

Buck Converter를 이용한 태양광 시뮬레이터 개발

송두영*, 곽상현*, 박성준*, 이민중*
*전남대학교

Embodiment of Photovoltaic Simulator based on Buck Converter

Doo-Young Song* · Sang-Hyun Kwak* · Sung-Jun Park* · Min-Jung Lee*
*Chonnam National University
E-mail : songding@daum.net

요 약

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 인버터 개발에 필요한 태양광 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 태양광 시뮬레이터를 one-diode 등가회로를 기반으로 기존의 제품을 수치적으로 모델링하고, P-V 특성곡선을 이용하여 인버터가 MPPT를 수행 할 최대값 및 최소값을 찾아서 파라미터를 설계하였다. 그리고 설계된 파라미터를 PSIM으로 검증하였으며, Matlab을 이용하여 주파수 분석을 수행하였다.

ABSTRACT

This paper introduces the photovoltaic(PV) simulator for the inverter of PV energy system. In order to embody the PV simulator, the conventional solar cell is numerically modeled based on the one-diode equivalent circuit. With the P-V relationships, we find the maximum and minimum power which is needed during the inverter performs the MPPT algorithm and design the parameter based on the maximum and minimum power.

Finally, this paper verifies design parameters numerically through the PSIM and analyzes the PV simulator in the frequency domain using Matlab.

키워드

Photovoltaic system, MPPT, PSIM, Matlab, P-V relationships

1. 서 론

최근 에너지자원의 이용증가와 매장된 에너지 자원의 한계성으로 인하여 대체 에너지 자원 중의 하나로써 태양에너지를 이용한 전기 에너지의 생산 메커니즘(Photovoltaic Generation System)에 관한 연구·개발이 활발히 추진되고 있다. 태양광 발전은 깨끗하고 안전하며, 연료의 수송, 운전 및 보수가 불필요한 에너지자원으로써 무한정으로 전기를 얻을 수 있는 미래의 에너지원이다. 따라서 국내에서도 폭넓은 보급을 위해 특성 및 제어에 관한 전반적인 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

태양광발전시스템의 연구에 있어 기후 조건은 절대적인 요인이다. 일사량, 온도, 구름, 등 이러한 요인들은 자연적인 것들이어서 인위적으로 변경할 수 있는 것이 아니다[1-3].

본 논문에서는 DC-DC 컨버터(Buck 컨버터) 기반 시뮬레이터를 개발하였다. 태양광 시뮬레이터

를 개발하기 위해서 one-diode 등가회로를 기반으로 기존의 제품을 수치적으로 모델링하고, P-V 특성곡선을 이용하여 인버터가 MPPT를 수행하기 위한 최대값 및 최소 값을 수치적으로 구하였다. 그리고 수치적으로 구한 최대 및 최소 값을 기반으로 DC-DC 컨버터의 파라미터를 설계하였다. 마지막으로 설계된 파라미터에 대한 타당성을 PSIM으로 검증하였으며, 또한 Matlab을 이용하여 주파수 분석을 수행하였다.

II. 태양광 모듈

2.1 태양전지

태양전지는 반도체의 성질을 이용하여 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치이다. 태양전지에 빛을 조사하였을 때 전기가 발생하는 반응

은 전자가 발생되는 현상과 발생된 전자가 외부 회로로 내보내어 전기를 유도하는 과정의 두 가지의 현상이 연속적으로 일어나는 것으로 설명할 수 있으며 이와 같은 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다.

p-n접합 구조를 가진 태양전지에 외부로부터 광자(Photon)가 태양전지의 내부로 흡수되면 광자가 가지고 있는 에너지에 의해 태양전지 내부에서 전자(Electron)와 정공(Hole)의 쌍이 생성된다. 생성된 전자-정공 쌍은 p-n접합에서 발생한 전기장에 의해 전자는 n형 반도체로 이동하고 정공은 p형 반도체로 이동해서 각각의 표면에 있는 전극에서 수집된다. 각각의 전극에서 수집된 전하는 외부 회로에 부하가 연결된 경우 부하에 흐르는 전류로서 부하를 동작시키는 에너지가 된다 [3].

이와 같은 태양전지에 태양광을 조사하였을 때 전기에너지로 변환되는 부분에 대한 one-diode 등가회로로 표현하면 그림 1과 같다.

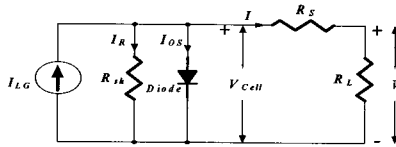


그림 1. 태양전지 등가회로:

2.2 특성방정식

식 1을 이용하여 출력전류를 구할 수 있다. 그리고 식 2는 태양광모듈에 빛을 조사하였을 때 생성되는 전류를 나타내고, 식 3은 모듈 역 포화 전류를 나타낸다[4].

$$I = I_{LG} - I_{OS} \left\{ \exp \left[\frac{q(V + I R_s)}{A k T} \right] - 1 \right\} - \frac{V + I R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_{LG} = [I_{SCR} + K_f(T - T_r)] \frac{\lambda}{1000} \quad (2)$$

$$I_{OS} = I_{OR} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q E_{GO}}{B K} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3)$$

여기서 T 는 모듈 온도를 나타내고, q 는 전하량, k 는 볼츠만 상수, K_f 는 단락전류에 대한 온도 계수, λ 는 태양광의 세기, I_{SCR} 는 25°C에서 단락 전류, E_{GO} 는 실리콘의 에너지 갭, $B=A$ 는 ideality factors, T_r 는 기준전압, I_{OR} 는 T_r 에서 모듈의 포화전류, R_s 는 직렬저항 그리고 R_{sh} 는 병렬 저항을 나타낸다.

2.3 태양광모듈 특성곡선

태양광 특성방정식을 통해 이론적인 V-I-P 특성곡선을 그릴 수 있다. 그림 2는 다스텍사의 50KW급 태양광 어레이(직렬 21, 병렬 12)에 대한

V-I-P 특성곡선을 나타내었다. 그림 2는 일사량의 변화에 따른 태양광 출력특성이 변하는 것을 보여주고 있다.

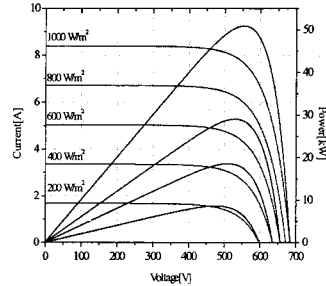


그림 2. 태양광 모듈 V-I-P 특성곡선

2.4 최대 전력 추적(MPPT)

일반적인 전기 에너지원은 선형 전압원의 특성을 가지고 있기 때문에, 부하의 특성에 관계없이 항상 일정한 전압을 유지한다. 이러한 전기 에너지원은 하나의 동작점 만 존재하기 때문에 어떤 입력/출력 조건에서도 항상 안정한 시스템으로 동작한다[2].

그러나 태양전지는 각각 다른 전압, 전류 조건에서 같은 전력을 출력하는 2개의 동작점을 가지고 있다. 이러한 특성 때문에 원하는 동작점에서 안정적인 출력 전력을 얻기 위해 태양전지의 전압, 전류의 동작점을 조절해 줄 필요가 있다.

그림 3은 I-V와 P-V관계를 이용하여 최대전력 포인트를 나타내었다.

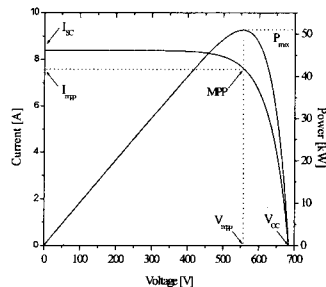


그림 3. Matlab 모델을 이용한 I-V와 P-V관계를 이용한 최대전력포인트(1kW/m²)

III. 태양광 시뮬레이터

태양광 시뮬레이터는 DC-DC 컨버터의 출력전류를 피드백 받아 태양광 특성방정식에 의해 출력전류와 대응되는 전압을 계산한다.

계산된 전압과 DC-DC 컨버터 출력전압을 비교해서 최종적으로 DC-DC 컨버터의 출력전압을 태양광 발전 출력 특성과 같은 출력전압으로 제

어하는 방식이다.

DC-DC 컨버터의 출력단자에 가변저항을 연결하여 Open-circuit에서 Shorted-circuit이 되도록 가변저항을 조절한다면 실제 태양광발전시스템에서 출력되는 V-I-P 특성과 같은 출력특성을 낼 수 있다.[1,5].

3.1 MPPT에 따른 파라미터 설정

본 논문에서 개발하고자 하는 태양광 시뮬레이터는 다스테크의 50KW(직력 21, 병렬 12)의 태양광 모듈의 특성곡선을 Matlab을 통하여 구한다음 MPPT를 포인터의 최대값와 최소값을 찾아서 DC-DC 컨버터의 파라미터를 설정하였다. 그림 4는 DC-DC 컨버터를 나타내었다.

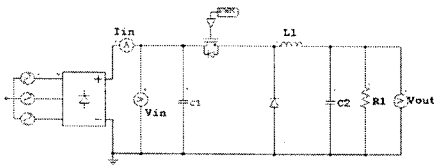


그림 4. DC-DC 컨버터

그림 5는 P-V특성곡선에서 인버터가 MPPT포인터를 추적할 때 최소점과 최대점의 전압 및 전력 값을 나타내었다.

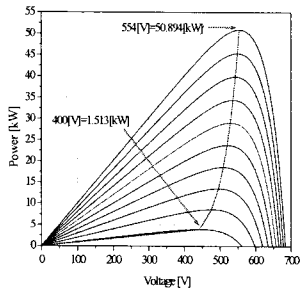


그림 5. 전압 및 전력의 최대값 및 최소값

그림 5에서 태양광 발전시스템의 인버터가 최대전력포인터를 추적할 때 태양광 모듈에서 400[V]일 때 1.513[kW]의 최소전력을 발전할 수 있으며, 554[V]에서 최대전력인 50.894[kW]를 발전할 수 있다.

그림 4의 DC-DC 컨버터에서 400[V]일 때 인덕터에 흐르는 전류가 연속모드가 되기 위한 최소 L값은 식 4를 이용하면 구할 수 있다.

$$L_{crit} = \frac{1-D}{2} RT \tag{4}$$

여기서 D는 듀티비를 나타내고, R은 부하저항 그리고 T는 스위칭 주파수를 나타낸다.

그러나 부하에 최소 부하전류를 흐르게 하기 위한 L값은 식 5를 이용하여 구할 수 있다.

$$L = \frac{V_o}{2I_{omin}}(1-D)T \tag{5}$$

또한 출력전압의 리플을 줄이기 위한 C의 값은 식 6으로 나타낸다.

$$\frac{\Delta v_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \tag{6}$$

IV. 수치실험 및 특성 분석

4.1 PSIM 모델 검증

본 논문에서는 태양광 발전시스템의 인버터가 최대전력포인터를 추적할 때 태양광 모듈에 발전할 수 있는 최소값 과 최대값을 이용하여 파라미터를 구하면 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이터 파라미터

파라미터	값	파라미터	값
입력전압	600V	인덕턴스	1mH
출력전압	400V ~ 554V	콘덴서	1000uF
스위칭주파수	25kHz	부하저항	106[Ω] ~ 6[Ω]
듀티비	50%		

표 1과 같이 설정된 파라미터를 이용하여 인덕턴스에 흐르는 전류가 연속인가를 확인하기 위해서 PSIM을 이용하여 검증을 하였다.

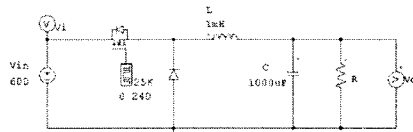


그림 6. DC-DC 컨버터 PSIM 모델

그림 7은 PSIM으로 설계된 파라미터에서 인덕턴스에 흐르는 전류의 연속모드 동작상태를 나타내었다. 그림 7(a)는 400V에서 최소값을 가질 때를 나타내었으며, 인덕터에 흐르는 전류는 3.78A이고 최소값이 0보다 큰 값을 가지는 연속모드 동작상태임을 알 수 있다. 그리고 그림 7(b)는 부하전류가 높을 때를 나타내었다.

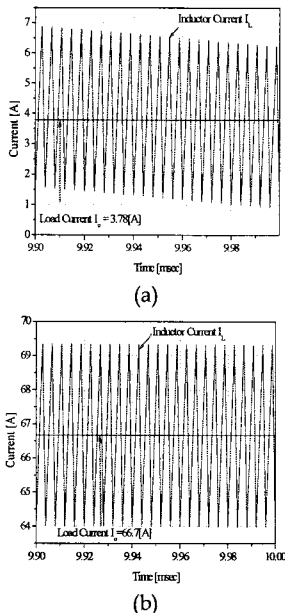


그림 7. PSIM 모델을 이용한 시뮬레이션 결과 (400V) : (a) 부하저항 106[Ω] (b) 부하저항 6[Ω]

4.2 Matlab 을 이용한 주파수 분석

본 논문에서는 설계된 파라미터를 기반으로 DC-DC 컨버터의 주파수 특성을 분석하였으며 분석도구로는 Matlab 을 사용하였다.

그림 8은 MPPT의 최소 값과 최대 값을 가질 때의 보드선도를 나타내었다.

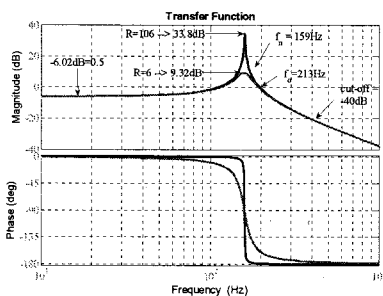


그림 8. MPPT의 최소 값과 최대 값을 가질 때의 보드선도

그림 8에서 시스템 고유진동수는 159Hz이며, 교차주파수는 213Hz을 알 수 있다. 그리고 저주파영역에서의 DC 게인 값은 -6dB를 가지고 있으며 최소값을 가질 때의 $Q(=\frac{1}{2\xi})$ 은 33.8dB이고 최대값에서는 9.32dB이므로 시스템의 응답이 정상상태로 갈 때 높은 오버슈트가 발생됨을 알 수 있다. 그리고 L-C 필터의 영향으로 고주파에서는

cut-off가 -40dB을 나타내고 있다.

향후 DC-DC 컨버터의 제어기를 구성하기 위해서는 저주파 영역에서의 DC 게인값을 높여 정상상태에서의 오차를 줄여야 하며, 고주파 영역에서는 위상이 -180°로 급격히 떨어지므로 위상여유를 높일 필요가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 연계형 태양광 발전시스템의 인버터를 위한 태양광 모듈 시뮬레이터를 설계·분석하였다. 태양광 모듈 시뮬레이터는 다스테크의 50kW 모듈에 대해 one-diode 등가회로 기반으로 한 V-I-P 특성곡선을 구하였고, V-P 특성곡선에서 최대전력 포인터를 찾아서 인버터가 MPPT를 수행할 때, 최소값 과 최대값을 구하여 DC-DC 컨버터 파라미터를 설계하였고, PSIM 모델을 이용하여 인덕터에 흐르는 전류가 연속모드에서 동작되는 것을 확인하였다.

마지막으로 DC-DC 컨버터의 전달함수를 구하여 Matlab을 이용하여 주파수분석을 수행하였다. 향후에 설계된 시뮬레이터를 실제 스택을 만들어서 실험을 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] 박해용, 이석주, 김재호, 박민원 and 유인근, "태양광 발전시스템 모의를 위한 PV simulator 개발," 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, vol. 7, pp. 18-20, 2007.
- [2] 박희성, 장성수, 장진백, 박성우 and 이종인, "태양전지 배열기의 최대 전력 추적 알고리즘 개발," 항공우주기술 제4권 제1호, pp. 77-85.
- [3] 강종석, 이상필 and 허훈, "태양전기 기술 개발 동향," R&D 동향분석보고서.
- [4] Eftichios Koutroulis, Kostas Kalaizakis and Nicolas C. Voulgaris, "Development of aMicrocontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System," IEEE Trans. Power Electronics, vol 16, no. 1,pp.46-54 2001.
- [5] Kame Khouzan and Keith Hoffman, "Real-Time Simulation Technique of Photovoltaic Genration System using RTDS," IEEE Trans. of Energy Conversion, vol. 19. no. 6. pp.521-526, 1996.