

무손실 스너버를 이용한 승압용 컨버터

(Boost Converter Using Loss-less Snubber)

한엄용* · 백형래** · 정헌상**

(Euam-Yong Han · Hyung-Lae Baek · Hun-Sang Chung)

1. 서 론

현재 많은 전기기기 및 전력장치의 직류전원으로 서 많이 이용되고 있는 콘덴서 입력형 정류회로는 저가형 전력변환장치라는 장점 때문에 현재 산업현 장에서 가장 널리 사용되고 있다.

그러나 이 방식은 평활용 콘덴서 전압보다 전원전 압이 높을때에만 전류가 흐르고 콘덴서는 전원전압 의 최대치로 충전하게 되어 입력전압의 최대치에 가 까운 전류가 순간에 흐르게 되어 입력역률이 낮고 입력전압 파형이 사인파라도 전류파형은 사인파로 되지 않고 펄스형태의 전류가 흐르게 되어 고조파가 많은 단점을 가지고 있다.¹⁻³⁾

능동역률제어 AC/DC 컨버터는 DC/DC컨버터를 전류모드로 제어하여 입력전류를 입력전압과 동상인 정현파로 만들어 역률을 향상시킨다. 능동형 컨버터 의 제어방식으로서 리액터 전류를 연속으로 하는 방 법과 불연속으로 하는 방법이 있다.⁴⁻⁶⁾

리액터 전류 연속방식은 전압과 전류를 검출해서 PWM에 의해 입력파형을 정현파 형태로 제어하는 방식이며, 제어는 상당히 복잡하게 된다.

불연속 전류모드 제어방법은 입력전류나 전압을 센싱할 필요 없이 일정 시비율로 주소자를 스위칭 하면 입력전류의 피크 값이 입력전압을 따라가게 되 어 입력전류의 평균 값이 저절로 정현파로 된다. 이 경우 영전류에서 턴·온 되기 때문에 저손실동작이 가능하게 되지만, 스위칭 소자의 턴·오프는 최대 전

류에서 되므로 턴오프시의 전류 스트레스나 EMI 노 이즈 문제등이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 AC/DC 컨버터의 불연속전 류 방식의 승압형 컨버터는 스위칭의 턴오프시 전류 스트레스나 EMI 노이즈 문제를 발생 시키므로 이를 개선하고자 무손실 스너버 회로를 이용하여 턴오프 시에도 소프트 스위칭이 되고 입력역률이 개선됨을 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하고자 한다.

2. AC/DC 컨버터의 역률개선

기존의 콘덴서 입력형 정류회로의 역률을 개선하 기 위한 방법으로 수동적인 방법(Passive Method) 과 능동적인 방법(Active Method)이 있다. 수동적인 역률개선 방법으로는 입력 수동필터, 공진형 수동필 터, ferro resonant transformer등이 있으나 필터의 크기와 무게가 증가하고 비경제적이며 저차 고조파 는 거의 필터링이 되지않는 단점을 가지고 있다.

그림 1은 능동스위치와 인덕터를 삽입하여 입력전 류의 파형을 입력전압과 동상으로 제어하며 출력전 압을 일정하게 유지시키는 능동역률개선 토폴라지이 다. 부스트 컨버터의 동작은 부스트 스위치가 온 기 간에는 전원과 승압용 리액터 사이에 단락회로를 형 성 시키고 이때 리액터를 통하여 에너지가 저장되며, 저장된 에너지는 부스트 스위치의 오프기간에 DC링 크단 콘덴서를 충전하여 DC링크단의 전압을 승압시 킨다.

* 學生會員 : 朝鮮大 大學院 電氣工學科 碩士課程

**正 會 員 : 朝鮮大 電氣工學科 教授

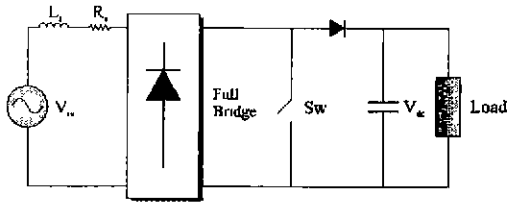


Fig. 1. Single-phase AC/DC boost converter

이때 스위칭 온·오프 제어를 통하여 입력전류가 불연속으로 흐르게 하면 입력 Peak전류는 선형적으로 전원전압을 따라가게 되고 이 전류의 평균치가 순시적으로 전원전압에 비례하게 되어 단위역률을 실현 시킨다.

3. 전류제어

부스트 컨버터의 전류제어 방법으로는 리액터 전류연속방식과 불연속방식이 있다. 리액터 전류연속방식은 전원전압과 전류를 단위역률로 유지하는 것이 가능하고, 입력전류자세를 제어하므로 저차 고조파의 함유량이 거의 없을 뿐만 아니라 전압제어기를 통하여 출력전압을 항상 일정하게 유지시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 입력전류의 크기와 위상을 제어하기 위한 전류제어기와 컨버터의 출력전압을 제어하기 위한 전압제어기가 각각 필요하므로 제어기 구성이 복잡한 단점이 있다.

리액터 전류불연속 방식은 별도의 전류제어 루프가 필요하지 않고, 주파수 일정, Duty Factor 일정의 스위칭 동작만으로 입력전압 파형이 정현파로 되기 때문에 입력전류는 전압에 비례해서 정현파 형태로 되는 특성이 있다. 그러나 턴오프는 최대전류에서 스위칭 되는 단점이 있다.

불연속 전류제어시 전압제어기는 DC출력단의 출력전압을 감지하고 이를 기준신호와 비교하여 오차신호를 증폭하고 PI제어기를 통해 제어신호로 바꾸어 삼각파 캐리어와 비교하는 변조기를 거쳐 부스트 스위치에 가할 PWM신호를 발생시킨다. 비례이득 \$K_p\$ 및 적분이득 \$K_i\$는 식 1과 같다.

$$K_p = \frac{R_f}{R_o}, \quad K_i = \frac{K_p}{T_c} \quad (T_c = R_f C_f) \quad (1)$$

그림 2는 불연속 전류제어 블록다이어그램을 나타낸다.

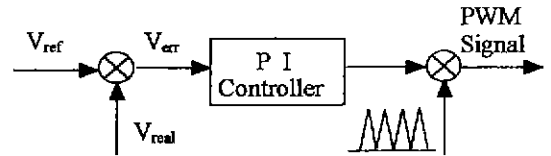


Fig. 2. Block diagram of discontinuous current control

4. Loss-less 승압형 컨버터

불연속 전류제어시 턴온시에는 ZCS로 되나 턴오프시에는 최대전류에서 스위칭 되기 때문에 컨버터의 턴·오프시 손실저감을 위한 그림 3은 무손실(Loss Less) 스너버를 활용한 스위치로 스위치와 병렬로 공진용 콘덴서가 접속되고 직렬로 공진용 인덕터가 결합된 형태이다.

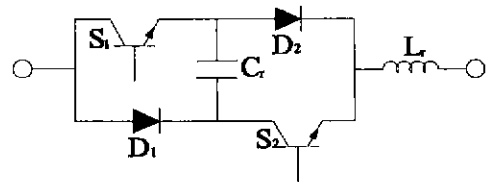


Fig. 3. Switch using a loss-less snubber

Soft Switching 컨버터 회로는 그림 4에서와 같이 다이오드 정류기와 부스트 컨버터로 구성되며 부스트 컨버터의 스위칭 소자는 그림 3의 무손실(Loss-Less) 스너버형으로 구성된다.

모드 1은 스위칭 소자를 동시에 턴온 하면 시작된다. 입력 교류전압과 콘덴서 \$C_f\$의 값이 가해지고 인덕터 \$L_r\$에 전류가 흐르게 된다. 콘덴서 \$C_f\$는 인덕터를 통해 방전하게 되며 스위치는 영전류에서 턴온하게 된다. 모드 2는 콘덴서 \$C_f\$의 전압이 영으로 될 때 시작된다. 다이오드 \$D_1, D_2\$는 도통하게 되고 직류전류는 \$S_1\$-\$D_2, S_2\$-\$D_1\$의 두 개의 경로로 나누어 지게 된다. 모드1과 모드2에서 직류전류는 증가하게 되고 인덕터에는 에너지가 축적된다. 스위치를 턴오프하면 모드3이 시작된다.

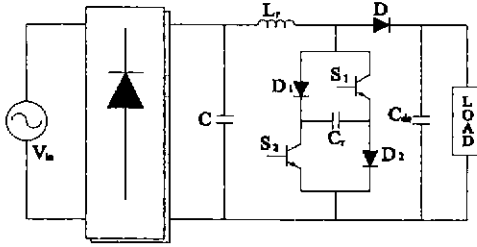


Fig. 4. Boost converter using a loss-less snubber

전류는 $D_1-C_r-D_2$ 의 경로로 흐르게 되고 콘덴서 C_r 을 충전하게 된다. 콘덴서의 전압이 영전압이므로 스위치의 턴오프는 ZVS에서 이루어지게 된다. 콘덴서 C_r 의 전압이 출력전압과 같을 때 모드4가 시작되고 직류전류는 L_r 을 통하여 부하로 흐르게 된다. 출력전압이 입력전압보다 높기 때문에 직류전류는 감소하다가 영으로 되고 모드5가 시작된다. 모드5는 스위치를 동시에 온 함으로써 끝나게 되고 모드1이 시작된다. 그림 5는 스너버 콘덴서 전압과 리액터 전류파형을 나타낸다.

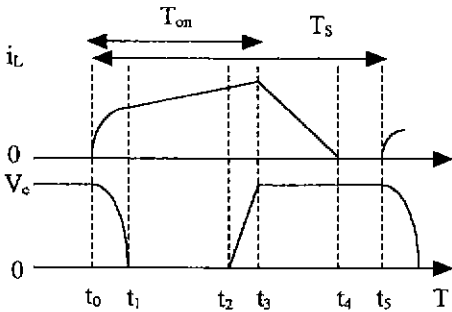


Fig. 5. Current waveform of reactor and voltage waveform of snubber condenser

5. 시뮬레이션

그림 6은 콘덴서 입력형의 입력전압, 입력전류, 출력전압을 나타낸 것으로 입력전압의 최대치에 가까운 전류가 순간에 흐르게 되어 입력역률이 낮다. 그림 7은 P. D. Zogas에 의해 제안된 병렬공진회로의 전압, 전류파형을 나타낸다.

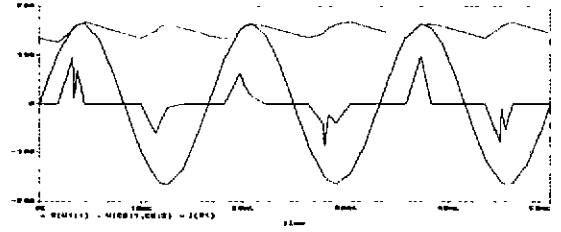


Fig. 6. Input voltage, current and output voltage waveforms of conventional rectifier

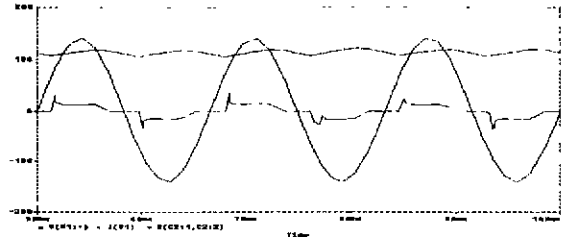


Fig. 7. Input voltage, current and output voltage waveforms of conventional rectifier with parallel resonant tank

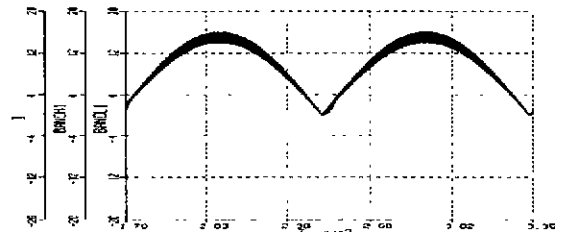


Fig. 8. Inductor current waveform of hysteresis current control

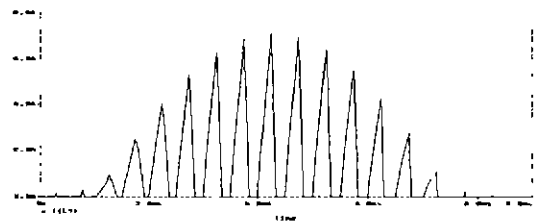


Fig. 9. Inductor current waveform of discontinuous current control

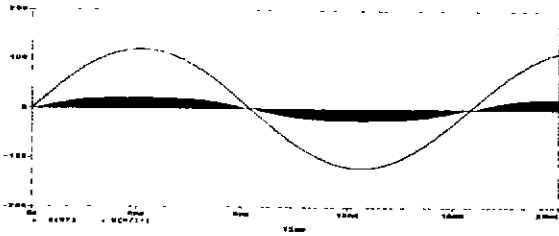


Fig. 10. Input voltage and current waveforms of discontinuous current control

그림 8은 히스테리시스 전류제어시의 인덕터 전류를 나타낸다. 그림 9는 불연속 전류제어시 인덕터 전류파형을 나타내고, 그림 10은 불연속 전류제어시 입력전압과 전류파형이 동상으로 제어됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 현재 많은 전기기기 및 전력장치의 직류전원으로서 많이 이용되고 있는 콘덴서 입력형 정류회로의 단점을 개선하기 위해서 단상 부스트 컨버터의 이론적 고찰과 제어알고리즘에 대해서 검토하였으며 불연속 전류제어시 스위칭 손실을 저감하기 위해 무손실 스너버회로를 이용하여 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) AC/DC 부스트 컨버터에 무손실 스너버 회로를 이용하여 불연속 전류제어시 스위칭 소자가 최대 전류에서 턴오프 되는 단점을 개선 하였다.
- 2) 제안된 회로는 입력전류 파형이 정현파로 됨으로서, 역률이 개선 되었다.
- 3) 주 스위치에 흐르는 전류가 턴온시 2개의 경로로 나누어 지기 때문에 소자의 전류 스트레스가 경감 되었다

참고문헌

- (1) John C. Salmon: Circuit Topologies for Single-Phase Voltage-Doubler Boost Rectifier, IEEE Trans. on PE, pp. 521~529, 1993
- (2) A. R. Prasad, P. D. Ziogas and S. Nanas: An Active Power Factor Correction Technique for Three Phase Diode Rectifier, IEEE Trans. on PE, pp. 83~92, 1991
- (3) L. H. Dixon: High Power Factor Preregulator for off-line Power Supply, Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual. 12-2

- (4) B. R. Lin and T. S. Hwang: Single Phase Rectifier with High Power Factor in Discontinuous and Continuous, IEEE ISIE, pp. 421~426, 1995
- (5) James B. Williams: Design of Feedback Loop in Unity Power Factor AC to DC Converter, IEEE FESC, pp 959~967, 1989
- (6) T. C. Chen, C. T. Pan: Modeling and Design of an AC to DC Converter, IEEE Trans. on PE, pp. 501~508, 1993