

## 무손실 스너버회로를 이용한 새로운 소프트 스위칭 AC-DC승압형 컨버터

문상필, 서기영, 김영문\*  
경남대학교, 마산대학\*

### The new Soft-Switching AC-DC Boost Type Converter using Lossless Snubber

Sang-Pil Mun, Ki-Young Suh, Young-Mun Kim\*  
Kyungnam University, Masan College\*

**Abstract** - A novel lossless passive snubber is proposed for soft switching the boost type converters. The proposed snubber does not use any auxiliary switches, but uses two identical snubber capacitors which are charged in parallel at turn off of the main switch and discharged in series at turn on automatically, and the discharged energy is recovered effectively (more than 95[%] recovery) into the output capacitor. Thus, the snubber provides zero voltage switching for the converter main switch, reducing both the turn off losses and the electromagnetic interference(EMI) noise, which improves the converter performance. The experimental results of a 20[kHz] 600[W] DC-DC boost converter and a single-phase AC-DC boost rectifier with the new snubber are presented.

#### 1. 서론

스위칭 모드 파워 서플라이는 DC-DC, AC-DC 전력 변환을 위해 승압형 컨버터 토폴로지를 사용한다. 스위칭 주기와 이런 컨버터의 고전력 비율을 증가시키면서 스위칭 손실, EMI 노이즈를 줄이기 위한 많은 연구가 행해지고 있다. 반면 무손실 스너버를 이용하는 소프트 스위칭은 컨버터 효율의 관점으로부터 전력 스위칭 장치의 확장된 이용까지 효과적인 해결책을 제공한다.

제안된 무손실 스너버는 지금까지 파워와 컨터롤 회로의 복잡성을 증가시킬 경향이 있는 보조 스위치를 사용한다. 그래서 보조 스위치가 없는 에너지 회복 설계가 적당하다.

본 논문에서 제안된 스너버는 승압형 컨버터를 위한 수동성의 컨버터이다. 이 스너버는 두 개의 동일한 커패시터로 구성되고, 그들은 병렬로 충전되고, 모든 스너버 에너지의 출력을 위해 회복하므로 주 스위칭 장치의 ON-OFF 변환에 의해 자동적으로 직렬로 방전한다. 턴-오프된 소프트 스위칭은 스너버 커패시터의 사용에 의해 이루어지고, 반면 턴-온에서 소프트 스위칭은 주 스위치에 직렬로 연결된 작은 인덕터에 의해 이루어질 수 있다. 비록 제안된 스너버가 승압형 컨버터에 사용될 수 있지만, 승압형 컨버터를 기초로 한 전력 회로에 다양하게 적용할 수 있다. 본 논문은 부스트 DC-DC 컨버터와 승압형 AC-DC 컨버터를 위한 동작원리, 분석, 적용을 상세히 설명한다. 이들 컨버터의 실험적인 결과는 제안된 스너버 회로의 효과를 확인하고자 한다.

#### 2. 제안한 무손실 스너버를 이용한 승압형 컨버터

그림1은 스위치S와 병렬로 연결된 두 개의 커패시터를 가진 반도체 스위치 장치를 나타내었다. 그림1(a)에서 스위치S가 턴-오프일 때 두 개의 커패시터 회로에 저장된 에너지에 의하여 동일하게 충전된다. 각 커패시터  $E_C$ 의 최종 전압은 부하 전압 또는 소스 전압보다 약간 높다. 그림1(b)에서 스위치S가 턴-온일 때 이 두 개의 전압은 추가되고  $2E_C$ 는 단자 AB를 가로질러 나타난다. 만약 두 단자가 인덕터를 통한 회로의 소스나 부하가 같이 연결되면 커패시터 전압은 위의 검토로부터 제로로 공진적으로 방전되고, 스너버 에너지는 회복된다. 스위치S는 커패시터와 병렬 효과에 의해 제로 전압에서 부드럽게 턴-오프 된다.

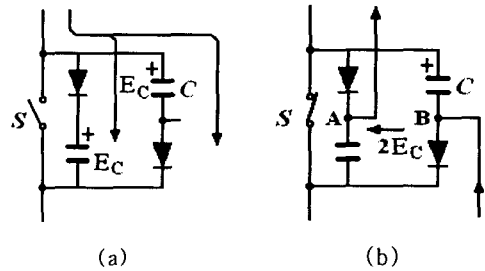


그림 1 무손실 스너버의 스위칭 구조  
(a) 턴-오프 (b) 턴-온  
Fig. 1 Switch structure of lossless snubber  
(a) switch turn-off (b) switch turn-on

#### 2.1 제시한 승압형 DC-DC 컨버터

기본 승압형 DC-DC 컨버터를 적용할 수 있는 제안된 스너버 회로는 그림2에서 보여진다. 주 스위치의 턴-온에서 스너버 커패시터의 단락을 피하기 위하여 다이오드  $D_2$ 가 추가되어야 한다. 이것은 컨버터의 conduction loss를 약간 증가시키지만 무손실 스너버에 의해 이루어진 소프트 스위칭이 이 결점을 보상할 것으로 기대된다.

또한, 다이오드와 직렬로 연결된 두 개의 공진 인덕터는 대칭적인 동작을 확실하게 하는 것이 필요하고, 커패시터 전압의 진동(oscillation)을 피하는 것이 필요하다.

그림 3에서 주 스위치는 제로 전압에서 턴-오프이고, 인덕터 전류  $i_L$ 는 출력 전압  $E_O$ 와 동일하게 충전함으로써 스너버 커패시터  $C_{S1}$ 과  $C_{S2}$ 로 전환된다.  $C_{S1} = C_{S2} = C_S$ 의 초기 전압은 제로이고, 턴-오프에

서 인덕터 전류  $I_{L_0}$ 는 이 모드 동안 일정하고, 각 커패시터 전압  $e_c$ 는 아래에 주어진다.

$$e_c(t) = \frac{I_{L_0}}{2C_S} t \quad (1)$$

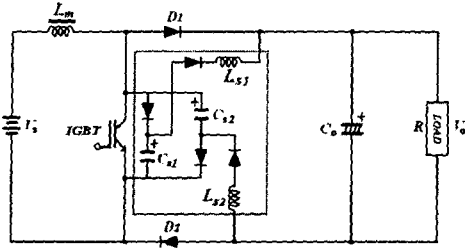
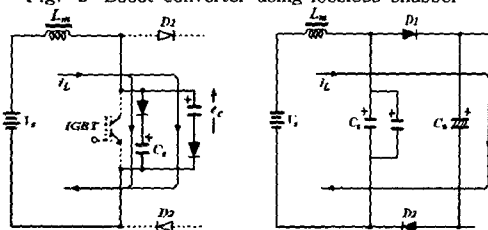


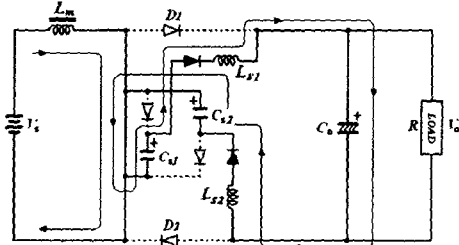
그림 2 무손실 스너버를 이용한 승압형 컨버터

Fig. 2 Boost converter using lossless snubber



(a)

(b)



(c)

그림 3 연속 인덕터 전류 모드

(a) 충전되는 스너버 커패시터(턴-오프)

(b)  $E_0$ 에서 클램프 된 스너버 전압

(c)  $E_0$ 로 방전되는 스너버 전압(턴-온)

Fig.3 Continuous inductor current mode

(a)Charging snubber capacitor(turn-off)

(b)snubber voltages clamped at  $E_0$

(c)discharging snubber voltage into  $E_0$  (turn-on)

## 2.2 실험적 결과 및 고찰(I)

그림2에서 회로의 기본 동작을 검토하기 위하여 20[kHz] 600[W] 시제품은 아래의 요소를 사용해서 만들어진다.

$L=1.25\{mH\}$	$L_{S1}=L_{S2}=L_S=10\{\mu H\}$
$C_0=1800\{\mu F\}$	$C_{S1}=C_{S2}=C_S=0.068\{\mu F\}$
전원전압 $E_i=100\{V\}$	듀티율 $D=0.5$ 스위칭 주파수 $\approx 16-20\{kHz\}$

그림4은 새로운 스너버 회로의 기본 동작을 나타내는 스너버 커패시터의 전압과 전류 파형을 보여준다. IGBT가 턴-오프 상태에서, 각 커패시터 전압  $e_c$ 는 출력 전압  $E_0$ 보다 조금 높고 완만하게 상승하고, 그림3(a)와 (b)와 같이  $E_0$ 에 방전이 떨어진다. 컨버터는 연속 전류 모드에서 동작하고, 각 커패시터 전압은 IGBT의 off 주기동안  $E_0$ 에 클램프 된다.

그림5는 새로운 스너버의 측정된 컨버터 효율을 나타낸다. 무손실 스너버의 회복 효율을 평가하기 위하여 RCD 스너버를 가진 컨버터의 효율을 같이 측정하였다.

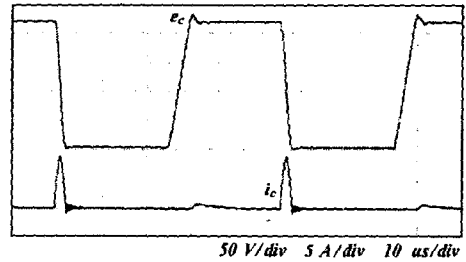


그림 4 부스터 DC-DC 컨버터의 실험적 파형

Fig. 4 Experimental waveforms of the boost DC-DC converter

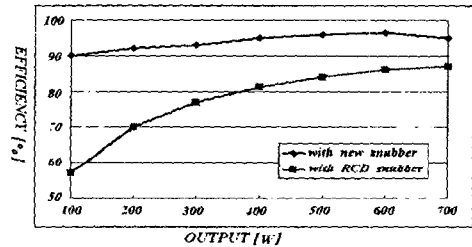


그림 5 스너버 회로의 컨버터 효율

Fig. 5 Converter efficiencies of snubber circuit

## 2.3 승압형 AC-DC 컨버터

고역률 부스터 정류기는 입력 전류 특성을 개선하고, 출력 전력을 조절하기 위해서 최근에 개발되었다. 이들의 적용을 위하여 스위칭 기술은 컨버터 효율과 EMI 관점에서 중요하다. 그림2의 기본 회로에서 결점의 하나는 여분의 다이오드  $D_2$ 가 전도 손실을 증가시킬 수 있는 주 스위치의 턴-온에서 스너버 커패시터  $C_{S2}$ 의 단락을 피하기 위해 필요로 한다.

그림6은 2개의 다이오드 브릿지  $DB_1$ 과  $DB_2$ 를 사용함으로써 AC라인에 인덕터  $L$ 을 주입하므로 이런 결점을 극복한다. off 주기동안 전도 손실은 single 다이오드 브릿지를 가진 기본 회로와 비교할 때 반이 될 수 있다. IGBT가 on 간격 동안 인덕터 전류는  $DB_2$ 를 통하여 증가하고, 반면  $DB_1$ 은 각 스너버 커패시터 전압과 출력 커패시터 전압이 IGBT를

통해서 단락되는 것을 방지한다. 그래서 공진 전류는 스너버 에너지 회복을 위해 IGBT가 턴-온일 때 발생한다. IGBT가 off간격 동안, 인덕터  $L$ 은  $DB_1$ 을 통해서 그것의 에너지를 출력으로 내보내고, 반면 스너버 전압은 AC 전원을 통해서 방전되지 않기 위해서  $DB_2$ 에 의해 저지(blocked)된다. 그래서 이러한 적용을 받는 스너버 회로는 불연속 전류 모드에서 성공적으로 동작할 수 있다. 스너버 전압은 에너지 회복 동작을 위해 충분히 높게 유지된다. 그림6의 600[W] 시제품은 이전의 실험과 같은 회로 파라미터를 이용해서 만들어 졌다. 그림7는 전원전압  $V$ 와 컨버터의 필터를 사용하지 않은 입력 전류  $i_L$ 의 파형을 나타낸것이다.

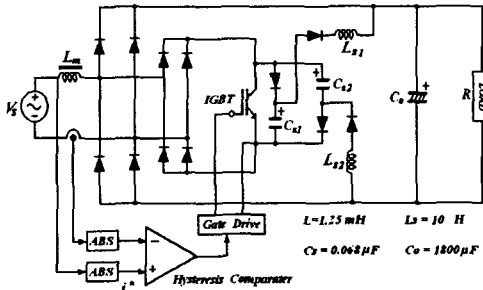


그림 6 개선된 단상 승압형 AC-DC 컨버터  
Fig. 6 Improved single-phase boost AC-DC converter

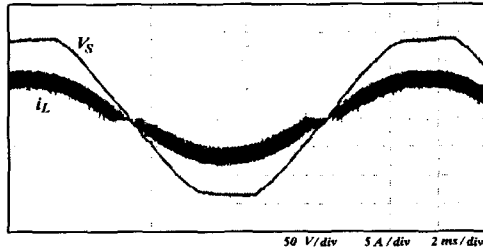


그림 7 고역률 컨버터를 위한 전원전압과 인덕터 전류의 파형

Fig. 7 Source voltage and inductor current waveforms for the HPF converter

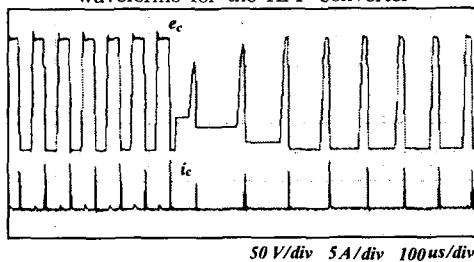


그림 8 스너버 커패시터 전압  $e_c$ 와 전류  $i_c$

Fig. 8 Snubber capacitor voltage  $e_c$  and current  $i_c$

그림8는 스너버 커패시터 전압  $e_c$ 와 전류  $i_c$ 의 파형을 나타낸다. 그림9는 제안된 컨버터와 기존의 전압 클램프

RCD 스너버 회로와의 효율을 비교한 것이다.

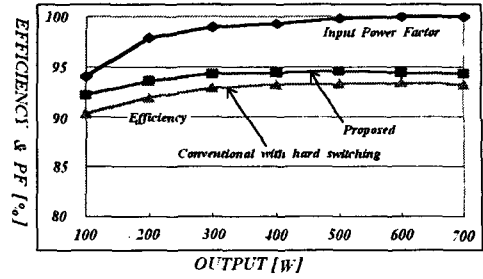


그림 9 제안한 컨버터의 효율  
Fig. 9 Efficiency of proposed converter

### 3. 결론

본 논문은 고주파와 고전력 승압형 컨버터 소프트 스위칭에 적당한 새로운 무손실 수동 스너버 회로를 제안하였다. 제안된 스너버 회로는 보조 스위치를 사용하지 않았지만, 주 스위치가 턴-오프일 때 병렬로 충전되고, 자동적으로 턴-온일 때 직렬로 방전하는 두 개의 동일한 스너버 커패시터를 사용한다. 그리고 방전 에너지는 출력 커패시터에서 효율적으로 회복된다. 그러므로, 스너버 회로에는 턴-오프 손실과 EMI 노이즈를 감소시키고 컨버터 실행을 개선시키기 위해 주 스위치에 영전압 스위칭을 공급한다. 기존의 단상 AC-DC 승압형 컨버터와 새로운 스너버를 가진 20[kHz] 600[W] AC-DC 승압형 컨버터를 시뮬레이션 및 실험 결과에 의해서 비교하여 그 타당성을 증명하였다.

### [참고 문헌]

- [1] S. J. Finney, B. W. Williams, "RCD snubber revisited," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.32, no. 1, pp.155-160, 1996.
- [2] K. Taniguchi, H. Irie, "Soft switching circuit for three-phase converter with unity power factor," Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 117 pt. D, no. 2, pp. 142-149, 1997.
- [3] A. Elasser and D. A. Torrey, "Soft switching active snubbers for dc/dc converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 11, no. 5, pp 710-722, 1996
- [4] X. hE, S. J. Finney, "Novel passive lossless turn-on snubber for voltage source inverter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 12, no. 1, pp. 173-179, 1997.