

고승압비를 갖는 인터리빙 양방향 DC-DC 컨버터

양진영*, 이상원*, 최세완*, 김태훈**
*서울산업대학교, **이화전기

Interleaved Bi-directional DC-DC Converter with High Gain

Jinyoung Yang*, Sangwon Lee*, Sewan Choi*, TaeHoon Kim**
*Seoul National University of Technology, **EHWA Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 높은 승압비를 갖는 응용에 적합한 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 작은 듀티로 높은 승압이 가능하므로 기존의 단상 또는 다상의 컨버터에 비해 스위칭 소자의 전류 스트레스가 작고, 전압 정격이 출력전압 보다 작은 장점이 있어 작은 도통 손실을 갖는 소자의 선정이 가능하다. 또한 기존의 다상 병렬연결 인터리빙 부스트 컨버터와 마찬가지로 인터리빙을 적용 할 수 있다. 제안한 컨버터의 이론적 분석을 행하고, 실험을 통하여 타당성을 검증하였다

1. 서론

최근 UPS 시스템, 하이브리드 자동차, 분산형 연료전지 시스템 등 여러 응용분야에서 배터리와 같은 에너지 저장장치의 충방전을 위하여 양방향 DC/DC 컨버터가 사용되고 있다.

예를 들어 그림 1과 같은 UPS 시스템의 구성도에서 정상시엔 계통 등의 입력 측 전원에 의해 출력 측 에너지 전달 및 배터리가 충전이 되고, 정전이 되어 입력 측 전원이 끊어지면 출력 측의 에너지는 배터리에서 전달이 된다. 이때 교류 3상 380V 시스템에서 정류기가 입력 역률을 제어하기 위해서는 800V 정도의 높은 직류 전압을 가져야 한다. 이때 직류단에 배터리가 직접 연결되는 경우에는 배터리의 전압이 높아지므로 부피 및 가격이 증가되는 단점이 있다^[1].

따라서 저전압 배터리를 사용하고 DC/DC 컨버터로 낮은 배터리 전압을 높은 전압으로 승압시키는 것이 유리하다. 여기서 양방향 DC/DC 컨버터는 저전압과 고전압 사이에서 양방향의 전력흐름을 가능케 하는데 높은 승압비와 요구 전력이 증대되는 추세에 맞춰 고효율·고전력밀도의 컨버터를 설계하는 것이 중요시 되고 있다.

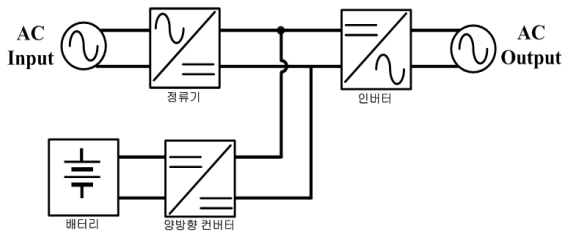


그림 1 UPS 시스템 구조도

이와같이 절연이 필요하지 않고 전압차가 그다지 크지 않은 응용에서는 고주파 변압기를 사용하지 않는 비절연 양방향 DC/DC 컨버터가 제안이 되고 있다^[2-3].

본 논문에서는 높은 승압비를 갖는 양방향 DC/DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 기존의 양방향컨버터에 비해 작은 듀티로도 동일한 승압비를 얻을 수 있고 입력력에 모두 인터리빙을 적용할 수 있다. 또한 스위칭소자의 전압 정격이 출력전압보다 작아 도통손실이 작은 소자의 선정이 가능하다. 이같은 이유로 제안한 컨버터는 대용량의 응용에도 적용이 가능하다. 제안한 컨버터의 이론적 동작을 분석하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

2. 제안하는 양방향 DC/DC 컨버터

제안하는 양방향 컨버터는 그림 2에서 보듯이 두 대의 기존의 양방향 DC/DC 컨버터를 저전압 측에 병렬로 연결하고 고전압 측에 직렬로 연결한 형태이다^[4].

두 대의 컨버터는 동일한 듀티비로 서로 180°의 위상차를 가지고 동작하며 커패시터 전압 V_{c1} 과 V_{c2} 는 각각

$$V_{c1} = V_{c2} = \frac{1}{1-D} \times V_{in} \quad (1)$$

이다. 또한 각 커패시터 전압 사이에 저전압이 존재하므로 고전압 측은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_H = V_{c1} + V_{c2} - V_L \quad (2)$$

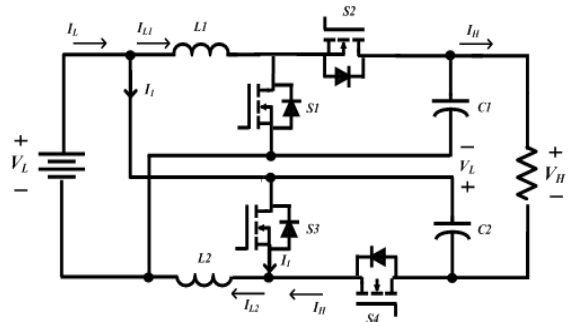


그림 2 제안하는 양방향 컨버터

식 (1)과 (2)로부터 제안한 컨버터의 승압비는 다음과 같다.

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

따라서 표 1과 같이 동일한 승압비를 얻기 위해 기존 부스트 컨버터에 비해 낮은 듀티비를 사용할 수 있다. 또한 스위칭 소자에 출력전압이 걸리는 기존의 컨버터에 비해 제안한 컨버터는 작은 전압이 걸리게 된다.

표 1 승압비에 따른 듀티비

승압비	부스트 컨버터	제안한 컨버터
2	0.5	0.33
3	0.67	0.5
4	0.75	0.6
5	0.8	0.67
6	0.83	0.71

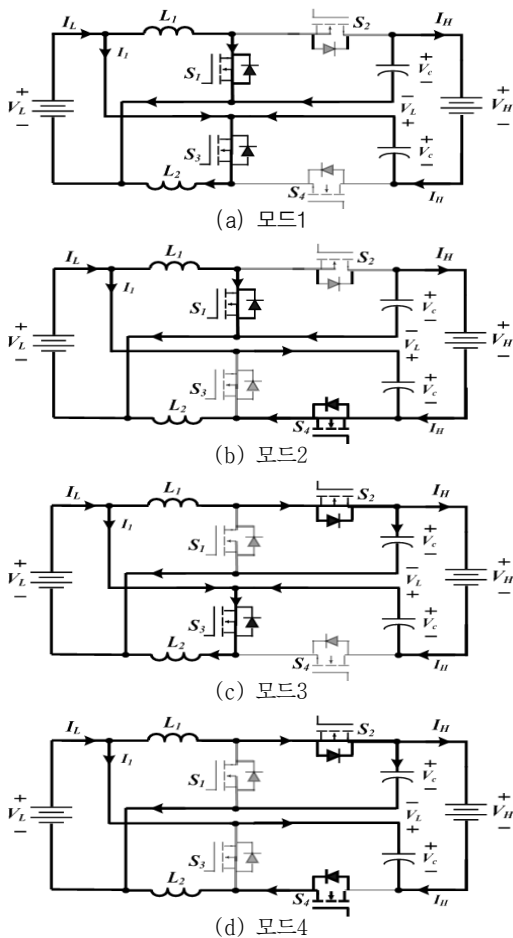


그림 3. 동작 모드

그리고 입력 측 각 노드에 키르히호프 전류법칙을 적용하면

$$I_{L2} = I_H + I_1 \quad (4)$$

$$I_L = I_{L1} + I_1 \quad (5)$$

이므로 입력 전류는 다음과 같다.

$$I_L = I_{L1} + I_{L2} - I_H \quad (6)$$

제안하는 컨버터는 저전압 측에서 고전압 측으로 에너지가 전달 되는 부스트 동작과 그 반대의 동작인 벡 동작이 있는데, 그림 3에 부스트 동작 모드를 나타내었다. 병렬로 구성된 두 개의 컨버터는 서로 180°의 위상차를 가지고 동작을 하며, 각 컨버터의 동작은 부스트 컨버터의 동작과 동일하다. 따라서 듀티비가 0.5보다 큰 경우에는 그림 3의 모드 1, 모드3 및 모드3을 반복을 하고 0.5보다 작은 경우에는 모드 1, 모드2 및 모드4의 동작을 반복 한다.

3. 실험 결과

제안하는 양방향 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 250W급의 축소모형을 제작하였다. 실험 사양은 다음과 같다.

- 저전압 측 배터리 : 12V
- 고전압 측 전압 : 45V
- 인덕턴스 : 200uH
- 커패시터 : 60uH
- 스위칭 주파수 : 30kHz

제안한 컨버터의 제어를 위하여 범용 PWM IC인 UC3824를 이용하여 인터리빙 스위칭을 구현 하였으며, 각 인덕터의 전류 불균형 현상과 그에 따른 커패시터의 전압 불균형 현상을 최소화하기 위하여 그림 4와 같이 전압 루프에 각 인덕터 전류를 센싱하여 전류 루프를 추가 하였다.

한편 실험시 고전압 측에는 직류전원 장치와 저항부하를 연결하고 배터리와 고전압 측 사이엔 제안한 컨버터를 적용 하였다. 고전압 측 전압은 응용에 따라 변동이 될 수 있으나 본 논문에선 제어의 편의를 위하여 45V의 일정한 전압으로 제어를 한다. 따라서 부스트 동작시의 주 스위치인 S1과 S3의 듀티를 제어함으로써 모드 전환 없이 양방향 동작을 가능케 하였다.

직류전원에서는 일정한 에너지가 공급이 되므로 부하를 높이면 고전압 측 전압이 상승하게 되고, 제어기는

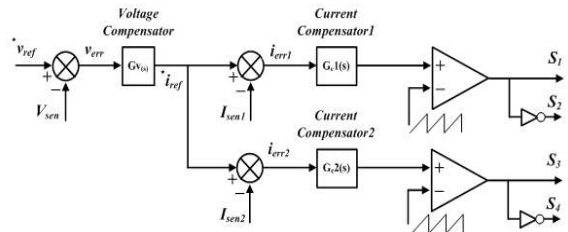
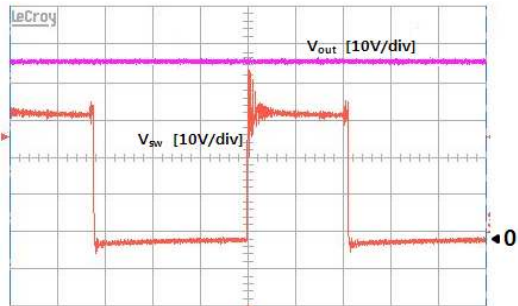
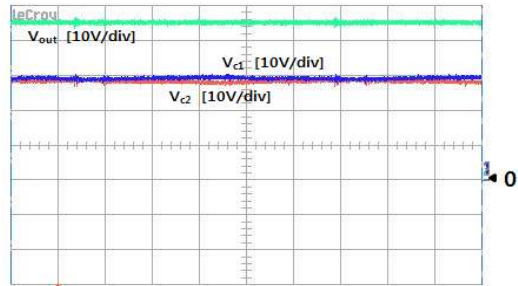
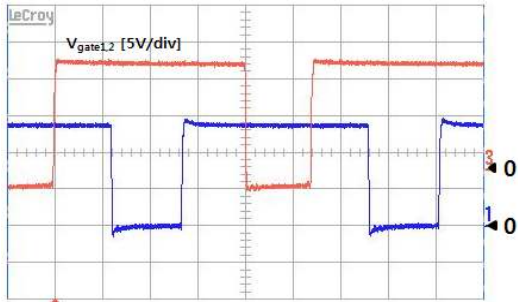


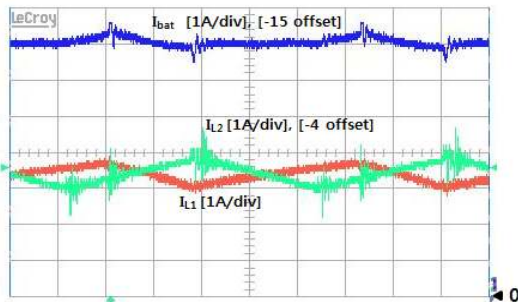
그림 4 제어 블록도

(a) 게이트 파형(V_{gate})

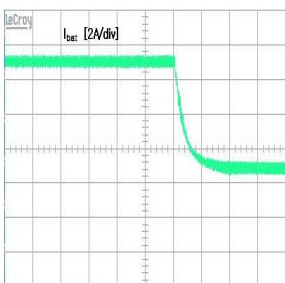
(b) 출력전압(V_{out})과 커패시터 전압(V_c)



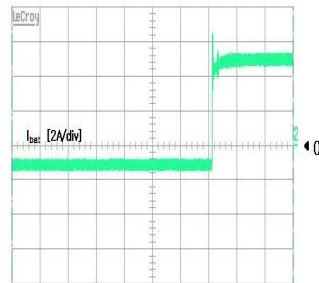
(c) 출력전압(V_{out})과 스위치 전압(V_{sw})



(d) 배터리 전류(I_{bat})와 인덕터 전류(I_L)



(e) 방전 → 충전 동작



(f) 충전 → 방전 동작

그림 5 실험 파형

45V의 일정한 전압 제어를 위하여 고전압 측의 에너지를 배터리로 충전시킨다. 반대로 부하가 작아지면 고전압 측 전압이 감소하게 되므로 45V제어를 위하여 배터리가 방전하에 에너지를 공급하게 된다.

그림 5(a)~(f)에 실험 파형을 나타내었다. 그림 5(a)는 스위치 S1, S3의 게이트 신호다 UC3824와 로직 회로를 이용하여 구성하였으며, 위상이 180 인 것을 확인 할 수 있다. 한편 스위치 S1, S2와 S3, S4의 데드 타임은 1 μ s로 설정 하였다.

그림 5(b)는 출력전압과 커패시터 C1, C2의 전압을 보여준다. 각 인덕터의 전류 제어를 통하여 커패시터의 전압 불균형 현상을 해소 하였다. 또한 그림 5(c)와 같이 스위치 전압이 출력전압 보다 작기 때문에 소자 선정 면에서 장점을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 5(d)는 각각의 인덕터 전류 리플이 1A이지만 인터리빙 효과에 의해 입력 측인 배터리 전류 리플이 작아지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5(e)와 (f)는 직류 전원장치의 On, Off에 따른 배터리 전류의 충, 방전 동작을 각각 확인하여 양방향 동작을 검증하였다. 직류 전원장치가 Off 상태일때는 배터리는 5A로 방전을 하며, On 상태가 되면 1A로 충전을 하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 고승압비를 갖는 양방향 DC/DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 다음과 같은 장점을 갖는다.

- ◆ 기존 부스트 컨버터에 비해 작은 듀티로도 높은 승압비를 얻을 수 있고 저전압측은 병렬 구조로서 소자 전류정격이 작다.
- ◆ 입출력에 인터리빙을 적용할 수 있어 수동소자의 부피가 작아진다.
- ◆ 스위칭소자의 전압 정격은 출력 전압보다 작으므로 작은 도통 손실을 갖는 소자의 선정이 가능하다.
- ◆ 위와 같은 이유로 대용량에도 적용이 가능하다.

제안한 컨버터의 이론적 동작을 분석하고 축소모형을 제작하여 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 김태훈, 김경환, 김민국, 박진영, 오성진 "변압기 없는 고효율 3상 UPS의 개발", 2006 전력전자학술대회 논문집, pp. 441 ~ 443, 2006. 6.
- [2] 장상현, 김의봉, 김종대, "42V 시스템 차량용 양방향 DC/ DC 컨버터", 한국자동차공학회 춘 추계 학술대회 논문집, vol. 3, pp. 1573 ~ 1578, 2004. 12
- [3] Haiping Xu, Xuhui Wen, Ermin Qiao, Xin Guo, Li Kong, "High Power Interleaved Boost Converter in Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle", IEEE International Conference on, May 2005, pp. 1814- 1819
- [4] 박찬기, 양진영, 최세완 "연료전지 응용을 위한 높은 승압비와 낮은 전류 리플을 갖는 무변압기형 부스트 컨버터", 2006년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 348-351, 2006. 6.