

전류조형기법의 대용량 DCM 역률 보상 컨버터

채형준*, 김경동*, 문형태**, 이준영*
 명지대학교 전기공학과*, (주)만도**

High-Power DCM PFC Converter with Current Wave-shaping

Hyungjun Chae*, Kyoungdong Kim*, Hyungtae Moon**, Junyoung Lee*
 Department of Electrical Engineering, Myongji University*, MANDO Corporation**

ABSTRACT

본 논문은 7kW급의 DCM PFC 회로를 제안한다. DCM 제어방식은 제어기의 복잡성이 단순하여 디지털 제어기 적용이 용이하며 인덕터 사이즈가 다른 방식에 비해 작게 설계됨으로 전력밀도를 높일 수 있지만 입력전압이 높아짐에 따라 역률은 상대적으로 낮아지는 단점이 있다. 본 논문에서는 7kW급 DCM 방식의 Boost PFC 컨버터를 구현하고 전류조형기법을 적용하여 넓은 입력 전압 범위에도 역률이 0.99이상인 것을 실험을 통해 확인한다.

1. 서 론

일반적인 PFC 제어 방식에는 CCM, BCM, DCM의 세가지 방식이 있다. CCM방식은 높은 역률과 전류 스트레스가 작은 장점이 있지만 입력전류가 입력전압을 추종하도록 제어하는 방식으로 일반적으로 인덕터의 크기가 커지고 제어도 복잡하다. 이와는 다르게 DCM방식의 PFC컨버터는 상대적으로 PF가 낮은 단점과 전류 리플이 크며 이에 따라 전류 스트레스가 큰 단점이 있지만 출력 다이오드의 역회복 특성을 피할 수 있고 입력전류를 단속적으로 제어하므로 일반적인 전압제어기를 사용할 수 있어 제어가 단순하며 작은 인덕터 값을 사용하므로 인덕터의 크기도 줄일 수 있다.

표 1 PFC 제어방식 비교
 Table 1 comparisons of PFC control method

제어방식	제어기 복잡성	Capacitor size	Inductor size	전류 stress
CCM	大	小	大	小
BCM	小	中	小	中
DCM	小	大	小	大

일반적인 DCM 방식의 PFC 컨버터는 출력전압만 제어하여 입출력 조건에 따라 일정한 시비율로 동작 한다. 이에 따라 인덕터 전류의 첨두치는 입력전압을 추종하게 되지만 입력전류는 인덕터 전류의 스위칭 주기에 따른 평균값으로 나타나게 됨으로 왜곡이 발생하고 역률은 감소하게 된다. 이 왜곡의 정도는 입력전압과 출력전압의 크기의 비에 따라 변하게 되며 그 비가

클수록 왜곡은 줄어들게 된다.^[1] 이러한 왜곡된 입력전류로 낮은 역률을 개선하기 위하여 여러 가지 방법이 연구되고 있으며 특히 가변 시비율법과 고조파 주입 방법이 연구 되고 있지만 제어가 복잡하고 구현이 어려운 단점이 있다.^{[2][3]}

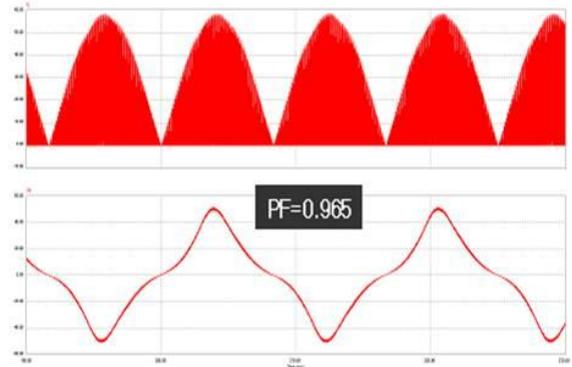


그림 1 일반적인 DCM 방식의 인덕터 전류 및 입력전류의 모의시험 파형
 Fig. 1 Simulation waveform of inductor and input current of conventional DCM PFC

2. 제안한 회로

본 논문에서 제안한 방법은 wave shaping modulation factor 'k'값을 적용하여 시비율과의 곱을 통해 컨버터를 제어함으로써 입력전류의 왜곡을 줄이는 방법이다. 그림 2는 본 논문에서 구현한 DCM 부스트 PFC 컨버터의 회로도이다. 인터리브 구성으로 입출력 전류 리플을 줄였으며 필터 사이즈 및 전류 스트레스를 줄였다. 용량은 7kW급으로 설계하였으며 디지털 제어기로 그 알고리즘을 구현하였다.

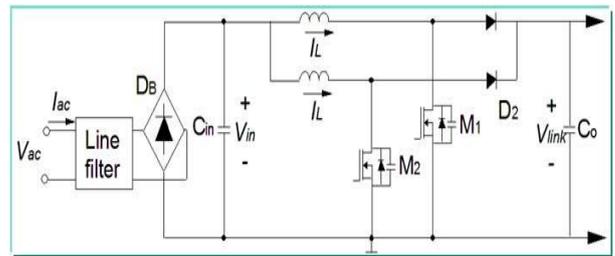


그림 2 PFC 회로도
 Fig. 2 Overall circuit of PFC converter

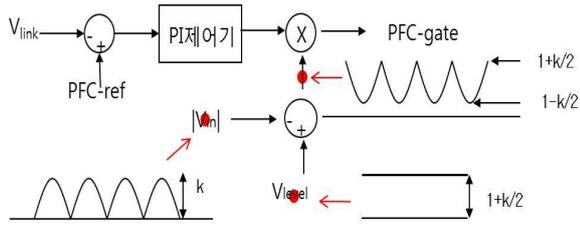


그림 3 제안된 알고리즘의 개념도
Fig. 3 Concept diagram of proposed algorithm

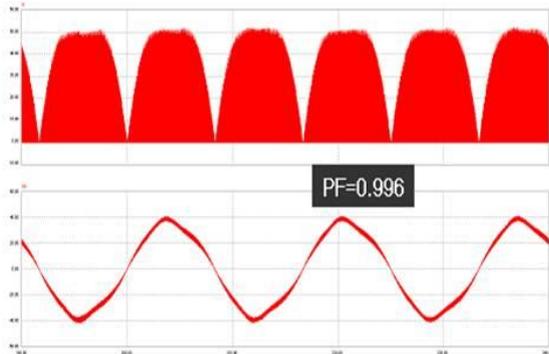


그림 4 제안한 DCM 방식의 인덕터 전류 및 입력전류의 모의 실험 파형
Fig. 4 Simulation waveform of inductor and input current of proposed DCM PFC

그림 3은 제안한 알고리즘의 개념도이다. PFC는 기본적으로 출력전압만 제어하며 역률 개선을 위해 wave shaping modulation 블록이 추가되어 있는 형태를 가지고 있다. 제안한 알고리즘을 적용하여 DCM PFC 컨버터의 입력과 출력전압의 비에 따라 k값을 변경하면 상용전원의 거의 모든 영역에서 높은 역률을 얻을 수 있다. 그림 4는 제안한 방식의 모의실험 결과로 인덕터 전류 및 입력 전류의 파형이다.

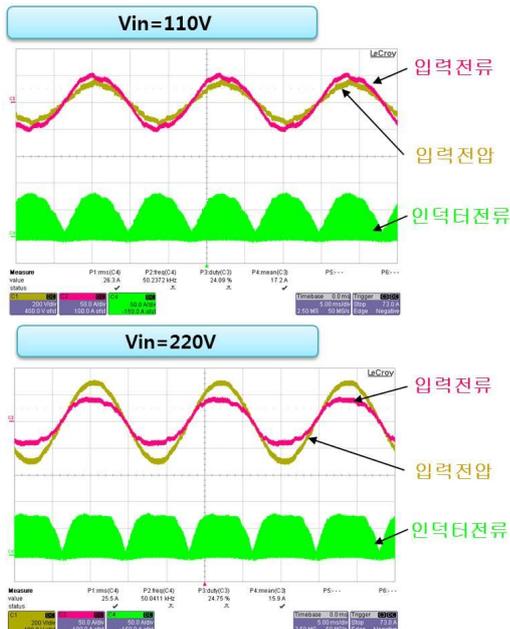


그림 5 입력전압에 따른 PFC 동작 파형
Fig. 5 PFC waveform according to input voltages

그림 5는 입력 7kW(@220Vrms 입력)와 3.5kW(@110Vrms 입력)에서의 입력전류, 입력전압, 인덕터 전류의 측정파형이다. 부스트 인덕터 전류는 전류조형을 위한 wave shaping modulation 동작이 적용이 되어 입력전압의 첨두치 근처에서 전류가 평평하게 왜곡이 되고 있다. 이로 인해 입력전류는 정현파와 거의 유사한 파형이 측정되어 높은 역률을 달성할 수 있다. 또한 일반적인 DCM 방식에서는 입력전압이 높아질수록 PF가 낮아지므로 제안한 방식에서는 입력전압이 높아질수록 k 값을 증가하여 넓은 입력전압 변동범위에서도 0.99이상의 높은 역률을 보이고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 7kW의 DCM 부스트 PFC 컨버터를 구현 하였다. 인터리브 방식의 부스트 컨버터로 구성하여 임출력 전류리플이 작고, 필터의 사이즈가 작아지도록 하였으며, 전류 조형기법 알고리즘을 적용하여 넓은 입력전압 변동 범위에서도 높은 역률을 갖도록 하였다. 실험을 통해 낮은 입력전압과 높은 입력전압에서도 입력전류는 정현파와 유사하였으며, 0.99이상의 높은 역률을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] K. H. Liu, and Y. L. Lin, "Current waveform distortion in power factor correction circuits employing discontinuous mode boost converters," in Proc. IEEE PESC 1989, pp. 825 829.
- [2] D. S. Schramm, and M. O. Buss, "Mathematical analysis of a new harmonic cancellation technique of the input line current in DICM Boost converters," in Proc. IEEE PESC 1998, pp. 1337 1343.
- [3] Kai Yao, Xinbo Ruan, Xiaojing Mao, and Zhiheng Ye, "DCM Boost PFC Converter with High Input PF," IEEE APEC 2010, pp. 1405 1412.