

PFC용 고효율 부스트 컨버터 설계 및 효율 분석

김준모*, 엄태호*, 이정*, 신민호*, 원충연*
성균관대학교*

Design and efficiency analysis of PFC high efficiency boost converter

Jun Mo Kim*, Tae Ho Eom*, Jeong Lee*, Min Ho Shin*, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문에서는 단상 PFC(Power Factor Correction)용 고효율 부스트 컨버터의 설계 방법과 효율을 비교하여 기술한다. 기존 PFC용 부스트 컨버터의 경우 다이오드의 전압강하에 의하여 효율이 감소한다. 이를 PFC용 고효율 부스트 컨버터를 이용하여 효율을 증가 시킨다. PFC용 부스트 컨버터와 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 효율 및 특성을 비교하고 이를 시뮬레이션으로 검증하였다.

1. 서 론

가정에서 사용하는 대부분의 제품은 직류 전원을 요구하기 때문에 전력변환장치로 AC-DC 정류기를 이용한다. 정류 회로와 유도성 부하로 인하여 전압과 전류의 위상차가 발생한다. 전류의 위상차로 인하여 고조파 성분이 많이 포함되어 왜곡된 파형이 발생되며 역률이 크게 저하된다^[1]. 따라서 PFC를 이용하여 입력 전압과 전류를 동상으로 제어하여 역률을 개선하여야 한다. 하지만 PFC용 부스트 컨버터의 경우 다이오드에 의한 전력 손실이 나타난다. 따라서 본 논문에서 부하에 전달되는 전력 효율을 증가하기 위한 방법으로 PFC용 고효율 부스트 컨버터를 제안한다.

2. 본 론

2.1 PFC용 컨버터

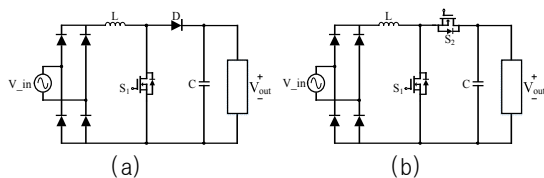


그림 1 (a) PFC용 부스트 컨버터, (b) PFC용 고효율 부스트 컨버터
Fig. 1 (a) Circuit diagram for PFC boost converter
(b) Circuit diagram for high-efficiency PFC boost converter

기존의 PFC용 부스트 컨버터는 그림 1 (a)와 같으며 정류회로와 부스트 컨버터로 구성되어 있다. 부스트 컨버터의 인덕터에 흐르는 전류는 CCM, DCM 모드로 구분된다. CCM 모드일 경우 역률 제어 효과가 크다는 장점이 있으며, DCM 모드의

경우 CCM 모드와 마찬가지로 전류 파형은 입력 전압과 같은 정현파로 나타난다.

그림 1 (b)는 부하의 전력을 향상하기 위한 PFC용 고효율 부스트 컨버터이다. 그림 2는 PFC용 부스트 컨버터의 입력 전압, 전류 파형이다. 두 파형의 위상이 동상이 되어야 PFC의 정상 동작 여부를 알 수 있다.

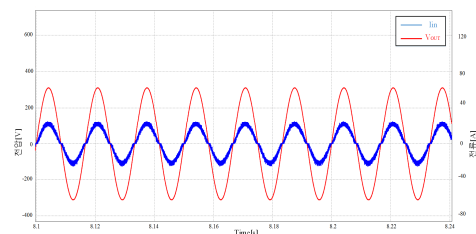


그림 2 PFC용 부스트 컨버터 입력 전압, 전류 파형
Fig. 2 Input voltage and current waveforms of the PFC boost converter

본 논문에서는 부하에 전달되는 효율을 증가시키기 위하여 PFC용 고효율 부스트 컨버터를 제안한다. PFC용 고효율 부스트 컨버터는 PFC용 부스트 컨버터의 다이오드 대신 전력용 반도체 소자인 MOSFET 이용한다. 기존의 다이오드가 도통할 시 0.7[V]의 전압 강하로 인한 전력손실, 도통손실, 역회복 시간에 의한 손실이 나타난다. 하지만 MOSFET은 도통 되었을 경우 내부저항은 다이오드의 내부저항에 비해 매우 작아 도통 손실이 감소된다. 또한 스위치 오프 시 MOSFET 내부 다이오드를 통해 전류가 흐르지만 기존의 다이오드의 비해 전위 장벽 또한 낮은 특성을 지니고 있다. 즉, 전위 장벽에 의한 전력손실이 감소된다. 따라서 다이오드를 MOSFET 스위치로 변경하여 부하에 전달되는 전력 효율을 증가시킨다.

2.2 초기 충전 회로 설계

DC-Link에 순간적인 계통전압이 인가되면 전류는 무한대로 증가하게 된다. 이로 인하여 인덕터의 흐르는 전류가 순간 증가하여 반도체 소자와 다이오드의 정격 전류를 초과하는 문제점이 발생한다. 따라서 초기 충전 회로를 이용하여 일정한 시간동안 커패시터의 전압을 충전하고 부스트 컨버터가 동작하여야 한다. 초기 충전회로 설계 방법은 RC 시정수에 따라 결정된다. 정류된 전압($V_{rectification}=311[V]$)의 95[%]까지 충전되는 시간을 1[s]로 선정하였다. 초기 충전 회로의 저항 값은 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$V_c = V_{rectification} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

$$0.95 = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

$$\ln 0.05 = -\frac{t}{RC} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{2.995 \times 2,300 \times 10^{-6}} = 145 [\Omega] \quad (4)$$

2.3 시뮬레이션 및 효율 분석

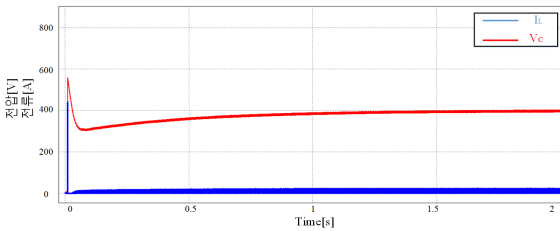


그림 4 초기 충전 회로가 없는 컨버터의 L,C 전류 전압 파형
Fig. 4 Current and Voltage waveforms of inductor and capacitor without initial charging circuit

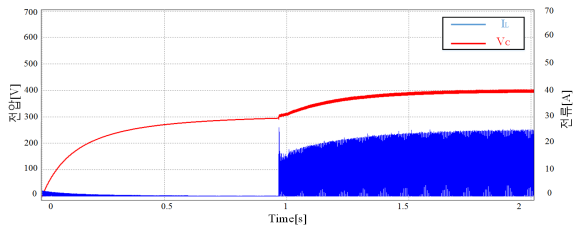


그림 5 초기 충전 회로가 있는 컨버터의 L,C 전류 전압 파형
Fig. 5 Current and Voltage waveforms of inductor and capacitor with initial charging circuit

그림 4는 초기 충전 회로가 없는 부스트 컨버터 동작 파형이며 순간 전류의 크기는 매우 높은 값을 가진다. 그림 5는 초기 충전 회로가 있는 컨버터이며, 순간 기하급수적으로 증가하는 전류를 줄이기 위하여 초기 충전 회로가 요구된다.

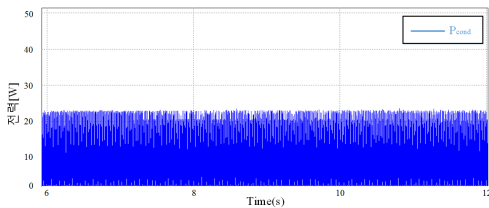


그림 6 다이오드의 도통 손실
Fig. 6 Diode conduction loss waveform

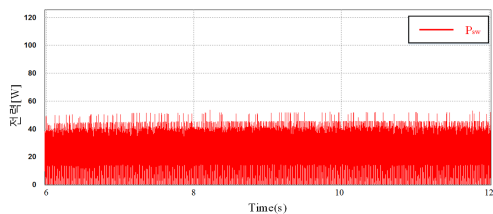


그림 7 다이오드의 스위칭 손실
Fig. 7 Diode switching loss waveform
그림 6, 7은 PFC용 부스트 컨버터의 다이오드에 의한 손실

을 시뮬레이션으로 분석하였다. 평균 도통 손실은 8[W], 스위칭 손실은 32[W]이며, 역회복 시간에 따른 손실은 5[W]이다.

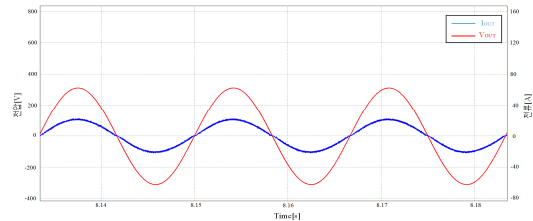


그림 8 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 입력 파형
Fig. 8 Input voltage and current waveforms of the high efficiency boost converter for PFC

그림 8은 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 입력 전압과 전류 파형이며 PFC의 정상 동작 여부를 판단할 수 있다. 그림 9은 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 출력 전압, 전류 파형이다.

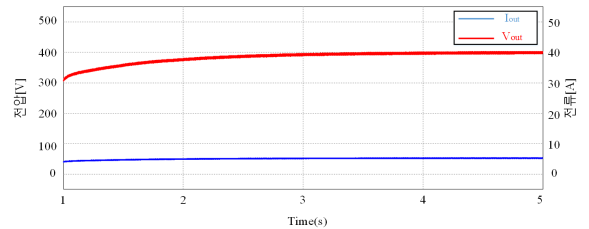


그림 9 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 출력 파형
Fig. 9 Output waveforms of high efficiency boost converter for PFC

표 1 PFC용 컨버터의 전력 및 효율
Table 1 Power and efficiency of the PFC converter

	전력	효율
입력	3.02[kW]	
PFC용 부스트 컨버터	2.881[kW]	95.39[%]
PFC용 고효율 부스트컨버터	2.926[kW]	96.88[%]

표 1은 시뮬레이션을 이용하여 각 PFC용 컨버터의 부하에 전달되는 전력과 효율을 측정하였다. PFC용 부스트 컨버터 보다 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 효율이 1.49[%]가 증가 된 것을 확인 하였다.

결론

본 논문에서는 PFC용 부스트 컨버터의 효율을 증가시키기 위하여 고효율 부스트 컨버터를 사용하였고, PFC용 부스트 컨버터와 PFC용 고효율 부스트 컨버터의 효율을 비교하였다. 두 PFC 컨버터의 전력의 차이는 45[W]이며 시뮬레이션으로 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임
(No. 2014R1A2A2A05006744)

참고 문헌

[1] O. Garcia, J. A. Cobos, R. Prieto, P. Alou, and J. Uceda, "Single phase power factor correction: A survey", IEEE Trans. on PE, Vol. 18, No. 3, pp. 749-755, 2003.