

태양전지 가상 구현 모듈의 직·병렬 특성 해석 및 제어

한정만, 류태규, 유재현, 고재석, 최규하
건국대학교 전기공학과

Analysis and Control of Series · Shunt Characteristics for Virtual Implementation of Solar Cell Module

J.M. Han, T.G. Ryu, J.H. Yoo, J.S. Gho, G.H. Choe
Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

ABSTRACT

The solar energy is purity and infinity. Solar power converter were used to convert the electrical energy from the solar arrays to a stable and reliable power source. So much country research this solar energy system. The photovoltaic system is construct many solar cell array. In this paper, new implementation solar system was showed buck converter that V-I curve produced. This system can be used to study the short-term and long-term performances of solar cell and efficiency. This system is a far more cost effective and reliable replacement for field and outdoor flight testing. Study of buck converter, analysis and control shunt · series connection characteristics of solar cell array.

1. 서 론

대체에너지원으로서의 태양광 에너지는 청정에너지이고 무한정한 양을 보유하고 있어 그 이용이 최근 크게 대두되고 있다.

태양광발전 시스템은 용량에 따라 모듈을 직·병렬 연결하여 원하는 출력을 발전할 수 있다. 하지만 태양광발전과 관련된 연구를 수행하는데 있어 태양전지의 설치를 위한 넓은 공간이 요구되며 아울러 태양광발전의 특성이 일사량과 온도변화에 따라서 크게 변화되므로 동일조건으로의 재현 또는 재실험이 불가능하다.

그러므로 태양광발전 시스템을 용량에 따라 직·병렬연결하여 원하는 출력을 가상구현 할 수 있는 실험이 요구되어진다.

본 논문에서는 이러한 특성을 갖는 태양광발전시스템의 가상 구현을 위하여 단위셀의 출력 특성을 낼수 있는 DC-DC컨버터로 구현하였다. 그리고 컨

버터를 직·병렬로 연결하여 가상구현장치의 출력특성과 동특성에 관하여 고찰하였다.^[1]

2. 태양전지

태양전지의 출력특성은 제조상의 차이점이나, 환경적 요인들에 의해서 변화 된다. 제조상의 차이점을 무시하고 환경의 변화에 따른 출력특성은 크게 온도에 따른 온도특성과 일사량에 따른 일사량특성으로 구분할 수 있다. 그림 1은 일사량에 따른 태양전지의 출력의 변화를 보여주고 있으며 그림 2는 온도에 따른 태양전지의 출력 변화를 나타내고 있다. 일사량의 변화시 태양전지의 개방전압은 큰 변화가 없는 반면 출력전류가 크게 변화하고 있음을 알 수 있다. 온도 변화시 단락전류는 큰 변화가 없는 반면에 개방전압이 크게 변화하고 있다. 또한 전압이 변화하면 전류도 변화하므로 이 특성을 컨버터로 구현하기 위해서는 전압과 전류를 동시에 제어 할 필요가 있다.

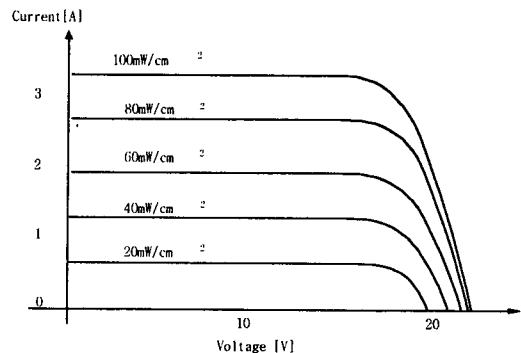


그림 1 태양전지의 일사량에 따른 출력특성
Fig. 1 Solar cell output characteristics with varying radiation.

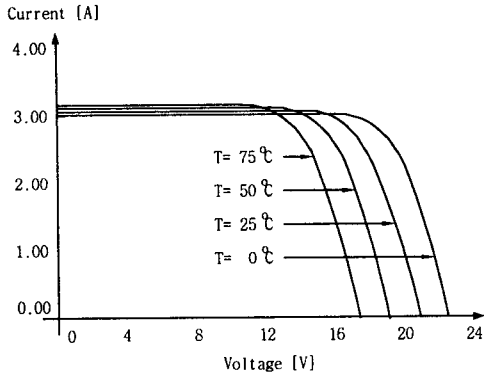


그림 2 태양전지의 온도에 따른 출력특성
Fig. 2 Solar cell output characteristics with varying surface temperature.

3. 컨버터 설계

3.1 Buck 컨버터

태양 전지 단위셀의 구현을 위한 컨버터는 태양 전지 단위셀의 출력 범위(전압 0~25[V], 전류 0~3.5[A])에서 제어가 가능한 Buck 컨버터를 선택하였다. Buck 컨버터의 입출력 관계에 의한 듀티비는 식 (6)로 표현되며, 스위칭 주파수와 전류, 전압의 리플를 대입하여 시스템을 CCM모드로 동작시킬 인덕턴스와 커패시턴스를 식 (7)과 식 (8)에 의해 계산하였다.

$$\frac{V}{V_s} = D \quad (6)$$

$$\Delta I = \frac{V_s D(1-D)}{f_s L} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{DV_s(1-D)}{f_s L} \left(\frac{1}{8 f_s C} \right) \\ &= \frac{V_s D(1-D)}{8LCf_s^2} \end{aligned} \quad (8)$$

- V : 출력전압
- V_s : 입력전압
- D : 듀티비
- ΔI : 전류리플
- ΔV : 전압리플
- f_s : 스위칭주파수

그림 4는 태양전지 어레이의 가상 구현을 위한 Buck 컨버터의 직렬(a), 병렬(b) 연결한 구성도이다. PV Model Block에서 일정한 온도와 일사량에 해당하는 태양전지 출력 지령치를 제어기에 보내어 컨버터를 제어하였다.

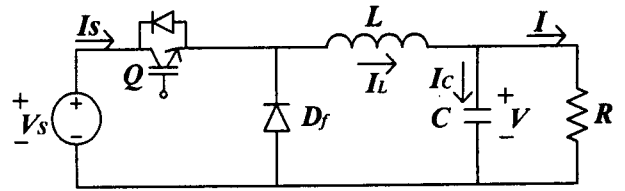
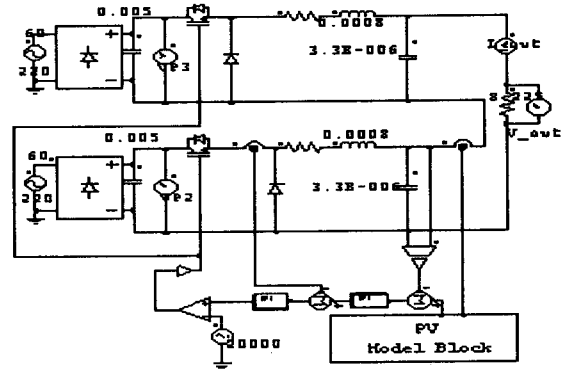
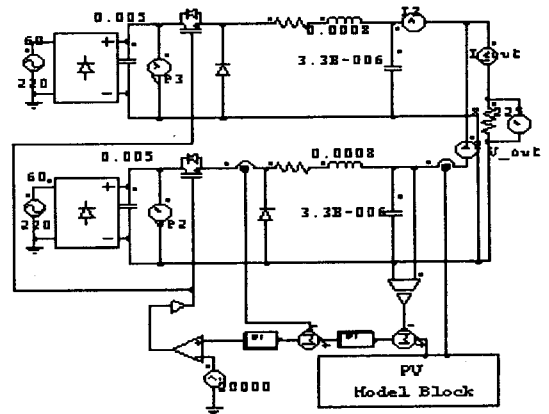


그림 3 Buck 컨버터
Fig. 3 Buck converter.



(a) 직렬 연결
(a) Series



(b) 병렬 연결
(b) Shunt

그림 4 Buck 컨버터를 이용한 어레이 구성도
Fig. 4 Solar cell configuration using Buck Converter.

4. 시뮬레이션

태양전지 가상구현을 위해 설계한 Buck 컨버터를 검증하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다. PV Model Block은 삼성 전자의 SM-50을 기본 모델로 하였고, SM-50의 사양은 표.1과 같다. 가상 구현을 위한 컨버터의 정격은 표 2와 같이 설계하였다. 시뮬레이션은 조건은 표 3과 같다. 정격으로 설계된 컨버터 두 대를 기준 1로 정하고 컨버터의 L,C의 값을 0.7, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 1.3배로 변동시켜 비

교하였다. 시뮬레이션은 부하가 10[%]에서 100[%]로 변동시켜 이때의 전압과 전류를 샘플링 하였다. 샘플링 한 데이터는 MATLAB을 이용하여 표시하였다. 단일 컨버터, 직렬, 병렬 연결시 출력 특성을 P-V 곡선과 전압 리플률, 전류 리플률을 이용하여 비교하였다. 전압 리플률과 전류 리플률은 전압과 전류의 리플을 최대 전력점에서의 전압과 전류로 나누어 정의하였으며 식 (9)와 식 (10)과 같이 나타낸다.

$$R_V = \frac{\Delta V}{V_{mp}} \times 100[\%] \quad (9)$$

$$R_I = \frac{\Delta I}{I_{mp}} \times 100[\%] \quad (10)$$

그림 5은 컨버터의 P-V 특성을 태양전지 모델과 비교 한 것이다. 점선이 태양전지이며, 컨버터 하나의 출력, 직렬 연결시 컨버터 하나의 출력, 병렬 연결시 컨버터 하나의 출력 순으로 표시하였다. 컨버터간 출력은 2%(1W)이내의 차이를 보이고 있다. 그림 6은 컨버터를 직렬, 병렬로 연결하고 컨버터간 L,C 값이 다를 때의 P-V특성 곡선을 나타내고 있다. 직렬, 병렬 연결시 모두 출력이 태양전지 모델을 추종하고 있다.

그림 7은 그림 4의 직렬 연결시 (a) 전압 파형과 병렬 연결시(b) 전류 파형이다. (a)에서 위 부분은 최종 출력 전압이고, 아래 부분은 컨버터 하나의 출력 전압이다. 직렬의 특성대로 2배로 증가하는 것을 볼 수 있다. (b)에서 위 부분은 최종 출력 전류이고, 아래 부분은 컨버터 하나의 출력 전류이다. (a)의 경우와 같이 병렬 특성인 전류의 증가가 2배 가됨을 볼 수 있다.

표 3의 조건별 시뮬레이션에서는 출력 전력은 그림 6과 같이 일정하나, 전압 리플률과 전류 리플률은 많은 차이를 보이고 있다. 그림 8 (a)는 직렬 연결시 표 3의 조건 1과 조건 5의 전압 리플률이다. 조건 5의 최종 출력전압 리플률은 조건 1보다 1% 상승하지만, 컨버터 하나의 전압 리플률은 높은 전압에서는 4%증가하지만, 낮은 전압에서는 10%이상 증가하고 있다. (b)는 병렬 연결시 조건 1과 조건 5의 전류 리플률이다. 여기서도 최종 출력 전류 리플률은 조건 1보다 1%이내의 증가를 보이나, (a)와는 반대로 높은 전압에서 조건 1에 비해 많이 증가하는 현상을 보이고 있다. 이는 태양전지의 특성이 전압이 증가하면 전류가 감소하는 것으로 낮은 전류에서 전류 리플률이 크게 증가한 것을 알 수 있다.

표 1 SM-50 사양

Table 1 SM-50 specification.

· 최대 출력	: 50 w
· 최대 출력 전압	: 16.8v
· 최대 출력 전류	: 2.97A
· 단락 전류	: 3.23A
· 개방 전압	: 21v

표 2 Buck 컨버터 정격

Table 2 Buck converter parameter.

항 목	설계값	단 위
입 력 전 압	311	[V]
정격 용량	50	[W]
스위칭 주파수	40	[kHz]
인덕턴스	0.8	[mH]
커패시턴스	3.3	[μF]
전압 리플	5	%
전류 리플	5	%

표 3 시뮬레이션 조건

Table 3 Simulation parameter

조건	컨버터 1		컨버터 2	
	L(mH)	C(μF)	L(mH)	C(μF)
1	0.8	3.3	0.8	3.3
2	0.8	3.3	0.73	2.9
3	0.8	3.3	0.64	2.64
3	0.8	3.3	0.56	2.31
4	0.88	3.63	0.73	2.9
5	0.96	3.96	0.64	3.64
6	1.04	4.29	0.56	2.31

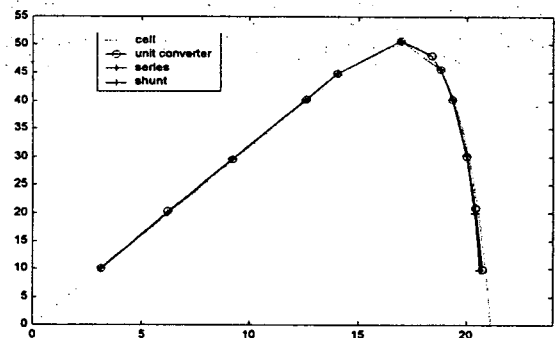


그림 5 컨버터 모델의 P-V 특성 곡선

Fig. 5 P-V Characteristics Curve of Converter Model.

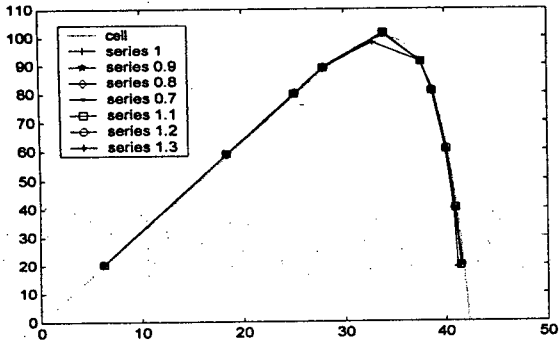
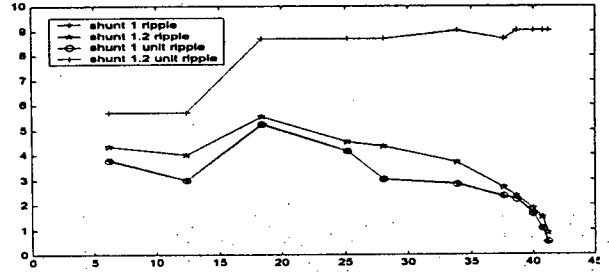
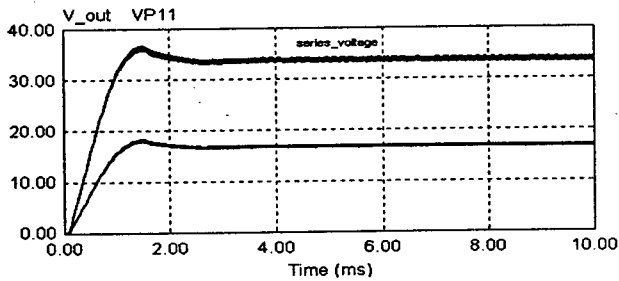


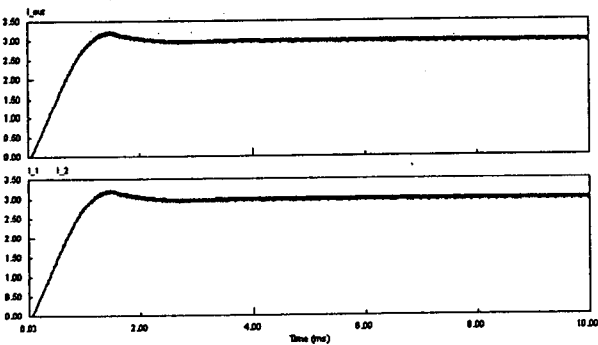
그림 6 컨버터 어레이시 P-V 특성 곡선
Fig. 6 P-V Characteristics Curve of array Converter.



(b) 병렬 연결시 전류 리플률[%]
(b) Current Ripple on Shunt Converter

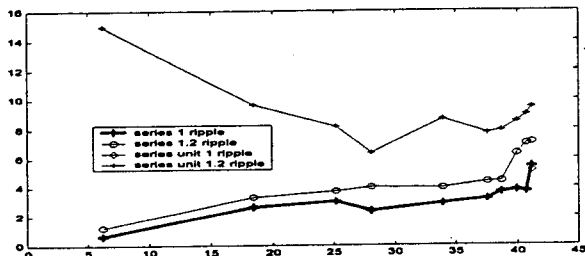


(a) 컨버터 직렬 연결시 전압 파형
(a) Current wave form of Series Converter



(b) 컨버터 병렬 연결시 전류 파형
(b) Current wave form of Shunt Converter

그림 7 컨버터 연결에 따른 전압, 전류 파형
Fig. 7 Voltage, Current Wave form of Shunt, Series Converter.



(a) 직렬 연결시 전압 리플률
(a) Voltage Ripple on Series Converter

그림 8 리플률
Fig. 8 Ripple Ratio.

5. 결론

본 논문에서는 태양전지 어레이의 가상구현을 위한 컨버터를 설계하고 그 특성을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 직.병렬연결시 출력임피던스변화에 따른 출력특성 변화가 작다는 것을 확인할 수 있었다.

첫째로, 병렬연결시 전류대비 2배의 전압변화가 발생하는 병렬특성을 확인하였고, 직렬연결시 전압대비 2배의 전류변화가 발생하는 직렬특성을 확인할 수 있었다.

두 번째로, 조건변화시 병렬에서는 출력 전압리플 대비 각컨버터 전압리플 차이를 확인하였고, 직렬에서는 출력 전류리플 대비 각컨버터 전류리플 차이를 확인할 수 있었다.

향후 본 논문에서 얻은 이론과 결과를 바탕으로 직.병렬어레이를 가상구현하고, 온도 및 일사량 기상조건 변화에 따른 출력 특성을 변화를 연구하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Kame Khouzam, Keith Hoffman, "Real Time Simulation of Photovoltaic Modules", Solar Energy, Vol. 56. pp. 524~526, 1996.
- [2] 최해룡 "태양전지의 가상구현을 위한 정전력제어에 관한 연구", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 10~13, 2000.
- [3] Y. Iida, Y. Fuchikami and Y. Neba, "Analysis of step-up chopper circuit with photovoltaic arrays", IEEE Japan Annual Meeting, Vol. 4, No. 841, pp. 4/180, 1998.
- [4] Jae-hyun Yoo, "Analysis and Control of PWM Converter with V-I Output Characteristic of Solar Cell", ISIE 2001.