

단일단 단일스위치 CCM-ZCS PFC

김성환, 김민재, 최세완
서울과학기술대학교

Single-Stage Single-Switch CCM-ZCS PFC

Sunghwan Kim, Minjae Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 강압응용에 적합한 단일단 단일스위치 PFC를 제안한다. 제안하는 PFC는 스위치가 ZCS턴온하고 작은 전류로 턴오프하며, 다이오드는 ZCS턴오프한다. 또한 CCM에서 동작하므로 스위치 전류스트레스와 EMI가 작을 뿐 아니라 비교적 큰 용량(>500W)에도 적용이 가능하다. 제안하는 PFC의 동작원리를 제시하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서론

전력품질 개선을 위해서 역률보상회로의 필요성이 대두되어 다양한 승·강압형태의 PFC들이 개발되고 있다. 특히 LED 드라이버, 어답터, 배터리충전기 등 응용에서는 강압형태의 PFC가 필요하며 이는 2단 방식 또는 단일단 방식으로 구성할 수 있다. 2단 방식의 경우 PFC와 DC DC 컨버터로 구성되어 높은 역률과 빠른 출력특성을 얻을 수 있지만, 소자수가 많고 가격이 높아진다. 단일단 방식의 경우 소자수가 적어 저가적으로 구성할 수 있고 높은 효율과 1에 가까운 역률을 얻을 수 있어 용량이 작은 강압응용에 적합하다. 기존의 대표적인 단일단 PFC로서 BIFRED방식^[1]과 플라이백방식^[2]은 단일스위치로 구성이 가능하고 스위치 ZCS턴온을 성취한다. 그러나 DCM으로 동작하기 때문에 스위치 피크전류 및 턴오프전류가 크고 EMI 발생이 많다. 따라서 적용용량이 주로 100W급 이하로 제한된다.

본 논문에서는 강압응용에 적합한 단일단 단일스위치 CCM PFC를 제안한다. 제안하는 PFC는 스위치의 ZCS턴온 및 낮은 전류의 턴오프, 다이오드 ZCS턴오프 등을 성취하여 고효율을 기대할 수 있으며 비교적 큰 용량에도 적용할 수 있다.

2. 제안하는 PFC

그림 1은 제안하는 단일단 단일스위치 PFC의 회로도이다. 제안하는 PFC는 듀티제어로 입력전류와 출력전압을 제어한다. 그림 2의 주요동작파형에서 보듯이 L_r 과 C_r 의 공진을 이용하여 CCM에서 스위치 ZCS턴온과 다이오드 ZCS턴오프가 가능하고, 리플이 작은 L_f 전류로 턴오프하기 때문에 기존의 DCM방식에 비해 스위치 턴오프 손실을 대폭 줄일 수 있다.

일반적으로 스위치가 ZCS턴온을 하더라도 기생커패시터가

방전하면서 손실이 발생하기 때문에 이를 무시할 수 없다. 따라서 스위치전압이 낮을수록 좋다. 제안하는 PFC는 그림 2의 구간 t_3 t_4 에서 보듯이 자화전류 I_{Lm} 과 입력전류 I_{Lr} 가 같아진 상태에서 I_{Lr} 전류로 일정하게 흐르면 L_m 양단에 전압이 0이 되어 스위치에는 C_c 의 전압인 V_{ac} 만 걸리게 되어 스위치 양단

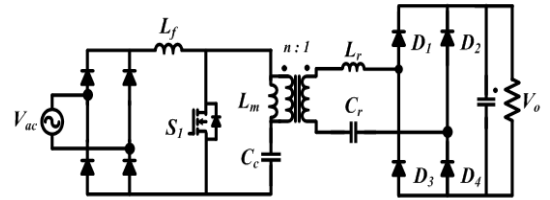


그림 1 제안하는 단일단 단일스위치 PFC

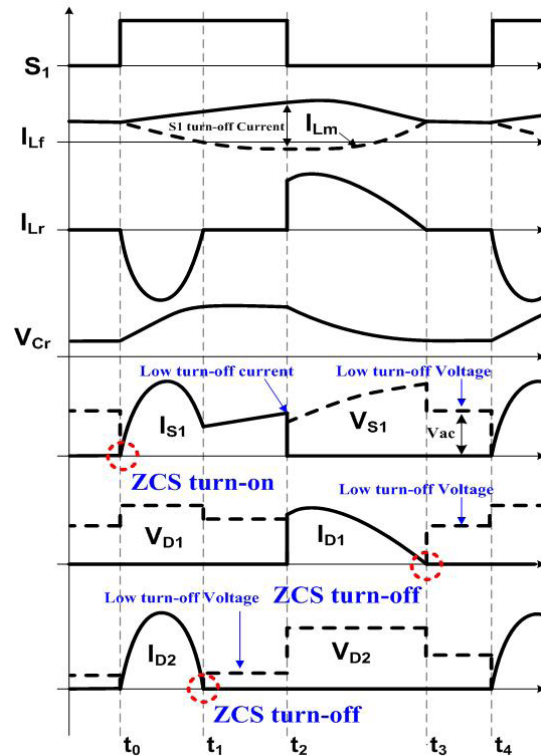


그림 2 제안한 PFC의 주요 동작파형

전압은 그림 2와 같이 작아지게 된다. 따라서 t_4 에서 스위치를 턴온하게 되면 스위치 내부의 기생커패시터 전압 방전에 의한 손실을 큰 폭으로 감소시킬 수 있다.

또한 다이오드의 역회복손실은 다이오드 턴오프 시 전류의 기울기와 전압의 크기에 비례한다. 다이오드 D2와 D3의 턴오프 전압 V_{D2} 는 $(V_o + V_{cr} V_{ac})/2$ 로 낮은 전압이 걸린다. 또한 D1과 D4의 전압 V_{D1} 은 그림 2와 같이 낮는데, 그 이유는 ZCS 턴오프 후에 출력전압에서 공진커패시터 C_r 전압의 차이 $(V_o - V_{Cr})/2$ 가 걸리기 때문이다. 즉 제안한 PFC의 다이오드 역회복 손실을 거의 무시할 수 있다.

표 1은 기존 단일단 단일스위치 PFC와 특성비교표이다. 제안하는 PFC는 변압기 동작영역이 1.3상한이므로 코어의 부피를 줄일 수 있다. 각 PFC의 스위치 전압정격은 동일하고 전류정격은 비슷하지만 제안하는 PFC는 리플이 작은 L_f 전류로 턴오프하기 때문에 턴오프손실이 작다. 다이오드의 경우 모두 ZCS 턴오프가 가능하고 제안한 PFC의 경우 다이오드 개수는 증가하지만 다이오드에서 발생하는 손실은 동일하다. 또한 CCM에서 동작하며 스위치와 다이오드가 소프트스위칭을 하기 때문에 EMI가 작으며 비교적 큰 용량에서 사용가능하다.

표 1 단일단 단일스위치 PFC의 특성비교

항목		토폴로지	BIFRED ^[1]	플라이백 ^[2]	제안하는 PFC
동작모드			DCM	DCM	CCM
EMI 발생			크다	크다	작다
변압기 동작영역			1상한	1상한	1.3상한
스위치 개수			1	1	1
스위치 전압정격			$V_i + nV_o$	$V_i + nV_o$	$V_i + nV_o$
스위치 특성	턴온		ZCS	ZCS	ZCS
	턴오프		큰 전류	큰 전류	작은 전류
다이오드 개수			2	1	4
다이오드 특성			ZCS 턴오프	ZCS 턴오프	ZCS 턴오프
적용가능 용량			100W이하	100W이하	1kW이하

3. 실험 결과

제안하는 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 다음의 사양으로 설계하였다.

- P_o : 200W • V_i : 220Vac • V_o : 140V • f_s : 30kHz
- L_f : 3mH • L_m : 370uH • L_r : 8uH • C_r : 0.47uF

그림 3는 제안하는 PFC의 입력전압과 입력전류의 시뮬레이션파형을 나타내었으며 0.98의 역률이 측정되었다. 그림 4(a)(c)는 스위치 및 다이오드 전압, 전류의 실험파형으로 낮은 전압에서 스위치 ZCS 턴온과 다이오드 ZCS 턴오프가 성취되는 것을 확인할 수 있다.

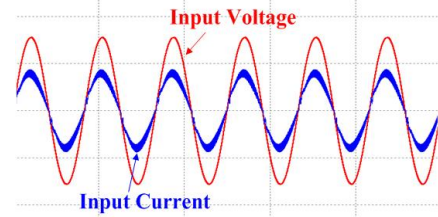
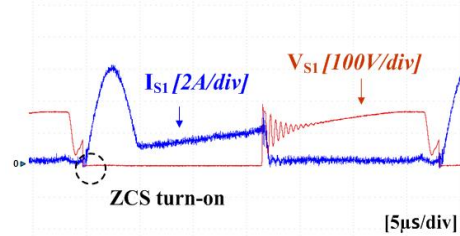
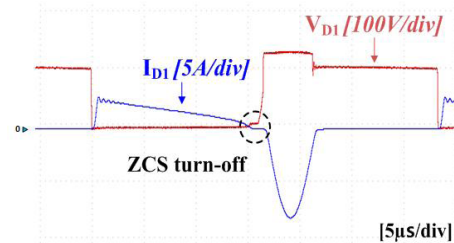


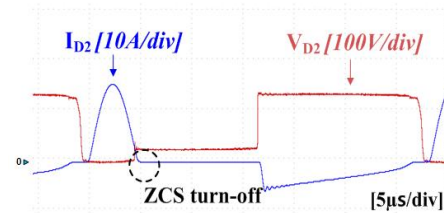
그림 3 제안하는 PFC의 입력전압, 전류 파형



(a) 스위치 전압, 전류



(b) 다이오드 D1 전압, 전류



(c) 다이오드 D2 전압, 전류

그림 4 제안하는 PFC의 실험파형

4. 결론

본 논문에서는 강압응용에 적합한 단일단 단일스위치 CCM ZCS PFC를 제안하였다. 제안하는 PFC는 L_r 과 C_r 의 공진을 이용하여 스위치는 ZCS 턴온, 낮은 전류로 턴오프하고 다이오드는 ZCS 턴오프를 성취하여 기존의 DCM 방식보다 큰 용량에 사용할 수 있다. 200W급 시작품을 제작하여 제안한 컨버터의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] A. Nasiri, Z. Nie, S. B. Bekiarov and A. Emadi "An on line UPS system with power factor correction and electric isolation using BIFRED converter", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 2, pp.722-730 2008
- [2] W. Tang, Y. H. Jiang, G. C. Verghese and F. C. Lee "Power factor correction with flyback converter employing charge control", Proc. IEEE APEC, pp.293-298 1993