

# 간단한 구조의 영전압스위칭 하프브리지 컨버터

유두희, 정강률, 이재민  
순천향대학교 전자정보공학과

## ZVS Half-bridge Converter of Simple Structure

Doo-Hee Yoo, Gang-Youl Jeong, Jae-Min Lee  
SoonChunHyang University, Asan 336-745, Korea

### ABSTRACT

This paper presents a ZVS (Zero Voltage Switching) half-bridge converter of simple structure. The operational principle of the proposed converter is explained, briefly. It is shown through that the experimental results the proposed converter operates excellently as a high efficiency converter. As the proposed converter utilizes the transformer leakage inductor as the resonant inductor, its structure is simplified.

### 1. 서론

안정된 직류(DC) 입력전압을 필요로 하는 전자제품들이 최근 들어 급격히 증가하면서, 스위칭모드 파워서플라이(Switching Mode Power Supply; SMPS)들이 더욱 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 전통적인 SMPS는 전력용 반도체스위치를 하드 스위칭으로 동작시켜서 큰 스위칭 손실이 발생되기 때문에, 컨버터의 전체 회로 효율이 좋지 않은 큰 단점을 가진다. 그런데 이러한 단점은 컨버터를 소프트스위칭 방식으로 동작시키면 상당히 극복될 수 있다<sup>[1-3]</sup>. 본 논문에서는 영전압스위칭 (Zero Voltage Switching; ZVS) 방식으로 동작하는 간단한 구조의 하프브리지 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 고효율로 동작하며 누설인덕터를 공진인덕터로 이용하여 구조가 간략화 된다.

### 2. 회로의 동작 원리와 해석

그림 1은 간단한 구조의 ZVS 하프브리지 컨버터의 회로를 보인다.  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 양 스위치에서 ZVS 동작을 달성하기 위하여 비대칭 펄스폭변조방식으로 동작한다. 시스템 해석을 하기 전에 해석이 쉽도록 하기 위해 제안된 하프브리지 컨버터에 대해 다음과 같은 가정을 한다.

- 1) 스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 이상적이다.
- 2)  $C_b$ ,  $C_o$ 는 충분히 커서  $V_{Cb}$ ,  $V_o$ 는 일정한 값을 갖는다.
- 3)  $L_r$  (변압기의 누설인덕터를 이용하여 구현)은  $L_m$ 에 비해 현저히 작다.
- 4) 변압기의 권선비는  $n_1 = N_{S1}/N_p$ 이고  $n_2 = N_{S2}/N_p$ 이다.

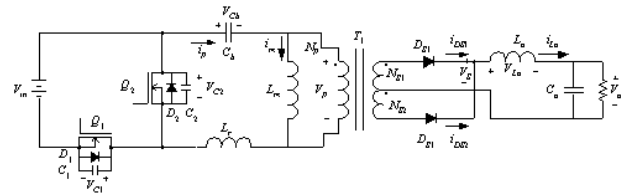


그림 1 제안된 간단한 구조의 ZVS 하프브리지 컨버터 회로  
Fig. 1. The circuit of the proposed ZVS half-bridge converter of simple structure.

제안된 컨버터의 동작은 그림 2와 같이 8개의 모드가 있으며 각각의 모드 설명은 다음과 같다.

**모드 1 ( $t_0 \sim t_1$ ):** 이 모드에서는 변압기 1차측의 스위치  $Q_1$ 과 2차측의 출력다이오드  $D_{S1}$ 이 턴온 되며, 변압기 1차측의  $Q_2$ 와  $D_{S2}$ 는 턴오프 된다. 이 때 스위치  $Q_1$ 의 스위치 전압은 영(0)이며 ( $V_{C1}=0$ ),  $Q_2$ 의 스위치 전압은  $V_{in}$ 이 고 ( $V_{C2}=V_{in}$ ), 변압기 1차권선의 전압  $V_r \approx V_{in} - V_{Cb}$ 이다.

$$i_{DS1} = i_{Lo} = \frac{n_1(V_{in} - V_{Cb}) - V_o}{L_o}(t - t_0) + i_{Lo}(t_0)$$

$$i_m(t) = \frac{V_{in} - V_{Cb}}{L_m}(t - t_0) + I_{m,min} \quad (1)$$

**모드 2 ( $t_1 \sim t_2$ ):** 시간  $t=t_1$ 에서 스위치  $Q_1$ 이 턴오프 된다. 그러면 변압기 1차측 전류는 다음의 식과 같이  $V_{C1}$ 을 영(0)에서부터  $V_{in} - V_{Cb} = (1-D)V_{in}$ 까지 충전시키고  $V_{C2}$ 는  $V_{in}$ 에서  $V_{Cb}$ 까지 방전된다.

$$V_{C1} \approx \frac{i_p(t_1)}{C_r}(t - t_1), \quad V_{C2} \approx V_{in} - \frac{i_p(t_1)}{C_r}(t - t_1)$$

(2)

**모드3 ( $t_2 \sim t_3$ ):** 모드 2의 끝 부분인 시간  $t=t_2$ 에서 변압기 1차측 전압  $V_p=0$ 이 된다. 이 때 공진 인덕턴스  $L_r$ 과 기생 캐패시턴스  $C_r$ 에 의해공진 회로가 형성되고 공진 전류와 공진 전압은 다음과 같이 주어진다.

$$i_p(t) = i_p(t_2) \cos[\omega_r(t - t_2)]$$

$$\approx (I_{m,max} + n_1 I_{Lo,max}) \cos[\omega_r(t - t_2)] \quad (3)$$

$$V_{C1}(t) = V_{in} - V_{Cb} + Z_r(I_{m,max} + n_1 I_{Lo,max}) \sin[\omega_r(t - t_2)]$$

여기서  $\omega_r = 1/\sqrt{L_r C_r}$ ,  $Z_r = \sqrt{L_r/C_r}$ ,  $I_{m,max} = I_m + \Delta I_{mf}/2$ 이고,

$$I_{L_o,max} = I_{L_o} + \Delta i_{L_o} / 2 \text{이다.}$$

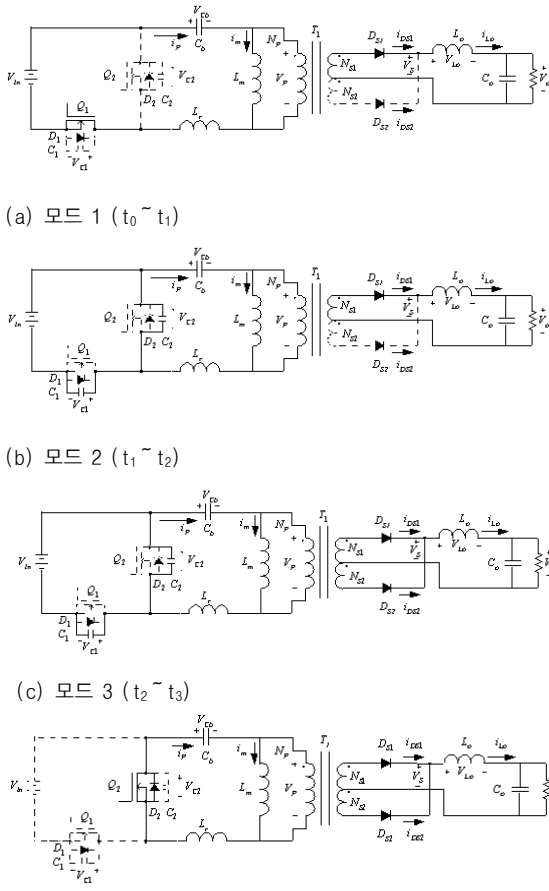


그림 2. 제안된 ZVS 하프브리지 컨버터의 8개의 동작 모드

Fig. 2. The eight operation modes of the proposed ZVS half-bridge converter.

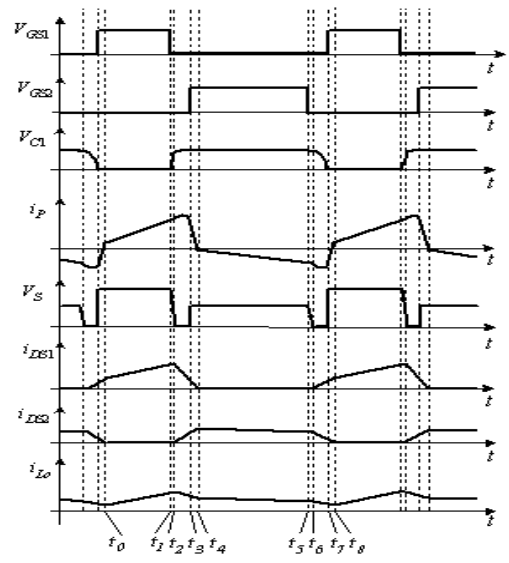
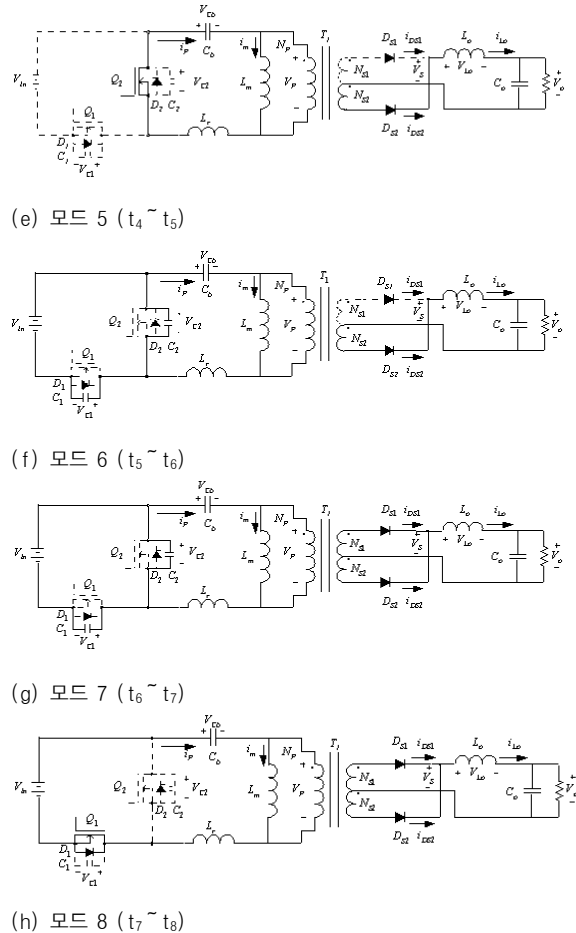


그림 3. 제안된 영전압스위칭 하프브리지 컨버터의 이론적 인 주요 동작 파형

Fig. 3. The theoretical key waveforms of the proposed ZVS half-bridge converter.

**모드4 ( $t_3 \sim t_4$ )** : 시간  $t=t_3$ 에서 역병렬 다이오드  $D_2$ 는 턴온되고 자화 인덕턴스  $L_m$  양단의 전압은 영 (0)이 된다. 이 모드에서 ZVS로 스위치  $Q_2$ 가 턴온 된다. 변압기 1차측 전류  $i_P$ 는 선형적으로 감소한다.

$$i_P(t) = -\frac{V_{Cb}}{L_r}(t-t_3) + i_P(t_3) \quad (3)$$

**모드 5 ( $t_4 \sim t_5$ )** : 이 모드에서는 스위치  $Q_2$ 와  $D_{S2}$ 가 턴온 된다.  $V_{Cb}$ 에 충전되어 있던 에너지가 절연 변압기를 통하여 2차측으로 전달된다.

**모드 6 ( $t_5 \sim t_6$ )** : 이 모드에서는  $Q_1$ 과  $Q_2$ 가 턴오프 된다. 이 모드의 동작은 모드 2와 유사하다. 변압기 1차측 전류는  $C_1$ 을 방전시키고  $C_2$ 는 충전시킨다.

**모드 7 ( $t_6 \sim t_7$ )** : 시간  $t=t_6$ 에서 자화인덕터의 전압은 영 (0)이 된다. 이 때  $L_r$ 과  $C_r$ 에 의해 공진 회로가 형성되고 모드3과 유사한 형태의 공진전류와 전압을 얻을 수 있다.

**모드 8 ( $t_7 \sim t_8$ )** :  $t=t_7$ 에서 캐패시터 전압  $V_{C1}=0$ 이므로  $Q_1$ 의 역병렬 다이오드  $D_1$ 은 턴온 된다. 자화인덕터 전류가 영(0)이므로  $L_r$  양단의 전압은  $V_{in}-V_{Cb}$ 가 된다. 스위치  $Q_1$ 을 ZVS로 턴온 시키면 변압기 1차측 전류  $i_P$ 는 선형적으로 증가한다.

### 3. 실험결과

제안된 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여 다음과 같은 사양으로 프로토타입 컨버터를 설계하고 제작/실험하였다.

- AC 입력전압  $V_{in,rms} = 180 \sim 265$  V
  - 출력 DC 전압  $V_o = 12$  V
  - 최대 출력  $P_{o,max} = 100$  W
  - 스위칭 주파수  $f_s =$  약 130 kHz
  - 최대듀티비  $D_{max} = 0.48$  ( $V_{in,rms}=180$  V이고  $P_o=P_{o,max}$  일 때)
- 그림 4~6은 제안된 컨버터의 특성을 보이는 실험결과 파형들이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 간단한 구조의 영전압스위칭 하프브리치 컨버터가 제안되었다. 제안된 컨버터의 동작원리를 간략하게 설명하였다. 변압기의 누설 인덕터를 컨버터 스위치들의 ZVS 동작을 위한 공진 인덕터로 이용하여 컨버터의 구조를 간략화하였다. 제안된 컨버터가 고효율 컨버터로써 우수하게 동작하고 컨버터로써의 좋은 실효성을 가진다는 것을 실험결과를 통하여 보였다. 제안된 컨버터는 정격 AC 입력전압에서 효율이 91%였고 출력 리플전압은 0.1V였다.

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] M. M. Jovanović, R. Farrington, and F. C. Lee, "Comparison of half-bridge off-line, ZCS-QRC and ZVS-MRC", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 26, no. 1, pp. 326-336, 1990.
- [2] M. M. Jovanović, W. A. Tabisz, and F. C. Lee, "High-frequency Off-line Power Conversion using Zero-voltage-switching Quasi-resonant and Multi resonant Techniques", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 4, no. 4, pp. 459-469, 1989.
- [3] B. R. Lin, H. K. Chiang, C. H. Tseng, and K. C. Chen, "Analysis and Implementation of an Asymmetrical Half-bridge Converter", in Proc. IEEE PEDS 2005, pp. 407-412.

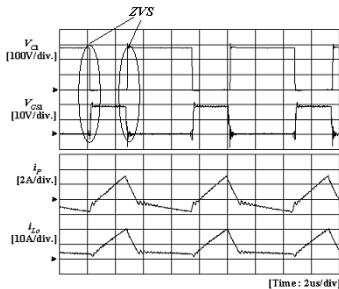


그림 4 입력전압  $V_{in,rms}=220$  V일 때의 스위치  $Q_1$ 의 드레인-소스 전압과 게이트-소스 전압, 그리고 변압기 1차측 전류와 출력 인덕터 전류의 실험 파형

Fig. 4. Experimental waveforms of the drain-source voltage and

gate-source voltage of the switch  $Q_1$  and transformer primary current and output inductor current at  $V_{in,rms}=220$  V.

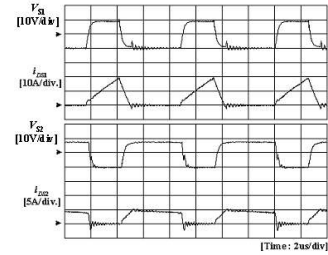
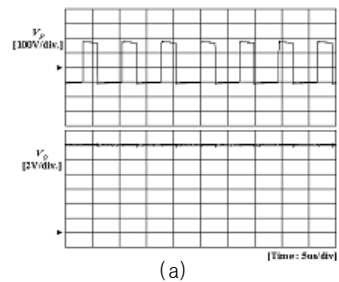
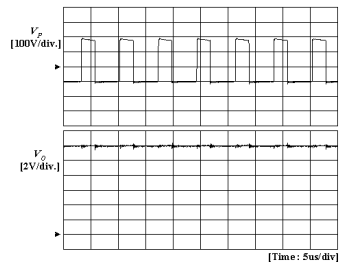


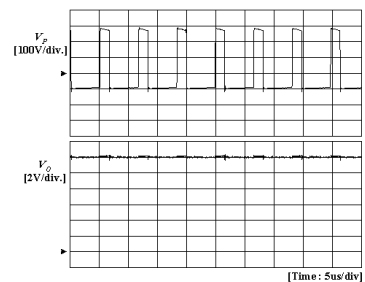
그림 5. 출력측 다이오드 전압 ( $V_{ds1,2}$ )과 전류 파형 ( $I_{ds1,2}$ )  
Fig. 5 Experimental waveforms of the output side diode voltage ( $V_{ds1,2}$ ) and current ( $I_{ds1,2}$ ).



(a)



(b)



(c)

그림 5 각 입력 전압에 따른 변압기 1차측 전압과 2차측 출력전압 :  
(a)  $V_{in,rms}=180$  V, (b)  $V_{in,rms}=220$  V, (c)  $V_{in,rms}=265$  V

Fig. 5. Experimental waveforms of the primary currents and secondary output voltages with the maximum output load at each input voltage:(a)  $V_{in,rms}=180$  V, (b)  $V_{in,rms}=220$  V, (c)  $V_{in,rms}=265$  V.