

태양광 발전용 SEPIC-Flyback 컨버터

(The Photovoltaic Power Generation System with SEPIC-Flyback Converter)

정두용*, 장수진*, 지용혁*, 원충연*, 정용채**

(Doo-Yong Jung* · Su-Jin Jang* · Yong-Hyuk Ji* · Chung-Yuen Won* · Yong-Chae Jung**)

(성균관대학교*, 남서울대학교**)

Abstract

In this paper, we proposed a design photovoltaic generation systems with SEPIC-Flyback converter. The SEPIC-Flyback converter is operated to SEPIC converter the state turn-on of the switch and the state turn-off the switch is operated Flyback converter. Therefore application rate of the core increases and voltage stress of switch and transformer decreases with active clamp operation. Also we performed MPPT(Maximum Power Point Tracking) control for efficient working of photovoltaic power generation system.

1. 서론

지구 온난화와 기존 화석에너지의 고갈 및 이산화탄소 배출 규제에 따른 국제협약 등의 이유로 신재생에너지의 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 태양광 발전은 청정, 무제한의 에너지원이라는 장점을 가지고 있고, 필요한 장소에서 필요한 용량을 발전할 수 있으며 유지보수의 필요성이 상대적으로 적어 무인화가 가능하다.

또한 15년에서 20년 정도의 수명을 가지고 있어 시설투자에 대한 용이성도 갖추고 있다. 현재 시행되고 있는 [태양광주택10만호보급사업]에 힘입어 우리나라에서도 보급률이 상승하고 있고 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있다.

태양광 발전시스템은 저밀도의 에너지밀도 특성을 가지며, 온도, 일사량, 기상여건에 따라 출력특성이 결정되기 때문에 주어진 조건에서 최대의 효율로 발전될 수 있어야 한다.

본 논문에서는 320W급 태양전지를 능동 클램프 SEPIC-Flyback 컨버터(Active Clamp Voltage-Fed SEPIC-Flyback Converter)에 적용하였다. 태양전지 출력전압(22-44V)을 DSP(TMS320VC33)를 활용하여 MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어를 하였고, 단상 인버터를 적용하여 승압된 직류(380Vdc)를 교류(220Vac,60Hz)로 변환하였다.[1]

2. 본론

2.1. 어레이구성

태양전지 어레이의 구성은 80W급 단결정 태양전

지 4장으로 구성하였다. 어레이를 구성할 때 태양전지의 직병렬에 따라 출력전압, 전류가 달라진다. 본 논문에서는 2직렬/2병렬로 구성을 하였다.

표 1. 태양전지모듈 구성에 의한 어레이출력
Table 1. Array output of photovoltaic module structure

구성방식	어레이 최대 출력전압[V]	어레이 최대 출력전류[A]	어레이 최대전력[W]
4직렬	70.4	4.56	321.02W
4병렬	17.6	18.24	321.02W
2직렬-2병렬	35.2	9.12	321.02W

2.2. MPPT 제어부

그림 1은 320W 태양전지 어레이의 I-V 곡선을 나타내고 있다. 비선형 발전 특성 때문에 태양전지는 최대전력점을 유지시켜 주었을 때 최상의 효율로 발전할 수 있다.

MPPT(Maximum Power Point Tracking)가 정상 동작하여 발전이 이루어질 때 태양전지는 최대출력을 낼 수 있고 그림 2의 320W 태양전지 어레이의 P-V 곡선에서 정점을 유지하며 최대출력 320W로 발전을 하게 된다.

MPPT 알고리즘은 하드웨어 구성시 간단한 연산과정과 빠른 추종을 할 수 있는 P&O(Perturbation and Observation)제어법을 사용하였다. [2-5]

2.3. DC/DC Converter

승압용 DC/DC Converter는 태양전지 어레이의

저전압을 380Vdc로 승압하여 DC-Link 전압을 출력한다. DC/DC 컨버터는 제안된 태양전지어레이의 저전압을 직류 380Vdc 이상으로 승압하기 위해서는 최소 8배에서 최고 17배 까지 승압하여야 한다.

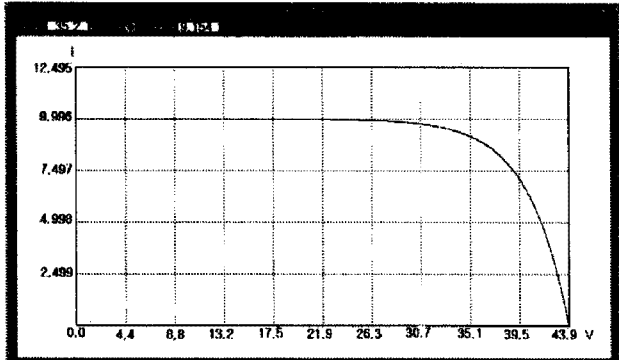


그림 1. 320W 태양전지어레이 전류-전압 곡선
Fig. 1 The characteristic of I-V curve in 320W solar array

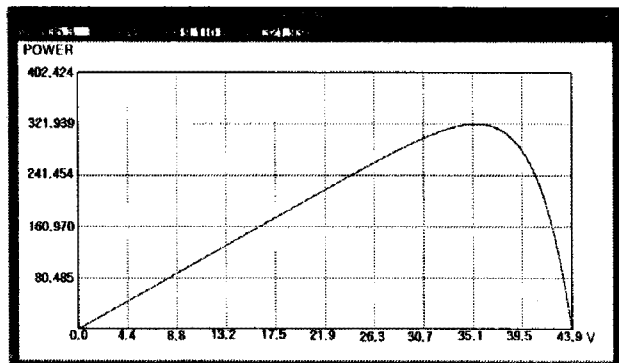


그림 2. 320W 태양전지어레이 전력-전압 곡선
Fig. 2 The characteristic of P-V curve in 320W solar array

본 논문에서 적용한 DC/DC 컨버터는 SEPIC-Flyback 컨버터로 인덕터 에너지 저장형인 Flyback 형과 캐패시터 에너지 저장형인 SEPIC 컨버터를 변압기를 이용하여 2차측 출력을 결합한 컨버터이다.[1]

적용된 SEPIC 컨버터는 Inverse SEPIC 혹은 ZETA컨버터의 형태로 절연형이다.

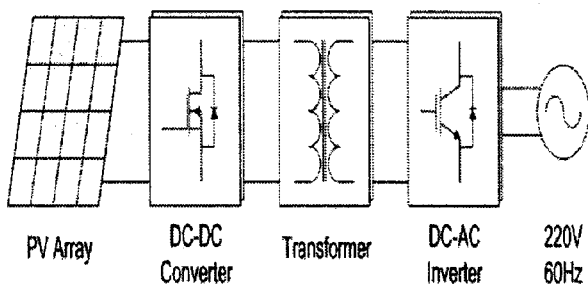


그림 3. 시스템 블록도
Fig. 3 Block diagram of system

제안된 SEPIC-Flyback 컨버터(이하 SF 컨버터)는 한 개의 변압기와 스위치를 이용하여 두 개의 Buck-boost 또는 Flyback 형태의 출력 특성을 얻을 수 있다. 높은 변압기 이용률과 높은 전력밀도를 얻을 수 있다. 또한 변압기 권수비를 일반 절연형 컨버터에 비해 줄일 수 있는 장점을 가진다.[1]

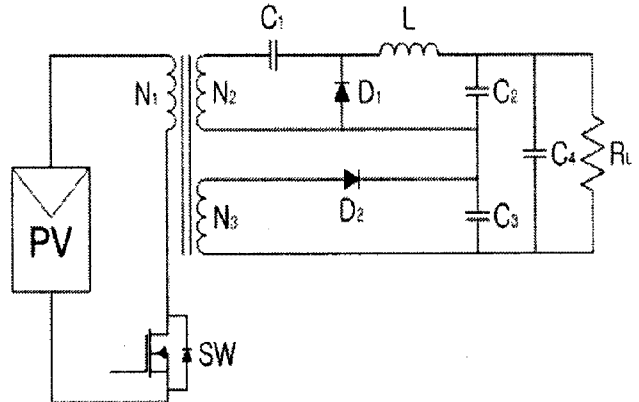


그림 4. SEPIC-Flyback 컨버터
Fig. 4 SEPIC-Flyback converter

기존의 SF컨버터는 Flyback 모드 동작시 C1(Spic capacitor)에 축적된 에너지에 의해 변압기를 통한 감자 현상이 일어나게 되어 출력을 증가시킬 수 없다.

그림 4의 SF 컨버터는 중간탭 방식의 간섭현상을 최소로 줄이기 위해 중간 탭 부분을 분리시킴으로서 간섭으로 인한 손실을 줄였다.

Flyback 회로의 변압기는 에너지 변환뿐만 아니라 자화 인덕턴스에 의한 필터 역할도 수행한다. 1차측과 2차측간에 절연을 위해 변압기를 사용하였으며, SEPIC 모드와 Flyback 모드의 출력은 출력 캐패시터 C₂, C₃를 이용하여 결합하였다.[1]

3. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서는 320W 태양전지, SEPIC-Flyback 컨버터, 단상 인버터를 P-SIM을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

태양전지는 그림 5와 같이 DLL로 구성하였다. 직렬 셀 수, 병렬모듈 수와 일사량은 외부 입력으로 구성하였다.

MPPT 제어부는 모듈에서 출력되는 전압/전류를 검출 받아 MPPT 제어부에서 Maximum Power Point Voltage를 추종하며 컨버터의 PWM 신호로 변환된다.

표 2. MPPT 제어부
Table 2. MPPT controller

MPPT 알고리즘	P&O(Perturbation and Observation)
최대전력점 전압(V_{mp})	35.2(V)
최대전력점 전류(I_{mp})	9.12(V)
효율	97% 이상(Irradiance 40% 이상시)
Delta V	0.1
스위칭 주파수	33Khz

표 2 MPPT 제어부에 대한 파라미터를 나타낸다. 알고리즘의 효율은 Perturbation and Observation (P&O)과 Incremental Conductance (Incond) 모두 일사량 30% 이상시에는 급격한 효율저하가 있으므로 40% 이상의 일사량 조건으로 제어 하였다.[5]

그림 5의 구간 I에서는 초기 MPPT를 하여 최대전력점을 추종하는 구간이다. 이때 MPPT 알고리즘에서 최대출력점 전압을 추종할 때 가감해주는 전압의 크기(이하 Delta_V)를 상대적으로 크게 지정해주면 최대전력점 추종시간이 단축되며 구간 I의 시간을 줄일 수 있다.

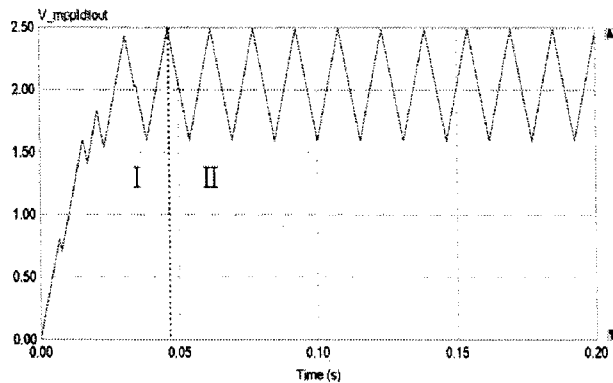


그림 5. MPPT DLL 출력 파형
Fig. 5 Output voltage of MPPT DLL

반면 Delta_V를 작게 지정하면 최대전력점 추종시간이 길어지며 태양광발전 초기 구동시와 일사량 변동시 손실이 증가한다.

그림 5의 구간 II는 MPPT 후 태양전지 출력이 최대전력점에 도달한 정상상태를 나타내며 이때 리플의 크기는 Delta_V에 비례한다.

P&O 알고리즘 특성상 최대전력점 추종 후 나타나는 자려진동은 Delta_V를 작게 지정하면 자려진동을 줄일 수 있으나 발전 초기 구동시 또는 일사량 변동시 보다 많은 횡수의 연산과정을 이행하게 되므로 최대전력점 추종시간이 길어진다.

그림 6은 320W의 어레이가 최대전력점 추종시 출력파형을 나타낸다. 구간 I의 과도상태를 거쳐 II에서는 최대 오버슈트를 지나 정상상태로 도달한다. III에서는 MPPT를 추종후 정상상태의 출력을 나타낸다.

출력전압의 정상상태에서의 리플은 MPPT 알고리즘의 최대전력점에서 자려진동 때문에 나타나며 출력전력 또한 출력전압의 리플로 인해 같은 리플을 갖는다.

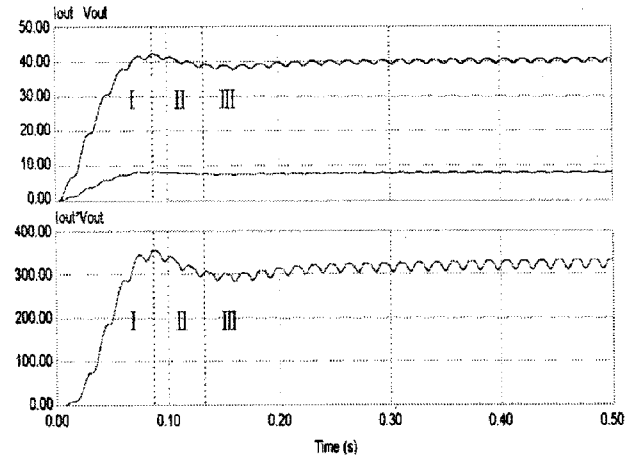


그림 6. 320W 어레이 출력 파형
Fig. 6 Output wave of 320W array

그림 6의 전압, 전류, 전력의 상승시간은 MPPT 시간과 비례하며 MPPT 시간이 짧아수록 상승시간은 짧아진다.[4]

시뮬레이션은 320W급 태양전지에서 부하구동시 출력하게 되는 35.2Vdc 전압과 동일하게 시뮬레이션을 하였다.

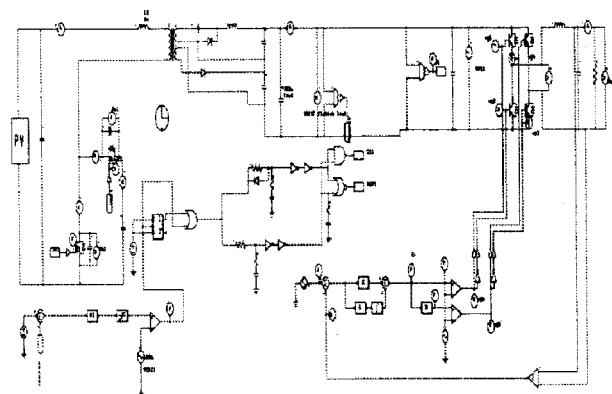


그림 7. 전력변환부
Fig. 7 PCS (Photovoltaic Power Conditioning System)

그림 7은 전체 전력변환부 시뮬레이션 회로도를 나타낸다. 송압된 직류 전압을 교류(220V,60Hz)로 변환하기 위해 단상 인버터를 적용하였다.

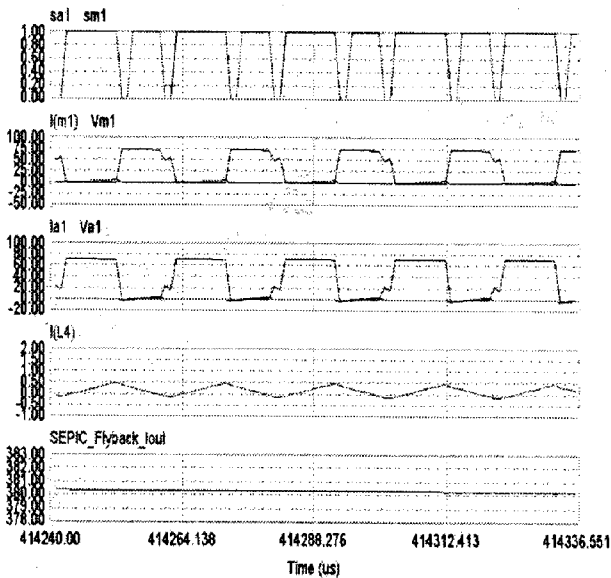


그림 8. SEPIC-Flyback DC-DC 컨버터 각 부 파형

Fig. 8 Waveforms of SF converter

(sa1: 보조스위치 신호, sm1: 주스위치 신호, I(m1): 주 스위치 전류, Vm1: 주 스위치 전압, Ia1: 보조 스위치 전류, Va1: 보조 스위치 전압, I(L4): 인덕터전류, Vout: 컨버터 출력전압)

그림 8은 본 논문에서 제안한 SF컨버터의 각 부 파형을 나타낸다. 능동클램프 동작에 의해 스위치의 스파이크, 링잉 성분이 제거됨을 확인할 수 있다.

또한 상용부하에 전력을 공급하기 위해 태양전지의 낮은 출력전압이 SF컨버터에 의해 승압됨을 나타낸다.

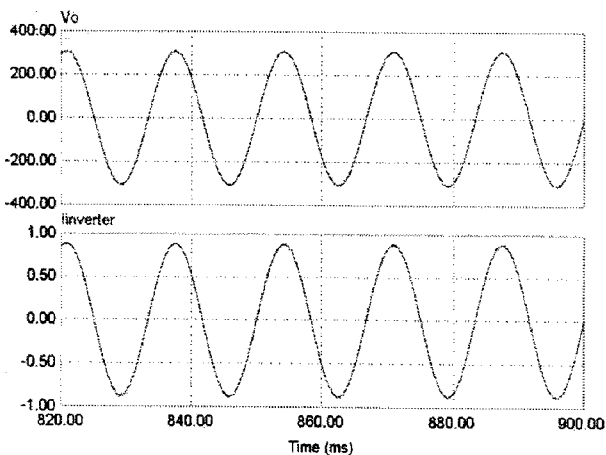


그림 9. DC-AC 인버터 출력파형

Fig. 9 Output wave of DC/AC Inverter

그림 9는 단상인버터 출력전압과 전류를 나타낸다. 그림 10은 본 논문에서 제안한 태양광 발전 시스템 하드웨어를 나타낸다.

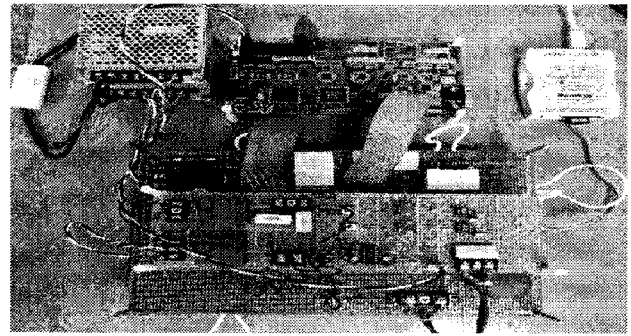


그림 10. 시스템 구성

Fig. 10 System configuration

4. 결론

본 논문에서는 320W 태양전지를 소프트웨어로 모델링 하였으며 모델링된 태양전지를 SF 컨버터에 적용하여 태양광발전시스템을 시뮬레이션 하였다.

MPPT 제어에는 P&O를 적용하였으며, 단상 인버터를 적용하여 220V, 60Hz 출력을 얻을 수 있었다.

본 논문은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- (1) 문승필, 강구삼, 원충연, 김수석, 김영렬, "승압형으로 동작하는 새로운 SEPIC-Flyback 컨버터", 전력 전자 학술대회 논문집, 학술 대회 논문집, pp.303-307, 2004.
- (2) Nicola Femia, Giovanni Petrone, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 4, JULY 2005.
- (3) Hyun-Su Bae, Joung-Hu Park, "New MPPT Control Strategy for Two-Stage Grid-Connected Photovoltaic Power Conditioning System", Journal of Power Electronics, Vol. 7, No. 2, April 2007.
- (4) 유권중, 정영석, 최주엽, "새로운 고효율 MPPT 제어 알고리즘 고찰", 한국태양에너지학회 논문집 VOL. 22, NO. 3, 2002.
- (5) 유권중, "Two_Mode MPPT 알고리즘 연구 및 효율 평가법", 한국태양에너지학회 논문집, VOL. 21, NO. 1, 2001.