

브릿지리스 부스트 컨버터를 사용한 단상 인버터

김태훈, 이우철
한경대학교

Single-phase inverter with bridgeless boost converter

Tae Hun Kim, WooCheol Lee
Hankyong National Univ

ABSTRACT

본 논문은 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터를 사용한 저용량 단상 단방향 인버터 시스템에 관한 연구이다. 단상 PFC 인버터 시스템의 고효율화를 위해 브릿지리스 부스트 컨버터를 사용하였고 브릿지리스 부스트 컨버터의 CRM 모드로 동작하는 제어기를 제안하였다. 제안된 제어기를 브릿지리스 부스트 PFC 인버터 시스템에 적용하여 시뮬레이션으로 검증하였다.

1. 서론

최근 전력수효와 고품질의 전력 시스템에 대한 요구의 증가로 동향 PFC (Power Factor Collection) 컨버터에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터는 기존의 부스트 PFC 컨버터에서 브릿지 정류기를 제거하여 스위치소자의 수와 손실을 저감할 수 있기 때문에 더 높은 효율의 달성이 가능하다^[1].

브릿지리스 컨버터의 동작모드로 CRM (Critical conduction mode) 를 사용하면 CCM (Continuous conduction mode) 보다 IGBT 와 다이오드의 스위칭 손실을 줄일 수 있고, DCM (discontinuous conduction mode) 보다 PFC의 인덕터 전류리플을 줄일 수 있기 때문에 수백와트 급의 PFC 시스템에서 보다 고효율의 달성이 가능하다^[2].

최근 반도체 기술의 발달로 저렴하고 고성능의 마이크로 컨트롤러 들이 많이 출시되고 있고 이를 활용한 디지털 제어 관련 연구도 활발하게 진행되고 있다. 또한 마이크로 컨트롤러 사용 시 센서리스 알고리즘 등의 개발로 추가적인 비용 절감이 가능하다^[3].

본 논문에서는 DSP TMS320F28335를 사용하여 브릿지리스 부스트 컨버터를 사용한 단상 인버터 시스템을 구현하고 입력 전압, dc 링크 전압, 출력 전류 센싱만을 사용하는 제어기를 제안하였다. 브릿지리스 PFC 컨버터의 기능을 CRM 방식으로 구현 할 것을 제안하였다. CRM 방식을 구현하는 하기 위해서는 부스트 컨버터용 인덕터의 영 전류를 검출하여 스위칭 동작을 수행한다. 하지만 본 논문에서는 부스트 컨버터용 인덕터의 영 전류 검출 없이 CRM 방식을 디지털로 구현하고 대신 입력전압의 위상 검출을 위해 입력 전압을 검출받아 PFC 스위치를 제어한다.

2. 본론

2.1 브릿지리스 부스트 컨버터를 사용한 단상 인버터 시스템

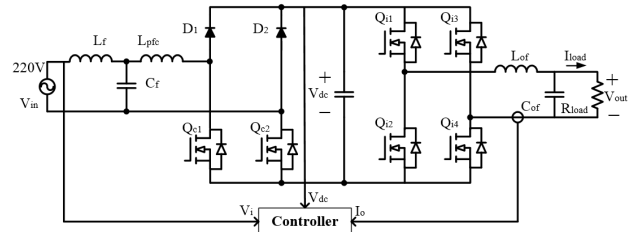


그림 1 브릿지리스 부스트 컨버터를 사용한 단상 인버터 시스템
Fig. 1 Single-stage inverter system with bridgeless boost PFC.

그림 1은 브릿지리스 부스트 컨버터를 사용한 단상 인버터 시스템을 보여준다. 기존의 부스트 PFC 컨버터에 비해 전류 도통 경로 상에 존재하는 다이오드가 하나 줄어들기 때문에 고효율을 얻을 수 있다. PFC의 동작은 입력전압 V_{in} 이 양의 전압인 경우 반도체 스위치 $Qc1$ 이 스위칭 하고, 음의 전압인 경우 $Qc2$ 가 스위칭 한다.

브릿지리스 부스트 컨버터의 스위칭 시간은 수식 (1) (3) 과 같이 얻어진다. 부스트 컨버터의 인덕턴스는 식 (4) 와 같이 도출된다. 제안된 시스템의 부스트 인덕턴스는 0.72mH 로 얻어진다.

$$t_{on} = \frac{4P_{out}L}{\eta V_{in.pk}^2} \quad (1)$$

$$t_{off} = \frac{4P_{out}L\sin(\omega t)}{[V_{out} - V_{in.pk}\sin(\omega t)]\eta V_{in.pk}} \quad (2)$$

$$t_{per} = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

$$L = \frac{\eta V_p^2 (V_{dc} - V_p)}{4V_{dc}P_{out}f_{min}} \quad (4)$$

2.2 제안된 디지털 제어기

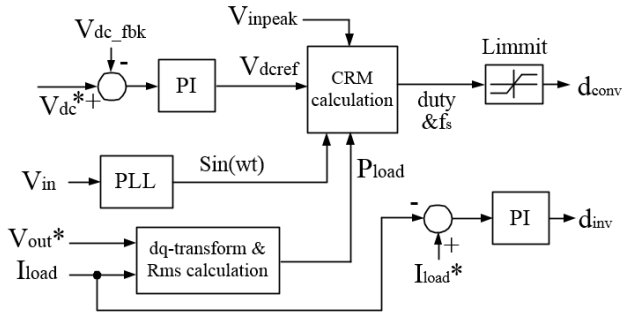


그림 2 제어기 구성
Fig. 2 Controller Configuration

그림 2는 제안된 시스템의 디지털 제어기에 주요 구성을 나타낸 것이다. PFC 단에서는 dc 링크 전압제어를 수행한다. 이를 위해 PI 제어기를 사용하였고 CRM 동작을 위해 식 (1) (3)을 이용하여 CRM 계산을 수행한다. 그 결과로 컨버터의 듀티와 주파수가 결정되는데, 설계된 시스템의 스위칭 주파수는 15kHz 에서 70kHz 범위로 동작하기 때문에 이것이 limmit 값이 된다. CRM 의 계산을 수행하기 위하여 컨버터의 출력 전력값의 검출이 필요하기 때문에 인버터의 전류를 검출 받아 출력 전력을 계산하였다. 보다 정확한 출력 전압을 제어하기 위하여 출력전압 추정 알고리즘이 필요하다.

3. 시뮬레이션

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameter

Parameter	Values
input voltage, V_{in}	220 [Vrms]
DC link voltage, V_{dc}	400 [Vrms]
output voltage, V_{out}	220 [Vrms]
output power, P_o	500 [W]
Switching frequency, f_s	15~70 [kHz]
Filter inductor, L_f	0.8 [mH]
Filter capacitor, C_f	3 [uF]
Boost inductor, L_{boost}	0.72 [mH]

표 1 에 시스템 파라미터를 나타내었다. CRM 은 가변주파수로 동작하기 때문에 스위칭 주파수가 가변된다. 제안된 시스템에서 스위칭 주파수는 15kHz 이상으로 동작하도록 설계하였고, 이에 따른 최대 스위칭 주파수는 70kHz 정도로 산정된다.

그림 3 은 시뮬레이션 결과를 나타낸다. (a) 는 입력 ac 전압을 나타낸다. (b) 는 입력 ac 전류와 PFC 의 부스트 인덕터에 흐르는 전류를 나타낸다. 인덕터의 전류가 입력전류의 약 두 배가 되어 CRM 으로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 이때 입력 전압과 전류의 역률은 0.99 이상이며, 입력전류의 THD 는 3.5 % 정도이다. (c) 는 dc 링크 전압과 출력 전압을 나타낸다. 약 0.3초 이내로 정상상태에 도달하여 dc 링크 전압이 400V 로 잘 제어되는 것을 확인하였다.

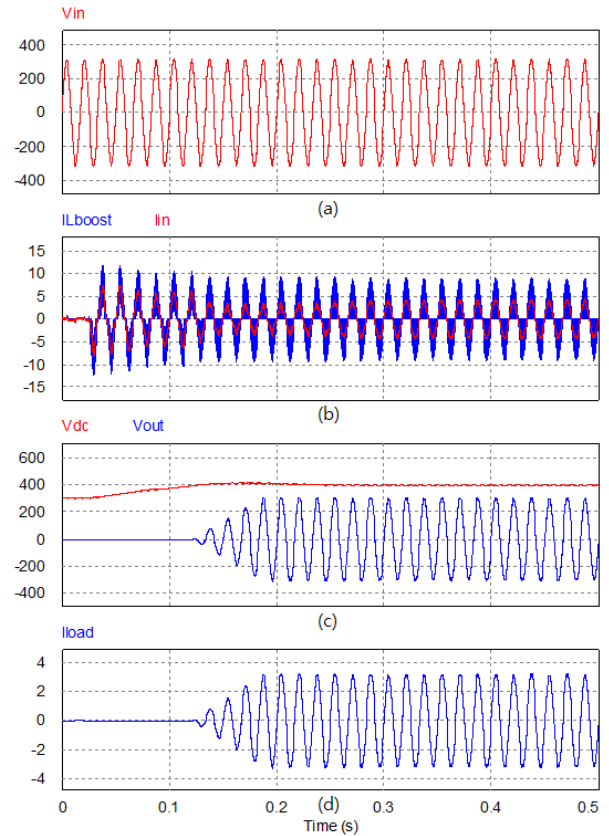


그림 3 시뮬레이션 결과 : (a) 입력전압 V_{in} (b) PFC 부스트 인덕터 전류 I_{boost} 입력전류 I_{in} (c) dc 링크 전압 V_{dc} , 인버터 출력전압 V_{out} , (d) 부하전류 I_{load}
Fig. 3 Simulation results

4. 결론

본 논문에서는 CRM 방식의 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터를 사용한 단상 인버터 시스템을 위한 디지털 제어기를 제안하였다. 센서의 수를 줄이면서도 간단한 방식으로 구현하도록 하였고 이를 시뮬레이션으로 확인하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
[No.2013R1A1A2064271].

참고 문헌

- [1] X. Huang, T. Nergaard, J. S. Lai, X. Xu, and L. Zhu, "A DSP based controller for high power interleaved boost converters," in Proc. IEEE APEC'03, 2003, pp. 327-333.
- [2] Cheng, Chun An, and Chen Wei Ku. "A novel single stage cost effective electronic ballast for HID lamps with high power factor. Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on. IEEE, 2011.
- [3] GG Park, KY Kwon, TW Kim. PFC Dual Boost Converter Based on Input Voltage Estimation for DC Inverter AirConditioner. Journal of Power Electronics. 2010; 10: 293-299.