

PFC 기능 통합형 단일 전력단 LLC Converter

김상연, 강경수, 김다솜, 최윤석, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Single Power Stage LLC Converter With Power Factor Correction Integration

Sangyeon Kim, Kyung-Soo Kang, Dasom Kim, Yoonseok Choi, Chung-Wook Roh
Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

기존 단상 AC 전원용 LLC 컨버터는 250W의 조건에서는 PFC (Power-Factor Correction, 약칭 PFC) 회로를 채용하는 것이 일반적이다. 그러나 이러한 2단 전력단 형태의 회로는 자성체(인덕터) 및 제어기의 사용이 필수적이며, 이는 회로 부피 및 원가 상승의 주요한 원인이 된다. 본 논문은 DM Choke와 차지 펌프를 적용해 회로의 역률을 개선하는 방안을 제안하여, PFC Stage를 삭제하고 역률 개선 기능을 통합한 단일 전력단 LLC 컨버터를 제안한다. 본 논문에서는 제안한 회로를 이론적으로 분석하고, 190W급의 시작품을 이용한 실험적 분석을 통해 실용 가능성을 검증하였다.

1. 서론

국가에서 규정한 고조파 규제를 만족시키기 위해서 PFC Boost Converter를 장착한 2단 전력단 방식을 채용하는 것이 보편화 되어 있다. PFC Boost Converter를 장착한 회로는 준수한 효율, 보장된 신뢰성으로 인해 현재까지도 상용화하고 있는 방식이나, 최적화 설계 이후에는 추가적으로 원가를 감소시킬 수 있는 방안이 부족하다는 문제가 있다. 그리하여 최근까지 PFC 기능이 내장된 단일 전력단 방식의 컨버터가 활발히 연구되었지만, 단일 전력단 방식을 채택함에 따라 소자에 요구되는 성능이 높아져 원가 저감 효과가 미비했다. 해당 기술은 전력 변환 장치에 관한 기술로, 스위칭 주파수 제어 방식의 LLC 컨버터에 PFC 기능을 통합하면서 역률 개선 기능과 전력 변환 기능을 수행할 수 있고, 소자의 사양을 기존 수준으로 유지하여 원가 저감 효과를 적용할 수 있다.

2. 제안 PFC 기능 통합형 LLC 컨버터

2.1 전하 펌프 LLC 컨버터 구현

그림 1은 제안 PFC 기능 통합형 LLC 컨버터를 나타낸다. 제안 회로는 그림과 같이 하프 브릿지 형태의 LLC 컨버터로, 스위치 Q_1, Q_2 가 각각 50%의 시비율로 동작하고 있다. EMI 필터 앞단에 장착된 4개의 다이오드는 AC 전압의 방향이 변함에 따라 4개의 다이오드가 2개씩 상보적으로 도통한다. 커패시터 C_{11}, C_{12} 는 전하 펌프 커패시터로서, 스위치의 ON, OFF 동작에

따라 DM Choke 인덕터의 에너지를 이용해 충전과 방전을 반복하며, 단상 AC 전원에 반영되는 입력 임피던스의 상을 저항에 가깝게 보정시키는 역할을 수행한다.

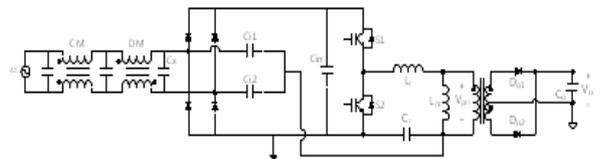


그림 1 제안 PFC 통합형 단일 전력단 LLC 컨버터

2.2 제안 LLC 컨버터의 동작 원리

제안 회로는 AC 입력전압을 브릿지 다이오드와 DC link 커패시터로 평활시킨 전압을 입력전압(V_{dc})으로 동작한다. 동작은 총 4가지로 나누어지며, $V_{ac} > 0V$ 인 조건에서 모드를 해석한다.

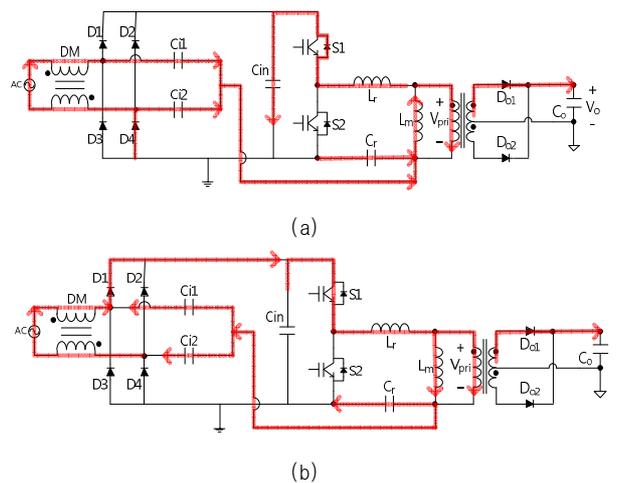


그림 2 PFC 통합형 LLC 컨버터 스위치(S1) on 동작 시

그림 2의 (a), (b)는 제안회로의 S_1 스위치의 on 동작을 나타낸다. 1차적으로 S_1 의 Body 다이오드에 의한 도통경로가 형성되며, 이 때 다이오드 D_4 가 on되고, D_1 는 off된다. C_r, C_{12} 는 공진탱크에 포함되어 C_{12} 가 $V_{dc}/2$ 로 충전된 전압을 방전하고, C_{11} 은 DM Choke의 에너지(입력전류)로 충전되어 $V_{dc}/2$ 로부터

V_{dc} 까지 전압이 상승한다. C_{i2} 의 방전이 완료되어 전압이 0V가 되면 다이오드 D_4 는 off, D_1 은 on된다. 이 때는 C_r , C_{i1} 가 공진탱크에 포함되어 C_{i1} 는 V_{dc} 로 충전된 전압을 $V_{dc}/2$ 까지 방전한다. C_{i2} 은 입력전류로 충전되어 0V로부터 $V_{dc}/2$ 까지 전압이 상승한다.

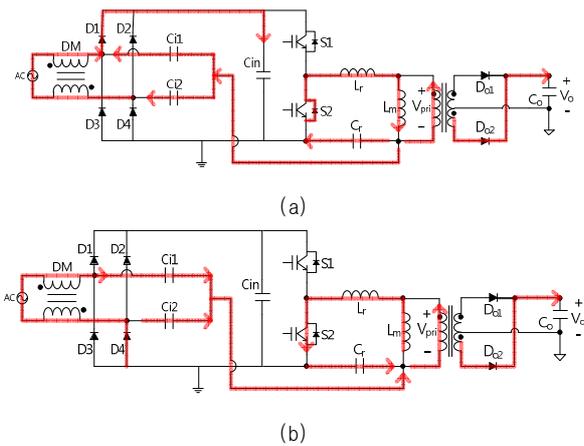


그림 3 PFC 통합형 LLC 컨버터 스위치(S2) on 동작 시

그림 3의 (a), (b)는 제안회로의 S_2 스위치의 on 동작을 나타낸다. 이 때, 다이오드 D_4 는 off, D_1 은 on상태이다. C_r , C_{i1} 은 공진탱크에 포함되어 C_{i1} 이 전압을 $V_{dc}/2$ 에서 0V로 방전하며, C_{i2} 은 0V로부터 $V_{dc}/2$ 까지 전압이 상승한다. C_{i1} 의 방전이 완료되어 전압이 0V가 되면 다이오드 D_4 는 on, D_1 은 off된다. 이 때는 C_{i1} 은 입력전류로 충전되어 0V부터 $V_{dc}/2$ 까지 전압이 상승하며, C_r , C_{i2} 는 공진탱크에 포함되어 C_{i2} 는 $V_{dc}/2$ 로 충전된 전압을 0V까지 방전한다. DM Choke의 에너지로 C_{r1} , C_{r2} 를 충전/방전함으로써 인해, AC 입력전압이 DC link 커패시터의 전압보다 낮은 순간에서도 공진탱크를 통해 AC전원에서 출력으로 전력 공급이 가능하다.

2.3 실험 결과

본 논문에서는 190W, TV용 실제 SMPS 회로에서 전하펌프와 DM Choke를 적용하여 실험하였다. 실험 조건을 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. PFC 통합형 LLC 컨버터 실험 조건

PFC 통합형 단일 전력단 LLC 컨버터	
Input Voltage	220Vac, 60Hz
Output power	190W
Output Voltage	12.8V
Switching Frequency	45~50kHz
Transformer	Llk = 20uH, Lm = 270uH
Resonant Capacitor	Ci1 = Ci2 = Cr = 33nF
DM inductor	Lx = 2mH

그림 4에 차지펌프 회로를 적용한 제안 회로의 실험 파형을 도시하였다.

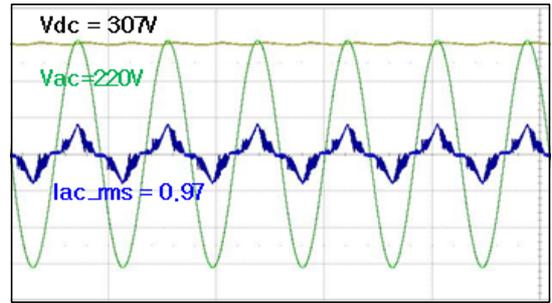


그림 4-a. 제안 회로 입력전압, 입력전류, DC link 전압 파형

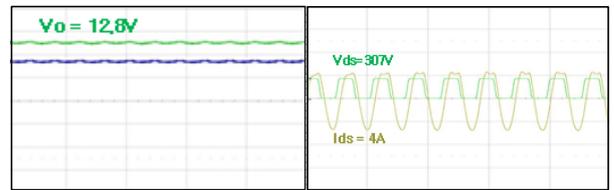


그림 4-b. 제안 회로 출력전압, 스위치 전압, 스위치 전류 파형
그림 4. 출력 전력 190W시 제안 회로 실험

제안회로는 AC 입력전압이 CD link 커패시터의 전압보다 낮은 구간에서도 입력 전류를 공급하여 역률을 보상함을 볼 수 있고, 12.8V로 출력전압을 제어하고 있음을 볼 수 있다. 또한, 제안회로의 영전압 스위칭 동작이 보장되고 있음을 파형을 통해 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 PFC 기능 통합형 단일 전력단 LLC 컨버터를 제안하였다. 200W급 TV용 실제 SMPS 회로에 제안 회로를 적용하여 실험하였다. 그 결과 전하 펌프 커패시터와 DM Choke를 적용한 제안 회로가 역률 개선 기능과 출력 전압 제어 기능을 수행할 수 있음을 검증하였다.

이 논문은 솔루션과 국민대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Jinrong Qian, Fred C. Lee, Naoki Onishi "New Charge Pump Power-Factor-Correction Electronic Ballast with a Wide Range of Line Input Voltage", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 1999
- [2] Gyun Chae, Yong-Sik Youn and Gyu-Hyeong Cho "High Power Factor Correction Circuit using Valley Charge-Pumping for Low Cost Electronic Ballast"