

PFC 기능을 갖는 돌입전류 방지 기법

송상혁, 이상혁, 공상호
대성전기(주)

Analysis on the start-up mode in PFC converter

Sang-Hyuck Song, Sang-Hyeok Lee, Sang-Ho Gong
DAESUNG electronic Co.,Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 PFC(Power Factor Correction) 컨버터가 초기 구동시 발생하는 돌입전류를 제어하기 위한 새로운 PFC 컨버터를 제안한다. 기존 Boost 구조를 갖는 PFC 컨버터는 안정적인 출력 전압을 생성하기 위해 출력단에 큰 커패시터가 필수적이지만 방전된 커패시터에 AC 전압이 인가되면 단락 상태가 되어 큰 돌입전류가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 기존 PFC 컨버터의 돌입전류 문제점을 파악하고 제안된 PFC 컨버터로 돌입전류를 제어함으로써 안정적인 동작 상태와 효율적인 PFC 컨버터의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 신재생 에너지의 개발과 더불어 전력품질 개선에 대한 관심은 날로 증가하고 있다. 특히 상용 전원을 입력으로 사용하는 AC/DC 컨버터는 고효율 및 단위 역률을 이루기 위해 정류부(Rectifier)와 컨버터를 연결하여 입력전류를 입력전압의 주파수와 위상에 맞춰 전류 제어하는 PFC 컨버터에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[1] AC 입력전압은 정류부를 통해 전파 정류되고 이 DC 전압은 Boost 컨버터를 통해 단위역률과 승압 동작을 하게 된다. 일반적으로 출력 리플을 줄이기 위해 출력단에 큰 커패시터를 사용하지만 방전된 커패시터에 AC 전압이 인가되면 단락상태가 되어 큰 돌입전류가 발생하는 문제점을 갖고 있다. 이 돌입 전류는 시스템에 구성되어 있는 소자들에 손상을 입히게 되며 이를 해결하기 위해 돌입전류 방지회로가 필요하다. 일반적인 PFC 컨버터에서 돌입전류를 방지하는 기법은 수동소자를 사용하는 수동방법과 능동소자를 사용하는 능동방법으로 구분할 수 있다. 저항을 사용하여 돌입 전류를 감소시키는 수동방법은 간단하고 구현하기 쉬우나 cost 증가 및 시스템 사이즈가 증가하는 단점이 있다. 반면 스위치 소자를 사용하는 능동방법은 스위치 소자를 사용하여 돌입 전류를 감소시킴으로써 가격이 저렴하고 시스템 사이즈도 기존 사이즈 대비 크게 증가하지 않지만 제어 복잡해지는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 기존 PFC 컨버터에서 초기에 전압 인가시 발생하는 돌입전류를 안정적으로 제어하는 구조를 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안된 구조의 타당성을 검증 하였다.

2. 본론

2.1 기존 PFC 컨버터

중급 이상의 용량에서 역률 개선을 위해 가장 많이 사용하는 일반적인 Boost PFC 컨버터는 그림 1과 같으며 구조에 따라 일단(Single Stage) 방식과 이단(Two Stage) 방식으로 구분된다. 절연 구조인 경우 이단 방식을 사용하여 변압기 1차측에는 PFC 회로, 2차측에는 DC/DC 컨버터로 구성되는 반면 일단 방식인 경우 비절연 구조로 주로 사용된다. 제어 방법으로는 연속전류 모드(CCM), 불연속전류 모드(DCM) 경계전류 모드(BCM)로 구분할 수 있으며 일반적으로 대전력 시스템에서는 인덕터 전류의 최대치가 가장 작은 연속전류 제어모드가 사용되며 최대치 전류제어 방법, 평균전류 제어 방법 그리고 히스테리시스 전류 제어 방법으로 구분된다. 연속전류 모드는 입력 필터나 전력 소자의 전류 스트레스가 줄어들고 도통 손실이 적어 입/출력 효율에서도 유리한 장점이 있지만 Boost 컨버터를 사용하는 PFC 컨버터는 안정적인 출력 전압을 출력하기 위해 출력단에 큰 커패시터가 필수적이다. PFC 컨버터 초기 동작시 이 커패시터는 완전 방전 상태이므로 AC 입력전압은 다이오드를 통해 커패시터를 도통함으로써 큰 돌입전류를 발생시키는 문제점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해 돌입전류 방지 회로가 필수적으로 사용되며 돌입전류를 방지하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

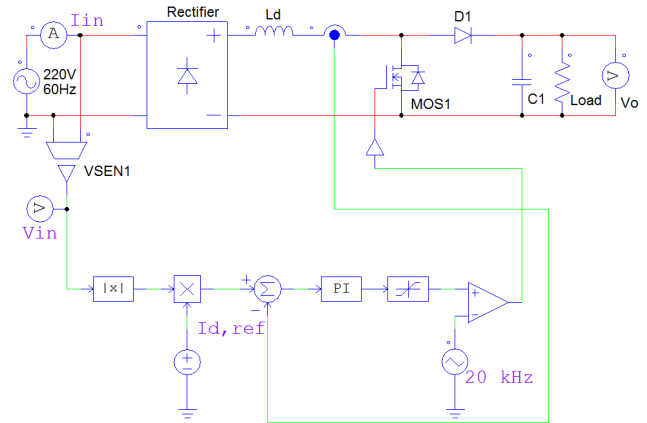


그림 1 기존 PFC 컨버터

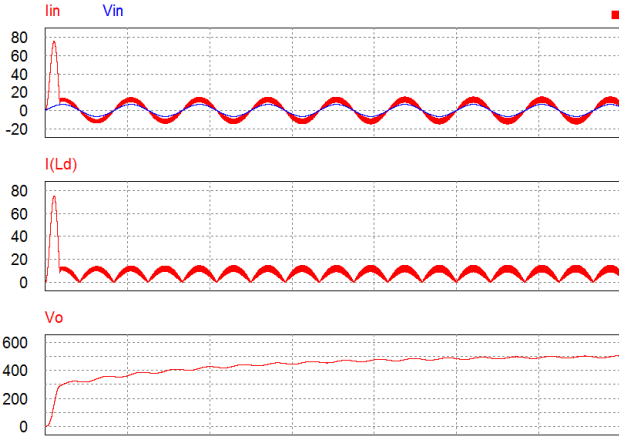


그림 2 기존 PFC 컨버터의 시뮬레이션 결과

2.2 제안된 PFC 컨버터

본 논문에서 제안된 PFC 컨버터는 기존 돌입전류를 제어하기 위해 그림 3과 같이 AC 입력부, 정류부, Buck 컨버터, Boost 컨버터, 출력단으로 구성되어 있다. 여기서 Buck 컨버터와 Boost 컨버터는 하나의 인덕터를 공유함으로써 하나의 전류센서로 동작이 가능하며 PFC 동작을 위해 전류 지령치는 입력 전압 AC를 센싱하여 절대값을 취하고 Gain을 곱하여 최종 전류 지령치는 Controller에 입력된다.

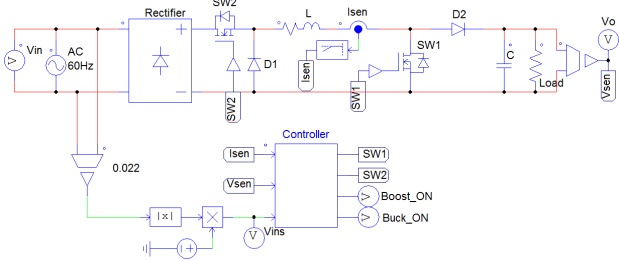
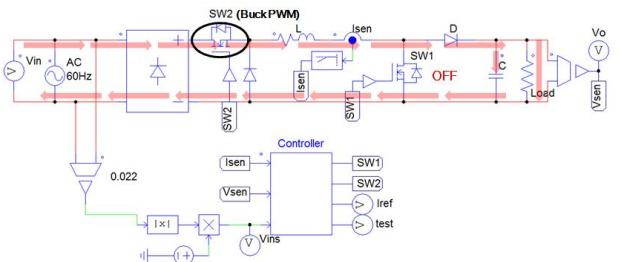
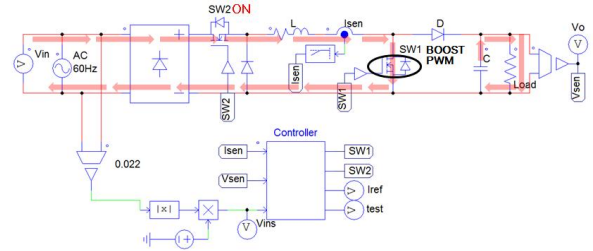


그림 3. 제안된 PFC 컨버터

제안된 PFC 컨버터는 그림 4와 같이 초기 모드에서는 Buck 컨버터를 이용하여 돌입전류 방지 및 출력전압을 입력 전압의 크기만큼 증가시킨다. 출력단 Vo 전압이 일정 전압에 도달하면 Buck 컨버터의 스위치를 ON하고 Boost 컨버터를 구동함으로써 단위 역률 및 승압 동작을 수행한다. 또한 돌입전류를 방지하기 위해 사용한 Buck 컨버터는 PFC 동작을 하면서 전류제어를 함으로서 초기 돌입전류 구간에서도 효율적인 역률 보상이 가능한 특징을 갖고 있다.



(a) 제안된 PFC 컨버터 Buck mode



(b) 제안된 PFC 컨버터 Boost mode

그림 4. 제안된 PFC 컨버터 동작모드

그림 5는 제안된 PFC 컨버터의 시뮬레이션 출력파형으로 초기 모드에서는 Buck 컨버터가 동작하여 SW2는 PWM 동작하고 SW1은 OFF 상태로 단위역률 동작 및 Vo 전압을 충전시킨다. Vo 전압이 일정 전압만큼 충전 되면 SW1을 PWM 동작하여 Boost 컨버터도 구동한다. 즉, Buck 컨버터와 Boost 컨버터가 동시에 동작하는 구간으로 MODE 변환을 위한 과도상태라 생각하면 된다. 이 구간이 지나면 SW2를 ON 상태로 고정하여 완전한 Boost 컨버터로 전환한다. 그림 5와 같이 Buck & Boost 모드에서 단위 역률과 안정적인 출력 전압을 확인할 수 있다.

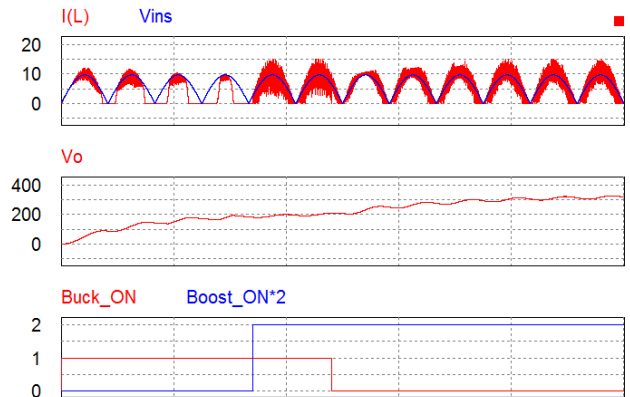


그림 5. 제안한 PFC 컨버터의 출력 파형

3. 결론

본 논문에서는 기존 PFC 컨버터의 초기 구동 시 발생하는 돌입전류를 제한할 수 있는 방법을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 입증 하였다. 또한 돌입 전류를 방지하는 회로가 동작 하는 동안에도 PFC 기능을 구현함을 확인하였다. PFC 기능을 구현하기 위한 컨트롤러를 이용하여 적은 수의 하드웨어 추가로도 돌입전류 방지기능 및 PFC 기능을 구성하여 안정적인 동작 및 효율을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Jovanovic, M.M., Jang, Y. "State-of-the-art, single-phase, active power-factor-correction techniques for high-power applications—an overview", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol.52, No. 3, pp.701-708, 2005.