

MPPT 기능을 갖는 태양광 발전용 소프트 스위칭 부스트 컨버터

(Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking)

차길로 · 박상훈 · 원충연 · 정용재

(Gil-Ro Cha · Sang-Hoon Park · Chung-Yuen Won · Yong-Chae Jung)

Abstract

In this paper a high efficiency soft switching boost converter is proposed for photovoltaic system. Using some resonant components, the circuit can be achieved the soft switching capability. Each of the switches in the proposed circuit performs ZV (Zero Voltage) or ZC (Zero Current) switching. Thus, the high efficiency characteristic can also be obtained, and then the size of the total system can be reduced. The operational modes of the verifying the effectiveness of the proposed circuit. As a matter of course, we will present the simulation results in this paper.

1. 서론

최근 화석연료의 고갈에 따른 고유가 문제와 지구 온난화에 따른 환경오염 문제가 대두되고 있다. 태양광 발전은 에너지 변환 과정에서 공해가 전혀 없고 무한 청정에너지라는 장점을 갖는다. 하지만 태양광 발전은 에너지 변환 효율이 낮고 온도나 일사량과 같은 환경의 변화에 민감하다는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위하여 태양전지 셀의 효율 개선과 MPPT(Maximum Power Point Tracking)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 또한 전력변환장치의 효율을 높이려는 연구가 이루어지고 있다[1].

한편, 컨버터의 하드스위칭을 높은 주파수로 하게 되면 스위칭 주파수에 비례하여 스위칭 손실이 증가한다. 이러한 스위칭 손실을 줄이기 위하여 인덕터와 커패시터의 공진을 이용한 소프트 스위칭 기술이 제안되고 있다[2].

따라서 본 논문에서는 태양광발전시스템의 전력변환 장치인 부스트 컨버터의 효율을 개선하기 위하여 새로운 형태의 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다. 제안된 부스트 컨버터는 인덕터와 커패시터의 공진에 의해 영 전압, 영 전류 조건에서 소프트 스위칭 동작을

하여 스위칭 손실을 줄이고 스위칭 소자의 전압 스트레스를 줄일 수 있다[3][4]. 제안된 회로를 태양광 발전용으로 사용하기 위해 1.5[kW] 태양전지 어레이를 모델링하여 시뮬레이션 하였다. MPPT 제어 알고리즘으로는 P&O 제어 기법을 사용하였다.

2. 시스템의 구성

2.1. 제안된 회로의 동작모드 해석

그림 1은 제안된 태양광발전용 소프트 스위칭 부스트 컨버터이다. 공진 커패시터와 공진 인덕터의 공진을 이용하여 스위칭 손실을 줄일 수 있고, 스위치와 병렬 연결된 공진커패시터의 영향으로 스위칭 소자들의 전압 스트레스를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

그림 2는 제안된 회로의 6개의 동작모드를 나타낸다.

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$)

스위치 Q_1 과 Q_2 는 모두 오프 상태이다. 공진 회로는 동작하지 않으며 기존의 부스트 컨버터의 스위치 오프 일 때와 같은 동작을 보인다. 메인 인덕터 L 에 흐르는 전류는 모두 출력 다이오드 D_{out} 을 통해 흐른다. 공진 커패시터 C_r 은 출력전압 V_o 만큼 충전되어 있다.

$$i_{s1}(t) = i_{s2}(t) = i_{Lr}(t) = 0 \tag{1}$$

$$i_{Dout}(t) = i_{L1}(t) \tag{2}$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \tag{3}$$

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$)

시간 t_1 에서 두 스위치 Q_1 과 Q_2 가 턴 온 된다. 스위치 턴 온 시에 공진 인덕터 L_r 의 영향으로 영전류 조건에서

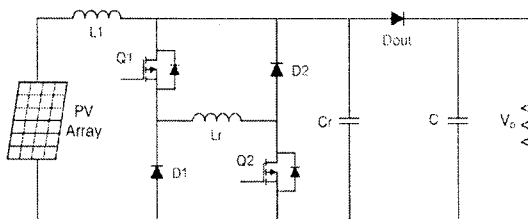


그림 1. 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터
Fig. 1. Proposed soft switching boost converter

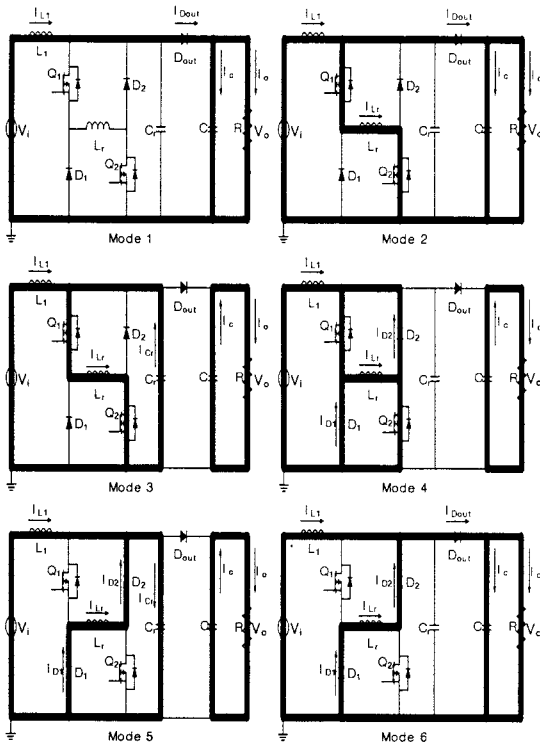


그림 2. 제안된 회로의 동작 모드
Fig. 2. Operation modes of proposed circuit

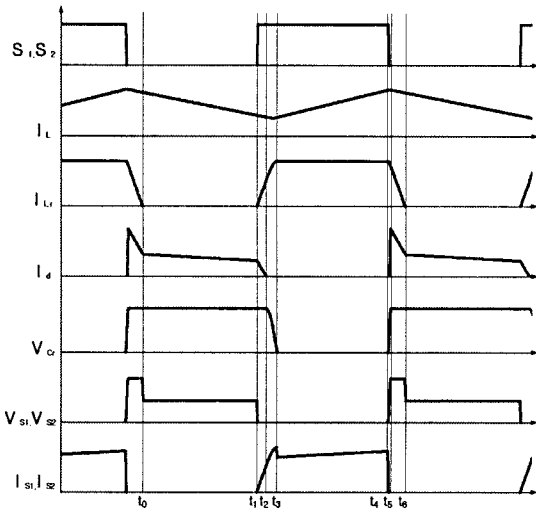


그림 3. 시스템의 주요 파형
Fig. 3. Key waveforms

스위칭 동작을 하게 된다. 메인 인덕터 L에 흐르는 전류는 출력 다이오드 D_{out} 과 공진 인덕터 L_r 로 나누어 흐르기 시작한다. 공진 인덕터 L_r 로 흐르는 전류는 선형적으로 증가하며, 출력다이오드 D_{out} 으로 흐르는 전류는 선형적으로 감소한다. 시간 t_2 에서 메인 인덕터 L에 흐르는 전류와 공진 인덕터 L_r 에 흐르는 전류가 같아

지고 출력다이오드 D_{out} 으로 전류가 더 이상 흐르지 않게 된다. 출력 다이오드 D_{out} 이 턴 오프 되면 모드가 종료 된다.

$$i_L(t) = i_L(t_1) - \frac{V_o - V_i}{L}t \quad (4)$$

$$i_{Lr}(t) = \frac{V_o}{L_r}t \quad (5)$$

$$i_L(t) = i_{Lr}(t) + i_{Dout}(t) \quad (6)$$

$$i_L(t_2) = i_{Lr}(t_2) \quad (7)$$

$$i_{Dout}(t_2) = 0 \quad (8)$$

Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$)

출력 다이오드 D_{out} 이 턴 오프 되면 공진 커패시터 C_r 과 공진 인덕터 L_r 이 서로 공진을 한다. 이 공진을 통해서 공진 커패시터의 전압이 완전 방전되어 0이 되면 모드가 종료된다.

$$i_L(t) \approx I_{min} \quad (9)$$

$$i_{Lr}(t) = I_{min} + \frac{V_o}{Z_r} \sin \omega_r t \quad (10)$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \cos \omega_r t \quad (11)$$

$$v_{Cr}(t_2) = V_o \quad (12)$$

$$v_{Cr}(t_3) = 0 \quad (13)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (14)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (15)$$

Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$)

C_r 의 공진이 끝나면, 공진 인덕터 L_r 에 흐르던 전류는 환류 다이오드 D_1 과 D_2 를 통해 흐른다. 메인 인덕터 L에 흐르는 전류는 증가하며 L에 에너지를 축적하고 다이오드 D_1 과 D_2 를 통해 흐르는 전류는 서서히 감소한다.

$$v_{Cr}(t) = 0 \quad (16)$$

$$i_{Lr}(t) = i_L(t) + i_{D1}(t) + i_{D2}(t) \quad (17)$$

$$i_{Lr}(t_3) = i_{Lr}(t_4) = I_{Lrmax} \quad (18)$$

Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$)

이 모드는 스위치 Q_1 과 Q_2 가 턴 오프 되는 구간으로, 메인 인덕터 L과 공진 인덕터 L_r 에 흐르는 전류는 공진 커패시터 C_r 을 충전시킨다. C_r 의 전압이 출력전압과 같아질 때까지 이 모드가 지속된다. 공진 커패시터 C_r 의 영향으로 두 스위치 Q_1 과 Q_2 는 영전압 조건에서 턴 오프 한다. 이 모드까지 출력 다이오드 D_{out} 은 턴 오프

상태를 유지한다.

$$i_L \approx i_{max} \quad (19)$$

$$i_{Lr}(t) = I_{max} - (I_{max} + I_{Lrmax}) \cos \omega_r t \quad (20)$$

$$v_{Cr}(t) = Z_r (I_{max} + I_{Lrmax}) \sin \omega_r t \quad (21)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (22)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (23)$$

Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$)

공진커패시터 C_r 양단의 전압이 출력전압 V_o 와 같아지면 출력 다이오드 D_{out} 이 턴 온 된다. 인덕터 L 과 공진 인덕터 L_r 에 흐르는 전류가 출력 다이오드 D_{out} 을 통해 출력단으로 흐른다. 공진 인덕터 L_r 에 저장되었던 에너지가 모두 출력단으로 전해지면 이 모드가 종료되고 이 모드를 끝으로 다시 모드 1로 반복하게 된다.

$$i_{Dout} = i_{L1} + i_{Lr} \quad (24)$$

$$i_{Lr}(t_6) = 0 \quad (25)$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \quad (26)$$

그림 3은 제안된 회로의 정상상태에서의 주요파형을 나타낸다.

2.2. MPPT 제어 알고리즘

그림 4는 일사량의 변화에 따른 태양전지의 출력 전압과 전력의 파형이다. 그림에서 보듯이 태양전지는 일사량과 온도에 변화에 따라 최대전력점이 변하게 된다. 따라서 태양전지를 보다 효율적으로 사용하기 위해서는 온도나 일사량 등의 변화에도 항상 최대 전력을 얻을 수 있도록 하는 MPPT 제어가 필요하다[1].

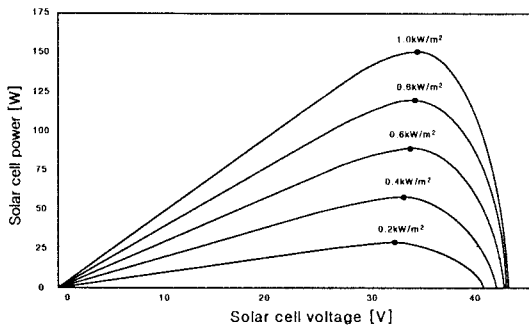


그림 4. 태양전지의 전압-전력 곡선
Fig. 4. Voltage-power curve of a solar cell

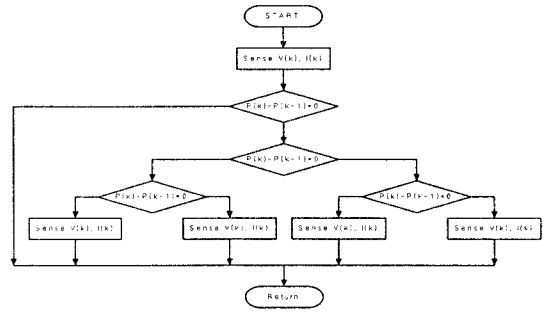


그림 5. P&O 알고리즘 순서도
Fig. 5. The flow chart of P&O algorithm

본 논문에서는 MPPT 제어 알고리즘으로 제어가 간단하여 널리 사용되고 있는 P&O 제어기법을 사용하였다. 태양전지의 출력전압을 일정하게 증가, 감소시켜 현재의 출력전력과 이전의 출력전력을 비교하여 최대전력을 추종하는 제어 기법이다. 그림 5는 P&O 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

3. 시뮬레이션 결과

그림 6은 전체 시스템의 시뮬레이션 회로도이다. 15[kW] 태양전지 어레이를 모델링하여 제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터의 입력으로 사용하였다. 태양전지 어레이의 모델링과 MPPT 제어는 DLL을 사용하여 구현하였다. 표 1은 시뮬레이션 사양과 소자의 파라미터 값을 나타낸다.

그림 7은 태양전지 어레이의 출력전압과 전류 파형이다. 0.15초에 최대 전력점을 추종하기 시작하여 0.3초 후에 최대출력전압과 전류를 추종한다.

그림 8은 스위치 양단에 걸리는 전압 파형과 환류다이오드 양단에 걸리는 전압 파형, 출력다이오드 양단에 걸리는 전압 파형이다. 스위칭 소자들의 양단에 걸리는 전압이 출력전압으로 클램핑되어 스위칭 소자들의 전압 스트레스가 작은 것을 확인할 수 있다.

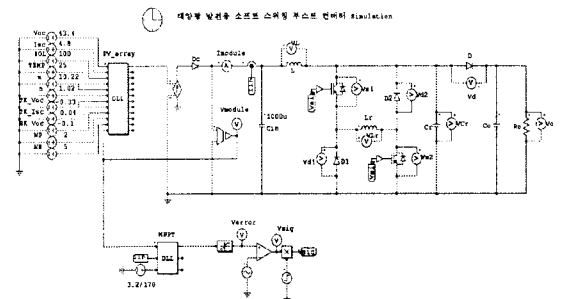


그림 6. 시뮬레이션 회로도
Fig. 6. Simulation schematic

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter

스위칭주파수	f_s	30 [kHz]
어레이출력전류	V_{module}	8.8 [A]
어레이출력전압	I_{module}	170 [V]
출력전압	V_o	400 [V]
메인인덕터	L	560 [μ H]
공진인덕터	L_r	40 [μ H]
공진커패시터	C_r	20 [nF]

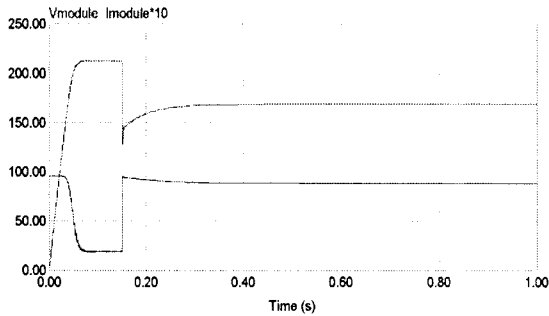


그림 7. 태양전지 어레이의 전압과 전류 파형
Fig. 7. Voltage and Current of PV array

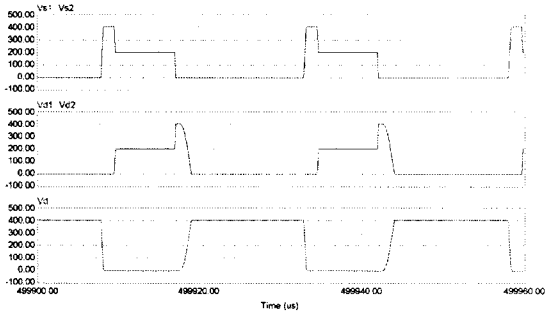


그림 8. 스위칭 소자들의 전압 파형
Fig. 8. Voltage of switching device

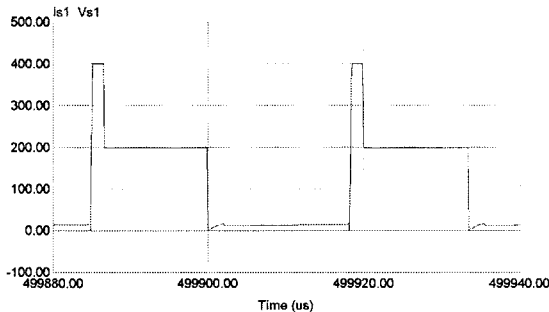


그림 9. 스위치 전압과 전류 파형
Fig. 9. Voltage and current of the switches

그림 9는 스위치의 전압과 전류 파형이다. 스위치 턴 온 시에 공진 인덕터의 영향으로 인해 영 전류 조건에서 스위칭을 하며, 스위치 턴 오프 시에 공진커패시터

의 영향으로 영 전압 조건에서 스위칭을 하여 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 부스트 컨버터 회로에 스위칭 소자들과 공진 소자들을 추가한 소프트 스위칭 부스트 컨버터를 제안하였다.

제안된 소프트 스위칭 부스트 컨버터는 스위칭 소자들의 전압 스트레스가 작다. 또한 스위치 턴 온 시에는 공진 인덕터에 의해 ZCS 조건에서 스위칭 동작을 한다. 스위치 턴 오프 시에는 공진 커패시터에 의해 ZVS 조건에서 스위칭 동작을 하기 때문에 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

제안된 컨버터의 동작원리를 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 태양광 발전에 적용하였다. 태양광 발전용으로 모의실험을 하기 위해 보간법을 토대로 1.5[kW] 태양전지 어레이를 모델링하였다. 또한 P&O 기법을 이용하여 태양전지 어레이의 최대 전력점을 추종하였다.

이 논문은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 김기현, 유권종, 정영석, 김영석, "3Kw급 계통연계형 인버터의 MPPT적용", 전력전자기술대회논문집, 제 41권1호, pp.135~137, 2001.
- [2] 차길로, 원충연, 정용채, 김영렬, "고효율 태양광 발전을 위한 소프트 스위칭 부스트 컨버터", 전력전자학회 추계학술대회, pp.37~39, 2007.
- [3] Jung, Y.C.; Cho, J.G.; Cho, G.H.; "A new zero voltage switching resonant DC-link inverter with low voltage stress", Digital Object Identifier 10.1109/IECON, Vol. 1, pp.308~313, 1991.
- [4] Yu-Ming Chang;Jia-You Lee; Wen-Inne Tsai; York-Yih Sun; "Design and analysis of H-soft-switched converters", Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol. 142, pp.255~261, 1995.
- [5] Jia-You Lee; Yu-Ming Chang; Wen-Inne Tsai; York-Yih Sun; "A new soft switching transition PWM boost converter for power factor correction using parallel resonant tank", Digital Object Identifier 10.1109/IECON, Vol. 2, pp.942~947, 1993.