

## AC-DC PFC ZVS 인터리브 승압형 컨버터에 관한 연구

이성호\*, 김 용\*, 서상화\*, 권순도\*\*, 이은영\*\*  
 동국대학교\*, 대림대학\*\*

### A study of AC-DC PFC ZVS Interleaved Boost Converter

Sung-Ho Lee\*, Yong Kim\*, Sang-Hwa Seo\*, Soon-Do Kwon\*\*, Eun-Young Lee\*\*  
 Dongguk University\*, Daelim College\*\*

**Abstract** - This paper proposes a novel soft-switching interleaved boost converter composed of two shunted elementary PFC boost conversion units and an auxiliary inductor. This converter is able to turn on both the active power switches at zero voltage to reduce their switching losses and evidently raise the conversion efficiency and power factor. Since the two parallel-operated elementary boost units are identical, operation analysis and design for the converter module becomes quite simple. A laboratory test circuit is built, and the circuit operation shows satisfactory agreement with the theoretical analysis. The performance of the proposed PFC rectifier was evaluated on an experimental 300[W] PFC prototype.

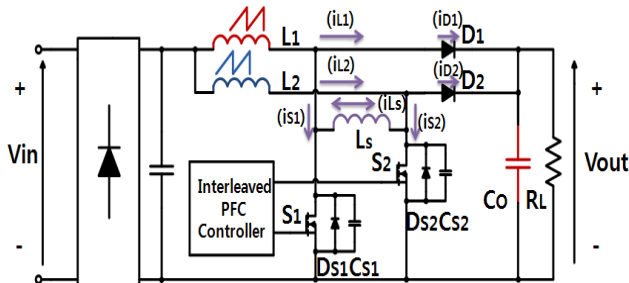
#### 1. 서 론

전력변환 장치의 소프트 스위칭 기술인 제로 전압 스위칭(ZVS)과 제로 전류 스위칭(ZCS)은 많은 응용분야에서 스위칭 손실 저감을 위해 사용되고 있으며 주파수를 증가하여 높은 효율을 얻을 수 있었다. 또한 오래전부터 ZVS, ZCS의 장점과 함께 많은 공진과 중공진 기술이 발전하였다.[1],[2] 이런 종류의 컨버터에서 중요한 문제점은 스위치의 절가로 인하여 전력용 스위치의 전압 스트레스가 높고 제어하기가 어렵다는 단점이 있다. 그러나 수동 스너버 ZVS의 적용은 가장 합리적인 방법이 될 수 있으며, 보조 스위치가 필요 없기 때문에 간단한 제어 형태와 낮은 비용이 특징이라고 할 수 있다.[3] 또한 고조파 저감은 매우 중요하게 언급되고 있으며 전기기의 유럽 기준인 IEC6100-3-2에 의해 통제 되고 있다.

본 논문에서는 2개의 인덕터를 병렬로 연결한 인터리브 승압형 AC/DC PFC 컨버터와 보조 인덕터 하나만을 첨가하여 구성된 소프트 스위칭 인터리브 승압형 AC/DC PFC 컨버터를 비교하여 그 특성을 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

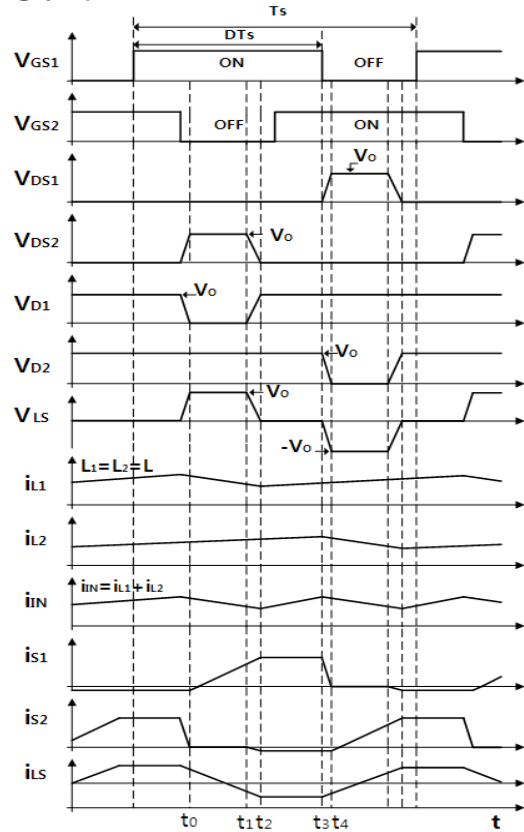
##### 2.1 회로 구성



**〈그림 1〉 제안된 AC-DC PFC ZVS 인터리브 승압형 컨버터**

그림 1은 제안된 소프트 스위칭 컨버터를 제시하였다. 인덕터  $L_1$ ,  $L_2$  MOSFET 스위치  $S_1$ ,  $S_2$  그리고 다이오드  $D_1$ ,  $D_2$ 로 승압형 변환장치를 구성하였으며  $D_{sx}$ 와  $C_{sx}$ 는 스위치의 내부에 있는 역 병렬 다이오드와 출력 커패시턴스이다. 두 개의 MOSFET 스위치 드레인에 인덕터  $L_s$ 를 연결하여 회로를 구성하였으며 실험에서는 PFC 인터리브 전용 제어기를 사용하여 컨버터를 설계하였다.

##### 2.2 동작원리



**〈그림 2〉 제안된 회로의 이론적인 각부 파형**

그림 2는 제안된 회로의 주요 이론적인 각부 파형을 나타내며 각 스위치의 한 주기에 4가지 모드가 반복적으로 교대로 나타난다.

1) 모드 I :  $t_0 \leq t \leq t_1$   
 이 모드에서는 스위치  $S_2$ 의 게이트 신호가 오프 상태이고  $t_0$  시간에 전압  $V_{DS2}$ 는 출력 전압  $V_o$ 로 이동된다. 이 모드 초기에 스위치  $S_2$ 를 통한 전류의 흐름은 다이오드  $D_2$ 에서 로드로 전환된다. 또한 스위치  $S_1$ 의 전류  $i_{S1}$ 은 제로(Zero)에서 점차적으로 상승하며 에너지는 인덕터  $L_s$ 를 통하여 흐른다.

$V_{DS1}$ 의 제로(Zero) 전압으로 인하여 보조 인덕터  $L_s$ 의 전압은  $V_o$ 이다. ( $i_{Ls}$ 는  $V_o/L_s$ 의 비율로 선형적으로 감소한다.)

인덕터 전류  $i_{L1}$ 에 전달된 에너지 때문에 스위치  $S_1$ 의 전류는 양의 방향으로 선형적으로 증가하고 보조 인덕터 전류  $i_{Ls}$ 는 인덕터  $L_1$ 의 소모된 에너지, 제로(Zero)를 지나 역 방향으로 인덕터  $L_2$ 로 부터 에너지를 저장 한다.

2) 모드 II :  $t_1 \leq t \leq t_2$   
 이 모드는 다이오드  $D_2$ 가 동작을 멈출 때 시작하고, 스위치  $S_2$ 와 병렬로 연결된 내부 커패시터  $C_{S2}$ 는 출력 전압  $V_o$  이상 상승 하지 않는

다.  $L_S$ 를 통하여 전달된 인덕터 전류  $i_{L_S}$ 는 계속 증가하며 내부 커패시터  $C_{S2}$ 는 전압을 방출하기 시작한다. 이 모드는 스위치  $S_2$ 의 드레인 소스 간 전압  $V_{DS2}$ 가 제로(Zero)에 도달 할 때 종료된다.

3) 모드 III :  $t_2 \leq t \leq t_3$   
 $t=t_2$ 에서, 전압  $V_{DS2}$ 가 제로(Zero)로 감소할 때 이 모드는 시작한다. 또한 스위치  $S_2$ 의 역병렬 다이오드  $D_{S2}$ 를 통한 환류 수행은 인덕터  $L_2$ 를 시작으로 보조 인덕터 전류  $i_{L_S}$ 를 거쳐 스위치  $S_1$ 과  $D_{S2}$ 를 통하여 환류를 수행하며 평균적으로  $i_{L_S}(t_2)$ 의 크기만큼 유지된다. 이 모드에서 스위치  $S_2$ 의 전압은 제로(Zero)를 유지하고 있으며 이것은 제로(Zero) 전압 턴온(Turn-on)에서 스위치  $S_2$ 가 동작할 수 있도록 도와준다.

(4) 모드 IV :  $t_3 \leq t \leq t_4$   
 $t=t_3$ 에서, 스위치  $S_1$ 이 턴오프(Turn-off) 일 때 이 모드는 시작하며 인덕터 전류  $i_{L_S}$ 는 커패시터  $C_{S1}$ 에 충전되기 시작한다. 내부 커패시터  $C_{S1}$ 은 짧은 시간 동안 충전을 하게 되고, 인덕터  $i_{L_S}$ 는 조금 감소하여  $-L_{L2}$ 을 향하여 공진한다.

커패시터 전압  $V_{CS1}$ 이 출력 전압  $V_O$ 일 때 다이오드  $D_1$ 이 순방향-바이어스 되어 이 모드는 종료된다.

1-4번째 모드는 스위치  $S_2$ 가 OFF-상태에서 ZVS 턴온(Turn-on)을 모드별 동작 및 해석을 하였고 다음 동작은  $S_1$ 과 대응되어 같은 동작을 반복한다.

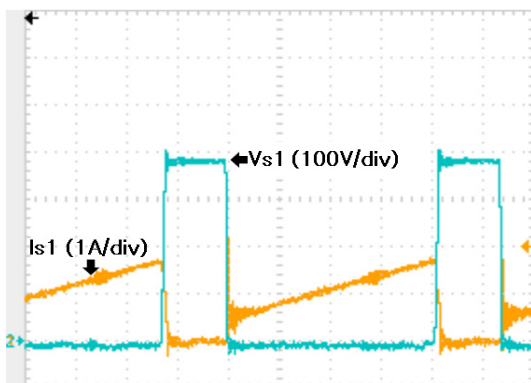
### 2.3 실험 결과

제안된 보조 인덕터를 이용한 인터리브 AC/DC 역률개선 승압형 컨버터의 특성을 파악하기 위하여 300[W]급 시작품을 제작하여 스위칭 주파수 200[kHz]에서 실험하였다. 표 1은 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

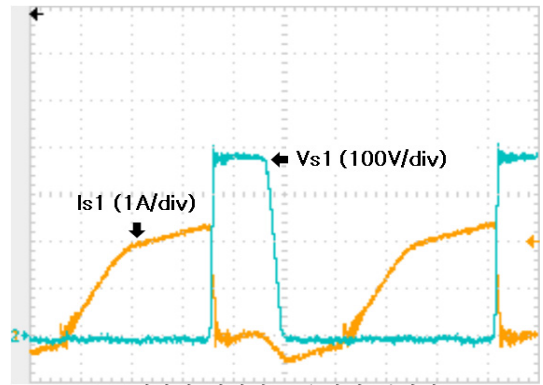
〈표 1〉 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

입력전압 ( $V_{in}$ )	AC 110 [V]
출력전압 ( $V_o$ )	DC 400 [V]
최대출력 ( $P_o$ )	300 [W]
스위칭 주파수 (f)	200 [kHz]
승압 인덕터 ( $L_1$ )	289 [ $\mu$ H]. CSC
승압 인덕터 ( $L_2$ )	296 [ $\mu$ H]. CSC
브리지 정류 다이오드	KBU600. QUATRO
쇼트키 다이오드 ( $D_1, D_2$ )	CSD10060. CREE
전류 변압기(CT1, CT2)	PQ2625. TDK $N_1 : N_2 = 100 : 1$
출력 커패시터 ( $C_{OUT}$ )	100 [ $\mu$ F] $\times$ 2
보조 인덕터 ( $L_S$ )	278 [ $\mu$ H]. CSC
주 스위치 ( $S_1, S_2$ )	IRFP 26N60. IXYS
PFC 제어기	UCC28070. TI

그림 3은 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 입력전압 110[V]에서의 스위치 전압 및 전류 파형이고 그림 4,5는 효율 및 역률을 비교하여 나타내었다. 제안된 인터리브 컨버터는 100% 부하시 효율은 1.8[%], 역률은 약 2.6[%] 향상된 것을 확인하였다.

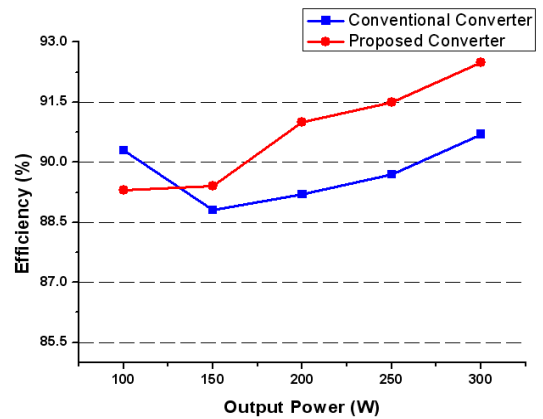


(a)기존의 인터리브 승압형 컨버터

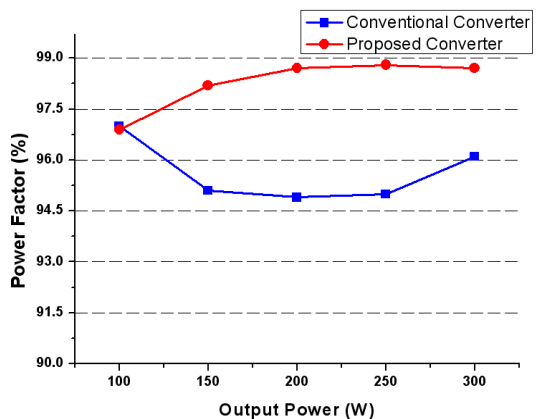


(b)제안된 인터리브 승압형 컨버터

〈그림 3〉 인터리브 승압형 컨버터의 입력 전압·전류 파형 (1us)



〈그림 4〉 110V 입력시 출력 전력에 따른 효율 특성



〈그림 5〉 110V 입력시 출력 전력에 따른 역률 특성

### 3. 결 론

본 논문에서는 보조 인덕터를 이용한 ZVS 인터리브 승압형 AC/DC 컨버터를 모드별로 분석하였고 300[W]급 시작품으로 그 타당성을 검증하였다. 기존의 인터리브 승압형 AC/DC 컨버터에 비하여 영전압 스위칭을 하기 때문에 스위칭 손실 저감으로 인해 거의 전 부하 영역에서 향상된 효율과 역률을 확인하였다.

#### [참 고 문 헌]

[1] Y. Gu, Z. Lu, Z. Qian, X.Gu, and L. Hang, "Quasi-resonant zero-current-switching bidirectional converter for battery equalization applications", IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 5, pp. 1213-1224, Sep. 2006.  
 [2] Y. Gu, Z. Lu, Z. Qian, X.Gu, and L. Hang, "A novel ZVS resonant reset dual switch forward DC-DC converter." IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 01, pp. 96-103, Jan. 2007.  
 [3] C. J. Tseng and C. L. Chen, "A passive lossless snubber cell for non-isolated PWM DC/DC converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 45, no 4, pp. 593-601, Aug. 1998.