

에어컨용 Interleaved Boost PFC 컨버터의 디지털 제어 방법

안효민, 조제형, 이정현, 강정일*

삼성전자

Digital Control Method of Interleaved Boost PFC Converter for Air Conditioner

Hyo Min Ahn, Je-Hyung Cho, Junghyun Lee, and Jeong-il Kang[†]

Samsung Electronics Co., Ltd

ABSTRACT

본 논문은 에어컨 압축기 모터 구동 시스템에 포함된 interleaved boost PFC(Power factor correction) 컨버터의 디지털 제어 방법을 제안한다. 해당 시스템에 적용된 디지털 제어용 마이크로컴(Microcomputer)의 경우 성능이 제한적이다. 따라서, 에어컨에 적용된 interleaved boost PFC 컨버터의 디지털 제어를 위해서는 제한된 마이크로컴 연산 성능에서 안정적으로 동작을 할 수 있어야 된다. 따라서, 본 논문에서는 마이크로컴의 성능을 고려하여 전류 샘플링을 간소화하면서도 shunt 저항을 이용하여 입력 전류 제어와 각 스위치의 전류 평형 제어를 할 수 있는 방법을 제안한다. 그리고 제안하는 방법의 타당성을 실험과 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

1. 서론

다양한 가전 제품 중, 에어컨의 경우 정격 전력이 상대적으로 크기 때문에 IEC-61000-3-2와 같은 고조파 규제를 만족해야 한다. 따라서, 에어컨 실외기의 압축기 모터 구동을 위한 전력변환 회로에는 PFC 사용이 필수적이다^[1]. 에어컨용 PFC 컨버터의 경우 주로 boost PFC 컨버터를 사용하며, 상업용 에어컨 중 단상 전원을 이용하는 제품의 경우 interleaved boost PFC 컨버터가 주로 적용된다.

PFC 컨버터 제어 방법의 경우, 아날로그 I.C.를 이용한 제어 방법과 마이크로컴을 이용한 디지털 제어 방법이 있다. 아날로그 제어의 경우 디지털 제어보다 속응성이 빠르다는 장점이 있다. 디지털 제어의 경우 낮은 부하 영역에서 효율 향상 제어 기법 적용, 부하 조건에 따른 출력 전압 가변 등 전체 시스템 성능 향상을 위한 제어 기법 적용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서, 많은 에어컨 제품에 디지털 제어가 적용된 PFC가 탑재되고 있다.

그러나, 에어컨용 PFC 디지털 제어를 위한 마이크로컴의 성능은 한정적이다. 왜냐하면, 마이크로컴이 PFC 컨버터 제어 외에도 모터 구동을 위한 인버터 제어도 수행 하기 때문이다. 또한, 가전 제품 시장 특성 상에 단가가 높은 고성능 마이크로컴이 적용 되지 않는다. 따라서 PFC 컨버터 디지털 제어 시, 마이크로컴의 리소스 사용을 최소로 해야 한다.

따라서, 본 논문에서는 제한된 마이크로컴 성능 조건에서 고속 스위칭 주파수가 적용된 interleaved boost PFC 컨버터의 제어 방법을 제시한다. 또한, 추가적으로 3개의 shunt 저항을 이용한

제어 방법을 제시하겠다. 마지막으로, 본 논문에서 제시한 제어 방법을 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증 한다.

2. 제시하는 제어 방법의 구성 및 원리

Interleaved boost PFC 컨버터의 기존 제어 방법은 첫째로 각각의 인덕터 전류를 개별로 제어 하는 방법이 있다. 이 방법의 경우 전류 제어가 2개가 필요 하다. 일반적으로 PFC 컨버터의 전류 제어기는 높은 대역폭을 필요로 하기 때문에 해당 방법의 경우 마이크로컴의 연산량이 증가하는 단점이 있다. 두번째 방법으로는 전체 입력 전류 제어기만 구성하고, 각각의 스위치 전류를 실시간으로 센싱하여 차이를 보상하는 방법이다. 그러나, 높은 스위칭 주파수 조건에서 고주파 노이즈 문제와 스위치의 on duty가 매우 작은 조건에서 원하는 지점을 샘플링 하기가 어렵다는 단점이 있다. 또한, 각각 스위치의 샘플링 시점을 다르게 가져가야 되기 때문에 마이크로컴의 연산량을 증가시킬 수 있다. 마지막으로 한 입력 전압 반주기에서 leg 전류의 최대값을 도출하여 다음 주기에 듀티 보상을 적용 하는 방법이 있다. 그러나 해당 방법은 반주기에 한번만 계산이 되기 때문에 실시간으로 보상이 안된다는 단점이 있다^[2].

본 논문에서 제시하는 방법은 그림 1과 같다. 3개의 shunt 저항으로 구성하고 가변 샘플링을 통해 입력전류에서 leg 전류를 추정하고 각각의 스위치 전류 계측 값을 이용하여 leg 전류 평형 제어를 구성한다^[3].

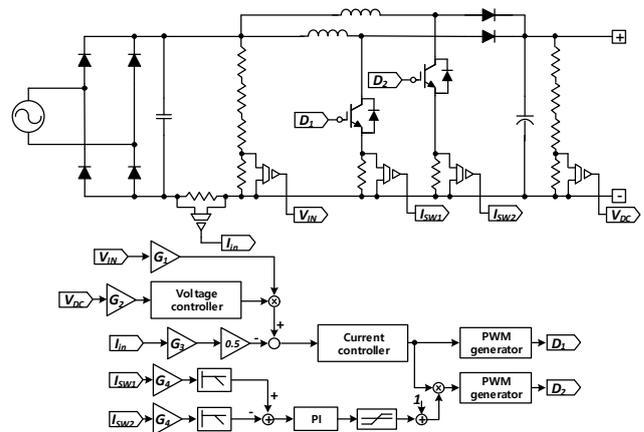


그림1 Inter leaved boost PFC 컨버터 제어기 구성

Fig.1 Configuration of a controller for an interleaved boost PFC converter

전류 평형 제어의 경우 그림 1과 같이 전류 평균값 제어를 수행한다. 이를 통하여 기존의 샘플링 노이즈와 마이컴 연산량 문제를 개선 할 수 있다. 또한, 한 주기에 한번 평형을 위한 보상량이 결정 되는 것이 아니기 때문에 보다 정밀하게 평형 제어를 할 수 있다. 그리고 인터럽트 주기를 전류 제어기보다 낮게 하여 마이컴의 연산량을 추가적으로 감소 시킬 수 있다.

이와 같이 구성 할 경우 shunt 저항 만으로 interleaved boost PFC 컨버터의 디지털 제어를 구성 할 수 있다.

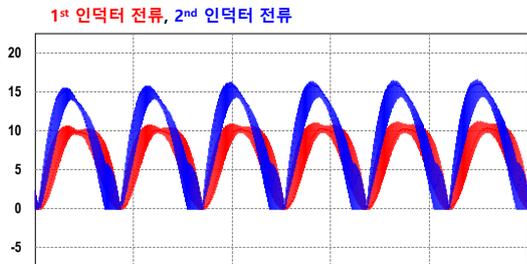
3. 시뮬레이션 및 실험 결과

표 1 PFC 컨버터 사양

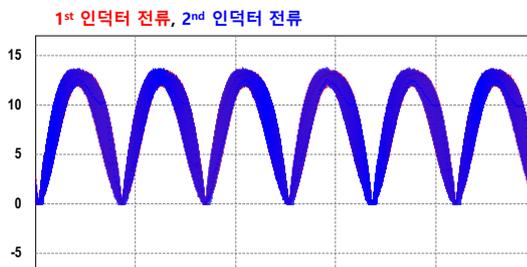
Table 1 Specifications of PFC 컨버터

제어기 인터럽트 주기			
전류 제어기	20usec	평형 제어기	1msec
하드웨어 사양			
입력 전압	220V _{rms}	출력 전압	380V _{dc}
Boost 인덕터	400uH (±10%)	출력 커패시터	1320uF

시뮬레이션과 실험은 동일한 사양으로 진행 하였으며, 주요 사양은 표 1과 같다. 또한, 출력은 실제 부하인 에어컨 압축기 부하를 적용 하였다. 우선 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같다. 스위칭 주파수는 50kHz로 하였고 평형 제어의 주기는 1ms로 하였다. 시뮬레이션 결과 평형 제어 적용 시, 각 인덕터 전류의 평균값이 동일하게 되도록 정상적으로 제어를 수행 하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 앞서 언급한 듯이 마이컴 연산량 저감을 위해 평형 제어 주기를 전류 제어 주기보다 50배 크게 하여도 정상적으로 평형 제어를 수행 하는 것을 확인 할 수 있다. 실험 결과는 그림 3과 같다. 그림 3 (a)는 전류 평형 제어가 적용되기 전 파형이고 (b)는 적용 된 파형이다.



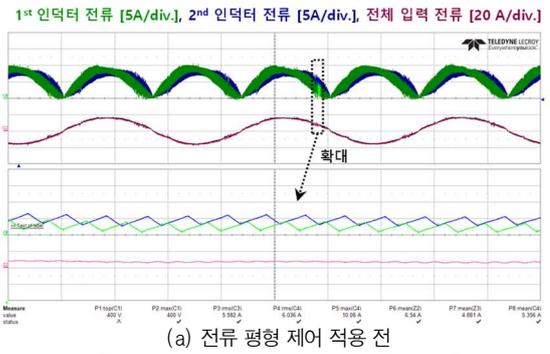
(a) 전류 평형 제어 적용 전



(b) 전류 평형 제어 적용 후

그림2 시뮬레이션 파형

Fig.2 Simulation waveforms



(a) 전류 평형 제어 적용 전



(b) 전류 평형 제어 적용 후

그림3 제작한 Interleaved boost PFC 컨버터 전류 파형

Fig.3 Current waveforms of the designed interleaved boost PFC

실험 결과 전류 평형 제어 적용 전 평균 4%의 스위치 간 평균 전류 오차가 발생 하였는데, 적용 후 0.5% 수준으로 개선 됨을 확인 할 수 있다. 또한, 시뮬레이션 결과와 동일하게 연산량 저감을 위해 평형 제어 인터럽트 주기를 스위칭 주기와 전류 제어기 주기가 크게 하여도 정상적으로 평형 제어를 수행 함을 알 수 있다. 시뮬레이션 및 실험 결과를 통하여, 본 논문에서 제시 한 그림 1의 interleaved boost PFC 컨버터 제어 회로 구성 및 알고리즘이 타당함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 에어컨용 interleaved boost PFC 컨버터의 디지털 제어를 위한 회로 구성 및 제어 알고리즘에 대해 제시하였다. 마이컴 연산량이 제한된 조건을 고려한 구성을 제시 하였으며, 실험 및 시뮬레이션으로 정상적으로 동작 함을 검증 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase), IEC 61000-3-2:2018, Jan. 2018.
- [2] B. SUN, "Digital current balancing for an interleaved boost PFC," *Analog Applications*, 2013.
- [3] 안효민, 김준석, 박영재, 조제형, "인터리브드 승압형 역률 보상 컨버터의 디지털 제어 방법 및 그 장치," 특허 출원 번호 10-2022-0077082, 출원일 2022년 06월 23일.