

# 단일 전력단 역률보상을 위한 능동 클램프를 갖는 새로운 영전압 스위칭 풀 브릿지 PWM 컨버터

조정구, 김학성, 백주원, 정창용, 송두익, 유동욱, 임근희

한국전기연구소  
 전력전자연구부, 전기물리연구팀  
 Phone: 0551-80-1451, Fax.: 0551-80-1406

## Novel ZVT Full Bridge PWM Boost Converter with Active Clamp for Single Stage Power Factor Correction

J. G. Cho, H. S. Kim, J. W. Baek, C. Y. Jung, D. I. Song and G. H. Rim

Applied Electrophysics Team  
 Power Electronics Research Division  
 Korea Electrotechnology Research Institute  
 Phone: 0551-80-1451, Fax.: 0551-80-1406

### ABSTRACT

A novel zero-voltage-switching(ZVS) isolated PWM converter for single stage power factor correction (PFC) is presented to improve the performance of the previously presented ZVT converter[5]. A simple clamp circuit in the primary side provides zero-voltage-switching condition to all semiconductor devices. This leads to reduced cost and simplified power circuit comparing to the previous converters. The ZVS is achieved with minimum device voltage and current stresses. Operation principle, control strategy and features of the proposed converter are presented and verified by the experimental results from a 1.5 kW, 100 kHz laboratory prototype.

### 1. 서론

역률 보상을 위한 기존 컨버터의 구성은 기본적인 부스트 역률 보상회로와 off-line DC/DC 컨버터로 구성되는 이단 전력단 구조를 갖는 것이 역률 보상을 위한 컨버터의 일반적인 형태였다. 이러한 구성은 전력이 두 번 변환되기 때문에 장치가 비효율적이고 구조상 고가인 면과 또한, 각 전력단마다 별도의 제어회로와 검출회로 및 보호회로 등을 필요로 하기 때문에 제어회로가 복잡해지는 단점이 있다.[1] 따라서, 입력역률 보상과 교류 전원으로부터 요구되는 직류 출력을 직접 얻기 위하여 단일 전력단 방식이 제안되었다.[2-5,8] 이러한 구조는 하나의 전력단을 줄임으로써 전체 장치는 이단 전력단 방식과 비교하여 저원가이고 고효율이며, 전체 장치 구조는 매우 간단해진다. 그러나, 이러한 방식 또한 출력측에 전원 주파수의 2배인 저주파 리플이 존재한다는 단점을 가지고 있으므로 배터리 충전기 혹은 분산 전원 시스템의 DC BUS와 같은 엄격한 출력조정이 필요로 하지 않은 응용분야에 효과적으로 사용될 수 있다고 하겠다.

지금까지, 여러 가지 형태의 단일 전력단 방식 역률 보상회로들이 제안되었는데, 대부분의 방식들이 몇 가지의 단점들을 포함하고 있다. 먼저, 영전압 스위칭 SEPIC 컨버터를 이용한 단일 전력단 역률 보상 회로는 매우 높은 전압과 전류 스트레스 때문에 전력용량을 높이는 데에 한계가 있고[2] 능동 클램프를 갖는 공진 dc-link를 이용한 영전압 스위칭 풀 브릿지 부스트 컨버터 방식 또한, 높은 전압과 전류 스트레스와 전원 전류에 subharmonic이 발생한다는 단점을 가지고 있다.[3] 이에 따라, Fig.1에서와 같이 ZVT 풀 브릿지 PWM 부스트 컨버터가 단일 전력단 역률 보상 회로방식으로 제안되었는데,[4] Fig.1(a)와 같은 방식은 소자 전압과 전류 스트레스가 낮고 넓은 부하 범위에서 영전압 스위칭이 가능하다는 뚜렷한 이점으로 인해 대용량 분야(1-10 kW)에 적용이 가능하게 되었지만 회로구조내의 보조회로부에 두 개의 능동 스위치와 MOSFET을 능동 스위치로 사용할 경우 보다 다이오드의 블로킹을 위하여 4개의 다이오드가 필요하게 된다.

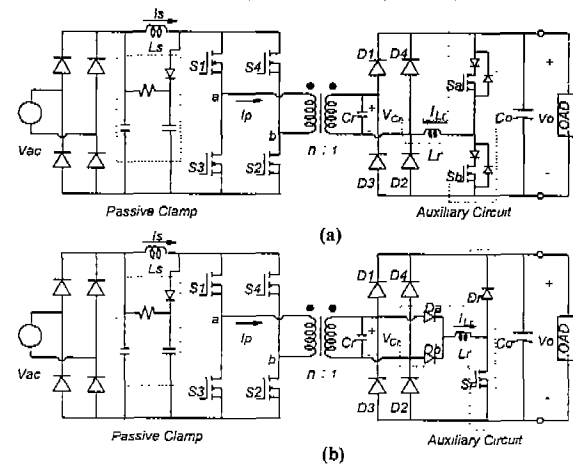


Fig. 1 Circuit topology of the previous ZVT full bridge PWM boost converter for single stage PFC.

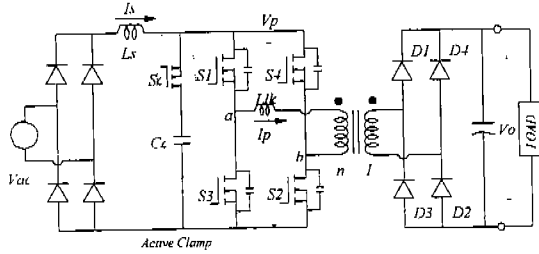


Fig. 2 Circuit topology of the proposed ZVT full bridge PWM boost converter for single stage PFC.

이것은 제안된 컨버터의 제작원가를 상승시키는 상당한 요인으로 작용하므로 하나의 보조 스위치와 3개의 다이오드로 구성되는 Fig.1(b)와 같은 개선된 ZVT 풀 브리지 PWM 부스트 컨버터가 또한 제안되었다.[5] 이것은 보조회로 구성에 따른 제작원가상승이 그리 크지 않아서 입력 역률보상기능을 갖는 대용량 전원요구를 충족시킬 수 있는 방식이라 할 수 있다. 이에 더 하여 본 논문에서는 이전에 제안된 ZVT 부스트 컨버터의 성능을 더욱 개선하기 위하여 Fig.2에 나타낸것과같이 새로운 ZVS 풀 브리지 PWM 부스트 컨버터를 제안한다.

기본적인 전력회로의 구조는 이전의 ZVT 컨버터와 같이 풀 브리지 부스트 컨버터의 구성이지만 제안된 컨버터에서는 기존의 ZVT 컨버터와 같은 보조회로를 포함하고 있지 않으며, 단지 하나의 클램프 스위치만으로 주 소자의 전압 클램프 뿐 아니라 영전압 스위칭을 가능하게 해줌으로써 인해 전력회로를 상당히 단순화할 수 있으므로 제작상의 원가를 더욱더 낮게 할 수 있고, 이외에도, Fig.1의 ZVT 컨버터들이 갖는 수동 크램프회로에서 발생하는 손실을 줄일 수 있으므로 전체 효율도 개선되는 장점을 갖는다. 본 논문에서는 제안된 컨버터의 동작 원리와 제어 방법 및 특징을 소개하고 1.5kW, 100kHz 시제품에 대한 실험 결과를 통하여 동작특성을 입증하였다.

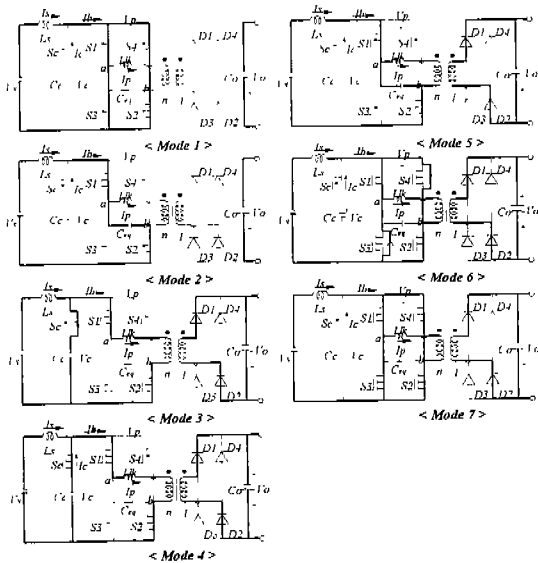


Fig. 3 Operation mode diagrams of the proposed converter.

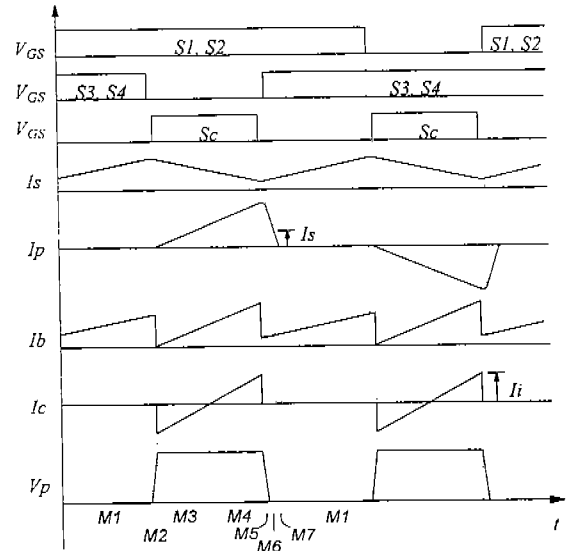


Fig. 4 Operation waveforms of the proposed converter.

## 2. 동작 원리

제안된 컨버터의 동작을 간략화하기 위하여 모든 소자와 성분들은 이상적으로 가정하였고, 교류 입력전압과 클램프 커패시터 전압은 스위칭 주기동안 일정한 직류 전원으로 간주하였다. Fig.3에 제안된 컨버터의 동작 모드 다이어그램을 나타내었다.

반주기의 동작은 7개의 모드로 나누어질 수 있고 각 모드에서 회로의 도통경로는 굵은 선으로 표시하였다. 또한, Fig.4에서는 각 모드에 대한 등가 파형을 나타내었다 증가한다. 제안된 컨버터의 동작을 모드별로 설명하면 다음과 같다.

**모드 1 :** 모든 일차측 스위치는 턴온되어 있고 입력 인덕터 전류  $I_{Ls}$ 는 선형적으로 증가한다.

**모드 2 :** 턴온 주기 후에, 대각부분 스위치  $S2, S3$ 이 턴오프 된다. 입력 인덕터 전류는 커패시터  $C_{eq}$ 을  $V_c$ 까지 충전시킨다.

**모드 3 :**  $C_{eq}$  전압이  $V_c$  전압으로 클램프되고 입력 인덕터 전류는 선형적으로 감소하고, 누설인덕턴스 전류는 선형적으로 증가하기 시작한다. 입력 인덕터 전류와 누설인덕턴스 전류의 차는 클램프 커패시터를 충전시킨다.

**모드 4 :** 클램프 커패시터 전류의 방향이 바뀌어 방전하기 시작한다.

**모드 5 :** 턴오프 주기를 끝내기 위해서 턴오프 상태의 일차측 스위치  $S2, S3$ 이 다시 턴온되어야 한다. 턴온되는 일차측 스위치뿐만 아니라 턴오프되는 일차측 다이오드의 영전압 상태를 위하여 클램프 스위치  $Sc$ 를 오프시키면 누설인덕턴스에 저장되어 있던 에너지에 의해서 커패시터  $C_{eq}$ 가 방전 한다.

**모드 6 :** 커패시터  $C_{eq}$ 가 다 방전하면  $S2, S3$ 의 역도통 다이오드가 턴온된다. 이 구간동안에  $S2, S3$ 를 켜면 ZVS 턴온을 할 수 있게 된다.

**모드 7 :** 누설인덕턴스에 출력전압이 일차측으로 반영된 전압이 걸려서 일차측 전류는 급격하게 줄어들게 되고, 이 모드의 끝에서는 영이된다.

반주기의 동작은 이 모드의 끝에서 완전히 끝나게 된다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

제안된 컨버터의 동작 특성을 입증하기 위하여 1.5 kW, 100 kHz의 시제품을 설계, 제작 하여 실험을 하였고 이에 따른 실험 회로도를 회로정수와함께 Fig. 5에 나타내었다.

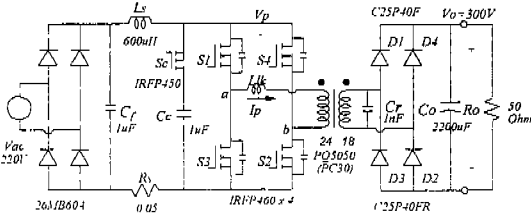


Fig. 5 Experimental circuit diagram of the proposed converter.

변압기는 24:18의 권선비를 가지며 누설 인덕턴스는  $1.3\mu\text{H}$ 이다. UC3854N을 제어기로 사용하여 실험하였다. Fig. 7은 일차측 스위치의 턴온 파형으로 역병렬다이오드가 도통할 때 스위치를 턴온 시키므로서 ZVS 턴온이 완전하게 이루어진다는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 일차측 스위치의 턴온 파형으로 역병렬다이오드가 도통할 때 스위치를 턴온 시키므로서 ZVS 턴온이 완전하게 이루어진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 이차측 정류다이오드의 턴오프 파형이다. 영전압과 영전류 스위칭이 동시에 이루어지고 있고 역회복 현상이 없으며, 스위칭 손실이 거의 영에 가깝다는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 입력 인덕터 전류와 실험 회로도에서 p와 n사이의 전압 파형이다. 크렘프 커패시터 전압에 120Hz 저주파 리플이 존재함을 볼 수 있다. Fig. 10은 입력 전압과 전류 파형이다. 입력전류 파형이 입력전압과 동상으로 정현파이고 영교차점 왜곡은 무시할만하다는 것을 볼 수 있다. 측정된 입력 역률은 99.9%이다. Fig. 11은 부하변화에 따른 측정된 효율이다. 최대 부하에서의 최대효율은 약 94%이다.

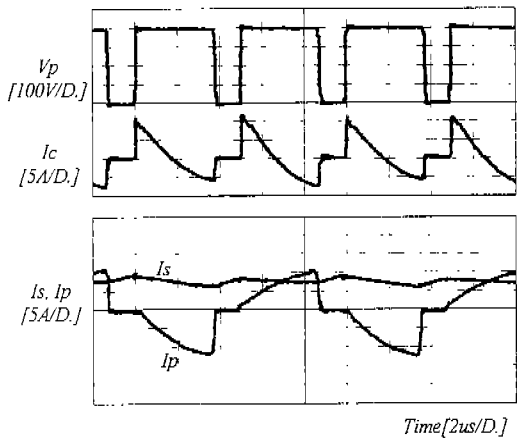


Fig. 6 Experimental waveforms of the primary voltage, input inductor current, and resonant inductor current.

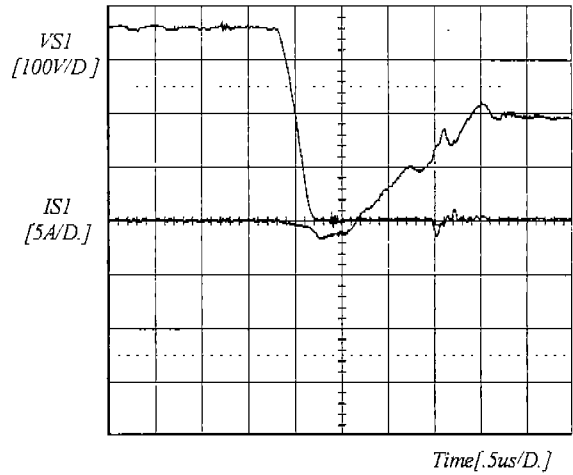


Fig. 7 Extended ZVS turn-on waveforms of the primary switch (S1).

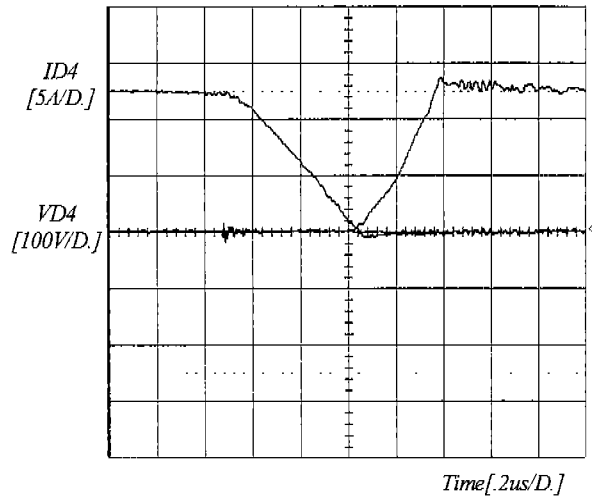


Fig. 8 Extended ZVS turn-off waveforms of the secondary rectifier diode (D2).

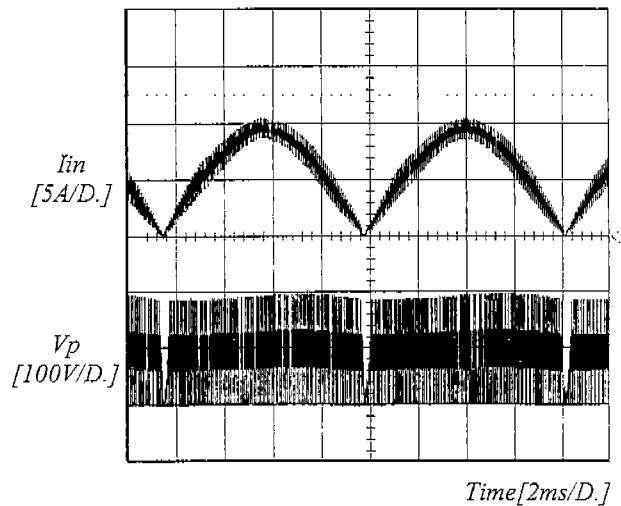


Fig. 9 Waveforms of input inductor current and voltage between p and n.

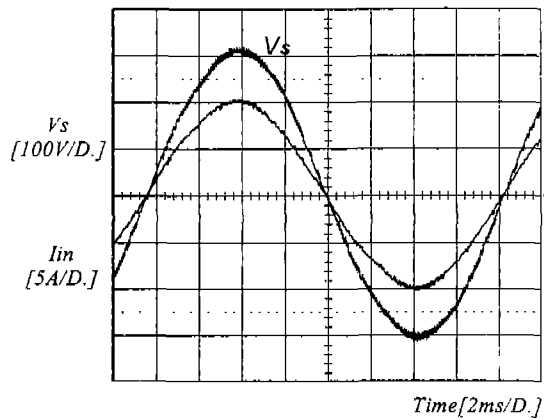


Fig. 10 Waveforms of input voltage and current.

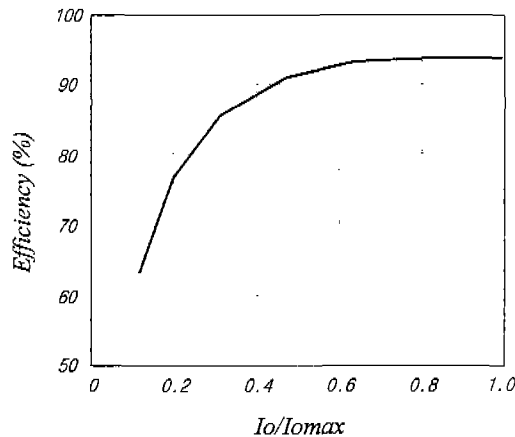


Fig. 11 Measured efficiencies according to the load variation.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 단일 전력단 역률 보상을 위한 새로운 능동 클램프를 이용한 풀 브리지 PWM 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터의 동작특성을 설명하였고 1.5 kW, 100 kHz 프로토타입의 실험 결과로 증명하였다. 제안된 컨버터가 단일 전력단을 이용하여 입력 역률 보상뿐만 아니라 교류 전원으로부터 요구되는 직류출력을 직접변환 할 수 있다는 것을 보였다. 기존의 ZVT 풀 브릿지 부스트 컨버터와 비교하여 더욱더 간단한 보조회로를 사용하여 제안된 컨버터의 전체 시스템은 더욱더 단순화되었고 제작 원가가 상당히 감소하는 장점을 가지게 되었다. 낮은 소자 전압과 전류 스트레스, 그리고 간단한 회로 토폴로지와 저원가 등의 뚜렷한 이점으로 인하여 제안된 컨버터는 전기자동차의 on board 배터리 충전기 또는 분산전원시스템의 dc bus등과 같이 엄격한 출력조정이 필요로 하지 않는 응용분야에 효과적으로 사용될 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] G. C. Hua, W. A. Tabisz, C. S. Leu, N. Dai, R. Watson, and F. C. Lee, "Development of DC Distributed Power System Components," VPEC Annual Seminar, 1992 Proceedings, pp. 137-142.
- [2] J. Sebastian, J. A. Cobos, et. al., "Improving power factor correction in distributed power supply system using PWM and ZCS-QR SEPIC topologies", IEEE PESC 1991 Rec., pp. 780-791.
- [3] J. G. Cho, H. H. Sung and G. H. Cho, "A new ZVS PWM ac/dc converter for single stage preregulation in distributed power systems", International Symposium on Power Electronics (ISPE) 1992 Rec., pp. 280-285.
- [4] J. G. Cho, J. W. Baek, D. W. Yoo, D. I. Song, and G. H. Rim, "Zero voltage transition isolated PWM boost converter for single stage power factor correction," IEEE APEC Rec., 1997, pp. 471-476.
- [5] D. I. Song, S. K. Kwon, and J. G. Cho, "Improved zero voltage transition isolated PWM boost converter for single stage power factor correction," KIEE Fall Conference Oct. 1996, pp. 35-83.