고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터의 PPS 제어기법

정현주, 권민호, 최세완
서울과학기술대학교

PPS Control Method of High Gain Soft-Switching Bidirectional Converter

Hyeonju Jeong, Minho Kwon, Sewan Choi
Seoul National University of Science and **Tech**nology

ABSTRACT

본 논문에서는 비절연 고승압 소프트 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터[1]의 PWM Plus Phase Shift(PPS) 제어기법을 제안한다. 제안하는 컨버터는 기존의 하프브리지 양방향 컨버터의 2배의 승·강압비를 가지며 CCM에서 모든 스위치가 소프트스위칭을 성취한다. 또한, PPS 제어기법을 적용하여 스위치의 전압/전류정격을 최소화할 뿐 아니라 매끄러운 모드전환이 가능하다. 제안하는 양방향 컨버터의 3kW 시작품은 5.2배의 승·강압 동작에서 최고효율 97.2%, 97.5%를 달성하였다.

1. 서론

전 세계적으로 에너지 사용량 증가, 화석연료 사용에 따른 환경오염문제에 대한 심각성을 느끼고 있으며 이에 대한 대비책으로 각국 정부 및 산업체들은 친환경에너지인 태양광, 풍력 및 연료전지 등의 신·재생에너지에 대한 시스템 구축에 힘을 쏟고 있다.

이러한 신·재생에너지원들은 에너지저장장치(ESS), 무정전 전원공급장치(UPS) 및 하이브리드 전기자동차(HEV) 등 배터리를 기반으로 하는 에너지 시스템과 연계되어 구성된다. 이러한 시스템에서 양방향 DC-DC 컨버터는 낮은 배터리전압과 높은 DC Link 전압 사이에 위치하여 전력의 흐름을 제어하는 용도 즉, 배터리 충·방전용으로 사용되며 이에 대한 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다. 최근에 제안된 고승압 소프트스위칭 양방향 DC-DC 컨버터[2]는 모든 스위치가 ZVS turn-on 할 뿐 아니라 부분적으로 ZCS turn-off 하는 장점이 있다. 하지만 승·강압 시 동작파형과 스위칭방법이 대칭적이지 않고 모드전환 기법이 복잡한 단점이 있으며 스위치와 고전압 측 두 개의 커패시터 전압정격이 동일하지 않아 스위치 및 커패시터 선정에 어려움이 있다.

본 논문에서는 배터리기반 에너지관리 시스템에서 배터리 충·방전용 고승압 소프트스위칭 양방향 DC-DC 컨버터의 PPS 제어기법[3]을 제안한다. 제안하는 PPS 제어기법은 승·강압 동작 시 동작파형과 스위칭방법이 대칭적이며 스위치의 전압 및 전류정격을 최소화하면서 매끄러운 충·방전 모드전환을 가능하게 한다. 또한, 스위치와 고전압 측 커패시터 전압정격이 동일하여 스위치 및 커패시터 선정이 용이하다.

2. 제안하는 양방향 컨버터의 PPS 제어기법

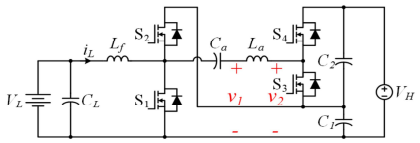
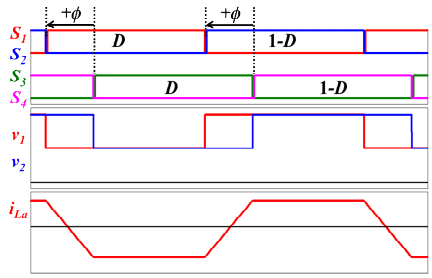
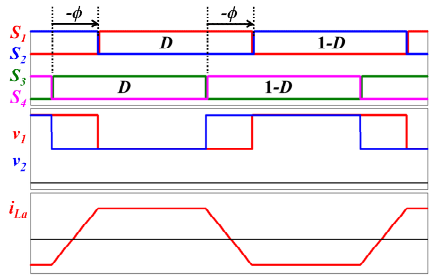


그림 1 고승압 소프트 스위칭 양방향 컨버터



(a)



(b)

그림 2 스위칭 패턴 및 보조 인덕터 전압/전류 파형
(a) 승압 동작 (b) 강압 동작

그림 1은 제안하는 양방향 컨버터를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 승·강압비가 기존의 양방향 하프브리지 컨버터의 2배이다. 스위치의 개수는 기존 양방향 컨버터의 2배이지만 전압정격이 1/2로 되어 낮은 전압정격의 MosFET 사용이 가능하고 모든 스위치가 소프트스위칭을 성취하기 때문에 고밀도 및 고효율을 달성할 수 있다.

그림 2는 제안하는 양방향 컨버터의 스위칭패턴을 나타낸다. 제안하는 스위칭방법은 PPS 제어기법으로 듀티(D)와 위상차(ϕ) 두 개의 변수를 제어하는 방식이다. 듀티(D)는 소자의 전압/전류정격을 최소화하는 역할을 하며 위상차(ϕ)는 전력의 양과 방향을 결정하는 역할을 한다. 또한, 보조 인덕터(L_a)는 에너지 전달요소로 이용되며 전력흐름에 따라 보조인덕터 양단에 인가되는 전압과 흐르는 전류를 그림 2에 나타내었다.

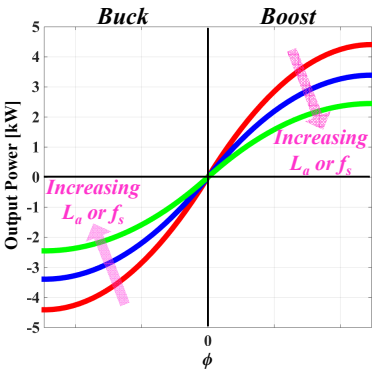


그림 3 제안하는 컨버터 출력곡선

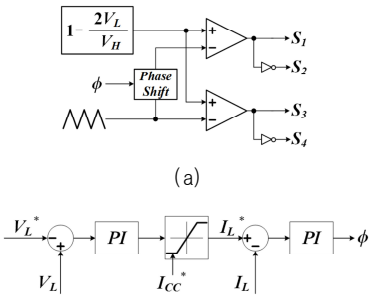


그림 4 제어 알고리즘 블록도 (a) PWM Generator (b) 저전압 측 제어

제안하는 PPS 제어기법의 위상차(ϕ)에 따른 출력전력(P)과 듀티(D)는 다음과 같다.

$$P[W] = \begin{cases} \phi(2D-2D^2-\phi)\dfrac{V_H^2}{4L_a f_s} & (\phi > 0) \\ \phi(2D-2D^2+\phi)\dfrac{V_H^2}{4L_a f_s} & (\phi < 0) \end{cases} \quad (1)$$

$$D = 1-\frac{2V_L}{V_H} \quad (2)$$

그림 3과 같이 출력 전력(P)은 보조 인덕턴스(L_a)와 스위칭 주파수(f_s)에 반비례하면서 위상차(ϕ)에 관한 2차함수로 나타난다. 그림 4는 제안하는 PPS 제어기법 블록도이다. 그림 4(a)와 같이 소자의 전압/전류정격을 최소화하는 듀티(D)와 전력의 흐름을 제어하는 위상차(ϕ)에 의해 스위칭패턴이 결정되며 저전압 측 전압/전류 제어알고리즘은 그림 4(b)와 같다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 시작품을 제작하여 다음의 사양에 따라 실험을 진행하였다.

- P = 3kW
- V_L = 86V
- V_H = 450V
- f_s = 50khz
- D = 0.62
- L_f = 34uH
- L_a = 12uH
- C_a = 30uF

그림 6은 제안하는 양방향 컨버터의 강압동작 시 인덕터와 스위치의 전압/전류파형을 나타내며 모든 스위치가 ZVS turn-on을 성취하는 것을 확인할 수 있다. 승압 시에도 모든 스위치가 ZVS turn-on을 하지만 지면상 파형은 생략하였다. 그림 7은 승·강압 모드전환을 실험파형을 나타내며 그림 8은 제안하는 컨버터의 측정효율로 승·강압 동작 시 각각 최고효율 97.4%, 97.5%를 달성하였다.

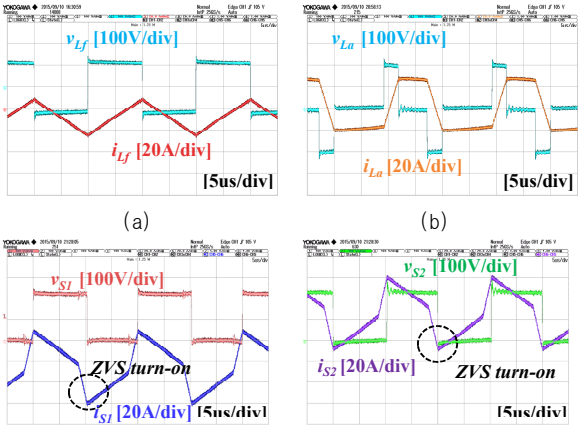


그림 6 강압 동작 시 인덕터 및 스위치 전압/전류파형
(a) L_f (b) L_a (c) S_1 (d) S_2

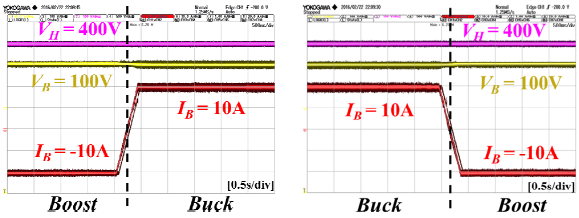


그림 7 모드전환 실험파형 (a) 승압->강압 (b) 강압-> 승압

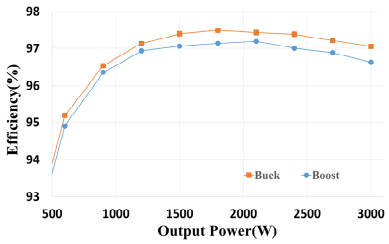


그림 8 측정 효율 (측정 : YOKOGAWA WT3000)

4. 결론

본 논문에서는 배터리 충·방전용 고승압 소프트 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터의 PPS 제어기법을 제안하였다. 제안하는 양방향 컨버터는 기존의 양방향 하프브리지 컨버터에 비해 2배의 승·강압비를 가지며 CCM에서 모든 스위치가 ZVS turn-on을 성취한다. 또한, PPS 제어기법은 매끄러운 모드전환을 가능하게 한다. 3kW급 5.2배의 승·강압 동작 시 각각 최고효율 97.2%, 97.5%를 달성하였다.

참 고 문 헌

[1] 최세완, (2010), "양방향 비절연 DC-DC 컨버터.", 특허등록 제10-09973377, 대한민국특허청

[2] M. Kwon, S. Oh, S. Choi, "High Gain Soft-Switching Bidirectional DC-DC Converter for Eco-Friendly Vehicles," *IEEE Trans. Power Electron.*, pp. 1659-1666, Apr. 2014.

[3] D. Xu, C. Zhao, and H. Fan, "A PWM plus phase-shift control bidirectional dc-dc converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, pp. 669-675, May. 2004.