

배터리 전압 변동의 전 범위에서 소프트 스위칭이 가능한 스위칭 기법

선다운, 서보길*, 김학수, 정재현, 노의철, 김흥근**, 전태원***
 부경대학교, LG전자*, 경북대학교**, 울산대학교***

Switching Method Providing Soft Switching through Full Range of Battery Voltage

Daun Sun, Bo Gil Seo*, Hak Soo Kim, Jae Hun Jung, Eui Cheol Nho, Heung Geun Kim**,
 Tae Won Chun***

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

ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 전압 변동을 가지는 에너지 저장장치의 효율을 높이기 위한 새로운 스위칭 기법을 제안한다. 배터리 입력력 전류리플을 줄이기 위하여 3상 인터리브드 방식을 사용하였다. 중부하시 배터리 전압 크기와 부하 변동에 따라 주파수를 가변하여 출력 전력을 제어한다. 그리고 경부하시 스위칭 주파수를 고정하고 듀티를 제어하여 출력 전력을 제어한다. 제안하는 스위칭 기법을 적용한 시스템의 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근 스마트 그리드를 구성하는 전력변환장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 계통과 에너지 저장장치를 연계하기 위한 전력 변환 장치 개발의 필요성이 증가하고 있다. ESS (Energy storage system)에 사용되는 전력 변환 장치는 배터리 충·방전의 효율 향상과 리플 전류 저감을 위하여 다방면에서 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 에너지 저장장치의 넓은 전압 변동을 고려한 소프트 스위칭 기법을 제안한다. 그림 1에 나타낸 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터는 배터리 전압 변동에 따라 스위칭 주파수 혹은 듀티를 제어하는 스위칭 기법이 적용되었으며, ZVS 스위칭을 통하여 시스템의 출력 효율을 높이고 스위칭 손실을 저감하였다.

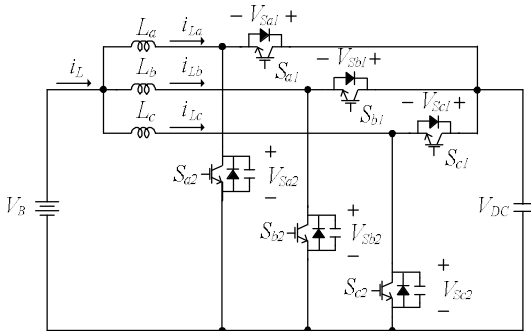


그림 1 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터 회로
 Fig. 1 3-phase interleaved bidirectional DC-DC converter circuit

2. 제안하는 스위칭 기법

2.1 시스템 동작원리

그림 2는 본 논문에서 다루는 시스템의 단상 회로도이다. 시스템 파라미터는 표 1과 같으며 회로 하단 스위치에 병렬로 커패시터를 연결하여 스위치 턴 온 시 ZVS와 ZCS, 턴 오프 시 ZVS 스위칭이 가능하도록 설계 되었다. 배터리 충전 시 상단의 스위치가 스위칭 하여 Buck 컨버터로 동작하고, 방전 시 하단의 스위치가 스위칭 하여 Boost 컨버터로 동작한다. 이때 각 스위치의 듀티를 조절하여 양방향 동작이 가능하게 한다.

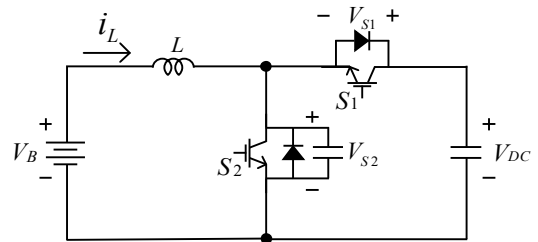


그림 2 충방전 시스템의 단상 회로도
 Fig. 2 Single-phase circuit of the system

표 1 시스템 파라미터
 Table 1 system parameters

Parameter	Value
V_{DC}	400 [V]
V_B	176 ~ 280 [V]
L	1 [mH]
C	2.2 [nF]
P_{rated}	3 [kW]
f_{sw} (frequency for mode change)	20 [kHz]

2.2 주파수 제어

2.2.1 $2V_B > V_{DC}$ 인 경우

중부하 동작 시 인덕터 전류 i_L 과 배터리 전압 V_B 값을 검출하여 주파수를 제어한다. 방전 동작은 i_L 이 영이고, 그림 2의 스위치 S_1 과 S_2 가 오프인 상태에서 시작한다. 상단 스위치 S_1 을 턴 온하면 S_1 은 ZVS 및 ZCS가 된다. 인덕터에는 V_{DC} 와

V_B 의 차이만큼 전압이 인가된다. $V_B < V_{DC}$ 이므로 i_L 이 선형적으로 감소한다. i_L 이 일정 값에 도달하면 S_1 을 턴 오프 한다. 이때 S_1 은 ZVS가 된다. LC 직렬 공진이 발생하여 ZVS 용 커패시터의 전압 V_{S2} 가 V_{DC} 에서 영전압이 되면, i_L 이 S_2 의 역병렬 다이오드로 흐른다. i_L 의 전류가 0인 지점에서 S_2 를 턴 온 하면 ZVS 및 ZCS가 된다. 이 때 i_L 은 ZVS 커패시터의 에너지를 방전시켜주는 전류로 이용된다. 인덕터 전류 i_L 은 선형적으로 증가하고 일정 값에 도달하게 되면 S_2 가 ZVS 턴 오프 한다. 이 때 다시 LC 직렬 공진이 발생하고, V_{S1} 이 V_{DC} 에서 영전압으로 감소하면 i_L 이 S_1 의 역병렬 다이오드로 흐른 후 0인 지점에서 S_1 의 ZVS 및 ZCS 턴 온이 가능하다.

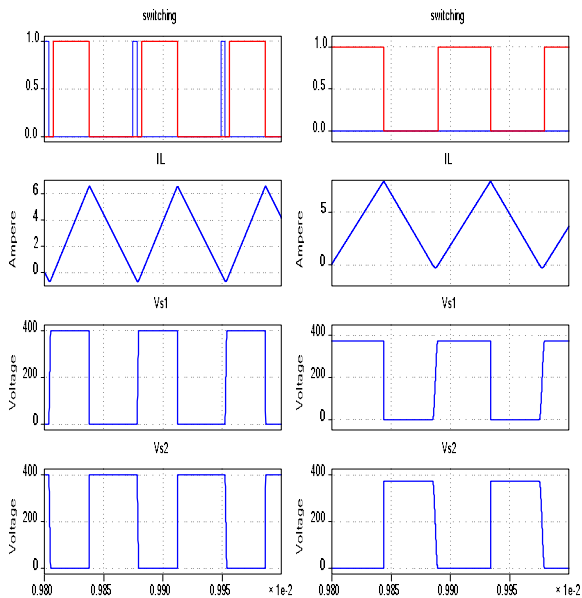
2.3.2 $2V_B \leq V_{DC}$ 인 경우

ZVS용 커패시터의 전압 V_{S2} 에 V_{DC} 가 인가 되어 있고, 인덕터 전류 i_L 이 일정값에 도달하면 S_1 을 턴 오프하고 $2(V_{DC} - V_B)$ 만큼의 LC 직렬공진이 발생하게 된다. 이 때, 배터리 전압 값이 V_{DC} 전압의 절반보다 작을 경우 공진전압 $2(V_{DC} - V_B)$ 의 값이 V_{DC} 보다 크기 때문에 방전 전류 없이도 ZVS 스위칭이 가능하므로 S_1 의 스위칭 생략이 가능하다.

2.3 듀티 제어

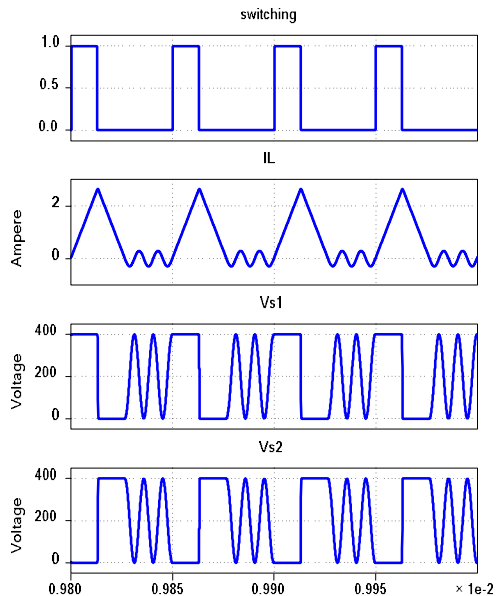
전력이 작은 경우하에서는 주파수 가변 스위칭 방식을 이용하면 스위칭 주파수가 매우 커진다. IGBT의 사용을 위해서는 스위칭 주파수를 제한 할 필요가 있기 때문에, 스위칭 주파수를 20[kHz]로 고정시키고 듀티 제어를 이용한 스위칭 기법을 이용한다.

3. 시뮬레이션



(a) $V_B = 220$ [V], $P_o = 2000$ [W]

(b) $V_B = 180$ [V], $P_o = 2000$ [W]



(c) $V_B = 200$ [V], $P_o = 600$ [W]

그림 3 방전 시 시뮬레이션 파형

Fig. 3 Simulation waveform in discharge mode

4. 결론

본 논문에서는 에너지 저장 장치의 넓은 전압 변동을 고려한 소프트 스위칭 기법을 연구 하였다. 중부하시 부하 변동에 따른 주파수 제어로 출력 효율을 향상 시켰으며, 배터리 전압크기에 따른 스위칭 모드 변화로 스위칭 손실을 줄였다. 경부하시 스위칭 주파수의 최대값에 제한을 두어 스위치 파손에 대한 부담을 감소시켰다. 제안하는 스위칭 기법을 3상 인터리브드 DC DC컨버터에 적용하여 효율을 극대화 하는데 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] Junhong Zhang, Jih Sheng Lai, Rae young Kim, Wensong Yu, "High power density design of a soft switching high power bidirectional DC DC converter," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 22, No. 4, pp. 1145-1153, 2007, Jul.

[2] J. B. Baek, W. I. Choi, B. H. Cho, "Digital Adaptive Frequency Modulation for Bidirectional DC DC Converter," IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 11, pp. 5167-5176, 2013, Nov.