

# 전압체배 출력을 갖는 능동클램프 하프브리지 전류원 컨버터의 설계

조경식\*, 정진우\*, 정세교\*, 송유진\*\*

\*경상대학교 제어계측공학과, \*\*한국에너지기술연구원

## Design of Active-Clamped Current-Fed Half-Bridge Converter With Voltage Doubler Output

Kyeong-Sig Cho, Jin-Woo Jeong, Se-Kyo Chung, Yu-Jin Song  
Gyeongsang National University, Korea Institute of Energy Research

### ABSTRACT

An active-clamped current-fed half-bridge converter for the high step-up application is proposed in this paper. The proposed converter is composed of active clamping snubber circuits and a voltage doubler rectifier. The operational principle, theoretical analysis, and design considerations are presented. To confirm the operation, features, and validity of the proposed circuit, the experimental result for a 200W, 24V input and 400V output prototype are presented.

### 1. 서론

연료전지와 같은 저전압 신재생 에너지원의 계통연계를 위해서는 높은 승압 비를 갖는 DC-DC Converter가 필요하다. 능동클램프 하프브리지 전류원 컨버터는 높은 승압비를 갖는 컨버터 응용에 적합하다.<sup>[1][2]</sup> 그러나 24~48[V] 입력전압을 400[V]로 승압하기 위해서는 높은 듀티비나 변압기의 권선비가 커야 하므로 효율과 변압기의 동특성이 나빠진다. 따라서 본 논문에서는 전압체배 출력단을 갖는 하프브리지 전류원 컨버터제안 하였다. 제안된 컨버터의 모드별 동작특성 및 파형, 입출력 전압비, 부하에 따른 효율을 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증 하였다.

### 2. 제안된 컨버터

#### 2.1 제안된 컨버터의 구조

능동 클램프 전류원 하프브리지 컨버터는 영전압 스위칭으로 효율이 높고 높은 승압비를 갖는 컨버터에 적합하다. 그러나 높은 승압비를 위해서는 변압기의 턴 비 및 Duty비를 높여 시스템의 효율을 저하 시키는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 그림1 과 같이 기존의 전류원 하프브리지 컨버터에서 전압 체배 출력을 갖는 능동 클램프(ACS)를 제안하였다.

능동 클램프는 영 전압 스위칭(ZVS) 동작을 통해 누설 인덕턴스 전류로 인한 스위치 양단의 전압 서지 없애주며 턴 온 시 스위칭 손실을 줄여준다. 전압체배기 부분은 출력 전압을 2배로 승압시켜 변압기의 턴 비 감소 및 Duty를 줄일 수 있다.

#### 2.2 제안된 컨버터 동작

주 스위치의  $M_1$ 와  $M_2$ 는 서로 대칭적으로 동작하기 때문에 반주기 동안 해석을 한다. 그림 2는 제안된 컨버터의 모드 ( $t_0 \sim t_4$ )별 파형을 보여준다.

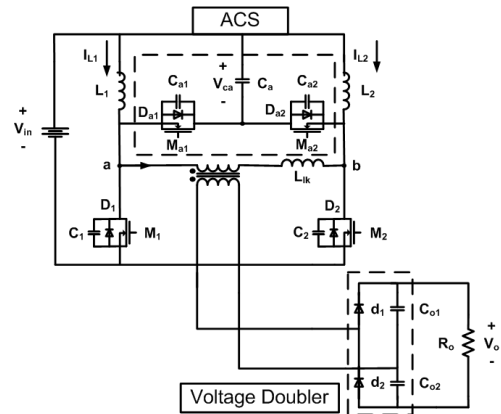


그림 1 제안된 컨버터  
Fig. 1 Proposed Converter

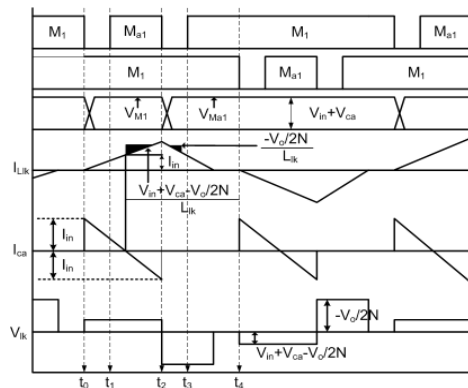


그림 2 이론 파형  
Fig. 2 Theoretical waveform

**mode1**( $t_0 \sim t_1$ ) 주 스위치  $M_1$ -off, 보조 스위치  $M_{ca1}$ -on 되며, 입력 전류  $I_{in}$ 은  $M_{ca1}$ 의 출력 커패시터  $C_{ca1}$ 을 방전, 보조스위치의 내장다이오드를 통전시켜  $M_{ca1}$  양단전압  $V_{Mca1}$ 을 0[V]로 떨어뜨려 ZVS하게 된다.

**mode2**( $t_1 \sim t_2$ ) 클램프 커패시터 전류  $I_{ca}$ 는 계속 감소하

여 방향이 반전되며, 변압기 1차 전류  $I_{Lk}$ 는  $I_{ca}$ 의 감소분만큼 증가하여 입력 전류  $I_{in}$ 보다 커지게 된다.

**mode3**( $t_2 \sim t_3$ ) 변압기 1차 전류  $I_{Lk}$ 는  $M_{a1}$ 의 출력 커패시터를 충전,  $M_1$ 의 출력 커패시터  $C_1$ 을 방전, 주 스위치의 내장 다이오드를 통전시켜  $M_1$ 의 양단전압  $V_{M1}$ 을 0[V]로 떨어뜨려 ZVS하게 된다.

**mode4**( $t_3 \sim t_4$ )  $L_{lk}$  전압은  $-V_0/2N$ 이 인가되며,  $I_{Lk}$ 은  $-V_0/2N \cdot I_{lk}$ 로 선형적으로 0까지 감소한다. 이로 인해 2차 측으로 전달되던 입력 측 에너지가 차단되고,  $M_1$ 와  $M_2$ 는 통전되어 입력 측 에너지가 부스트 인덕터에 저장된다.

### 2.3 입, 출력 전압 변환 비

입, 출력 전압의 변환 비를 구하기 위해서 다음과 같이 정의한다. 부스트 인덕터의 volt-second 평형 조건을 통해 다음 식을 구할 수 있다.

$$V_{ca} = \frac{D}{(1-D)} V_{in} \quad (1)$$

누설 인덕터 전류의 평균값은 변압기 1차 측으로 흐르는 부하 전류를 나타낸다. 누설 인덕터에 흐르는 전류는 불연속 전류모드로 동작하며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\langle i_{Lk} \rangle = \frac{(1-D)^2 T_s}{L_{lk}} \left( \frac{2N(V_{in} + V_{ca})}{V_o} - 1 \right) (V_{in} + V_{ca}) \quad (2)$$

위 식을 통해 입출력 변환 비를 구할 수 있다.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = M = \frac{1}{4N} \left\{ -\beta(1-D) + \sqrt{\beta^2(1-D)^2 + 16N^2\beta} \right\} \quad (3)$$

여기서  $\beta$ 는  $R_{output}/L_{lk} \cdot f_{sw}$ 이며  $D \geq 0.5$ 이다.

### 3. 실험 결과

제안된 컨버터 구현을 위해 TMS320F28335 DSP를 통해 게이트의 입력 신호를 주며, 컨버터의 구성요소를 TABLE 1.에 나타내고 있다.

TABLE 1.

Specifications of the prototype proposed converter

항목	값	항목	값
인덕터 ( $L_1, L_2$ )	200[uH]	스위칭주파수( $f_{sw}$ )	50[KHz]
커패시터( $C_a$ )	10[uF]	입력전압( $V_{in}$ )	24[V]
권선비(N)	1:2.5	출력전압( $V_o$ )	400[V]
누설인덕터( $L_{lk}$ )	9.43[uH]	Power( $P_o$ )	200[W]

그림 3은 부하율이 최대 일 때 입력 전압 및 전류, 출력 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 24V 입력 전압에 400V 전압이 출력 되는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 주스위치와 보조스위치의 게이트 전압과 드레인 전압을 통해 스위치의 드레인 전압이 0V 떨어질 때 스위치의 게이트 전압이 인가되어 ZVS 동작하는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 부하의 변동에 따른 효율을 나타내고 있다. 부하율 20~30% 사이에서 ZVS 동작을 하며, 이후 최대 97%까지 고효율로 동작함을 볼 수 있다.

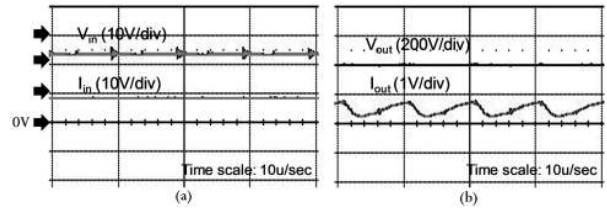


그림 3(a) 입력 전압 및 전류 (b) 출력 전압 및 전류

Fig. 3(a) Input Voltage, Current (b) Output Voltage, Current

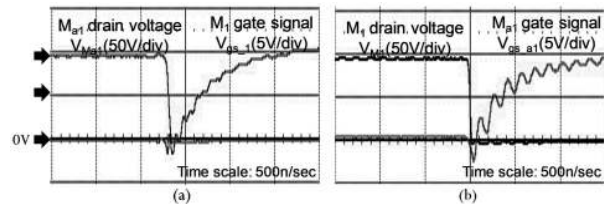


그림 4 (a) 주 스위치의 드레인 전압 및 게이트 전압 (b) 보조스위치의 드레인 전압 및 게이트 전압

Fig 4 (a) Main switch drain voltage, gate voltage (b) Auxiliary switch drain voltage, gate voltage

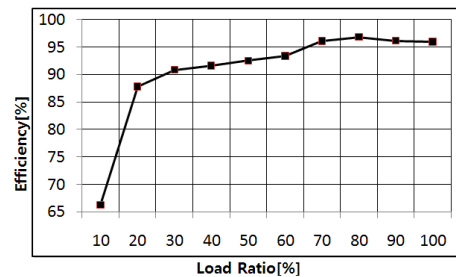


그림 5 제안된 컨버터의 부하율에 따른 효율 Fig. 5 Efficiency of propose converter by road rate

### 4 결론

본 논문에서는 200[W]급 24[V]의 입력 전압을 400[V]로 승압시키기 위해 전압채배 출력을 갖는 능동형 클램프 하프브리지 전류원 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터의 실험결과, 능동 클램프는 ZVS 동작을 통해 스위치 양단의 전압 서지와 스위치 턴 온 시 스위칭 손실을 줄일 수 있으며, Voltage Doubler는 출력전압을 2배로 올려 변압기 권선비와 Duty비를 줄일 수 있다. 부하의 변동에 따른 실험을 통해 최대 97%까지 고효율 특성을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

본 논문은 한국에너지 기술연구원의 지원으로 수행된 연구의 결과입니다

### 참고 문헌

[1] Perter J. Wolfs, "A Current-Sourced DC-DC Converter Derived via the Duality Principle from the Half-Bridge Converter. IEEE Transaction. on Industrial Electronics. VOL. 40. Ferbruary 1933.

[2] Sang-Kyoo Han, "A New Active Clamping Zero-Voltage Switching PWM Current-Fed Half-Bridge converter. IEEE Transaction. on Industrial Electronics. VOL. 20. No. 6. November 2005