

고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터의 충방전 모드전환 기법

권민호, 정헌수, 최세완
서울과학기술대학교

Charge/Discharge Mode Conversion Method of Bi-directional Soft-switching Converter with High Voltage Gain

Minho Kwon, Heonsoo Jeong, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터^[1]의 스위칭 모드전환 시점을 제안하여 전류의 불연속 구간이 발생되지 않는 방법을 소개하여 일반적인 부스트 컨버터와 같이 일반적인 제어 알고리즘을 적용 가능함을 검증하였고 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 친환경 자동차, UPS 시스템, 신재생에너지 발전시스템, 에너지 저장시스템 등 여러 응용분야에서 배터리 충·방전을 위한 비절연 양방향 DC DC 컨버터의 필요성이 증대되고 있으며 특히 시스템의 가격 및 BMS 부담을 낮추기 위하여 높은 승·강압비를 갖는 컨버터의 개발이 요구되고 있다. 소자수가 적고 구조가 간단하여 양방향 동작에 많이 사용되고 있는 하프브릿지 벡 부스트 컨버터는 높은 승·강압비를 얻기 위한 본 응용에서는 큰 듀티가 필요하게 되고 이에 따라 스위치의 전압 및 전류 스트레스가 증가하는 문제가 있다. 또한 기본적으로 하드스위칭을 하므로 스위칭주파수를 올리기가 어려워 전력 밀도를 높이는 데 한계가 있다. 이와 관련하여 낮은 듀티로도 높은 승강압비를 얻을 수 있고 CCM 동작에서도 ZVS 턴온을 성취할 수 있는 그림 1의 소프트스위칭 양방향 컨버터^[1]가 제안되었다. 본 논문에서는 이 고승압 소프트스위칭 컨버터^[1]의 충·방전 모드전환시 전류의 불연속 구간이 발생되지 않도록 하여 과도상태를 최소화할 수 있는 최적의 스위칭 모드전환 기법을 제안하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증한다.

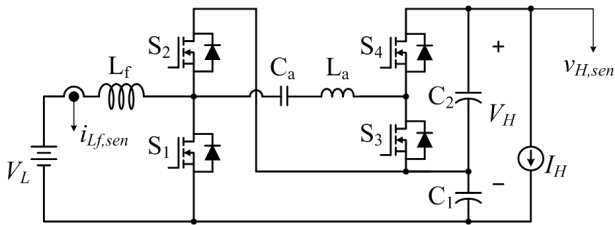


그림 1 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터

2. 제안한 모드전환 기법

고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터의 소프트스위칭을 위한 최적의 스위칭패턴은 배터리를 방전하는 승압동작시 그림 2(a)

와 같이 패턴1의 스위칭 동작을 하고 배터리를 충전하는 강압 동작시에는 그림 2(c)와 같이 패턴3의 스위칭 동작을 한다. 이 같이 각각의 동작모드에서 스위칭패턴이 다르기 때문에 충·방전 모드전환시 전류의 불연속 구간이 생길 수 있는데 이러한 과도상태에서의 스위칭패턴을 그림 2(b)와 같이 패턴2를 적용하여 충·방전 모드전환시 스위칭패턴의 변경으로 인한 전류의 불연속구간을 방지 할 수 있다. 또한 각 스위치의 딜레이 d_3, d_4 는 최적의 값을 구하여^[1] 고정된 값을 사용한다.

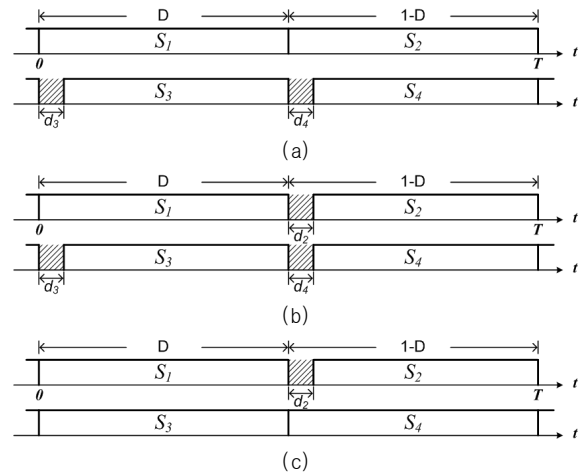


그림 2 동작모드별 스위칭 패턴 (a) 패턴1 (b) 패턴2 (c) 패턴3

그림 3에 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터의 충·방전 동작을 위한 제어 블록도를 나타낸다. 인덕터 전류를 검출하여 스위칭패턴을 선택하고, 평균전류모드제어(Average Current Mode Control)^[2]로 고전압측 전압을 제어하여 얻은 듀티와 함께 PWM 신호를 만들어 각 스위치에 게이트 신호를 인가한다. 이때 충전모드와 방전모드의 제어를 따로 나누지 않고 하나의 제어를 사용하였다.

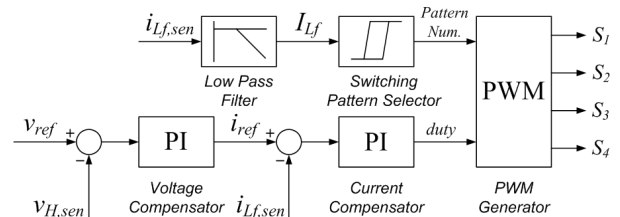


그림 3 양방향 제어 블록도

그림 4에 양방향 컨버터의 충·방전 모드전환시 스위칭패턴 전환 시점을 나타낸다. 방전모드에서 충전모드로 전환 될 때 스위칭패턴은 패턴1 → 패턴2 → 패턴3의 순서로 전환하고 반대로 충전모드에서 방전모드로 전환 될 때에는 패턴3 → 패턴2 → 패턴1 순서로 전환 한다. 스위칭패턴 전환 시점은 인덕터 전류의 스위칭 리플을 제거하기 위하여 저역통과필터를 거친 인덕터의 순시평균전류 I_{Lf} 으로 결정한다.

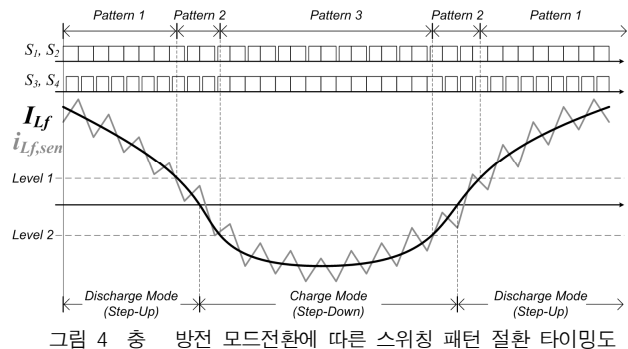


그림 4 충 방전 모드전환에 따른 스위칭 패턴 전환 타이밍도

그림 5는 그림 3에 스위칭패턴 선택기의 내부 모습을 나타 낸 그림이다. 스위칭패턴 전환에 기준이 되는 Level 1과 Level 2를 I_{Lf} 과 비교하여 세 가지 패턴 중 한 가지 패턴을 선택하여 PWM 발생기에 입력이 된다.

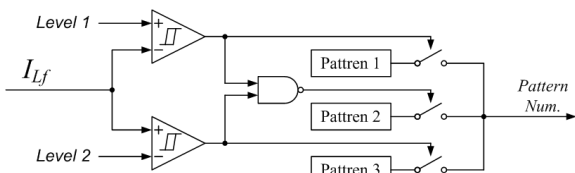


그림 5 스위칭 패턴 선택기

이렇게 스위칭 패턴을 세 가지로 나누고 전환 시점을 인덕터 전류가 0일 때가 아닌 두개의 Level을 기준으로 전환을 해 줌으로서 인덕터 전류의 불연속적인 구간 없이 충·방전 모드전환을 할 수 있다.

4. 모의실험 및 실험결과

그림 6과 그림7은 고전압측 전류 변동에 따른 충·방전 모드 동작의 시뮬레이션 파형이고 그림 8은 실험파형이다. 설계사양은 다음과 같다.

$$\cdot V_L = 80V \quad \cdot V_H = 400V \quad \cdot f_s = 30kHz$$

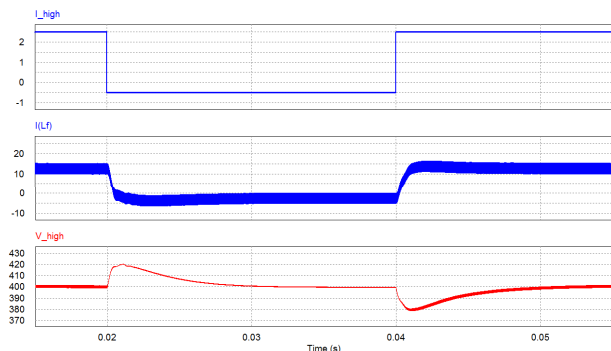
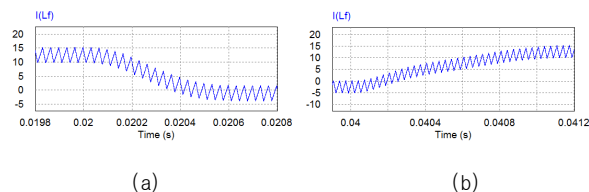


그림 6 충 방전 모드전환시 각부 모의실험파형



(a) 방전모드에서 충전모드로 전환
(b) 충전모드에서 방전모드로 전환

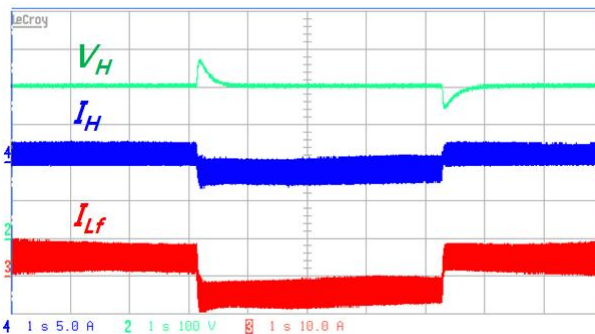


그림 8 충 방전 모드전환 동작 실험파형



그림 9 1.5kW 시작품

5. 결론

본 논문에서는 고전압 소프트스위칭 양방향 컨버터의 충·방전 모드 전환기법을 제안하였다. 두 개의 모드 전환 기준을 적용하고 스위칭패턴을 세 가지로 나누어 충·방전 모드전환시 인덕터 전류가 불연속적인 부분 없이 모드전환을 하여 과도상태를 최소화 한다.

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010 0014433)

참고 문헌

[1] 오세철, 정병길, 김성환, 박준성, 최세완 “하이브리드 자동차 HDC를 위한 고전압 소프트스위칭 양방향 컨버터”, 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집, pp.1 2, 2011. 11.

[2] Tang W, Lee F.C, Ridley R.B, “Small signal modeling of average current mode control”, *IEEE Transactions on Power Electronics* Vol.8, no.2 pp.112 119, Apr 1993.