

ZCS 보조회로를 이용한 ZVT Boost 컨버터에 관한 연구

류동균*, 이우석*, 최태영*, 서민성*, 원충연*, 김영렬**

성균관대학교*, 안양대학교**

A Study on ZVT Boost Converter Using a ZCS Auxiliary Circuit

D.K. Ryu*, W.S. Lee*, T.Y. Choi*, M.S. Seo*, C.Y. Won*, and Y.R. Kim**

Sungkyunkwan Univ.*, Anyang Univ.**

ABSTRACT

Recently, a ZVT boost converter is embedded in a power factor correction system. The control circuit of the converter assures soft-switching for all the MOSFETs and load regulation. The PFC system contains additional control circuits which assure the input voltage in a sinusoidal form and feed-forward line voltage regulation. In this paper, a soft switching boost converter with zero-voltage transition(ZVT) main switch using zero-current switching(ZCS) auxiliary switch is proposed. Operating intervals of the converter are presented and analyzed. The proposed results show that the main switch maintains ZVT while auxiliary switch retains ZCS for the complete specified line and load conditions.

1. 서론

일반적으로 CCM 모드에서 동작하는 PWM boost 컨버터는 능동 PFC 컨버터로서 광범위하게 사용되고 있다. 그런데 전원장치의 소형경량화를 위해서는 스위칭주파수를 높임으로써 magnetic과 필터 부품들의 크기를 줄일수가 있는데, 고속 스위칭을 사용함에 따라 생기는 스위칭손실, boost 다이오드의 역회복, EMI 노이즈, 스위치 스트레스 등의 문제점을 해결하기 위해 ZVS, ZCS soft-switching 기법이 제안되었다. 이러한 soft스위칭 기법은 높은 주파수에서 스위칭손실을 줄임으로서 크기와 무게의 문제점을 해결하였지만, 전류/전압의 스트레스와 스위칭 주파수의 폭넓은 가변필요 등의 문제점은 여전히 남아있다. 이러한 ZVS/ZCS 스위칭 기법의 문제점들을 해결하기 위해 PWM 컨버터의 장점을 그대로 갖고 보조회로

를 추가하여 스위치 스트레스를 줄일 수 있는 ZVT기법을 이용한 많은 ZVT converter들이 제안되었다.^{[1]-[8]} 하지만 ZVT PWM Boost컨버터는 ZVT동작을 위한 보조스위치의 턴오프시 스위치손실로 인한 고속스위칭에 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 ZVT PWM Boost 컨버터의 보조스위치 턴오프시 생기는 손실을 저감하고 고속 스위칭을 가능하게 할 수 있는 ZCS 보조회로를 이용하여 ZVT PWM Boost컨버터의 성능을 개선하고자 한다.

2. 제안된 ZVT PWM Boost 컨버터

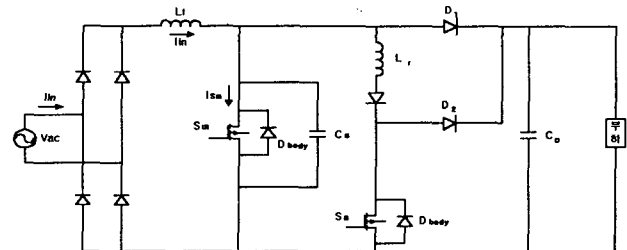


그림 1 기존의 ZVT PWM Boost 컨버터

2.1 기존의 ZVT PWM Boost 컨버터

그림1의 ZVT PWM Boost 컨버터는 boost 다이오드 D_1 의 soft 턴오프와 주스위치의 ZVS 턴온을 가능하게 하는 보조공진회로를 갖지만, 주스위치가 턴온일 때 보조스위치 커패시터와 공진 인덕터사이의 기생발진을 억제하기 위해 포화시킬수 있는 인덕터와 RC 스너버가 요구된다. 그리고 턴오프시 보조스위치의 전류는 hard스위칭 할 때의 주스위치의 턴오프 전류보다 더 크기 때문에 보조스위치의 턴오프 손실을 증가시키고, 스위칭주파수를 제한한다는 단점이 있다.^{[1][10]} 따라서 그림 1의 회로방식은 낮은 턴오프 손실을 갖는 MOSFET가 보조스위치로 사용된 저전력이나 저전압 응용에 적합하다.

고전압이나 고전력 응용에 있어서는 보조스위치는 용량이나 가격에 있어서 일반적으로 주스위치와 유사하다. 때문에 보조스위치의 턴오프 손실을 줄이는 것은 중요한 문제이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 보조회로를 추가하여, 보조스위치의 영전류스위칭을 가능하게 하여 보조스위치의 스위칭손실을 저감하고, 고속스위칭을 가능하게 하였다.

2.2 제안된 ZVT PWM Boost 컨버터

그림 2는 제안된 ZVT boost 컨버터의 회로도이다.

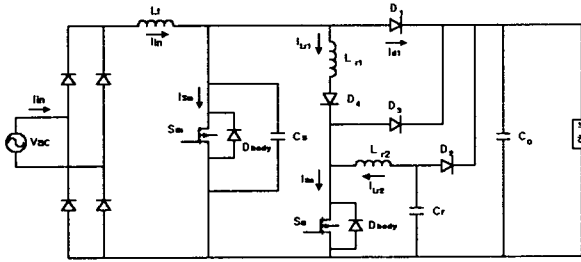


그림 2 제안된 soft-switched boost 컨버터

그림 2의 boost컨버터는 ZCS 보조회로를 갖는 ZVT 주스위치가 있다. 이 보조회로는 두 개의 공진인덕터 L_{r1} 과 L_{r2} , 공진커패시터 C_r , 스너버커패시터 C_s , 보조스위치 S_a , 그리고 다이오드 D_2 , D_3 와 D_4 로 이루어지고, 주스위치의 ZVS 턴온, 정류다이오드 D_1 의 soft턴오프, 보조스위치의 ZCS턴오프를 가능하게 한다. ZVT와 ZCS구간은 부하와 입력가변에 독립적이고, 보조스위치의 듀티가 매우 작기 때문에 보조회로망의 순환에너지는 매우 작다.

2.3 동작모드

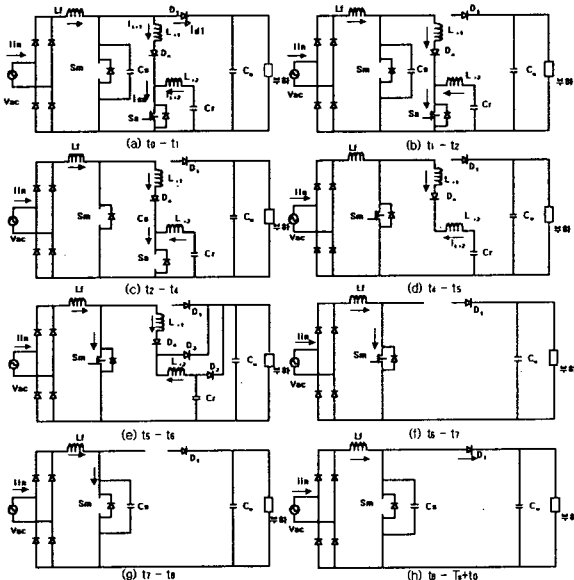


그림 3 제안된 컨버터의 각 구간별 동작모드

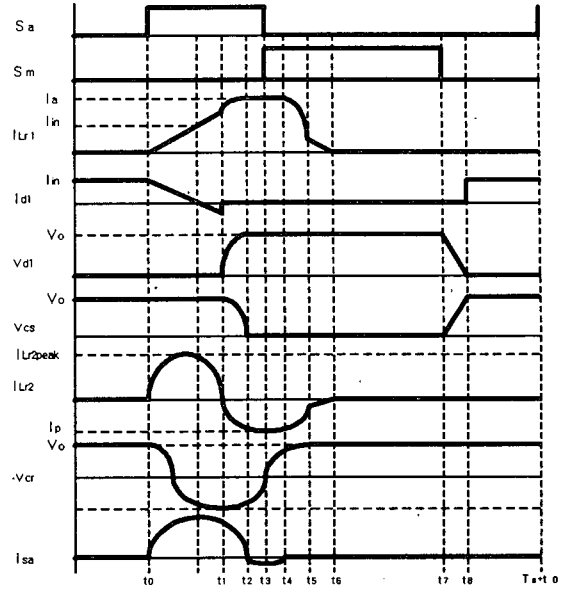


그림 4 각부의 전압, 전류파형

1) 모드 1 ($t_0 \sim t_1$) : t_0 에 이를때까지 주스위치 S_m 와 보조스위치 S_a 는 오프상태이고, 다이오드 D_1 은 전부하 전류를 유지하고 있다.

t_0 에서 보조스위치 S_a 는 턴온되고, 공진인덕터 L_{r1} 의 전류는 선형적으로 입력전류 I_{in} 에 도달한다. I_{D1} 이 zero에 도달했을 때 다이오드 D_1 은 턴오프된다.

이때 다이오드 D_1 의 역회복전류는 흐르기 시작한다. 다이오드에 걸리는 전압이 스너버 커패시터 C_s 에 의해 zero로 유지되기 때문에 다이오드 D_1 은 서서히 회복된다. t_1 에서 다이오드는 blocking 모드로 넘어가고, 보조스위치가 턴온될 때 공진커패시터 C_r 은 공진인덕터 L_{r2} 와 공진을 시작한다.

2) 모드 2 ($t_1 \sim t_2$) : L_{r1} 에 흐르는 전류는 L_{r1} 과 C_s 사이의 공진 때문에 계속해서 증가하게 되고, 커패시터 C_s 는 양단전압이 0이 될 때까지 방전을 한다. 다이오드 D_1 의 blocking 전압은 증가하기 시작하여 t_2 에서 출력전압에 도달한다. L_{r2} 와 C_r 은 공진을 계속하고, L_{r2} 에 흐르는 전류는 (-)으로 떨어진다. L_{r2} 에 흐르는 전류는 방향이 바뀌기 때문에 보조스위치에 흐르는 전류, 즉 L_{r1} 과 L_{r2} 에 흐르는 전류의 합은 감소하기 시작하고, t_2 에서 0이 되었을 때 보조스위치는 영전류에서 turn-off한다.

3) 모드 3 ($t_2 \sim t_4$) : C_s 에 걸리는 전압은 (-)이 되려고 하지만 주스위치의 역병렬다이오드에 의해서 클램프되고, 이제 주스위치는 영전압으로 턴온될 수 있다. 두 공진인덕터(L_{r1} 과 L_{r2}) 전류의 합은 t_2 에서 0이 되고, 보조스위치의 역병렬다이오드는 전도를 시작한다. 주스위치는 $t_2 - t_3$ 구간에서 영전

압으로 턴온 된다. $t_3 \sim t_4$ 에서 보조스위치는 턴오프 된다. 이 구간동안 보조스위치의 역병렬다이오드는 턴온이므로 저장된 전하는 보조스위치에 걸리는 영전압으로 회복된다. t_4 에서 두 공진인덕터의 전류함은 다시 (+)가 되고, 보조스위치의 역병렬다이오드는 ZCS로 턴오프된다.

4) 모드 4 ($t_4 \sim t_5$) : 두 공진인덕터는 출력전압까지 충전된 공진커패시터와 공진을 한다. t_4 에서 주스위치(S_m)은 영전압으로 턴온한다.

5) 모드 5 ($t_5 \sim t_6$) : 공진커패시터에 충전된 에너지가 출력전압과 같아지면, 에너지는 다이오드 D_2 와 D_3 를 통해서 C_o 에 충전된다. 이 때 주스위치는 온상태이다.

6) 모드 6 ($t_6 \sim t_7$) : 주스위치는 온상태이고, 입력인덕터(L_f)는 PWM Boost 컨버터처럼 입력측으로부터 에너지를 저장하게 된다.

7) 모드 7 ($t_7 \sim t_8$) : 주스위치는 턴오프되고, 스너버커패시터 C_s 는 I_m 에 의해서 출력전압까지 선형적으로 충전된다.

8) 모드 8 ($t_8 \sim (T_s+t_0)$) : 이 구간은 일반적인 PWM boost 컨버터의 프리휠링구간이다. T_s+t_0 에서 보조스위치는 턴온되고, 동작구간이 다시 반복된다.

동작모드 알수 있듯이 주스위치(영전압 턴온), boost 다이오드(soft 턴오프), 보조스위치(ZCS), 그리고 보조스위치의 역병렬다이오드(영전류 턴오프)는 soft 스위칭된다.

특히 제안된 회로는 높은 주파수에서 ac-dc boost 컨버터와 PFC의 스위칭을 보장한다. 또한 주스위치의 전압과 전류의 증가없이 soft스위칭이 수행되기 때문에 전도손실은 다른 boost 컨버터들에 비해 더 낮을 것으로 기대된다.

3. 시뮬레이션 및 실험

ZCS를 이용한 ZVT-PWM Boost 컨버터의 동작을 검증하기 위하여 PSIM에 의한 시뮬레이션과 하드웨어 제작 및 실험을 수행하였다.

본 논문에서는 입력 AC 85~240[V], 유효전력이 1[kW]급이며 스위칭 주파수 100[kHz]의 ZVT - PWM Boost 컨버터를 설계하였다. 회로정수는 표 1과 같다. 그림5, 6은 제안된 ZVT boost컨버터의 시뮬레이션 회로도 및 입력전류와 전압의 파형이며 역률이 1에 가까움을 알 수 있다.

그림 7은 주스위치와 보조스위치의 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 보조스위치가 온되어 공진이 일어난 것을 알 수 있다. 또한 주스위치가 영전압 조건

에서 턴온되는 것을 확인할 수 있다. 그림8은 보조스위치의 ZCS를 확인할 수 있다.

표 1 제안된 ZVT Boost 컨버터 회로정수

교류입력전압 V_{in}	85~240 [V]	스너버커패시터 C_s	1.5 [nF]
출력전압 V_o	400 [V]	보조커패시터 C_r	6.35 [nF]
스위칭주파수	100 [kHz]	보조인덕터 L_{r1}	10 [uH]
주스위치	FQL40N50	보조인덕터 L_{r2}	2.7 [uH]
보조스위치	SPW20N60S5	PFC controller	UC3855A

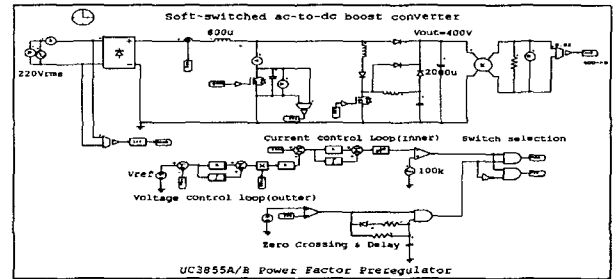


그림 5 시뮬레이션 회로도

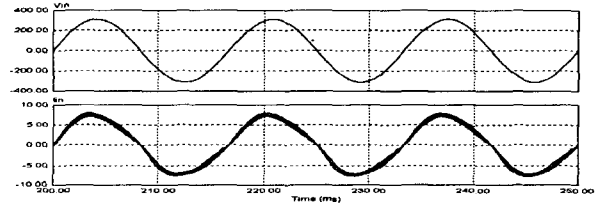


그림 6 입력전압, 전류파형 (PF : 0.99)

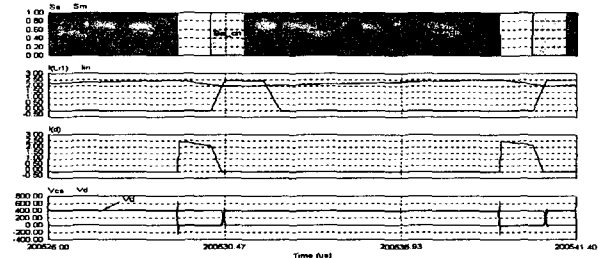


그림 7 ZVT동작 파형 (I_{Lr1} , I_{d1} , V_{cs} , V_a)

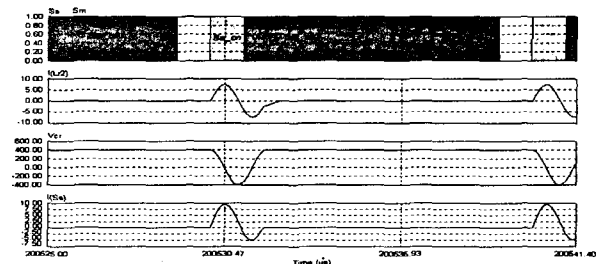


그림 8 ZVS동작 파형 (I_{Lr2} , I_{sa} , V_{cr})

4. 실험 결과

실험은 시뮬레이션과 동일한 조건에서 행하였고, 그림 9에서 역률이 0.99이고, 그림 10에서 각부파형이 ZVT, ZCS가 이루어짐을 알수가 있다.

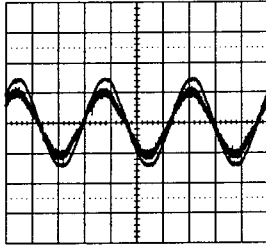
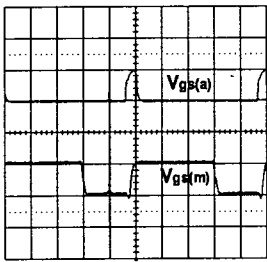
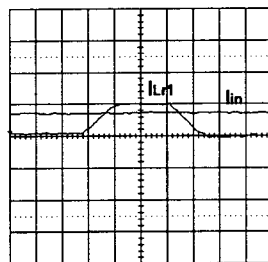


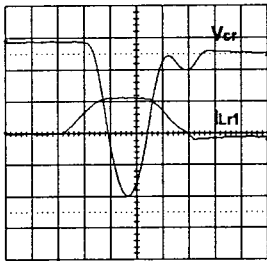
그림 9 입력전압, 전류파형 (역률 : 0.99)
Vin(200V/div), Iin(5A/div)



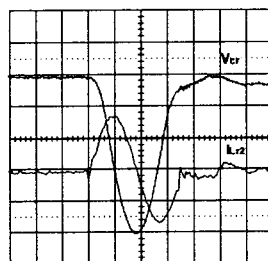
(a) (10V/div, 0.2us/div)



(b) (5A/div, 0.2us/div)



(c) (Vcr : 100V/div, 0.2us
ILr1 : 5A/div, 0.2us)



(d) (Vcr : 100V/div, 0.2us
ILr2 : 5A/div, 0.2us)

그림 10 ZVT, ZCS가 이루어지는 각부파형

5. 결 론

본 논문에서는 ZCS 보조회로를 갖는 soft ZVT PWM boost 컨버터를 제안하였고, 동작모드를 구간별로 분석하였다. 저전력 보조회로를 사용함으로써 보조스위치가 ZCS동작을 하는 한편, 주스위치는 영전압 스위칭을 한다. 특히 회로에서 L_{r2} , C_r , D_2 를 추가함으로써 보조스위치의 영전류스위칭을 가능하게 하여 보조스위치의 스위칭손실을 저감하고, 고속스위칭을 가능하게 하였다.

향후 과제로는 주스위치가 온상태인 동안 보조회

로에서 나타나는 기생발진을 줄이기 위하여 공진인덕터 L_{r1} 을 주인덕터 L_r 에 커플링하여 사용하는 방안을 연구할 예정이다.

이 논문은 에너지관리공단의 에너지 절약과제 지원에 의하여 연구되었음(2000.5 ~ 2002.4)

참 고 문 헌

- [1] Hua, G., Leu, C., and Lee, F.C. "Novel zero voltage transition PWM converters." *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 9, No.2 pp. 213~219, 1994, March.
- [2] Streit, R., and Tollik, D. "High efficiency telecom rectifier using a novel soft switched boost based input current shaper." *In Proceedings of IEEE INTELEC*, 720~726, 1991.
- [3] Jitaru, I. D. "Soft transitions power factor correction circuit." *In Proceedings of HFPC*, 202~208, 1993, May.
- [4] Moschopoulos, G., Jain, P., Liu, Y., and Joos, G. "A zero-voltage switched PWM boost converter with an energy feedforward auxiliary circuit." *In Proceedings of IEEE PESC*, 76~82, 1996.
- [5] Xu, D. M., Yang, C., Ma, L., Qiao, C., Quan, Z., and He, X. "A novel single phase active clamped PFC converter." *In Proceedings of IEEE APEC*, 266~271, 1997.
- [6] Duarte, C. M., and Barbi, I. "A new family of ZVS-PWM active clamping dc-to-dc converter : Analysis, design and experimentation." *IEEE Transactions on Power Electronics*, 12, 5, 824~831, 1997, September.
- [7] Bassett, J. A. "New zero voltage switching high frequency boost converter topology for power factor" *In Proceedings of IEEE INTELEC*, 813~820, 1995.
- [8] Wittenbreder, E. "A new active snubber for high frequency PWM converters." *In Proceedings of HFPC*, 247~261, 1990.
- [9] Smith, K., and Smedley, K. M. "A comparison of voltage mode soft switching methods for PWM converters." *In IEEE Applied Power Electronics Conference Record*, 291~298, 1996.
- [10] Ranganathan, G., and Ashoka, K. S. Bhat. "ZVT Boost Converter Using ZCS Auxiliary Circuit." *IEEE Transactions on aerospace and Electronics systems*, Vol. 37, NO. 3 889~897, 2001, July.
- [11] Noon, J. P. "UC3855A/B High Performance Power Factor Preregulator." *Unitrode Application Note, U-153*.