

ZVS 스위칭용 새로운 Full-Bridge 구성에 관한 연구

김승룡, 임상길, 이상혁, 김기선, 박성준
전남대학교 전기공학과

A Study on Novel Full-Bridge using ZVS Switching

Seung-Ryong Kim, Sang-Kil Lim, Sang-Hyuk Lee, Ki-Seon Kim, Sung-Jun Park
Chonnam National Univ.

ABSTRACT

기존의 DC/DC 전력변환기에서는 소프트 스위칭 방식과 하드 스위칭 방식을 혼용하고 있어 반도체 소자의 고속 스위칭에 의해 시스템 효율이 낮다. 이에 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 새로운 동기형 스위칭 방식의 Full-Bridge 전력 변환기의 구조를 제안하였으며, 동기형 스위칭 방식의 ZVS 스위칭을 적용하여 턴 온/오프시 스위칭 소자에 생기는 전력 손실을 감소시키므로서 효율을 개선한다. 절연형 DC/DC 컨버터를 구성하고, PSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 제안된 DC/DC 컨버터의 효율이 우수함을 확인하였다.

1. 서 론

대부분의 컨버터가 출력 전압 제어를 위해 하드 스위칭 방식을 채용함으로써 스위칭 소자의 On, Off시 스위칭 손실로 인한 효율향상에 한계가 있다. 하드 스위칭 방식의 PWM 컨버터는 스위칭 스트레스와 최적의 리플전압을 얻기 위한 높은 스위칭 주파수에 비례하여 손실이 증가하는 단점이 있다.^[1] 이러한 스위칭 방식은 On, Off시 큰 전류 기울기나 전압의 기울기로 인하여 효율향상에 한계가 있으며, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 한 방법으로서 1차측과 2차측 스위치 양단의 전압이 영인 순간에 스위치의 상태를 조작하는 Soft Switching DC/DC 컨버터의 새로운 토폴로지 형태를 제안한다. 정류용 다이오드로 사용되는 다이오드의 전압 강하에 의한 전력 손실을 줄이기 위해 도통 저항이 작은 MOSFET을 스위치로 사용하여 전력손실을 줄일 수 있으며 이를 동기형 정류기라 한다.^[2] 본 절연형 DC/DC 컨버터는 1, 2차측에 ZVS 방식의 Full-Bridge 컨버터를 구성하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증 하였다.

2. ZVS 스위칭용 새로운 Full-Bridge 컨버터

2.1 스위치 소자의 손실 분석

본 논문에서 제안한 ZVS Full-Bridge 컨버터의 기본 구조는 1차측에 동기형 스위치를 적용하고 2차측에 동기형 정류방식을 적용한 방식이다. 동기형 스위치, 동기 정류방식의 Full-Bridge 컨버터는 효율적인 면에서 기존의 컨버터와 큰 차이점이 있다. MOSFET은 턴 온시 온 저항 $R_{DS(on)}$ 으로 동작할 수 있고, 턴 오프시 커패시터로 동작 할 수 있다. 따라서

스위치와 다이오드의 정류방식에 의한 손실은 식(1)과 같다.

$$P_{D-LOSS} = V_F \cdot i_D \quad (1)$$

또한 MOSFET은 식 (2)의 드레인 소스 도통시 생기는 R_{DS} 값과 출력 전류로부터 손실을 구할 수 있다.

$$P_{FET-LOSS} = R_{DS} \cdot i_o^2 \quad (2)$$

두 식에 의해 구해진 값을 비교해 보면 다이오드의 손실이 MOSFET 손실 보다 1.5배 이상 큰 것을 알 수 있다.

$$P_{D-LOSS} = V_F \cdot i_D = 2 \times 400 = 600 \text{ W}$$

$$P_{FET-LOSS} = R_{DS} \cdot i_o^2 = 0.0025 \times 400^2 = 400 \text{ W}$$

따라서 기존에 사용중인 다이오드 정류기 보다는 MOSFET을 사용해서 동기정류를 하는 것이 효율적인 측면에서 더 효율적이라는 것을 알 수 있다.

2.2 제안된 ZVS 스위칭용 Full-Bridge

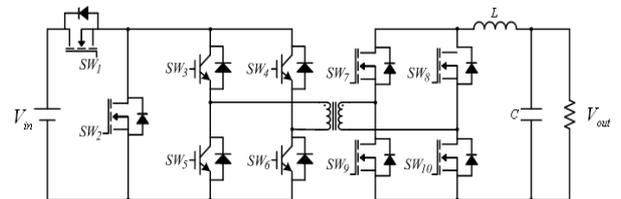
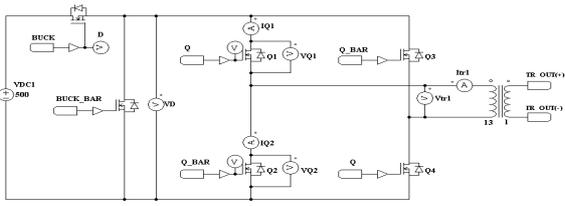


그림 1. 제안된 ZVS 스위칭용 Full-Bridge 컨버터
Fig. 1. Proposed ZVS Switching Full-Bridge Converter

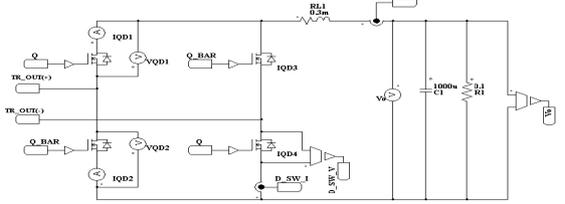
그림 1은 본 논문에서 제안한 ZVS 스위칭용 Full-Bridge 컨버터의 기본 구조를 나타내고 있다. 제안된 컨버터는 1차측에 2개의 동기형 MOSFET 스위치, 출력전압 제어를 위한 4개의 IGBT 스위치, 컨버터의 절연을 위한 변압기, 2차측에 4개의 동기형 정류 MOSFET 스위치 그리고 필터용 L과 C로 구성되어 있다. 1차측 Full-Bridge의 스위치와 직, 병렬로 연결된 두 개의 MOSFET 스위치 SW_1 과 SW_2 는 1, 2차측 스위치의 ZVS 동작과 효율향상을 위하여 추가되었다.

2.3 시뮬레이션

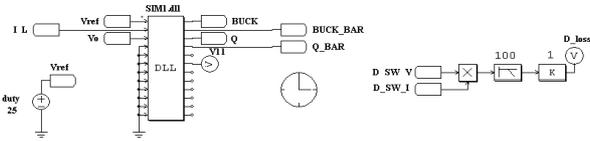
그림 2는 효율개선을 위해 그림 2(a)의 동기형 스위치와 그림 2(b)의 동기형 정류방식을 적용한 Full-Bridge 컨버터로서 그 타당성을 입증하기 위해 입력전압 DC 500[V], 출력전압 DC 25[V], 출력 10[kW]의 전체 회로를 시뮬레이션 하였다. 또한 그림 2(c)에서 전체 Full-Bridge 컨버터의 제어부를 dSPACE를 이용하여 구성하였다.



(a) Synchronous switch circuit

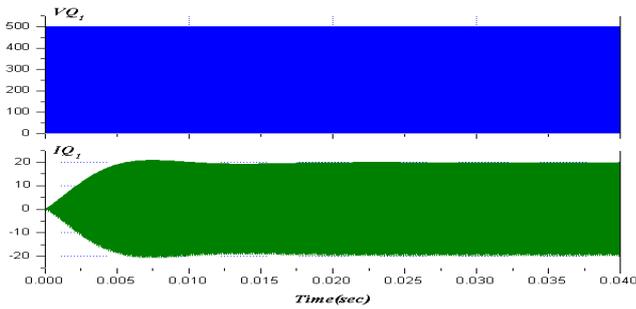


(b) Synchronous rectifier circuit

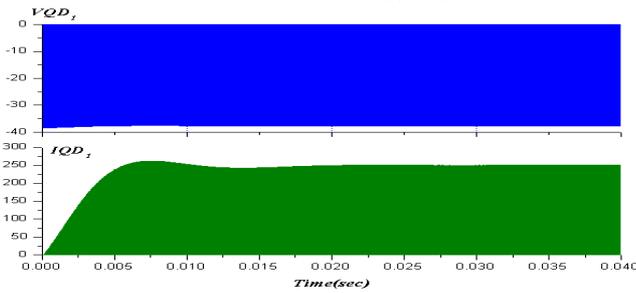


(c) Control part circuit

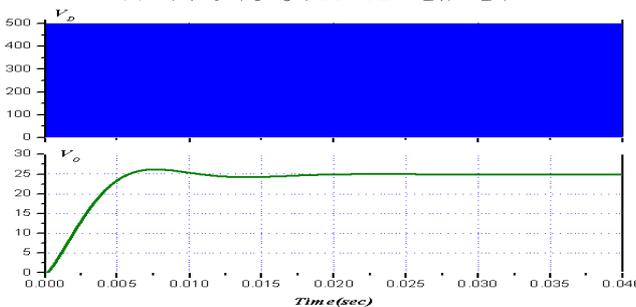
그림 2. 시뮬레이션 회로도
Fig. 2. Simulation circuit



(a) 1차측 IGBT 스위치 전압·전류



(b) 2차측 동기형 정류 MOSFET 전압·전류



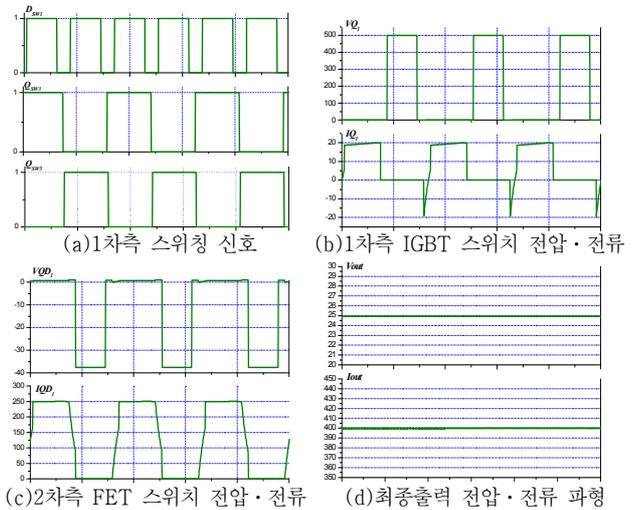
(c) ZVS Full-Bridge 컨버터 최종 출력

그림 3. 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 3. Simulation result waveform

그림 3의 시뮬레이션 결과파형에서 출력전압은 20m[sec]안에 정상상태에 도달함을 확인할 수 있다.

그림 4의 파형은 그림 3의 파형을 좀 더 자세히 확인하기 위해 충분히 정상상태에 도달한 시간인 25m[sec]에서 25.01m[sec] 사이의 파형을 확대한 것이다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 Full-Bridge 1차측 IGBT 스위칭 신호는 두 개의 스위치가 한 쌍을 이루어 동기형 스위치 SW_1 이 Off 되는 시점에 On, Off 스위칭을 이루며, 이와 같은 동작을 다음 반주기 동안 대칭적으로 동작한다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 그림 4(b)에서는 IGBT가 ZVS 스위칭이 이루어짐을 확인하고 그림 4(c)에서는 MOSFET을 사용한 동기형 정류 스위치에서 ZVS 스위칭이 이루어 짐을 확인할 수 있다.

그림 4(d)의 결과 파형은 최종 출력의 전압·전류로서 25[V]의 정확한 정전압 제어가 이루어지고 리플이 매우 낮음을 확인할 수 있다.



(a) 1차측 스위칭 신호 (b) 1차측 IGBT 스위치 전압·전류
(c) 2차측 FET 스위치 전압·전류 (d) 최종출력 전압·전류 파형

그림 4. 세부적인 시뮬레이션 결과 파형

Fig. 4. Detailed simulation result waveform

3. 결론

본 논문에서는 하드스위칭 컨버터의 스위칭 손실을 보완하기 위해 동기형 스위치를 이용하여 소프트 스위칭 방식을 이용한 절연형 Full-Bridge 컨버터의 새로운 토폴로지 형태를 제안하였고, 시뮬레이션을 통하여 제안된 토폴로지의 타당성을 검증하였다. 또한, 제안된 새로운 ZVS Full-Bridge 컨버터는 동기형 스위칭 동작에 의해 고효율화를 이룰 수 있을것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] J.G.Cho, "Zero-voltage and Zero-current-switching full bridge PWM converter for high power applications", IEEE, Vol. 11, Issue:4, pp. 622-628, 1996, July.
- [2] Ehsan Adib, "Zero-Voltage-Transition PWM converters With Synchronous Rectifier", Proceedings of the IEEE, Vol. 25, No. 1, pp. 105-110, 2010, January.