

단일 스테이지 양방향 배터리 충방전기

신태웅¹, 강제훈¹, 최승원¹, 이일운¹, 이준영¹, 홍성수²
 명지대학교 전기공학과¹, 국민대학교 전자공학과²

Single-stage bi-directional battery charger

Tae-woong Shin¹, Jae-hun Kang¹, Seung-won Choi¹, Il-Oun Lee¹, Jun-Young Lee¹ and
 Sung-Soo Hong²
 Myongji University¹, Kookmin University²

ABSTRACT

본 논문에서는 단일 스테이지 양방향 배터리 충방전용 센터-탭 액티브 클램프 포워드 DC-DC 컨버터를 제안한다. 포워드 컨버터의 액티브 스위치의 전압 스트레스를 줄이려면 보조 스위치와 클램프 커패시터는 변압기 누설에 저장된 에너지를 재활용하여 동작하며 양방향으로 동작하는 센터-탭 포워드 파형을 분석하였다. 또한 단일 스테이지 양방향 컨버터로서 여러 개의 모듈을 병렬로 연결하여 확장시킬 수 있는 점을 검토하였다.

1. 서론

최근 배터리 시장의 수요가 상승하면서 배터리 충방전 테스트에 대한 관심이 높아졌다. 현재 배터리 테스트를 위한 충방전기의 크기와 효율이 중요하게 요구되어 진다. 따라서 크기가 작고 효율이 유사한 포워드 컨버터를 제안한다.

절연형 배터리 충방전기의 토폴로지는 대표적으로 DAB 컨버터가 존재하며, 해당 컨버터의 단점으로는 출력전압에 따른 효율 변동이 있다. 따라서 효율을 높이기 위해 2단으로 구성하여 효율을 상승시키는데 본 논문에서는 2단으로 구성하는 컨버터를 단일 스테이지로 구성하여 유사한 효율을 가지면서 소형화 가능한 컨버터를 제안하며 215W급 절연형 배터리 충방전기 시제품을 제작하여 검토하였다.^[1]

2. 본론

2.1 시스템 구성 및 동작 원리 설명

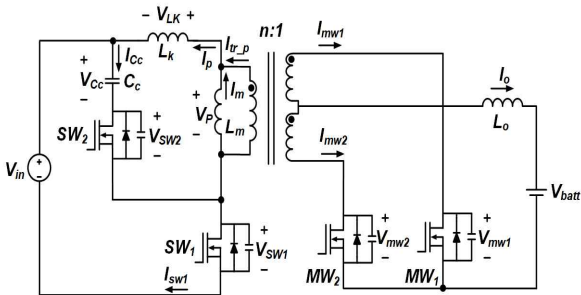


그림 1 Active clamp Forward Converter

2.1.1 정방향 동작

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$) : SW₂ 와 MW₁이 동시에 ON 상태이며 인덕터 전류가 모두 MW₁을 통해 흐르는 구간이다. 해당 구간은 SW₂가 도통되어 있으므로 L_M과 L_K 값에 따라서 전압이 분배가 되며 I_p는 0을 중심으로 음에서 양으로 상승한다.

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$) : SW₂ 이 OFF가 되고 MW₁이 ON이

되는 구간이다. 해당 구간에는 MW₁과 MW₂가 동시에 ON이 되어 있는 구간이며 V_p는 0 이 되어 I_m이 일정하게 유지된다.

Mode 3 ($t_3 \leq t < t_4$) : MW₁이 OFF가 되면 해당 구간이 시작 된다. Mode 2에서 생성된 I_p전류가 SW₁과 SW₂의 기생커패시턴스와 L_K가 공진을 하며 SW₁의 양단전압을 0으로 하강시킨다. 이 구간에서는 V_p는 0을 유지한다.

Mode 4 ($t_4 \leq t < t_5$) : I_p가 SW₁의 바디다이오드를 흐르는 동안 SW₁이 켜지면 ZVS가 완성이 된다. 해당 구간에서는 V_{LK}에 입력전압 V_{in}이 역으로 인가되므로 I_p전류는 하강한다.

Mode 5 ($t_5 \leq t < t_6$) : I_{MW1}은 0이 되고 I_{MW2}가 -I_o가 되면 해당 구간이 시작이 된다. 이 구간에서는 V_{in}은 L_M과 L_K의 값에 따라 V_{P1}과 V_{LK}로 분배된다.

Mode 6 ($t_6 \leq t < t_7$) : SW₁이 OFF되고 MW₁이 ON 상태이며 2차 측 스위치가 모두 도통되어 있으므로 V_p=0이 된 상태에서 Mode 2와 같이 공진형태로 SW₂의 기생커패시턴스 방전과 SW₁의 기생커패시턴스 충전이 된다. 이때 충방전이 완료 되면 해당 구간이 종료된다.

Mode 7 ($t_7 \leq t < t_8$) : SW₂의 기생커패시턴스가 완전히 방전되어 바디다이오드가 도통되는 상태이며 SW₂스위치가 ON 되면 ZVS조건이 형성된다. 이때 I_{MW1}이 -I_o까지 감소하면 해당 구간이 종료된다.

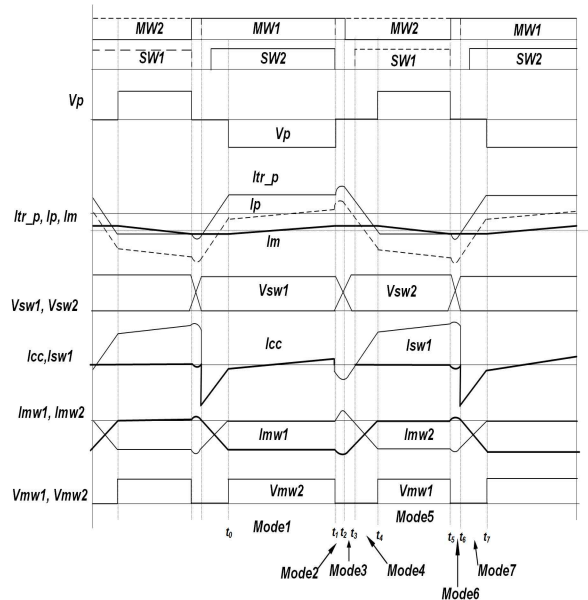


그림 2 정방향 동작 파형

2.1.2 역방향 동작

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$) : MW_1 이 켜져 있는 상태에서 SW_2 가 켜지면서 시작된다. 정방향 동작 Mode 1과 동일하게 I_p 는 0을 중심으로 음에서 양으로 상승한다.

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$) : SW_2 가 OFF되고 MW_2 가 ON이 되면서 시작한다. 해당 구간은 MW_1 과 MW_2 가 동시에 ON되어 있는 구간이므로 V_p 는 0이 되어 I_M 이 일정하게 유지된다. 따라서 I_p 전류의 증가는 $I_{tr,p}$ 전류 크기 감소를 유발하여 동작과정에서 보이듯이 I_{MW1} 은 감소하고 I_{MW2} 는 증가한다. MW_1 을 OFF시킬 때 MW_1 의 기생커패시턴스 충전전류를 감소시켜 V_{MW1} 의 전압 서지를 줄여주는 효과가 있으며 SW_1 양단의 기생커패시턴스를 충분히 크게 유지해야 한다.

Mode 3 ($t_3 \leq t < t_4$) : MW_1 이 OFF되면 해당 구간이 시작 된다. MW_1 이 OFF되면 인덕터 전류는 MW_2 를 통해서 흐르게 되고 이로 인해 $I_{tr,p}$ 는 I_0/n 으로 급격히 전환된다. 이 때 $I_{tr,p}$ 와 I_M 의 평균값이 같아서 I_p 전류는 큰 양의 값을 갖게 되어 SW_1 양단 전압을 급격하게 0으로 하강시켜 바디다이오드를 통해 흐른다.

Mode 4 ($t_4 \leq t < t_5$) : MW_2 가 도통되어 있는 동안 MW_1 이 도통되고 SW_1 이 차단되면 해당 구간이 시작된다. 이 구간은 I_{MW1} 은 증가하고 I_{MW2} 는 감소하면서 V_p 는 여전히 0을 유지한다.

Mode 5 ($t_5 \leq t < t_6$) : I_p 가 감소하다가 0이 되면 해당 모드가 시작하며 V_{SW1} 의 기생 커패시턴스 충전과 V_{SW2} 의 기생커패시턴스의 방전이 시작되어 I_p 전류는 음의 공진 전류가 발생한다.

Mode 6 ($t_6 \leq t < t_7$) : MW_2 가 OFF되면 시작이 된다. MW_2 는 Mode 5에서 음의 전류를 유지하고 있으므로 MW_2 가 OFF되어도 MW_2 의 바디다이오드가 도통되어 $V_p=0$ 을 유지하며 V_{SW1} 기생커패시턴스 충전과 V_{SW2} 의 기생커패시턴스의 방전 동작도 유지된다.

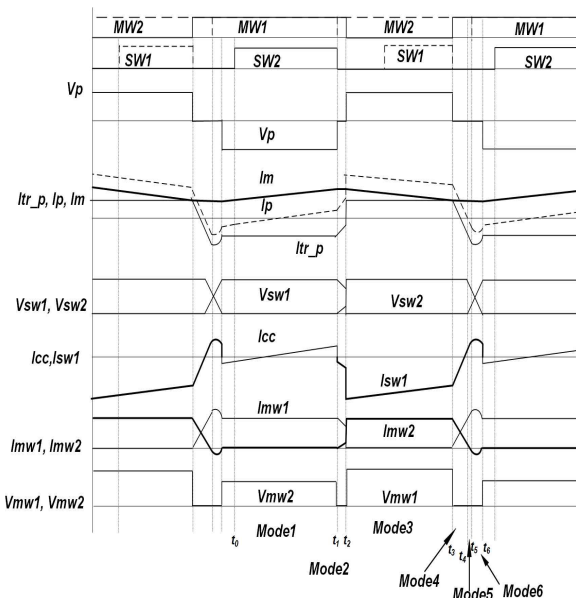


그림 3 역방향 동작 파형

3. 실험 결과

본 논문에서는 단일 스테이지 증방전기로 센터-탭 방식 사용한 액티브 클램프 포워드 컨버터를 제안하였다. 기존의 증방전기 보다 소형화 된 크기로서 단계별 테스트를 통해 검증할 예정이다. 그리고 적용된 파라미터와 입출력 사양은 표1 나타내었다.

표 1 제안된 컨버터 실험 조건

입력전압(V_{in})	380[Vdc]
출력전압(V_o)	5[Vdc]
출력전류(I_{out})	43[A]
스위칭 주파수(f_s)	70[kHz]

그림 4와 그림 5은 정방향 동작하는 때의 파형이다. 그림 4의 경우 정방향 출력전류, 2차 측 V_{DS} 이며 그림 5은 정방향 I_p 전류와 1차 측 V_{DS} 이다. 그림 6와 그림 7은 역방향 동작하는 때의 파형이다. 그림 6의 경우 역방향 출력전류, 2차 측 V_{DS} 이며 그림 7은 역방향 I_p 전류와 1차 측 V_{DS} 이다. 또한 센터-탭 액티브 클램프 스위치에 따른 효율 측정으로 정방향 모드 시 최대부하(215W) 일 때 88.1%, 역방향 모드 시 최대부하(215W) 일 때 86% 효율을 확인하였다.

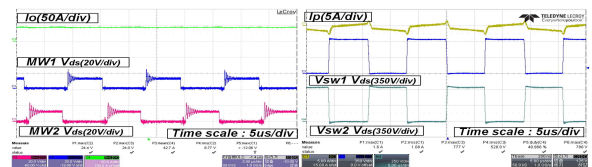


그림 4 2차 측 V_{DS} (CH1, CH2), 정방향 출력전류(CH3)
그림 5 정방향 I_p 전류(CH1), 1차 측 V_{DS} (CH2, CH3)

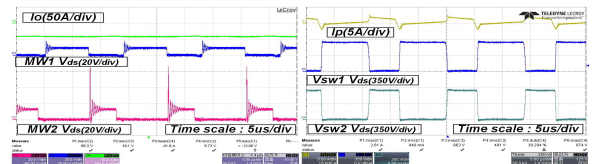


그림 6 2차 측 V_{DS} (CH1, CH2), 역방향 출력전류(CH3)
그림 7 역방향 I_p 전류(CH1), 1차 측 V_{DS} (CH2, CH3)

4. 결론

본 논문에서는 단일 스테이지 증방전기로 센터-탭 방식을 사용한 액티브 클램프 포워드 컨버터를 제안하였다. 기존 2단으로 구성된 증방전기를 단일 스테이지로 변경하면서 소형화 가능하며, 실험 결과를 통해 전력단 회로를 병렬화하여 출력을 증가시켜 대용량화가 가능한 것을 확인 할 수 있다.

이 논문은 에이프로의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Analysis and implementation of ZVS forward converter with centre-tapped rectifier: IEEE proc.-Electr. Power Appl. Vol. 153, No. 5, September 2006.
- [2] F. D. Tan, "The forward converter from the classic to the contemporary," in Proc. IEEE APEC, 2002, pp. 857-863.