

48V-400V 고효율 비절연 양방향 소프트스위칭 DC-DC 컨버터

권민호, 정현주, 최세완
서울과학기술대학교

48V-400V A High Efficiency Non-isolated Bi-directional Soft-switching DC-DC Converter

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

ABSTRACT

본 논문에서는 에너지저장장치에서의 배터리 충·방전용 고효율 양방향 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 비절연형이면서 모든 스위치가 ZVS 턴온을 하기 때문에 높은 효율을 달성 할 수 있을 뿐만 아니라 듀티를 크게 사용하지 않아도 약 8~9배의 높은 승·강압비로 동작이 가능하기 때문에 계통 연계를 위한 400V의 DC링크 전압이 있는 응용에 48V 배터리를 사용 할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여 3kW급 시제품을 제작하여 실험하였다.

1. 서론

최근 분산발전 시스템에서 불규칙적으로 발전되는 신·재생 에너지를 전력 수요에 따라 효율적으로 운영하고 정전 또는 계통사고에 대비하여 독립적으로 전력망을 운용하기 위해서 에너지저장장치(Energy storage system : ESS)의 필요성이 증가함에 따라 배터리의 충·방전을 효율적으로 운용하기 위해 배터리 충·방전용 양방향 DC DC 컨버터의 필요성 또한 증대되고 있다. 배터리 충·방전용 컨버터는 전기적 절연이 필요하지 않은 응용에서는 일반적으로 구조가 간단하고 소자수가 적은 하프브릿지 양방향 DC DC 컨버터가 널리 사용되어 왔다. 하지만 전체 시스템 가격을 낮추고 BMS부담을 줄이기 위해 배터리 전압범위가 점차 낮아짐에 따라 양방향 컨버터의 높은 승압비가 요구되고 있다. 변압기 권선비로 승압비를 쉽게 올릴 수 있는 절연형 컨버터는 비절연 타입에 비해 부피나 가격이 크게 증가할 뿐만 아니라 변압기 철손 및 누설전류로 인하여 고효율을 달성하기 어렵다.

최근에 제안된 비절연 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터는^[1] 기존의 하프브릿지 컨버터에 보다 승압비가 약 2배 높고 CCM(Continuous Conduction Mode)동작을 하면서도 모든 스위치가 소프트스위칭이 되기 때문에 스위칭 주파수를 늘려 높은 전력밀도를 달성 할 수 있을 뿐만 아니라 높은 효율 달성이 가능하고 소자수가 증가하는 반면에 전압 정격은 반이되기 때문에 소자 선정이 유리해진다.

본 논문에서는 기존의 비절연 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터^[1]의 장점은 그대로 갖으면서 승압비가 약 2배 정도 더 높은 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 듀티를 0.6 정도로 사용할 때 약 8~9배의 승압비를 갖기 때문에 48V 배터리로 400V의 DC링크 전압을 갖는 계통연계응용에 적합하다. 본 논

문서는 제안하는 컨버터의 성능을 검증하기 위하여 3kW 시제품을 통한 실험 결과로 타당성을 검증하고자 한다.

2. 제안하는 DC-DC 컨버터

2.1 회로 구성

그림 1은 제안하는 양방향 컨버터의 회로도이다. 여덟 개의 스위치로 구성되어 있지만 상측과 하측이 서로 인터리빙 구조이기 때문에 전류 분담 효과가 있을 뿐만 아니라 전압정격은 출력전압의 1/4수준으로 낮기 때문에 소자선정이 용이하다. 본 논문에서의 스위치 전압정격은 다음과 같다.

$$V_{sw,max} = \frac{V_H - V_L}{4} = \frac{400 - 48}{4} = 112[v] \quad (1)$$

스위치 뿐만 아니라 모든 소자들의 전압 정격이 1/4 수준으로 낮기 때문에 소자 수는 많더라도 전체 수동소자들의 총 에너지 볼륨의 합은 크게 증가 하지 않는다.

2.2 스위칭 기법

제안하는 컨버터는 PWM 제어 방식으로 S_1 이 켜있는 구간이 D 가 되고 S_2 가 켜있는 구간이 $1 - D$ 가 되어 비대칭 상보적인 스위칭을 하며 스위치 S_3 와 S_4 는 각각 S_1 과 S_2 와 동기화 되어 동작하고 하측에 있는 네 개의 스위치는 상측의 스위칭 패턴과 동일하고 상측과 하측은 서로 180°의 위상차를 주어 인터리빙 효과를 얻을 수 있다. 제안하는 컨버터는 [1]에서 제안한 것과 같은 방법으로 각 스위치의 켜지는 시간을 조절하여 최적화 할 수 있다.

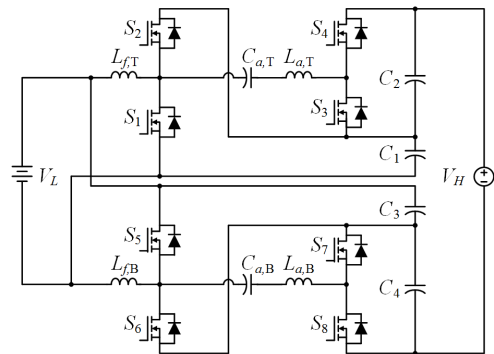


그림 1 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터

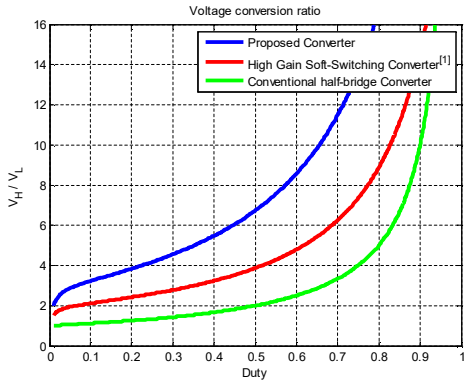


그림 2 전압 이득 곡선 비교

2.3 정상상태 분석

정상상태에서 출력측 네 개의 캐패시터 전압이 같다고 가정하면 다음과 같이 전압전달비를 구할 수 있다.

$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{3+D}{1-D} \quad (2)$$

그림 2는 식 2로부터 듀티에 따른 전압이득 곡선을 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 사양과 같이 48V에서 400V로 동작하는데 필요한 듀티는 약 0.6으로 듀티를 크게 사용하지 않고도 위의 전압범위를 만족한다.

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 성능을 검증하기 위하여 3kW급 시작품을 설계, 제작하였고 사양은 다음과 같다.

- $P_o = 3\text{kW}$
- $V_L = 48\text{V}$
- $V_H = 400\text{V}$
- $f_s = 50\text{kHz}$
- $L_f = 40\mu\text{H}$
- $L_a = 3\mu\text{H}$
- $C_1 \sim C_4 = 60\mu\text{F}$
- $C_a = 60\mu\text{F}$

그림 3은 승압동작시의 각 스위치 전압과 전류 파형이고 모든 스위치가 켜질 때 ZVS를 성취하는 것을 확인 할 수 있다. 강압 동작시도 모든 스위치가 ZVS 턴온을 하지만 지면상 실험 파형은 생략하였다. 그림 4는 제안하는 컨버터의 파워에 따른 효율 곡선이다. 최대효율 97.00%를 달성하였고 정격 효율은 95.00%를 달성 하였다. 효율 데이터는 Yokogawa WT3000을 이용하여 측정되었다. 실험 파형은 지면 고 S_3 과 S_4 는 꺼질 때

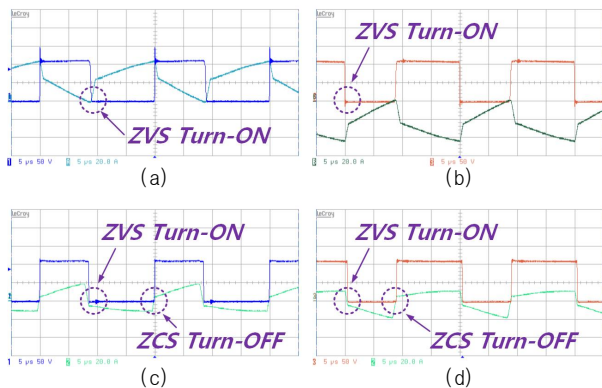


그림 3 승압동작 실험 파형 (50V/div, 20A/div, 20μs/div) (a)스위치 S_1 전압, 전류 (b)스위치 S_2 전압, 전류 (c) 스위치 S_3 전압, 전류 (d) 스위치 S_4 전압, 전류

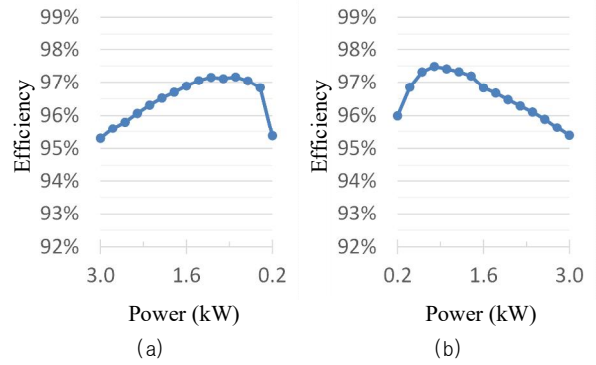


그림 4 측정 효율 (a)강압효율 (b)승압효율

ZCS를 성취하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 3은 강압동작시의 실험 파형이며 마찬가지로 모든 스위치가 켜질 때 ZVS를 성취하고 S_1 은 꺼질 때 ZCS를 성취한다. 그림 4는 제안하는 컨버터의 파워에 따른 효율 곡선이다. 최대효율 97.5%를 달성하였고 정격 효율은 95.4%를 달성 하였다. 효율 데이터는 Yokogawa WT3000을 이용하여 측정되었다. 그림 5는 제안하는 컨버터의 3kW급 시작품 사진이다.

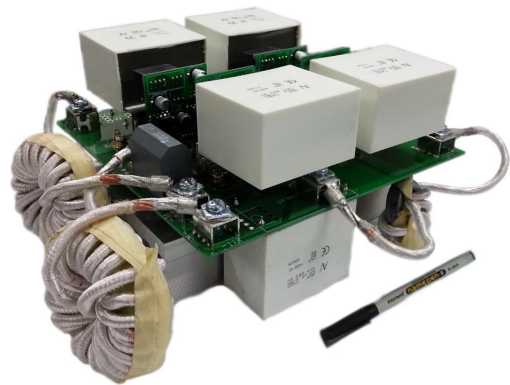


그림 5 제안하는 컨버터의 3kW급 시작품

4. 결론

본 논문에서는 48V 배터리로 계통연계용의 400V DC링크 전압으로 승-강압동작을 할 수 있는 고효율 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 비절연형으로 큰 듀티를 사용하지 않고 높은 승압비를 갖으며 모든 스위치가 소프트 스위칭을 하기 때문에 높은 효율을 달성 할 수 있다.

참고 문헌

[1] 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.

[2] S. Choi, V.G. Agelidis, J. Yang, D. Coutellier, P. Marabeas, "Analysis, Design and Experimental Results of a Floating Output Interleaved Input Boost Derived DC/DC High Gain Transformer less Converter," *IET Power Electron.*, vol. 4, no. 1, pp. 169-180, Jan 2011.