

PFC용 부스트 컨버터의 효율 개선에 관한 연구

전내석*, 전수균, 이성근, 길경석, 김윤식
한국해양대학교 전기공학과

A Study on the Efficiency Improvement of Boost Converter for Power Factor Correction

Nae-Suck Jeon*, Su-Kyun Jeon, Sung-Geun Lee, Guyng-Suk Kil, Yoon-Sik Kim
Dept. of Electrical Engineering, Korea Maritime University

Abstract - A new technique for improving the efficiency of single-phase high-frequency boost converter is proposed. This converter includes an additional low-frequency boost converter which is connected to the main high-frequency switching device in parallel. The additional converter is controlled at lower frequency. Most of the current flows in the low-frequency switch and so, high-frequency switching loss is greatly reduced accordingly. Both switching device are controlled by a simple method; each controller consists of a comparator, a frequency generator and an error amplifier. The converter works cooperatively in high efficiency and acts as if it were a conventional high-frequency boost converter with one switching device. The proposed method is verified by simulation and experiment. This paper describes the converter configuration and design, and discusses the steady-state performance concerning the switching loss reduction and efficiency improvement.

1. 서 론

다이오드 정류기를 앞단에 사용하는 전력 변환시스템에서 입력전류에 다량의 고조파가 발생하여 이 고조파에 의한 많은 문제가 대두됨에 따라 고조파 규제지침이 출현하게 되었으며, 최근 선진 각국에서는 각종 장비에 이러한 지침을 적용하는 단계에 이르렀다. 이러한 고조파를 저감하는 대표적인 기술로 PWM 스위칭 기술, 부스트 컨버터에 의한 역률개선, 전류주입에 의한 고조파저감 등이 있다^[1].

스위칭모드 파워 서플라이는 on, off 스위칭을 통하여 시비율을 변화시켜 출력 전압을 조정한다. 이 시비율을 제어하는 방법으로 기존의 PWM 제어 방법과는 달리, 일정 주파수의 클럭으로 스위치를 도통시키고 스위칭전류(인덕터 전류)가 설정값에 도달하는 순간에 차단시키는 제어 방법으로 전류모드 제어(current mode control)가 있다. 이 방식은 최대 출력 전류가 제어 전류에 의해 직접 결정되므로 제어 전류의 최대값을 제한함으로써 스위치 소자의 최대 전류를 직접 제어할 수 있다. 또한 병렬 운전시 각 컨버터의 전류를 쉽게 검출하여 제어 신호에 의한 컨버터의 병렬 운전이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 스위칭모드 파워 서플라이의 전류 제어가 차츰 확산되어 가고 있는 추세이다^[2].

본 논문에서는 단상 스위칭모드 부스트 컨버터의 새로운 기술로 고속 스위칭 상태에서의 스위칭 손실의 저감시키는 것을 제안하고 있다. 컨버터의 구성은 하나의 스위치를 가지는 일반적인 부스트 컨버터에 스위치 하나를

추가한 형태이다. 고속 스위칭 전류는 일반적인 컨버터와 거의 같고, 높은 전류의 쇼팅 주기동안 고주파 스위칭 손실을 피하도록 구성하였으며, 이 컨버터의 정상상태 및 과도상태에서의 전류 제어는 일반적인 컨버터의 고속 스위칭에 의한다^[3]. 부스트 컨버터의 제어기는 매우 간단하며, 두 개의 제어기는 비교기, 주파수 발생기, 오차증폭기로 구성되어 있다.

본 논문에서는 전형적인 부스트 컨버터의 Psim 시뮬레이션과 실험을 행하여 스위칭 주파수에 따른 주목할만한 효율 향상을 보여준다.

2. 부스트 컨버터 시스템

2.1 부스트 컨버터 회로 구성

Fig. 1은 널리 알려진 단상 스위칭모드 부스트 컨버터를 나타내고 있다. 컨버터의 스위칭 주파수의 증가는 스위칭 손실의 증가로 나타나고 또한, 고조파를 함유한 왜곡된 전류는 역률 감소와 효율의 저하로 나타난다.

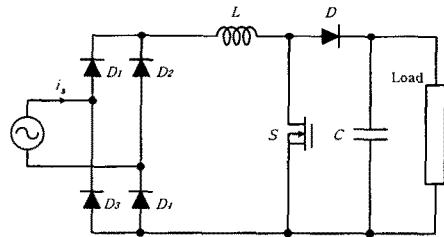


Fig. 1 Single-phase boost converter

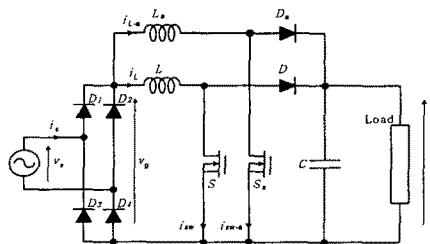


Fig. 2 The additional boost converter

이러한 스위칭 손실을 줄이면서 원하는 출력을 얻기 위하여 부스트 컨버터에서 요구되는 사항을 만족하는 새로운 형태의 부스트 컨버터를 제안하며, 이 구성을 Fig. 2에 나타내었다. D1-D4는 정류 다이오드, L은 리액터, S는 고주파 스위칭 장치, D는 고속회복 다이오드, C는 캐패시터이다. 이들 요소를 Fig. 1과 간단히 비교

하면 L_a , S_a 그리고 역률 개선을 위하여 D_a 는 새롭게 추가된 것이다. 병렬 보조 스위치 S_a 는 컨버터의 주 스위칭소자 S의 주파수 보다 월등히 낮게 동작케 하여 스위칭 손실을 저감시키며, 컨버터의 전체 출력 손실의 저감으로 효율 증가가 이루어진다.

2.2 부스트 컨버터의 제어방법

스위치 S가 on시에는 리액터가 입력전압에 의해 자화되면서 에너지가 축적되고 리액터 전류는 상승한다. off시에는 리액터에 축적되었던 에너지가 환류 다이오드를 통해 부하(dc load)측으로 방출되면서 리액터 전류는 감소한다. 따라서, 리액터 전류의 미분치 혹은 변화율 di_L/dt 를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{di_L(t)}{dt} &= \frac{v_L(t)}{L} = \frac{V_g}{L} \quad (S:\text{on}) \\ \frac{di_L(t)}{dt} &= \frac{v_L(t)}{L} = \frac{-(V-V_g)}{L} \quad (S:\text{off}) \end{aligned} \quad (1)$$

이 리액터 전류 i_L 은 스위치 S가 on시 기준전류에 가깝고, off시 T_{off} 만큼 지속된다(다음 on시 까지). 이 동작시 리액터 전류는 기준치를 초과하지 않으며, 이 변화의 제어는 비교기로 간단히 구성된다.

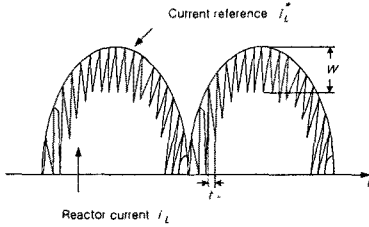


Fig. 3 Current reference and reactor current waveforms

Fig. 3은 전류 i_L 과 기준전류 i_L^* 이며, i_L^* 는 교류전압 V_s 의 절대값에 비례한다. 스위칭 주파수의 최대값 V_g 는 AC측 전압의 최대값에 근접하며, V_g 의 스위칭 주기가 짧고 출력값 V_d 가 같다면 T_{off} 는

$$T_{off} = \frac{\sqrt{2} V_s}{V_d f_{max}} \quad (2)$$

여기서, V_s 는 AC측 정현파 전압의 실효값이고, f_{max} 는 정상상태에서의 최대 스위칭 값이다. 만약, 전류의 스위칭 리플 오차를 W_i 라 하면, L 은

$$L = \frac{V_d - \sqrt{2} V_s}{W_i} T_{off} \quad (3)$$

f_{max} 와 W_i 는 고려하면 입력 파라미터 T_{off} 와 L 를 구할 수 있다. 또한, 추가된 컨버터의 제어방법도 동일하다. Fig. 4에 제어기의 블록 다이어그램을 나타내었다. 리액터 전류 i_{L-a} 와 i_L 의 측정은 제어기에 따르며, 전류 기준값은 사인파 발생기와 절댓값 블록으로 결정된다. 스위치 S의 제어 블록은 둘 다 같고, 전류 i_L 은 기준치 i_L^* 와 비교하여 측정된다. 만약 측정값이 기준치보다 크다면 비교기의 출력 펄스를 이용하여 스위치 S

를 on-off 제어를 한다. 이 스위칭 장치는 게이트의 출력을 제어하고, 이 동작이 반복됨으로써 출력 전압이 조정된다.

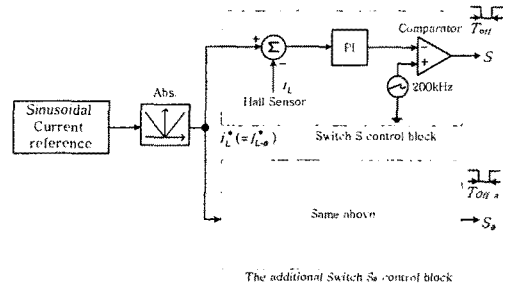


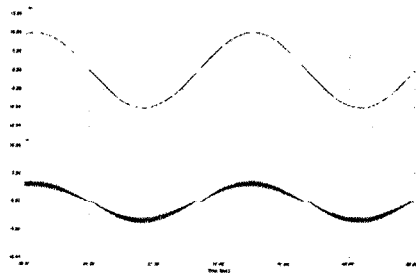
Fig. 4 Block diagram of the controller

3. 시뮬레이션

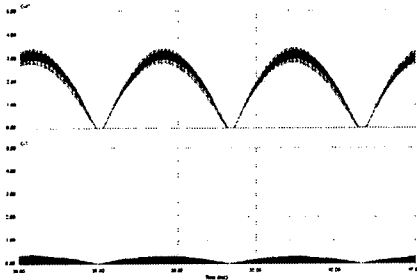
부스트 컨버터의 시스템 동작을 확인하기 위하여 제한한 회로의 스위칭 소자는 MOSFET이며, 기준 전류 i_s^* 는 교류전압에 비례하여 제공된다. 스위치의 최대 주파수와 리액터의 인덕턴스를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Parameters of the boost converter

Items	Parameters
AC-side voltage(V_s)	10V, 60Hz
DC-side(output) voltage(V_d)	20V
Maximum switching-frequency of switch S(f_{max})	200kHz
Maximum switching-frequency of switch S_a(f_{max-a})	15kHz
Current ripple tolerance of i_L (W_i)	0.2A
Current ripple tolerance of i_{L-a} (W_{i-a})	0.3A
Inductance of the reactor(L)	0.1mH
Inductance of the reactor(L_a)	1mH
Off-state time(T_{off})	3.5 μ s
Off-state time(T_{off-a})	47 μ s



(a) Source voltage (V_s) and source current (i_s)



(b) Current in reactor $L(i_L)$ and $L_o(i_{L-o})$
 Fig. 5 Simulation waveforms of the converter

Fig. 5의 (a)는 입력전압과 입력전류의 시뮬레이션 파형으로 AC측 역률(power factor)이 99.9% 이상으로 거의 동상에 가깝다. Fig. 5 (b)는 리액터 L 과 L_o 의 전류 파형으로 거의 동상에 가깝고, L 의 전류는 L_o 에 비하여 적음을 알 수 있다. 이것은 대부분의 전류가 L_o 쪽으로 흐르는 것을 나타낸다.

4. 실험 및 고찰

시뮬레이션한 것을 바탕으로 실험장치를 구성하였으며 Fig 6, 7에 나타내었다.

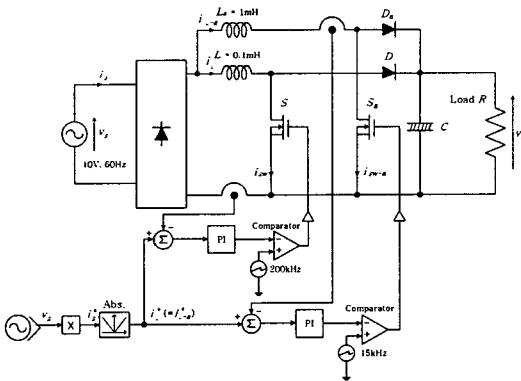


Fig. 6 Configuration of the proposed boost converter

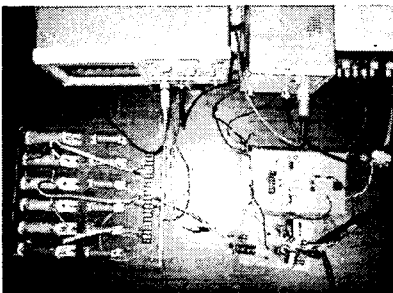


Fig. 7 Photograph of the experimental apparatus

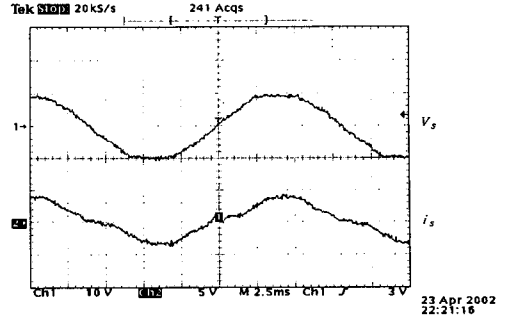


Fig. 8 Waveform of input current and voltage

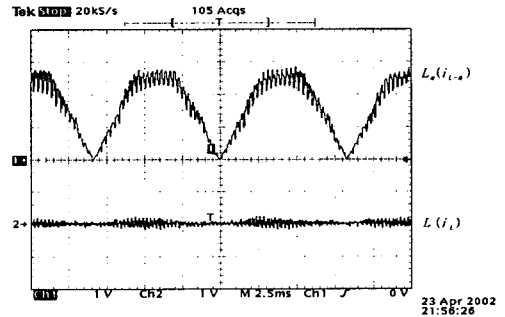


Fig. 9 Current in reactor

Fig. 8은 역률개선 후의 입력 전압과 전류 파형을 나타내고 있다. 시뮬레이션 파형과 거의 일치함을 보이고 있다. Fig. 9는 리액터 L , L_o 의 전류 파형을 나타내고 있으며 약간의 리플분을 함유하고 있다. 거의 모든 전류가 리액터 L 보다 L_o 에 흐르므로 스위치 S 의 고속 스위칭시 높은 전류손실을 감소시키며, 효율을 향상시킨다.

5. 결 론

본 논문에서는 단상 부스트 컨버터의 고속 스위칭 상태에서의 전력 손실 저감의 새로운 기술을 제안하였다. 이 컨버터는 스위칭 손실을 저감시켜 전체 시스템의 효율을 향상시키며, 제안된 방법은 시뮬레이션 및 실험으로 증명하였다. 컨버터의 효율은 200kHz에서 동작하는 스위치와 15kHz에서 동작하는 스위치가 병렬로 결합되어 있으며 실제 효율은 83%이다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 실제 대용량 시스템에서의 특성을 파악하여야 할 것이며, 효율에 관한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- (1) 최세완, "전류주입에 의한 고조파 저감기술의 개발동향", 전력전자학회지, Vol. 6, No. 1, pp. 30-36, 2001
- (2) 김희준, 스위치 모드 파워 서플라이, 성안당, 1993
- (3) T.Yoshida, O.Shiizuka, O.Miyashita and K.Ohniwa, "An Improvement Technique for the Efficiency of High-Frequency Switch- Mode Rectifiers", IEEE Trans. Power Electron., Vol. 15, No. 6, pp.1118-1123, 2000
- (4) R. W. Erickson, Fundamentals of Power Electronics, Chpman and Hall, 1997
- (5) PSIM User Manual, Powersim Technologies Inc., 2001