

# 반도체 소자의 기생성분을 고려한 CRM PFC 컨버터의 해석

김태훈, 이우철  
한경대학교

Analysis of the CRM PFC Converter Considering Semiconductor Parasitic Element

Tae Hun Kim, Woo Cheol Lee  
Hankyong National Univ

## ABSTRACT

일반적인 boost PFC 컨버터는 한 개의 스위칭 소자를 사용하고 구조가 간단하지만 높은 도통손실과 스위칭 손실 때문에 낮은 효율을 갖는다. bridgeless boost PFC 컨버터는 일반적인 boost PFC 에 비해 낮은 손실을 갖는 이점이 있다. 또한 컨버터의 동작 모드 중 CRM 방식은 낮은 스위칭 손실을 갖는 이점이 있다. 본 논문에서는 이러한 CRM 모드로 동작하는 bridgeless boost PFC 컨버터를 해석하는 경우 기존의 방법으로 해석하여 구현하면 주파수가 커지는 영역에서 오차가 커지게 된다. 따라서 본 논문에서는 반도체 스위치의 기생 커패시터를 추가하여 해석하는 것을 제안하였다.

## 1. 서 론

기존의 boost PFC (Power Factor Corrector) 컨버터는 브릿지 정류기와 한 개의 스위치를 사용하여 구성된다. 구성이 간단하고 EMI 필터 크기가 작기 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 도통손실과 스위칭손실이 높기 때문에 효율이 낮은 단점이 있다. bridgeless PFC 컨버터는 사용되는 반도체 소자의 수가 감소하기 때문에 기존의 boost PFC 보다 도통 손실이 작아지기 때문에 높은 효율을 얻을 수 있다.<sup>[1]</sup>

컨버터의 동작 모드로는 CCM(연속전류모드), DCM(불연속전류모드), CRM(경계점동작모드) 등이 있다. 그중 CRM 방식은 다이오드의 역 전류 스위칭으로 인해 저 용량에서 효율을 증가시킬 수 있다는 것이 입증되었다<sup>[2]</sup>.

최근 반도체 기술의 발달로 저가이면서 성능이 우수한 DSP 들이 많이 출시되고 있기 때문에 이를 활용하면 가격 대비 우수한 제품을 개발 할 수 있고, 디지털 제어 적용에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 고 효율의 250W 급 PFC 컨버터 제작을 위한 토폴로지로 bridgeless boost CRM PFC 컨버터를 선택한다. 이를 디지털 구현하기 위해서는 정확한 회로의 해석이 필요하다. 기존의 회로 해석 방법에 의해 구현하는 경우 주파수가 높아지는 영역에서 오차가 크게 발생하여 CRM 모드로 동작하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 기생 커패시터를 추가한 해석을 통해 커패시터에 의한 오차를 보상하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해 보다 정확한 계산이 가능하고 이는 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 CRM 으로 동작하는 bridgeless boost PFC 컨버터의 커패시턴스 보상

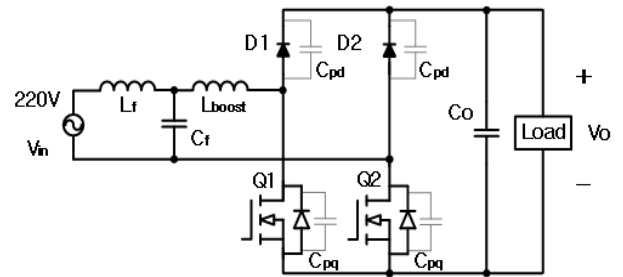


그림 1 브릿지리스 부스트 PFC 컨버터  
Fig. 1 Bridgeless boost PFC converter

그림 1은 bridgeless boost PFC 컨버터 회로를 나타낸다. 브릿지리스 PFC 의 동작으로는 입력전압  $V_{in}$  이 양의 전압인 경우 반도체 스위치 Q1 이 스위칭 하고, 음의 전압인 경우 Q2 가 스위칭 한다. 도통 경로에 한 개의 MOSFET와 한 개의 다이오드만 존재하기 때문에 기존의 boost PFC 에 비해 더 낮은 도통 손실이 발생하게 된다.

기존의 bridgeless boost PFC 컨버터의 해석 방법에 따르면 턴 온 시간과 턴 오프 시간 그리고 주기는 다음과 같다.

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

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

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

턴 오프 시 기생커패시터에 충전되어있던 에너지가 방전하게 된다. 이로 인해 오차가 생기게 되는데, 기생 커패시터에 충전된 에너지가 방전하는 시간만큼 식(2) 의 오프 시간에 보상을 주어야 한다.

$$t_{C.comp} = C_{pq,d} \frac{V_c}{I_{Lpk}} \quad (4)$$

식 (4) 에서  $C_{pq,d}$  는 다이오드와 MOSFET의 기생 커패시턴스를 나타내고,  $V_c$  는 커패시터에 충전된 전압의 크기 이다.  $I_{Lpk}$  는 인덕터에 흐르는 전류의 peak 값으로 커패시터 방전시 흐르는 전류의 크기와 동일하다.

## 2.2 시뮬레이션

표 1 시스템 파라미터  
Table 1 System parameter

Parameter	Values
input voltage, $V_{in}$	220 [Vrms]
output voltage, $V_o$	400 [Vrms]
output power, $P_o$	250 [W]
Switching frequency, $f_s$	15 [kHz]
Boost inductor, $L_{boost}$	1.36 [mH]

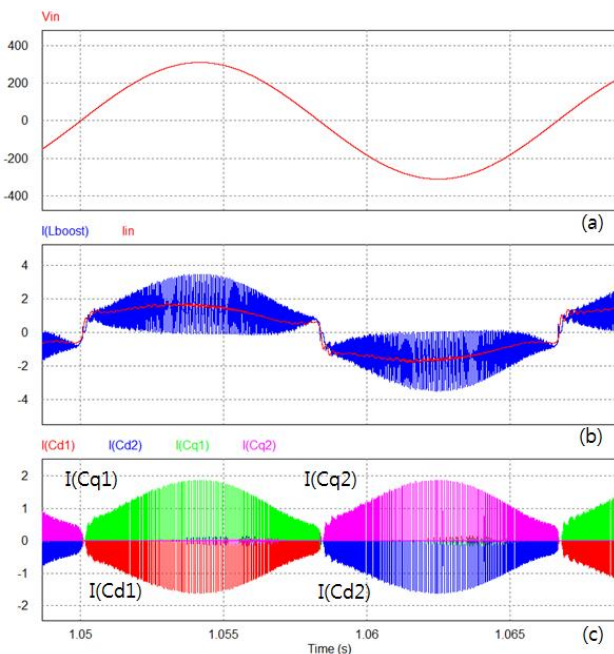


그림 2 C 보상이 없는 경우 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation result without C compensation

시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터는 표1 과 같다. 일반 계통전압 220 V 의 입력, 출력은 400 V 일 때 250 W 가 되도록 설계하였다. 시뮬레이션은 PSIM 을 사용하여 진행하였다.

그림 2 는 기존의 해석 방법대로 턴 온 시간과 턴 오프 시간을 계산하여 bridgeless boost PFC 컨버터의 동작을 구현하였다. 시뮬레이션 결과파형에 그림 2(a) 에서 전압이 '0' 에 가까워지면 식(2), (3) 에 따라 턴 오프 시간과 주기는 감소하게 된다. 그림 2(b) 에서 주기가 짧아지는 구간에서는 CRM 으로 동작하지 못하고 전류가 상승하게 되는데 이는 그림 2(c)에서 확인할 수 있는 기생 커패시턴스로 인한 오차 때문이다. 따라서 식 (4) 와 같이 기생 커패시턴스를 보상해 주게 된다.

기생 커패시턴스 방전시간 보상 시 결과 파형은 그림 3과 같다. 그림 2(b) 와 달리 그림 3(b) 의 전류 파형에서 CRM 으로 동작 하는 것을 확인하였다.

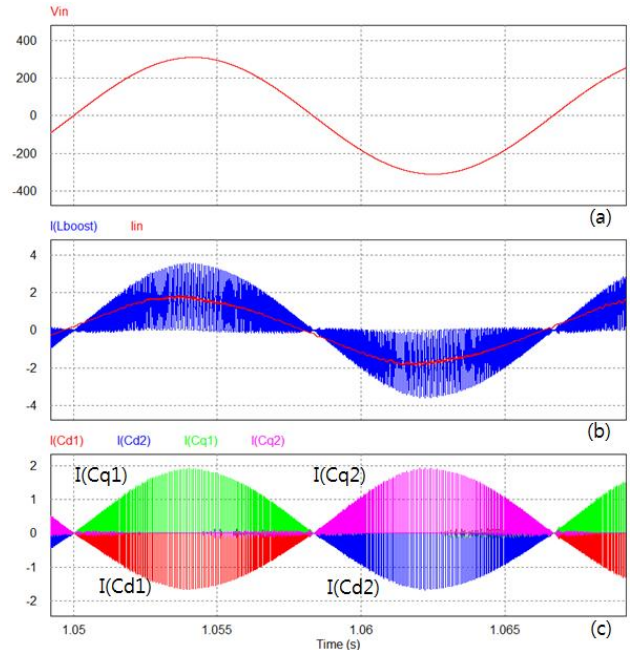


그림 3 C 보상이 있는 경우 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Simulation result with C compensation

## 4. 결론

CRM 으로 동작하는 bridgeless boost PFC 컨버터를 해석하는 경우 기존의 해석방법으로는 컨버터의 스위칭 주파수가 커지는 영역에서 실제 CRM 으로 동작하는 주파수와 계산되는 주파수 사이에 큰 오차가 발생 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 보다 정확한 계산 결과를 얻기 위해서 bridgeless boost PFC 컨버터의 계산 시 반도체 소자의 기생 커패시턴스를 보상하여 계산의 오차를 줄이는 것을 제안하였고, 이는 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

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

## 참고 문헌

- [1] B. Lu, R. Brown, and M. Soldano, "Bridgeless PFC implementation using one cycle control technique," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. (APEC) Conf. Expo., Mar., 2005, pp. 812-817.
- [1] 유병규, et al. "역률개선을 위해 경계전류모드로 동작하는 브리지리스 부스트 컨버터." 전력전자학회추계학술대회 논문집 (2003): 90-94.
- [2] Huang, Xudong, et al. "A DSP based controller for high power interleaved boost converters." Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC'03. Eighteenth Annual IEEE. Vol. 1. IEEE, 2003.