

태양광 AC 모듈용 전류원 소프트 스위칭 푸쉬-풀 컨버터

윤선재*, 김영호*, 김재형*, 이태원**, 원충연*
성균관대학교*, 삼성전기**

Current-fed Soft Switching Push-pull Converter for Photovoltaic AC Module Applications

Sun Jae Youn*, Young Ho Kim*, Jae Hyung Kim*, Tae Won Lee**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Samsung Electro-mechanics**

ABSTRACT

In this paper, current fed soft switching push pull converter for Photovoltaic AC module was proposed. The theoretical analysis of the proposed converter is verified by simulation and experiment.

1. 서론

태양광 전력 변환 장치 중 AC 모듈 타입은 태양광 모듈 각각에 설치되어 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 하며, 고장 및 부분 음영으로 인한 출력 저하에 대처가 가능하다. 태양 전지의 출력은 DC 20~40V 가량으로 계통 연계를 위하여 고 승압이 필요하다. 고 승압을 위해서는 절연형의 토폴로지가 적합하며 본 논문에서는 고승압이 가능한 새로운 전류원 푸쉬 풀 컨버터를 사용하였다.

제안된 푸쉬-풀 컨버터는 또한 변압기의 승압비가 높고, 전류가 높은 변압기 1차 측 스위치의 수가 적어 손실이 적으므로 소용량 AC 모듈용 컨버터에 적합하다. 변압기 1차 측 스위치는 변압기의 누설 인덕턴스와 병렬 커패시터의 공진을 통하여 소프트 스위칭을 하기 때문에 스위칭 손실을 저감할 수 있다.

2. 제안된 푸쉬-풀 컨버터

제안된 전류원 소프트 스위칭 푸쉬 풀 컨버터는 그림 1에 나타나 있다. 부스트 인덕터 L_{bst} 를 통하여 전류원으로 동작하며, 고주파 변압기의 2차 측 누설 인덕턴스 L_k 와 병렬 공진커패시터 C_r 의 병렬 공진을 통하여 1차 측 스위치 (S_1, S_2)의 소프트 스위칭이 가능하게 하였다. 또한 기존의 전파 정류 다이오드 대신 배압 회로를 사용하여 출력 전압을 승압하므로 고주파 변압기 턴수비 n 을 반으로 줄일 수 있다.

고주파 변압기 1차 측 권선의 결선 길이를 변화를 통하여 자기적 결합도가 바뀌고 그로 인하여 L_k 를 조절하였다. 1차 측권선에는 높은 전류로 인한 발열로 동손이 발생하게 되므로 사각 ritz 와이어를 사용하여 손실을 저감하였다.^[1]

그림 2(a)는 모드 분석이고, 그림 2(b)는 각 부 파형을 나타낸다. 모드 1에서는 S_1, S_2 가 모두 턴 온 되어 변압기 코어 내의 자속이 상승되어 2차 측으로 에너지 전달이 없으며, 공진에 의하여 곡선으로 증감한다. 2차 측 누설 인덕턴스에 저장된 에너지가 출력단으로 전달되어 i_{Lk} 는 감소한다.

모드 2는 배압회로의 D_1 ZCS(Zero Current Switching) 턴 오프 하면 시작된다. C_r 의 에너지가 L_k 에 축적되며, i_{S2} 가 0이 되면 종료 된다.

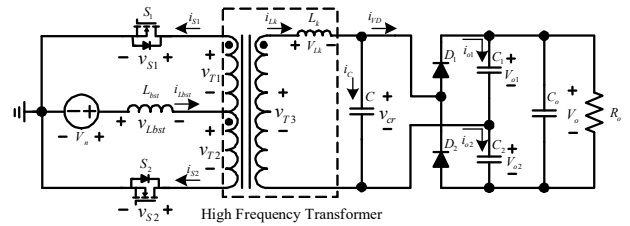


그림 1 제안된 전류원 소프트 스위칭 푸쉬-풀 컨버터
Fig. 1 The proposed current-fed soft switching push-pull converter

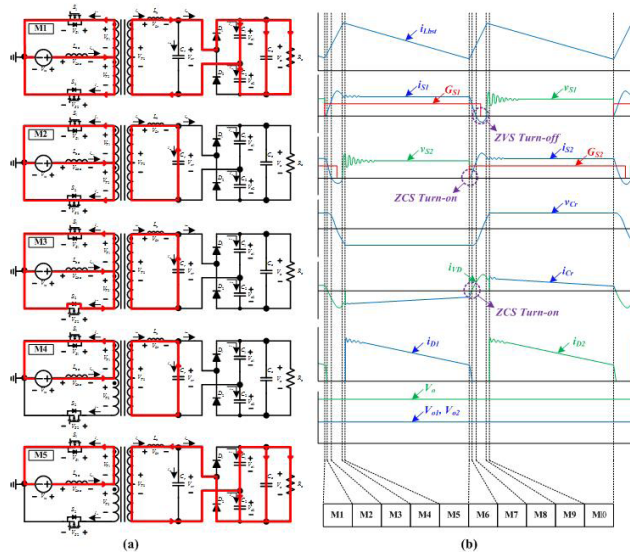


그림 2 (a)모드 분석, (b)각 부 파형
Fig. 2 (a)Mode analysis, (b)Waveforms of each part

모드 3에서는 i_{Lk} 는 음의 최고 점까지 하강했다가 상승하며, i_{S2} 가 역병렬 다이오드로 환류하게 될 때 S_2 는 ZVS(Zero Voltage Switching) 턴 오프하게 된다. i_{S2} 의 환류가 끝나고 S_2 양단에 전압이 형성되면 종료된다.

모드 4에서 1차 측 L_{bst} 에 축적된 자기 에너지를 전류로 방출하면서 선형적으로 감소한다. 1차 측 변압기 윗 단의 권선에 만 전류가 흘러 코어 내의 자속이 한 쪽 방향으로 형성되어 2차 측으로 에너지 전달이 일어난다.

모드 5는 C_r 가 역방향으로 완충되면 시작된다. 이 때 변압기에는 계속하여 자속이 형성되며 출력단으로 에너지가 전달된다. S_2 가 ZCS 턴 온 되면 종료된다.

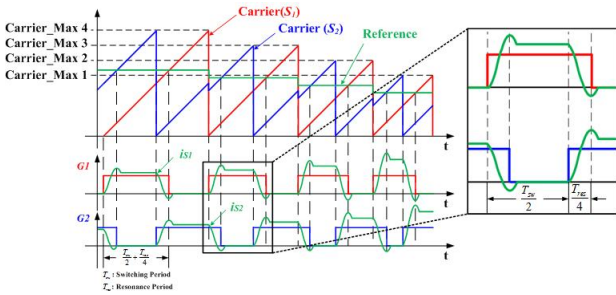


그림 3 스위칭 주파수 및 시비율 제어
Fig. 3 Control of switching frequency and duty ratio

그림 3은 스위칭 주파수 f_{sw} 및 시비율 D 제어를 위한 방법을 나타낸다. 일사량 가변에 따라 전 구간에서 소프트 스위칭을 하기 위하여 P&O(Perturbation and Oscillation) MPPT 제어를 사용하여 f_{sw} 및 D 가 함께 가변되어야 한다. 스위치의 턴 온 시간은 스위칭 주기 T_{sw} 의 1/2과 공진 주기 T_{res} 의 1/4의 합이 되어야 하며 그에 따른 D 는 식 (1)과 같다.^[2]

$$D = \frac{1}{2} + \frac{T_{res}}{4T_{sw}} \quad (1)$$

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

시뮬레이션은 PSIM 9.0을 사용하여 확인하였고, 250W 실험 세트로 검증하였다. 시뮬레이션 및 실험의 조건 및 각 소자의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 및 실험 파라미터
Table 1 Parameters of the simulation and the experiment

Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
Input Voltage V_m	20~40	V	Secondary Leakage Inductance L_k	34	μ H
MPP Voltage V_{mpp}	30.5	V	Resonant Capacitor C_r	4.7	nF
Output Voltage V_o	400	V	Switching Frequency f_{sw}	40~80	kHz
Output Power P_o	250	W	Transformer turn-ratio n	5.5	
Magnetizing Inductance L_m	950	μ H			

그림 4(a)는 스위치의 전압, 전류 및 게이트 신호이다. ZCS 턴 온 및 ZVS 턴 오프를 확인하였다. 그림 4(b)는 200V에서 200V까지 스윙하는 공진 커패시터 전압 v_{Cr} 및 200mA의 리플을 갖는 부스트 인덕터의 전류 i_{Lbst} 의 파형이다.

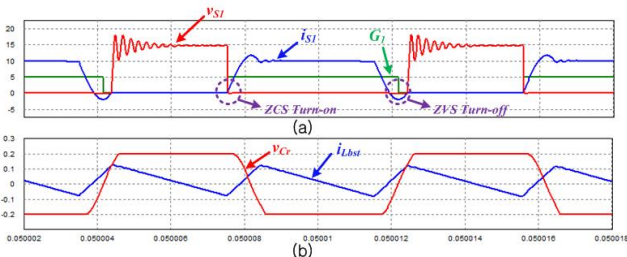


그림 4 스위치 및 수동 소자 부 파형
Fig. 4 Waveforms of the switch and passive elements

그림 5(a)는 태양 전지의 최대 출력 전력 P_{PV_MAX} 와 p_{pv} 의 파형을 나타낸다. P&O MPPT에 의하여 p_{pv} 가 최대 전력을 추종함을 알 수 있다. 그림 5(b)는 p_{pv} 에 따라 가변하는 기준파와 반송파이며 스위칭 주파수와 시비율이 가변됨을 알 수 있다.

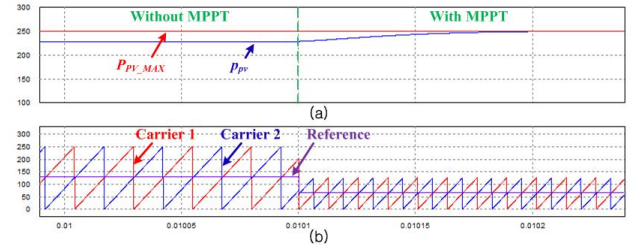


그림 5 (a)MPPT에 따른 P_{PV_MAX} 와 p_{pv} , (b)PWM의 기준파와 반송파
Fig. 5 (a) P_{PV_MAX} and p_{pv} according to MPPT, (b) Reference and carriers of PWM

그림 6은 최대 전력인 250W에서의 스위치 및 각 수동 소자들의 실험 파형이다. ZCS 턴 온과 ZVS 턴 오프를 확인하였다. v_{Cr} 과 i_{Lbst} 의 변동 폭 또한 검증되었다.

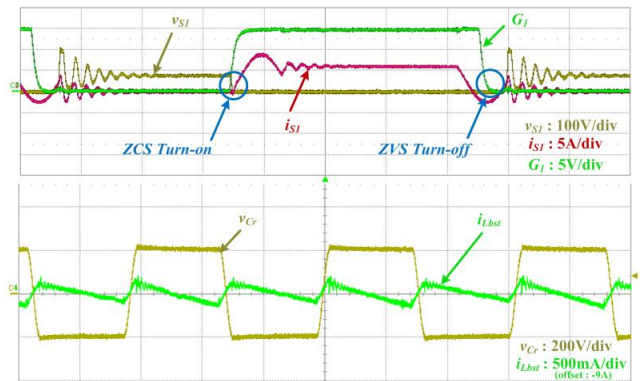


그림 6 주요 소자 실험 파형
Fig. 6 experimental waveforms of the main elements

4. 결론

본 논문에서는 AC 모듈용 전류원 소프트 스위칭 푸쉬 풀 컨버터를 제안하였다. MPPT에 의하여 스위칭 주파수 및 시비율을 가변 하여, 스위치에서 ZVS 턴 오프와 ZCS 턴 온을 확인하였다. 제안된 푸쉬 풀 컨버터의 이론적 분석은 시뮬레이션 및 250W 실험 세트에 검증하였다.

참고 문헌

[1] L.A. Flores, A. Soto, P. Alou, O. Garcia and J.A. Cobos, "Current fed push pull topology with self driven synchronous rectification applied to low voltage", Power Electronics Congress, CIEP, pp. 61-66, 2004, Oct.
[2] E. H. Kim B. H. Kwon, "High step up resonant push pull converter with high efficiency", Power Electronics, IET, Vol. 2, pp. 79-89, Issue 1, 2009, Jan.