PFC 컨버터의 초기 동작에 대한 연구

김진언, 이상혁, 공상호
대성전기㈜

Analysis on the start-up mode in PFC converter

Jin-Un Kim, Sang-Hyeok Lee, Sang-Ho Gong
DAESUNG electronic Co.,Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 PFC(Power Factor Correction) 컨버터의 초기 구동시 발생하는 돌입전류 문제 및 스위치의 고장을 진단하는 방법에 대해 기술한다. PFC 컨버터는 초기 구동시 출력단의 대용량 커패시터에 의해 높은 돌입전류가 발생하여 시스템 손상 및 전력 계통의 품질과 고조파를 발생하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 저항과 스위치를 이용한 PFC 컨버터의 초기 돌입 전류 제한 및 안정적인 동작을 위한 스위치 고장진단 방법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

상용 전원을 입력으로 사용하는 AC/DC 컨버터는 전기 품질 및 EMI를 만족하기 위해 고효율 및 단위 역률을 가져야 한다. 역률의 경우 전력 가격에 의하여 수용가에서 단위 역률을 만족하여야 하며 고조파는 IEEE-519 및 IEC-555와 같은 기준을 마련하여 이에 대한 억제를 강화하고 있다.[1] AC 입력을 DC로 출력하기 위해 회로가 간단한 다이오드 정류기는 입력측에 큰 고조파를 발생하여 역률을 저하시키기 때문에 주로 PWM 방식을 사용하게 된다. 기존 PFC 컨버터는 입력전압 AC 전압을 정류하고 정류된 DC 전압을 Boost 컨버터를 이용하여 단위 역률을 맞추기 위해 입력전압 AC에 대한 정보가 필수적이다. AC 입력전압에 맞춰 Boost 컨버터에서 전류 제어가 이루어짐으로써 단위 역률을 맞추게 되며 전류 크기에 따라 출력 전압의 리플에 영향을 미치게 된다. 안정적인 출력 전압을 만들기 위해서는 출력단에 큰 커패시터가 필수적이지만 PFC 컨버터 초기 동작시 AC 입력전압이 커패시터를 도통함으로써 큰 돌입전류를 발생시키는 문제점을 갖고 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 안정적인 초기 동작을 위해 돌입 전류 제한 방법과 추가로 사용된 스위치를 이용하여 스위치 고장에 대한 진단 기능을 제안한다.

2. 본 론

2.1 일반적인 PFC 컨버터

일반적으로 PFC 컨버터는 그림 1과 같이 AC 입력부와 정류시키기 위한 정류부(Bridge diode), Boost 컨버터의 구성 부품인 인덕터, 스위칭 소자, 다이오드 그리고 출력부의 커패시터와 부하로 구성되어 있다. 여기서 Boost 컨버터는 정류된 AC 입력 전압과 전류를 단위 역률로 구현함으로써 PFC 컨버터라 한다.

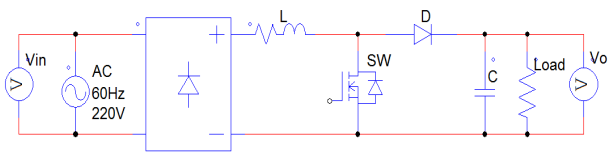


그림 1 일반적인 PFC 컨버터

PFC 컨버터는 안정적인 출력전압을 얻기 위해서는 출력단에 대용량의 커패시터가 필수적이다. AC 전원 주파수 2배에 해당하는 리플(ripple)과 PFC 구현을 위한 전류 리플을 줄이기 위해서는 출력단에 대용량의 커패시터가 존재하게 된다. 하지만 PFC 컨버터 초기 동작시 AC 입력전압은 정류부와 인덕터를 거쳐 커패시터를 도통하게 되어 그림 2와 같이 돌입전류를 발생 시키게 된다.

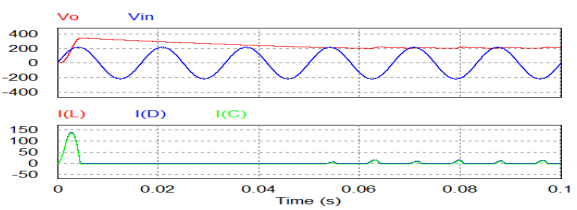


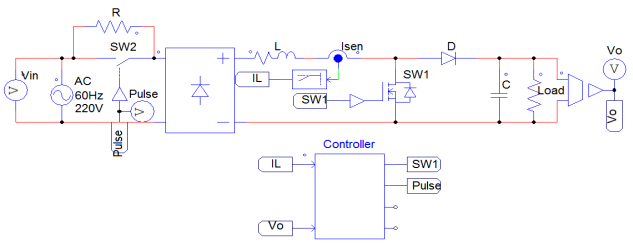
그림 2 일반적인 PFC 컨버터의 시뮬레이션 결과

일반적인 PFC 컨버터의 초기 전류 루프는 AC(+) →정류기(+) → L(인덕터) → D(다이오드) → C(커패시터), Load(부하) → 정류기(-) → AC(-) 로 구성되며, 커패시터에 의해 큰 돌입전류가 발생하게 된다. 본 시뮬레이션에서는 그림 2와 같이 초기에 150[A]에 정도의 돌입전류가 발생하여 출력 전압(Vo)이 순간적으로 충전되는 파형을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 기존 PFC 컨버터에서 AC 입력부와 정류부 사이에 스위치 및 돌입전류 방지 저항을 추가함으로써 돌입전류 방지 및 스위치 고장을 판단하려 한다.

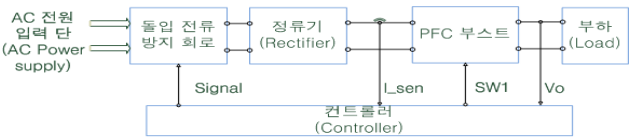
2.2 제안된 돌입전류 제한 방법

본 논문에서 제안한 PFC 컨버터 시뮬레이션 회로는 그림 3과 같이 제안된 PFC 컨버터와 Controller로 구성된다. 여기서 Controller는 PFC 컨버터의 인덕터 전류와 AC입력 전압을

받으며 스위치 파형과 Pulse 신호를 출력한다.



(a) 제안된 PFC 컨버터



(b) 블록 다이어그램

그림 3 제안한 PFC 컨버터

그림 3은 제안된 PFC 컨버터로 스위치(SW2)와 돌입전류 방지 저항(R)을 추가하여 초기 돌입전류를 효율적으로 제한하기 위해 초기 동작에서는 돌입전류 방지 저항을 이용하여 커패시터를 충전하고 후에 SW2를 ON 함으로서 PFC 컨버터를 구동한다. 초기 동작시 전류 루프는 AC(+) → R(저항) → 정류기(+) → L → D → C, Load → 정류기(-) → AC(-) 로 구성되며, 정류기를 통한 전류는 전파(All wave rectification)의 형태로 충전이 된다. 커패시터에 일정 전압이 충전되면 Pulse 신호가 ON이 되어 저항(R) 대신 스위치(SW2)로 전류 루프가 생성된다.

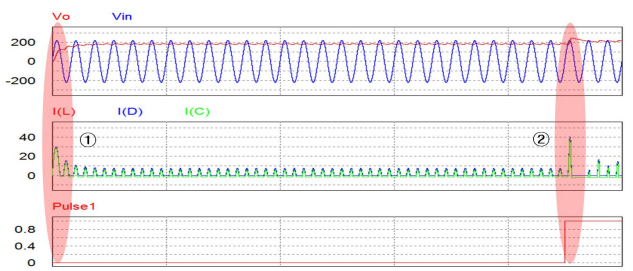


그림 4 제안된 PFC 컨버터의 출력 파형

제안된 PFC 컨버터의 출력 파형은 그림 4와 같이 초기 시점 ①은 Vin이 인가되는 시기의 돌입전류는 저항(R)을 통해 전류가 흐름으로서 30[A] 정도 발생하며, 시점 ②는 Pulse 신호가 인가되어 SW2 ON되어 AC 입력전압과 커패시터 전압차에 의해 40[A] 정도의 돌입전류가 발생함을 확인할 수 있다. 여기서 ① 시점의 돌입전류는 저항 크기에 의해 결정되며 ② 시점의 돌입전류는 Pulse가 ON되는 시점에 입력 전압과 커패시터 전압의 차로 결정됨을 확인 하였다.

2.3 스위치 고장진단 기법

시스템 내부에서는 다양한 부품이 존재하며 고장률이 높은 스위칭 소자의 고장여부를 판단하기 위해 본 논문에서는 스위칭 소자가 고장인 경우 단락상태(short circuit)라 가정하고 고장진단 기법을 제안한다. 제안된 기법은 SW1이 고장인 경우 SW2를 이용하여 SW1의 고장 여부를 판단할 수 있다.

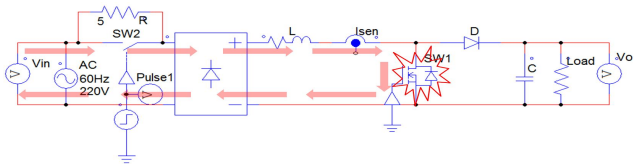


그림 5 스위치 단락(Short circuit)시 전류 흐름

그림 5은 SW1이 고장으로 단락상태일 때 SW2를 ON할 경우 전류 루프는 AC(+) → SW2 → 정류기(+) → L → SW1 → 정류기(-) → AC(-) 로 폐루프가 구성된다. 따라서 SW2를 순간적으로 짧게 PWM 함으로서 Isen(전류센서)를 통해 전류의 값을 얻을 수 있다. 만약 전류가 검출된다면 SW1이 단락 상태라 판단하여 SW1이 고장상태라 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안한 PFC 컨버터의 초기 돌입전류 제한 및 스위치 고장진단 방법에 대한 구동 순서는 그림 6과 같다.

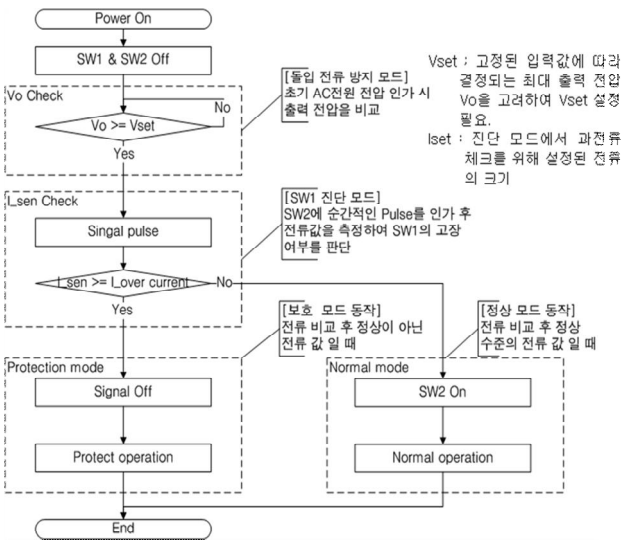


그림 6 제안된 PFC 컨버터의 초기 동작 순서

제안된 PFC 컨버터의 초기 동작 상태는 SW1, SW2 OFF 상태로 돌입전류 저항(R)을 이용하여 커패시터 전압을 충전함으로써 돌입전류를 제한하고 커패시터에 일정전압(Vset)이 충전되면 SW2를 ON하여 진단 모드로 동작한다. 진단모드에서는 SW1와 SW2를 상보적으로 동작시켜 단락 전류 발생 여부를 판단하여 스위치 고장 상태를 판단하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 PFC 컨버터의 초기 구동시 발생하는 돌입전류를 제한 할 수 있는 방법을 제시 하였고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 입증 하였다. 또한 전반적으로 안정적인 동작을 위해 스위치 고장시 이를 검출할 수 있는 방법을 제안 하였다. PFC 컨버터에 이 두 가지 방법을 적용시 보다 안정적인 동작을 보장할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, Project IEEE 519, 1992