

슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장용 3kW급 양방향 DC/DC 컨버터

송웅협, 김진영, 노의철, 김인동, 김홍근*, 전태원**
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

3kW-rated Bidirectional DC/DC Converter for Energy Storage System with Supercapacitor

W.H. Song, J.Y. Kim, E.C. Nho, I.D. Kim, H.G. Kim*, T.W. Chun**
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **Univ. of Ulsan

ABSTRACT

This paper describes a bidirectional DC/DC converter for charging and discharging of a supercapacitor. Simulations are carried out to see the operation and performance of the 3kW-rated converter. Simulation results show that the charging/discharging characteristics is sufficient for the compensation of the response delay of a fuel cell.

1. 서론

최근 신재생에너지의 보급이 확대됨에 따라 마이크로그리드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 마이크로그리드 시스템에서 사용되는 신재생 에너지원으로는 태양광, 풍력, 연료전지 등이 있다. 그러나 태양광 및 풍력은 환경에 따라 전력공급에 변동이 있으며 연료전지는 안정적인 전력공급은 가능하지만 전원 특성상 부하급변시 초기의 짧은 시간동안 정상적인 전력공급이 불가능하다. 따라서 마이크로그리드 시스템 운용 중 부하가 급변할시 전력공급이 불안정하여 그리드의 전력품질이 저하되는 요인이 된다. 이와 같은 전력공급의 불안정을 해결하기 위해서 응답특성이 매우 빠른 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장장치에 대한 관심이 고조되고 있다.^[1,2]

본 논문에서는 마이크로그리드 운용시 전력품질을 높이고 안정적인 전력공급을 위한 슈퍼커패시터 에너지 충·방전용 3kW급 양방향 DC/DC 컨버터와 제어 방법을 다루고자 한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 시스템의 성능을 검증하였다.

2. EDLC용 양방향 DC/DC 컨버터

2.1 시스템 개요

그림 1은 슈퍼커패시터(EDLC)를 이용하여 연료전지의 전원 특성을 보상하는 시스템을 나타낸다. 연료전지는 마이크로그리드 시스템의 전원 중 가장 안정적인 전원이므로 주로 전압원으로 동작하고 있다. 연료전지는 단방향 DC/DC 컨버터와 인버터를 거쳐 계통에 안정적인 전력을 공급하지만 계통의 순간적인 부하 증가 시 연료전지의 전원 특성상 응답이 느려 DC 링크 전압이 감소하는 현상이 발생한다. 이때 슈퍼커패시터에 접속된 양방향 DC/DC 컨버터는 DC 링크 전압을 실시간으로 감시하여 계통으로 안정적인 전력을 공급하여 DC 전압을 400V로 일정하게 유지하는 역할을 한다.

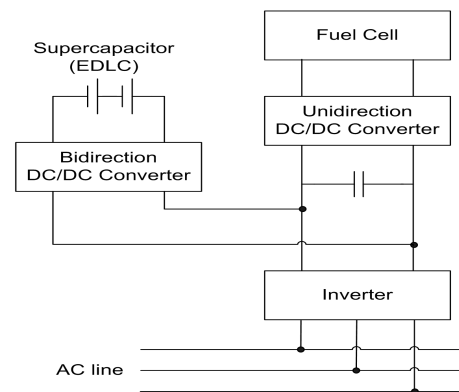


그림 1 시스템 구성도
Fig. 1 System Configuration

2.2 양방향 DC/DC 컨버터의 동작 원리

그림 2는 계통전원 또는 연료전지와 접속된 DC/DC 컨버터로부터 얻어지는 V_{DC} 전압을 이용하여 슈퍼커패시터를 충·방전하기 위한 양방향 DC/DC 컨버터 회로를 나타낸다. 슈퍼커패시터의 전압변동 범위는 25V ~ 50V이며 슈퍼커패시터의 정격전압에 맞는 시스템 구성을 위해 변압비 400 : 60에 5kHz 스위칭 주파수를 가지는 변압기를 사용한다. 슈퍼커패시터측 인덕터 L_0 는 방전 시 슈퍼커패시터의 전압이 감소함에 따라 전류를 부스팅시켜주기 위한 인덕터이다.

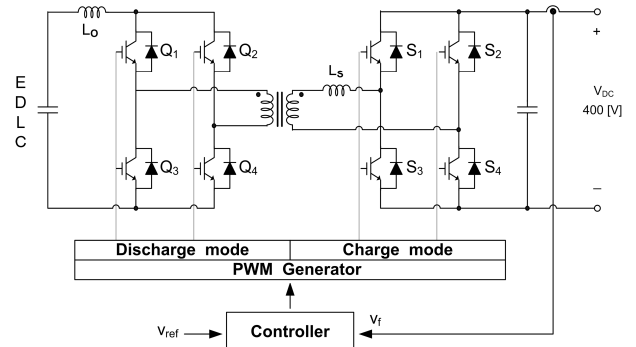


그림 2 EDLC용 양방향 DC/DC 컨버터
Fig. 2 Bidirectional DC/DC converter for EDLC

계통이 안정된 경우 슈퍼커패시터는 연료전지나 계통으로부터 전력을 공급받아 항상 일정 에너지를 저장하고 있다. 만약

급격한 부하 변동으로 DC 링크 전압이 감소할 경우 슈퍼커패시터가 계통으로 전력을 공급하며 연료전지가 정상상태에 도달하면 슈퍼커패시터는 방전을 중단하여 연료전지에서 안정적인 전력을 공급하게 된다.

슈퍼커패시터 충·방전 시 양방향 DC/DC 컨버터는 DC 링크 전압을 피드백 받아 제어기를 통해 충전모드와 방전모드를 결정하고 이에 따라 스위칭 신호를 인가한다. 이때 일정하게 유지되는 1차측 DC 링크 전압에 비해 슈퍼커패시터의 전압은 변동하므로 양방향 DC/DC 컨버터의 충전과 방전 시에는 스위칭 제어방법이 다르다. 그림 3은 충·방전 모드 시 컨버터 스위치의 동작을 나타낸다. 충전 시에는 Phase-shift 스위칭을 사용하여 T_1 과 T_4 구간에서 전력을 전달한다. 방전 시에는 슈퍼커패시터의 전압이 감소하므로 전류를 부스팅시켜야 한다. 이를 위해 슈퍼커패시터측 인덕터를 이용하여 T_1 , T_3 구간에서 전류를 부스팅하여 T_2 , T_4 구간에서 DC 링크측으로 전력을 전달한다. 따라서 한주기 동안 전력은 Q1, Q2에 각각 50%가 전달되므로 스위치 부담이 줄어든다. 또한 충·방전시 반대쪽 스위치는 모두 오프되어 다이오드 정류기로 동작한다.

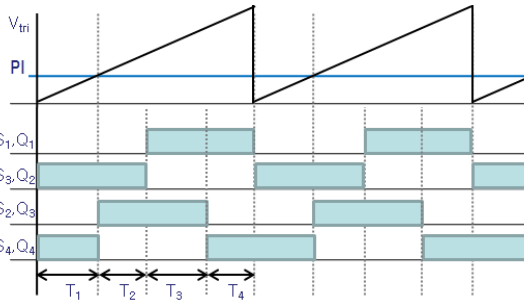


그림 3 충·방전 모드 시 컨버터의 스위칭
Fig. 3 Converter switching for charge and discharge mode

3. 시뮬레이션 결과

표 1은 그림 2의 시스템을 시뮬레이션하기 위한 파라미터를 나타낸다. 이때 실제 사용되는 슈퍼커패시터의 용량은 166 F이지만 시뮬레이션 시간을 단축하여 슈퍼커패시터의 전압강하 특성을 보기 위하여 0.1 F으로 시뮬레이션 하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation Parameter

파라미터		값
EDLC	C	166 F
	R_s	9 mΩ
	R_L	1.4 kΩ
DC Link측 인덕터 L_s		10 uH
L_s 권선 저항		1 Ω
EDLC측 인덕터 L_o		35 uH
L_o 권선 저항		6 mΩ
스위칭 주파수		5 Hz
변압비		400 : 60

시뮬레이션 파라미터를 바탕으로 슈퍼커패시터의 방전 특성을 해석하기 위하여 연료전지와 계통을 등가모델링 하였다. 연료전지는 전압원으로 등가모델링 하였으며 계통은 저항부하로

모델링하였다. 연료전지의 등가회로인 전압원을 이용하여 400 V에서 저항부하가 500 W에서 3 kW로 증가할 경우 DC링크 전압이 최악조건인 300 V로 감소한다는 가정하에 슈퍼커패시터의 방전 특성을 해석하였다.

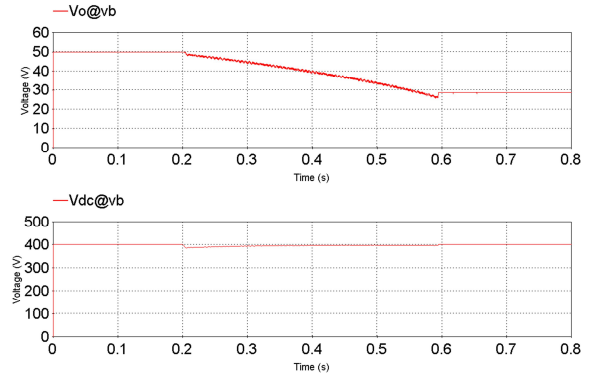


그림 4 부하 변동시 EDLC 전압과 DC 링크 전압 파형
Fig. 4 EDLC and DC link voltage in case of load variation

그림 4는 순간적인 계통 부하 변동 시 슈퍼커패시터의 방전 특성과 DC 링크단 전압을 나타낸다. 연료전지가 정상상태에 도달하기까지의 시간을 0.2~0.6초까지로 가정하였으며, 이 구간에서는 슈퍼커패시터에서 모든 전력을 보상한다고 가정하였다. 그림에서 보듯이 0.2 초에서 부하가 500 W에서 3 kW로 증가할 때 DC 링크단 전압이 감소하는데 이를 슈퍼커패시터에서 거의 일정하게 유지시키는 것을 볼 수 있으며 슈퍼커패시터의 전압은 감소하게 된다. 또한 슈퍼커패시터는 방전을 시작하여 0.6 초에서 방전을 멈추고 연료전지에서 안정적인 전력을 공급하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 연료전지의 전원특성을 보상하기 위한 슈퍼커패시터의 충·방전용 양방향 DC/DC 컨버터의 제어방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다. 시뮬레이션 결과 슈퍼커패시터를 이용한 에너지 저장용 3 kW급 양방향 DC/DC 컨버터가 연료전지의 전원지연특성을 효과적으로 보상하며 DC 링크 전압을 일정하게 유지시킴으로서 계통의 부하 변화에 빠르게 대응 할 수 있음을 확인하였다. 추후 실험을 통해 시스템의 성능을 입증할 계획이다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 2007-P-EP-HM-04-0000)

참고 문헌

[1] 김진영, 정재현, 조원우, 노의철, 김인동, 전태원, 김홍근, “에너지저장용 슈퍼커패시터의 충방전 시스템 설계,” 전력 전자학회 2010년도 전력전자학술대회 논문집 2010.7, pp. 1~2, 2010.

[2] 문중현, 김금수, 이대기, 김동희, “슈퍼커패시터용 충방전 시험 시스템 구현에 관한 연구,” 2010 대한전기학회 제41회 하계학술대회 2010.7, pp. 962~963, 2010.