

에너지 재생 수동 스너버를 적용한 고효율, 고역률 AC/DC Boost 컨버터에 관한 연구

유종규* · 김 용* · 백수현* · 이규훈** · 정명섭***
 *동국대학교 · **스마트비전텍

A Study on the High-Efficiency, High-Power-Factor AC/DC Boost Converter Using a Passive Energy Recovery Snubber

jong-gyu Ryu* · yong Kim* · Soo-Hyun Baek* · Kyu-Hoon Lee**. Myung-Sub Jung***
 *Dongguk University · **Smartvision Tech

Abstract - The conception of the passive lossless snubber with the simpler is presented. Thus a necessity condition of the passive lossless soft switching converter with the simplest topology is directed. A novel passive regenerative snubber called soft snubber applied to a hard switching converter is proposed. The passive snubber consists of a snubber inductor, two snubber rectifiers, and a snubber capacitor. The losses are reduced by inserting a snubber inductor in the series path of the rectifier during it's turn off. It is so simple that can make energy reset or capacitor discharged directly without producing any current circulation. To show the superiority of this converter is verified through the experiment with a 640W, 100kHz prototype converter

1. 서 론

스위칭 전원 장치의 정류회로는 보편적으로 구성이 간단하고 저가인 커패시터 입력형 정류 회로가 사용되어져 왔다. 이 정류방식은 입력 전류 파형이 폭이 좁은 펄스 성 형태로 되어 다량의 고조파를 발생할 뿐만 아니라 입력 역률을 크게 저하시키는 문제점을 지니고 있다.

이와 같은 사항에 대하여 IEC는 규격 61000-3-2을 통하여 앞서 언급한 펄스성 전류에 대한 제약을 규정하고 있어 이를 만족하기 위한 역률 보정(PFC: Power Factor Correction)회로에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

일반적으로 역률 보정(PFC)부스트 컨버터는 일반 다이오드 정류기의 낮은 역률과 고조파 왜곡 문제를 해결하여 거의 1에 근사한 역률을 얻는다. 그러나 스위치가 턴온 또는 턴오프 하는 동안에 과도한 전압 및 전류 상승이 발생하여 전력 손실이 증대되고 반도체 소자의 파손을 초래할 수 있으므로 반도체 스위치가 안정동작영역에서 동작하도록 스너버 회로를 적용하게 된다.[1-4]

본 논문에서는 전원 공급 장치의 입력 전원에 널리 이용되고 있는 부스트 컨버터에 보조 다이오드(D_a, D_{a1}), 결합인덕터(L_{in2}), 그리고 하나의 스너버 커패시터(C_s)로 구성되어 있는 에너지 재생 스너버를 적용하여 출력 다이오드 역회복 시간(Reverse recovery time)에 의해 주 스위치 턴온시 발생하는 과도한 전류 상승을 방지하고 스위치 양단 전압을 제어하여 턴오프 시 발생하는 전력 손실을 저감한다. 또한, 경부하시 발생하는 첨단왜곡 현상을 제거하여 전 부하 영역에서 단위 역률을 유지한다.

제안된 컨버터의 특성은 MOSFET를 사용하여 640W 급 시작품을 제작, 100kHz에서 실험을 통해 입증하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 AC/DC PFC Boost 컨버터

그림1은 입력 전류 리플의 평균값이 입력 전압에 비례하도록 제어하는 평균전류모드방식인 연속전류모드 방식을 사용하였다.[2]

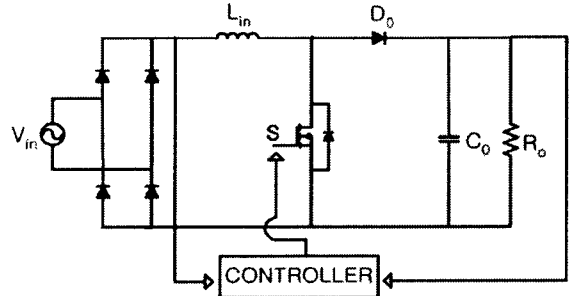


그림 1. 기존의 AC/DC PFC Boost 컨버터 회로

이러한 연속전류모드 방식은 전류의 실효치가 작으며, 높은 스위칭 주파수에서 부스터 인덕터와 입력 필터를 설계하므로 그 크기를 줄일 수 있는 이점이 있으나 다이오드(D_o)가 턴온 상태에서 스위치(S)가 턴오프될 경우 주 다이오드의 역회복 시간에 의해 과도한 전류상승이 발생하여 반도체 접점 일부에 전류가 집중되어 반도체 소자가 파손 될 수 있다.

2.2 제안된 AC/DC PFC Boost 컨버터

그림 2는 에너지 재생 스너버 회로를 나타낸다.

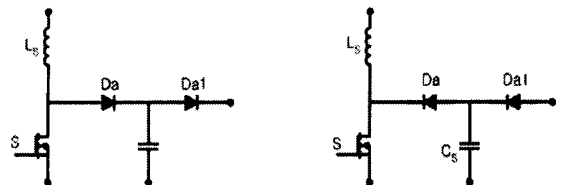


그림 2. 에너지 재생 스너버 회로

제시된 회로에서 인덕터(L_s)는 출력 다이오드(D_o)의 역회복 시간동안 에너지를 저장하고 전류상승을 억제하여 주 스위치의 턴온 손실을 감소시킨다. 이때 출력 다이오드(D_o)가 차단되면 인덕터(L_s)의 에너지는 스너버 커패시터(C_s)로 전달되며 이것은 주 스위치가 턴오프시 과도한 전압이 발생하는 것을 방지하며, 즉시 에너지를

재생하는데 사용된다.[1-5]

그림 3은 제안된 AC/DC PFC Boost 컨버터의 회로를 나타낸다. 기존의 부스트 컨버터와 제어방법이 동일하며 스너버에 축적된 에너지를 출력으로 재생하여 고효율의 전력전달을 이루도록 컨버터를 구현 하였다.

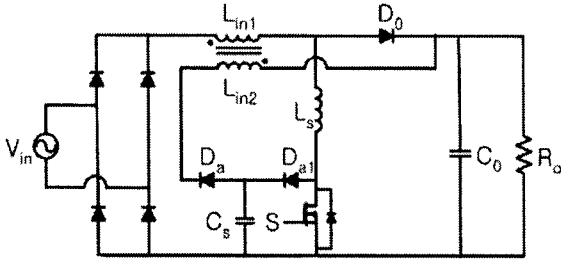


그림 3. 제안된 AC/DC PFC Boost 컨버터 회로

2.4 이론적인 파형 및 동작 특성

그림 4,5는 에너지 재생 스너버를 적용한 AC/DC PFC Boost 컨버터의 모드별 동작 회로 및 이론적인 각 부 파를 나타낸다.

모드별 정상상태 해석을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 1) 모든 소자는 이상적이다.
- 2) 스위치 및 다이오드에 흐르는 전류 리플은 무시한다.
- 3) 스위치 양단의 전압 리플은 무시한다.
- 4) 출력측 평활용 커패시터는 충분히 크다고 가정한다.

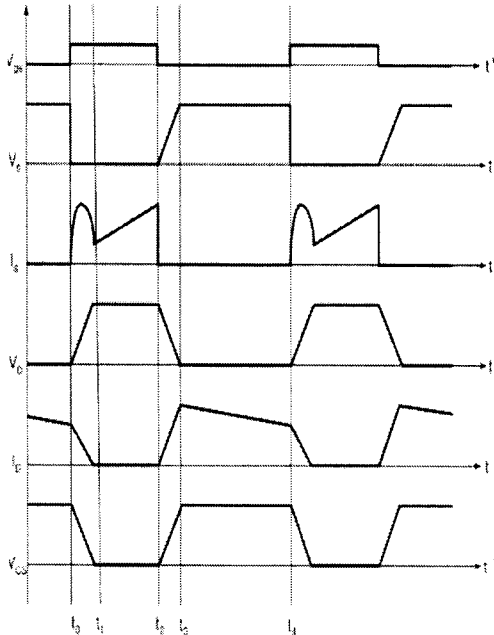
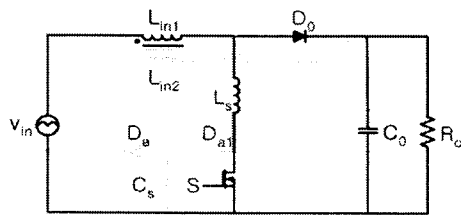
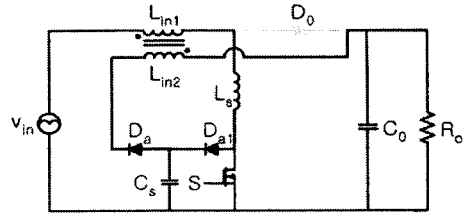


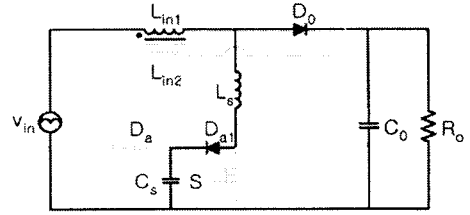
그림 4. 이론적인 회로의 각부 파형



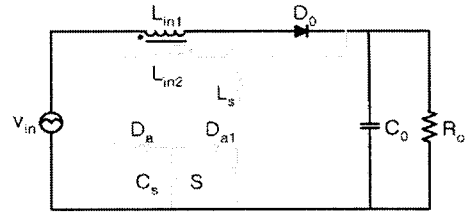
모드 I (t_0-t_1)



모드 II (t_1-t_2)



모드 III (t_2-t_3)



모드 IV (t_3-t_4)

1) 모드 I (t_0-t_1)

주 스위치(S)가 턴온되는 모드로서 승압 인덕터(L_{in1})는 에너지가 축적되고 스너버 인덕터(L_s)는 영전압 스위칭(ZVS)을 이루기 위해서 출력 다이오드(D_0)의 역회복 전류를 제한 한다.

$$V_s(t) = V_0 - V_{Ls} = V_0 \quad (1)$$

$$i_{D0}(t) = -i_{Drr} \quad (3)$$

$$L_s = V_0 t_{rr} / (i_i + i_{Drr}) \quad (4)$$

$$i_s = i_{Ls} = i_{Lin1} + i_{Lin2} = i_i \quad (5)$$

$$v_{Cs} = V_0 - v_{Lin2} (1 - \cos \omega_s t) \quad (6)$$

2) 모드 II (t_1-t_2)

모드 II에서는 스너버 커패시터(C_s)가 방전하고 에너지 재생을 완료하며 계속적으로 승압 인덕터(L_{in1})에 에너지가 축적되는 구간이다.

3) 모드 III (t_2-t_3)

주 스위치(S)가 턴오프되면, 입력 전압과 승압 인덕터(L_{in1})의 전압은 중첩되어 출력 커패시터(C_0)를 통하여 부하로 전달되며, 스너버 커패시터(C_s)는 충전되기 시작 한다.

$$i_s = i_{Lin1} - i_{Cr} = i_{Lin1} - C_s \frac{dv_{Cs}}{dt} \quad (7)$$

$$v_s = v_{Cs} = \int_0^{V_0} dv_{Cs} \quad (8)$$

$$v_D = V_0 - v_s - L_s \frac{di_{Ls}}{dt} \quad (9)$$

$$i_D = i_{Lin1} - i_s \quad (10)$$

4) 모드Ⅳ (t_3-t_4)

모드Ⅳ에서는 스너버 커패시터(C_S)에 충전이 완료되며, 계속적으로 입력전압과 승압인덕터(L_{in1})전압이 중첩되어 승압되는 모드이다.

2.5. 실험결과

제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 100kHz, 640W AC/DC PFC Boost 컨버터를 제작하여 실험하였다. 표 1은 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

입력 전압 (V_{in})	AC 200V
출력 전압 (V_o)	DC 400V
최대 출력 (P_o)	640W
인덕터 (L_{in1}/L_{in2})	(900uH/930uH)
주 스위치 (S)	2SK1522
다이오드 (D)	DSEI 30. IXYS
정류 다이오드	D25XB60. Shindengen
보조 다이오드(D_a/D_{a1})	SF20L60U. Shindengen
스너버 인덕터 (L_s)	5uH
스너버 커패시터 (C_s)	3.2nF
출력 커패시터 (C_o)	940uF
스위칭 주파수 (f)	100kHz

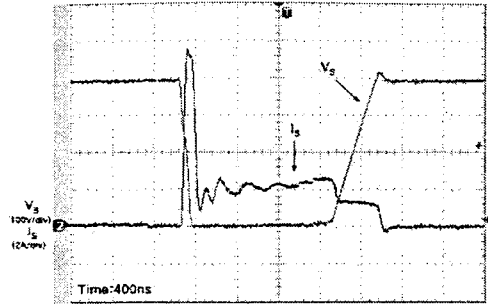


그림7. 기존의 Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 파형(경부하)

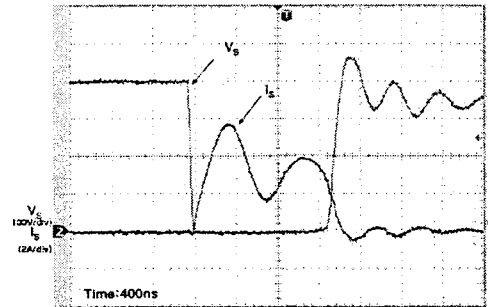


그림8. 제안된 Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 파형(경부하)

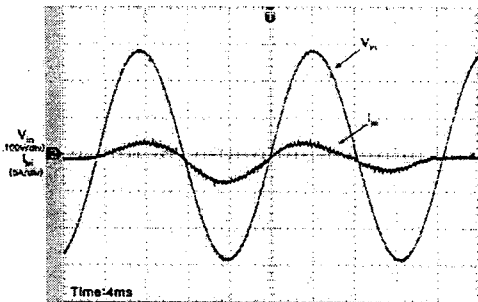


그림5. 기존의 Boost 컨버터의 입력 전압·전류 파형(경부하)

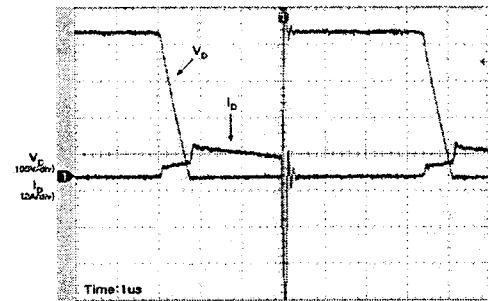


그림9. 기존의 Boost 컨버터의 주 다이오드 전압·전류 파형(경부하)

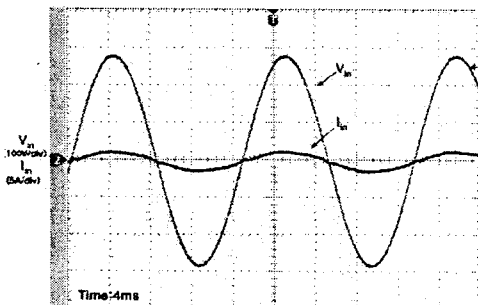


그림6. 제안된 Boost 컨버터의 입력 전압·전류 파형(경부하)

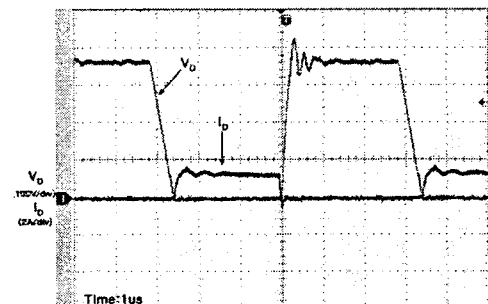


그림10. 제안된 Boost 컨버터의 주 다이오드 전압·전류 파형(경부하)

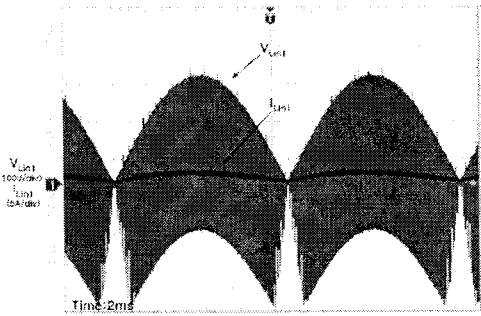


그림 11. 인덕터의 전압·전류 파형(경부하)

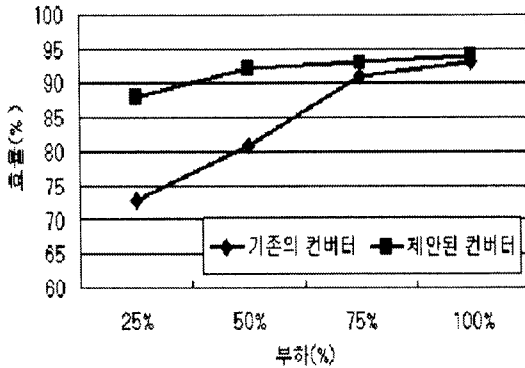


그림 12. 각 방식에 대한 효율 비교

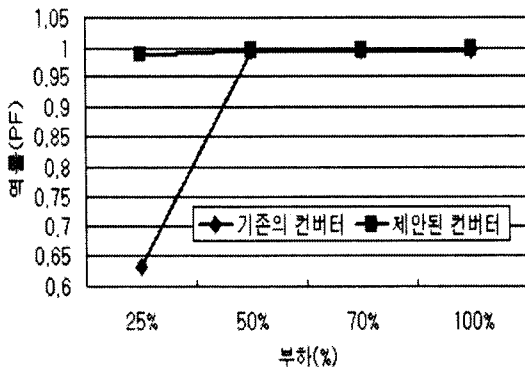


그림 13. 각 방식에 대한 역률 비교

그림 5, 6은 경부하(25%)에서 기존의 PFC Boost 컨버터와 제안된 PFC Boost 컨버터의 입력 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 기존의 PFC 컨버터는 경부하시 첨단왜곡에 의해 역률이 저하되어 효율이 낮아지는 문제점을 지닌다. 그러나 제안된 PFC Boost 컨버터는 에너지 재생 스너버 회로에 의해 경부하시에도 단위 역률을 유지하고 있다.

그림 7, 8은 주 스위치 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 제안된 PFC Boost 컨버터는 안정적인 영전압 스위칭(ZVS) 동작을 하며, 또한 부분공진 특성으로 인하여 고밀도의 전력을 출력측으로 전달 할 수 있다.

그림 9, 10은 주 다이오드 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 기존의 PFC Boost 컨버터는 다이오드의 역회복 특성으로 인한 스트레스가 많은 반면에 제안된 PFC 컨버터는 스너버 회로에 의해 주 다이오드의 턴온과 턴오프 손실이 거의 없으므로 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다.

그림 11은 승압 인덕터(L_{in})의 전압 전류 파형을 나타낸다. 스위치의 듀티비가 입력 전압 파형에 의해서 가변되고, 그에 따라 입력 전류 맥동의 평균값이 입력 전압에 비례하도록 제어하는 평균전류모드방식인 연속전류모드 방식으로 동작됨을 확인할 수 있다.

그림 12, 13은 각각의 방식에 대한 효율과 역률을 비교한 결과를 나타낸다. 본 연구에서 제안한 에너지 재생 스너버를 적용한 PFC Boost 컨버터는 기존의 방식에 비하여 전 부하영역에 걸쳐 비교적 우수한 효율 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 회로 구성이 간단하고 부분공진 스위칭이 되는 에너지 재생 수동 스너버를 적용한 AC/DC Boost 컨버터를 제안했다. 제안된 컨버터는 역률 개선을 위한 연속 전류모드 방식인 평균전류모드 방식으로 제어하며, 동시에 수동 소자(Passive Components)로만 구성되어 있는 에너지 재생 스너버 회로를 사용하여 주 스위치와 다이오드의 스트레스를 저감시켰다. 또한, 경부하시 발생하는 첨단왜곡 현상을 제거하여 경부하시(25%)에도 단위 역률로 유지되며, 실효 전류의 증가로 향상된 효율 특성을 보이고 있다. 제안된 컨버터는 연속전류모드 방식으로 동작시킴으로 대용량 AC/DC 전력 변환 장치에 적용하는 경우 효과적일 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유종규, 김용,, 배진용, 백수현, 최근수, 계상범 "에너지 회생 스너버를 적용한 고역률, 고효율 AC/DC Boost 컨버터에 관한 연구," 추계 학술대회 논문집, pp160 - 163, 2004.
- [2] 배진용, 김용, 권순도, 이은영, 강재호, 계상범, "무손실 스너버를 적용한 고역률, 고효율 AC/DC Boost 컨버터에 관한 연구," 대한전기학회 논문지, 51권 11호, pp. 652 - 658, 2002.
- [3] Dragan Maskimovic and Robert Erickson, "Universal-Input, High-Power-Factor, Boost Double Rectifiers", The Proceedings of The APEC '95, pp. 459-465, March 1995
- [4] Wei Dong, Qun Zhao, Jinjun Liu and Fred C.Lee, "A Boost Converter with Lossless Snubber under Minimum Voltage," in IEEE, 2002
- [5] C. J. Tseng and C.L. Chen, "A passive lossless snubber cell for nonisolated PWM DC/DC converter," in IEEE Trans. Ind. Ele., Vol.45, No. 4, August, 1988, pp.593-601
- [6] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Circuit Design", Unitorde Application Note U-1
- [7] Robert W. Erickson and Dragan Maskimovic, Fundamentals of Power Electronics Second Edition
- [8] Evandro Soares da Silva, Lúcio dos Reis Barbosa, Vieira, Luiz Carlos de Freitas, and Valdeir José Farias, "An improved boost PWM soft-single-switched converter with low voltage and current stresses", Industrial Electronics, IEEE Transactions on vol. 48, pp. 1174-1179, Dec. 2001