

디지털 임계 도통 모드 Boost PFC의 입력 필터 효과 보상

김종우, 문건우
KAIST

Compensation of input filter for digital boundary conduction mode boost PFC

Jong-Woo Kim and Gun-Woo Moon
KAIST

ABSTRACT

본 논문에서는 임계 도통 모드 boost PFC의 입력 필터 효과를 보상하기 위한 온-타임 변경 기법에 대하여 제안한다. 임계 도통 모드 boost PFC의 입력 필터는 총 입력전류의 위상을 진상으로 만들게 되며, 이 영향은 성능의 하락을 초래하게 된다. 본 논문에서는 디지털 boost PFC의 진상 전류를 보상하기 위한 온-타임 변경 profile을 제시하였다. 제안된 방법의 효과는 90-230Vrms 입력, 200W 출력의 prototype의 실험을 통하여 검증되었다.

1. 서론

전력의 효율적인 사용을 위하여, 입력 전류의 높은 역률과 낮은 고조파를 이루기 위한 노력은 날이 갈수록 더해지고 있다^{[1], [2]}. 이에 상응하는 전원장치의 역률과 고조파에 대한 규제는 IEC 61000-3-2에 명시되어 있다. Boost PFC는 인덕터 전류의 평균 값을 입력전압과 동상인 정현파로 제어하여 높은 역률 및 낮은 고조파를 얻을 수 있다. 입력 필터 캐패시터는 브릿지 다이오드 출력전압의 리플을 억제하기 위하여 사용되며, 통상적으로 리플 전압이 입력 전압 최대치의 0.3배보다 작도록 설계된다.

약 200W급의 전원 장치에서는 임계 도통 모드 boost PFC가 매우 널리 사용된다. 이는 임계 도통 모드 boost PFC가 작은 스위칭 손실을 지닐 뿐만 아니라, 작은 인덕터를 사용할 수 있다는 장점을 지니기 때문이다. 그러나 임계 도통 모드 boost PFC는 인덕터 전류의 리플이 크다는 단점을 가지고 있는데, 이는 큰 도통 손실뿐만 아니라 큰 입력 필터 캐패시터를 사용해야 한다는 단점을 갖게 한다. 이에 따라, 입력 필터 캐패시터에 흐르는 평균 전류가 커지게 되고 이는 진상 입력 전류를 야기하여 역률과 고조파에 악영향을 끼친다.

본 논문에서는 디지털 boost PFC의 진상 전류를 보상하기 위한 온-타임 변경 profile을 제시하였다. 제안된 방법의 효과는 90-230Vrms 입력, 200W 출력의 prototype의 실험을 통하여 검증되었다.

2. 제안하는 제어기법

2.1 보상 온-타임

제안하는 방식은 입력 필터 캐패시터에 흐르는 전류를 보상하기 위하여 인덕터의 평균 전류를 수정한다. 임계 도통

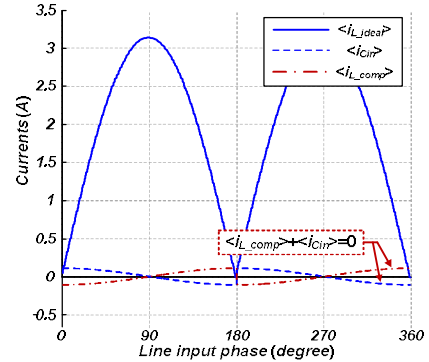


그림1. 이상적인 인덕터 평균 전류, 입력 필터 캐패시터 평균 전류, 그리고 원하는 보상 성분의 평균 전류.

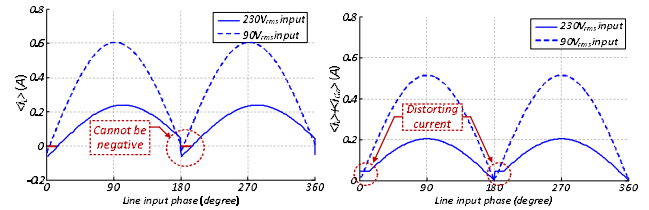


그림2. 보상 온-타임에 의해 의도된 인덕터 평균 전류 (좌)와 왜곡된 입력 전류 (우).

모드 boost PFC는 인덕터의 평균 전류를 제어하기 위해 온-타임 제어를 사용하며, 보상 성분을 더해주기 위하여 보상 온-타임을 기존의 온-타임에 더해준다. 기본적으로, 입력 필터 캐패시터에 흐르는 전류와 같은 크기를 지니며, 반대의 부호를 갖는 보상 전류 성분을 인덕터에 더해주는 방식을 생각할 수 있다. 이를 위한 보상 온-타임은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_c = -\frac{2LC_{in}}{v_{in}[n]T_s}(v_{in}[n]-v_{in}[n-1]) \quad (1)$$

2.2 보상 온-타임이 적용되었을 때의 총 입력전류

그림 2의 왼쪽 그림은 (1)에서 제시한 온-타임 보상 값을 적용하였을 때의 의도된 인덕터 평균 전류를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 입력 전압의 부호 변환 지점에서 음의 인덕터 전류가 요구된다는 것을 알 수 있다. 그러나 boost 컨버터에서는 출력 다이오드와 브릿지 다이오드에 의해 음의 인덕터 전류가 허용되지 않으며, 이 구간에서 인덕터 전류는 영이 된다. 따라서 그림2의 오른쪽 그림에서와 같이, 인덕터 전류와 입력 필터 캐패시터 전류의 합으로 나타낼 수 있는 총 입력전류는 부호 변환 지점에서 왜곡된 모양을 지닌다는 것을 알 수 있다.

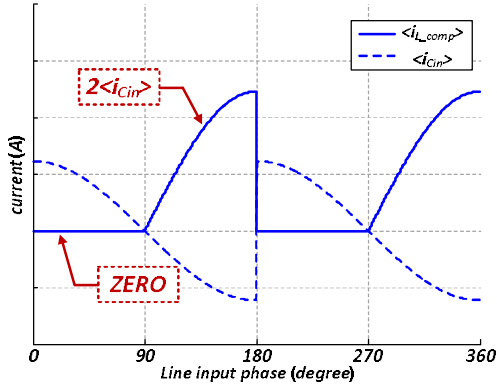


그림3. 제안하는 보상 온-타임 프로파일.

Input voltage	90-230V _{rms}
Output power	197.5W (395V/0.5A)
Main switch	IPP60R125C6 (650V, 0.125Ω, 19A)
Boost diode	BYV29X-600 (600V, 1.11V _F , 9A)
L	230uH
C _{in}	440nF
C _{out}	164uF
Controller	TMS320F28069PZT
Sampling frequency	45kHz

표1. 소자 리스트.

2.3 제안하는 보상 profile

앞선 분석을 통하여 보았을 때, 보상 온-타임이 지나야 하는 조건은 다음과 같다.

- 1) 영보다 작은 값을 지녀서는 안 된다. 인덕터에는 음의 전류가 흐를 수 없기 때문이다.
- 2) 입력 전류가 입력 전압과 동상이 되도록 제어해야 한다.

이와 같은 조건을 만족시키기 위하여, 본 논문에서는 그림 3과 같은 보상 profile을 제시하였다. 제안하는 보상 profile은 음의 인덕터 전류를 의도하지 않기 위해서 음의 보상 전류성분이 요구될 때 영의 보상전류를 흘리게 된다. 또한, 입력 전류가 입력 전압과 동상이 되도록 제어하기 위해서 양의 보상 전류성분이 요구될 때는 두 배의 보상전류를 흘리게 된다.

이에 따라, 제안하는 보상 profile을 사용하게 되면 입력전류의 지상 전류를 보상할 수 있을 뿐만 아니라 입력 전압의 부호 변환 지점에서의 전류 왜곡 현상도 저감할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3. 실험 결과

제안된 방법의 효과는 90-230V_{rms} 입력, 380V/200W 출력의 prototype의 실험을 통하여 검증되었다. 표1은 prototype의 소자 리스트를 나타낸다.

그림4는 prototype의 동작 파형을 나타낸다. 왼쪽의 파형은 (1)의 보상 온-타임을 적용한 파형이다. 앞서 설명한 바와 같이, 입력 전압의 부호 변환 지점에서 총 입력전류의 왜곡이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 오른쪽의 파형은 제안하는 보상 profile을 적용한 파형이다. 왼쪽 파형과 비교하였을 때, 입력전류의 왜곡이 눈에 띄게 줄어들었다는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 기법은 총 입력전류를 입력전압과 동상으로 만들 뿐만 아니라, 입력전류의 왜곡도 눈에 띄게 감소시키기

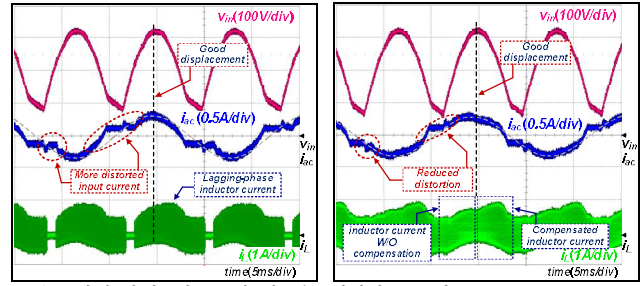


그림4. 실험 파형 (좌) (1)의 식 (우) 제안하는 보상 profile.

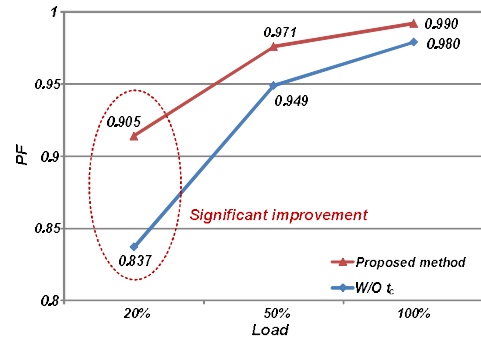


그림5. 기존의 방식과 제안하는 방식의 역률 비교.

때문에 그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이, 임계 도통 모드 boost PFC의 성능을 전 입력 및 부하 조건에서 눈에 띄게 향상시킨다.

4. 결론

본 논문에서는 임계 도통 모드 boost PFC의 성능 향상을 위한 보상법을 제시하였다. 제안한 보상 profile은 보상 전류 성분이 음인 구간에서 영의 보상 시간을 사용하며, 보상성분이 양인 구간에서 두 배의 보상 시간을 사용하였다. 실험 결과를 통하여, 제안하는 제어 방법은 입력 전류가 입력 전압과 동상을 지니도록 할 뿐만 아니라, 입력 전류의 부호 변환 지점에서의 입력 전류의 왜곡을 줄일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0028680).

참고 문헌

- [1] J.-W. Kim, H.-S. Youn, and G.-W. Moon, "A digitally Controlled CRITICAL Mode Boost Power Factor Corrector with Optimized Additional On Time and Reduced Circulating Losses," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, no. 6, pp. 3447-3457, Jun. 2015.
- [2] J.-W. Kim, S.-M. Choi, and K.-T. Kim, "Variable On-Time Control of the Critical Conduction Mode Boost Power Factor Correction Converter to Improve Zero-crossing Distortion," *Power Electronics and Drives Systems, PEDS 2005*, pp. 1542-1546, 2005.