

PPS 제어기법을 이용한 48V-400V 비절연 양방향 DC-DC 컨버터

정현주, 권민호, 한병길, 최세완
서울과학기술대학교

48V-400V A Non-isolated Bidirectional DC-DC Converter using PPS Control

Hyeonju Jeong, Minho Kwon, Byeonggil Han, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 높은 승·강압비를 갖는 비절연형 양방향 컨버터^[1]를 제안한다. 제안하는 양방향 컨버터는 입력 병렬/출력 직렬(Parallel Input/Series Output, PISO) 구조로 인터리빙효과와 높은 전압이득을 얻을 수 있고 소자들의 전압정격이 고전압측 전압의 1/4배 수준으로 소자 선정이 용이하다. 또한, PWM plus Phase Shift(PPS)^[2] 제어기법을 적용하여 전력의 흐름을 제어하면서 소프트스위칭을 최적화할 수 있다. 2kW급 시작품을 통해 듀티(D) 0.51 ~ 0.64를 사용하여 7 ~ 10배의 승·강압비를 달성하였으며 최고효율 96.1% 96.1%, 정격부하에서 95.9%, 96.0%를 달성하였다.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 사용량 증가 및 환경오염 문제에 대한 심각성을 느끼고 있으며 이에 대한 대책으로 태양광, 풍력, 연료전지 등의 신·재생에너지에 대한 시스템 구축에 힘을 쏟고 있다. 이러한 신·재생에너지원들은 에너지저장장치(Energy Storage System : ESS), 무정전전원공급장치(Uninterruptible Power Supply : UPS) 및 전기자동차(Electric Vehicles : EV) 등 배터리를 기반으로 하는 에너지 시스템과 연계되어 구성된다.

이러한 에너지 시스템에서 양방향 DC DC 컨버터는 낮은 배터리 전압과 인버터와 연계되는 높은 DC Link 전압 사이에 위치하게 되며 전력의 흐름을 제어하는 용도 즉, 배터리 충·방전용으로 사용되며 이에 대한 많은 연구와 개발이 진행되고 있다. 배터리 전압이 점차 낮아짐에 따라 높은 승·강압비를 갖는 양방향 컨버터가 요구되는데, 변압기를 이용하는 절연형 컨버터는 권선비로 높은 전압 이득을 달성할 수 있지만 전체 시스템의 부피가 증가하고 전체 효율이 감소할 수 있다. 따라서, 절연이 요구되지 않는 응용에서는 구조가 간단하고 고효율 달성이 유리한 비절연형 타입의 컨버터가 많이 사용된다. 또한, 고밀도 및 고효율 달성을 위해 높은 주파수 동작을 위한 소프트스위칭이 필수적으로 요구된다.

비절연형 타입의 양방향 컨버터로서 가장 널리 사용되는 컨버터로는 양방향 하프브리지 컨버터가 있다. 양방향 하프브리지 컨버터는 소자수가 적고 제어가 간단하지만 고승압 시 높은 듀티를 사용하고 하드스위칭을 하기 때문에 실제 승압비가 제한되는 단점이 있다. 최근 제안된 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터^[3]는 기존 양방향 하프브리지 컨버터에 비해 2배의 승강

압비를 갖고 CCM동작에서도 소프트스위칭을 성취하여 고전력 밀도를 성취할 수 있으며 스위치 전압정격이 고전압측 전압의 1/2배 되어 소자 선정에 유리하다.

본 논문에서는 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터^[3]를 입력 병렬/출력 직렬(PISO) 구조로 결합한 형태에 PPS 제어기법을 적용한 양방향 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 소자수가 증가하지만 기존 양방향 하프브리지 컨버터에 비해 약 3.5배정도의 승·강압비를 가지며 소자의 전압정격은 고전압측 전압의 약 1/4배로 소자 선정에 더욱 더 유리하다. 또한, 모든 스위치가 소프트스위칭을 성취하기 때문에 스위칭주파수를 높이고 고효율 및 고밀도달성이 가능하다.

2. 제안하는 비절연 양방향 컨버터

그림 1은 제안하는 비절연 양방향 컨버터를 나타낸다. 제안하는 컨버터는 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터^[2]를 저전압측 전압(V_L)에 병렬로 연결하여 인터리빙효과를 주며 고전압측 전압(V_H)은 직렬로 결합한 형태로 높은 전압이득을 달성할 수 있다. 양측 전압관계는 다음과 같으며 승압 시 전압이득곡선을 그림2에 나타내었다.

$$V_H = \frac{3+D}{1-D} V_L \quad (1)$$

또한, 소자들의 개수는 증가하지만 각 스위치 및 수동소자들의 전압정격이 고전압측 전압(V_H)의 1/4수준이고 인터리빙효과로 인해 전체 수동소자들의 에너지 볼륨의 합은 크게 증가하지 않는다.

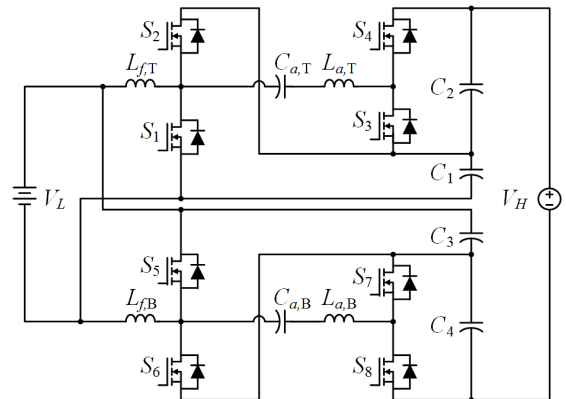


그림 1 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터

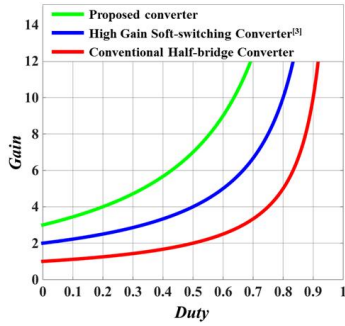


그림 2 전압 이득 곡선 비교

제안하는 양방향 컨버터는 기본적으로 상측(T) 컨버터와 하측(B) 컨버터가 인터리빙효과를 위해 180도 위상차로 동작하며 각각 위상차(ϕ)와 듀티(D)를 제어하는 PPS 제어기법이 적용되었다. 위상차(ϕ)는 전력의 흐름 및 전압을 제어하며 듀티(D)는 보조 인덕터($L_{a,T}$, $L_{a,B}$)에 인가되는 양측 전압을 매칭하여 스위치가 소프트 스위칭을 최적화하도록 하며 소자들의 전압전격을 최소화한다.

3. 실험 결과

제안하는 양방향 컨버터의 검증을 위해 그림3과 같이 시작품을 제작하였으며 다음과 같은 사양에서 실험을 진행하였다.

- ▶ $P = 2\text{kW}$ ▶ $f_s = 50\text{kHz}$ ▶ $D = 0.5 \sim 0.64$
- ▶ $V_L = 40 \sim 56\text{V}$ ▶ $V_H = 400\text{V}$

그림 4는 승·강압 동작시 컨버터 상측(T)과 하측(B)의 각각 인덕터 전류 파형을 나타낸다. 상측(T)과 하측(B) 인덕터들이 180도위상차를 가지고 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 승압 동작 시 일부 스위치 파형을 나타낸 것으로 상측과 하측에 180도 위상차를 가지고 동작하는 것을 확인할 수 있고 소프트스위칭을 성취하는 것을 확인할 수 있다. 모든 스위치가 전 전압 및 부하 범위에서 소프트스위칭을 성취하나 파형은 지면상 생략하였다. 그림 6에 출력 전력에 따른 효율을 나타내었다. 승·강압 동작시 각각 최고효율 96.1%와 96.1%, 정격부하 2kW에서 95.9%, 96.0%를 달성하였다.



그림 3 제안하는 양방향 컨버터 2kW급 시작품

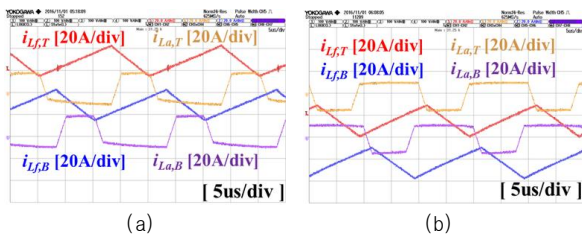


그림 4 각 인덕터 전류 실험 파형 (a) 승압모드 (b) 강압모드

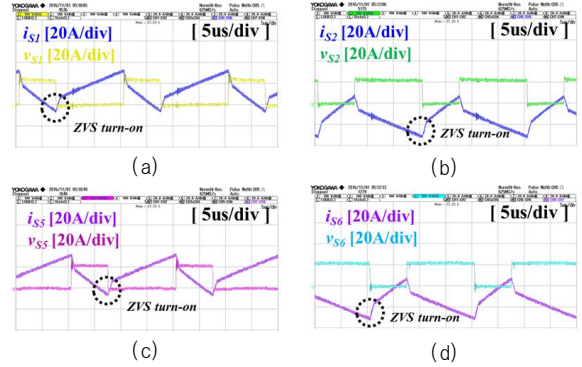


그림 5 승압 시 각 스위치 파형 (a) S_1 (b) S_2 (c) S_5 (d) S_6

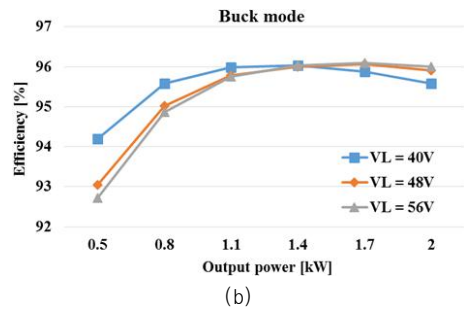
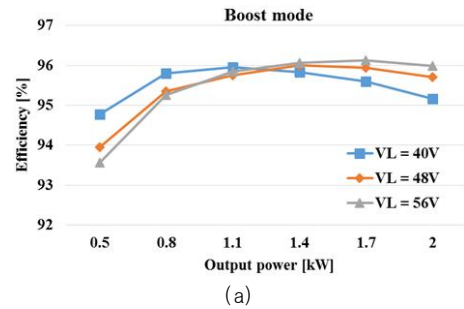


그림 6 측정효율 (YOKOGAWA WT3000측정) (a) 승압 (b) 강압

4. 결론

본 논문에서는 배터리 충·방전용 비절연형 고승압 양방향 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 입력 병렬, 출력 직렬(PISO) 구조로 인터리빙 효과와 높은 승·강압 전압 이득을 갖는다. 또한, PPS 제어기법을 적용하여 출력 전력의 흐름을 제어하며 동시에 소프트스위칭을 최적화하였다. 2kW급 시작품을 통하여 7 ~ 10배의 승·강압 동작 시 각각 최고 효율 96.1%, 96.1%를 달성하였다.

참고 문헌

- [1] 최세완, (2015), “고승압 소프트스위칭 직류 직류 컨버터”, 특허등록 제10 1523045, 대한민국특허청
- [2] 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.
- [3] M. Kwon, S. Oh, S. Choi, “High Gain Soft Switching Bidirectional DC.DC Converter for Eco Friendly Vehicles,” *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 29, No. 4, pp. 1659 1666, Apr. 2014.