

Half-bridge 방식의 고효율 DC/DC 컨버터

송성근*, 박성준**, 허민호***
전자부품연구원*, 전남대학교**, 준성이엔알***

High Efficiency DC/DC Converter using Half-bridge

Sung-Geun Song*, Sung-Jun Park**, Min-Ho Heo***
KETI*, Chonnam National Univ.**, Junsung E&R***

Abstract - 최근 산업기기의 발달과 신재생에너지원 사용 증가로 인하여 대전력용 직류전원 변환장치의 관심이 고조되고 있다. 이에 본 논문에서는 입출력 절연을 통하여 안전성 향상 및 고승압이 가능하며, 효율이 우수한 Half-Bridge 절연형 DC/DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 출력단에 콘덴서를 이용한 배압 회로를 사용하여 고승압을 실현 하였으며, Soft Switching 방식을 적용하여 고효율화가 가능함을 검증 하였다.

1. 서 론

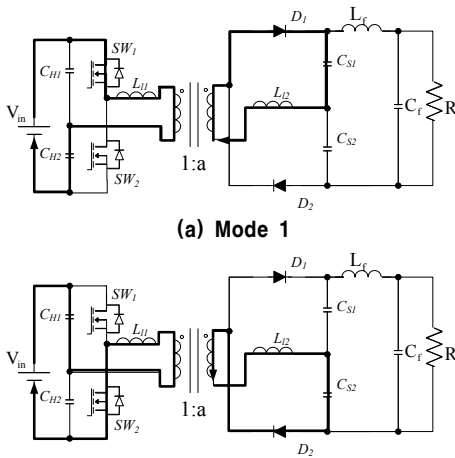
산업의 발달과 신재생에너지 보급 확대에 인하여 대용량 직류전원 시스템은 소형, 경량화의 관점에서 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 그 적용범위로는 방송통신기기, OA 기기, 산업전자용용기기, 정밀 컴퓨터, 오존발생기 등의 전원장치, 저전압, 대전류 변환, 고전압 변환 등이 있다.

직류전원 시스템 기술의 고집적화 및 고효율화를 위해서는 고주파 공진 특성을 도입하는데, 이 경우에 소프트 스위칭이 가능하고, 스위치의 영전압 혹은 영전류에서 스위칭 함으로서 스위칭 손실과 스위칭 스펙트럼을 크게 줄일 수 있어서 고주파화가 가능하다. 스위칭 손실을 줄이기 위해 ZVS, ZCS 및 E 급 스위칭 등의 스위칭 기법을 적극 도입하여 회로 전체의 손실을 경감시키고 공진특성을 이용하므로 L-C와 같은 수동소자의 용량 축소 및 사이즈 감소로 컨버터의 소형, 경량화가 가능하다.

이에 본 논문에서는 Push-Pull방식에 비해 대용량 전력변환기 가능하며 Full-Bridge에 비해 소자수 및 손실이 작은 Half-bridge 방식을 이용한 Soft Switching 방식의 DC/DC 컨버터를 제안하고자 하며 제안된 방식은 고승압을 위해 출력단에 다이오드와 커패시터를 이용한 배압회로를 사용하였다. 또한 고주파 변압기에 존재하는 누설리액턴스 값을 이용하여 공진을 함으로 별도의 리액터가 부가되지 않으므로 고전력밀도화에 적합한 회로라 할 수 있다. 제안된 회로는 시뮬레이션을 통하여 소프트 스위칭이 가능함을 확인 하여, 그 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안한 절연형 DC/DC 컨버터 해석

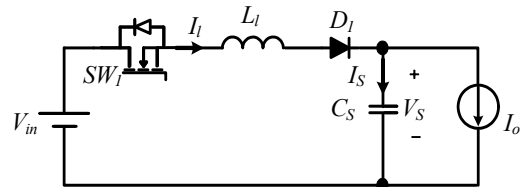


(a) Mode 1
(b) Mode 2
〈그림 1〉 제안한 DC/DC 컨버터 회로도

그림 1은 본 논문에서 제안하는 절연형 Half-bridge DC/DC 컨버터의 회로도이며 Model은 SW₁이 도통한 경우 변압기 1차측에 전류가 흐르는 모

드로 C_{M1}은 충전이 되고, 변압기 2차 측에선 브리지 다이오드 D₁을 통하여 공진 커패시터 C_{S1}을 충전시키고 변압기 누설리액턴스 L₁과 공진을 하게 된다.

Mode 2는 SW₂이 도통한 경우 변압기 1차측에 전류가 흐르는 모드로 C_{M2}은 충전이 되고, 변압기 2차 측에선 브리지 다이오드 D₂을 통하여 공진 커패시터 C_{S2}을 충전시키고 변압기 누설리액턴스 L₂과 공진을 하게 된다. 이때 변압기 누설리액턴스 L₂은 1차측으로 환원한 변압기 전체 누설리액턴스 이다.



〈그림 2〉 컨버터 직렬공진 등가 회로도

그림 2는 Mode1에서 누설리액터와 공진 커패시터를 모두 변압기 1차측으로 환원한 등가회로이며, 그 값은 아래와 같다.

$$C_s = a^2 C_{S1} \tag{1}$$

$$V_s = \frac{V_{S1}}{a} \tag{2}$$

위 식 (1), (2)의 등가화된 값을 이용하여 등가회로의 전압, 전류 관계식은 다음과 같이 2차 미분방정식으로 표현된다.

$$\frac{d^2 I_L}{dt^2} + \omega_n^2 I_L - \omega_n^2 I_o = 0 \tag{3}$$

단, $\omega_n = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_s}}$ (Angular Resonance Frequency)

식 (3)에서 알 수 있듯이 공진 주파수는 인덕터와 콘덴서에 의해 결정되며, 콘덴서는 부하전류를 담당할 수 있는 용량으로 결정되어야 한다. 위의 방정식 해는 다음과 같다.

$$I_L(t) = I_o + I_o \cos(\omega_n t) + \frac{V_{in} - V_{S0}}{Z_n} \sin(\omega_n t) \tag{4}$$

$$V_s(t) = V_{in} - (V_{in} - V_{S0}) \cos(\omega_n t) - Z_n I_o \sin(\omega_n t) \tag{5}$$

단, $Z_n = \sqrt{\frac{L_1}{C_s}}$ (Characteristic Impedance)

위 식들을 이용하여 계산되는 공진주파수는 다음과 같다.

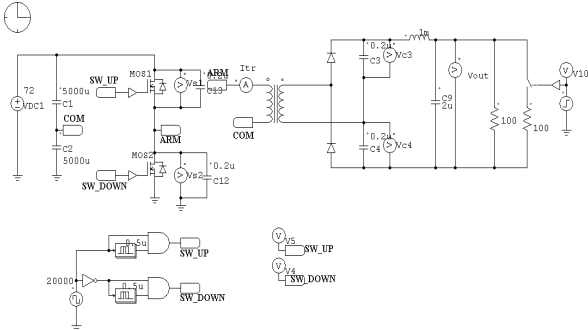
$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_s}} \tag{6}$$

Mode 1은 공진주기의 절반이 되는 시간에서 끝나므로 만일 공진 주파수가 스위칭 주파수보다 크다면 인덕터에 흐르는 전류는 불연속이 되며, 이 조건을 만족하는 인덕터 값은 아래와 같다.

$$L_1 \leq \frac{1}{(2\pi)^2 C_s (f_0)^2} \tag{7}$$

공진용 인덕턴스 값이 식 (7)을 만족한다면, 인덕터에 흐르는 전류는 불연속이 되며, 스위치 SW_1 이 On되는 순간 인덕터의 전류는 0에서 시작되어 ZCS동작이 되고, SW_1 스위치가 Off 되기 전 공진모드가 끝나 스위치에 흐르는 전류는 0이 되므로 스위치 SW_1 는 모든 동작에서 Soft Switching이 가능하여 스위칭 과도손은 없게 된다.

2.2 시뮬레이션 결과

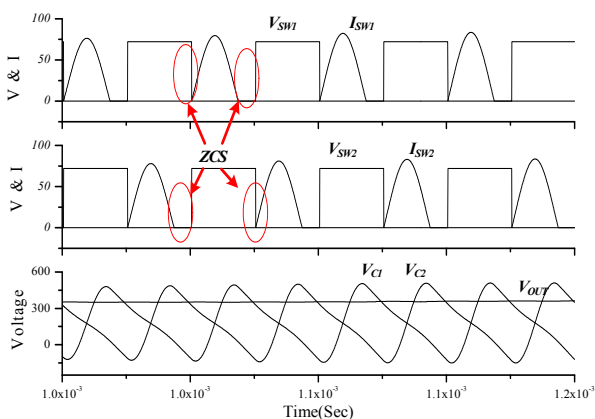


〈그림 3〉 제안된 Half-bridge DC/DC 컨버터 시뮬레이션

그림 3는 PSIM을 이용하여 제안한 Half-bridge 더블러 방식의 절연형 DC/DC컨버터를 구현한 것으로 더블러 이후 출력전압의 안정화를 위해 1[mH]와 2[uF]의 출력단 L-C 필터를 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯 출력단의 필터 사이즈 역시 매우 작다는 것을 확인할 수 있으며 이는 근래 중요시되고 있는 고집적화 및 저가화를 구현하는데 중요한 요소로 작용한다. 본 실험에서 사용한 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다.

〈표 1〉 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
입력전압 [V_{in}]	72 V
변압기 권선비 [N]	1 : 5
누설리액턴스 [L_s]	5 uH
공진커패시터 [C_S]	0.2 uF
스위칭 주파수 [fc]	20 kHz
부하저항 [Ω]	100 Ω , 200 Ω 가변
출력단 L-C 필터	1mH, 2uF

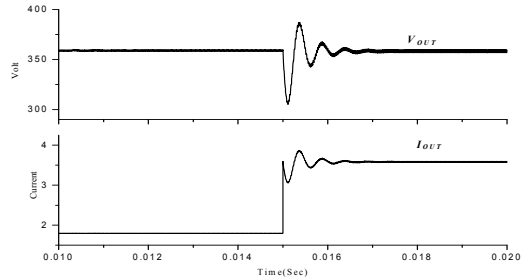


〈그림 4〉 Half-bridge 방식 컨버터의 시뮬레이션 결과

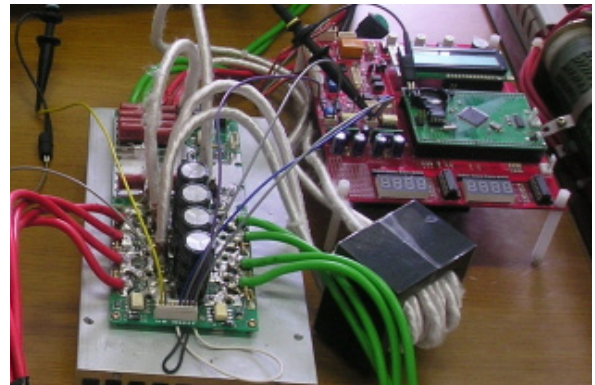
그림 4는 제안된 Half-bridge 절연형 DC/DC 컨버터 방식의 시뮬레이션 결과로, 스위치에 흐르는 전류 I_{SW1} , I_{SW2} 는 불연속 모드로 동작하고 있으며 L-C 공진에 의해 구형파가 아닌 정현파 형태의 전류가 흐르고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 불연속 전류에 의해 스위치 동작시 ZCS상태에서 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. L-C 공진용 커패시터의 전압은 V_{C1} , V_{C2} 로 나타내었으며, 최종 출력전압은 V_{out} 으로 72[V]입력 전압에서 360[V]의 출력전압이 나오고 있음을 확인할 수

으며, 출력전압의 리플은 거의 없음을 알 수 있었다.

그림 6은 제안한 방식의 과도특성을 알아보기 위해 임의의 시점에서 부하를 50%증가한 경우의 출력 전류 및 전압 파형을 나타내고 있다.



〈그림 5〉 DC/DC 컨버터 스텝응답에 대한 출력 특성



〈그림 6〉 제안된 Half-bridge DC/DC 컨버터 시제품

그림 6은 제안된 방식의 타당성 검증을 위하여 실험실 차원의 프로토타입을 제작한 결과물로 제어를 위하여 AVR128을 이용하였으며, 출력단 공진 커패시터는 그 값이 작아 필름 커패시터를 사용하였다. 실제 제작을 통하여 실험을 수행한 결과 제안한 컨버터의 효율은 최대 97.5%로 계속 되었으며, 최대 출력 전력은 1.5kW이다.

3. 결 론

본 논문에서는 대용량 고효율 절연형 DC/DC 컨버터에 적합한 Half-bridge를 이용한 컨버터를 제안 하였으며, 제안된 방식은 기존의 Hard Switching 방식이 아닌 ZCS를 이용한 Soft Switching 방식을 적용하여 스위치의 과도손을 줄일 수 있어 고효율화가 가능하며, 고주파 변압기 출력단에 다이오드와 커패시터를 이용한 배압회로를 사용하여 고순압에 유리한 회로를 구성하였다.

제안된 방식은 L-C 공진을 위한 리액턴스성분을 변압기의 누설리액턴스를 사용함으로 별도의 수동소자가 추가되지 않는다는 장점을 가지고 있으며, 공진형 커패시터에 의해 출력 전압이 평활 되므로 출력단 필터의 사이즈가 작아진다는 장점을 가지고 있다.

제안된 방식에 대한 타당성 검증을 위하여 PSIM을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 각 스위치가 On, Off 모든 스위칭 동작 모드에서 ZCS로 구동되어 소프트 스위칭이 가능함을 확인 하였다. 또한 실험실 차원의 프로토타입 제작을 통하여 실제 구동시험을 실행한 결과 최대효율 97.5%로 매우 우수하였다. 이에 본 논문에서는 제안한 절연형 Half-bridge DC/DC 컨버터가 대용량 고품질의 전력변환기에 적용이 가능함을 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Michihiko Nagao, and Koosuke Harada, "Power Flow of Photovoltaic System using Buck-Boost PWM Power Inverter", IEEE/PEDS, pp.144-149, 1997.
- [2] Johanna M. A. Myrzlk, "Novel Inverter Topologies for Single-Phase Stand-Alone or Grid Connected Photo-voltaic Systems", IEEE PEDS, pp.103-108, 2001.
- [3] 이승환, 성낙규, 오봉환, 김성남, 이훈구, 김용주, 한경희, "PWM 초과 전류원형 인버터를 이용한 계통 연계형 태양광발전시스템", 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 323- 329, 1998. 12.