

두 개의 변압기를 이용한 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터

유두희, 박종문, 정강률
순천향대학교 전자정보공학과

Soft-switching Half-bridge DC-DC Converter Using the Two Transformers

Doo-Hee Yoo, Jong-Moon Park, Gang-Youl Jeong
SoonChunHyang University, Asan 336-745, Korea

ABSTRACT

본 논문은 소프트스위칭으로 동작하는 두 개의 변압기를 갖는 하프브리지 DC-DC 컨버터에 관한 것으로서, 종래의 중·대용량에 적용된 스위칭모드파워서플라이들의 단점을 개선하고, 특히 제안된 컨버터는 소프트스위칭 방식으로 동작함으로써 주 스위치의 전압/전류로 인한 스트레스를 최소화하여 시스템 전체 효율을 증가시킨다.

제안된 컨버터는 200W(25V/8A)의 프로토타입으로 제작/설계하였고 실험을 통해 컨버터의 성능을 증명한다.

1. 서 론

최근 들어, 산업전반에 사용되는 전기기기들의 용량이 증가하면서 전원을 공급하는 스위칭모드파워서플라이(Switching Mode Power Supply; SMPS)의 소형화와 높은 효율이 요구되고 있다. 이에 따라 많은 전력토폴로지들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 능동클램프 컨버터는 구조가 간단하지만 주 스위치의 영전압스위칭(Zero Voltage Switching; ZVS)동작이 힘든 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 자화전류를 늘려 ZVS 범위를 넓힐 수 있지만 그에 따른 스위치 도통손실이 커지는 단점이 있다. 또한 푸쉬-풀 컨버터는 제어와 설계가 용이하지만 입력전압의 두 배의 크기의 스위치 내압으로 스위치의 전압스트레스가 증가하여 대부분 낮은 입력전압에서만 사용된다. 또한 포워드-플라이백 컨버터는 출력전류의 리플을 줄일 수 있지만 여전히 출력인덕터를 사용해야하는 단점이 있으며, 풀브리지 컨버터는 변압기의 이용률이 높지만 스위칭소자 수가 많고 회로가 복잡하다는 단점이 있다^[1].

본 논문에서는 두 개의 변압기를 갖는 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 ZVS와 영전류스위칭(Zero Current Switching; ZCS)으로 동작하는 소프트(Soft) 스위칭 방식으로 스위칭 손실을 최소화하여 전체 효율을 증가시킨다. 최대출력용량 200W(25V/8A)의 프로토타입 컨버터를 설계/제작하였고 실험을 통해 컨버터의 성능을 증명하였다.

2. 제안된 컨버터의 동작원리와 해석

그림 1은 제안된 두 개의 변압기를 이용한 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터의 회로도이다. 전력반도

체스위치 Q_1 , Q_2 는 ZVS동작을 달성하기 위해 펄스폭 변조방식(Pulse Width Modulation; PWM)으로 동작한다. C_1 과 C_2 는 Q_1 , Q_2 의 기생캐패시터이며, D_1 과 D_2 는 Q_1 , Q_2 의 바디다이오드이다. L_{m1} , L_{m2} 는 각 변압기의 자화인덕터이며 L_r 은 공진인덕턴스로서 본 회로에서는 변압기의 누설인덕턴스를 이용하여 구조를 간략화한다. C_b 는 블로킹 커패시터이며 변압기 2차측의 정류다이오드 D_{o1} 과 D_{o2} , 평활커패시터 C_o 로 구성된다.

제안된 컨버터 해석에 앞서 회로의 해석을 용이하게 하기 위해 다음과 같은 가정을 한다.

- 1) 제안된 컨버터는 정상상태 동작을 하고 있다.
- 2) 스위칭 소자들은 이상적이다.
- 3) C_b , C_o 의 크기가 충분히 커서 각각의 전압 V_b 와 V_o 는 일정한 값을 갖는다.
- 4) C_1 , C_2 의 완전한 충/방전을 위해 L_r 에 충분한 에너지가 저장되어야 한다.
- 5) $N_1=N_{s1}/N_{p1}$, $N_2=N_{s2}/N_{p2}$ 이다. ($N_1=N_2$)

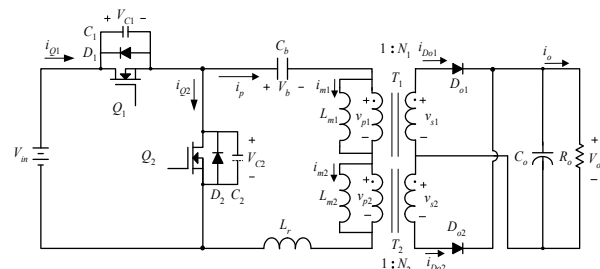


그림 1. 제안된 두 개의 변압기를 이용한 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터 회로도

Fig. 1 The circuit of the proposed soft-switching half-bridge DC-DC converter using the two transformers.

제안된 컨버터는 스위칭 반주기 동안에는 공진을 위한 공진 인덕터로 사용되고 나머지 스위칭 반주기 동안에는 에너지 전달을 위한 변압기로 사용되는 두 개의 변압기를 직렬로 연결하여 2차측 출력 인덕터가 필요 없는 구조를 보인다.

전압-시간 균형 법칙에 따라 커패시터 C_b 의 양단 전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_b = DV_{in} \quad (1)$$

여기서, D 는 스위치의 통류율이다.

그림 2는 제안된 두 개의 변압기를 갖는 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터의 주요 동작 파형을 나타낸다.

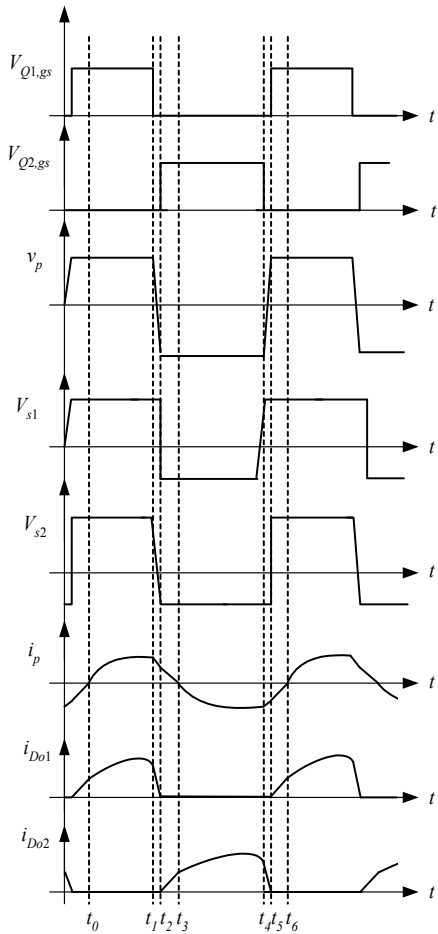


그림 2. 제안된 두 개의 변압기를 갖는 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터의 이론적인 주요파형
 Fig 2. The theoretical key waveforms of the proposed soft-switching half-bridge DC-DC converter using the two transformers

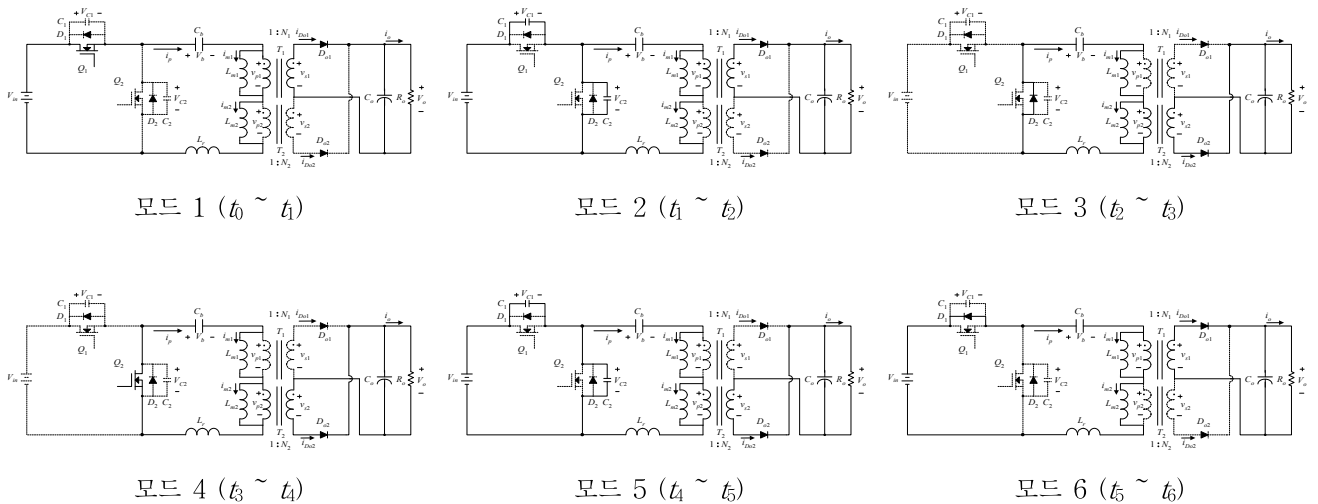


그림 3. 제안된 컨버터의 6개의 동작모드
 Fig 3. Six operating mode of the proposed converter.

제안된 컨버터의 동작은 그림 3과 같이 6개의 모드가 있으며 각각의 모드 설명은 다음과 같다.

모드 1 ($t_0 \sim t_1$): t_0 에서 스위치 Q_1 이 1차측 전류 i_p 의 방향이 바뀌기 전에 턴온되어 ZVS 동작을 만족한다. 2차측 D_{o1} 은 턴온 상태를 유지하며, 변압기 T_1 은 1차측 에너지를 2차측으로 유도시키며 T_2 의 L_{m2} 는 인덕터와 같은 역할을 한다. 1차측 전류는 순방향으로 흐르며 다음과 같다.

$$i_p(t) = i_p(t) \cos \omega_r(t - t_0) + \frac{V_{in} - V_b(t_0) - NV_o}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (2)$$

여기서 $\omega_r = 2\pi f_r$ 이다.

모드 2 ($t_1 \sim t_2$): t_1 에서 Q_1 이 턴오프된다. 이구간은 데드타임 구간이다. 2차측 정류다이오드 D_{o1} 은 여전히 도통된 상태이다. i_p 를 통해 Q_1 의 기생커패시터 C_1 은 충전되며, Q_2 의 기생커패시터 C_2 는 방전이 된다. Q_2 의 스위칭 전압이 DV_{ds} 까지 감소한다. 2차측 V_{s2} 의 전압은 극성이 바뀌어 $-V_o$ 로 인가된다. 자화인덕턴스와 공진커패시터, 공진인덕턴스로 구성된 공진회로에 의해 공진한다. i_{Do1} 이 0으로 감소하면 모드가 종료된다.

$$V_{C1} \approx \frac{i_p(t_1)}{C_r}(t - t_1), \quad V_{C2} \approx V_{in} - \frac{i_p(t_1)}{C_r}(t - t_1) \quad (3)$$

모드 3 ($t_2 \sim t_3$): t_2 에서 T_2 의 에너지가 2차측으로 전달되고 변압기 턴비에 의한 출력전압 보다 커져 D_{o2} 가 턴온된다. 이 때 변압기 1차측 전류 i_p 는 다음과 같이 선형적으로 감소한다.

$$i_p(t) = -\frac{V_b - NV_o}{L_{m2}}(t - t_2) + i_p(t_2) \quad (3)$$

자화인덕턴스 L_{m1} 과 공진인덕턴스, 공진커패시터가 공진된다. 나머지 **모드 4~모드 6**의 동작은 **모드 1~모드 3**의 동작원리와 유사하다.

3. 실험 결과

표 1과 같은 사양으로 프로토타입 컨버터를 설계하고 제작/실험하였다. 표 2는 설계회로 파라미터를 보인다. 그림 4는 Q_1 , Q_2 의 게이트-소스, 드레인-소스 전압과 스위칭 전류로 흐르는 전류를 보인다. 이 그림을 통해 스위치가 ZVS 동작을 만족함을 알 수 있다. 그림 5는 컨버터의 주요 부분의 실험파형을 보인다.

표 1 제안된 컨버터의 프로토타입 설계사양

Table 1. The prototype design specification of the proposed converter

항목	값
입력전압 V_{in}	380V _{DC}
출력전압 V_o	25V
최대출력전력 $P_{o,max}$	200W
스위칭 주파수 f_s	100kHz
공진 주파수 f_r	150kHz

표 2 제안된 컨버터의 설계회로 파라미터

Table 2. The selected circuit parameters of the proposed converter

항목	값
N_1, N_2	0.35
L_{m1}, L_{m2}	500uH
$L_r(L_{r1}+L_{r2})$	100uH
C_b	40nF
Deadtime	300ns

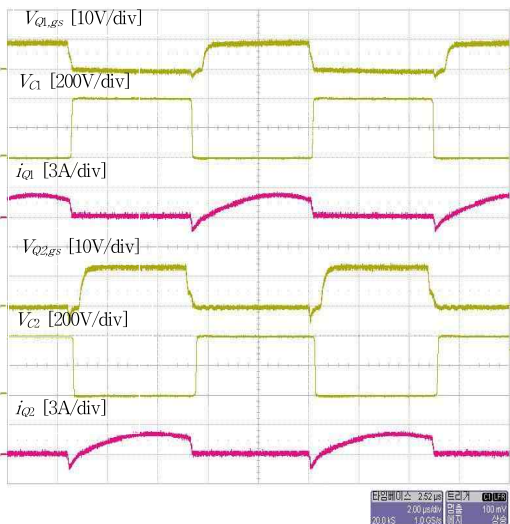


그림 4. 스위치 Q_1 , Q_2 의 게이트-소스, 드레인-소스 전압과 스위칭 전류 실험파형 (2us/div)

Fig. 4 The experimental waveforms of the gate-source, drain-source voltage and switching current of the Q_1 , Q_2 .(2us/div)

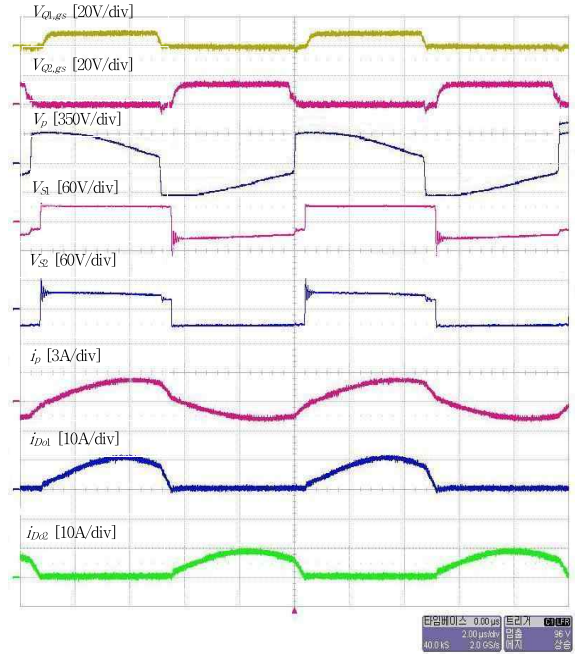


그림 5. 제안된 컨버터의 주요 부분의 실험파형 (2us/div)

Fig 5. The experimental waveforms of the key parts of the implemented converter.(2us/div)

4. 결 론

본 논문에서는 두 개의 변압기를 이용한 소프트스위칭 방식의 하프브리지 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 스위칭 주기에 따라 1차측 에너지를 2차측으로 전달시키는 변압기의 역할과 누설 인덕턴스와 같은 인덕터 역할을 하는 두 개의 변압기를 직렬로 연결하여 2차측 출력인덕터가 필요 없는 구조를 보이며, 소프트스위칭으로 주 스위칭의 전압/전류 스트레스를 최소화하여 전체효율을 증가시킨다. 또한 본 논문에서 제안한 200W(25V/8A)의 프로토타입 컨버터를 설계, 제작하였고 이론적 파형과 일치함을 보여 시스템의 성능을 증명하였다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] Miftakhutdinov, R. Nemchinov, A. Meleshin, V. Fraidlin, S., "Modified asymmetrical ZVS half-bridge DC-DC converter", Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 1, pp. 567-574, 1999, Mar.
- [2] Bor-Ren Lin, Huann-Keng Chiang, Chien-Chih Chen, "Analysis and Implementation of a ZVS-PWM Converter With Series-Connected Transformers", Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on, Vol. 54, No. 10, pp. 917-921, 2007, Oct.