

DC 배전 시스템을 위한 고효율 절연형 양방향 AC-DC 컨버터 개발에 대한 연구

김호성, 정지훈, 류명효, 김종현, 백주원
한국전기연구원

Research of a high efficiency isolated bidirectional AC-DC converter for DC distribution system

Ho Sung Kim , Jee Hoon ung, Myung Hyo Ryu, Jong Hyun Kim, Ju Won Baek
Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

본 논문은 380V DC 배전 시스템의 양방향 전력 흐름 제어와 전력 변환 효율 개선을 위한 고효율 절연형 양방향 AC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 회로는 비절연형 양방향 AC DC 정류기와 절연형 양방향 CLLC 공진형 컨버터로 구성된다. AC DC 정류기의 전력 변환 효율 높이기 위해서 단극성 SPWM 방식을 이용하여 SiC 다이오드와 Anti parallel 다이오드가 없는 IGBT와 MOSFET를 이용하여 전력 변환 효율을 증가 시켰다. 절연형 양방향 DC DC 컨버터의 효율을 높이기 위해서 전 범위 ZVS 동작이 가능한 양방향 CLLC 공진형 컨버터를 이용하였다. 5kW 시제품을 통하여 제안하는 절연형 양방향 AC DC 컨버터의 성능을 검증하였다.

1. 서론

DC 배전 시스템은 기존의 AC 배전 시스템과 비교 할 때 전력변환 스테이지 수를 줄일 수 있으며, 이를 통해서 전력변환 시스템의 효율을 높일 수 있는 장점을 가진다. 또한, DC 가전제품을 사용하는 가정용 DC 배전 시스템에서는, 대부분이 DC 소스인 신재생 전원의 출력을 DC 배전 시스템의 DC Bus에 연결하기 쉬운 장점을 가진다.

신재생 전원이 연결된 DC 배전 시스템에서 DC Bus 전압의 제어 및 전력 흐름을 제어하기 위해서는 AC Grid와 DC Bus 사이에 양방향 전력 변환이 가능한 절연형 AC DC 컨버터가 필요하다.^[1,2] 그림 1과 같이 일반적으로 양방향 절연형 AC DC 컨버터는 양방향 비절연형 AC/DC 정류기와 양방향 절연형 DC/DC 컨버터로 구성된다. 이러한 양방향 전력 변환이 가능한 정류기 시스템은 DC Bus의 에너지가 신재생 전원 등에 의해서 과잉되었을 때 남은 에너지를 AC Grid로 보내고, 반대로 부족한 에너지는 AC Grid에서 DC Bus로 공급하는 역할을 한다.

양방향 AC DC 컨버터의 전력 변환 효율은 DC 배전 시스템 전체의 전력 변환 효율에 가장 큰 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 DC 배전 시스템에 적합한 절연형 양방향 AC DC 컨버터의 전력 변화 효율을 높이기 위한 방법들을 제시하려고 한다. 제안하는 회로는 가정용 DC 배전 시스템으로 적합한 5kW 급 시제품을 통하여 성능을 검증하였다.

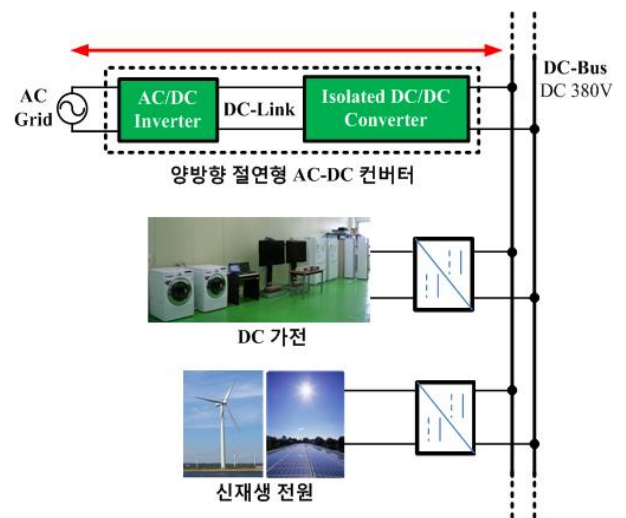


그림 1 380V DC 배전 시스템
Fig. 1 380V DC distribution system

2. 제안하는 회로의 구성

그림 2와 같이 제안하는 양방향 AC DC 컨버터는 비절연형 양방향 AC DC 정류기와 절연형 양방향 CLLC 공진형 컨버터로 구성된다. AC DC 정류기의 전력 변환 효율 높이기 위해서 단극성 SPWM 방식을 이용하여 SiC 다이오드와 Anti parallel 다이오드가 없는 IGBT와 MOSFET을 이용하여 전력 변환 효율을 증가 시켰으며, 절연형 양방향 DC DC 컨버터의 효율을 높이기 위해서 전 범위 ZVS 동작이 가능한 양방향 CLLC 공진형 컨버터를 사용하였다.

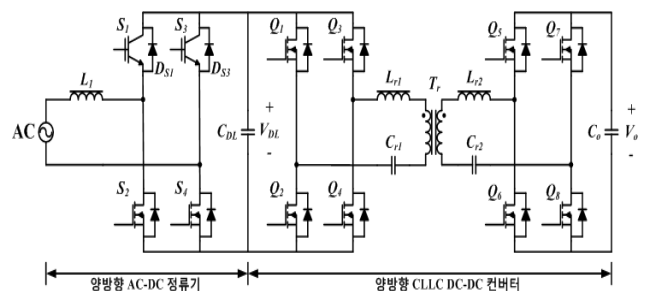


그림 2 제안하는 회로의 구성
Fig. 2 Circuit configuration of the proposed converter

2.1 양방향 AC-DC 정류기

양방향 AC DC 정류기의 AC Grid에서 DC Bus로 에너지를 보내는 정류기 모드에서 위쪽 스위치(S_1 과 S_3)에 존재하는 FRD 다이오드를 사용했을 때 발생하는 다이오드 역회복 전류 특성에 의한 아래쪽 스위치(S_2 와 S_4)의 턴온 손실을 줄이기 위해서 위쪽 스위치인 S_1 과 S_3 는 Anti parallel 다이오드가 없는 IGBT 소자와 SiC 다이오드를 이용하였다. 또한 에너지를 AC Grid로 보내는 발전 모드에서는 단극성 SPWM 방식의 인버터 동작 특성상 아래쪽 스위치가 ZVS 동작이 가능하므로 이런 특성을 이용하기 위해서 S_2 와 S_4 는 턴온 저항이 낮은 MOSFET을 사용하여 도통 손실을 줄였다.

2.2 양방향 CLLC 공진형 컨버터

양방향 CLLC 공진형 컨버터는 1차측과 2차측이 대칭인 구조로 설계하였다. 양방향 CLLC 공진형 컨버터는 기존 Phase shift full bridge 컨버터와 같이 양방향 동작에 필요한 스너버 회로가 필요 없으며, 기존의 LLC 공진형 컨버터의 특성과 같이 전 부하 범위 ZVS가 가능한 특성을 이용하여 양방향 절연형 DC DC 컨버터를 구성할 수 있다.

3. 실험 결과

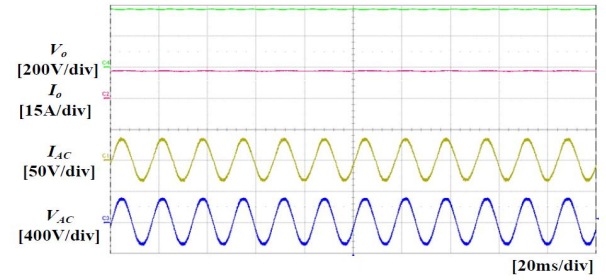
표 1 제안하는 컨버터의 설계
Table 1 Design Specification of the proposed converter

Specifications	Values
Input Voltage (V_{in})	AC 220V
Output Voltage (V_{out})	DC 380V
Rated Power (P_{out})	5kW
S_1 and S_3	IGW75N60T
D_{S1} and D_{S2}	C3D20060D
S_2 and S_4	IXKR47N60C5
$Q_1 \sim Q_8$	SPW47N60CFD
T_r	EE6565(PM7)
L_1	1.6mH
L_m	130μH
L_r	30μH
C_r	200nF

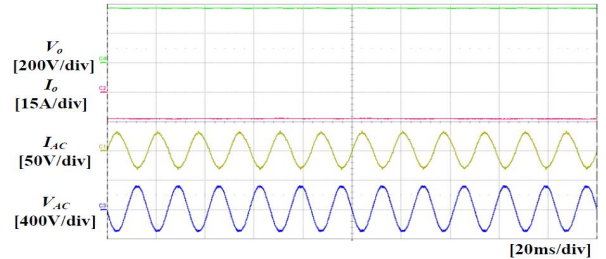
표 1은 제안하는 컨버터의 설계 값을 나타낸다. 위 표를 바탕으로 5kW급 절연형 양방향 AC DC 컨버터를 시제품을 설계하였다.

그림 3은 절연형 양방향 AC DC 컨버터의 최대 부하 조건에서의 입출력 동작 파형을 나타낸다. 그림 3(a)는 정류 모드에서 입력 측의 PFC(Power Factor Correction)동작이 잘 동작하는 것을 확인 할 수 있었으며, DC Bus로 5kW 전력이 잘 공급되고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 3(b)는 그림 3(a)와 반대인 발전 모드로 최대 부하 조건에서 DC Bus에서 과잉으로 남은 에너지가 AC Grid로 공급되는 파형을 나타낸다.

그림 4는 제안하는 절연형 양방향 AC DC 컨버터 시스템의 각각의 양방향 AC DC 정류기와 CLLC 공진형 컨버터의 효율과 전체 시스템의 효율을 나타내었다. 제안하는 5kW 시제품 회로는 30% 이상의 부하 영역에서 94% 이상의 효율을 보였으며, 최대 부하 조건에서 효율은 94.5%으로 높은 효율을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 3 최대 부하조건에서 양방향 동작 파형: (a) 정류 모드, (b) 발전 모드

Fig. 3 Experimental waveforms of the bidirectional operation at full load: (a) Rectification mode, (b) Generation mode.

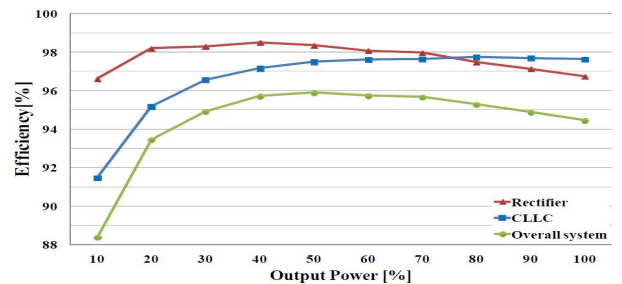


그림 4 전력변환 효율

Fig. 4 Power conversion efficiency

4. 결론

본 논문에서는 DC 배전용 고효율 양방향 전력 변환을 위하여 높은 효율을 가지는 절연형 양방향 AC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 회로는 5kW급 시제품을 통하여 동작을 검증하였으며, 전체 효율은 최대 부하 조건에서 94.5%로 높은 효율을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T. F. Wu, C. L. Kuo, K. H. Sun, and Y. C. Chang, "Dc bus voltage regulation and power compensation with bidirectional inverter in dc microgrid applications," in Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Sep 2011, pp. 4161–4168.
- [2] K. H. Edlmoser and F. A. Himmelstoss, "Bidirectional dc to dc converter for solar battery backup applications," in IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, vol. 3, June 2004, pp. 2070–2074.