

공진형 컨버터를 이용한 양방향 AC-DC 전력변환기 설계

최중묵, 변병주, 반중환, 임종웅, 서현욱, 김승열, 최규하
 건국대학교 전기공학과 전력전자연구소 (KOPEL)

Design of Bidirectional AC-DC Converter using Resonant DC-DC Converter

Jung Muk Choi, B.J.Byen C.H.Ban, J.U.Lim, H.U.Seo, S.E.Kim, Guy Ha Choe
 Dept. of Electrical Eng., Konkuk University

ABSTRACT

본 논문은 단상 양방향 PWM 컨버터와 공진형 컨버터를 이용한 AC DC 전력변환 장치를 제안한다. 공진형 컨버터는 변압기의 누설인덕턴스와 정류부의 커패시터를 이용하여 ZCS, ZVS를 얻는다. 제안된 컨버터 설계를 설명하며 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 제시한다.

Keyword: ZCS, ZVS, Resonant, Bidirectional Converter

1.서론

최근 신재생 에너지 및 에너지 충전 기술이 발달하면서 전력 변환기술이 널리 사용 되고 있다. 태양광, 연료전지 그리고 다양한 배터리들은 직류전원이기 때문에 DC DC 컨버터를 사용하여 승압 또는 강압하여 사용한다. 에너지 저장 시스템 중 최근 가장 주목 받는 분야는 배터리를 사용한 시스템인데 그 중 하나인 BESS(battery energy storage system)에서 구조의 집적화를 위해 컨버터를 양방향으로 설계하게 된다. 또 다른 한 예로 전기자동차 충전시스템의 응용기술인 VtoG(vehicle to grid)에서 계통의 전력으로 배터리를 충전하기도 하고 필요시 배터리 전력을 부하로 공급하고 계통품질 향상을 위해 방전운전을 하는 양방향 동작을 하게 된다.[2]

이러한 운전시 발생하는 손실 중 스위칭 손실을 줄이는 방안으로 공진형 양방향 컨버터를 제안하였는데 공진을 만들어 내기 위해 흔히 추가적인 인덕터와 커패시터로 구성된 공진 탱크를 사용한다. 이와 관련된 연구는 많이 진행되어왔으며 둘 중 하나만의 소자를 사용하여 또는 내재적인 기생소자를 사용한 공진 회로를 꾸미는 연구도 진행 되어 왔다.

본 논문에서 제안하는 양방향 전력 변환장치는 양방향 PWM 컨버터와 공진형 DC DC 컨버터로 구성되는데, 후자의 경우 듀얼 하프브리지 구조에 전압더블러 정류기 그리고 고주파 변압기로 구성된다. 추가적인 공진탱크를 사용하지 않고 변압기 누설 인덕턴스와 전압 더블러 커패시터의 공진을 이용하여 스위칭 손실을 감소하도록 설계하였다. 설계된 전력변환장치는 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

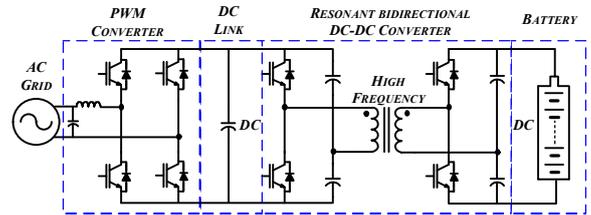


그림 1 양방향 AC-DC 전력변환기
 Fig.1 Bidirectional AC-DC Converter

2.양방향 AC-DC 전력변환기

2.1 공진형 DC-DC 컨버터 동작 설명

그림 1.은 전체 시스템 중 PWM 컨버터와 전단에 dc link로 연결되고 후단에 배터리와 연결되는 DC DC 컨버터이다. 왼쪽의 SW1과 SW2 IGBT와 오른쪽의 SW3과 SW4 IGBT는 서로 역할이 반대이다. 컨버터가 충전모드 일 때는 SW1과 SW2 는 하프브리지 컨버터로 동작하고 SW3과 SW4 는 정류기로 동작한다. 컨버터 동작시 Vdc link 의 절반이 변압기 일 차측에 걸리게 된다. 하지만 정류회로의 직렬연결 커패시터에 의하여 출력 전압은 식 (1)과 같이 두 배의 전압 출력을 갖게 된다. 방전모드는 이와 반대로 동작하게 된다.

$$v_{c3}(t) + v_{c4}(t) = V_{out} \quad (1)$$

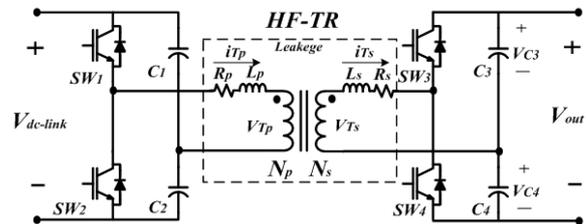


그림 2 양방향 공진형 컨버터
 Fig.2 Bidirectional Resonant Converter

SW1이 컷졌을 때 식 (2)와 같이 구형과 전압이 변압기를 통해 V_{Ts} 에 인가 된다. 이 것은 변압기 이차측 등가 누설 인덕턴스 L_s , IGBT 내재 diode SW3 그리고 커패시터 C_3 에 인가 된다. 여기서 V_{diode_SW3} 와 누설 저항 R_s 는 무시하도록 한다. ($V_{Diode_SW3}=0.7[V]$, $R_s=0.1[\Omega]$)

$$v_{T_s}(t) = L_s \frac{d i_{T_s}(t)}{dt} + V_{c3}(0) + \frac{1}{c_3 + c_4} \int_0^t i_{T_s}(t) dt. \quad (2)$$

위식을 미분하고 재배열하면 다음 식(3)이 얻어지며

$$\frac{d^2 i_{T_s}(t)}{dt^2} + \frac{1}{L_s} + \frac{1}{C_3 + C_4} i_{T_s}(t) = 0. \quad (3)$$

이를 통해 공진전류 i_{T_s} 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$i_{T_s}(t) = \frac{\sqrt{2} I_{out}}{2} \sin(\omega_r t) \quad \text{여기서 } \omega_r = 2\pi f_r. \quad (4)$$

그러므로 공진주파수는 다음 (5)와 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s \cdot (C_3 + C_4)}} \quad (5)$$

이를 통하여 설계된 변압기의 누설 인덕턴스와 선정된 더블러 커패시터로 공진 주파수를 선정 할 수 있다.

2.2 양방향 AC-DC 전력변환기 시뮬레이션

설계된 양방향 전력변환장치를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 220Vrms 60Hz 단상계통과 PWM 컨버터가 연계되었고 dc link에 양방향 DC DC 컨버터를 연결하였다. DC DC 컨버터의 스위칭 주파수는 20kHz이며 이차측 공진 주파수는 24kHz 이다. 스위칭 전압과 전류가 천이구간이 없이 동작하고 있는 것을 그림 3을 통해 확인 할 수 있다.

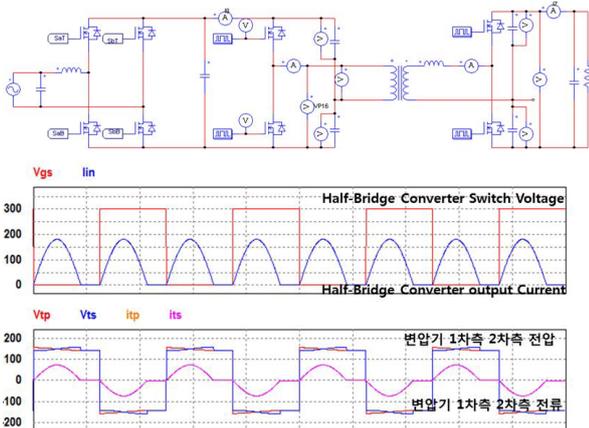


그림 3 시뮬레이션 회로 및 스위치, 변압기 전압전류 파형
Fig.3 Simulation Circuit / Switching & Transformer waveform

3. 실험 및 결과

실험을 위해 프로토 타입은 용량 1kW로 제작 되었다. PWM 컨버터와 DC DC 컨버터의 스위치는 모두 IGBT 모듈을 사용하였고 TI사의 DSP를 컨트롤러로 사용하였다. 실험 세트는 그림 4와 같다.

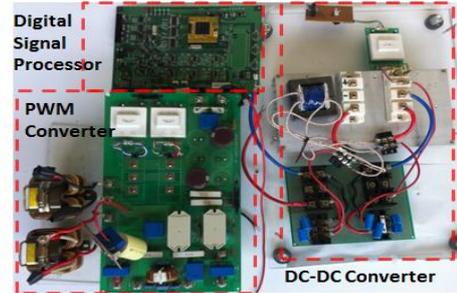


그림 4 AC-DC Converter 프로토타입
Fig.4 AC-DC Converter Prototype

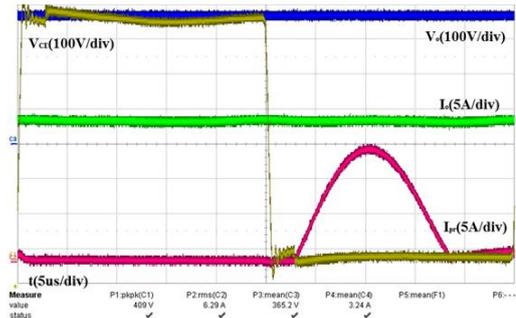


그림 5 공진스위칭 파형 및 출력 파형
Fig.5 Resonant Switching & Output waveform

전력변환기를 충전모드로 운전했을 때 스위치의 전압 V_{SWI} 전류 I_{SWI} 그리고 출력 전압 V_{out} 과 출력 전류 I_{out} 이다. 스위칭 전압은 턴온 턴오프시 전압 스파이크가 발생하지 않았으며 스위칭 전류는 전압과 교차되어 손실이 발생하는 천이 구간이 없어서 스위칭 손실은 도통손실만이 존재함을 알 수 있다.

100W에서 1kW 까지 90%이상의 컨버터 효율을 가졌으며 프로토타입 입에도 불구하고 최고 97%의 효율을 나타내었다. 변압기와 연결 회로의 최적화를 통해 추후 효율을 더 높이는 연구가 진행 될 예정이며 충방전 Smoothing mode 전환 및 전류용량을 키워 급속 충전 전류제어 및 정전압 제어 전환에 관한 연구가 차후 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Dong Hwa Han, Young Jin Lee, Wan Sung Kwon, Mohammed A. Bou Rabee, Gyu Ha Choe, "Improving the Overall Efficiency for DC/DC Converter with LoV HiC System" *Journal of Power Electronics*, Vol. 12, No. 3, May 2012
- [2] Omar Hegazy, Joeri Van Mierlo, Philippe Lataire, "Control and Analysis of an Integrated Bidirectional DC/AC and DC/DC Converters for Plug In Hybrid Electric Vehicle Applications," *Journal of Power Electronics*, Vol. 11, No. 4, July 2011, pp.408-417