

무손실 스너버적용 소프트 스위칭 Single Stage AC-DC Full Bridge Boost 컨버터

김은수[°] 김태진 조기연 김윤호*
한국전기연구소 · 중앙대학교*

Soft Switching Single Stage AC-DC Full Bridge Boost Converter Using Non-Dissipative Snubber Circuits

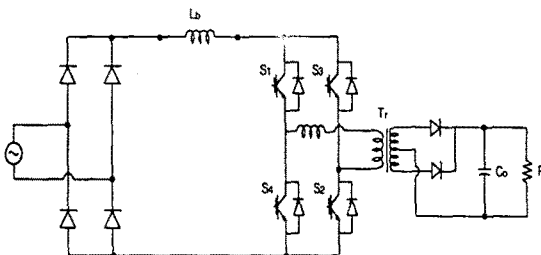
E. S. Kim[°], T. J. Kim, K. Y. Joë, Y. H. Kim*
K.E.R.I. · Chung-Ang Univ.*

Abstract - A new soft switching single stage AC-DC full bridge boost converter with unit input power factor and isolated output is presented. Due to using of the non-dissipative snubber in the primary side, a single stage high-power factor isolated full bridge boost converter has a significant reduction of switching losses in main switching devices and output rectifiers of the primary and secondary side, respectively. The non-dissipative snubber adopted in this study is consisted of a snubber capacitor C_r and a snubber inductor L_r , a fast recovery snubber diode D_r , a commutation diode D_p . This paper presents the complete operating principles, theoretical analysis and simulation results.

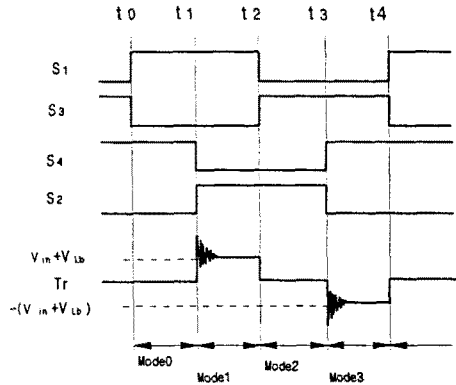
1. 서 론

최근 전자기기의 급속한 발전과 보급에 따라 이들 전원에서 발생되는 고조파전류에 따른 전력계통 내의 콘덴서의 소손 및 전원측 변압기 철심의 온도 상승등에 따라 전원계통과 기타 전기기기에 악영향을 미치고 있는 실정이다.

본 연구에서는 역률보정회로(PFC)를 갖는 절연된 Single Stage 무손실 스너버적용 소프트스위칭 컨버터를 제안하여 보고하고자 한다.



(a) Configuration of circuit



(b) Waveform of transformer & Control signal
Fig.1 Single AC-DC full bridge converter without snubber circuit

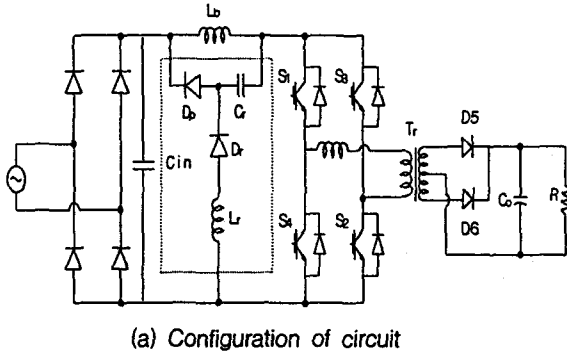
2. 기존의 Single Stage AC-DC Full-Bridge Boost Converter

Fig.1(a)은 Single Stage AC-DC Full Bridge 컨버터이고, Fig.1(b)는 Phase-shift방식을 적용한 Full Bridge Boost 컨버터의 제어신호와 변압기양단의 전압파형이다. S_1, S_4 (혹은 S_2, S_3)가 Turn-on되어 있는 Mode0(혹은 Mode2)에서는 Boost Mode로, S_1, S_2 (혹은 S_3, S_4)가 Turn-on되어 있는 Mode1(혹은 Mode3)에서는 Powering Mode로 동작한다.

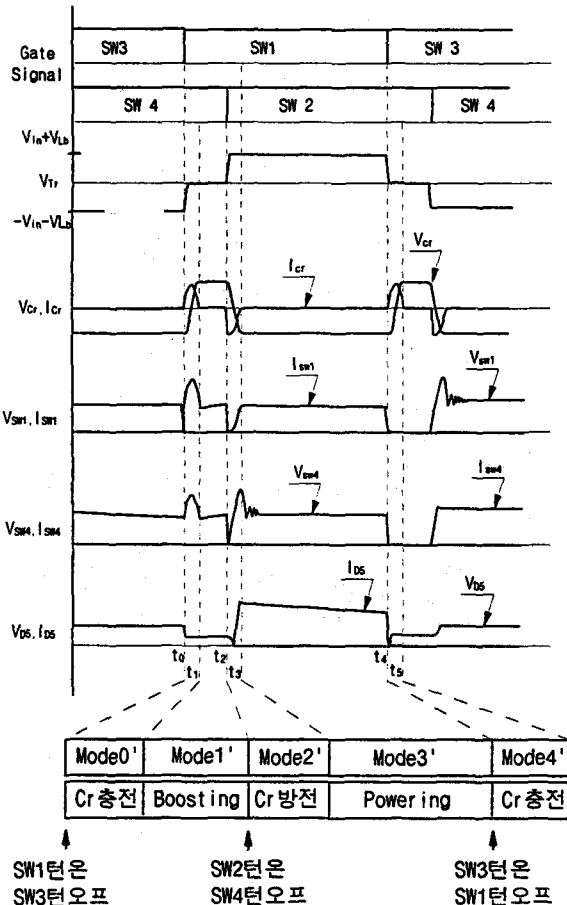
하지만, 이 방식은 t_1 과 t_3 에서 승압인덕터 L_b 에 흐르던 전류가, 고주파변압기 누설인덕턴스 L_s 에 의해 바로 고주파변압기 T로 전류경로가 형성되지 못하고 입력승압인덕터 L_b 의 역기전압이 Full Bridge DC Link단 양단에 발생되어, 스위칭소자양단의 서어지 전압으로, 스위칭소자내의 기생캐패시턴스와 배선인덕턴스의 Ringing현상을 일으키고 스위칭소자의 전압 스트레스를 증가시킨다.

이를 해결하기 위해 DC Link 양단에 RCD스너버

회로를 부착시켜 스위칭소자의 Turn-off시 입력승압인덕터 L_b 에 흐르는 전류 I_{Lb} 의 전류경로를 스너버 다이오드와 스너버캐패시터를 통해 흐르게 하여 줌으로써, 스위칭소자에 인가되는 서지전압을 Clamp 할 수 있다. 그러나, 이와 같은 RC 혹은 RCD스너버회로의 적용은 방전시 스너버캐패시터 C_s 에 충전된 에너지를 스너버저항 R_s 을 통해 소비하게 되므로 스위칭주파수와 입력전압이 높을수록 스위칭손실이 커져서 에너지변환효율을 저감시킨다.



(a) Configuration of circuit



(b) Waveform

Fig.2 Single AC-DC full bridge converter with non-dissipative snubber circuit

3. 제안된 Single Stage AC-DC Full-Bridge Boost Converter

Fig.2(b)에 나타낸 바와 같이, Fig.1(a)의 Full bridge converter 주회로에서 1차측 DC Link단에 무손실 스너버회로를 적용함으로써 주스위칭소자는 영전압, 영전류 스위칭이 가능하여 스위칭손실저감 및 기생진동과 EMI저감을 꾀할 수 있다.

Left-leg에서 Right-leg으로 옮겨가는 스위칭동작은 5가지모드로 나뉘어지며, Mode 0'에서 스너버캐패시터 C_r 의 충전전압 V_{cr} 은 최초 $-V_{in}$ 으로 충전되어 있다고 가정한다. Fig. 3은 각회로동작모드이다.

Mode 0' ($t'_0-t'_1$)

t'_0 에서 스위칭소자 S_1 이 Turn-on 되면 교류입력전원 V_{ac} 로부터 승압인덕터 L_b 에 에너지를 축적하면서 전류 I_{Lb} 가 상승한다. 이 때, 승압인덕터전류 I_{Lb} 와 동시에 스위칭소자 S_1 , S_4 를 거쳐 스너버인덕터 L_r 의 경로로 흐르는 스너버캐패시터 C_r 의 방전전류 I_{cr} 의 합전류가 주 스위칭소자 S_1 , S_4 를 통해 흐르기 시작한다. 또한, 고주파변압기 T_r 의 누설인덕턴스에 축적되어 있던 에너지는 스위칭소자 S_4 및 다이오드 D_2 의 경로로 순환한다. 이 Mode동안 스너버캐패시터 C_r 의 충전전압 V_{cr} 은 $-V_{in}$ 에서 $+V_{in}$ 까지 역충전되고, 방전전류 I_{cr} 가 0가 되면 이 Mode는 끝난다.

Mode 1' ($t'_1-t'_2$)

t'_1 에서 스너버캐패시터 C_r 의 공진전류 I_{cr} 이 0가 되면 스위칭소자 S_1 과 S_4 에는 교류전원 V_{ac} 과 승압인덕터 L_b 로부터 공급되는 전류 I_{Lb} 만이 흐른다. 이 때, Mode0'에서와 같이 고주파변압기 T_r 의 누설인덕턴스에너지에 의한 순환전류는 계속해서 흐른다. 이 Mode동안 고주파변압기 T_r 1차권선이 스위칭소자 S_1 과 S_4 를 통해 단락되어 있으므로, 고주파변압기 T_r 1차전압이 0가되어 고주파변압기 T_r 2차측 출력부에 에너지가 전달되지 못하고, 고주파변압기 T_r 2차측 누설에너지만 출력 콘덴서 C_o 를 통해 Reset 되고, 출력 콘덴서 C_o 에 저장되어 있는 에너지가 부하로 방전한다.

Mode 2' ($t'_2-t'_3$)

t'_2 에서 S_4 를 Turn-off하고, 동시에 S_2 를 Turn-on하면, 승압인덕터 L_b 에 저장되어 있던 에너지는 스위칭소자 $S_1 \Rightarrow$ 누설인덕터 $L_l \Rightarrow$ 고주파변압기 $T_r \Rightarrow$ 스위칭소자 S_2 의 High-Impedance경로보다는 스너버 캐패시터 C_r 및 전류(轉流) 다이오드 D_b 의 Low-Impedance의 경로를 통하여, 스너버캐패시터 C_r 의 충전전압 V_{cr} 이 $+V_{in}$ 에서 방전하기 시작한다. 이 때, 스위칭소자 S_4 , S_2 는 영전압, 영전류(ZVS, ZCS)상태에서 Turn-off 및 Turn-on 된다. 또, 스너버캐패시터 C_r 의 전압이 방전하여 0로 저감되면,

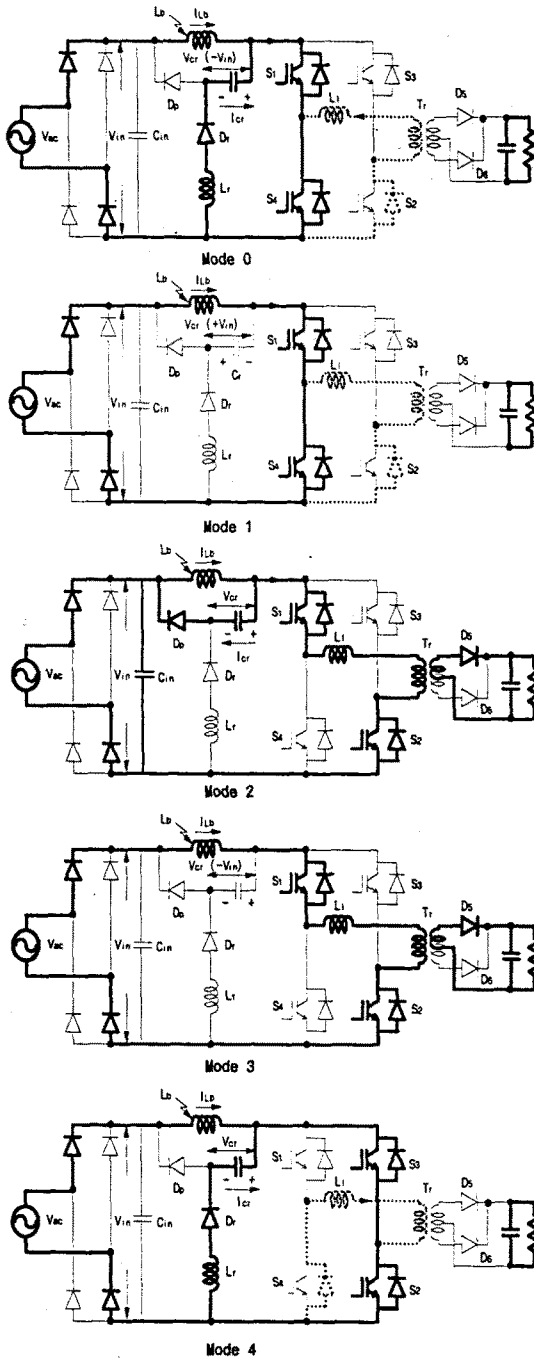


Fig.3 Topological mode diagram

입력전압 V_{in} 과 Boost 인덕터의 역전압 V_{lb} 의 합이 스위칭소자 S_1 과 고주파변압기 T_r , S_2 를 통해 서서히 인가되어 흐르기 시작하며, 고주파변압기 T_r 2차측에 에너지를 전달하게 된다. 이 때 출력 다이오드 D_5 , D_6 는 영전압, 영전류 상태에서 Turn-on되므로, 다이오드 역회복손실 및 전압 스트레스가 발생되지

않는다. 또한, 스너버캐패시터 C_r 의 충전전압이 0에서 $-V_{in}$ 으로 완전히 재충전되면 이 Mode는 끝난다. 이때, 스너버캐패시터 C_r 의 방전전류 I_{cr} 에 의해 교류전원 V_{ac} 로부터 공급되는 전류 I_{ac} 가 불연속모드로 동작하는 단점을 제거하기 위해 정류다이오드 바로 후단에 적은 값의 입력캐패시터 C_{in} 를 적용하여 입력전류가 연속성이 있게 흐르도록 했다.

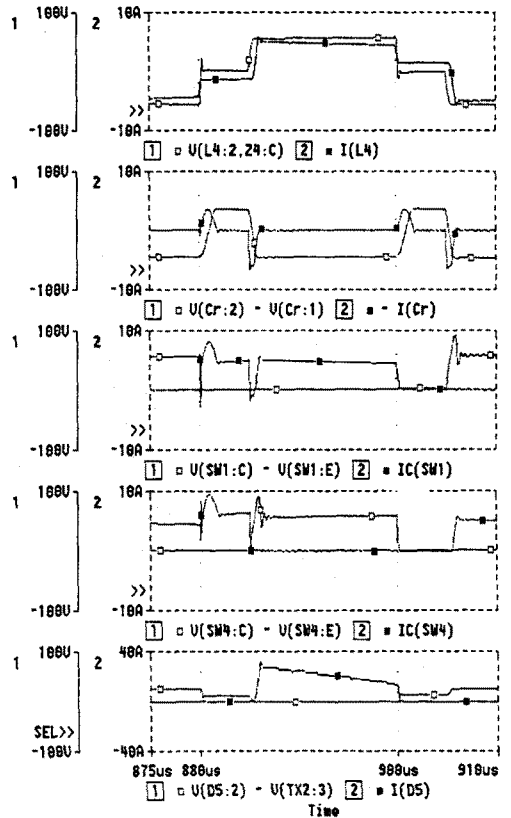
Mode 3' ($t'_3-t'_4$)

스너버캐패시터 C_r 의 방전전류 I_{cr} 이 0'가 되는 t'_3 에서 스너버캐패시터 충전전압 V_{cr} 은 $-V_{in}$ 으로 재충전되고 승압인덕터 L_b 에 저장된 에너지는 고주파변압기 T_r 를 거쳐, 변압기2차측에 출력콘덴서 C_o 를 통해 평활되어 부하에 에너지를 공급하게 된다.

Mode 4' ($t'_4-t'_5$)

t'_4 에서 스위칭소자 S_1 이 Turn-off 되고, S_3 가 동시에 Turn-on되면, Mode0에서와 같이 교류입력전원 V_{ac} 로부터 승압인덕터 L_b 에 에너지를 축적하고 스너버캐패시터 C_r 의 충전전압 V_{cr} 은 $-V_{in}$ 에서 $+V_{in}$ 까지 역충전된다.

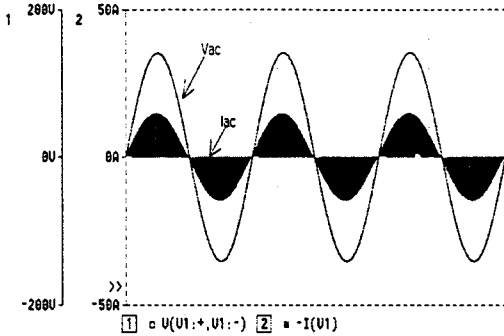
4 시뮬레이션결과



(a) Detail waveforms during commutation

[참고문헌]

- [1] A. A. Pereria, E. A. A. Coelho, V. J. Farias, L. C. de Freitas, A New ZC-ZVS Foward Converter, APEC, 1996.
- [2] J. A. C Pinto, A. A. Pereria, V. J. Farias, L. C. de Freitas, A New Boost Converter Using A Non-Disspative Sunbber, APEC, 1996.
- [3] T. Ninomiya, T. Tanaka, K. Harada, Analysis and Optimization of a Non- dissipative LC Turn-Off Sunbber, IEEE PE, 1988.



(b) Input voltage and current Waveform
Fig.4 Simulation results

Fig.4는 Fig.2(a)의 주회로를 P-spice를 이용하여 얻은 시뮬레이션의 결과이다. Fig.4(a)는 전류(轉流)시 각 스위칭소자와 다이오드의 전압, 전류 및 변압기양단 전압등을 나타내고 있다. 여기에서 leading 스위칭소자 S_1, S_3 는 영전압상태에서 Turn-off되고, lagging 스위칭소자 S_2, S_4 는 영전압, 영 0 전류상태에서 각각 Turn-on, Turn-off되어 스위칭손실이 줄어듦을 알 수 있고, 2차측다이오드 D_5, D_6 에서도 각각 영전압조건에서 도통하게 되어 다이오드의 역회복손실이 줄어듦을 확인했다. Fig.4(b)에서처럼 입력측 전압, 전류가 역률로 동작하고 있음을 알 수 있다. 이 때 시뮬레이션에 사용한 회로정수는 Table 1과 같다.

Table 1 Circuit parameter

입력전압 V_{ac} (실효치)	100V(rms)
스위칭 주파수 f	25kHz
입력단 커패시터 C_{in}	3uF
스너버커패시터 C_r	0.05uF
스너버인덕터 L_r	6uH
입력측 송압인덕터 L_b	300uH
변압기 L_1, L_2	300uH, 30uH
변압기 누설인덕턴스 L_s	2uH
출력단 커패시터 C_o	200uF

5. 결론

이상의 결과로부터, 역률보정회로(PFC)를 갖는 절연된 Single Stage 무손실 스너버적용 소프트스위칭 컨버터의 모드별 동작과형을 해석하고, 시뮬레이션을 통해 검토해 봤다. 특히, lagging 스위칭소자 S_2, S_4 의 Turn-on시 영전류상태와 2차측 다이오드에 영전압상태에서 도통됨으로써 소자의 스위칭손실 및 역회복손실을 줄일수 있음을 알았다.