

영 전압 스위칭 기법을 이용한 무변압기형 고승압 부스트 컨버터

양진영*, 최세완*, 남석우**

*서울산업대학교, **KIST

A transformer-less high gain boost converter with ZVS technique

Jinyoung Yang*, Sewan Choi*, SeokWoo Nam**

*Seoul National University of Technology, **KIST

ABSTRACT

절연이 필요하지 않은 응용에서 낮은 전압을 높은 전압으로 승압시키기 위해 무변압기형 고승압 부스트 컨버터가 제안되었다.^[1] 이 컨버터는 변압기 없이 6~8배의 실제 승압비를 가지며, 인터리빙 동작으로 입력전류 및 출력전압 리플이 작아지는 장점이 있어 연료전지 응용에 적합하다. 본 논문에서는 기존에 제안된 고승압 무변압기형 부스트 컨버터에 DCM 방식의 영 전압 스위칭을 적용하여 인덕터의 부피를 줄이고 스위치의 턴 온 손실과 EMI를 저감하여 고주파의 응용에 적합하도록 하였다. 제안된 컨버터의 영 전압 스위칭의 동작모드 분석을 통해 원리 분석을 행하였으며, 실험 및 기존 컨버터와 효율비교를 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서론

연료전지는 일반적으로 출력 전압이 낮고 변동 폭이 크기 때문에 이를 안정된 높은 전압으로 승압시키고 조정하기 위한 부스트 컨버터의 사용이 필수적이다. 고주파 변압기를 사용하는 승압 방식은 입·출력 간의 절연이 되고 승압비를 높게 할 수 있으나 고주파 변압기로 인한 부피 및 손실이 증가하는 단점이 있다.

직류단에서의 절연이 필요하지 않고 승압비가 그다지 높지 않은 응용 (< 10)에서는 고주파 변압기를 사용하는 무변압기형 DC-DC 컨버터가 사용될 수 있다. 이러한 높은 승압비를 얻을 수 있는 새로운 방식의 무변압기형 부스트 컨버터가 최근 제안되었다^[1]. 이 방식은 변압기 없이 6~8배의 실제 승압비를 가지며 인터리빙 동작으로 입력전류 및 출력전압 리플이 작아지는 장점이 있어 연료전지응용에 적합하다. 그러나 이 스위칭 방식은 CCM 에서 동작하는 하드 스위칭 방식으로 스위칭 손실이 크고 다이오드 턴오프시 역방향 회복특성과 기생성분에 의한 서지전압 및 링잉이 발생하여 다이오드 전압 정격이 증가하고 큰 EMI가 발생할 수 있다^[2]. 따라서 전력밀도를 높이기 위하여 고주파 동작이 필요한 경우 상기의 문제점으로 인하여 스위칭주파수가 제한을 받게 된다.

본 논문에서는 기존에 제안된 고승압 무변압기형 부스트 컨버터에 DCM 방식의 영 전압 스위칭^[3,4]을 적용하여 인덕터의 부피를 줄이고 스위치의 턴 온 손실 및 EMI 를 저감하여 고주파의 응용에 적합하도록 하였다.

제안하는 컨버터의 장점은 다음과 같다.

- 고주파 변압기를 사용하지 않고 6~8배의 실제 승압비 가능
- 인터리빙 동작으로 입력전류 및 출력전압 리플 저감
- DCM 동작으로 인덕터 부피가 감소하고 다이오드 전압서지 및 링잉 저감
- 영 전압 스위칭으로 인하여 스위칭 손실 및 EMI 를 저감할 수 있으므로 고주파 응용이 가능

제안한 컨버터의 영 전압 스위칭의 동작 분석을 통해 원리를 파악하도록 하며 실험결과를 통해 타당성을 검증하도록 한다.

2. 본론

그림 1에 제안한 컨버터의 회로구성을 나타낸다. 영 전압 스위칭 방식을 적용하기 위하여 기존 방식의 회로에서 2개의 다이오드를 각각 스위치로 대체하였고 인덕터를 DCM 에서 동작하게 하도록 한다. 인덕턴스 전류의 경계 조건 (Boundary Condition)을 선정하기 위한 인덕터 전류의 최소값을 구하는 수식은 다음과 같다^[5].

$$I_{L.min} = I_{L.avg} - \frac{V_L \times D}{L \times fs \times 2} \quad (1)$$

수식 (1)에서 인덕터 전류의 최소값이 음의 구간이 나오도록 하면 DCM으로 동작하므로 이를 이용하여 인덕터를 설계하도록 한다.

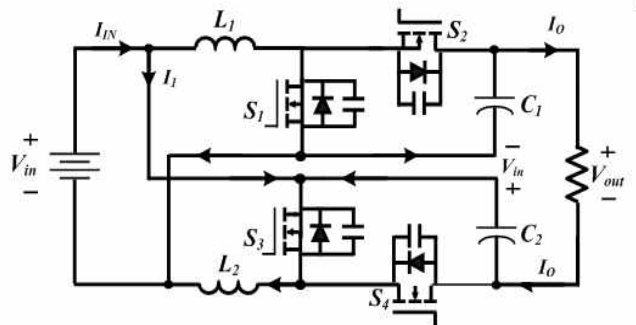


그림 1 제안하는 컨버터

제안하는 방식의 영 전압 스위칭 동작을 보기 위해 각부 주요 파형과 모드별 동작을 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 스위치 S₁과 S₃는 서로 180°의 위상차를 가지며, S₁과 S₂ 그리고 S₃와 S₄는 서로 상보적인 스위칭 동작을 한다. 각 모드별 동작은 다음과 같다.

(a) 모드 1 (S₁ on, S₂ off, S₃ on, S₄ off)

스위치 S₁은 도통 상태이고, S₂는 차단 상태이므로 인덕터 L₁ 전류는 S₁을 통해 흐르며, 커패시터 C₁은 I₀전류의 크기로 부하로 방전한다.

스위치 S₃는 도통 상태이고, S₄는 차단 상태이다. 커패시터 C₂는 그림 3(a)와 같은 통로로 방전을 하며, I₁전류와 더해져 스위치 S₃를 통해 인덕터 L₂로 흐르며, 다시 스위치 S₁을 통하는 전류와 합쳐져 입력 측으로 흐른다.

(b) 모드 2 (S₁ off, S₂ off, S₃ on, S₄ off)

스위치 S₁이 차단되면 스위치 S₁의 내부 커패시터는 충전을 하며, 스위치 S₂의 내부 커패시터는 방전을 하게 된다. 또한 커패시터 C₁은 스위치 S₂의 내부 커패시터 충전 전류에서 부하전류 I₀를 뺀 전류로 충전상태가 된다.

한편 스위치 S₃와 S₄의 동작은 모드 1과 같다.

(c) 모드 3 (S₁ off, S₂ off → on, S₃ on, S₄ off)

스위치 S₁과 S₂의 내부 커패시터가 충, 방전을 완료하면 스위치 S₁에는 전류가 차단이 되며, 스위치 S₂의 내부 다이오드를 통하여 인덕터 L₁전류의 기울기로 흐르게 되며, S₂가 도통 되어도 인덕터 L₁전류가 음의 구간으로 가기 전까진 다이오드로 도통이 되게 된다. 또한 커패시터 C₁은 인덕터 L₁전류에서 부하전류 I₀가 빼진 전류로 충전상태가 된다.

한편 스위치 S₃와 S₄의 동작은 모드 1과 같다.

(d) 모드 4 (S₁ off, S₂ on, S₃ on, S₄ off)

인덕터 L₁ 전류가 음의 구간으로 가게 되면 스위치 S₂는 내부 다이오드가 아닌 채널로 도통을 하게 된다. 따라서 스위치 S₂의 전압이 0으로 된 후에 스위치 S₂의 채널로 도통이 되기 때문에 이를 영 전압 스위칭 이라고 한다. 한편 스위치 S₃와 S₄의 동작은 모드 1과 같다.

이와 같이 다른 스위치도 내부 커패시터가 충·방전을 끝내고 전류가 채널로 도통되는 과정으로 영 전압 스위칭을 이루게 된다.

3. 실험 결과

본 절에서는 제안하는 방식의 30W급 시작품을 제작하였다. 실험을 위한 설계사양은 다음과 같다.

- * 입력전압 V_{in} : 4V
- * 출력전압 V_o : 24V
- * 출력전력 P_o : 30W
- * 스위칭 주파수 : 50kHz

설계사양과 식 (1)에 의거하여 인덕턴스를 설계하면 각각 20uH 로 계산되고, 이를 실험 회로에 적용하였다. 또한 커패시

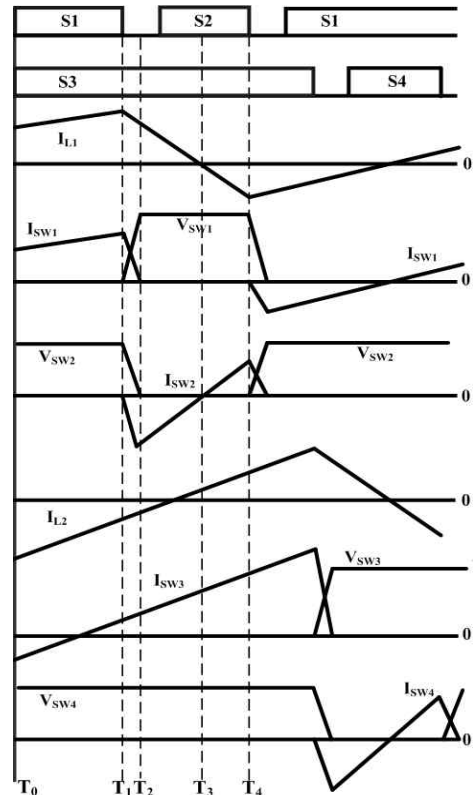


그림 2 제안하는 컨버터의 주요 파형

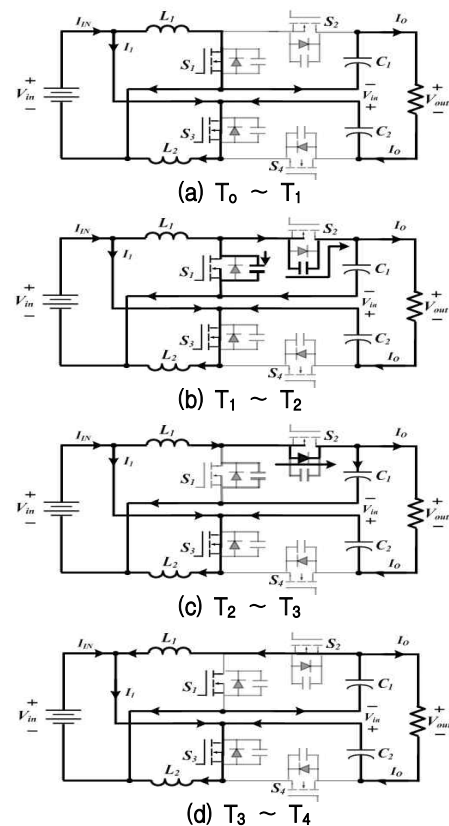


그림 3 영 전압 스위칭 동작 모드

터는 전해 커패시터 47 μ F을 사용하였으며, 스위치 소자는 FQA A160N08($R_{ds} : 0.007\Omega$)을 사용하였다.

그림 4(a), (b)는 제안하는 컨버터의 스위치 S_1 , S_2 의 영 전압 스위칭을 보여주는 실험파형이다. 그림 4(a)에서 스위치 S_2 의 게이트 신호가 차단이 되면 스위치 S_1 의 내부 커패시터의 전압이 방전이 되고 난 후에 스위치 S_1 의 채널로 도통 되는 스위치 S_1 의 영 전압 스위칭의 동작을 나타내고 있다.

그림 4(b)도 마찬가지로 과정을 통하여 스위치 S_2 의 영 전압 스위칭 동작을 하게 된다.

그림 5는 제안한 컨버터의 시제품 실험을 통하여 측정된 효율 그래프이다. 전영역에서 90%에 가까운 효율을 보이고 있다. 그러나 부하가 높아질수록 인덕터의 전류 리플이 커지게 되어 스위칭손실보다는 도통손실의 비중이 커져 효율이 낮아진다.

4. 결론

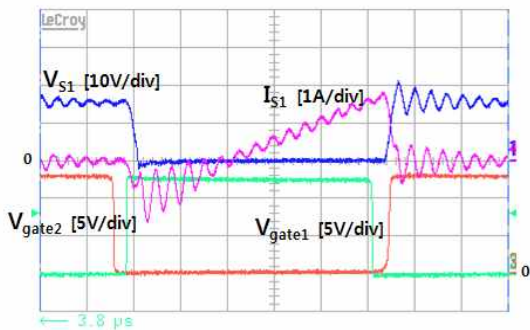
본 논문에서는 영 전압 스위칭 방식을 적용한 새로운 무변압기형 고승압 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 변압기를 사용하지 않고 6~8배의 높은 승압비를 얻을 수 있으며, DCM 방식 영 전압 스위칭을 적용하여 인덕터의 부피 감소 및 기존 방식에서의 다이오드 전압 서지와 링잉 현상을 저감하였다. 또한 스위치의 턴 온 손실이 저감 되므로 스위칭 손실 및 EMI를 저감할 수 있어 고주파 스위칭 동작이 가능하므로 고효율·고밀도의 컨버터를 설계할 수 있다.

제안된 컨버터의 동작 모드 분석을 통해 원리를 파악 하였고, 실험을 통하여 영 전압 스위칭 동작을 확인하여 타당성을 검증하였다.

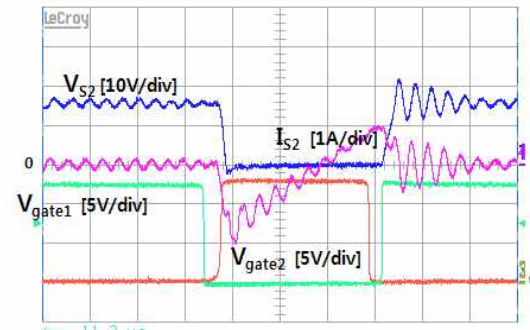
이 논문은 KIST의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 최세완, 박찬기, 양진영, "연료전지 응용을 위한 높은 승압비와 낮은 전류 리플을 갖는 무변압기형 부스트 컨버터", 2006 전력전자 학술대회 논문집, pp. 348-351
- [2] Guerra, A, Maddaleno, F, "Effects of diode recovery characteristics on electromagnetic noise in PFCs", IEEE APEC '98. Thirteenth Annual IEEE, 1998 vol. 2, pp. 944-949
- [3] Fred C. Lee and Cho. B. H, "zero-voltage-switching bi-directional battery charger/discharger for the NASA EOS satellite", IEEE APEC '92, pp. 614 - 621
- [4] G. Hua and F. C. Lee, "'Soft-switching techniques in PWM converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 42, pp. 595 - 603, Dec. 1995.
- [5] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이" 성안당 2002.1.8, pp 18~22



(a)



(b)

그림 4 실험 파형 : (a) 스위치 S_1 전압 (V_{S1}) 스위치 S_1 전류 (I_{S1}) 게이트 신호 (V_{gate1} , V_{gate2})
(b) 스위치 S_2 전압 (V_{S2}) 스위치 S_2 전류 (I_{S2})

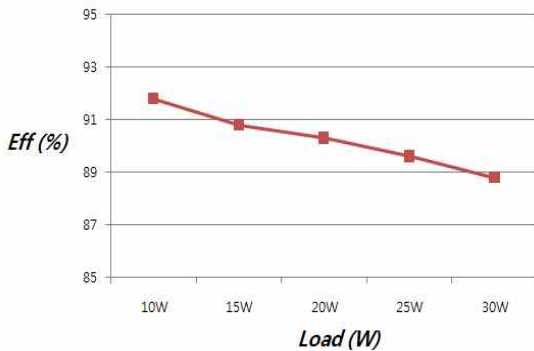


그림 5 측정된 효율