

소프트 스위칭 보조 스위치를 가지는 ZVT-PWM 부스트 컨버터

김 윤 호, 김 윤 복, 정 재 응
중앙대학교 전기공학과

A High Performance ZVT-PWM Boost Rectifier with Soft Switched Auxiliary Switch

Yoon Ho Kim, Yun Bok Kim, Jai Woong Jeong
Dept. of Electrical Engineering Chung Ang Univ.

Abstract - This paper presents a soft-switching average current control PWM high power factor boost converter. Conventional boost ZVT-PWM converter has a disadvantage of hard-switching for auxiliary switch at turn-off. A soft switched auxiliary switch is proposed to achieve a high performance ZVT-PWM boost rectifier. The simulation and experimental results show that soft switching operation can be maintained for wide line and load range, which in turn improves the converter performance in terms of efficiency, switching noise and circuit reliability.

진 요소를 사용하는 것 대신에, 대체 방법은 전력용 스위치에 병렬 공진 회로망을 사용하는 것이다. 스위칭 동작 동안, 병렬 공진 회로망은 ZVS나 ZCS를 얻기 위해 부분적인 공진을 발생 시킨다. 스위칭 동작이 끝났을 때, 회로는 단순히 PWM 동작 모드와 유사하게 되돌린다. 이러한 방식으로, 컨버터는 PWM 컨버터의 장점을 유지하면서 소프트-스위칭을 얻을 수 있다.

다양한 영-전압 소프트 스위칭 PWM 기술 중에서, 최근에 개발된 ZVT-PWM 기술이 가장 적당하다. 보조 병렬 회로를 사용함으로써, ZVT-PWM 컨버터는 스위치와 정류용 다이오드 모두 소프트 스위칭을 함과 동시에 전압/전류 스트레스를 최소화 할 수 있다. 그러나, 보조 스위치 소자는 턴-오프시 하드 스위칭을 하는 단점을 나타낸다. 본 논문에서는 보조 스위치의 단점을 보완하여 소프트 스위칭 할 수 있도록 보조 스위치 회로를 제안하였으며 효율을 향상 시켰다.

I. 서 론

공진형 토폴로지는 스위치 전압/전류 파형을 만들기 위해 공진 인덕터를 스위치 소자 또는 정류 다이오드와 직렬로 사용한다. 소프트 스위칭은 이 공진 인덕터와 반도체 소자에 병렬로 연결된 공진 캐패시터 사이의 공진을 이용하여 얻어진다. 이러한 공진 요소는 주전력 통로에 위치하기 때문에, 결과적으로 공진형 컨버터는 근본적인 문제를 가지고 있다. 첫째, 공진 인덕터는 양방향 전압을 가지므로 반도체 소자의 부가적인 전압 스트레스 발생을 피할 수 없다. 둘째, 모든 전력이 공진 인덕터를 통해 흐르기 때문에, 도통 손실을 증가시키는 부 회전 에너지가 항상 생성된다. 게다가, 공진 인덕터에 저장되는 에너지는 입력 전압과 부하 전류에 크게 의존한다. 그래서 소프트-스위칭 조건이 입력 전압과 부하 전류 변화에 민감하다. 이것이 많은 공진형 컨버터가 광범위 입력과 부하 범위에서 소프트 스위칭을 유지하지 못하는 이유이다. [1].

위에서 언급한 한계를 해결하기 위해서, 주 전력 통로에서 공진 요소를 제거하는 것이 필요하다. 직렬 공

II. 기존의 부스트 ZVT 컨버터

그림 1은 부스트 ZVT-PWM 컨버터의 회로도 및 주요 파형을 나타내고 있다. 보조 병렬 공진 회로는 공진 인덕터(L_r), 보조 스위치(S_r)과 다이오드(D_r)로 구성되어 있다. C_r 은 공진 캐패시터이고, 이것은 전력용 스위치의 추력 캐패시턴스와 정류기의 정선 캐패시턴스를 포함한다. 해석을 간단히 하기 위해서, 한주기 전류(commutation)동안 부스트 인덕터의 전류는 일정하다고 여길 수 있을 만큼 입력측 인덕턴스는 매우 크다고 가정하고, 출력측 전압 또한 일정하다고 가정할 수 있다.

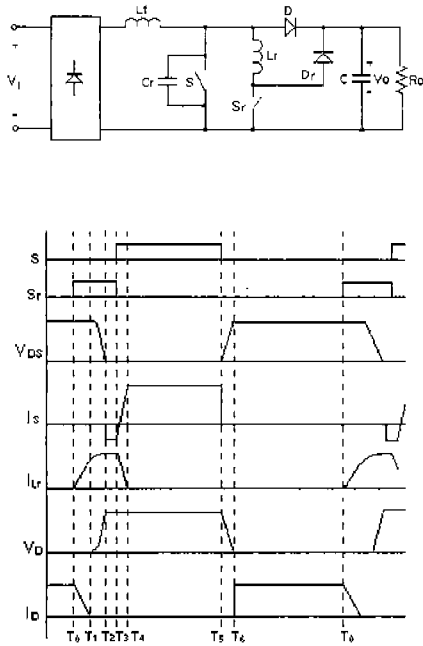


그림 1. 기존 ZVT-PWM 컨버터의 회로도와 스위칭 1주기 동안의 주요 파형

기존의 ZVT-PWM 부스트 컨버터의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다. [2]

◆ 장점 :

- 스위치소자와 정류기 다이오드 모두의 소프트 스위칭 최소의 스위치 전압/전류 스트레스
- 광범위한 입력과 부하 범위에서의 소프트-스위칭

◆ 단점 :

- 변압기의 누설 인덕턴스를 이용하지 않는다.
- 보조 스위치 소자는 턴-오프시 하드 스위칭을 한다.

보조 스위치는 턴-온시에 영전류 스위칭을 하지만, 턴-오프시에는 하드 스위칭을 한다.

III. 제안된 소프트 스위칭 컨버터

기존의 ZVT-PWM 부스트 컨버터는 턴-오프시 보조 스위치가 하드-스위칭을 하는 단점을 가진다. 따라서 보조 스위치는 전압-모드 공진형 스위치 회로를 필요로 한다. 그림 2는 전압-모드 공진형 스위치 회로를 보여주며, 그림 2(a)에서 처럼 이상적인 스위치 S와 병렬 다이오드 D_1 으로 구성되어 있다면 캐패시터 C_r 에 걸리는 전압은 D_1 에 의해 최소값으로 잘라지고, 공진형 스위치는 반파 모드에서 동작한다. 반면에, 그림 2(b)에서 처럼 S가 Q_1 과 D_1 이 직렬로 이

부어져 있다면, C_r 의 전압은 자유롭게 진동할 수 있고, 공진형 스위치는 전파 모드에서 동작한다.[3]

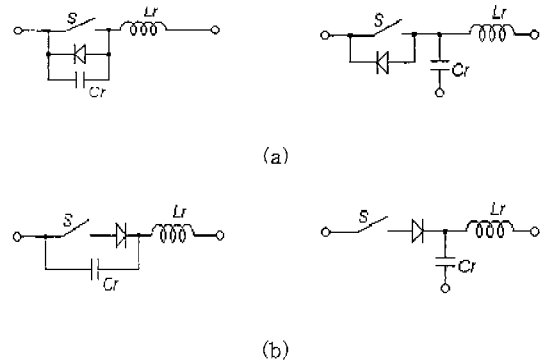


그림 2. 전압 모드 공진형 스위치
(a) 반파 모드 스위치 (b) 전파 모드 스위치

그림 3은 제안된 부스트 ZVT-PWM 컨버터의 회로도와 주요 파형을 나타내고 있다. 보조 병렬 공진 회로는 공진 인덕터 (L_r), 보조 스위치 (S_r)와 다이오드 (D_r)로 구성되어 있다. C_{r1} 과 C_{r2} 는 공진 캐패시터이고, 이것은 전력용 스위치의 추력 캐패시턴스와 정류기의 정선 캐패시턴스를 포함한다. 해석을 간단히 하기 위해서, 한주기 전류(commutation)동안 부스트 인덕터의 전류는 일정하다고 여길수 있을 만큼 입력 측 인덕턴스는 매우 크다고 가정하고, 출력측 전압 또한 일정하다고 가정할 수 있다.

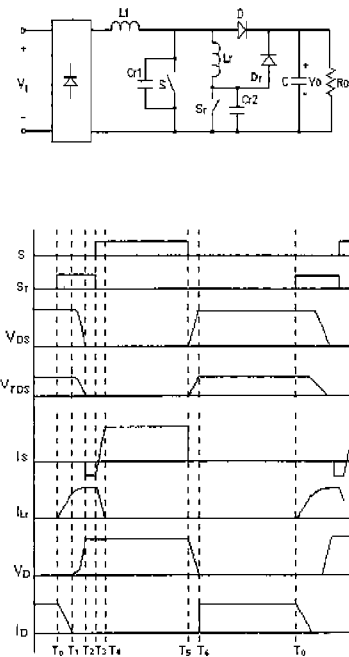


그림 3. 제안된 소프트 스위칭 컨버터의 회로도와 스위칭 1주기 동안의 주요 파형

그림 4.9에서는 각 모드별 동작 회로의 등가 회로를 나타내고 있으며, 다음과 같이 모드를 나누어 해석할 수 있다.

(a) 모드 1 ($T_0 - T_1$) : T_0 전에 주 스위치 (S)와 보조 스위치 (S_r)는 오프 상태로 되어있고, 정류기 다이오드 (D_r)은 도통되어 있다. T_0 에서 S_r 은 턴-온된다. L_r 의 전류는 T_1 에서 I_L 에 도달할 때 까지 선형적으로 증가하고, 여기서 D 는 소프트 스위칭으로 턴-오프 된다.

$$t_{01} = \frac{I_L}{V_o/L_r} \quad (1)$$

(b) 모드 2 ($T_1 - T_2$) : L_r 과 C_{r1} 사이의 공진 때문에 L_r 의 전류는 계속 증가한다. C_{r1} 은 공진으로 그의 전압이 T_2 에서 0이 될 때까지 방전하고, 또한 C_{r2} 의 전압도 0이 될 때까지 방전한다. 여기서 S 의 역병렬 다이오드는 도통하기 시작한다.

$$t_{12} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r(C_{r1} + C_{r2})} \quad (2)$$

(c) 모드 3 ($T_2 - T_3$) : S 의 역병렬 다이오드는 온 상태이다. ZVS를 얻기 위해서, S 의 턴-온 신호는 역병렬 다이오드가 도통중일 때 인가된다.

$$T_D \geq t_{01} + t_{12} = \frac{I_L}{V_o/L_r} + \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r(C_{r1} + C_{r2})} \quad (3)$$

(d) 모드 4 ($T_3 - T_4$) : T_3 에서, 영전압 상태에서 S_r 은 턴-오프이고, 보조 스위치의 전압은 D_r 의 도통으로 인해 V_o 로 제한된다. 이 시간 주기 동안, S 는 턴-온된다. 공진 인덕터에 저장된 에너지는 이 시간 구간 동안 부하에 전달된다. L_r 의 전류는 T_4 에서 0에 도달할 때까지 선형적으로 감소한다.

(e) 모드 5 ($T_4 - T_5$) : D_r 은 T_4 에서 턴 오프 된다. 이 방식에서 회로의 동작은 PWM 부스트 컨버터와 일치한다.

(f) 모드 6 ($T_5 - T_6$) : T_5 에서 S 는 턴-오프 된다. C_{r1} 은 I_L 에 의해 V_i 까지 충전한다. C_{r2} 도 V_i 까지 충전한다.

(g) 모드 7 ($T_6 - T_0$) : 이 구간은 부스트 PWM 컨버터의 프리휠링 단계와 같다. T_0 에서 S_r 은 다시 턴-온 된다, 다음의 스위칭 사이클을 시작한다.

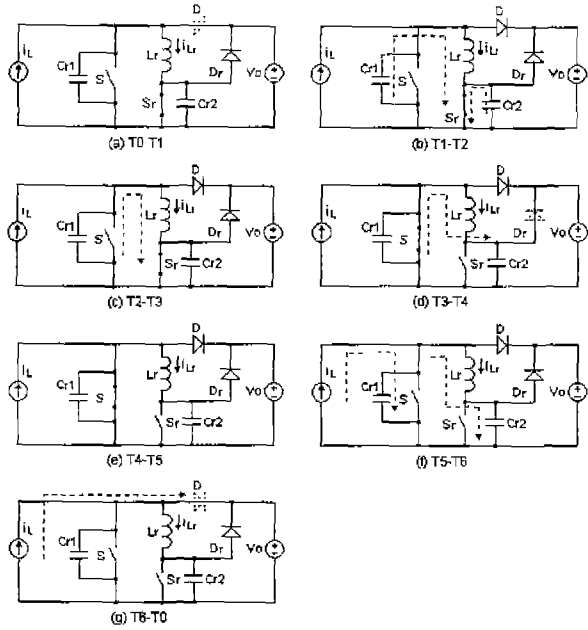


그림 4. 제안된 회로의 등가 회로

IV. 실험결과

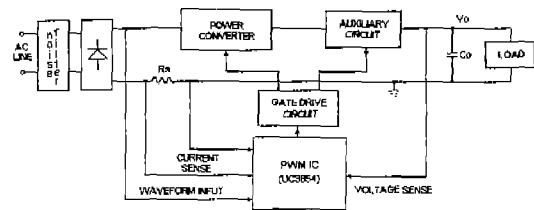


그림 5. 실험 회로의 블록 다이어그램.

그림 5는 실험 회로의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. PFC 제어기는 UC3854를 사용하였으며, 입력측 노이즈를 감소시키기 위해 노이즈 필터를 사용하였다. 그리고 주 스위치와 보조 스위치의 스위칭 주파수는 일정하다.

그림 6과 7은 입력 전압, 입력 전류 파형과 출력 전압의 파형을 나타내고 있다. 입력 전류는 정현적이고 입력 전압과 동상이다. 또한 연속모드로 동작함을 알 수 있다. 출력 전압은 작은 리플만을 나타내고 있다.

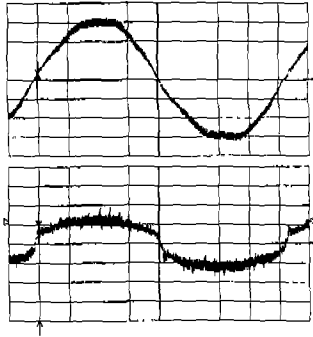


그림 6. 입력 전압과 입력 전류 파형

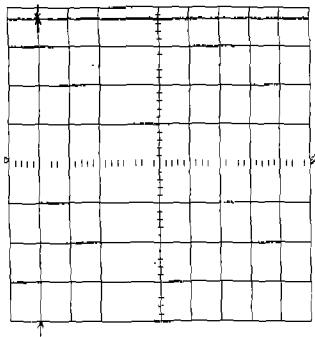


그림 7. 출력 전압 파형

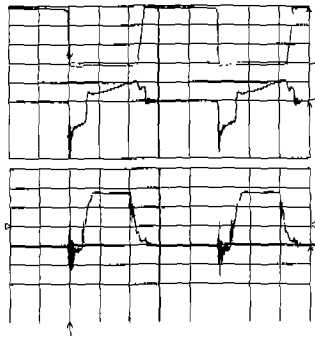


그림 8. 주 스위치 소자의 파형

- ① 주 스위치 소자의 드레인-소스 전압
- ② 주 스위치 소자의 전류
- ③ 주 스위치 소자의 게이트 신호

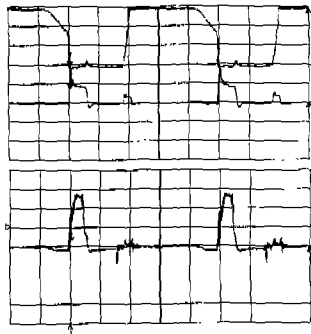


그림 9. 보조 스위치 소자의 파형

- ① 보조 스위치 소자의 드레인-소스 전압
- ② 보조 스위치 소자의 전류
- ③ 보조 스위치 소자의 게이트 신호

그림 8과 9에서 주 스위치는 ZVS(Zero Voltage Switching)으로 동작하며 보조 스위치는 턴-온시 ZCS(Zero Current Switching)으로 턴-오프시 ZVS(Zero Voltage Switching)으로 동작한다. 그리고 주 스위치와 보조 스위치 소자는 작은 스위칭 스트레스만을 받는다.

소프트 스위칭 동작은 광범위한 입력과 부하에서 유지할 수 있고 스위칭 주파수는 일정하다. 각 스위치의 스위칭 환경은 표 1에 요약되어 있다.

표 1. 주 스위치와 보조 스위치의 스위칭 환경

스위칭	주 스위치	보조 스위치
턴-온	ZVS	ZCS
턴-오프	ZVS	ZVS

V. 결론

본 논문에서는 소프트 스위칭 평균 전류 모드 PWM 고역을 부스트 컨버터를 설명하였다. 기존의 ZVT-PWM 부스트 컨버터가 턴-오프시 보조 스위치가 하드 스위칭을 하는 단점을 보완하여 효율 및 스위칭 노이즈의 성능을 향상시켰다.

참고 문헌

- [1] G. C. Hua, C. S. Leu, Y. M. Jiang, and F. C. Lee, Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters, IEEE PESC, 1992, pp. 55-61.
- [2] Guichao Hua and Fred C. Lee, Soft-Switching Techniques in PWM Converters, IEEE IECON, 1993, pp. 637-643.
- [3] Kwang-Hwa Liu and Fred C. Y. Lee, Zero-Voltage Switching Technique in DC/DC Converters, IEEE Trans. on P.E., vol. 5, No. 3, pp. 293-304, July 1990.
- [4] Yimin Jiang, Fred C, Guichao Hua and Wei Tang, A novel single-phase power factor correction scheme, IEEE APEC, 1993, pp. 287-292.
- [5] Claudio de Sa e Silva, Power Factor Correction with The UC3854, Application note U-125, Unitrode Corporation.