

Push-Pull을 이용한 소프트 스위칭 DC/DC 컨버터

송성근*, 박성준**, 김대경*, 신덕식*
전자부품연구원*, 전남대학교**

Soft Switching DC/DC Converter Using Push-Pull

Sung-Geun Song*, Sung-Jun Park**, Dae-Kyong Kim*, Duck-Shick shin*
KETI*, Chonnam National Univ.**

Abstract - 최근 신재생에너지원의 사용 및 전기자동차의 이용이 확대되고 있는 실정에서 고출력의 전력변환기의 관심이 높아지고 있다. 이에 본 논문에서는 입출력 절연을 통하여 안전성 향상 및 고출력이 가능하며, 효율이 우수한 Push-Pull 절연형 DC/DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 출력단에 콘덴서를 이용한 배압 회로를 사용하여 고출압을 실현 하였으며, Soft Switching 방식을 적용하여 고효율화가 가능함을 검증 하였다.

1. 서 론

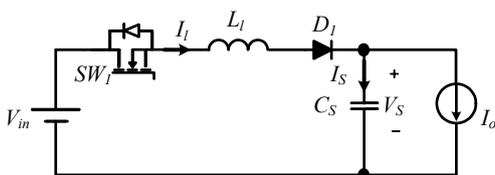
최근 신재생에너지 보급 확대 및 전기자동차의 이용확대로 인하여 배터리를 사용한 에너지 저장 시스템이 확대되고 있는 실정이다. 특히 배터리의 경우 안정성을 고려하여 저압으로 설계가 되고 있으며, 이와 같은 저압의 저장 시스템으로부터 효율적으로 에너지를 사용하기 위해서는 고압, 소전류 형태로 전력을 변환해 주어야 한다. 일반적으로 DC/DC 컨버터는 Hard Switching 방식을 사용하여 출력전압을 제어하는 방식을 많이 사용하나 이와 같은 방식은 출력전압 제어 성능은 우수하나 고압 승압시 스위칭 전압 내력이 높아 과도손이 증가하며 특히 고집적화를 위해 고속 스위칭 하는 경우 보다 많은 손실이 발생하는 단점 있다. 최근 이와 같은 단점을 보완하기 위해 스위칭 과도손을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이를 위해서는 L-C 공진 특성을 이용한 Soft Switching을 수행하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같은 Soft Switching 방식은 효율을 높이기 위해서는 출력전압 제어가 거의 불가능한 특성을 가지고 있으나 배터리를 사용하는 시스템의 경우 배터리 특성상 입력 전압의 변화가 30% 이내로 출력전압을 제어하지 않아도 어느 정도는 일정한 전압을 유지할 수 있는 특징을 가지고 있어 Soft Switching 방식의 DC/DC 컨버터를 사용하기에 적합한 시스템 이다.

이에 본 논문에서는 Push-Pull 방식을 이용한 Soft Switching 방식의 DC/DC 컨버터를 제안하고자 하며 제안된 방식은 고출압을 위해 출력단에 다이오드와 커패시터를 이용한 배압회로를 사용하였다. 제안된 회로는 시뮬레이션을 통하여 소프트 스위칭이 가능함을 확인 하여, 그 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 L-C Resonant Tank의 해석

대부분 Soft Switching 방식 컨버터는 L-C resonant Tank 회로를 이용하여 Tank의 공진에 의한 전압, 전류가 Oscillating하여 부하에 공급되며, 스위치는 영전압 또는 영전류에서 상태를 조작한다. 본 연구에서 사용되는 Tank 타입은 콘덴서에 병렬로드를 가진 Series Resonant Circuit를 이용하는 Soft Switching DC/DC컨버터이다.



〈그림 1〉 콘덴서에 병렬로드를 가진 Series Resonant Circuit

그림 1과 같이 Series Resonant Circuit에서 다이오드는 공진시 에어지 회수를 방지하기 위한 것이며, 스위치가 온 되었을 때 전압방정식은 a점에서 KCL은 아래와 같다.

$$V_s = V_{in} - L_1 \frac{dI_1}{dt} \quad (1)$$

$$I_1 - I_c = I_o \quad (2)$$

공진형 Tank C의 전류는 아래와 같다.

$$I_c = C_s \frac{dV_c}{dt} = -L_1 C_s \frac{d^2 I_1}{dt^2} \quad (3)$$

식 (1)을 식 (3)에 대입하면 2차 미분방정식은 아래와 같다.

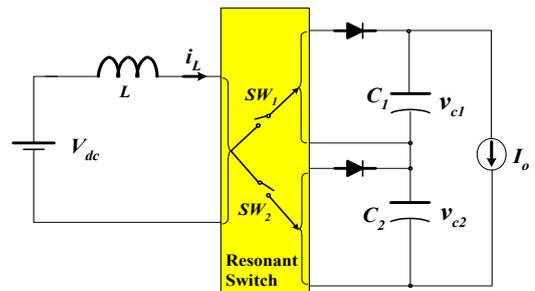
$$\frac{d^2 I_1}{dt^2} + \omega_n^2 I_1 - \omega_n^2 I_o = 0 \quad (4)$$

위식에서 계산되는 공진 주파수는 아래와 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_s}} \quad (5)$$

일반적으로 Soft Switching을 위해서는 스위칭 주파수가 식 (5)의 공진 주파수의 보다 낮아야 하며 이 경우 인덕터에 흐르는 전류가 불연속이 되며 이로 인하여 전류가 0이 구간에서 파워소자가 스위칭 되므로 ZCS가 된다.

2.2 제안된 Push-Pull 절연형 DC/DC 컨버터

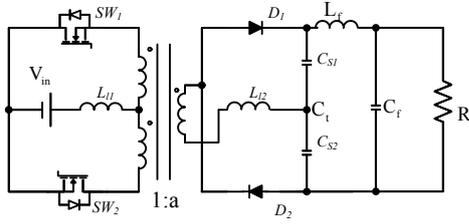


〈그림 2〉 절연형 DC/DC 컨버터 Soft Switching의 구조

그림 2는 본 논문에서 제안한 절연형 DC/DC 컨버터의 개념을 설명하기 위해 나타낸 회로로 출력단에 다이오드와 콘덴서를 이용한 반파정류회로형 배압회로를 사용하므로 의미상 Resonant Switch를 이용하여 두 콘덴서 중 1개의 콘덴서를 선택하여 L-C공진을 이루는 형태로 표현할 수 있다. 이와 같이 출력단에 배압 회로를 사용하는 경우 교번자계를 사용할 수 있는 조건이 되며, 이와 같은 방식은 고주파 변압기를 사용하여 에너지를 전달하는데 유리한 조건으로 사용된다. 또한 2개의 공진 커패시터에 1개의 공진리액터를 공유함으로써 공진시 전류가 반으로 줄어드는 효율 볼 수 있으며, 특히 절연 변압기를 사용하는 경우 변압기 자체의 누설리액터를 L-C공진의 L값으로 사용할 수 있어 별도의 수동소자가 추가되지 않는다는 장점이 있다. 또한 출력단에 배압회로를 사용하므로 리액터의 피크 전류를 줄일 수 있다는 장점 이외에 고출압에 유리하다는 장점을 가지고 있다.

또한 배터리 시스템의 경우 DC/DC 컨버터의 입력전압이 안정상의 문제로 50[V]이하로 형성되므로 저압, 대전류 특성에 적합한 Push-Pull 방식을 1차측에 적용하였으며, 앞에서 언급한 바와 같이 고주파 변압기 출력측을 다이오드와 커패시터를 이용한 배압회로를 사용하였다. 변압기의 누설리액턴스(L_{l1} , L_{l2})와 배압회로의 커패시터(C_{s1} , C_{s2})를 이용한 공진특성을 이용 소프트스위칭 하여 전력변환 손실이 최소화 되도록 설계하였다.

이와 같은 다이오드 2개와 커패시터를 이용한 전압 더블러 방식은 변압기의 2차권선이 1개로 변압기 구조가 간단하며 구현이 용이하다는 장점이 있다.



〈그림 3〉 Push-Pull DC/DC 컨버터 회로도

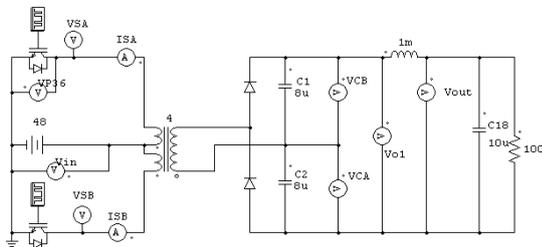
위 회로에서 공진 주파수는 식(5)와 같이 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_l C_s}} \quad (10)$$

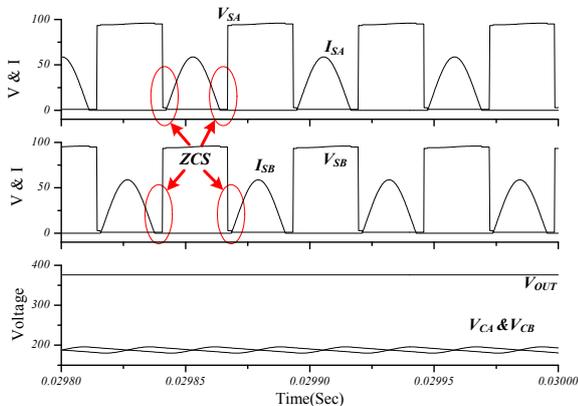
위식에서 L_l 은 1, 2차의 누설리액턴스를 1차 측으로 환원하여 계산되는 총 누설리액턴스 값이며, C_s 는 C_{s1} 또는 C_{s2} 를 1차측으로 환원한 커패시턴스 값이다. 본 논문에서는 L_l 를 8[μ H], C_s 는 8[μ F]으로 하여 시뮬레이션을 수행하였으며 공진주파수는 약 19.9[kHz]로 스위칭 주파수는 이보다 낮은 18[kHz]로 하여 수행하였으며, 배터리 전압 48V에서 고압의 DC 전원을 얻기 위해 변압비는 1:4로 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2 시뮬레이션 결과

그림 4는 PSIM을 이용하여 제안한 Push-Pull 더블러 방식의 절연형 DC/DC컨버터를 구현한 것으로 더블러 이후 출력전압의 안정화를 위해 출력단에 L-C 필터를 사용하였다.

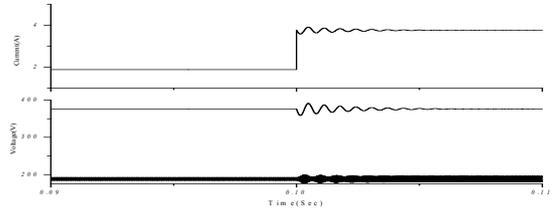


〈그림 4〉 Push_Pull 방식 Soft DC/DC 컨버터의 구조

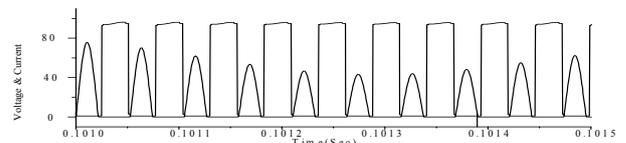


〈그림 5〉 Push_Pull 방식 컨버터의 시뮬레이션 결과

그림 5는 제안된 Push-Pull 절연형 DC/DC 컨버터 방식의 시뮬레이션 결과로, 스위치에 흐르는 전류 I_{SA} , I_{SB} 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 동작 시 ZCS상태에서 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. L-C 공진용 커패시터의 전압은 V_{CA} , V_{CB} 로 나타내었으며, 최종 출력전압은 V_{out} 으로 48[V]입력 전압에서 384[V]의 출력전압이 나오고 있음을 확인할 수 있으며, 출력전압의 리플은 거의 없음을 알 수 있었다.



〈그림 6〉 Push_Pull 방식 컨버터의 시뮬레이션 결과



〈그림 7〉 Push_Pull 방식 컨버터의 시뮬레이션 결과

그림 6은 제안한 방식의 과도특성을 알아보기 위해 임의의 시점에서 부하를 50%증가한 경우의 출력 전류 및 전압 파형을 나타내고 있으며, 그림 7은 과도상태의 스위칭 상태를 보기 위해 일부분을 확대한 파형으로 과도상태에서도 ZCS가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 고출력에 적용이 가능한 고효율 절연형 DC/DC 컨버터를 제안 하였으며, 제안된 방식은 기존의 Hard Switching 방식이 아닌 ZCS를 이용한 Soft Switching 방식을 적용하여 스위치의 과도손을 없앴으며, 고주파 변압기 출력단에 다이오드와 커패시터를 이용한 배압회로를 사용하여 고출력에 유리한 회로를 구성하였다. 제안된 방식은 L-C 공진을 위한 리액턴스성분을 변압기의 누설리액턴스를 사용함으로써 별도의 수동소자가 추가되지 않는다는 장점을 가지고 있으며, 공진형 커패시터에 의해 출력 전압이 평활되므로 출력단 필터의 사이즈가 작아진다는 장점을 가지고 있다.

제안된 방식에 대한 타당성 검증을 위해 PSIM을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 각 스위치가 On, Off 모든 스위칭 동작 모드에서 ZCS로 구동되어 소프트 스위칭이 가능함을 확인 하였다. 이와 같은 절연형 Push-Pull DC/DC 컨버터는 공진 리액터 감소와 손실저감으로 고품질의 전력변환기 기술개발을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 지역산업공통기술개발사업의 "20kW급 다중 동력시스템용 배압식 전동모듈 구동을 위한 고효율 DC-DC컨버터 및 드라이버 개발"과제의 지원으로 연구되었음

[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 초퍼와 전류원형 인버터를 이용한 계통 연계형 태양광발전시스템", 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 323- 329, 1998. 12.
- [4] 유택민, 성낙규, 이승환, 김성남, 이훈구, 한경희, "초퍼와 PWM 전압형 인버터를 이용한 계통연계형 태양광 발전시스템에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제3권, 제2호, pp. 131-137, 1998. 6.