

3상 인터리브드 양방향 DC-DC컨버터의 DCM구동시 손실 저감을 위한 스위칭 기법

서보길, 정재현, 노의철, 김인동, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

A Switching Method for Loss Reduction in DCM Operation of 3-Phase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter

Bo Gil Seo, Jae Hun Jung, Eui Cheol Nho, In Dong Kim,
*Heung Geun Kim, **Tae Won Chun

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

ABSTRACT

본 논문은 DCM(Discontinuous Conduction Mode)로 동작하는 3상 인터리브드 양방향 DC DC컨버터를 다룬다. 전류 리플을 줄이기 위해 3상 인터리브드 방식을 이용하였으며 소프트 스위칭 조건을 확보하기 위해 DCM동작을 한다. DCM동작시 스위칭 손실을 분석하고 이를 저감하기 위하여 새로운 스위칭 기법을 제시하며 실험으로 유용성을 입증한다.

1. 서론

최근 온실가스배출규제에 따라 전기자동차에 대한 관심이 증가하고 있다. 현재 전기자동차의 가장 큰 문제점으로 짧은 항속거리를 들 수 있는데 전기자동차의 배터리를 충·방전하는 양방향 DC DC 컨버터의 고효율화는 전기자동차의 항속거리의 연장과 직관되어 있어 양방향 DC DC 컨버터의 고효율화에 대한 연구가 다방면으로 진행되고 있다.

본 논문에서는 3상 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터를 다루었다. DC DC 컨버터가 DCM으로 동작하는 경우에 발생하는 손실을 실험을 통하여 분석하였으며 이를 보완하기 위해 새로운 스위칭 방식을 제시한다.

2. 양방향 DC-DC 컨버터

2.1 양방향 DC-DC 컨버터의 구성 및 동작원리

본 논문에서 다루는 컨버터^[1]의 회로는 그림 1과 같다. V_{DC} 는 계통연계형 인버터의 DC link단 전압으로 크기는 400V이다. V_B 는 배터리 혹은 슈퍼커패시터와 같은 에너지 저장 소자로서 충전과 방전 동작에 따라 200V~280V로 가변 된다. 또한 선로에 의한 표류 인덕턴스를 최소화하기 위해서 6개의 스위치가 1개의 모듈에 들어있는 소자를 사용하여 시스템을 구성하였다. 각 폴의 하단 스위치(S_{a2} , S_{b2} , S_{c2})에 스너버 커패시터를 병렬로 연결하여 충전·방전 모드에서 스위치가 모두 턴 온 시에는 ZVS, ZCS, 턴 오프 시에는 ZVS가 되도록 하였다.

양방향 DC DC컨버터의 동작은 DC Link단에서 배터리로 에너지를 전달하는 충전모드와 배터리에서 DC Link단으로 에너지를 전달하는 방전모드로 나눌 수 있다. 먼저 충전모드는

Buck 컨버터로 동작하는데 상단 스위치(S_{a1} , S_{b1} , S_{c1})는 듀티를 조절하고 하단 스위치는 오프 상태를 유지하면서 다이오드로 동작한다. 그리고 방전모드는 Boost 컨버터로 동작하며 충전모드와 달리 하단 스위치가 듀티를 조절 하고 상단 스위치는 오프상태를 유지하며 다이오드로 동작한다.

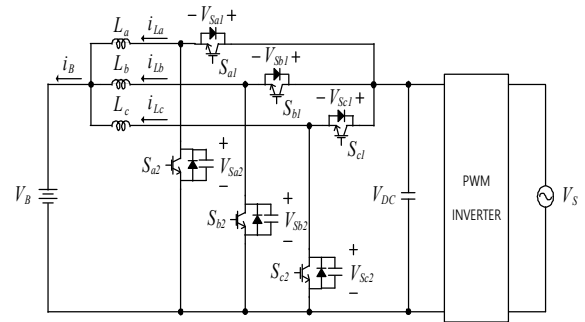
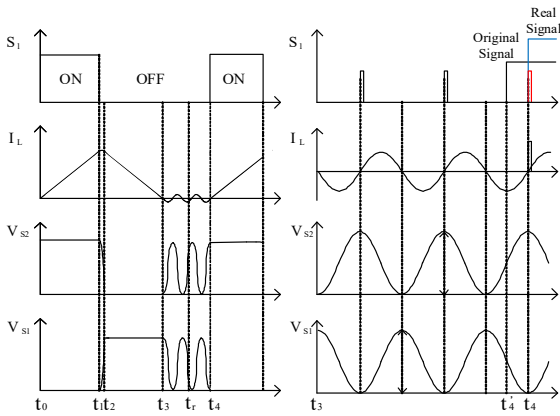


그림 1 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터 회로
Fig. 1 3-phase interleaved bidirectional DC-DC converter circuit

2.2 충전모드에서 스위칭 손실 분석

그림 2는 충전모드에서 스위칭 신호 파형과 전압 및 인덕터 전류를 나타낸다. 그림 2(a)는 인덕터 전류 I_L 의 한주기에 해당하는 $t_0 \sim t_4$ 구간을 나타낸 파형이고 그림 2(b)는 그림 2(a)의 $t_3 \sim t_4$ 구간을 확대한 파형이다. 그림 2(a)의 t_1 시점에서 S_1 스위치가 턴 오프 될 때 V_{S1} 파형을 보면 S_1 스위치의 ZVS 동작이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 전류가 영점에 도달한 후인 $t_3 \sim t_4$ 구간에서는 V_B 와 인덕터 그리고 S_2 스위치에 병렬로 접속된 커패시터를 통하여 공진전류가 흐르는데 만약 V_{S1} 이 영이 아닌 t_r 지점에서 S_1 스위치가 턴 온 하게 되면 V_B 와 V_{S2} 전압의 차이에 의한 큰 공진 전류가 흐르게 되어 스위칭 손실이 발생한다. 이러한 스위칭 손실을 줄이기 위해서 S_1 스위치에 영전압이 인가되는 순간인 t_4 에서 스위칭 신호를 생성한다. 따라서 스위치가 턴 온 할 때 ZVS, ZCS가 되어 스위칭 손실을 줄일 수 있다.



(a) $t_0 \sim t_4$ section waveforms (b) extended waveforms in $t_3 \sim t_4$ section

그림 2 충전모드에서 스위치 신호, 전압 및 인덕터 전류 파형
Fig. 2 switch signal, voltage and inductor current waveform in charging mode

2.3 스위칭 신호 생성

컨버터의 스위칭 주파수는 20kHz로 고정되어있다. 하지만 스위칭 주파수에 맞춰서 스위칭을 할 경우 V_{SI} 이 0이 되는 시점인 그림 2 (b)의 t_4 시점에서 스위칭 신호를 생성하기 어렵다. 그림 2 (b)의 t_4 시점은 스위칭 주파수를 만족 할 때의 시점이며 t_4 는 t_4 시점을 지난 후 ZVS, ZCS 동작조건이 확보 되어 실제 신호가 생성되는 시점이다. t_4 시점에서 스위칭 신호를 생성하기 위해서 스위칭 주파수를 만족하는 t_4 시점에의 신호(Original Signal)와 I_L 의 전류와 영점을 비교한 신호(Real Signal)가 동시에 MCU에 입력되었을 때 스위칭 신호를 생성한다.

3. 실험결과

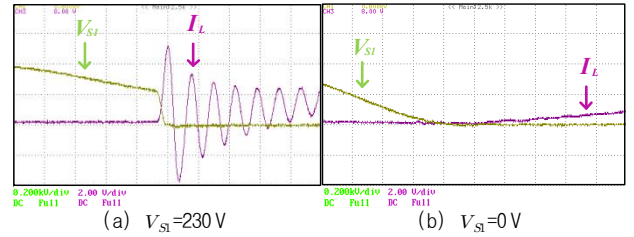
표 1은 실험한 시스템의 파라미터 값들을 나타낸다. 인덕터는 500 uH의 값을 가지고 S_2 스위치에 병렬로 접속된 커패시터는 2.2 nF의 값을 가지므로 공진주파수는 약 150 kHz이다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 system parameters

Parameter	Value
V_{DC}	400 [V]
V_B	200 ~ 280 [V]
f_{sw}	20 [kHz]
L	500 [uH]
C	2.2 [nF]

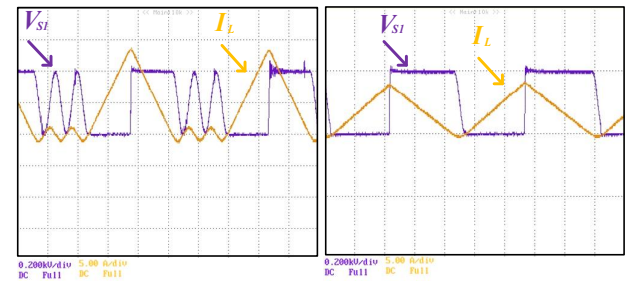
그림 3은 턴 온 시점에서 V_{SI} 에 전압이 인가 되었을 때와 전압이 인가 되지 않았을 때의 파형을 비교한 그림이다. 그림 3 (a)는 V_{SI} 에 230 V의 전압이 인가되어 있을 경우 이며 그림 3 (b)는 V_{SI} 에 전압이 인가되지 않았을 때이다. 그림 3(a)의 I_L 전류는 스위칭 순간 급격하게 상승하여 스위칭 손실이 큰 반면 그림 3(b)의 I_L 전류는 낮은 기울기로 상승하여 스위칭 손실이

작음을 확인 할 수 있다.



(a) $V_{SI}=230V$ (b) $V_{SI}=0V$
그림 3 턴 온 시 스위치 전압, 인덕터 전류 측정파형
Fig. 3 measured waveforms of switch voltage and inductor current at turn-on

그림 4는 실험을 통하여 측정된 파형으로 1kW와 3kW로 V_B 를 충전하는 경우에 인덕터 전류와 S_1 스위치에 걸리는 전압 파형을 나타내었다.



(a) 1 kW (b) 3 kW
그림 4 인덕터 전류, 스위치 전압 측정파형
Fig. 4 measured waveforms of inductor current and switch voltage

4. 결론

본 논문은 새로운 스위칭 방법을 이용한 3상 인터리브드 양방향 DC DC컨버터에 대해 다루었다. 손실을 최소화하기 위하여 턴 온시 ZCS, ZVS 동작이 모두 가능한 새로운 스위칭 방법을 제시하였으며 실험으로 제시한 스위칭 방법의 효율성을 입증하였다. 제안한 스위칭 방법은 양방향 DC DC 컨버터의 고효율화 구현에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO. 20111020400260)

참고 문헌

[1] 권창근, 정재현, 노의철, 김인동, 김홍근, 전태원, “전기자동차 배터리 충전전용 양방향 DC DC 컨버터의 고효율화”, 전력전자학회 2012년도 전력전자 학술대회 논문집, 2012.7, pp. 17-18.