

태양광 발전을 위한 대용량 소프트 스위칭 승강압 DC-DC 컨버터

°김 영철*, 김 재준*, 이 종근*, 전중함**, 곽 동걸**, 이 현우**

*쌍용중공업(주)

**경남대학교

High Power Buck-boost DC-DC Converter of Soft Switching for Photovoltaic Power Generation

°Kim Young-Cheal*, Kim Jae-Joon*, Lee Jong-Kuen*, Chun Jung-Ham**,
Kwak Dong-Kurl**, Lee Hyun-Woo**

*SSang Yong Industries CO., **KyungNam University.

Abstract- Power conversion system must be increased switching frequency in order to achieve a small size, a light weight and a low noise. However, the switches of converter are subjected to high switching power losses and switching stresses. As a result of those, the power system brings on a low efficiency. In this paper, the authors propose a DC-DC boost converter of high power by partial resonant switch method (PRSM). The switching devices in a proposed circuit are operated with soft switching and the control technique of those is simplified for switch to drive in constant duty cycle. The partial resonant circuit makes use of an inductor using step up and a condenser of loss-less snubber. Also the circuit has a merit which is taken to increase of efficiency, as it makes to a regeneration at input source of accumulated energy in snubber condenser without loss of snubber in conventional circuit. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of system is high. The proposed converter is deemed the most suitable for high power applications where the power switching devices are used.

효율저하라는 난점으로 실질적인 효율향상을 기대하기 어렵다.[1][2] 본 연구에서는 태양전지에서 발생하는 직류전력을 가변 직류전력으로 변환하는 DC-DC 전력변환장치의 효율을 증대시키기 위하여 기존의 하드 스위칭방식에 비해 스위칭손실이 적은 소프트 스위칭 방식을 제안한다. 기존의 전력변환기들은 하드 스위칭 동작에 의한 스위치를 보호하기 위해서 스위치 주변에 스너버회로를 이용하여 보완하지만 출력전류가 증대할 경우 스너버 손실이 크게 되어 효율은 감소하게 된다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 “부분공진 기법[PRSM : Partial Resonant Switch Method][3][4]을 변환기에 적용하여 스위치가 턴-온, 턴-오프 시에만 공진 회로를 부분적으로 형성시키는 기법으로써 스위치들은 소프트 스위칭으로 되어 스위칭 손실이 저감되어 제안한 전력변환기는 고효율로 동작한다. 또한 부분공진 회로부의 공진소자는 스너버 콘덴서를 이용한 것으로써 콘덴서에 축적된 에너지는 전원측으로 회생되어 스너버 손실이 없으며, 회생된 에너지에 의하여 제안하는 컨버터 회로는 같은 용량급의 기존의 컨버터 보다 사용된 스위치의 시비율이 줄어드는 잇점이 주어진다. 그림 1은 태양전지에서 발전된 전력을 DC-DC 컨버터부에서 승강압 되어 부하에 전달된다.

1. 서 론

태양광발전 시스템은 태양전지에서 발생한 직류전원을 전력변환 장치를 통해 상용의 직류전원으로 변환하여 사용한다. 태양전지의 발전량은 일사량, 기후, 온도, 시간 등 주변환경에 따라 발전량이 변화되므로 이러한 변화에 따라 최대한의 전력을 얻기위해 최대출력점 제어기법이 적용되고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 전력변환장치의

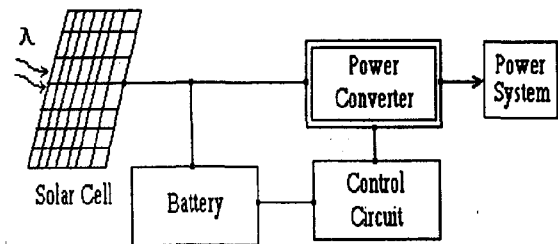


그림 1. 태양광 발전 시스템 구성도

2. 소프트 스위칭 승강압 DC-DC 컨버터

2.1 회로구성

소프트 스위칭 승강압 DC-DC 컨버터를 그림 2에 나타낸다. 부분공진 회로부는 스위칭 소자 S1, S2와 승강압용 리액터 Lr 및 로스네스 스너버 콘덴서 Cr로 구성되어 있으며, 스위치 턴-온시 리액터 Lr의 전류는 제로가 되어 ZCS로 되며, 턴-오프시는 콘덴서 Cr의 전압이 제로에서 동작되므로 스위치는 ZVS로 동작한다. 그리고 스위치 S1과 S2는 듀티율 일정으로 같은 주파수로 스위칭 하기 때문에 제어회로가 매우 간단하며 리액터전류가 두회로로 분류되어 같은 용량일 때의 하드 스위칭 보다 배로 전류용량을 증가시킬 수 있다. 또한 스너버 콘덴서는 스위치들의 턴-온에 의해 부분공진 회로가 형성되어 축적된 에너지를 입력 전원측으로 회생되어 스너버 손실이 전혀 없으며, 충분히 큰 스너버 콘덴서를 사용해도 변환기의 효율은 저하하지 않는다. 제안한 컨버터는 스너버 콘덴서의 용량을 증가시킴에 의해 방진회생되는 전하량이 크게되어 기존의 승강압 컨버터에 비해서 출력전압이 더욱 상승되므로 동일 출력전압 하에 스위치의 듀티율을 다소 감소시킬 수 있어 컨버터의 효율이 더욱 증가되는 잇점이 주어진다.

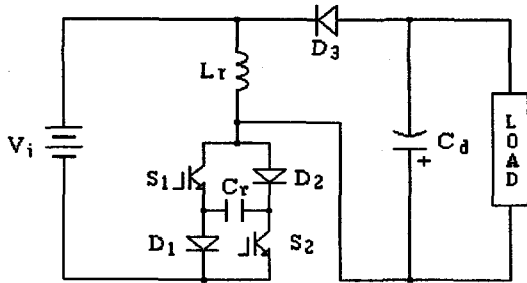


그림 2. 소프트 스위칭 승강압 DC-DC 컨버터

2.2 동작원리

출력측 부하 인덕턴스가 공진용 인덕턴스에 비해 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기에 대해서 부하를 정전류원으로 볼 수 있으며, 초기조건으로 S1, S2는 오프, Cr에는 입력전압 Vi와 평활용 콘덴서 전압 Vcd의 합으로 충전되었다고 가정한다. 제안한 소프트 스위칭 승강압 컨버터를 스위칭 1주기에 대해 모드별로 나누어 보면 그림 3과 같다.

< 모드 1 ; T1, t0 < t ≤ t1 >

이 모드는 스위치 S1과 S2를 동시에 온하는 기간으로서 턴-온 직전의 인덕터 Lr의 전류는 제로이므로 S1, S2는 ZCS 동작을 한다. 그리고 전원 전압 Vi와 출력 전압 Vcd와 합이 Lr에 인가되어 Lr과 Cr는 공진하고 Cr가 방전한다. 이때 공진 리액터의 저항을 제로로 가정하면, 스너버 콘덴서의 전압 vcr는 식 (1)과 같이 방전하고, 리액터 Lr에 흐르는 전류 iLr는 식 (2)와 같이 증가한다. Vcr=0으로 완전방전이 될때 이 모드는 끝나며, 이 모드의 기간을 식 (3)으로 주어지고 이 시점에서의 리액터 전류는 식 (4)로 된다.

$$v_{cr} = (2V_i + V_{cd}) \cos \omega t - V_i \quad (1)$$

$$i_{Lr} = \frac{2V_i + V_{cd}}{X} \sin \omega t \quad (2)$$

$$T_1 = \sqrt{L_r C_r} \cos^{-1} \left(\frac{V_i}{2V_i + V_{cd}} \right) \quad (3)$$

$$I_1 = \frac{1}{X} \sqrt{(2V_i + V_{cd})^2 - V_i^2} \quad (4)$$

여기서

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}, \quad X = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$$

< 모드 2 ; T2, t1 < t ≤ t2 >

모드 2는 Vcr=0로 되면 Lr의 전류는 S1-D1, D2-S2의 두 회로로 분류한다. 이 기간중에 인덕터 Lr는 에너지를 축적한다. 이 때의 리액터 전류는 식 (5)와 같이 직선적으로 증가한다.

$$i_{Lr} = \frac{V_i}{L_r} t + I_1 \quad (5)$$

$$T_2 = T_{on} - T_1 \quad (6)$$

$$I_2 = \frac{V_i}{L_r} T_2 + I_1 \quad (7)$$

식 (6)의 T2는 모드 2의 기간이며, 이 모드가 끝나는 시점에서의 리액터 전류는 I2는 식 (7)과 같다.

< 모드 3 ; T3, t2 < t ≤ t3 >

이 모드는 S1, S2를 오프하는 모드로서 리액터 Lr의 전류는 D1-Cr-D2를 통하여 흐르고 Lr과 Cr는 공진하며, 콘덴서 Cr를 충전시킨다. 이때 스위치들은 ZVS 동작을 하고 이 모드에서의 스너버 콘덴서 전압은 식 (8)과 같으며, 리액터에 흐르는 전류는 식 (9)와 같다.

$$v_{cr} = V_i + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_a \cos(\omega t + \theta) \quad (8)$$

$$i_{Lr} = I_a \sin(\omega t + \theta) \quad (9)$$

콘덴서의 전압이 Vcd로 될 때 이 모드는 끝나고, 이 모드의 기간 T3는 식 (10)이며, 이 모드가 끝나는 시점에서의 리액터 전류 I3는 식 (11)과 같다.

$$T_3 = \sqrt{L_r C_r} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{V_{cd}}{\sqrt{V_i^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} - \theta \right) \right\} \quad (10)$$

$$I_3 = I_2 \cos \omega T_3 + \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} V_i \sin \omega T_3 \quad (11)$$

여기서

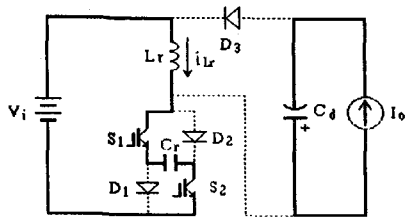
$$I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} V_i^2 + I_2^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_2}{V_i} \right)$$

< 모드 4 ; T4, t3 < t ≤ t4 >

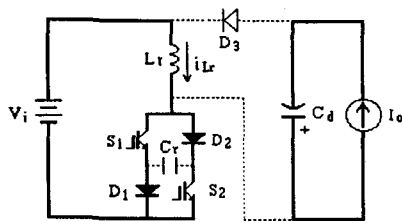
모드 4는 리액터 Lr에 흐르고 있는 전류가 부하 측으로 유입되고 직선적으로 감소한다. 이 모드는 iLr=0가 되면 끝난다. 이 모드에서 전류 iLr는 식 (12)와 같으며, 이 모드의 기간 T4는 식 (13)과 같다.

$$i_{Lr} = I_3 - \frac{V_{cd}}{L_r} t \quad (12)$$

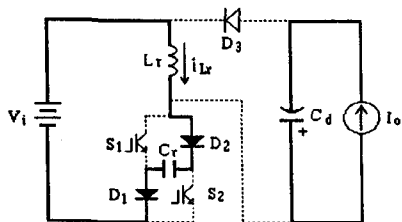
$$T_4 = \frac{L_r}{V_{cd}} I_3 \quad (13)$$



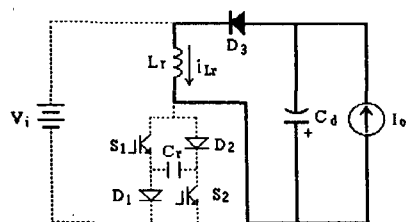
(Mode 1)



(Mode 2)



(Mode 3)



(Mode 4)

그림 3. 회로 동작모드

3. 시뮬레이션 결과

제안한 컨버터 회로에서 제어 스위치는 가변 저항 스위치로 가정하고 그의 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다. 스위치 동작에 대한 각부 동작 파형은 그림 4에 나타낸다. 시뮬레이션 결과는 동작해석에서 얻어진 결과와 잘 일치한다. 시뮬레이션에 있어서 사용된 회로정수를 표1에 나타낸다.

표1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

입력 전압	Vd	200 V
공진 인덕턴스	Lr	10 uH
공진 용량	Cr	100 nF
부하 전류	Io	100 A
스위칭 주파수	Fs	20 kHz

그림 4에는 각 모드의 구간에 대하여 나타내고 있으며 t_0 에서 스위칭이 온하면 Cr이 방전하고 t_1 에서 $V_{cr}=0$ 이 된다. t_2 에서 스위치를 오프하면 입력 전류에서 Cr이 충전하여 t_3 에서 $V_{cr}=V_i+V_{cd}$ 로 된다. t_4 는 i_{Lr} 이 제로로 되는 시작이다. T_s 는 스위치 동작의 1주기로 나타낸다.

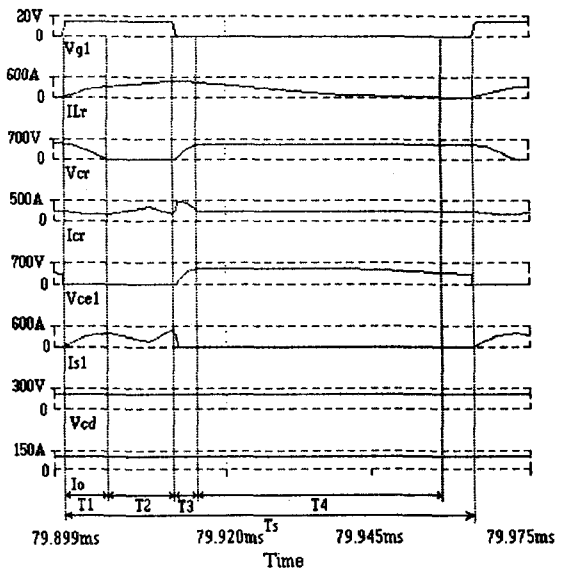
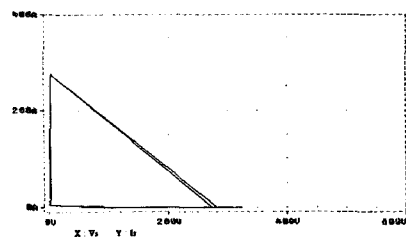
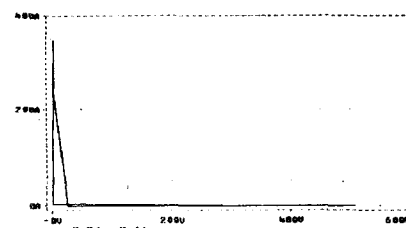


그림 4. 각 모드의 동작파형

이 시뮬레이션 해석결과로 부터 제어소자의 전압-전류특성은 그림 5와 같다. 그림 5(a)는 하드 스위칭 때이고, 그림 5(b)는 본 방식의 소프트 스위칭 때이다. 그림5(a), (b)의



(a) 하드 스위칭



(b) 소프트 스위칭

그림 5. 스위치의 전압-전류 특성

면적은 스위칭 손실과 비례하므로 서로 비교해 보면 소프트 스위칭의 손실이 대단히 적음을 알 수 있다.

4, 결 론

태양에너지를 전기에너지로 이용하는 태양광 발전시스템의 도입에 대해서는 다수의 이점이 인정되고 있지만 경제적인 문제점으로 솔라시스템에 비하여 그 보급이 지연되고 있는 현상이나 태양광발전의 핵심부분인 태양전지나 컨버터의 고효율화, 저렴화를 목적으로 한 기술이나 계통연계에 수반되는 시스템 기술의 진보로 최근 태양광 발전은 훌륭한 전력공급원으로 자리잡게 될 전망이다.

본 연구에서는 솔라셀에서 발생하는 직류 전력을 상용의 직류 전력으로 변환하는 대용량 DC-DC 전력변환에 관하여 검토하였으며, 제안한 소프트 스위칭형 대용량 DC-DC 컨버터는 높은 효율로써 동작되었으며, 또한 스위칭 효율을 향상시킬 수 있는 태양광 발전 시스템을 제안하여 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다. 이상의 결과로 태양광 발전 시스템의 새로운 전력변환 장치로써 응용 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] B.K. Bose, J.S. Lai, "An Improved Resonant DC Link Inverter for Induction Motor Drives", Conf. Rec. of IEEE/LAS Annu Meeting, pp. 742-7489 (1988)
- [2] 國吉: "新レイ太陽光發電用インペータとその試験法", 太陽光發電システムシンポジウム (1989)
- [3] D.K. Kwak, H.W. Lee, "Single-Phase converter with partial resonant circuit", KIEE Autumn Conf. Rec, pp. 129-131 (1993)
- [4] D.K. Kwak, H.W. Lee, "Partial resonant PWM converter using snubber condenser", KIEE Spring the West & Kyung nam Local Conf. Rec, pp. 58-61 (1994)