

직접전력변환을 가지는 능동 클램프 AC-DC 컨버터

조용원, 권봉환
포항공과대학교 전자전기공학과

Active-Clamp AC-DC Converter with Direct Power Conversion

Yong Won Cho, Bong Hwan Kwon

Depart. of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 새로운 구조의 능동 클램프 ac dc 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 강압형 ac 초퍼와 voltage doubler로 구성되며, 직접전력변환을 함으로써 간단한 구조와 고효율을 가진다. 강압형 ac 초퍼는 ac ac 전력변환과 능동 클램프 역할을 하며, 스위치의 전압 스트레스와 스위칭 손실을 최소화한다. 또한, voltage doubler의 공진 커패시터와 변압기의 누설 인덕턴스는 공진회로를 형성하여 출력 다이오드의 역회복 문제를 해결한다. 본 논문에서는 제안된 회로의 이론적 해석을 실험을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 회로가 간단하고 저비용, 고효율인 ac dc 컨버터에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 ac dc 컨버터는 브릿지 다이오드를 사용한 전파정류기와 직류 링크 커패시터, 고주파 dc dc 컨버터로 이루어져 있다. 이러한 컨버터는 입력 전류에 많은 고조파 성분이 포함되어 낮은 역률을 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 PFC 회로가 요구된다. PFC 회로가 사용된 컨버터는 two stage PFC 컨버터와 single stage PFC 컨버터로 분류할 수 있다. two stage PFC 컨버터는 single stage PFC 컨버터보다 더 좋은 성능을 가지는 반면, 회로가 복잡하고 비용이 많이 드는 단점을 가진다. single stage PFC 컨버터는 two stage PFC 컨버터의 PFC 단과 dc dc 컨버터단의 스위치를 공유함으로써 간단한 구조를 가진다. 대부분의 single stage PFC 컨버터는 플라이백 또는 포워드 컨버터와 같은 single switch dc dc 컨버터를 사용하여 간단한 구조와 가격 경쟁력을 가진다. 그러나, 이러한 컨버터는 하드 스위칭을 하기 때문에 스위칭 손실이 크고, 효율이 낮다. 이를 개선하기 위해 single stage 공진형 ac dc 컨버터^[1]가 많이 연구되고 있다. single stage 공진형 ac dc 컨버터는 소프트 스위칭을 함으로써 스위칭 손실이 감소되는 장점이 있으나 여전히 기존의 PFC ac dc 컨버터와 같이 브릿지 다이오드를 사용한 전파정류기를 사용하여 도통손실이 크다는 단점을 가진다.

본 논문에서는 브릿지 다이오드를 사용한 전파정류기를 사용하지 않고 직접전력변환을 하는 새로운 구조의 능동 클램프 ac dc 컨버터를 제안하고, 실험을 통하여 제안된 회로의 특성 및 성능을 검증한다.

2. 제안된 능동 클램프 ac-dc 컨버터

2.1 제안된 컨버터의 구성 및 특징

그림 1은 제안한 능동 클램프 ac dc 컨버터의 회로도이다. 제안한 컨버터는 강압형 ac 초퍼 회로^[2]와 voltage doubler 회로로 구성되어 있다. 입력단의 강압형 ac 초퍼는 2개의 클램프 커패시터 C_{c1} 과 C_{c2} , 2개의 메인 스위치 S_1 과 S_2 , 2개의 보조 스위치 S_3 와 S_4 로 구성되어 있다. 입력단의 ac 초퍼는 능동 클램프 회로^[3]의 역할을 함으로써 모든 스위치가 ZVS 턴온을 하게 되어 스위칭 손실을 감소시킨다. 또한 변압기의 누설 인덕턴스와 공진 커패시터 C_r 에 의한 직렬 공진이 발생하고 이로 인해 출력다이오드 D_1 과 D_2 가 ZCS 턴오프함으로써 다이오드의 역회복 문제를 해결한다.

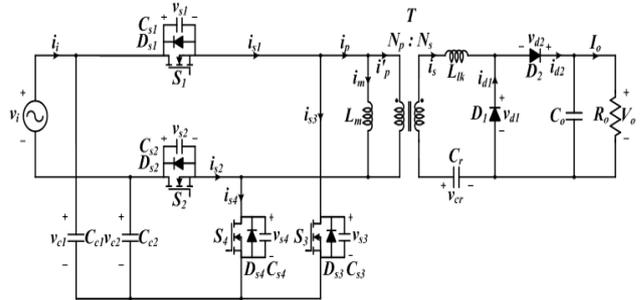


그림 1 제안된 능동 클램프 ac-dc 컨버터
Fig. 1 Proposed active-clamp ac-dc converter

2.2 제안된 컨버터의 동작원리

제안된 컨버터는 입력 전압의 극성에 따라 스위칭 방법이 달라진다. 입력전압이 양인 경우, S_2 는 항상 턴온, S_4 는 항상 턴오프 상태를 유지한다. 그리고 S_1 과 S_3 가 PWM 게이트 신호에 의해 데드타임을 가지고 상보적으로 스위칭한다. 이 때 듀티비는 메인 스위치 S_1 의 듀티비이다. S_3 와 C_{c1} , C_{c2} 는 능동 클램프 회로를 구성한다. 즉, S_1 이 턴오프 시 변압기의 인덕턴스 성분에 저장된 에너지를 S_3 를 통해 C_{c1} 과 C_{c2} 에 저장함으로써 스위치에 걸리는 고전압을 클램핑 시키고, S_1 과 S_2 는 ZVS 턴온을 한다. 이 때 입력 전력은 스위치 S_1 이 도통될 때 출력단의 부하로 전달된다. 반대로 입력전압이 음인 경우, S_1 은 항상 턴온, S_3 는 항상 턴오프 상태를 유지하고, S_2 와 S_4 가 S_2 의 듀티비 D 에 의해 상보적으로 스위칭한다. 이 때 S_4 와 C_{c1} , C_{c2} 는

능동 클램프 회로의 역할을 한다. 따라서 스위치 S_2 와 S_3 가 ZVS 턴온하게 된다. 이 때의 입력 전력은 스위치 S_4 가 도통될 때 출력단의 부하로 전달된다. 출력단의 voltage doubler는 입력단에서 전달된 교류전압을 정류 다이오드 D_1 과 D_2 를 사용하여 직류 전압으로 정류시킨다. 이 때 변압기의 누설 인덕턴스 L_{lk} 와 voltage doubler의 공진 커패시터 C_r 에 의해 발생한 직렬 공진에 의해 다이오드 D_1 과 D_2 는 ZCS 턴오프를 하게 된다. 다이오드 D_1 과 D_2 양단의 전압은 출력 전압에 의해 클램핑 된다.

제안된 컨버터는 입력 전압의 반 주기 동안 그림 2와 같이 2가지 영역으로 동작을 한다. 다이오드 D_1 의 양단에 걸리는 전압이 출력전압보다 높은 경우 컨버터는 Region I에서 동작을 한다. Region I은 입력 전력이 출력단의 부하로 전달되는 구간이다. 반대로, 출력전압보다 낮은 경우 Region II에서 동작을 하게 되며, 이 구간에서는 입력 전력이 부하로 전달되지 않는다. 따라서 제안된 컨버터의 역률과 효율 개선을 위해서 듀티비를 입력전압의 위상에 따른 듀티비 제어를 통해 Region II를 감소시킨다.

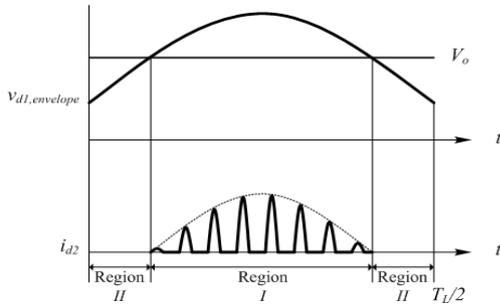


그림 2 제안된 컨버터의 동작 영역
Fig. 2 Operation regions of the proposed converter

제안된 컨버터의 출력 전압은 식(1)과 같으며, 입력전압의 최대값 V_m 과 듀티비에 의해 결정된다.

$$\frac{V_o}{V_m} = \frac{n^2 L_m + L_{lk}}{n L_m} \frac{1}{1 - D} \quad (1)$$

3. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 컨버터의 특성을 실험을 통해 확인하였다. 실험에 사용된 입력전압은 220 V_{rms}, 60 Hz이며, 스위칭 주파수는 50 kHz, 정격 전력은 500 W인 프로토타입을 설계하여 실험하였다. 그림 3은 입력 전압과 전류의 실험 파형이다. 측정된 역률은 0.915이다. 그림 4는 출력 전압 파형으로 200 V의 출력 전압을 가진다. 그림 5는 스위치 S_1 의 전압 V_{s1} 과 변압기 1차측 전류 i_p , 2차측 전류 i_s 의 파형이다. 그림 5를 통해 제안된 컨버터에 사용된 모든 전력용 반도체 스위치가 소프트 스위칭 하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 직접전력변환을 가지는 능동 클램프 ac dc 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 모든 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴오프를 통하여 500W 정격 전력에서 92.7%의 고효율을 가진다.

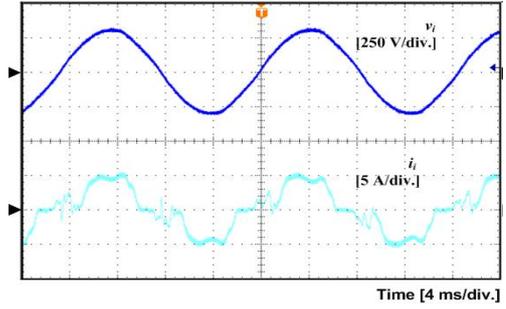


그림 3 입력 전압 및 전류 파형
Fig. 3 Waveforms of the input voltage and current

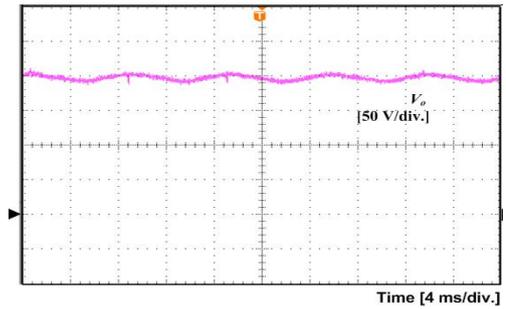


그림 4 출력 전압 파형
Fig. 4 The waveform of the output voltage

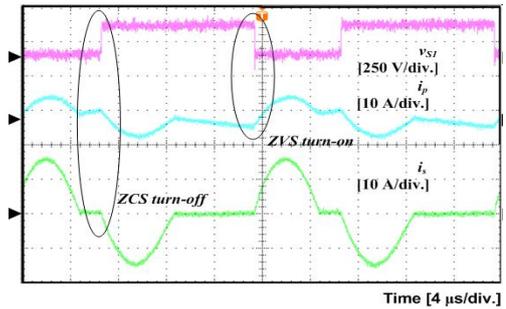


그림 5 v_{s1} 및 i_p , i_s 파형
Fig. 5 Waveforms v_{s1} , i_p , and i_s

참고 문헌

- [1] Y. M. Liu and L. K. Chang, "Single stage soft switching AC DC converter with input current shaping for universal line applications", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 2, pp. 467-479, 2009, Feb.
- [2] B. H. Kwon, B. D. Min, and J. H. Kim, "Novel topologies of AC choppers", Proc. IEE Elect. Power Appl., Vol. 143, No. 4, pp. 323-330, 1996, Jul.
- [3] J. J. Lee, J. M. Kwon, E. H. Kim, and B. H. Kwon, "Dual series resonant active clamp converter", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 55, No. 2, pp. 699-710, 2009, Feb.