준공진 방식을 적용한 절연형 양방향 컨버터

오민석*, 노용수*, 류무영*, 김준구*, 원충연*
성균관대학교*

Isolated Bi-directional DC/DC Converter Using Quasi-Resonant

Min Seuk oh*, Yong Su Noh*, Moo Young Ryu, Jun Gu Kim*, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문은 dual half bridge converter와 full bridge converter가 결합된 절연형 양방향 컨버터를 제안하였다. 기존의 전류원 컨버터는 스위치가 턴 오프 시 전압 스파이크 문제가 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 절연형 양방향 컨버터에 공진 커패시터와 공진 인덕터를 추가하였다. 추가된 공진 소자들에 의해 준공진이 발생하고 이를 이용하여 스위치의 zero voltage switching (ZVS)조건을 충족시킬 수 있다. 그 결과 제안된 컨버터의 모든 스위치는 소프트 스위칭을 달성하고 전압 스파이크 문제를 해결 할 수 있다. 이를 이론적인 분석과 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서 론

최근에 신재생 에너지를 이용한 에너지 저장 시스템이 각광을 받고 있다[1]. 에너지 저장 시스템은 신재생 에너지 혹은 계통의 전력을 배터리에 저장하기 때문에 배터리에 적용되는 양방향 컨버터의 효율과 특성이 중요한 요소가 된다. 기존에는 저전압의 배터리를 고전압으로 승압시키기 위해서 전류원 타입의 부스트 컨버터를 사용하였다. 하지만 전류원 컨버터는 스위치가 턴 오프 시 전압 스파이크 문제가 발생한다[2]. 이러한 전압 스파이크는 시스템의 오작동뿐만 아니라 배터리 수명 혹은 안정성에 영향을 주게 된다. 이를 해결하기 위해 기존의 연구에서는 스너버 회로나 클램프 회로를 추가하였지만 추가된 회로에 의해 사이즈가 커지고 효율이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 추가된 회로 없이 전압 스파이크 문제를 해결할 수 있는 절연형 양방향 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로의 동작 모드를 분석하였고, 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 준공진을 사용하는 제안된 절연형 양방향 컨버터

A. 제안된 절연형 양방향 컨버터

본 논문에서는 그림 1과 같이 준공진 방식이 적용된 절연형 양방향 컨버터를 제안하였고 나타내고 있다. 제안된 컨버터는 변압기를 기준으로 1차 측은 공진 인덕터 L_r과 공진 커패시터 C_{SBx}가 추가된 dual half bridge converter로 구성된다. 그리고

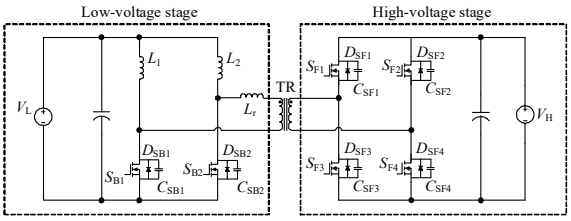

그림 1 제안된 절연형 양방향 컨버터
Fig. 1 The proposed isolated bi-directional converter

2차 측은 공진 커패시터 C_{SFx}가 추가된 full bridge converter로 구성되어 있다.

공진 인덕터 L_r은 보조 인덕터와 변압기의 누설 인덕터가 합성된 인덕터이다. 그림 1에 나와 있는 공진 커패시터 C_{SBx}와 C_{SFx}는 스위치의 기생 커패시터와 보조 커패시터가 합성된 커패시터이다. 이러한 공진 소자들에 의해 준공진이 발생하는데 이를 이용하여 기존의 전류원 컨버터의 문제인 전압 스파이크를 제거할 수 있다.

B. 제안된 절연형 양방향 컨버터의 동작 모드

제안된 컨버터는 부스트 모드와 벅 모드로 나눌 수 있다. 부스트 모드는 그림 2와 같이 t_0에서 t_8까지 8개의 동작 모드로 나눌 수 있다.

Mode 1 ($t_0 < t < t_1$) : 모드 1에서 스위치 S_{B1}, S_{F1}, S_{F4}는 턴 오프 상태이다. 이때 공진 커패시터 C_{SB1}과 공진 인덕터 L_r 사이에 공진이 일어나고 모드 1은 스위치 S_{B1}의 전압이 0이 될 때 종료된다. 스위치 S_{B1}의 전압과 공진 인덕터 전류 i_{Lr}은 식 (1), (2)와 같이 나타낸다.

$$V_{SB1}(t) = V_{SBx_m}\sin(\omega_r t + \alpha) + V_{SBx_C} \tag{1}$$

$$V_{SBx_m} = \sqrt{\left(\frac{i_{CSBx}(0)}{C_{SBx}\omega_r}\right)^2 + {V_{SBx_C}}^2} \tag{2}$$

$$i_{Lr}(t) = \frac{V_{SBx_m}}{\omega_r L_r}\cos(\omega_r t + \alpha) + i_{Lr}(0) \tag{3}$$

$$V_{SBx_C} = \frac{V_L + mV_{T1}}{1+m} \tag{4}$$

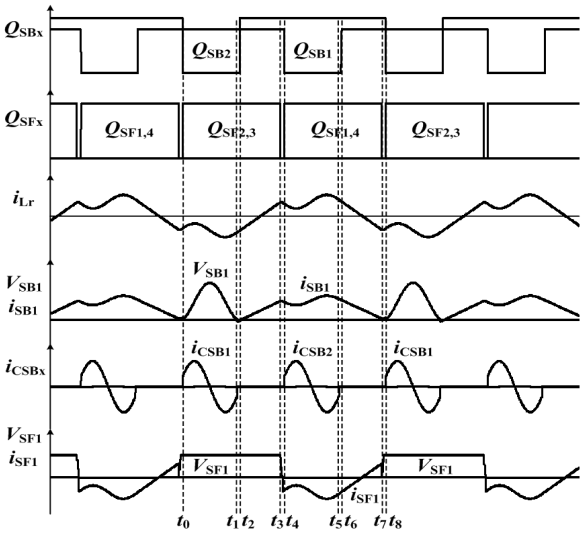

그림 2 제안된 컨버터의 부스트 모드 시, 주요 파형
Fig. 2 The key waveforms of proposed converter in boost mode

Mode 2 ($t_1 < t < t_2$) : 스위치 S_{B1}의 역병렬 다이오드 D_{SB1}을 통해 전류가 흐르면서 ZVS 턴 온 조건을 만족한다.

Mode 3 ($t_2 < t < t_3$) : 스위치 S_{B1}, S_{B2} 모두 턴 온 되어 각각의 스위치를 통해 입력 전류가 환류하면서 주 인덕터 L_1, L_2에 에너지가 축적되게 된다. 이때 공진 인덕터와 주 인덕터 전류는 선형적으로 증가한다.

Mode 4 ($t_3 < t < t_4$) : 스위치 S_{F2}, S_{F3} 턴 오프 되고, 공진 인덕터 L_r과 2차 측의 공진 커패시터가 공진을 시작해 스위치 S_{F1}과 S_{F4}의 ZVS 조건을 달성한다.

Mode 5 8 ($t_4 < t < t_8$) : *Mode* 5 8은 *Mode* 1 4와 동일하게 동작한다.

C. 제안된 절연형 양방향 컨버터의 제어

제안된 컨버터의 부스트 모드 시 주요 파형은 그림 2에 나타내고 있다. dual half bridge converter측의 인덕터 L_1과 L_2에 흐르는 전류는 스위치 S_{F1}과 S_{F2}의 듀티에 영향을 받지 않는다.

그 결과 제안된 컨버터의 부스트 모드 전압전달비는 스위치의 시비율에 영향을 받지 않는다. 제안된 컨버터의 전압전달비는 공진 인덕터 L_r, 공진 커패시터 C_{SBx}, 스위칭 주파수 f_{SW} 특성에 의해서만 영향을 받게 된다. 이로 인해 제안된 컨버터는 듀티 제어가 아닌 주파수 제어를 통하여 전압을 제어하게 된다. 따라서 고정된 공진 주파수를 기준으로 스위칭 주파수 제어 범위를 식 (5)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 듀티비가 전압전달비에 영향을 주지는 않지만 준공진을 이용하여 원활한 ZVS 턴 온을 만족하기 위해서는 주파수와 함께 듀티도 같이 제어를 해주어야 한다. 듀티식은 식 (5)를 통하여 식 (6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$2T_1 + \frac{T_r}{2} \le T_{off} \le T_r \tag{5}$$

$$D = 1 - \frac{T_1}{T_{tot}} - \frac{(3/4)T_r}{T_{tot}} \tag{6}$$

3. 시뮬레이션

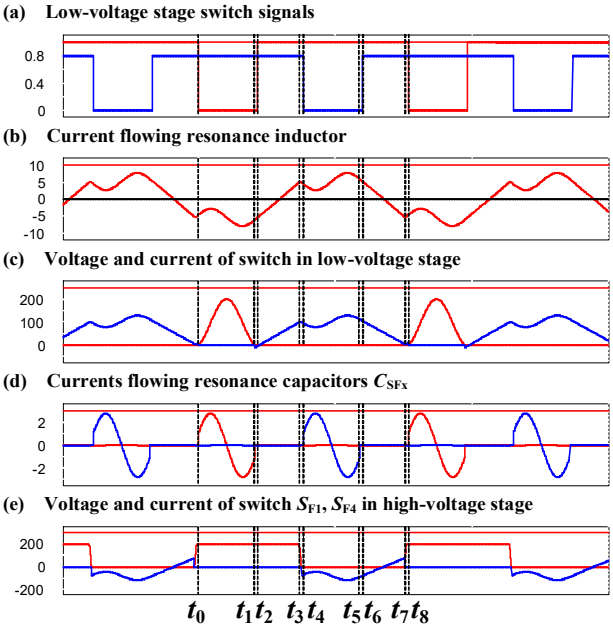

그림 3 부스트 모드 시, 제안된 컨버터의 전압과 전류 파형
Fig. 3 Simulation results of proposed converter low-voltage stage in boost mode

그림 4는 부스트 모드 시, 제안된 컨버터의 전압과 전류파형을 나타낸다. 그림 4 (c),(e)를 통해 dual half bridge converter 측과 full bridge converter측 스위치의 ZVS 턴 온을 확인하였고, 스위치가 턴 오프 시, 전압 스파이크가 제거된 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 준공진 방식을 사용하는 절연형 양방향 컨버터를 제안하였다. 제안하는 절연형 양방향 컨버터는 준공진 방식을 사용하여 추가된 회로 없이 전압 스파이크를 제거 하였고, 모든 스위치의 ZVS를 달성한다. 이를 이론적 분석과 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

이 논문은 2012년도 정부(지식경제부)의 재원으로 삼성중공업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012T100100064).

참 고 문 헌

[1] B. Y. Choi, Y. S. Noh, Y. H. Ji, B. K. Lee and C. Y. Won, "Battery integrated power optimizer for PV battery hybrid power generation system", *IEEE Conf. of Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, pp. 1343 1348, 2012.

[2] P. J. Wolfs, "A current sourced DC DC converter derived via the duality principle from the half bridge converter", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, vol. 40, no. 1, pp. 139 144, 1993.