

에너지 저장장치를 위한 99% 고효율 2kW급 양방향 dc-dc 컨버터 설계

이태영, 조영훈, 조병극*
건국대학교 전력전자연구소, LS산전*

Design of a 2kW Bidirectional DC-DC Converter with 99% Efficiency for Energy Storage System

Taeyeong Lee, Younghoon Cho, Byung Geuk Cho*
Power Electronics Lab., LSIS*

ABSTRACT

In this paper, the bidirectional DC DC converter is composed of the 900V Silicon Carbide(SiC) devices to get high efficiency. The 900V SiC device is better than a similar current rated traditional SiC device. it has a lower drain source resistance and output capacitance. therefore it can reduce the switching and the conduction losses of the DC DC converter. The experimental results verify the improvement of efficiency and usefulness of 900V SiC device.

1. 서론

전기 에너지의 수요가 날로 증가함에 따라 공급이 수요에 못미치는 상황이 가끔 발생하여 정전이 일어나곤 한다. 전기 에너지 수요는 시간대별로 달라지는데 오후에 수요량이 최대가 된다. 에너지 저장장치를 이용하여 수요가 적은 새벽 시간대에 전기에너지를 축적해두었다가 수요가 큰 오후 시간대에 공급함으로써 수요량을 줄이고 전기 사용료도 덜 수 있다. 이러한 에너지 저장장치에 신재생 에너지원인 태양광 에너지를 보조적으로 공급하여 에너지 저장장치에 저장된 전기 에너지 보다 더 큰 에너지를 공급할 수 있다.^[1] 실리콘 카바이드 소자는 실리콘 소자에 비해 효율이 더 좋다.^[2] 본 논문에서는 이러한 에너지 저장장치 시스템의 설계를 위해 최근 널리 쓰이기 시작한 실리콘 카바이드(SiC) 소자를 선정하여 시스템을 구성하였다.

2. 양방향 DC-DC 컨버터 설계

2.1. 토폴로지

2.1.1. 에너지 저장장치 전력 변환 장치 토폴로지

태양광 에너지를 이용한 하이브리드 에너지 저장 장치 시스템의 토폴로지는 그림. 1과 같이 나타내어진다. 전력 변환부는 전체적으로 3부분으로 나눌 수 있다. 태양광 패널에서 공급되는 전기 에너지를 직류링크로 전달하는 DC DC 컨버터부, 배터리와 직류링크 사이에 위치한 배터리 인터페이스 양방향 DC DC 컨버터부와 직류링크의 에너지를 계통으로 전달하는 DC AC 인버터부로 구성된다.^[1]

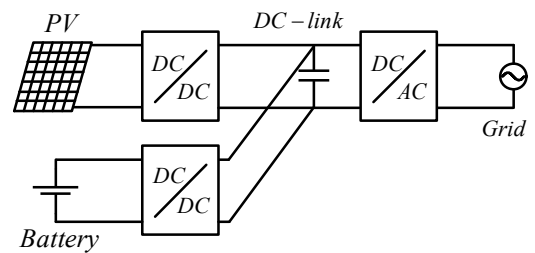


Fig. 1 The topology of Energy Storage System

2.1.2. 배터리부 양방향 DC-DC 컨버터 토폴로지

본 논문에서 초점을 둔 양방향 DC DC 컨버터의 토폴로지는 그림. 2와 같다. 양방향으로 에너지를 전달하기 위해 상단과 하단 스위치 모두 실리콘 카바이드(SiC) MOSFET을 이용하여 구성하였다. 배터리에서 직류링크로 에너지를 전달할 때는 부스트 컨버터로 동작하고, 직류링크에서 배터리로 에너지가 전달될 때는 벡 컨버터로 동작한다.

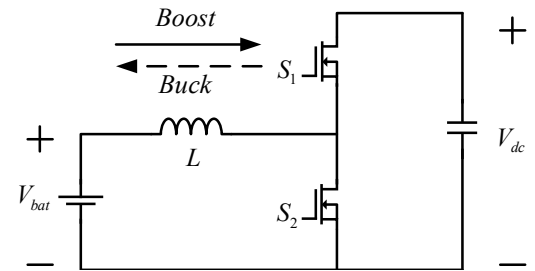


Fig. 2 The topology of bidirectional DC-DC converter for battery

2.2. 인덕터 설계

인덕터에 흐르는 전류의 방향에 따라 컨버터의 동작이 다르다. 즉, 충전과 방전 모드일 때 인덕터에 흐르는 전류의 리플을 평균 전류의 25%에 제한되도록 각각 설계하였다. 표. 1에서 컨버터의 사양을 확인할 수 있다. 배터리의 전압은 207.2[V]이지만 설계 식에서 배터리 전압은 200[V]로 가정하였다.

벡 컨버터와 부스트 컨버터일 때 각각의 인덕터 전류 식은 식 (1), (2)와 같다. 두 식에 스위칭 주파수 40[kHz], 배터리 전압 200[V], 직류링크 전압 420[V]를 대입하여 인덕터 전류 리플의 크기를 3 [A]로 제한하는 인덕턴스의 크기를 구하였다.

$$\Delta i_{l_buck} = \frac{V_{dc} - V_{bat}}{L} DT \quad (1)$$

$$\Delta i_{l_boost} = \frac{V_{bat}}{L} DT \quad (2)$$

벅 컨버터일 때와 부스트 컨버터일 때 계산된 인덕턴스는 약 873[uH], 793[uH]이다. 따라서 인덕턴스는 두 조건을 모두 만족할 수 있는 900[uH]로 설계하였다.

2.3. SiC MOSFET 선정

Wide bandgap 소자인 실리콘(Si) 기반 소자와 실리콘 카바이드 기반 소자를 비교했을 때 실리콘 카바이드 기반의 소자가 출력 커패시턴스가 더 작으며 효율이 더 좋다.^{[2],[3]} 기존에 쓰이던 1200[V]급 SiC MOSFET과 최근 개발된 900[V]급 SiC MOSFET의 사양을 비교하여 토폴로지에 적용하였다. 표. 1에 사용된 두 MOSFET의 사양을 비교하였다.

Table. 1 The comparison between specifications of 1200V SiC and 900V SiC

| V_{ds} | 1200 [V] | 900 [V] |
|-----------|-------------|-------------|
| 소자명 | C2M0040120D | C3M0065090D |
| I_d | 60 [A] | 36 [A] |
| | 40 [A] | 23 [A] |
| R_{ds} | 40 [mΩ] | 65 [mΩ] |
| C_{oss} | 150 [pF] | 60 [pF] |

3. 실험 결과

1200[V]급 소자와 900[V]급 소자의 효율을 측정하여 비교하기 위해 그림. 3과 같이 구성하였고, 부스트 컨버터 동기정류모드로 동작 시 효율을 비교하였다. 900[V]급 소자가 500[W]이하의 저전력 구간을 제외하고 대부분의 전력 조건에서 99% 이상의 효율을 가졌다. 900[V]급 소자로 10분간 밀폐, 자연냉각 조건으로 동작 후 인덕터와 파워 스테이지의 최대 온도가 40도 미만이었으며, 열화상 데이터로도 효율이 높은 것을 가늠할 수 있다. 사용한 멀티미터의 사양은 Appendix의 A와 같고 효율 측정 데이터는 충분히 신뢰할 수 있다.



Fig. 3 The set of bidirectional DC-DC converter

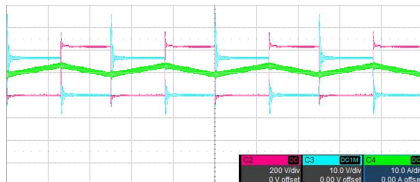


Fig. 4 Waveforms of 1200V SiC

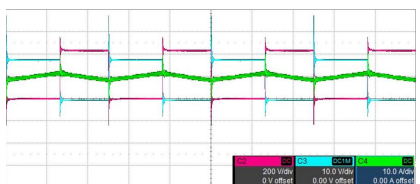


Fig. 5 Waveforms of 900V SiC



Fig. 6 The comparison between the efficiency of 1200V SiC and 900V SiC

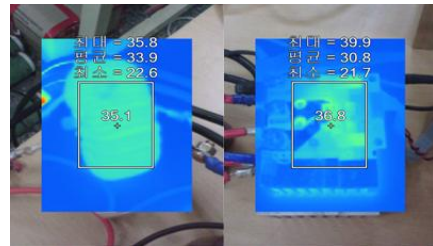


Fig. 7 The IR images of inductor and power stage

4. 결론

본 논문에서는 에너지 저장장치를 위한 양방향 DC DC 컨버터를 설계하며 효율을 높이기 위해 WBG 소자 중 실리콘 카바이드(SiC) 소자를 이용하였다. 출력 커패시턴스와 드레인 소스 온 저항의 크기가 더 작은 900[V]급 SiC소자를 선정하였고, 결과적으로 2kW 출력전력에서 효율이 더 높음을 실험으로 증명하였다.

Appendix

A. 측정 장비 사양

| | 전압 멀티미터 | 전류 멀티미터 |
|-------|---------------|---------------|
| 회사 | Fluke | Fluke |
| 모델 | Fluke 287/289 | Fluke 287/289 |
| 측정 범위 | 0 to 1000 [V] | 0 to 10 [A] |
| 정확도 | ± 0.025 [%] | ± 0.06 [%] |

이 논문은 LS 산전의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 이화석, “에너지 저장장치를 적용한 부스트 양방향 컨버터 직렬형 태양광 발전 시스템”, 숭실대학교 일반대학원, 2014.
- [2] Zapico, A., “SiC and Si transistors comparison in boost converter”, Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), 2012 15th International, pp. DS1a.7 1 DS1a.7 6, 2012, Sep.
- [3] Gauen, K., “The effects of MOSFET output capacitance in high frequency applications”, Industry Applications Society Annual Meeting, 1989., Conference Record of the 1989 IEEE, vol.2, pp. 1227 1234, 1989, Oct.