_1$ 이 켜지고  $Q_2$ 가 꺼진 상태로  $C_{snb1}$ 를 통해 출력으로 전력을 전달한다.

**Mode2** $[t_1 - t_2]$ :  $Q_1$ 과  $Q_2$ 가 꺼진 상태로 2.1.1에서 설명한 Mode2 동작과 같은 방식으로  $C_{oss2}$ 가 방전된다.

**Mode3** $[t_2 - t_3]$ :  $Q_1$ 이 꺼져있고  $Q_2$ 가 켜져 있는 상태로  $i_{Lkg} > 0$  경우에는  $D_{S2}$ 와  $C_{snb1}$ 을 통해 부하로 전력을 전달하고  $i_{Dkg} = 0$  경우에는  $D_{S2}$ 를 통해서만 출력으로 전력을 전달한다. 마지막으로,  $i_{Lkg} < 0$

경우에는  $D_{S2}$ 에 흐르는 전류가  $C_{snb1}$ 를 충전시키고 나머지 전류는 출력으로 전력을 전달한다.

**Mode4** [ $t_3 - t_0$ ]:  $Q_1$ 이 꺼지면  $L_{lkq}$ 에 저장된 충분한 에너지로  $C_{oss1}$ 을 방전한다.

## 2.2 제안하는 컨버터의 분석

### 2.2.1 전압 이득 및 동작변환 전압

비대칭 하프 브릿지 컨버터와 하프 브릿지 제타 컨버터의 전압 이득은 각각 수식(1)과 수식(2)와 같다.

$$\frac{V_o}{V_s}(Q_{snb} \text{ OFF시}) = \frac{2D(1-D)}{n} \times \frac{L_m}{L_m + L_{lkq}}, 0 < D \leq 0.5, \quad (1)$$

$$\frac{V_o}{V_s}(Q_{snb} \text{ ON시}) = \frac{16D^2 L_{lkq}}{8nDL_{lkq} + 2nD(1-D)^2 T_s R_o}, 0 < D \leq 1. \quad (2)$$

하프 브릿지 제타 컨버터의 전압이득이 비대칭 하프 브릿지 컨버터의 전압 이득보다 크기 때문에 높은 전압 이득이 필요한 출력 범위에서  $Q_{snb}$ 를 켜서 하프 브릿지 제타 컨버터로 동작시켜야 한다. 또한, 동작변환 전압은 전 출력 범위에서 높은 효율을 갖기 위해 한쪽 컨버터 동작에서 시비율이 너무 낮지 않도록 설정되어야 한다. 즉 비대칭 하프 브릿지 컨버터로 동작 할 때의 최소 시비율( $D=0.24@30V$ )과 하프 브릿지 제타 컨버터로 동작 할 때의 최소 시비율( $D=0.243@40V$ )이 비슷한 전압에서  $Q_{snb}$ 를 켜야 한다.

### 2.2.2 영 전압 스위칭

영전압 스위칭은 넓은 출력범위를 갖는 컨버터에서 높은 효율을 획득하는데 있어 중요한 요소이다. 제안된 컨버터는 좁은 범위(90 120W)에서는 영전압 스위칭이 가능한 비대칭 하프 브릿지 컨버터로 동작하며, 넓은 범위(120 180W)에서는 하프 브릿지 제타 컨버터의 충분한  $L_{lkq}$  에너지로 전 범위에 걸쳐 영 전압 스위칭이 가능하므로<sup>[3]</sup>, 제안된 컨버터는 스위칭 손실을 저감시킬 수 있다.

### 2.2.3 변압기의 설계 및 코어손실

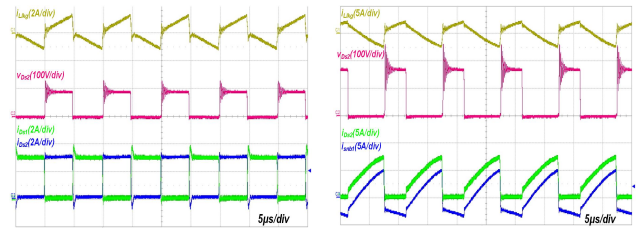
제안된 컨버터의 턴 비는  $Q_{snb}$ 가 꺼졌을 때의 동작에서 결정되고 나머지 변압기 설계 값들은  $Q_{snb}$ 가 켜졌을 때의 동작에 의해 결정된다. 표1은 제안된 컨버터와 하프 브릿지 LLC컨버터(센터 탭 정류단)의 주요 변압기 설계 변수를 타나낸다. 넓은 출력범위에서 LLC컨버터는 큰  $\Delta I_{Lm}$ 을 가지기 때문에 표1과 같이 제안된 컨버터와 동일한  $\Delta B$ 를 얻기 위한 1차측 최소 턴 수가 2배 크다. 즉 air gap이 커 누설효과에 의한 코어 손실이 크다. 반대로 같은 air gap을 갖게 두 컨버터를 설계하면 제안된 컨버터의  $\Delta B$ 가 작기 때문에 코어 손실이 작다. 따라서 LLC컨버터에 비해 제안된 컨버터는 넓은 범위에서 변압기 설계를 최적화 하여 코어 손실을 줄일 수 있다.

표 1 주요 변압기 설계 변수의 비교 (동일  $\Delta B, I_{Lm}, \Delta I_{Lm}$ )

변수	LLC	Proposed
$B_{max}$	$\Delta B/2$	$\Delta B$
$N_{p-min}$	$2/\Delta B$	$1/\Delta B$
Air Gap	크다	작다

### 2.4. 실험결과

제안된 컨버터의 유효성은 400V 입력 전압과 3A 출력 전류, 100kHz 스위칭 주파수, 그리고 90 180W의 출력 범위를 갖는 실험조건에서 검증 한다. 컨버터에 사용된 소자는 표 2와 같다. 그림 4는 제안된 컨버터의 다이오드 전압, 1차 측 전류, 2차 측 전류를 나타내며, 그림 5는 하프 브릿지 LLC 컨버터와 제안된 컨버터의 출력전력에 따른 효율을 나타낸다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 제안된 컨버터의 효율이 전 범위에서 넓은 영전압 스위칭 범위와 작은 코어 손실로 인해 하프 브릿지 LLC 컨버터에 비해 더 높은 것을 확인 할 수 있다.



(a) 120W. (b) 180W.

그림 4. 제안된 회로의 주요 실험파형.

표 2. 실험에 사용 된 소자.

소자	LLC	Proposed
변압기 (PQ 2625)	Np:40T, Ns:6T $L_m:540\mu H, L_{lkq}:177\mu H$	Np:32T, Ns:7T $L_m:822\mu H, L_{lkq}:22\mu H$
$L_O$		152μH
$C_B$	14.2nF	4.4μF
$C_O$	1mF	50μF
$Q_1, Q_2$	IPP60R125C6 (30A/650V)	SiHF15N60E (15A/650V)
$D_{S1}$	B20H100G(20A/100V)	
$D_{S2}$	B20H100G(20A/100V)	CSD10030(300V/10A)
스너버 회로		$C_{snb}: 6.6\mu F/250V$ $Q_{snb}: IPA030N10 (100A/100V)$

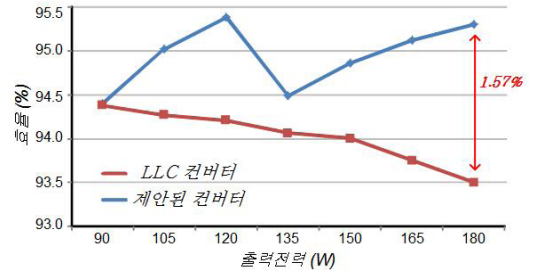


그림 5. 기존 LLC 컨버터와 제안된 컨버터의 측정 효율.

## 3. 결론

본 논문에서는 비대칭 하프 브릿지 컨버터의 스너버 다이오드를 스위치로 변경한 간단한 구조로, 넓은 출력 범위에서 고효율을 갖는 컨버터를 제안하였다. 낮은 출력범위에서는  $Q_{snb}$ 를 꺼서 비대칭 하프 브릿지 컨버터로 동작하며, 높은 출력범위에서는  $Q_{snb}$ 를 켜서 하프 브릿지 제타 컨버터로 동작한다. 제안된 컨버터는 넓은 영전압 스위칭 범위를 가지며, 작은  $\Delta B$ 로 변압기 설계가 가능하므로 코어손실을 저감시켜 전 출력 범위에서 고효율 달성 할 수 있다. 따라서 제안된 컨버터를 넓은 출력 범위를 갖는 LED조명 응용 분야에 적용할 수 있다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2010 0028680)

## 참고 문헌

- [1] Lee, Il Oun, and Gun Woo Moon. "A New Asymmetrical Half Bridge Converter With Zero DC Offset Current in Transformer." Power Electronics, IEEE Transactions on 28.5 (2013): 2297-2306.
- [2] Xu, Xinyu, Ashwin M. Khambadkone, and Ramesh Oruganti. "Analysis and design of an optimized asymmetrical half bridge DC DC converter." Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2003.
- [3] Lee, Jae Bum, et al. "ZVS half bridge zeta converter with center tapped rectifier." Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on. IEEE, 2011.