

태양광 발전용 소프트 스위칭 부스트 컨버터

정두용*, 김재형*, 원충연*, 정용채**

*성균관대학교, **남서울대학교

Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic Power Generation System

Doo-Yong Jung* · Jae-Hyeng Kim* · Chung-Yuen Won* · Yong-Chae Jung**

*Sungkyunkwan University, **Namseoul University

ABSTRACT

본 논문에서는 태양광발전용 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 900W급 어레이 태양전지를 사용하였고, 제안된 컨버터가 최대 전력점에서 발전을 하도록 P&O방식의 MPPT 알고리즘을 적용하였다.^[1] 제안된 컨버터의 스위칭 소자 시비율은 MPPT 알고리즘의 수행결과에 따라 제어되며, 그 결과 컨버터에서 태양전지 출력전압(132~260V)을 입력받아 380Vdc로 승압한다. 소프트웨어를 활용하여 태양전지 구성과 MPPT 알고리즘 구현하였고 제안된 컨버터를 시뮬레이션 하였다.

1. 서론

국제유가의 급등과 CO₂규제를 위한 국제협약 등의 이유로 신재생에너지의 관심은 날로 증가하고 있다. 그 중 태양광발전은 배기가스, 폐열 등의 환경오염이 없어 친환경적이며, 기존 에너지소비형 발전과 달리 15-20 년간 에너지 창출효과가 있다.

또한 발전용량의 신속성, 발전 시설의 유동성 및 단기간설기 간의 장점으로 수요증가에 따른 신속대응이 가능하다. 그러나 태양광발전은 저밀도의 에너지밀도 특성을 가지며 기상여건에 따른 태양전지 출력 변화가 심하여 MPPT알고리즘에 의해 최대전력을 추종할 수 있어야 한다. MPPT mismatch 에 대한 발전 손실은 태양광 발전 전체손실 중 6 ~ 9% 에 달하고 있으며, 기상조건을 제외한다면 상당한 비중을 차지하고 있다.^[2] 본 논문에서는 900W급 태양전지 어레이를 구성하였고, 새로운 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안한 컨버터는 어레이 출력전압 DC 132 ~ 260[V]를 입력받아 DC 380[V]로 승압하며, 이때 MPPT 알고리즘 제어에 따라 주 스위치 PWM 신호가 인가된다.

2. 시스템 구성

2.1 태양전지 어레이 구성

본 논문에서는 900W급 어레이를 기반으로 모듈부를 구성하였다. 태양전지모듈은 모두 직렬 구성이며 표 1에 나타내었다.^{[1][2]}

2.2 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터

그림 1은 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터 회로도이다. 기존의 부스트 컨버터 회로에 하나의 인덕터, 두 개의 캐패시

터 그리고 두 개의 다이오드를 추가하였다. 스위치 하나로 On/Off 제어를 하고 L₂와 C_{r2} 의 공진에 의해 영전류 영전압 스위칭을 함으로써 스위칭 손실을 줄일 수 있다.^{[3][4]}

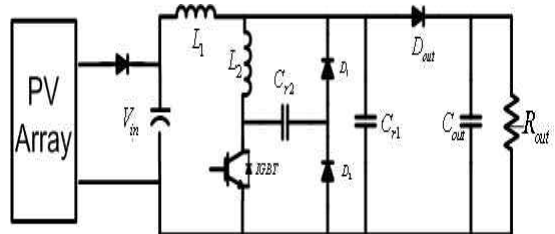


그림 1. 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터

2.3 제안된 컨버터 동작 모드 구성

그림 1에 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터는 동작사항에 따라 7개의 모드로 해석할 수 있다.

2.3.1 MODE 1 (T₀ ≤ T < T₁)

스위치는 Off 상태이고 태양전지 어레이 직류출력이 D_{out}을 통해 부하에 직접 전달된다. 이때 C_{out}과 C_{r1}에는 출력전압과 같은 크기의 전압이 충전된다.

2.3.2 MODE 2 (T₁ ≤ T < T₂)

스위치가 ZCS(Zero Current Switching) 조건으로 On되면 Mode 2가 시작된다. 이 경우 보조 공진인덕터 L₂에는 출력전압이 걸리므로 전류가 선형적으로 상승한다. 이 전류가 주 인덕터 L₁의 전류와 같아지면 출력측 다이오드 D_{out}의 전류는 영이 된다.

2.3.3 MODE 3 (T₂ ≤ T < T₃)

출력측 다이오드 D_{out}의 전류가 영이 되어 Off되면 공진모드인 구간이 시작된다. 이 구간동안 보조 공진인덕터 L₂와 보조 공진캐패시터 C_{r1}이 공진을 하여 C_{r1}의 전압이 출력전압에서 영으로 떨어진다. 이 경우 주 인덕터 L₁의 전류는 L₂와 스위치를 통해서 흐른다.

이 때 부하는 C_{out}에 충전되어 있던 전압이 방전되면서 지속적으로 전력공급을 받는다.

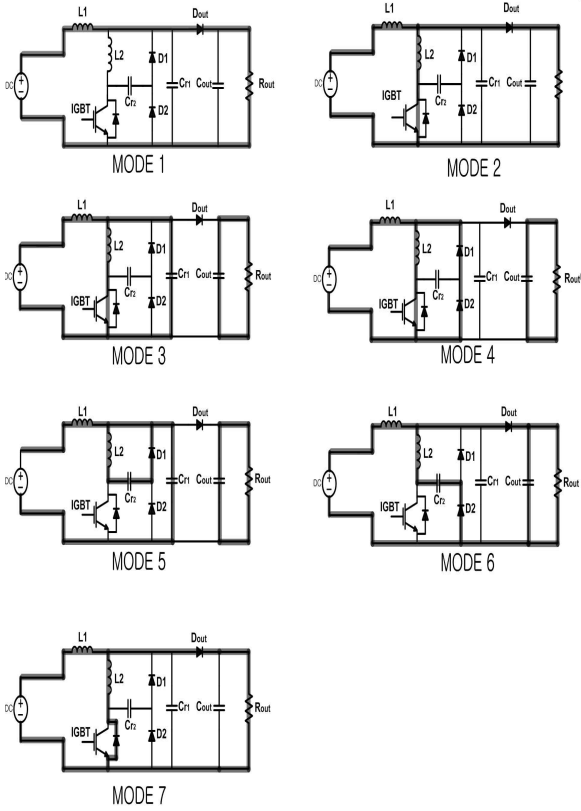


그림 2. 제안된 회로의 동작 모드

2.3.4 MODE 4 ($T_3 \leq T < T_4$)

보조 공진커패시터 C_{r1} 의 전압이 영이 되면 두 보조 다이오드 D_1 과 D_2 가 ON되면서 모드가 시작된다. 이 구간동안 보조 공진인덕터 L_2 의 전류는 둘로 나뉘는데 하나는 주 인덕터 L_1 의 전류이고 다른 하나는 두 보조다이오드를 통해서 환류하는 전류이다. 이 구간이 부스트 컨버터의 온 구간으로 주 인덕터의 전류는 선형적으로 상승한다.

2.3.5 MODE 5 ($T_4 \leq T < T_5$)

스위치는 영전압 조건에서 Off된다. 이때 두 개의 전류경로가 생긴다. 하나는 L_1 - C_{r1} - V_{in} 의 경로로 보조 공진커패시터 C_{r1} 의 전압이 영에서 출력전압 V_{out} 까지 선형적으로 상승한다. 두 번째는 L_2 - C_{r2} - D_1 의 경로로 두 번째 공진이 발생한다. L_2 에 저장된 에너지가 C_{r2} 로 이동한다. 이 에너지 이동이 모두 끝나면 L_2 의 전류는 영이 되고 C_{r2} 의 전압은 최대값이 된다.

2.3.6 MODE 6 ($T_5 \leq T < T_6$)

MODE 6에서는 C_{r2} 의 전압은 감소하며, D_2 - C_{r2} - L_2 - D_{out} - C_{out} 의 경로로 계속 공진을 하여 C_{r2} 의 에너지를 L_2 로 이동시킨다. C_{r2} 의 전압이 영이 되면 L_2 의 전류는 Mode 5에서의 전류 방향과 반대로 흐른다. C_{r2} 의 전압이 영이 되면 스위치의 역병렬 다이오드가 도통되면서 다음 모드로 넘어간다.

2.3.7 MODE 7 ($T_7 \leq T < T_8$)

Mode 7에서도 두 개의 전류경로가 있다. 주 인덕터 L_1 의 전류는 D_{out} 를 통해서 출력으로 에너지를 전달하며, 선형적으로 감소한다. 보조 공진인덕터 L_2 의 전류도 D_{out} 을 통해서 부하로

에너지를 전달하는데 스위치의 역 병렬 다이오드를 통해 흐른다. 보조공진 인덕터 L_2 의 전류가 영이 되면 Mode 7은 종료된다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 정상상태의 각 부 파형을 나타내며 모든 소자는 이상적인 것으로 가정 한다.

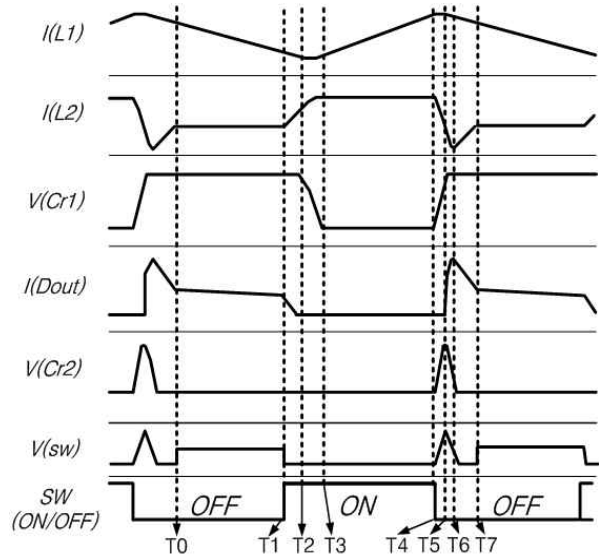


그림 3. 제안된 컨버터 각 부 파형

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 회로도

시뮬레이션은 PSIM을 사용하였으며, 그림 4에서 태양전지 어레이와 MPPT 알고리즘을 DLL로 구성하였다. 태양전지 어레이 출력의 MPPT는 태양전지 전압, 전류를 센싱받아 최대전력점의 전압을 추종하게 되며, 그 출력이 MPPT 기준값과 비교된 후 PI제어기를 거쳐 부하의 센싱 전압과 다시 한 번 비교되며, 그 출력은 2차 PI제어기를 통해 톱니파와 비교 후 주 스위치의 게이트 신호의 시비율을 결정하게 된다.

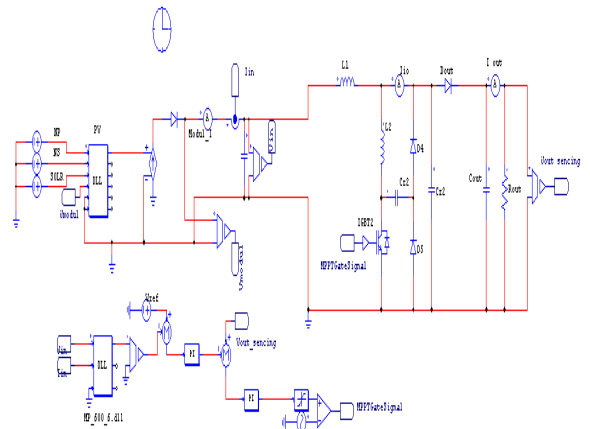


그림 4. 시뮬레이션 회로도

표 1 시뮬레이션 파라미터

태양전지 어레이	
개방전압 (V_{oc})	265.2 [Vdc]
단락전류 (I_{sc})	4.85 [A]
최대 출력 전압 (V_{mp})	209.4 [Vdc]
최대 출력 전류(I_{mp})	4.59 [A]
소프트 스위칭 부스트 컨버터	
입력전압 (V_i)	132 - 260 [Vdc]
출력전압 (V_o)	380 [Vdc]
용량(P)	900 [W]
인덕터(L)	560 [μ H]
커패시터(C)	940 [μ F]
공진 인덕터(L_r)	50 [μ H]
공진 커패시터(C_{r1})	10[nF]
공진 커패시터(C_{r2})	60[nF]
스위칭 주파수(f_s)	33 [kHz]

3.2 시뮬레이션 출력 파형

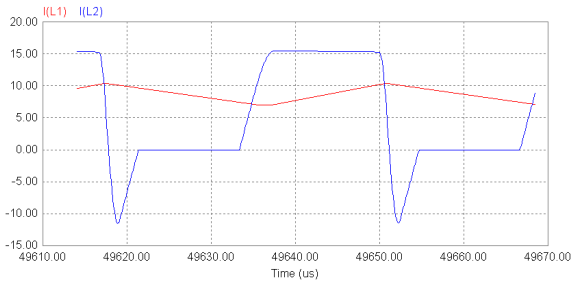


그림 5. L1, L2의 전류파형

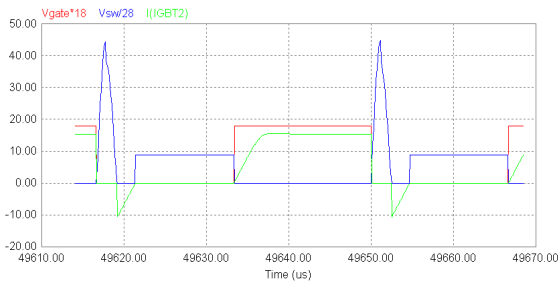


그림 6. 영전압 영전류 스위칭 파형

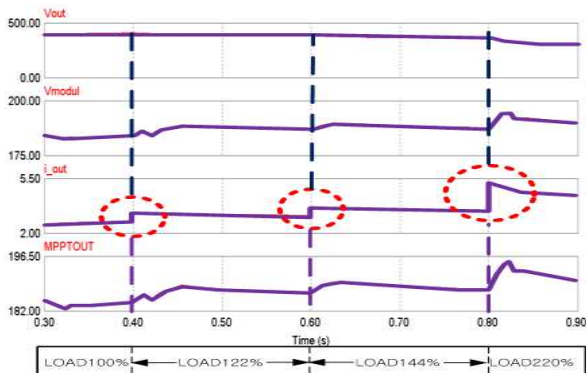


그림 7. 부하 변동에 따른 최종 출력 파형

그림 5에서 인덕터 전류가 스위치의 On-Off 상태에 따라 선형적으로 증가, 감소를 하고 있다. 또한 보조인덕터도 스위치의 상태에 따라 에너지의 축적과 방출을 하고 있다.

그림 6은 스위치에 걸리는 전압과 전류, 그리고 스위칭 신호 파형이다. ZVS, ZCS가 일어나는 부분에서 스위치가 On-Off됨을 확인 할 수 있다.

그림 7은 부하 가변에 따른 제안된 컨버터 출력전압, 모듈출력전압, MPPT 알고리즘 출력을 나타낸다.

부하가 증가하면 MPPT출력(MPPTOUT)은 부하변동에 따른 진동후 변동된 MPP를 추종한다. 이때 어레이 출력 전압도 같이 변동하며, 부하변동의 크기에 따라 맥동과 변동된 MPP추종 시간은 비례해서 커지는 것을 확인 할 수 있었다.^{[5][6]}

4 결론

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭 컨버터를 제안하였으며, 제안된 컨버터를 태양광 발전에 적용하여 MPPT를 통해 태양전지 어레이의 최대출력을 추종하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 컨버터의 동작확인 및 태양광발전에서 그 타당성을 검증하였고, 제안된 컨버터의 스위칭 손실 절감과 태양전지의 최대전력점 추종을 확인 하였다.

본 논문은 산업자원부의 출연금으로 수행한
특성화대학원사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] N.Femia, G.petone, "Optimizing Duty - cycle Perturbation of P&O MPPT Technique" IEEE Trans Power Electronics Specialists Conf., 2004.
- [2] 소정훈, 유권중 "태양광발전시스템에 대한 모니터링 실증연구", 한국에너지기술연구원, 2006.
- [3] David W. Berning and allen R. Hefner, "IGBT model validation for soft-switching applications", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 1, NO. 3-7, 1999.
- [4] Yu-Ming Chang, Jia-you Lee "Design and analysis of H-soft-switched converters" IEE Proceeding Electric-.Power Applications, Vol. 142, No. 4, 1995.
- [5] Nicola Femia, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method",IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 20, NO. 4, 2005.
- [6] Mumjadi veerachary, "Voltage-Based Maximum Power Point Tracking Control of PV System", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, VOL. 38, NO. 1, 2002.