

높은 승·강압비를 갖는 양방향 소프트스위칭 컨버터를 위한 최적 PWM 스위칭 기법

오세철, 최세완
서울과학기술대학교

Optimal PWM Switching Technique for High Step-up/Step-down Bidirectional Soft-switching Converter

Secheol Oh, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 높은 승·강압비를 갖는 양방향 DC DC 컨버터에 대한 최적의 스위칭 기법을 제안한다. 제안한 컨버터는 CCM에서도 소프트 스위칭이 가능하여 스위칭 손실뿐만 아니라 인덕터의 발열도 줄일 수 있다. 또한 모든 소자의 전압 정격과 수동소자의 부피도 기존 양방향 컨버터 보다 작아 고효율 및 고전력밀도의 달성을 기대 할 수 있다. 1.5kW 시작품의 실험을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 환경오염 및 에너지 고갈에 대한 문제가 대두되어 신재생에너지, 친환경자동차, UPS 시스템, 분산형 연료전지 시스템, 에너지 저장시스템 등 대전력 응용분야에서 배터리 등의 충·방전을 위하여 높은 승·강압비를 갖는 비절연 양방향 DC DC 컨버터에 대한 개발의 요구가 증대되고 있다. 일반적으로 비절연 양방향 DC DC 컨버터는 높은 승·강압을 얻기 위해 큰 듀티를 필요하게 되고 이에 따라 스위치의 전압 및 전류 스트레스가 증가하며 실제 사용할 수 있는 듀티의 범위도 제한된다. 비절연 양방향 DC DC 컨버터로 가장 많이 사용하고 있는 하프브리지 벡 부스트 컨버터^[1]는 CCM 으로 동작하는 경우 하드스위칭으로 인하여 스위칭주파수를 높이기 어렵다. 또한 DCM 으로 동작시킬 경우 ZVS 턴온은 가능하지만 리플 전류가 커서 코어손실 및 스위치 도통손실 증가로 인해 방열처리가 어려워 고효율 고 전력밀도의 달성이 용이하지 않다.

본 논문에서는 높은 승·강압비를 갖는 양방향 DC DC 컨버터^[2]의 최적의 PWM 스위칭 기법을 제안한다. 제안한 컨버터는 승·강압비가 기존 양방향 컨버터의 약 2배이고 CCM에서도 소프트스위칭이 가능하여 스위칭 손실 및 도통 손실을 감소시킬 수 있어 효율과 전력 밀도를 더욱 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 강압 동작 시 스위치의 도통 손실과 ZVS 턴 온 영역 측면에서 가장 최적인 스위칭 방식을 제안하고 실험을 통해서 검증한다.

2. 제안하는 컨버터의 동작원리

그림 1에 제안하는 높은 승·강압비를 갖는 양방향 DC DC 컨버터를 나타내며 그림 2에는 강압 동작시 주요 파형을 보여 준다. 고전압측 스위치 S3과 S4는 비대칭 상보적(Complementary) 스위칭을 하며 저전압측 스위치 S2는 S4 스위치 보다 D_1T 만큼

늦게 ON 하고 동시에 OFF 한다. 저전압측 스위치 S1은 S3과 동일한 스위칭을 한다.

강압 동작 시 이와 같이 스위칭을 하면 표 1과 같이 저전압, 고전압측 스위치 모두 ZVS ON이 이루어져 스위치 손실을 크게 줄일 수 있다.

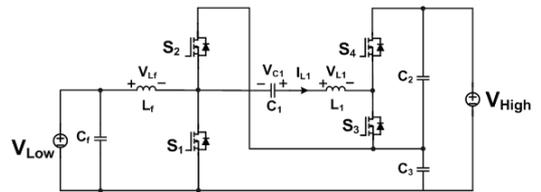


그림 1 제안하는 높은 승 강압비를 갖는 양방향 DC-DC 컨버터

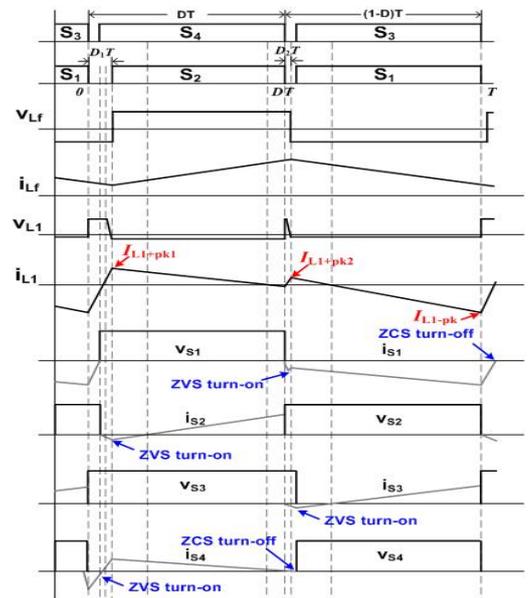


그림 2 제안하는 컨버터의 강압 동작시 주요 파형

표1 제안하는 방식의 스위칭 특성

스위치 동작	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
강압 턴온	ZVS	ZVS	ZVS	ZVS
동작 턴오프	ZCS	하드스위칭	하드스위칭	ZCS
승압 턴온	ZVS	ZVS	ZVS(동기정류)	ZVS(동기정류)
동작 턴오프	하드스위칭	ZCS	ZCS(동기정류)	ZCS(동기정류)

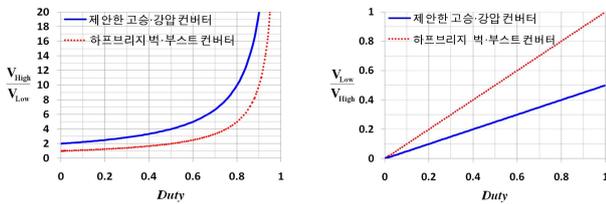
그림 2에서 보듯이 저전압측 스위치 S2는 스위치 S4 보다 D₁T만큼 늦게 ON 하는데 이때 스위치 S2의 ZVS 영역과 S4의 ZCS 영역이 변하므로 최적의 D₁T을 구하는 것이 중요하다. 최적의 D₁T를 구하는 식은 다음과 같다

$$I_{L1+pk2} = \sqrt{\frac{2C_{oss(max)}V_{L1(D2)}^2}{L_1}} = I_{L1+pk1} - I_{0(min)} \quad (1)$$

$$I_{L1-pk} = \frac{V_{L1(1-D-D_2)} \cdot (1-D-D_2)T}{L_1} \quad (2)$$

$$D_1T = \left(\frac{L_1(I_{0(min)} - I_{L1+pk2} - I_{L1-pk})}{V_{L1(D_1)}T} \right) + \frac{2C_{oss(max)}V}{I_{L1+pk2}} \quad (3)$$

그림 3은 비절연 양방향 하프브리지 벅·부스트 컨버터와 제안한 고승·강압 컨버터^[3]의 전압 게인 그래프를 비교하여 나타낸 것이다.



(a) 승압시 전압 게인 그래프 (b) 강압시 전압 게인 그래프

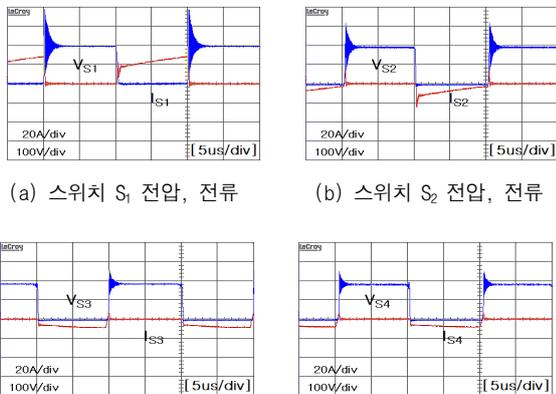
그림 3 승 강압시 전압 게인 그래프

3. 실험 결과

제한한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 설계 사양으로 제작한 후 승압동작과 강압동작을 실험하였다.

$$P_{out} = 1.5kW \cdot V_{Low} = 100V \cdot V_{High} = 400V \cdot f_s = 50kHz$$

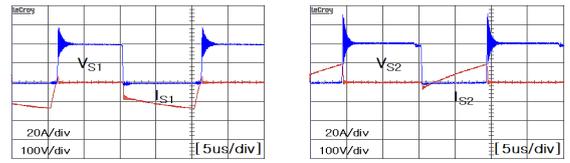
그림 4와 5에서 승·강압 동작시 스위치 S₁, S₂, S₃, S₄ 모두 ZVS 턴온하는 것을 확인하였다. 그림 6은 제안한 컨버터의 부스트·벅 모드 동작시 측정효율을 나타낸다. 부스트 모드 시는 1kW에서 최고 효율 95.3% 벅 모드 시는 400W에서 최고 효율 95.5%가 각각 측정되었다.



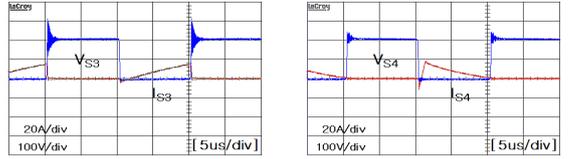
(a) 스위치 S₁ 전압, 전류 (b) 스위치 S₂ 전압, 전류

(c) 스위치 S₃ 전압, 전류 (d) 스위치 S₄ 전압, 전류

그림 4 승압 동작시 실험 파형



(a) 스위치 S₁ 전압, 전류 (b) 스위치 S₂ 전압, 전류



(c) 스위치 S₃ 전압, 전류 (d) 스위치 S₄ 전압, 전류

그림 5 강압 동작시 실험 파형

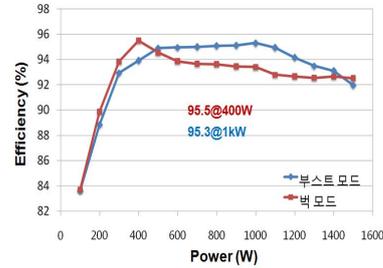


그림 6 측정 효율



그림 7 1.5kW 시제품

4. 결론

본 논문에서는 높은 승·강압비를 갖는 비절연 양방향 DC DC 컨버터에 대한 최적의 스위칭 기법을 제안하였다. 최적의 스위칭 타이밍으로 스위치의 전류 정격 및 도통 손실을 최소화 할 수 있었다. 제안한 컨버터는 기존 양방향 컨버터에 비해 약 2배의 승·강압비를 가지며 CCM에서도 소프트 스위칭이 가능하기 때문에 소자의 전압정격과 수동소자들의 부피가 작아 고효율 및 고전력밀도를 달성을 기대할 수 있다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011 0018025)

참고 문헌

- [1] Junhong Zhang, J.S. Lai, "High Power Density Design of a Soft Switching High Power Bidirectional dc dc Converter", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol. 4, pp.1 7, July 2007.
- [2] S Park, S Choi, "Soft switched CCM Boost Converters with High Voltage Gain for High Power Applications", *IEEE Transaction on Power Electronics*, vol. 25, no. 5, pp. 1211 1217, May 2010.
- [3] 박성식, 박요환, 최세완, 박래관, 장서건 "하이브리드 자동차 응용을 위한 고승압 양방향 DC DC 컨버터", 전력전자학회 2009년도 하계학술대회 논문집, pp.384 386, 2009. 7.