전력전자학술대회 논문집 2005. 7. 4 ~ 7. 7

고역율 및 저도통손을 갖는 ZVT PWM 단상 정류기

최성훈, 이병철, 팽성환, 김인동, 노의철
부경대학교

Zero-Voltage-Transition PWM Single-Phase Rectifier with Reduced Conduction Loss and Unity Power Factor

S. H. Choi, B. C. Lee, S. H. Paeng, I. D. Kim, E. C. Nho
Pukyong National University

ABSTRACT

This paper proposes a unity power factor ZVT PWM single-phase rectifier. The ZVT soft switching are achieved by using a simple ZVT circuit, and the reduced conduction losses are achieved by employing a single-stage converter, instead of a typical double-stage converter composed of front end diode rectifier and cascaded boost rectifier. Furthermore, thanks to good features such as simple PWM control at constant frequency, low switch stress and low VAR rating of commutation circuits, it is suitable for high power applications. The principle of operation is explained in detail, and simulation results of the new converter are also included.

1. 서 론

오늘날 산업용 및 가정용 등에서 사용되는 스위칭 전원의 수가 날로 증가함에 따라 단상 스위칭 전원의 입력 전류 고조파 성분의 감소 및 역율의 개선은, 전원의 품질을 일정 수준이상으로 유지하기 위해 해결해야할 하나의 과제가 되어 있다. 특히 IEC 61000-3-2와 IEC 1000-3과 같은 규격에 의해 스위칭 전원의 입력단에서 발생하는 고조파의 성분 및 기본파의 역율을 규제하고 있으므로, 지금까지 위와 같은 문제를 해결하기 위해 몇 가지의 전력회로가 제안되었으며 이를 제어하기 위한 전용 역율 개선 IC 제어기도 개발되어 있는 실정이다.

역율 개선을 하기 위해 많은 관심을 받고 있는 회로 방식중의 하나는 부스트 컨버터이다. 이 컨버터는 많은 도통 손실을 발생시키고, 또한 하드 스위칭하므로 인해 스위칭 손실 또한 상당히 크다. 참고문헌[1] [3]은 전류회로 혹은 무손실 스너버를 사용함으로써 손실을 감소시켰으나 전력회로와 제어회로가 복잡할 뿐만 아니라 커다란 도통손실도 여전히 문제로 남아 있다.

참고 문헌[4]은 위에서 언급한 컨버터들이 회로 구성상 지니고 있는 상당한 도통손실을 줄인 AC/DC 컨버터를 제안한다. 참고문헌[5]-[6]에서 제시된 컨버터는 보조 전류회로와 quasi-resonant 회로를 사용하여 전력반도체 소자의 소프트 스위칭을 확보할 수 있으나, 추가적인 능동 스위치, 변압기 및 제어회로를 별도로 요구하고[5] 주스위치 및 다이오드의 전압/전류 스트레스가 상당히 크며, 공진 커패시터와 인덕터의 Var 정격이 큰 단점을 지니고 있다[6]. 또한 참고문헌[7]에서 제안한 컨버터는 많은 소자를 필요로 하는 단점을 지니고 있다.

따라서 본 논문은 많은 장점을 지니고 있는 저도통손 브릿지회로와 간단한 ZVT 소프트 스위칭 회로를 결합한 고효율 역율보상 PWM 단상정류기를 제안한다.

2. 제안한 역율보상 PWM 단상정류기의 회로구성과 동작원리

본 논문에서 제안한 역율보상 PWM 단상 정류기는 그림 1과 같으며, 회로동작에서의 역할에 따라 크게 2부분, 즉 주회로부분과 전류회로부분으로 나눌 수 있다. 회로의 동작은 단위역율을 얻기 위해 입력 전류파형 i_{LS}는 전원전압파형 V_S 와 같은 위상을 갖도록 제어되고 있으며, AC 입력전압의 극성에 따라 크게 2개의 반주기로 나누어져 작동하도록 제어되고 있다.

제안한 컨버터의 동작을 상세히 설명하면 그림 2와 3에서처럼 스위칭 주기 T_S에 대해 7개의 모드로 구분할 수 있으며, 양의 반주기와 음의 반주기 동안의 회로동작이 서로 같으므로, 양의 반주기동안만의 회로동작을 설명하겠다.

• 모드 1 (그림 2(a)) : 선형모드

모드 1은 IGBT S_t에 ON 신호를 가함에 따라 시작된다. D_3에 흐르는 전류는 초기값 i_{LS}에서부터

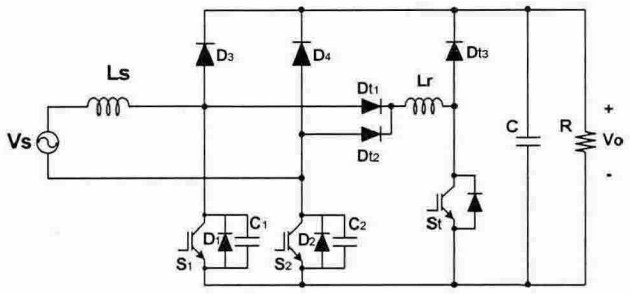

그림 1 제안한 고역율 및 저도통손을 갖는 ZVT PWM 단상 정류기

Fig. 1 Proposed ZVT PWM single-phase rectifier with reduced conduction loss and unity power factor

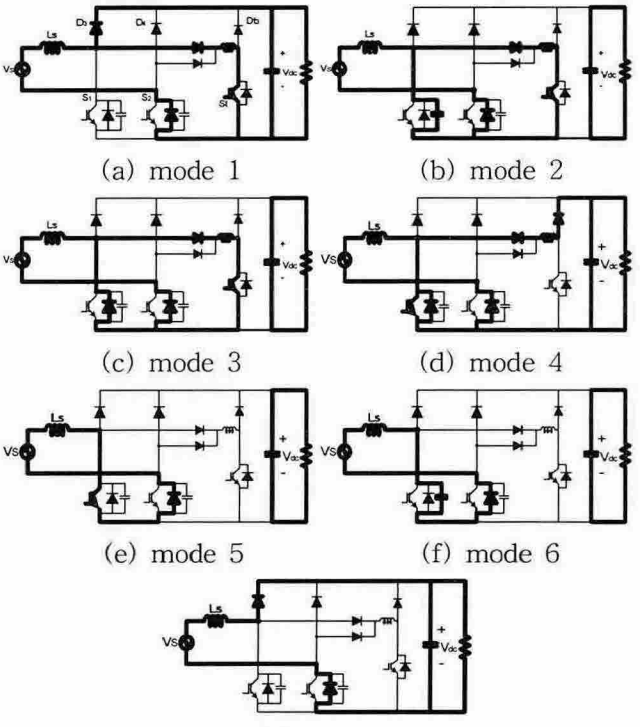

그림 2 제안한 PWM 단상정류기의 스위칭 주기 TS 동안의 동작모드

Fig. 2 Operation modes during one switching period TS of proposed PWM single-phase rectifier

일정한 기울기를 갖고 감소하며, D_{t1} , S_t , L_r의 전류는 위와 반대로 기울기를 갖고 영에서부터 서서히 증가한다. 공진 인덕터전류 i_{Lr}이 계속 증가하여 i_{D3}의 값이 0에 도달함에 따라 다이오드 D_3가 턴오프 되며, 다음 모드 2가 시작된다.

• 모드 2 (그림 2(b)) : 공진모드

L_r , C_1로 이루어진 직렬공진회로에 의해 커패시터 C_1의 전압 V_{C1}은 V_O로부터 0으로 감소한다.

• 모드 3 (그림 2(c)) : ZVS 턴온모드

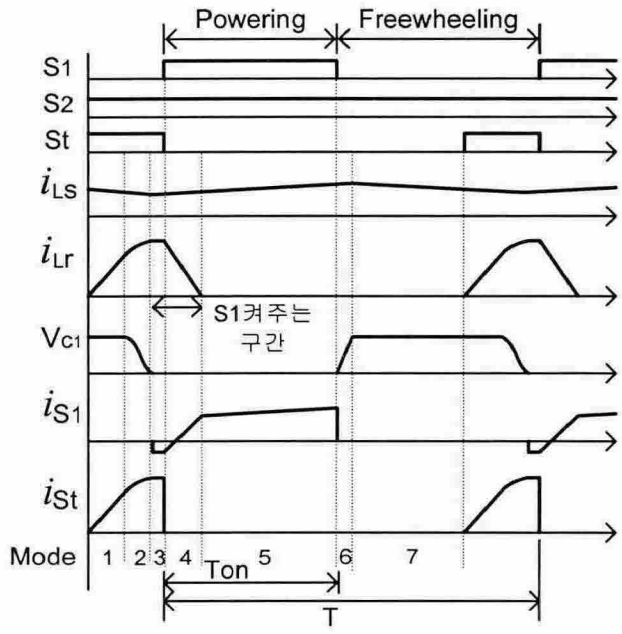

그림 3 제안한 PWM 단상정류기의 전원전압의 양의 반주기에서 스위칭 주기 TS동안의 각부분의 전압/전류파형

Fig. 3 Typical waveforms during one switching period TS of the proposed PWM single-phase rectifier

이 모드의 시작에서 C_1의 전압은 영이며, 전류 i_{Lr}의 일부는 Ls로 흐르며, 나머지는 D_1 에 흐르므로 인해 스위치 S_1을 ZVS 턴 온하기 위한 조건이 만들어진다.

• 모드 4 (그림 2(d)) : 리셋팅모드

IGBT S_t를 턴오프함에 따라 S_t에 흐르던 전류는 D_{t3}을 통해 전원으로 흐르며, L_r에 충전되어 있던 전류는 V_O/L_r의 기울기로 감소하여. L_r의 전류가 영으로 리셋팅되었을 때 다음 모드인 에너지 충전모드가 시작된다.

• 모드 5 (그림 2(e)) : 에너지 충전모드

이 모드의 동작은 일반적인 부스트 DC-DC 컨버터의 에너지 충전 모드와 유사하며, L_S에 흐르는 전류 i_{LS}는 IGBT S_1이 턴오프될때까지 계속하여 상승한다.

• 모드 6 (그림 2(f)) : 공진모드

L_S에 흐르는 전류 i_{LS}가 공진커패시터 C_1을 영전압에서부터 서서히 충전함에 따라 V_{C1}이 서서히 증가하며, V_O에 도달함에 따라 주다이오드 D_3가 ZVS 턴온 되며 다음모드 7이 시작된다.

• 모드 7 (그림 2(g)) : 에너지 방전 모드
일반적인 부스트 DC-DC 컨버터의 PWM 동작에서의 에너지 방전 모드와 유사한 모드로서, L_s에 흐르는 전류 i_{LS}는 선형적으로 감소하며, 동시에 여기에 축적되어 있던 에너지는 출력단으로 전달된다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table. 1 Simulation parameters

V_S	220V	V_{dc}	400Vdc
f_S	20kHz	P_O	12kW
C_O	$6800\mu F$	C_1, C_2	$0.05\mu F$
L_S	$125\mu H$	L_r	$5\mu H$

3. 시뮬레이션 및 고찰

그림 4(a)은 한 스위칭동안의 주 스위치 S_1의 전압과 전류 파형으로서, 스위치의 전압 전류가 각각 거의 출력전압과 입력전류로 제한되는 작은 스위치 전압/전류 스트레스를 볼 수 있다. 그림 4(b)와(c), (d) 역시 앞에서 해석한 파형과 같음을 볼 수 있다.

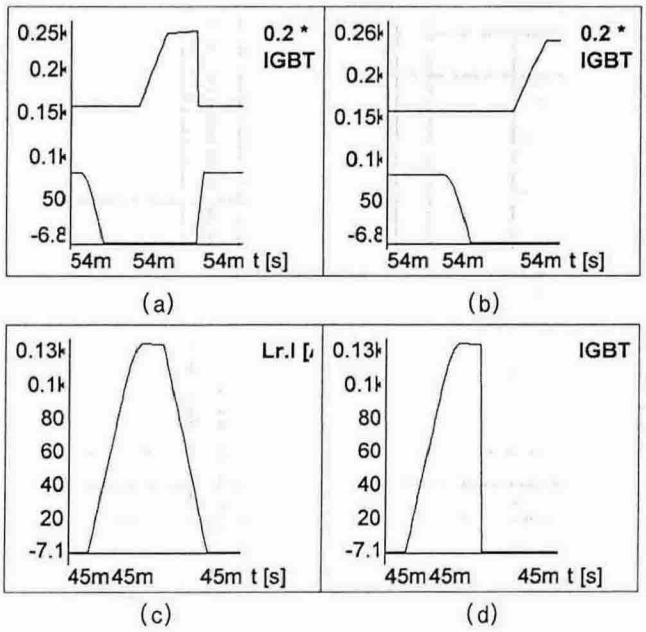

그림 4 제안한 PWM 단상정류기의 (a)주스위치 S1의 한 스위칭 동안의 전류(윗파형), 전압파형 (b)주스위치 S1의 ZVS 턴온 순간 (c)공진인덕터의 전류 (d)보조스위치St의 전류

Fig. 4 (a)Current(top trace)and voltage wave-forms of switch S1,(b)ZVS turn-on time interval,(c)resonant inductor current,(d) current of auxiliary switch St

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 역율보상회로에 비해 성능이 좋은 역율보상 PWM 단상정류기를 제안하였다. 저도통손 브릿지회로와 ZVT 소프트스위칭 회로의 우수한 특성을 결합한 본 역율보상 PWM 단상정류기는 주스위치와 다이오드를 소프트 스위칭하므로 회로의 스위칭손실을 감소시켰을 뿐만 아니라 회로구성 또한 간단하다. 더욱이 PWM제어, 반도체소자의 낮은 전류/전압 스트레스, 인덕터 및 커패시터의 작은 Var 정격으로 인해 대용량에서의 응용이 가능하며, 스위칭 전원의 입력단뿐만 아니라 정류기자체로서의 넓은 응용이 기대된다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

[1] R. Streit and D. Tollik, "High Efficiency Telecom Rectifier Using A Novel Soft-Switched Boost-based Input Current Shaper," IEEE INTELEC, pp720-726, 1991.

[2] G. Hua, C. Leu and Fred C. Lee, "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters," IEEE PESC, pp. 55-61, 1992.

[3] N. H. Kutkut and K.W. Klontz, "Design Consideration for Power Converter Supplying the SAE J-1773 Electric Vehicle Inductive Coupler," IEEE APEC, pp. 841-847, 1997.

[4] Prasad N. Enjeti and R. Martinez, "A High Performance Single Phase AC to DC rectifier with Input Power Factor Correction," IEEE APEC, pp. 190-195, 1993.

[5] A. F. de Souza and Ivo Barbi, "A New ZVS-PWM Unity Power Factor Rectifier with Reduced Conduction Losses," IEEE Trans. Pow. Elec., vol. 10, no. 6, pp. 746-752, Nov. 1995.

[6] A. F. de Souza and Ivo Barbi, "A New ZCS Quasi-Resonant Unity Power Factor Rectifier with Reduced Conduction Losses," IEEE PESC, pp.1171-1177, 1995.

[7] I.-D. Kim and B. K. Bose, "New ZCS turn-on and ZVS turn-off unity power factor PWM rectifier with reduced conduction loss and no auxiliary switches," IEE Proceedings Electric Power Applications, vol. 147, no. 2, pp146-152, Mar. 2000.