

새로운 방식의 단상 인버터를 이용한 태양광 시스템 구현

*홍정표, **김태화, ***원태현, *권순재 *홍순일, ****김종달
*부경대학교, **항공기능대학, ***동의과학대학, ****동명대학

A New Solar Energy Conversion System Implemented using Single Phase Inverter

Jeng-Pyo Hong, Tae-Hwa Kim, Tae-Hyun Won, Soon-Jae Kwon, Soon-Ill Hong,
*Pukyong National Univ., **K.A.P.C. DongEui College, ****TongMyong College,

ABSTRACT

In this paper proposed method of maximum power point tracking using boost converter for a connected single phase inverter with photovoltaic system. The maximum power point tracking control is based on generated circuit control MOSFET switch of boost converter and single phase inverter uses predicted current control to control four IGBT's switch in full bridge. The predicted current control provide current with sinusoidal wave shape and inphase with voltage.

The generation control circuit allows each photovoltaic module to operate independently at peak capacity, simply by detecting of the output power of the system.

Furthermore, the generation control circuit attenuates low-frequency ripple voltage, which is caused by the full-bridge inverter, across the photovoltaic modules.

Consequently, the output power of system is increased due to the increase in average power generated by the photovoltaic modules. The effectiveness of the proposed inverter system is confirmed experimentally and by means of simulation.

1. 서 론

최근 지구환경의 관심 때문에 자연 에너지원에 대해 많은 흥미가 고조되고 있고 태양광 발전 시스템은 가장 유용한 자연 에너지 중의 하나이다. 태양광(Photovoltaic) 에너지의 전기에너지 변환이 점점 증가되고 있다 [1, 2]. 그러나 태양에너지의 전기에너지 변환 시스템은 PV의 출력 효율을 증가시키기 위한 최대 전력점에서 동작 하도록 하는 기술은 매우 어렵다. PV 에너지 변환 시스템은 비선형이고 PV 모듈 발생 전력은 어레이 단자의 동작전압과 전류에 의존한다. 또한 최대 전력 점은 각 어레이 전압 레벨과 온도에 따라 변하기 때문에 최대 전력점을 추적하기는 매우 어려운 문제이다.

이러한 문제들을 극복하기 위해서 최대 전력점 추적제어 기술, 고효율 에너지 변환 컨버터 기술은 반복하여 연구되고 있다 [1, 2].

교외 거주지에 태양광 발전 시스템을 설치할 때 PV 모듈은 일반적으로 지붕 위에 경사를 두고 설치한다. 이 경우 구름, 나

무, 인접 빌딩, 태양의 방향 등으로 모듈에 부분적인 그늘이 생겨 전력 발생이 고르지 못하다.

최대 전력점 추적을 위한 일반적인 요구 사항은 시스템이 간단, 가격 저렴, PV 변화에 대한 빠른 추적성 및 출력 변동이 적은 것이다. 그리고 PV 모듈에 빛이는 태양광 량의 불평행에 대하여 최대 출력을 얻는 것이다. PV의 출력 전압, 전류 특성은 비선형 이므로 효과적으로 제어하기가 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위한 효과적인 방법이 필요하다. 이 문제를 해결하기 위해서 가변 콘덴서 사용, 일정 전압제어 최대전력 점 추적 방법 등이 제안되어 있다 [3, 4, 5].

그리고 태양 발전의 직류 전력은 교류전력으로 변환이 필요하고 적절한 주파수와 크기를 갖는 DC/AC 변환은 전동기 구동, UPS(Uninterrupted Power Supply) 및 태양 에너지 발전의 상용전원에 연계 등에 많이 적용되고 있다. 이 경우 인버터에 관련된 가장 중요한 문제는 출력전압에 나타나는 고주파 외란(Harmonic distortion)이고 이 고주파 외란은 경우에 따라 사용된 변조방식에 의존하는 것이 크다. 요즘 저차 주파 제거에 의해 외형이 적은 출력 전압을 얻는 PWM 인버터 회로 기술이 많이 연구 되어 있다 [4, 5].

또한 고주파 스위칭에서 발생하는 스위치 손실을 감소하여 인버터 효율을 증대하는 방법이 제안되고 있다 [6]. 현재 2-레벨 변조와 3-레벨 변조방식이 일반적으로 사용되고 있고 그 외 인버터 회로 개선에 의해 고주파 외란을 줄이는 방법이 연구되고 있지만 아직 개선의 여지가 있다고 생각된다.

따라서 본 연구는 태양광 모듈 발전전력의 최대전력 점 추적과 전파 브리지 인버터의 출력 전압의 파형 개선을 위하여 PV 발생전력 제어를 하는 부스터 컨버터가 있는 인버터 시스템을 제안한다. 그리고 여기에 적용된 전파 브리지 인버터의 PWM 방법을 개선하여 출력 전압 파형을 개선하고 스위칭 손실을 줄이는 방법을 나타낸다. 그 방법은 풀 브리지 인버터의 변조 기술에서 스위치 S_1, S_2 는 고주파 변조에 의해 동작하고 반면에 S_3, S_4 는 위상을 결정하고 저주파 변조에 의해 동작한다. 이렇게 하여 스위칭 손실을 줄일 수 있다.^[1]

2. 태양광 발전

2.1 발생 전력의 특성 해석

조형물 외부에 설치되어 있는 PV 모듈은 그늘이 가린 부분과 그렇지 않는 부분이 있어 태양 에너지 변환이 불균형 이고

그늘이 가린 부분은 발생 전류가 감소하게 된다. 그림 1은 2개의 병렬 바이패스 다이오드와 2개의 PV 모듈이 직렬로 연결된 전기적 등가회로이다. 이 경우 2개의 PV 모듈은 그늘이 가린 부분과 그렇지 않은 부분이 있어 불균형 전력 발생이 된다. 그림 2는 이 경우 각 PV 모듈의 출력 전압에 대한 출력 전류의 특성이고 그림 3은 출력전압에 대한 직렬 연결된 모듈의 발생 전력특성을 나타낸다.

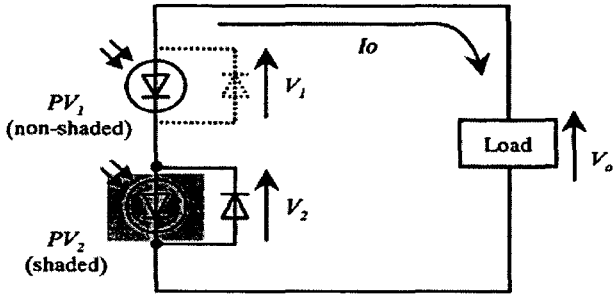


그림 1 Series connection of photovoltaic module

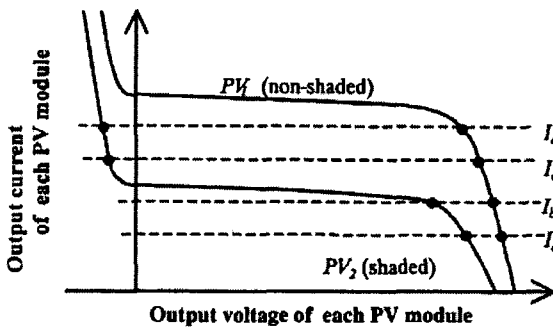


Fig.2 Output voltage versus current characteristic for generation of photovoltaic module

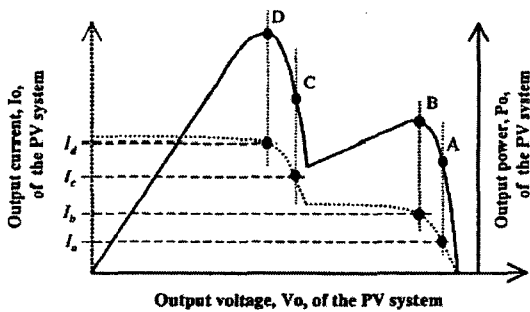


Fig.3 Output voltage versus power characteristic for generation of photovoltaic module

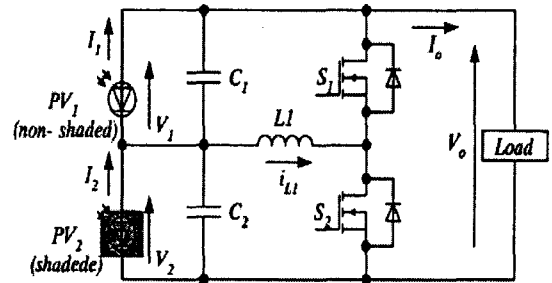
그림 3에서 부하전류가 I_a 에서 I_d 로 증가할 때 두 PV 모듈 전압의 합인 출력전압과 총 발생전력은 다음과 같이 변한다. 동작점 A는 각 PV 모듈은 전력을 발생하지만 그 중 하나는 최대전력을 발생하지 않는다. 동작점 B는 그늘진 모듈 PV_2 는 최대전력을 발생하지만 그늘지지 않은 PV_1 은 최대 전력을 발생하지 않는다. 동작점 C는 PV_1 은 전력을 발생하

지만 PV_2 는 전력을 발생하지 않고 발생 전류는 바이패스 다이오드 D_2 를 통하여 흐른다. 동작점 D는 PV_1 은 최대전력을 발생하지만 PV_2 는 어떤 전력도 발생하지 않는다.

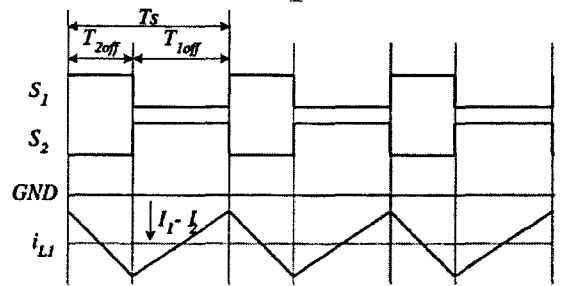
따라서 발생 전력은 각 PV 모듈을 제어하지 않으면 최대 전력점 추적을 위한 각 PV 모듈을 제어조건을 결정하기 어렵다 그리고 직렬로 연결된 PV 모듈은 각각 최대 전력 발생 조건에서 운전되지 않기 때문에 시스템의 최대 출력은 각 모듈이 낼 수 있는 출력의 합 보다 감소한다.

2.2 최대 전력점 제어

그림 4 (a)는 2개의 부스터 컨버터로 구성된 발생전력 제어 회로(Generation control circuits)를 나타내고 그림 (b) 스위치 S_1 , S_2 의 스위칭 시퀀스와 인덕터 L_1 에 흐르는 전류파형을 나타낸다.



(a) Circuit configuration



(b) Switching sequence

Fig. 4 Circuit configuration and switching sequence

이 회로에서 PV모듈 발생전압과 스위칭 듀티비(D) 사이에 (1), (2)이 성립한다.

$$\overline{D_1} : \overline{D_2} = V_1 : V_2 \quad (1)$$

$$\overline{D_1} + \overline{D_2} = 1$$

여기서 $\overline{D_n} = T_{(n)on} / T_s (n=1, 2)$, $T_{(n)on}$; 스위치 S_n 의 ON 시간, T_s ; 스위칭 주기는 출력전류 I_0 는 (2)이다.

$$I_0 = \frac{(V_1 I_1 + V_2 I_2)}{(V_1 + V_2)} = \overline{D_1} I_1 + \overline{D_2} I_2 \quad (2)$$

총 발생전력 $P_0 = P_1 + P_2$ 이고 (3)이 얻어진다.

$$P_0 = V_1 I_1 + V_2 I_2 = \overline{D_1} I_1 V_0 + \overline{D_2} I_2 V_0 \quad (3)$$

각 PV 모듈의 발생 전류는 전압 전류 특성에 의존하기 때문에 항상 다음조건을 만족한다.

$$\frac{\partial I_n}{\partial V_n} = \overline{D}_n \frac{\partial I_n}{\partial V_n} < 0, (n=1,2) \quad (4)$$

따라서 총 출력 대 출력 전압 특성 곡선에서 주어진 OFF 듀티비에 대하여 출력의 미분은 다음과 같이 표현 된다.

$$\frac{\partial P_0}{\partial V_0} = I_a \frac{\partial P_0}{\partial V_0} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial P_0}{\partial I_a} = V_0 \frac{\partial P_0}{\partial I_a} = 0 \quad (6)$$

이 결과는 주어진 off 듀티비에 대하여 총 출력 특성 곡선에서 하나의 최대점이 존재함을 의미한다. 따라서 이 최대 전력점에서 미소 편차는 다음과 같다.

$$e(k) = \frac{\Delta I}{\Delta V} + \frac{I}{V} = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{\Delta P}{\Delta I} \quad (7)$$

$e(k)$ 를 PI제어 하여 최대 출력점 제어를 행할 수 있다.

그림 5는 도출한 최대 전력점 제어 식(7)에 의해 그림4(a) 부스터 컨버터와 브리지 인버터를 제어하는 블럭선도를 나타낸다.

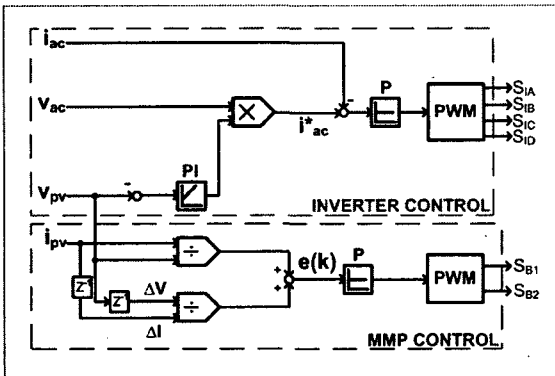


그림 5 제한한 태양광 단상 인버터 시스템의 제어 블럭선도

최대 전력점 동작은 최대 출력점에서 미소 편차 $E(k)$ 를 PI 제어하여 부스터 컨버터의 PWM 조작신호를 얻는다.

제한한 제어방법은 다음과 같은 효과가 있다.

(a) GCC의 OFF 듀티비에 대응하는 각 PV 모듈의 발생 전력점과 총 출력 전압은 서로 독립제어 할 수 있다. (b) 주어진 OFF 듀티비에 대하여 최대 출력점은 합성 출력 특성에서 하나만 존재한다. (c) 시스템의 합성 출력전압과 듀티비를 제어함으로써 각 PV 모듈은 최대 출력점에서 동작 할 수 있다.

(d) PV 모듈의 최대 출력은 부하로 출력되고 VP 모듈의 발생전력은 출력 단으로 직접 변환되므로 시스템의 효율은 최대로 동작 한다.

3. 태양광 인버터

3.1 PWM 인버터 모델

인버터는 예측제어에 의해 직류전류를 직접 교류전류로 변환하여 정현파 교류를 출력한다. 그림 6은 IGBT 스위칭 소자와 필터를 갖는 단상 인버터의 구성을 나타낸다. 인버터의 듀티 싸이클은 인버터 전압의 크기와 ± 200 사이에 변하고

V_{invt} 는 dc-링크 전압 V_{dc} 와 듀티 싸이클에 비례한다. 여기서 단방향 PWM 전압 변조방식을 사용한다. 이 방법은 인버터 전압을 효과적으로 2중 스위칭 할 수 있기 때문에 필터를 작게 할 수 있으며 회로 구성을 쉽게 실현할 수 있다.

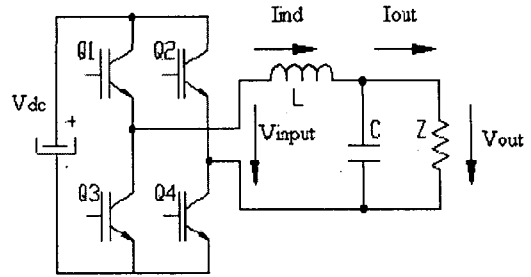


그림 6 L-C 필터를 갖는 단상 인버터

스위칭 주파수가 높다고 가정하면 식(9)과 그림 6에 기초하여 부하와 필터를 갖는 PWM 인버터는 그림 7과 같은 아날로그 모델로 나타낼 수 있다.

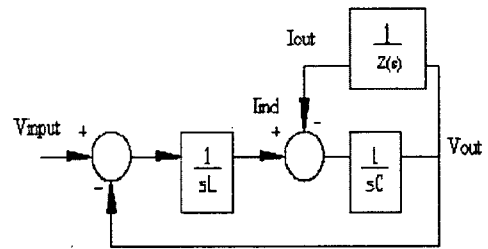


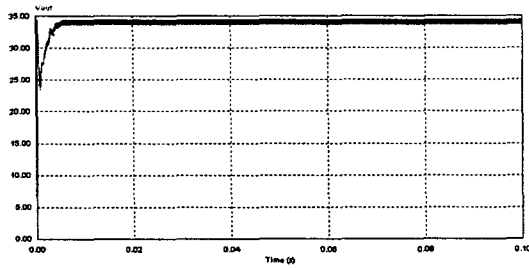
그림 7 단상 인버터의 아날로그 모델

4. 시뮬레이션

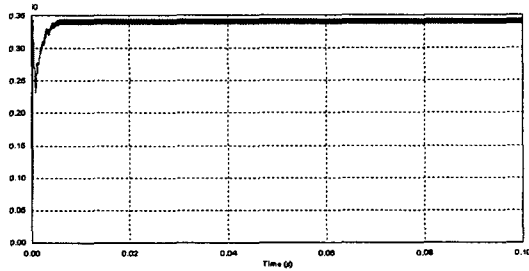
도출한 제어 이론을 확인하기 위하여 TOOL PSIM 6.0을 사용하여 시뮬레이션 검토한다. 시뮬레이션 환경은 부스터 컨버터 스위칭 소자에 MOSFET를 사용하고 반송 캐리어파는 $V_{pp}=2V$, $f=20[KHz]$, 듀티비 0.5, DC offset $=-1$ 이다. $L=0.9[mH]$, $C=0.5 [mF]$ 이다. 부하는 순 저항 부하로 하였다. 시뮬레이션은 입력 전압 $20[V]$, $R_L=100[\Omega]$ 이다.

인버터는 스위칭 소자에 IGBT를 사용하고 반송 캐리어파는 $V_{pp}=2V$, $f=1500$, 듀티비 0.5, DC offset $=-1$ 이다. 시행착오에 의해 구한 $L=0.1$, $C=1E-005$ 이다. 부하는 순 저항 부하로 하였다.

이상의 조건에서 그림 8은 부스터 컨버터의 (a) 출력 전압파형을 (b) 출력 전류 파형을 시뮬레이션 한 것이다. 이 경우 출력전압과 전류 파형은 다소 맥동이 있지만 직류 파형으로 인버터 입력으로 양호함을 알 수 있다. 그림 9은 인버터의 (a) 출력 전압파형을 (b) 출력 전류 파형을 시뮬레이션 한 것이다. 이 경우 출력전압과 전류 파형은 60[Hz] 정현파가 되고 있음을 알 수 있다.

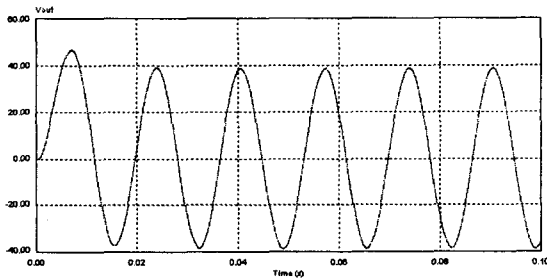


(a) 출력 전압파형

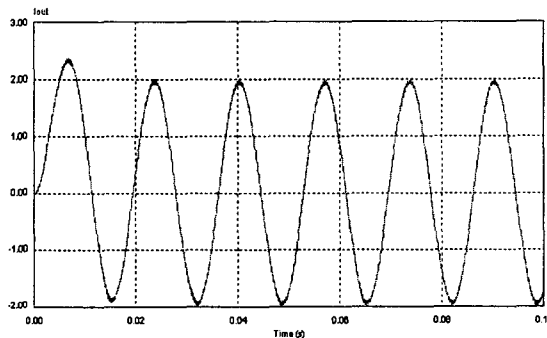


(b) 출력 전류파형

그림 8 부스터 컨버터의 전압, 전류 파형 시뮬레이션 결과



(a) 출력 전압파형



(b) 부하 전류 파형

그림 9 인버터 시뮬레이션의 (a) 전압파형, (b) 부하전류 파형

5. 결론

1) 태양광 에너지를 이용한 승압형 부스터 컨버터와 전류 원형 인버터를 수식으로 모델링하여 DSP를 이용한 태양광 인

버터 시스템을 설계 제작하였다.

2) Booster 컨버터에 의해 불균일한 PV 모듈 발생전력의 최대 전력점 제어방법을 제시하였다.

3) 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안한 태양광 인버터 시스템의 유용성을 구명하였다.

참고 문헌

- [1] k.k. Tse and Henry Shu-Hong Chang, "Decoupled Technique for the Simulation of PWM Switching Regulators Using Second-Order-Output Extrapolations", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 13, No. 2, pp. 222-234, 1998.
- [2] R. S. Lai, K. D. T. N해, " A PWM Method for Reduction of Switching Loss in a Full Bridge Inverter", IEEE Transaction on Power Electronics vol. 10, no. 3, pp. 326-332, 1995.
- [3] A. C. dos Reis, V. J Farias L. C. de Freitas, " A Full - Bridge Three Level Single Inverter with Stressless Commutation Cell and Special PWM Technique", IEEE Transaction on Power Electronics vol. 4, no. 3, pp. 551-557, 1998.
- [4] A Brambilla , " New Approach to Photovoltaic Arras Maximum Power Point Tracking ", Proceeding of 3_th IEEE Power Electronics Conference, Vol. 2, 1998, pp. 632-637.
- [5] D. B Hobm and M. E. Ropp, " Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithm Using an Experimental, Programmable Maximum Power Point Tracking Test Bed ", Proceeding of Specialists Conference, 2000, pp. 1699-1702.
- [6] W.Swieger and J. Enslin, " An Integrated Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic panel", Proceeding of IEEE Power international Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1, 1998, pp. 40-44.