

SiC MOSFET을 이용한 DC Nano-grid용 25kW급 양방향 컨버터 개발

김연우¹, 한병길¹, 김민재¹, 최세완¹, 양대기², 김민국², 오성진²
 서울과학기술대학교¹, 데스틴파워²

Development of 25kW Bi-directional Converter using SiC MOSFET for DC Nano-grid

Yeonwoo Kim¹, Byeonggil Han¹, Minjae Kim¹, Sewan Choi¹,
 Daeki Yang², Minkook Kim², Seongjin Oh²

Seoul National University of Science and Technology¹, Destin Power Co., Ltd²

ABSTRACT

본 논문에서는 DC Nano-grid를 위한 25kW급 고효율 양방향 컨버터를 개발하였다. 제안하는 양방향 컨버터는 넓은 입력 전압 범위를 만족하기 위하여 Cascade 부스트-벅 컨버터의 구조로 하였으며 상용화된 SiC MosFET기반 3레그 IPM을 최적으로 사용하기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터로 하였다. 또한 승·강압 모드에 따라 스위칭하는 스위치 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였다. 25kW 시작품을 통해 14kW에서 효율 98.9%를 달성하였다.

1. 서 론

최근 도서·산간 지역에서 분산발전 시스템과 에너지저장장치(ESS)의 수요증가로 소규모 전력망에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 소규모 전력망 중에서 나노그리드(Nano-grid)란 마이크로그리드(Micro-grid)보다 낮은 정격파워로 1MW이하의 소규모 전력망을 의미한다.^[1] 나노그리드는 교류 나노그리드(AC Nano-grid)와 직류 나노그리드(DC Nano-grid)로 분류할 수 있다. 직류 나노그리드 시스템은 교류 나노그리드 시스템과 달리 안정도, 주파수, 동기화 및 무효전력 문제가 없을 뿐만 아니라 태양광, 풍력, 연료전지 같은 직류발전 시스템을 2차 전력변환 없이 직류부하에 공급이 가능한 장점이 있다.^[2] 그림 1은 직류 나노그리드 시스템을 나타내는데 에너지 저장장치의 양방향컨버터는 배터리의 충·방전 양을 조절하며, 정전 또는 계통 사고 시 DC-Bus전압(750V)을 제어한다.

본 논문에서는 에너지저장장치의 배터리 전압범위가 225V~830V로 매우 넓은 전압범위를 갖는 DC Nano-grid용 25kW급 양방향 컨버터를 제안한다. 이때 양방향 컨버터는 넓은 전압범위에서 고효율의 승·강압 동작이 요구되므로 구조가 간단한 Cascade 벅-부스트 컨버터를 고려한다. 또한 고효율·컴팩트화하기 위하여 그림 2와 같은 $R_{ds(On)}$ 이 낮아 도통손실이 작고 전압·전류 정격이 높은 특징이 있는 6-pack SiC MosFET기반 지능형 파워모듈(IPM)을 사용하려고 하는데 인터리빙할 경우 일반적으로 입·출력단에 동일한 상수가 필요하여 이 IPM을 사용하는데 제한된다.

본 논문에서 제안하는 양방향 컨버터는 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터의 Cascade 구조로 함으로써 1대의 IPM으로 양방향 컨버터를 구현하였다. 또한 승·강압 모드에

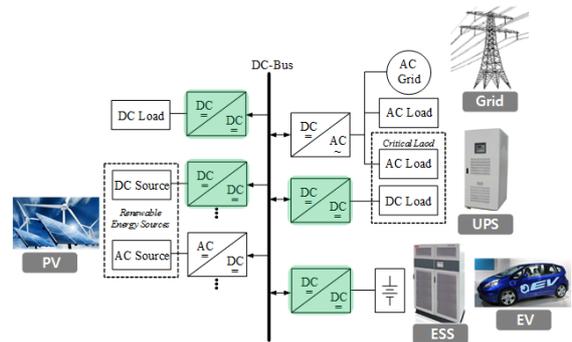


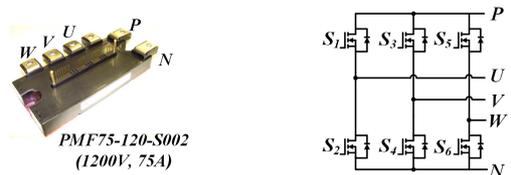
그림 1. DC Nano-grid System

따라 스위칭하는 스위치 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였다.

2. 제안하는 컨버터

그림 3에 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터를 나타낸다. 배터리 전압범위가 225~830V로 매우 넓은 전압범위에서도 승·강압 동작하도록 Cascade 부스트-벅 컨버터를 기본으로 하고 상용 SiC MosFET기반 3레그 IPM을 최적으로 사용하기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터의 Cascade 구조로 하였다. MITSUBISHI Electric사 PMF75-120-S002은 SiC MosFET기반 3레그 IPM로서 게이트드라이버와 보호회로가 내장되어 있으며, 기생성분이 작고 전압정격은 1200V, 전류정격은 75A이다. 제안한 컨버터에서 스위치에 흐르는 최대전류는 부스트 컨버터 모드일 경우 60A이고, 벅 컨버터 모드일 경우 37A로 이 IPM을 사용하기에 제안한 컨버터가 적합하다.

제안하는 컨버터는 그림 4(a)와 같이 부스트 컨버터 모드일 경우 스위치 $S_{1\sim 2}$ 는 스위칭하며 스위치 S_3 는 항상 턴 온하고,



(a) IPM 사진 (b) IPM schematic diagram

그림 2. MITSUBISHI Electric사 SiC MosFET기반 IPM

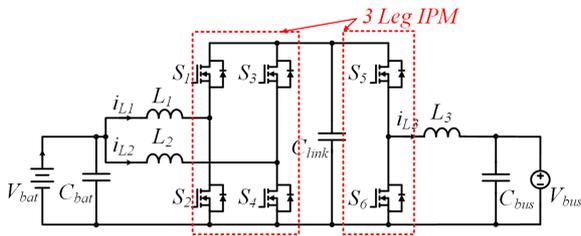
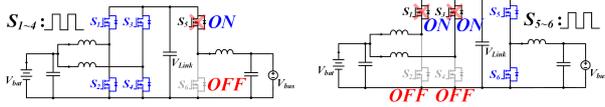


그림 3. 상용 3레그 IPM에 최적화된 제안하는 컨버터



(a) 부스트 컨버터 모드 (b) 벅 컨버터 모드

그림 4. 제안하는 컨버터의 동작모드

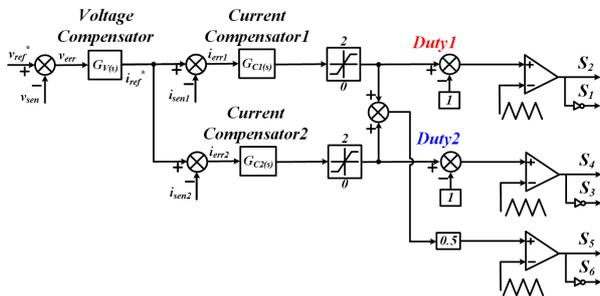


그림 5. 제어블록 다이어그램

스위치 S_6 은 항상 턴 오프한다. 그리고 벅 컨버터 모드일 경우 그림 4(b)와 같이 스위치 $S_{5,6}$ 은 스위칭하며 스위치 $S_{1,3}$ 은 항상 턴 온하고, 스위치 $S_{2,4}$ 는 항상 턴 오프한다. 이와 같이 승·강압 모드에 따라 스위칭 하는 스위치 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였다.

그림 5는 제안하는 컨버터의 제어블록 다이어그램으로 제어기는 일반적인 PI제어기로 구성되며 전압제어기와 전류제어기가 이중루프 구조로 이루어져 있다. 또한 인터리빙 부스트 컨버터의 각상 전류가 불균형이 일어나지 않도록 전류제어기를 둘로 나누고 각상 듀티의 평균값이 벅 컨버터의 듀티로 들어가게 된다. 듀티가 0~2사이에서 동작하고 부스트 컨버터 듀티에서 1을 빼주기 때문에 듀티가 1~2인 경우는 그림 4(a)와 같이, 0~1인 경우는 그림 4(b)와 같이 동작을 하며 승·강압에 따라 제어기를 따로 사용하지 않는 장점이 있다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양에 따라 실험을 하였다.

- $P_o = 25\text{kW}$
- $V_{bat} = 225 \sim 830\text{V}$
- $V_{bus} = 750\text{V}$
- $L_{1,2,3} = 600\mu\text{H}$
- $C_{bat} = 210\mu\text{F}$
- $C_{link} = 90\mu\text{F}$
- $C_{bus} = 1320\mu\text{F}$
- $f_s = 20\text{kHz}$

그림 6은 제안하는 양방향 컨버터의 시작품이고 전체크기는 520mm*320mm*135mm이다. 실험에서 전원소스의 제한사항으



DC-DC 컨버터

그림 6. 제안하는 25kW 양방향 컨버터 시작품

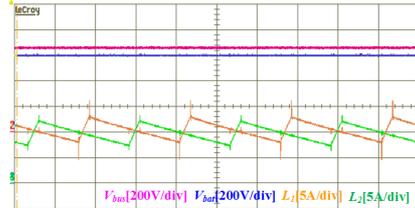


그림 7. 실험파형

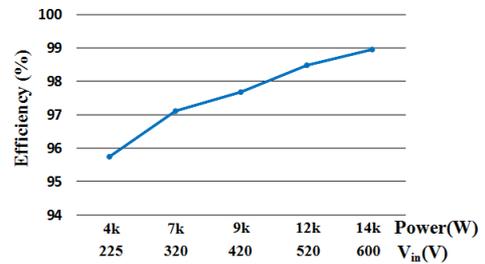


그림 8. 실험효율(측정:YOKOGAWA WT3000)

로 14kW로 축소 실험하였다. 그림7은 $V_{in}=600\text{V}$, $V_{bus}=750\text{V}$, $P_o=14\text{kW}$ 에서 정상상태 파형이고, 그림 8은 실험효율로 14kW에서 98.9%의 최고효율을 달성하였다.

4. 결론

본 논문에서는 상용 SiC MosFET기반의 IPM을 이용한 DC Nano-grid용 25kW급 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 넓은 입력전압 범위에서 승·강압이 가능하도록 하며, 상용 SiC MosFET기반 3레그 IPM에 최적화시키기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터의 Cascade구조로 하였다. 또한 승·강압 모드에 따라 스위칭하는 스위치 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였으며 승·강압에 따라 제어기를 따로 사용하지 않고, 제어기 하나로 제어하도록 구현하였다. 실험상 소스파워 제한사항으로 14kW로 축소실험 하였으며 최고효율은 $V_{in}=600\text{V}$, $V_{bus}=750\text{V}$, $P_o=14\text{kW}$ 에서 98.9%이다.

참고 문헌

[1] R. M. Pindoriya, N. M. Pindoriya and S. Rajendran, "Simulation of DC/DC converter for DC nano-grid integrated with solar PV generation," Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), 2015 IEEE Innovative, Bangkok, 2015, pp. 1-6.

[2] 권민호, 박준성, 최세완, "DC 마이크로그리드에서 에너지 저장장치를 위한 양방향 DC-DC컨버터의 무순단 절체 제어기법". 2014년도 전력전자학회논문지., 19(2), 194-200.