

슈퍼커패시터용 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터의 손실 최소화 기법

이종규*, 송웅협*, 노의철*, 김인동*, 전태원**, 김흥근***
 부경대학교*, 울산대학교**, 경북대학교***

Loss Minimization of Dual Full-Bridge Bidirectional DC-DC Converter for Supercapacitor

Jong-Gyu Lee*, Woong-Hyub Song*, Eui-Cheol Nho*, In-Dong Kim*, Tae-Won Chun**, Heung-Geun Kim***

Pukyong National University*, University of Ulsan**, Kyungpook National University***

ABSTRACT

This paper deals with the minimization of switching loss of a dual full-bridge bidirectional DC-DC converter for supercapacitor. In case of charging mode the switching loss can be minimized with proper switching pattern, and the switching loss in discharging mode can be minimized with soft switching. Simulation results show that the switching loss is reduced considerably.

1. 서론

신재생에너지원의 여러 발전시스템에서 응답특성이 느린 경우 계통이나 부하의 급변에 빠르게 대응하지 못하여 전력품질을 저하시킬 수 있다. 그러므로 응답특성이 빠른 보상장치가 필요하다. 그 중 슈퍼커패시터는 장 수명, 높은 충전효율 등과 같은 장점으로 인하여 각광받고 있는 보상장치 중 하나이다. 이를 효과적으로 사용하기 위하여 양방향 DC-DC 컨버터가 필요하다. 본 논문에서는 Dual Full-Bridge^[1] 양방향 DC-DC 컨버터의 손실을 최소화 하기위한 방법을 제시하고자 한다.

2. Dual Full-Bridge 회로 및 스위칭 손실

2.1 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터 회로

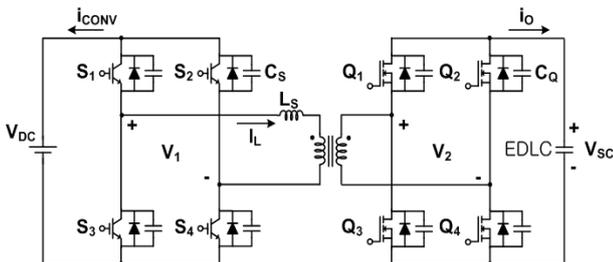


그림 1 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터
 Fig. 1 Dual Full-Bridge bidirectional DC-DC converter

슈퍼커패시터의 충·방전을 위한 양방향 DC-DC 컨버터 topology는 그림 1과 같으며 이 컨버터는 스위치 S1~S4 측과 Q1~Q4 측에서의 전압 V1, V2 의 Phase-Shift 컨트롤로 동작되며 아래 식 (1)과 같이 V1과 V2에 의해 전류와 전력의 흐름이 제어된다. 여기서 v2'는 변압기 일차측으로 환산된 전압을 의미한다.

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

그림 1의 충전모드시에는 [2]에서 제안한 기법을 적용하면 스위칭 손실을 거의 없앨 수 있다. 따라서 본 논문에서는 방전 모드시 스위칭 손실을 최소화 하는 방법을 고찰한다.

2.2 Dual Full-Bridge 컨버터의 방전모드 스위칭

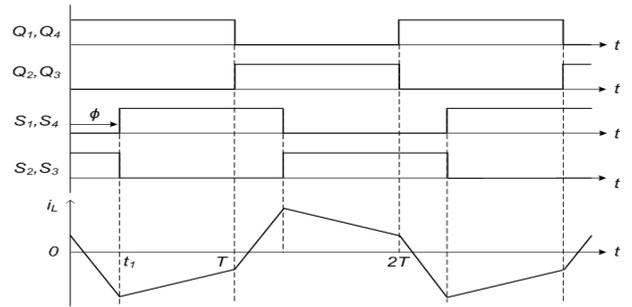


그림 2 방전모드에서 스위칭 파형과 인덕터 전류
 Fig. 2 Switching pattern and inductor current in discharging mode

방전모드에서는 DC-Link 쪽의 지령에 따라 제어되어야 하므로 그림 2와 같은 스위칭 패턴을 사용한다. S1~S4의 스위칭과 Q1~Q4의 스위칭은 기본적으로 동일하므로 우선 S1~S4의 스위칭을 분석한다. 일반적으로 스위치의 온/오프시 발생하는 스위칭 손실은 그림 3으로 설명 할 수 있다.

그림 3에서 Vsw와 Isw는 각각 스위치 전압과 전류를 의미하며 Vsw와 Isw가 교차하는 삼각형의 넓이가 스위칭 손실이 된다. 따라서 스위치가 온 오프 되는 동안에 소비되는 에너지 Ps는 식 (2)와 같다.

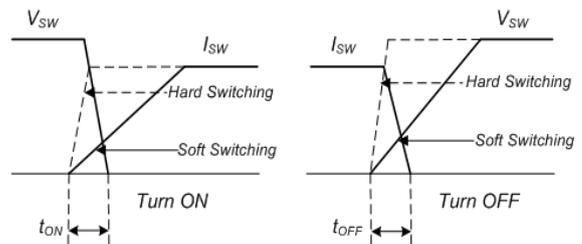


그림 3 하드 스위칭과 소프트 스위칭
 Fig. 3 Hard switching and soft switching

$$P_S = \frac{1}{2} \times V_{SW} \times I_{SW} \times f_{SW} \times (t_{ON} + t_{OFF}) \quad (2)$$

여기서 f_{SW} 는 스위칭 주파수를 나타낸다.

식 (2)의 스위칭 손실을 최소화 하려면 V_{SW} 와 I_{SW} 로 이루어지는 삼각형의 면적을 최소화 한다. 그림 3에서 점선은 하드 스위칭을 의미하며 실선은 손실을 최소화한 경우를 의미한다. 실선과 같이 되도록 하기 위하여 스너버 C_S 와 C_Q 를 각각 IGBT와 MOSFET에 병렬로 추가하게 되는데 이때 C_S 와 C_Q 의 값은 식 (3)을 참조하여 선정한다.

$$V_{SW} = \frac{1}{C_{(S,Q)}} \int i \cdot dt = \frac{1}{C_{(S,Q)}} I \cdot t \quad (3)$$

식 (3)의 C_S 와 C_Q 의 값을 적절한 값으로 선정하게 되면 그림 3에서의 V_{SW} 의 기울기를 완만하게 하여 스위칭 손실을 저감시킬 수 있다. 식 (3)을 참고하여 기울기가 최소화 되도록 $C_S=2$ [nF], $C_Q=704$ [nF] 선정하였다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 PSIM으로 하였으며 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameters

파라미터	값
슈퍼커패시터 전압	50 ~ 25 [V]
슈퍼커패시터 용량	166 [F]
DC링크 전압	400 [V]
시스템 용량	1 [kW]
L_S	400 [μ H]
권선비	400:50
IGBT	SKM 40GD123D
MOSFET	SKM 180A020
IGBT 스너버 C	2 [nF]
MOSFET 스너버 C	704 [nF]
데드타임	2 [μ s]

그림 4는 그림 1의 회로에 대하여 표 1의 파라미터를 적용한 경우 방전모드시 각각의 스위치 온/오프 파형과 인덕터 전류 파형을 나타낸다.

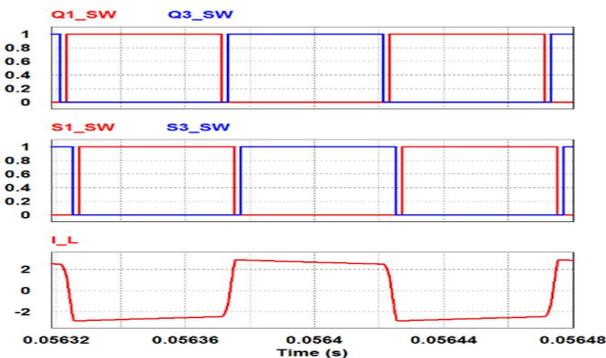
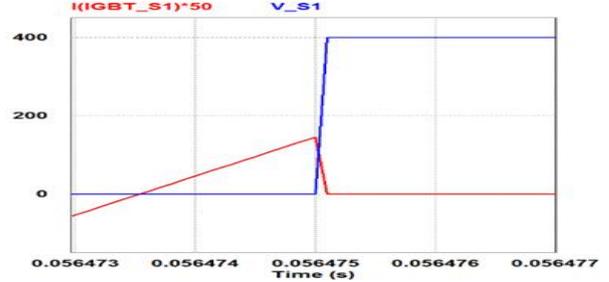
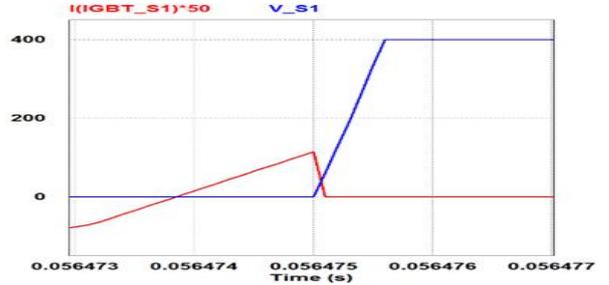


그림 4 방전모드시 스위칭 파형 및 인덕터 전류
Fig. 4 Inductor current and switching signal waveforms in discharging mode

그림 5는 방전모드시 하드 스위칭과 소프트 스위칭의 경우 스위치 S_1 의 전압과 전류파형을 나타낸다. S_1 에 2 [nF]의 스너버 커패시터를 추가하여 스위치 턴오프시 스위치 전압 상승 기울기를 1/7로 감소시켰으며 이때 스위칭 손실은 1/200배 이하로 줄어들음을 알 수 있다.



(a) 하드 스위칭



(B) 소프트 스위칭

그림 5 방전모드시 S_1 의 하드 스위칭 및 소프트 스위칭
Fig. 5 Hard switching and soft switching of S_1 in discharging mode

4. 결론

본 논문에서는 슈퍼커패시터의 충방전을 위한 Dual Full-Bridge 양방향 DC-DC 컨버터의 스위칭 손실 저감에 대한 기법을 고찰 하였다. 충전모드시에는 스위칭 손실이 발생하지 않도록 하는 스위칭 기법을 적용하며 방전모드시에는 소프트 스위칭이 되도록 하여 스위칭 손실이 최소화 되도록 하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 결과입니다. (NO. 2010T100100465)

참고 문헌

[1] Cuadros, C, Lin, C.Y, Boyevich, D, Watson, R, Skutt, G, Lee, F.C, Ribardiere, P, "Design procedure and modeling of high power, high performance, zero-voltage zero-current switched, full-bridge PWM converter," APEC '97, Twelfth Annual, 790 - 798 vol.2, 23-27 Feb 1997.
[2] 송웅협, 정재현, 김진영, 노의철, 김인동, 김홍근, 전태원, "연료전지 응답특성 보상용 슈퍼커패시터 에너지 저장 시스템", 전력전자학회 논문지 제16권 제5호, pp. 415-531 2011.10.