

부하전류와 듀티를 보상하는 단상 PFC 부스트 컨버터 제어기 설계

임재욱, 이승태, 백승우, 김학원, 조관열
한국교통대학교 제어계측공학과 전력전자연구소

A Study of Design single phase Boost Converter Controller for Compensated Load Current and Duty

Jae Uk Lim, Seung Tae Lee, Seung Woo Baek, Hag Wone Kim, and Kwan Yuhl Cho
Korea National University of Transportaion

ABSTRACT

기존의 단상 PFC(Power Factor Correction) 부스트 컨버터의 제어기는 부하전류와 듀티를 고려하지 않아 부하 변동시 출력전압을 일정하게 유지할 수 없다. 본 논문에서는 부하전류와 듀티를 보상하는 단상 PFC 부스트 컨버터 전압제어기 설계 방법을 제안한다. 인덕터 전류와 캐패시터 전류의 관계를 해석하여 제어기를 설계하고 모의 해석을 통해 입증한다.

1. 서 론

역률 규제 및 전력 사용 효율이 강조되면서, IEC 61000 3 2 와 같은 전원 공급 장치의 역률 및 입력 전류 왜곡에 대한 규제가 제정되었다.^[1] 고조파 전류 규제를 충족시키기 위해 역률 보정회로에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 단상 PFC 부스트 컨버터는 입력전류가 연속적이고 구조가 간단해 가장 많이 사용되는 PFC 토폴로지중 하나이다.

단상 PFC 부스트 컨버터의 제어기는 안정적인 출력전압을 얻기 위해 Two loop 형태의 비례 적분 제어기를 사용한다. Two loop 제어기는 DC Link 캐패시터 전압을 제어하는 전압 제어기와 인덕터 전류를 제어하는 전류 제어기로 구성된다.

전압제어기는 상용 전원과의 간섭을 피하기 위해 낮은 대역폭(<20Hz)으로 설계되기 때문에 출력 전압에 대한 응답은 느리다. 부하가 변동할 경우, 부하전류가 변하게 되어 출력 캐패시터의 전류, 전압이 일정하게 유지되지 않는다. 본 논문에서는 PFC 부스트 컨버터를 해석하여 부하 변동시 출력 전압을 변동시키는 원인을 파악하고, 이를 보상하여 부하가 변동하더라도 일정한 전압을 출력할 수 있는 제어기 설계 기법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 기존 제어기의 문제점

그림 1은 일반적으로 사용되는 PFC 부스트 컨버터를 나타낸 것이다. ac 입력 전원은 브릿지 다이오드를 통해 DC 전압으로 정류되고 부스트 컨버터를 통해 승압된 전압이 출력된다.

PFC 부스트 컨버터의 제어기는 전압제어기와 전류제어기의 Two loop 형태로 구성된다. 외부의 전압제어기는 전압의 오차를 이용해 캐패시터의 전압을 제어하고 내부의 전류제어기는 전류의 오차를 이용해 인덕터의 전류를 제어한다.

DC Link 캐패시터의 전압은 캐패시터에 흐르는 전류에 의

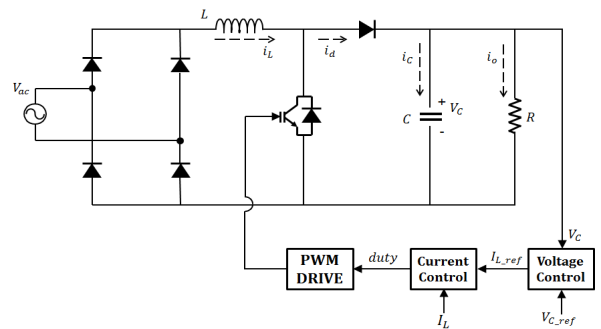


그림 1. PFC 부스트 컨버터

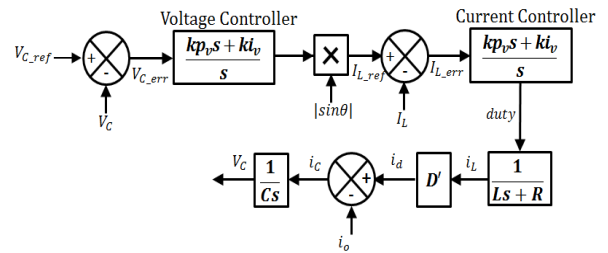


그림 2. PFC 부스트 컨버터 블록 다이어그램

해 결정된다. 그림 1의 DC Link 캐패시터에서 Kirchhoff's Current Law(KCL)을 적용하면 식(1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$i_c = i_d - i_o = D i_L - i_o$$

$$i_L = \frac{i_c + i_o}{D} \quad (1)$$

식(1)와 같이, 출력전압을 결정하는 캐패시터 전류는 듀티와 부하 전류의 영향을 받는다. 하지만 그림 2와 같이 기존의 제어기에서는 부하전류와 듀티에 대한 성분을 고려하지 않고, 출력 전압으로 인덕터 전류를 직접 제어한다. 이러한 문제는 부하가 변동하여 부하전류가 바뀌는 경우, 인덕터 전류 명령에 오차가 발생하고 출력전압을 일정하게 유지할 수 없게 만든다.

이러한 문제를 해결하기 위해 부하 전류를 주입하는 연구가 진행되었다.^[2] 기존에 고려하지 않던 부하 전류를 보상하여 출력전압의 변동을 줄일 수 있었지만, 평균 전류 제어기법에서만 적용 가능하고 비정격 전압이 인가되었을 경우에는 출력 전압 변동 문제를 해결하지 못하는 단점이 있다.

2.2 제안하는 단상 PFC 부스트 컨버터 제어기

그림 3은 제안하는 PFC 부스트 컨버터의 블록 다이어그램을 나타낸다. 전압제어기는 캐패시터 전압과 출력전압 지령을 비교하여 캐패시터 전류 명령을 생성한다. 식(1)을 적용하여 캐패시터 전류 명령에 부하전류와 듀티를 보상해 인덕터 전류 명령을 생성한다. 생성된 전류 명령으로 전류제어기를 통해 플랜트를 제어한다. 부하가 변동하더라도 전압제어기가 부하전류를 보상하여 인덕터 전류 명령을 생성하기 때문에 출력 전압을 일정하게 유지할 수 있다.

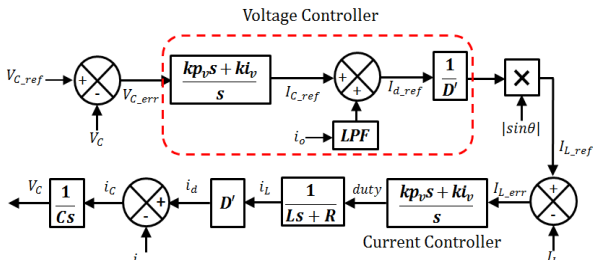


그림 3. 제안하는 PFC 부스트 컨버터 블록다이어그램

3. 시뮬레이션

그림 4와 같이 PSIM을 이용해 단상 PFC 부스트 컨버터를 구성하였다. 출력전압은 DC 400V로 제어하고 부하를 120Ω에서 40Ω으로 변동시키면서 출력 전압의 변동을 모의해석하였다.

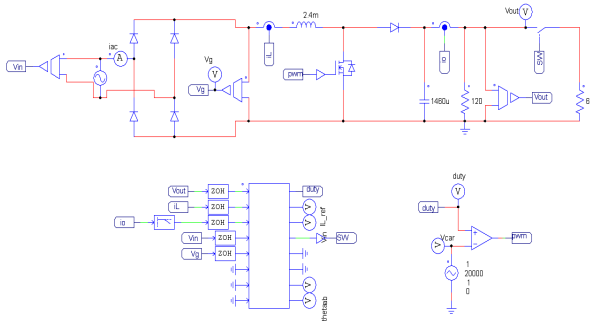
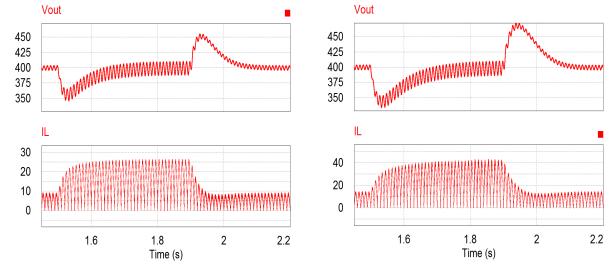


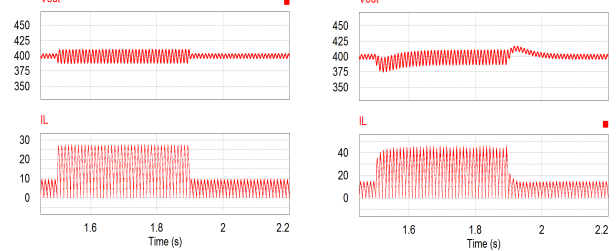
그림 4. PSIM Simulation

그림 5는 정격전압인 $220\sqrt{2}\sin\theta$ 가 입력으로 들어왔을 때 부하 변동시 출력전압과 인덕터 전류를 나타낸 파형이다. 그림 5.a는 기존의 제어기를 사용한 파형으로, 부하가 변동할 때 $\pm 50V$ 의 전압 변동을 가진다. 그림 5.b는 부하전류를 보상한 제어기를 사용한 파형으로, 정격 전압이 인가될 경우 출력 전압의 변동이 없는 것을 확인할 수 있다. 그림 5.c는 제안한 제어기를 사용한 파형으로, 그림 5.b와 마찬가지로 부하가 변동하더라도 일정한 출력 전압을 출력한다.

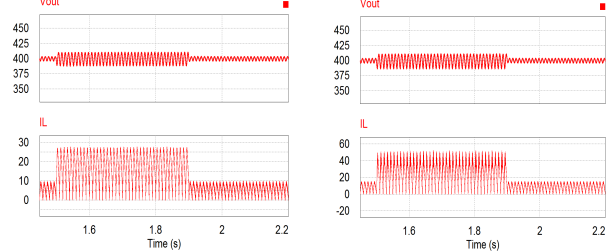
그림 6은 비정격전압인 $110\sqrt{2}\sin\theta$ 가 입력으로 들어왔을 때 부하 변동시 출력 전압과 인덕터 전류를 나타낸 파형이다. 그림 6.a는 기존의 제어기를 사용한 파형으로, 부하가 변동할 때 $\pm 70V$ 의 전압 변동을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5.b는 부하전류를 보상한 제어기를 사용한 파형으로, 정격 전압이 인가된 조건과 다르게 $\pm 25V$ 의 전압 변동을 가진다. 부하전류 보상 제어기는 정격전압일 경우에만 출력 전압 변동을 제어할 수 있다. 그림 5.c는 제안한 제어기를 사용한 파형으로, 입력전압 조건에 관계없이 일정한 출력 전압을 얻을 수 있다.



(a) 기존 제어기



(b) 부하전류 보상 제어기



(c) 제안한 제어기

그림 5. 부하변동시 출력전압 변동 비교 파형 (정격전압)

그림 6. 부하변동시 출력전압 변동 비교 파형 (비정격전압)

3. 결론

본 논문에서는 부하전류와 듀티를 보상하는 단상 PFC 컨버터 전압제어기를 제안하였다. 일반적으로 사용하는 제어기는 부하전류와 듀티를 고려하지 않고 설계하여 부하가 변동할 시 출력전압이 변동하는 문제를 가지고 있다. 캐패시터 전류와 인덕터 전류의 관계를 해석하여 부하전류와 듀티를 보상하는 제어기를 설계하였고, PSIM으로 모의 해석하였다. 부하가 변동하는 시스템에서 제안된 제어기를 사용하면 출력 전압의 변동을 줄여 높은 품질의 전기에너지를 얻을 수 있을 것이다.

이 논문(저서)은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 과학창의재단(2016년도 학부생 연구프로그램 지원사업)의 지원과 2016년도 에너지인력양성사업의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20164030201100)

참고 문헌

- [1] IEC standard 61000 3 2, limits for harmonic current emissions (equipment input current up to and including 16A per phase), 2009.
- [2] Gorla N.B.Y., Kolluri S., Das P., Panda S.K., 'A New Control Scheme to Improve Load Transient Response of Single Phase PWM Rectifier with Auxiliary Current Injection Circuit' APEC, 2016 IEEE