개선된 ZVT AC/DC PFC Boost 컨버터

유종규* . 김 용* . 배진용* . 계상범** . 권순도***
*동국대학교 . **(주)메디슨 . ***대림대학

Improved ZVT AC/DC PFC Boost Converter

jong-gyu Ryu* . yong Kim* . Jin-Yong Bae* . Sang-bum Gye**. Soon-Do Kwon***
*Dongguk . University . **Medison . ***Daelim College

Abstract - Recently international regulations governing the amount of harmonic currents(e.g IEC 61000-3-2) became mandatory and active power factor correction (PFC) pre-regulator circuit became inevitable for the AC/DC converters. Among these topologies, the boost topology represents an optium solution for a PFC pre-regulation in a high power application. This paper propose improved ZVT(Zero Voltage Transition) AC/DC PFC Boost using the average current control employing a soft-switching technique of the auxiliary switch with a minimum number of components. The conventional ZVT PFC Boost Converter has a disadvantage that the auxiliary switch turns off hard, which influences the overall efficiency and the EMI problem. In this paper, an improved ZVT PFC Boost converter using active snubber is proposed to minimize the switching loss of the auxiliary. The prototype of 100kHz, 640W system was implemented to show the improved performance.

1. 서 론

최근 전원 장치에 대한 입력 전류의 고조파 왜곡에 대한 규제가(IEC-61000-3-2)가 강화됨에 따라 역률 보상 회로의 필요성이 증대되고 있다. 일반적으로 능동 역률 보상 회로는 DC/DC 컨버터 앞 단에 Pre-regulator로서 적용되는데 이때, 전체 시스템의 크기 증가와 효율 저하의 문제점이 있으며 이를 개선하기 위하여 다각적으로 소프트 스위칭 방식이 제안 되었다.[1-6]

이 중 영전압 천이(ZVT)스위칭 방식은 주 스위치 턴온 또는 턴오프시 보조 스위치를 함께 동작시켜 경부하시에도 강제적으로 영전압 및 영전류 스위칭이 가능하게 함으로써 전 부하 범위에서 높은 효율을 나타낸다. 그러나 ZVT 방식을 이용한 기존의 ZVT AC/DC PFC Boost 컨버터는 전체 시스템의 효율 저하를 일으키는 보조 스위치의 하드 스위칭 동작과 주 스위치의 턴온시 역방향 전류가 증가하는 문제점을 지닌다. 그 결과, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개선된 ZVT AC/DC PFC Boost 컨버터는 기존의 ZVT 컨버터회로에 다이오드 하나를 추가함으로써 보조 스위치의 전류 스트레스 및 주 스위치의 턴온시 역방향 전류를 감소기키게 되어 고효율, 고역률 컨버터를 구현할 수 있었다.[1-3]

본 논문에서는 제안된 컨버터의 동작원리, 해석 및 특성에 대해서 논의하였으며, MOSFET를 사용하여 640W급 시작품을 제작, 100kHz에서 실험하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 ZVT Boost 컨버터

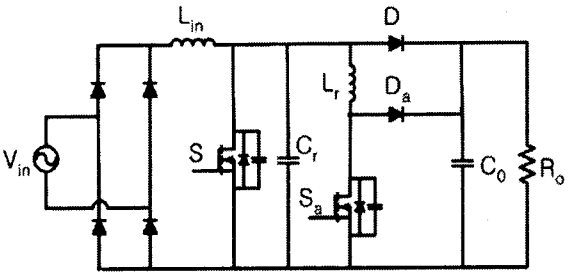


그림 1. 기존의 ZVT Boost 컨버터

기존의 ZVT Boost 컨버터는 주 스위치(S)와 다이오드(D)의 영전압 스위칭(ZVS)을 이루기 위하여 일반적인 Boost 회로에 병렬로 공진 인덕터(L_r), 공진 커패시터(C_r), 보조 스위치(S_a), 보조 다이오드(D_a)를 첨가시킨 형태이며, 최소의 소자를 사용하여 모든 부하 영역에서 주 스위치(S)가 안정적으로 영전압 스위칭 한다는 장점을 지닌다. 그러나 주 스위치(S)의 영전압 스위칭을 위한 보조 스위치(S_a)가 하드 스위칭으로 턴오프 되는 문제점을 가지고 있으며, 또한 보조 스위치(S_a)의 턴온시 입력 전류가 모두 보조 회로에 흐르므로, 보조회로에 높은 전류 스트레스를 일으키는 단점이 있다.

따라서 일반적인 공진형 컨버터의 한계를 해결하기 위해 기존의 직렬공진 요소 대신, 주 스위치에 병렬공진 회로를 부가하여 소프트 스위칭하는 방법이 연구되고 있다. 즉, 주 스위치의 동작기간 중 영전압·영전류 스위칭을 이룰 수 있도록 병렬공진 회로를 이용하여 부분적인 공진을 발생시킨다. 주 스위치의 동작이 완료된 후 병렬회로는 단순한 PWM 동작모드로 동작한다. 이러한 방식의 컨버터는 일반적인 공진형 컨버터의 단점을 극복할 수 있으며, PWM 컨버터의 장점을 유지하면서 동시에 소프트 스위칭이 가능하므로 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.[1]

2.2 제안된 ZVT Boost 컨버터

그림 2은 제안된 ZVT Boost 컨버터 회로를 나타낸다. 제안된 ZVT Boost 컨버터는 하나의 보조 스위치(S_a)와 두 개의 보조 다이오드(D_{a1},D_{a2}), 그리고 공진 인덕터(L_r)와 공진 커패시터(C_r)를 각각 하나씩 사용하여 넓은 부하 영역에서 영전압 스위칭 동작을 함으로써 안정된 소프트 스위칭 동작 영역이 확보되도록 하였다. 즉 기존의 ZVT Boost 컨버터에 비해 다이오드를 추가한 형태이지만, 기존의 컨버터가 지닌 문제점을 개선하여 향상된 효율 특성을 나타낸다.[1-2]

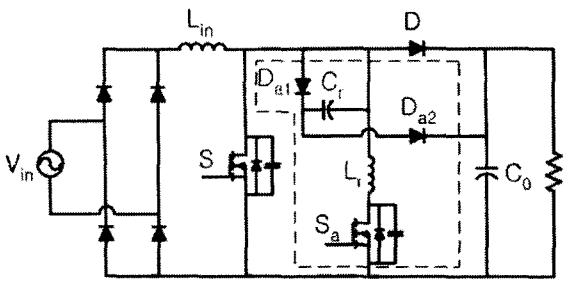


그림 2. 제안된 ZVT Boost 컨버터

그림 4와 그림 5는 제안된 ZVT Boost 컨버터의 모드별 동작 파형과 등가회로를 나타낸다.
모드별 정상상태 해석을 위해서 다음과 같이 가정한다.
1)모든 소자는 이상적이다.
2)출력 커패시터를 포함한 부하단은 이상적인 전압원이다.
3)스위치 및 다이오드에 흐르는 전류 리플은 무시한다.
4)출력 커패시터를 포함한 부하단은 이상적인 전압원이다.

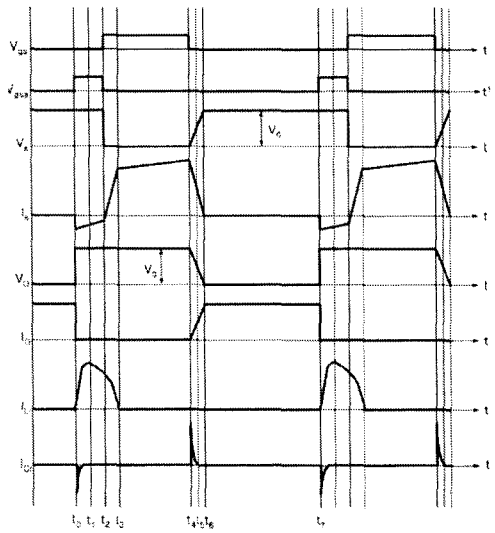


그림 3. 제안된 회로의 이론적인 각부 파형

1) 모드 I (t_0-t_1)
보조 스위치(S_a)가 턴온되면 공진 커패시터(C_r)와 보조 다이오드(D_{a2})를 통하여 부하측으로 전력이 전달되며, 동시에 공진 인덕터(L_r)와 보조 스위치(S_a)에 전류가 흐른다.

$$I_{Lr} = \frac{V_0}{L_r}t - C_r\frac{dV_0}{dt} \qquad (1)$$

2) 모드 II (t_1-t_2)
모드 II에서 모든 전류는 공진 인덕터(L_r)와 보조 스위치(S_a)를 통하여 흐르며, 주 스위치의 역병렬 다이오드를 도통시키므로 부하와 관계없이 항상 영전압 스위칭(ZVT) 조건을 만족시키게 된다.

3) 모드III (t_2-t_3)
모드 III는 보조 스위치(S_a)가 턴오프되고 주 스위치가 턴온되는 구간이다. 승압 인덕터(L_{in})는 주스위치를 통하여 에너지를 축적하며, 동시에 공진 인덕터(L_r)의 에너지에 의해서 보조 스위치(S_a)의 내장 커패시터가 충전된다. 이 때 주 스위치 전류는 식 (2)와 같다.

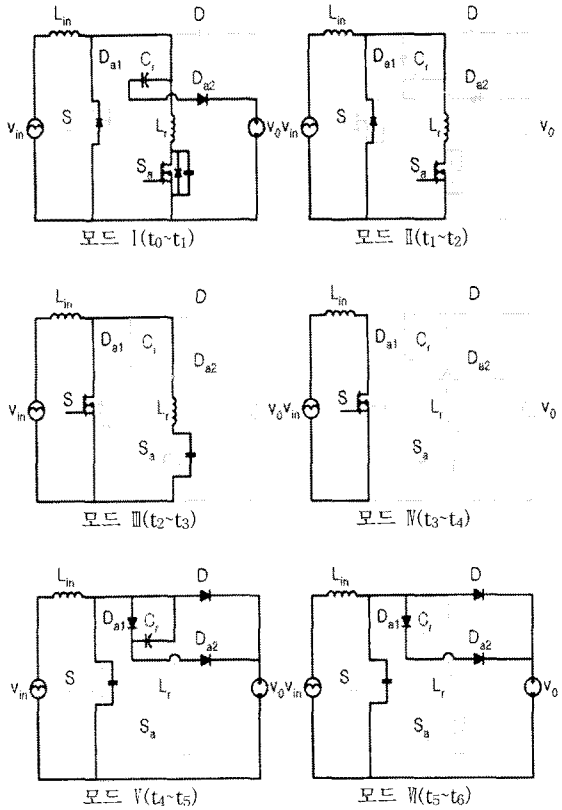
$$I_s = V_{in}\left(\frac{1}{L_{in}} - \frac{1}{L_r}\right)t \qquad (2)$$

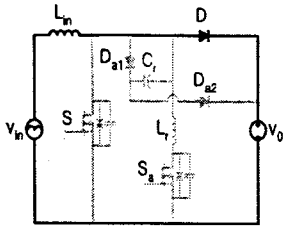
4) 모드IV (t_3-t_4)
보조 회로의 공진 소자 사이에 에너지 수수가 완료되어 보조 스위치(S_a)의 역병렬 다이오드가 턴오프되고, 승압 인덕터(L_{in})는 주 스위치(S)를 통하여 계속적으로 에너지를 축적하는 구간이다. 주 다이오드(D)를 통한 전류의 흐름은 없으므로, 출력 커패시터(C_0)는 부하로 방전한다.

5) 모드V (t_4-t_5)
주 스위치(S)가 턴오프되면, 입력 전압과 승압 인덕터(L_{in})전압은 중첩되어 출력 커패시터(C_0)를 통하여 부하에 인가되고, 동시에 공진 커패시터(C_r)와 보조 다이오드(D_{a1},D_{a2})를 통하여 출력측으로 에너지를 전달하는 경로가 추가된다. 이러한 추가적인 경로의 제공은 출력측으로 고밀도의 에너지 전달을 가능하게 하며, 주 다이오드(D)의 스트레스 저감을 통해 고효율 컨버터의 구현을 가능하게 한다

6) 모드VI (t_5-t_6)
모드 VI에서 공진 커패시터의 충전이 완료되며, 에너지는 주 다이오드(D)와 보조 다이오드(D_{a1},D_{a2})를 통하여 계속적으로 에너지를 전달하는 구간이다

7) 모드VII (t_6-t_7)
주 스위치(S)가 턴오프되는 모드로서 입력 전압과 승압 인덕터(L_{in})전압은 중첩되며, 부하측으로 전력이 전달된다.





모드 Ⅶ(t_6~t_7)

그림 4. 제안된 회로의 모드별 동작

2.3 실험결과

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

표1. ZVT Boost 컨버터의 정격 및 파라미터

입력전압(V_{in})	200 V
출력전압(V_0)	400 V
최대출력(P_0)	640 W
승압인덕터(L_{in})	850 uH
주 스위치(S)	2sK1522
보조 스위치(S_a)	IXFH26N60Q
주 다이오드(D)	DESI 30
보조 다이오드(D_{a1}/D_{a2})	SF20L60U
공진 인덕터(L_r)	5.1 uH
공진 커패시터(C_r)	2.2 nF
출력 커패시터(C_0)	: 940 uF
스위칭 주파수(f)	100 kHz

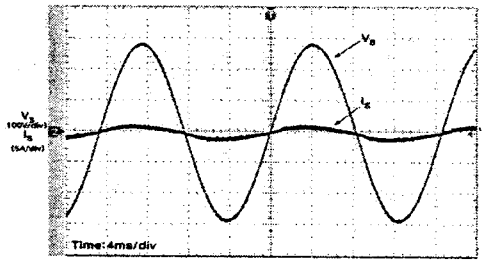


그림5. 기존의 ZVT Boost 컨버터의 입력 전압·전류 파형(경부하)

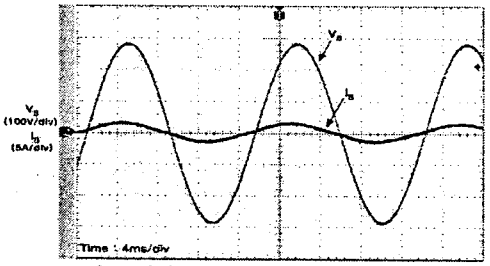


그림6. 제안된 ZVT Boost 컨버터의 입력 전압·전류 파형(경부하)

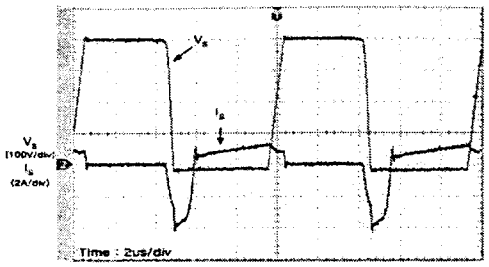


그림7. 기존의 ZVT Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 파형(경부하)

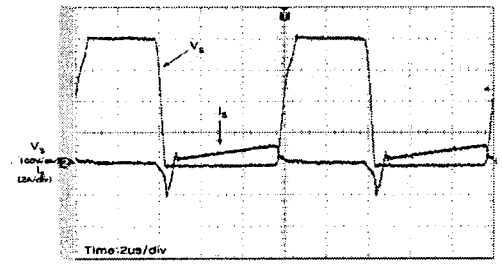


그림8. 제안된 ZVT Boost 컨버터의 주 스위치 전압·전류 파형(경부하)

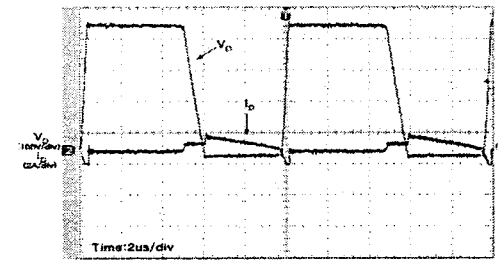


그림9. 기존의 ZVT Boost 컨버터의 주 다이오드 전압·전류 파형(경부하)

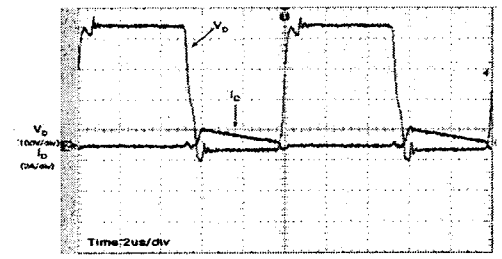


그림10. 제안된 ZVT Boost 컨버터의 주 다이오드 전압·전류 파형(경부하)

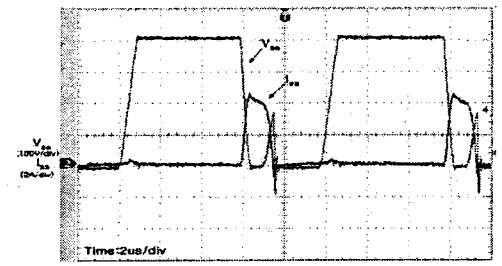


그림11. 기존의 ZVT Boost 컨버터의 보조스위치 전압·전류 파형(경부하)

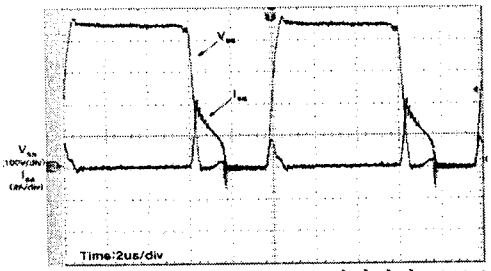


그림12. 제안된 ZVT Boost 컨버터의 보조스위치 전압·전류 파형(경부하)

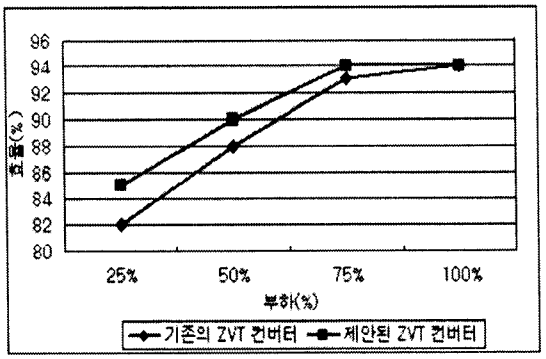


그림 13. 각 방식에 대한 효율 비교

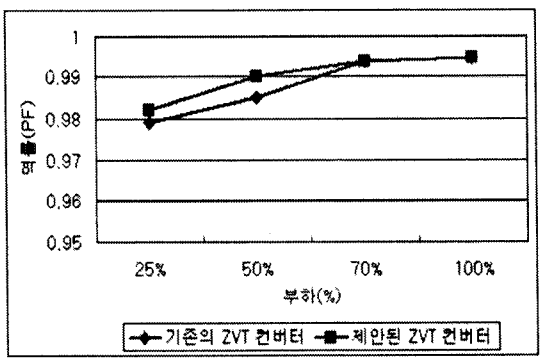


그림 14. 각 방식에 대한 역률 비교

그림 5, 6은 경부하(25%부하)에서 기존의 ZVT Boost 컨버터와 제안된 ZVT Boost 컨버터의 입력전압 및 전류 파형을 나타낸다. 각각의 컨버터는 모두 경부하시에도 단위 역률을 유지하고 있다.

그림 7, 8은 경부하(25%부하)시, 주 스위치(S)의 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 기존의 ZVT Boost 컨버터는 경부하시까지 영전압 천이 스위칭(ZVT)을 안정적으로 동작 하는 장점이 있으나 주 스위치(S)의 턴온 전에 역전류가 크다는 문제점이 있으며 이로 인해 보조 회로에 전류의 흐름이 많기 때문에 전류 스트레스가 증가되는 단점을 지닌다. 제안된 ZVT Boost 컨버터는 기존의 방식에 비하여 주 스위치(S)의 턴온 전에 역전류가 적게 흐르는 장점을 가지고 있다.

그림 9, 10은 주 다이오드 경부하시 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 기존의 ZVT Boost 컨버터에 비해서 제안된 ZVT 컨버터는 경부하시 턴온과 턴오프 손실이 저감된 것을 나타낸다.

그림 11, 12은 보조 스위치(Sa)의 전압 전류 파형을 나타낸다. 기존의 ZVT Boost 컨버터는 보조 스위치(Sa)의 턴오프시 스위칭 손실이 많지만, 제안된 방식은 보조 스위치(Sa)의 턴오프시 스위칭 손실이 작다는 장점을 가지고 있다.

그림 13, 14을 각각의 방식에 대한 효율과 역률의 비교를 나타낸다. 제안된 ZVT Boost 컨버터는 기존의 방식에 비하여 전 부하 영역에 걸쳐 우수한 효율 특성을 지니고 있으며, 역률은 경부하시 약간 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 능동스너버를 이용한 ZVT AC/DC PFC Boost 컨버터를 제안했다. 제안된 ZVT Boost 컨버터는 기존의 ZVT Boost 컨버터와 달리 공진 커패시터(C_r)를 공유하는 추가 경로를 지니게 된다. 따라서 기존의 방식은 보조 스위치(S_a)의 턴온시 입력 전류가 모두 공진 인덕터(L_r)와 보조 스위치(S_a)로 흐르지만, 제안된 방식은 부하측과 공진 인덕터(L_r)및 보조 스위치(S_a)로 나뉘어 흐르므로, 보조회로에 가해지는 전류 스트레스가 낮다는 장점이 있다. 동시에 보조 스위치(S_a)의 턴오프시 스위칭 손실도 상대적으로 작은 이점을 가지고 있다. 제안된 컨버터는 고전압, 고정밀도, 대전력을 요구하는 전력 변환 장치에 많은 응용이 가능하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1]배진용, 김용외, "능동 스너버를 이용한 ZVT DC/DC Boost 컨버터에 관한 연구", 대한전기학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 186~189, KIEE 2002 춘계학술대회

[1]Jain, N;Jain, P.K.; Joos, G.; "A zero voltage transition boost converter employing a soft switching auxiliary circuit with reduced conduction losses",Power Electronics, IEEE Trasactions on, Volume: 19 , Issue: 1 Jan, 2004 Pages:130 - 139

[2]G. Hau, C Leu, and F. C. Lee, "Novel Zero-Voltage -Transition PWM Converters", IEEE Power Electronics Specialist Conf. Rec., pp. 55~61, 1992

[3]R. Streil and D. Tolik. High efficiency telecom rectifier using a novel soft-seitching boost based input current shaper. in Proc. IEEE Int. Telecom Energy Conf,.1991,pp.720-726.

[4]G. Hua, C.S. Lieu, andF.C . Lee, Novel zero voltage transition pulse width modulated converters, IEEE Trans. Power Electron., vol. 9, pp.213-219, Mar. 1994.

[5]C J. Tseng and C. L. Chen, "Novel ZVT-PWM Converter with Active Snubbers", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13, pp. 861~869, 1998, September.