

# 연료전지와 슈퍼커패시터가 결합된 발전시스템의 대기모드에서 양방향 DC-DC 컨버터의 특성해석

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

## Operating Characteristics Analysis of Bidirectional DC/DC Converter in Idling Mode of Fuel Cell - Supercapacitor Combined System

Jong Gyu Lee\*, Woong Hyub Song\*, Jin Young Kim\*, Eui Cheol Nho\*, In Dong Kim\*,  
 Heung Geun Kim\*\*, Tae Won Chun\*\*\*  
 Pukyong National University\*, Kyungpook National University\*\*, University of Ulsan\*\*\*

### ABSTRACT

This paper deals with the ZVS characteristics of a bidirectional DC/DC converter in idling mode. Simulations are carried out with the supercapacitor which maximum voltage is 50 V. It is found that the ZVS can be achieved as far as the supercapacitor voltage is below 94% of the maximum voltage in idling mode. Therefore, the switching loss in the mode can be small by control the upper limit of the supercapacitor voltage.

### 1. 서론

연료전지와 슈퍼커패시터가 결합된 발전시스템에서 양방향 DC/DC 컨버터<sup>[1]</sup>는 전력의 흐름에 따라 충전모드, 방전모드 그리고 대기모드의 3가지 모드로 동작이 가능하다. 이 중에서 특히 대기모드에서는 평균전력이 영(Zero)이지만 발전시스템에서의 충·방전으로 인하여 슈퍼커패시터와 DC 링크 사이에 전압차가 발생하게 되므로 순환전류가 흐르게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 대기모드의 순환전류와 손실을 분석하고 ZVS<sup>[2]</sup>가 가능한 범위를 파악하여 시스템 효율 향상에 기여하고자 한다.

### 2. 양방향 전력변환회로 및 동작원리

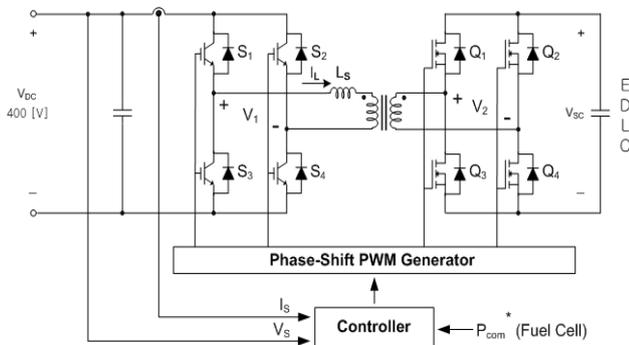


그림 1 양방향 DC-DC 컨버터  
 Fig. 1 Bidirectional DC/DC converter

그림 1과 같은 양방향 DC/DC 컨버터는 스위치 S1~S4 측과 Q1~Q4 측에서의 전압 V1, V2의 Phase Shift 컨트롤로 3가지

동작모드로 운전 될 수 있다. 충전모드는 슈퍼커패시터로 평균 전력이 전달되는 모드이며 방전모드는 슈퍼커패시터로부터 평균 전력이 DC 링크단으로 전달되는 모드이다. 대기모드에서는 평균전력의 충·방전이 없고 순시전력만 순환한다.

양방향 DC/DC 컨버터의 Ls 에 흐르는 전류 iL은 리액터 Ls 와 V1과 V2에 의해 결정되며 아래의 식 (1)과 같다. 여기서 v2'는 변압기 일차측으로 환산된 전압을 의미한다.

$$i_L(t) = \frac{1}{L_S} \int v_L dt = i(0) + \frac{1}{L_S} \int_0^t (v_1 - v_2') dt \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 리액터 Ls는 일정한 값(400[uH])이므로 V1, V2 전압에 의해 전류와 전력의 흐름이 제어된다.

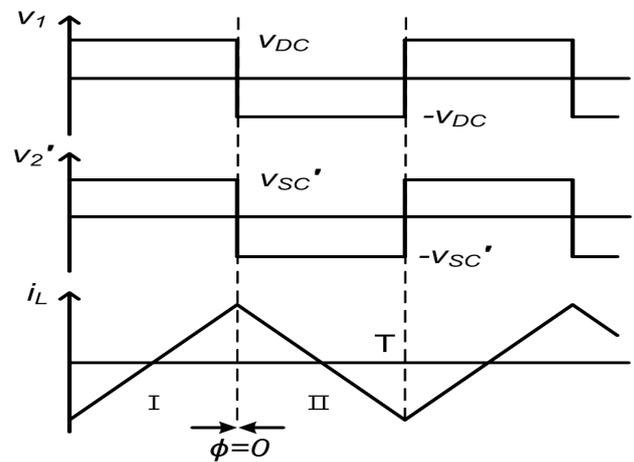


그림 2 대기모드에서의 전압 전류 파형  
 Fig. 2 Voltage and current in idling mode

그림 2는 대기모드에서의 인덕터 전류 iL과 V1, V2의 파형을 나타낸다. 위상차  $\phi$ 가 0인 대기모드에서 V1과 V2'가 동일하면 전력의 흐름이 없다. 그러나 슈퍼커패시터의 충·방전에 의하여 대기모드일 때 완충상태가 아닌 경우가 발생하게 되는데, 이때 V1, V2'의 전압 차이에 의하여 순환전류가 발생하게 된다. 이때의 순환전류는 위의 식 (1)로 계산할 수 있다. 대기모드에서도 전력 손실을 저감하기 위해 ZVS를 할 필요성이 있다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 파형

시뮬레이션은 PSIM으로 하였으며 시스템 파라미터는 표 1 과 같다.

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System parameters

파라미터	값
슈퍼커패시터 전압	50 ~ 25[V]
슈퍼커패시터 용량	166[F]
연료전지 전압	45 ~ 25[V]
DC링크 전압	400[V]
계통 전압	3Φ 220[V <sub>RMS</sub> ]
시스템 용량	3[kW]
$L_s$	400[μH]
권선비	400:50
IGBT 스너버 C	5[nF]
MOSFET 스너버 C	0.1[μF]
데드타임	2[us]

대기모드에서의 순환전류와 그에 따른 ZVS의 특성을 분석하기 위해 EDLC의 전압을 완충 상태인 50V부터 1V씩 감소시키며 시뮬레이션을 실행하였다. 매 조건에서의 인덕터 전류와 스위칭 신호 그리고 스위칭 소자에 흐르는 전류와 전압 파형을 분석하였다.

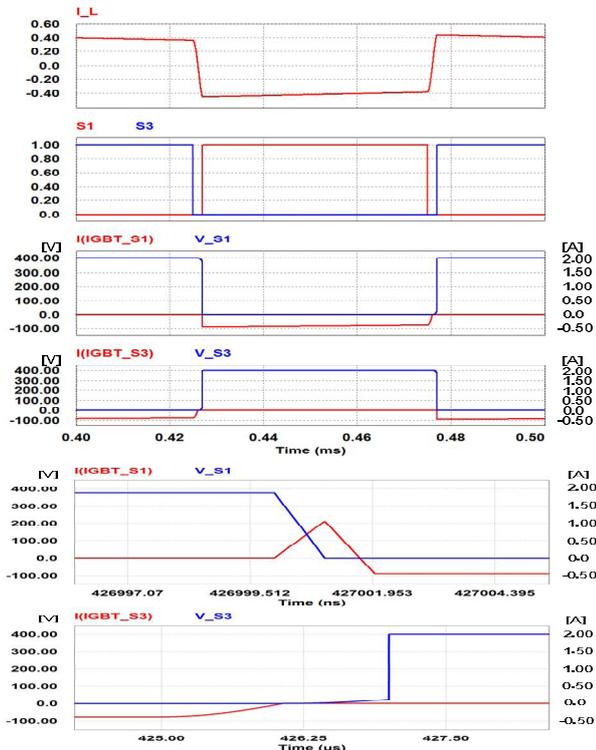


그림 3 대기모드에서 슈퍼커패시터 전압이 50V일 때 인덕터 전류, 스위칭 신호 및 스위칭 소자 전압 전류  
Fig. 3 Inductor current, switching signal, switch voltage and current waveforms in idling mode with EDLC voltage of 50 V

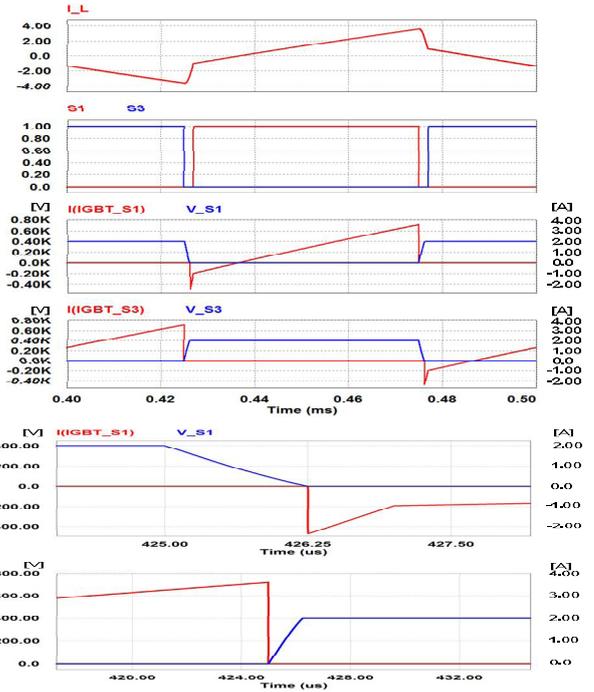


그림 4 대기모드에서 슈퍼커패시터 전압이 45V일 때 인덕터 전류, 스위칭 신호 및 스위칭 소자 전압 전류  
Fig. 4 Inductor current, switching signal, switch voltage and current waveforms in idling mode with EDLC voltage of 45 V

그림 4와 5에서 슈퍼커패시터의 전압이 50V일 때는 ZVS가 되지 않으나 45V에서는 ZVS가 가능함을 알 수 있다. 이는 순환전류의 크기에 의해 ZVS 조건이 충족되기 때문이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 연료전지와 슈퍼커패시터가 결합된 발전시스템에서 대기모드에서의 동작특성과 ZVS 조건에 대하여 분석하였다. 슈퍼커패시터의 최대충전을 47V로 제한 한다면 대기모드에서 항상 ZVS가 가능하여 스위칭손실을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구 결과는 가변전압 특성을 갖는 양방향 DC/DC 컨버터의 설계에 활용 가능할 것으로 기대된다.

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

### 참고 문헌

- [1] Dehong Xu, Chuanhong Zhao, Haifeng Fan, "A PWM Plus Phase Shift Control Bidirectional DC DC Converter," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 19, No. 3, pp. 666 675, May 2004.
- [2] Haimin Tao, J. L. Duarte, M. A. M. Hendrix, "Three Port Triple Half Bridge Bidirectional Converter With Zero Voltage Switching," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 23, No. 2, pp. 782 792, March 2008.