

태양광 발전을 위한 고효율 전력변환장치

°김 영 철 서 기 영 이 현 우

경남대학교 전기공학과

High Efficiency Power Conversion Device for Photovoltaic Power Generation

°Kim Young-Cheal Suh Ki-Young Lee Hyun-Woo

*KyungNam University Dep. of Electrical Engineering

Abstract - In this paper, the authors propose a DC-DC boost converter of high efficiency by partial resonant switching mode. 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 circuit has a merit which is taken to increase of efficiency, as it makes a regeneration at input source of accumulated energy in snubber condenser without loss of snubber unconventional circuit. The proposed converter is deemed the most suitable for high power applications where the power switching devices are used.

1. 서 론

태양광발전 시스템은 태양전지에서 발생한 직류전원을 전력변환 장치를 통해 교류전원으로 변환하여 사용한다. 태양전지의 발전량은 일사량, 기후, 온도, 시간 등 주변환경에 따라 발전량이 변화되므로 이러한 변화에 따라 최대한의 전력을 얻기 위해 최대출력점 제어기법이 적용되고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 전력변환장치의 효율저하라는 난점으로 실질적인 효율향상을 기대하기 어렵다.

본 연구에서는 태양전지에서 발생되는 직류전력을 교류전력으로 변환하는 DC-AC 전력변환장치의 효율을 증대시키기 위하여 기존의 하드 스위칭방식에 비해 스위칭손실이 적은 소프트 스위칭 방식을 제안한다. 하드스위칭 동작에 의한 전력변환기들은 스위치를 보호하기 위해서 스위치 주변에 스너버회로를 보완하지만, 부하증가에 따른 부하전류의 증가는 스너버 손실을 크게 하며 결국 효율은 감소하게 된다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 부분공진 기법을 적용한 전력변환기를 제안한다.

"부분공진 기법[PRSM : Partial Resonant ant Switch Method]"을 변환기에 적용하여 스위치가 터-온, 터-오프 시에만 공진회로를 부분적으로 형성시키는 기법으로써 스위치들은 소프트 스위칭으로 되어 스위칭 손실이 저감되며, 공진 회로부는 부분공진으로 인하여 공진손실 및 공진용 소자들의 스트레스가 감소되므로 제안한 전력변환기는 고효율로 동작한다. 그림 1은 태양전지에서 발생된 전력을 DC-DC 컨버터부에서 승압하여 인버터부를 통해 부하에 전달된다.

2. 부분공진형 DC-DC 컨버터 회로

부분공진형 DC-DC 컨버터를 그림 2에 나타내며 입력측과 부하 사이에 소프트 스위칭과 승압을 할 수 있는 공진회로부는 스위칭 소자 S1, S2와 승압용 리액터 Lr 및 로스네스 스너버 콘덴서 Cr로 구성되어 있으며, 스위치 터-온시 리액터 Lr의 전류는 제로가 되어 ZCS로 되며, 터-오프시 콘덴서 Cr의 전압이 제로로 될 때 ZVC로 동작하여 부분공진 회로가 구성된다.

출력측 부하 인력턴스가 공진용 인력턴스에 비해 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 부하를 정전류원으로 볼 수 있으며, 초기조건으로 S1, S2는 오프, Cr에는 평활용 콘덴서 전압 Vcd로 충전되었다고 가정한다. 그림 2를 각 모드별로 해석하면 다음과 같다.

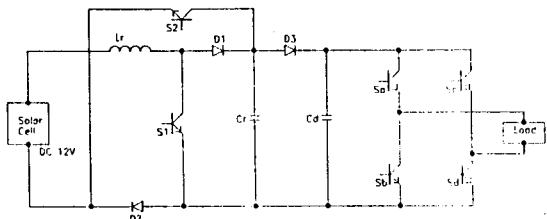


그림 1 태양광발전 시스템 구성도

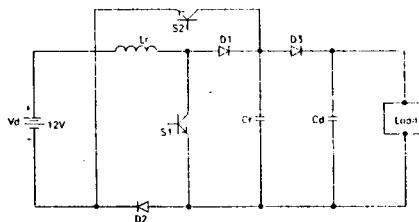


그림 2 컨버터 회로

< 모드 1 : $t_0 < t \leq t_1$ >

이 모드는 S1과 S2를 동시에 온하는 기간으로서 터-온 직진의 전류 i_{Lr} 는 제로이고 콘덴서 Cr은 방전을 개시한다. 이때 스위치 S1, S2는 ZCS 동작을 하며, Lr과 Cr은 직렬공진회로를 구성한다. 공진 리액터의 저항을 제로로 가정하면, 콘덴서 전압 V_{cr} 는 식 (1)과 같이 방전하고, 리액터 Lr에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (2)와 같이 증가한다.

$$v_{cr} = (V_d + V_{ad}) \cos \omega t - V_d \quad (1)$$

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

여기서

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

< 모드 2 : $t_1 < t \leq t_2$ >

모드 2는 콘덴서 전압 $V_{cr}=0$ 로 되면 Lr의 전류는 S1-D2, D1-S2의 두 회로로 분류되며, 이 기간중에 Lr는 에너지를 축적한다. 이 때의 리액터 전류는 식 (3)와 같이 증가한다.

$$i_{Lr} = \frac{V_d}{L_r} t + I_1 \quad (3)$$

< 모드 3 : $t_2 < t \leq t_3$ >

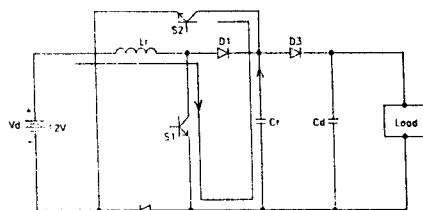
이 모드는 스위치 S_1 , S_2 를 오프하는 모드로서 리액터 L_r 의 전류는 D_1 - C_r - D_2 를 통하여 흐르고, 콘덴서 C_r 는 충전을 개시한다. 이때 스위치 S_1 , S_2 는 콘덴서 전압 V_{cr} 이 제로점에서 ZVS로 동작한다. 이 모드에서 콘덴서 전압 V_{cr} 은 식 (4)과 같으며, 리액터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (5)와 같다.

$$V_{cr} = V_d + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_a \sin(\omega t + \theta) \quad (4)$$

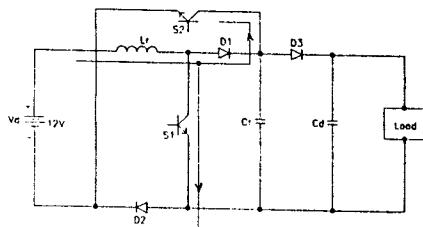
$$i_{Lr} = I_a \cos(\omega t + \theta) \quad (5)$$

여기서

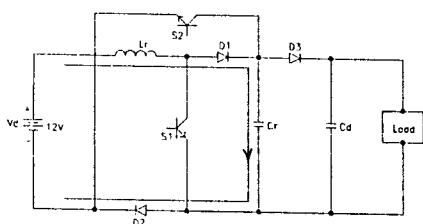
$$I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} V_d^2 + I_s^2}$$



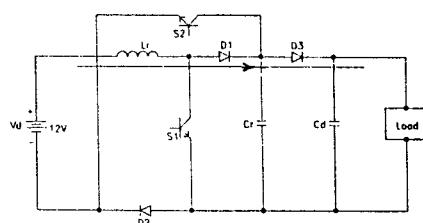
(Mode 1)



(Mode 2)



(Mode 3)



(Mode 4)

그림 3 동작 원리

$$\theta = \sin^{-1} \left(-\sqrt{\frac{V_d^2}{V_d^2 + \frac{L_r}{C_r} I_s^2}} \right)$$

< 모드 4 : $T_4, t_3 < t \leq t_4$ >

모드 4는 리액터 L_r 에 흐르고 있는 전류 i_{Lr} 는 부하측으로 유입되고 직선적으로 감소하며, 리액터 전류 i_{Lr} 는 제로가 된다.

$$i_{Lr} = \frac{V_d - V_{cd}}{L_r} t + I_s \quad (6)$$

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 2의 컨버터 회로에 사용된 제어 스위치는 가변 저항 스위치로 가정하고 그의 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션에 있어서 회로정수는 표1과 같다.

표1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

입력 전압	V_d	12 V
공진 인덕턴스	L_r	10 uH
공진 콘덴서	C_r	100 nF
부하 전류	I_o	0.75 A
스위칭 주파수	F_s	67 kHz

그림 4에는 각모드의 구간에 대하여 나타내고 있으며 스위치가 터-온하면 콘덴서 C_r 은 방전을 시작하고, 리액터 L_r 은 에너지 축적을 시작한다. 회로는 L_r - S_1 - C_r - S_2 로 이어지며 ZCS 회로를 구성한다. 스위치가 터-오프되면 콘덴서 C_r 은 충전을 다시 시작하고 리액터 전류 i_{Lr} 은 직선적으로 감소하며 부하측으로 전류를 전달한다. 이때 회로는 L_r - D_1 - C_r - D_2 로 이어지며 ZVS 회로를 구성한다. 스위칭 터-온 기간중 다이오드 D_1 , D_2 를 도통시켜 스위치에 의한 도통손실을 반으로 줄여준다. 따라서 기존의 하드 스위칭에 의한 부하측 전달 전력보다 본 방식의 소프트 스위칭에 의한 부하측 전달 전력이 증가 한다.

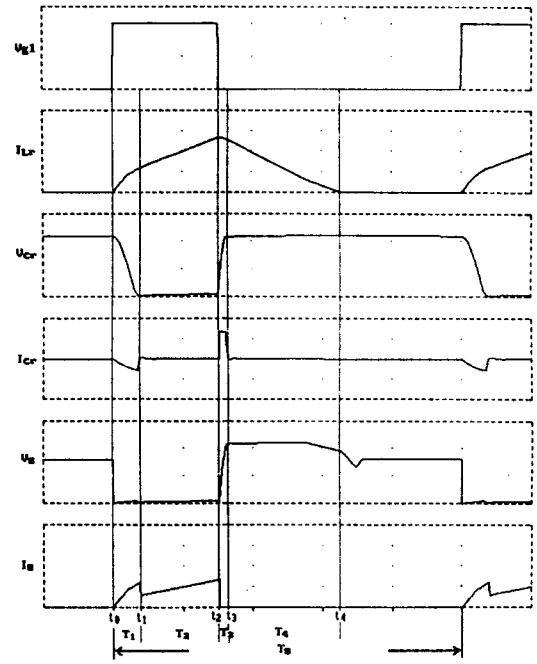
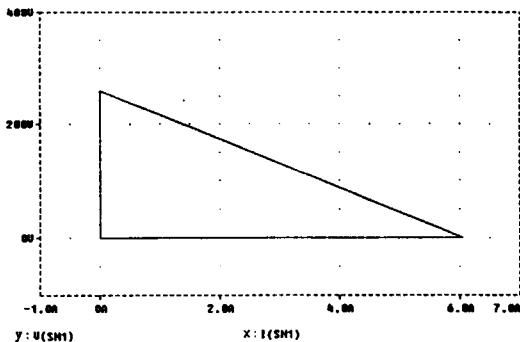
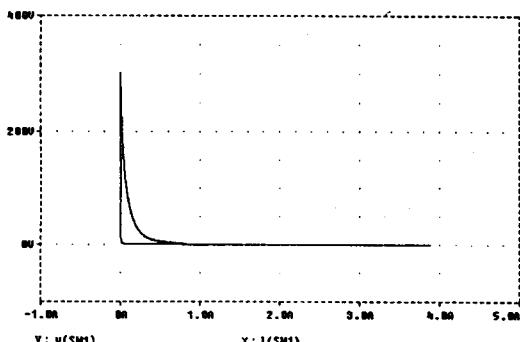


그림 4 각 모드의 동작파형



(a) 하드 스위칭



(b) 소프트 스위칭

그림 5 스위치에 의한 전압, 전류 특성

이 시뮬레이션 해석결과로 부터 제어소자의 전압-전류특성은 그림 5와 같다. 그림 5(a)는 하드 스위칭 때이고, 그림 5(b)는 본방식의 소프트 스위칭 때이다. 그림 5(a), (b)의면적은 스위칭 손실과 비례하므로 서로 비교해 보면 소프트 스위칭의 손실이 대단히 적음을 알 수 있다. 그림 6는 스위치의 전압(아래그림), 전류(위 그림) 실험파형이고 그림 7는 리액터전류(위 그림)와 스너비 콘덴서전압(아래그림) 파형이다. 시뮬레이션 파형과 잘 일치하고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 태양광발전 시스템에서 일반적으로 적용되는 하드 스위칭 방법을 탈피하여 같은 발생전력을 최대한으로 이용할 수 있는 부분공진 소프트 스위칭 전력변환방법을 제시하였다. 본 방식에 사용된 스위치들의 동작은 공진시에만 스위칭 하므로 스위칭 손실을 저감 하였으며, 부분공진으로 인한 소자 손실 및 소자의 스트레스를 감소시켰다. 또한 스위치 터-온시 콘덴서에 축적된 에너지를 전원측으로 회생시켜 전력손실률을 줄여서며 승압 효과도 함께 취했다.

이 논문은 95학년도 경남대학교의 연구비에 의하여 연구되었습니다.

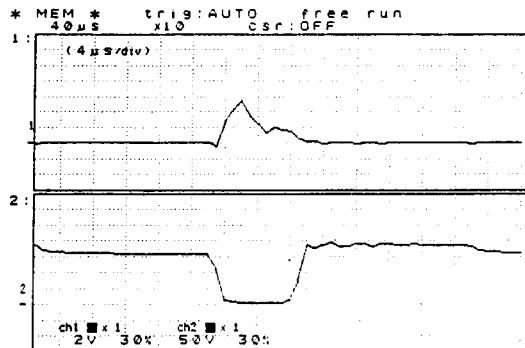


그림 6 스위치의 전압, 전류 실험파형

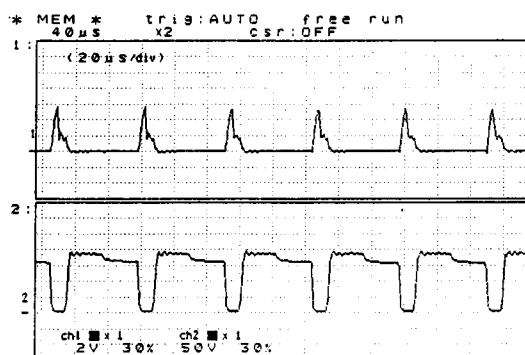


그림 7 리액터전류와 스너비 콘덴서전압 파형

참 고 문 헌

1. D.K. Kwak, H.W. Lee, "Single-Phase converter with partial resonant circuit", KIEE Autumn Conf. Rec, pp.129-131(1993)
2. B.K. Bose, J.S. Lai, "An Improved Resonant DC Link Inverter for Induction Motor Drives", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annu Meeting, pp.742-748(1988)
3. 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)
4. 國吉: “新規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)
5. Gyu H.Cho etc., "Novel Soft Switching PWM Converter Using A New Parallel Resonant DC-Link", IEEE PESC'91, pp.241-247(1991)