

하이브리드 SiC를 이용한 넓은 전압범위를 갖는 울트라 캐패시터용 충전기 개발

조우식¹, 한병길¹, 정현주¹, 최세완¹, 양대기², 김민국², 오성진²
 서울과학기술대학교¹, 데스틴파워²

Development of Ultra-capacitor Charger with Wide Voltage Range using Hybrid SiC

Woosik Cho¹, Byeonggill Han¹, Hyeonju Jeong¹, Sewan Choi¹,
 Daeki Yang², Minkook Kim², Seongjin Oh²

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

ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 전압범위를 갖는 울트라 캐패시터용 충전기를 제안한다. 제안된 컨버터는 넓은 충전 전압범위를 만족하기 위하여 Cascade 부스트 벅 구조로 하였으며 상용화된 하이브리드 SiC 기반 3레그 IPM을 최적으로 사용하기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터로 하였다. 또한 승·강압 모드에 따라 스위칭 하는 스위치 소자 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였다. 본 논문에서는 시스템에서 제안하는 울트라캐패시터 충전기의 타당성을 검증하기 위해 한 셀이 100F의 정전용량과 2.8V의 정격 전압을 갖고 150개 직렬(0.67F, 420V) 연결된 울트라 캐패시터를 이용하여 실험을 진행하였다.

1. 서 론

울트라 캐패시터는 전력밀도가 높고 사이클 수명이 길며 2차전지보다 친환경적인 특성으로 인해 신재생 에너지원의 동특성 보상 및 배터리의 동작시간이나 수명연장을 목적으로 널리 사용되고 있다. 또한 반복 사용에 따른 열화가 없고 고효율을 내며 2차전지보다 친환경적인 특성을 가져, 관련 시장이 점차 커지고 있다.

제안하는 충전기의 일반적인 구성은 그림. 1.과 같다. 일반적으로 AC/DC PWM Converter를 통하여 3상 전압을 DC 전압으로 정류하면 750V 정도이며, 울트라 캐패시터의 전압범위는 쌓는 셀 수에 따라 다양하며 본 시스템에서는 0V부터 800V 이상으로 매우 넓은 전압범위를 갖는다. 따라서 울트라캐패시터용 충전기로는 넓은 출력 전압범위를 만족할 수 있는, 즉, 승·강압 동작을 통하여 충전이 가능하고 고효율을 갖는 컨버터를 필요로 한다.

기존의 승·강압 동작을 가능한 충전기로서 동기정류를 적용한 벅 부스트 컨버터가 있다. 벅 부스트 컨버터는 스위치 2개와 인덕터 1개의 간단한 구조이며 승·강압이 가능한 장점이 있다. 하지만 입·출력 전류 리플이 크고 스위치의 전압정격이 입력전압과 출력전압의 합으로 매우 커 고전압 응용에 적합하지 않다.

본 논문에서 제안하는 충전기는 고효율 및 고밀도를 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터를 Cascade 구조로 연결함으로써 6 pack 하이브리드 SiC 기반 지능형 파워 모듈(Intelligent power module, IPM) 1대를 사용하여 동작 할 수

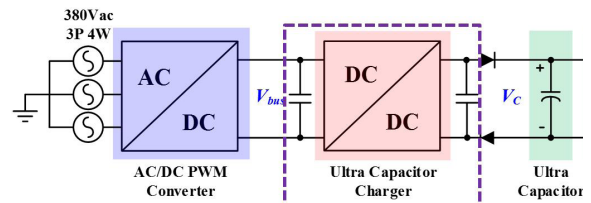


그림 1 전반적인 시스템

있도록 구성하였다. 또한 승·강압 모드에 따라 스위칭 하는 스위치 소자 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화하기 위한 방법을 제안하였다.

2. 제안하는 양방향 컨버터

그림 2는 제안하는 DC DC 컨버터를 나타낸다. 울트라 캐패시터 전압범위가 0~800V로 매우 넓은 전압범위에서 승·강압이 요구된다. 본 논문에서는 울트라 캐패시터 측 스위치의 전류부담을 줄이고 수동소자의 부피를 줄이기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벅 컨버터의 Cascade 구조를 선정하였다.

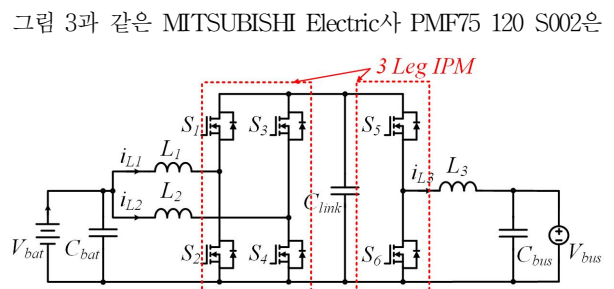
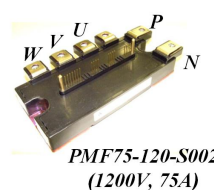
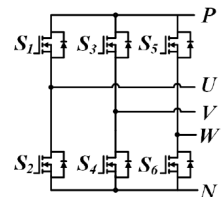


그림 2 상용 3레그 IPM에 최적화된 제안하는 충전기



(a) IPM 사진



(b) IPM schematic diagram

그림 3 MITSUBISHI Electric사 하이브리드 SiC 기반 IPM

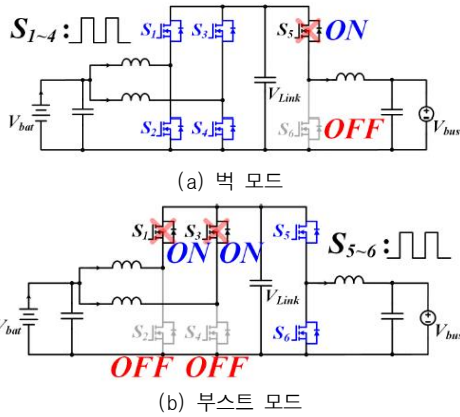


그림 4 제안하는 하이브리드 스위칭기법

Si 재질의 IGBT와 SiC 재질의 병렬다이오드로 구성된 6 pack Hybrid SiC 3레그 IPM으로서 게이트드라이버와 보호회로가 내장되어 있으며, 도통손실이 작고 전압·전류 정격이 높은 특징이 있다.

그림 4는 제안하는 하이브리드 스위칭기법을 나타낸다. 제안하는 스위칭방식은 각 레그의 스위치가 상호적으로 스위칭하며 동작모드에 따라 6개 모든 스위치가 항상 스위칭하지 않아 스위칭손실을 저감할 수 있다. 그림 4(a)와 같이 벽 모드 시 ($V_{bat} < V_{bus}$)에는 스위치 S_5 는 항상 턴 온 하고, 스위치 S_6 는 항상 턴 오프 상태이며, 스위치 S_{1-4} 의 스위칭을 통해 충전동작을 수행한다.

그림 4(b)와 같이 부스트 모드 시 ($V_{bat} > V_{bus}$)에는 스위치 $S_{1,3}$ 은 항상 턴 온하고, 스위치 $S_{2,4}$ 는 항상 턴 오프하며, 스위치 $S_{5,6}$ 의 스위칭을 통해 충전동작을 수행한다. 따라서 이와 같이 제안하는 충전기에 하이브리드 스위칭 기법을 적용하여 승·강압모드에 따른 스위칭을 최소화하여 스위칭 손실을 저감하였다.

3. 실험 결과

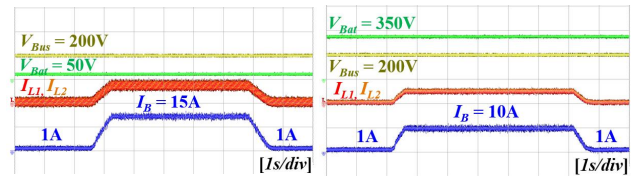
제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 축소 설계사양에 따라 실험을 하였다.

- $P_o = 4kW$
- $V_{bat} = 0 \sim 400V$
- $V_{bus} = 200V$
- $L_{1,2,3} = 600\mu H$
- $C_{bat} = 210\mu F$
- $C_{link} = 90\mu F$
- $C_{bus} = 1320\mu F$
- $f_s = 20kHz$
- $C_{ultra} = 0.67F$

그림 5는 제안하는 충전기의 시작품으로서 4kW급 컨버터와 울트라 커패시터를 나타낸다. 그림 6은 울트라 커패시터 전압 (V_{bat})과 입력전압(V_{bus})의 관계에 따라 벽 모드 또는 부스트 모드로 동작을 검증하였다. 그림 6(a)는 벽 모드로써 스위치 S_5 는 항상 턴 온 하고, 스위치 S_6 는 항상 턴 오프하며 S_{1-4} 는 스위칭하여 인터리빙 동작을 한다.



그림 5 제안하는 충전기의 시작품 및 울트라 커패시터



(a) 벽 모드 (b) 부스트 모드

그림 6 동작 모드에 따른 실험 파형

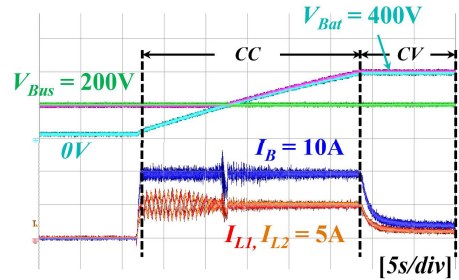


그림 7 CC-CV 충전 실험파형

그림 6(b)는 부스트 모드로서 스위치 $S_{5,6}$ 은 스위칭하고, 스위치 $S_{1,3}$ 은 항상 턴 온하고, 스위치 $S_{2,4}$ 는 항상 턴 오프한다. 각 동작 모드에서 충전 전류변화에 따른 동작을 검증 하였다. 그림 7은 주어진 사양에서 컨버터의 CC CV모드 충전동작을 확인 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 넓은 전압범위를 갖는 울트라 커패시터용 하이브리드 SiC 충전기를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 넓은 입력전압 범위에서 승·강압이 가능하도록 하고 상용 SiC 기반 3레그 IPM에 최적화시키기 위해 2상 인터리빙 부스트 컨버터와 단상 벽 컨버터의 Cascade구조로 하였다. 또한 승·강압 모드에 따라 스위칭하는 스위치 개수를 감소시켜 스위칭 손실을 최소화 하였다. 울트라 커패시터 충전기의 타당성을 검증하기 위해 축소된 사양으로 실험을 진행하였으며, 벽, 부스트 모드의 컨버터 동작 및 CC CV충전모드 운전을 통해 해당 충전기 타당성을 검증을 하였다.

참고 문헌

[1] 김연우, 권민호, 박성열, 김민국, 양대기, 최세완, 오성진, "DC 나노그리드에서 Droop제어를 적용한 80kW급 양방향 하이브리드 SiC 부스트 벽 컨버터 개발" 2017년도 전력전자학회논문지, 22(4), 360-368.

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