

태양광 발전시스템을 위한 단상 PWM 전압형 인버터

유 택빈[°], 성 낙규^ˆ, 강 승욱^ˆ, 이 승환^ˆ, 이 훈구^ˆ, 한 경희^ˆ

*명지대학교, **상지전문대학, ***충남전문대학

A Single-phase PWM Voltage Source Inverter for Photovoltaic Generation System

Taek-Bin Yoo[°], Nark-Kuy Sung^ˆ, Seung-Wook Kang^ˆ, Seung-Hwan Lee^ˆ,
Hoon-Goo Lee^ˆ, Kyung-Hee Han^ˆ

*Myong Ji University, **Sang Ji Junior College, ***Chung Nam Junior College

Abstract - Since the residential load is an AC load, while the output of solar cell is a DC power, the photovoltaic system needs the DC/AC converter to utilize solar cell and must provide the sinusoidal wave current and voltage with unity power factor in the case of driving to interact with utility line.

It is always necessary for the output of solar cell to operate in the vicinity of maximum power point, since it is greatly fluctuated by insolation.

This paper treats that we will constitute a single phase PWM voltage source inverter and trace the modulation index which always maximize the output of solar cell in proportion to insolation variation and prove it by simulation that we can provide current wave, which is nearly sinusoidal wave with unity power factor, for load and utility line.

1. 서론

신 에너지원의 하나로 각광받고 있는 태양에너지는 청정 에너지이고, 무한정하기 때문에 대체 에너지로써 특히 주목을 받고 있으며, 이를 이용한 태양광 발전시스템(이하 PV 시스템이라 칭함)은 태양전지를 증개로 하여 직접 태양에너지를 전기에너지로 변환하는 발전방식이다.[1]

태양전지의 출력은 직류인데 비하여, 대부분은 교류부하이기 때문에 태양전지를 상용화하기 위해서는 직·교류 변환장치가 필수적이며, 상용계통과 연계하여 운전하는 경우 단위역률을 갖는 정현파 전류 및 전압을 계통에 공급해 줄 필요가 있다. 또한 태양전지의 출력특성은 일사량에 따라 크게 영향을 받기 때문에 가능한 한 많은 에너지를 태양전지에서 얻어내기 위해서는 항상 최대출력점을 추적하도록 제어하여야 하며, 축전지에 저장하거나, 또는 상용계통과 연계할 필요가 있다.

일반적으로 상용계통과 연계한 소규모 PV 시스템, 특히 개인 주택용 시스템에는 다음과 같은 인버터의 특성이 요구된다.[2][3]

(1) 소형 (2) 저가격 (3) 고효율 (4) 고신뢰성 (5) 저고조파(정현파) 출력 (6) 고역률 (7) 태양전지의 최대출력운전

본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 태양전지의 전압, 전류를 검출하여 일사량 변동에 따른 태양전지의 출력을 항상 최대로 하게하는 제어신호를 발생시켜 최대출력점 추적이 가능하고, 단위역률에서의 정현파에 가까운 전류파형을 부하 및 계통에 공급할수 있는 인버터 시스템을 구성하여 계통선과 병렬운전이 가능한 방법을 이론적으로 고찰한다.

2. 계통연계형 인버터

2.1 주회로 구성

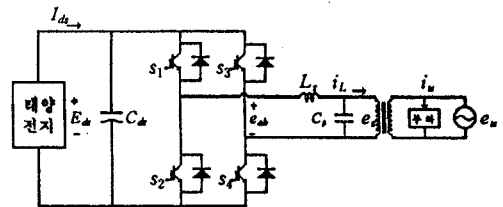


그림 1. 인버터 주회로

그림 1은 PV 시스템에 적용한 인버터로써, 태양전지 레이, 단상 브리지 인버터, LC 필터, 부하 및 계통으로 구성되어 있으며, 태양전지의 직류 출력전압 E_d 는 인버터에 의해 교류전압 e_o 로 변환되며, 부하에 전류 i_L 를 공급한다.

계통연계형 인버터는 그림 2의 전력 흐름도와 같이 직류전원과 교류부하 사이의 전력을 균형있게 유지하기 위하여 상용계통을 이용하는데, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 부족한 경우, 부족한 전력은 자동적으로 상용계통에서 공급되며, 부하가 필요로 하는 전력보다 인버터의 출력이 클 경우, 그 잉여전력은 계통선상의 다른부하에 공급되기 위하여 계통선으로 공급된다. 따라서 축전지를 사용할 필요없이 야간이나 우천시에도 항상 부하에 전력을 공급할수 있다.[4]

이러한 전력 흐름동작의 순서도를 그림 3에 나타낸다.

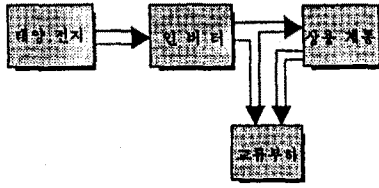


그림 2. 계통연계형 인버터의 전력 흐름도

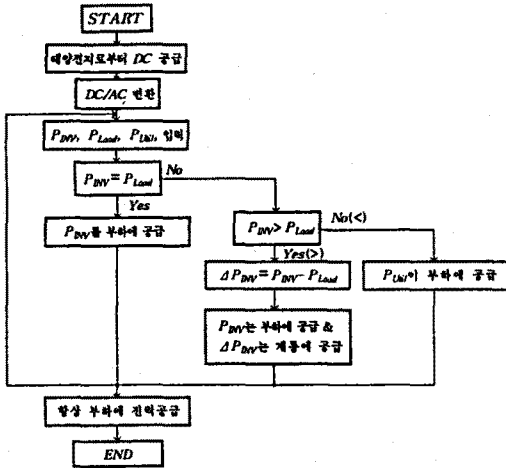


그림 3. 전력흐름동작 순서도

2.2 시스템 동작회로

계통연계시 인버터 시스템의 동작회로는 그림 4(a)와 같고, 계통측으로 흐르는 전류 i_u 는 리액터 양단의 전압 e_L 에 의해 결정된다. 그림 4(b)의 벡터도와 같이 역률 1을 만족하기 위해서는 인버터 출력전압 e_u 의 위상이 계통전압 e_u 의 위상보다 항상 앞서도록 제어하여야 하며, 또한 출력전압의 크기를 제어해야 하는 것이 필요하다.

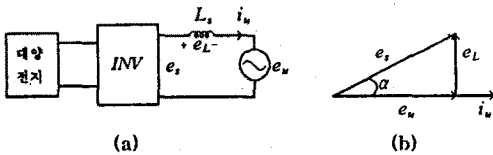


그림 4. (a) 시스템 동작회로 및 (b) 역률 1일때의 벡터도

3. 제어기법

3.1 단위역률제어

그림 5는 태양전지의 최대출력점 추적제어와 계통측 역률을 1로 제어 하기 위한 블럭도를 나타낸다. 태양전지의 전압 E_{dc} 와 전류 I_{dc} 를 검출하여 전력 P_{dc} 를 연산한후, 최대출력이 얻어지는 직류전압신호 E_{dc}^* 가 되도록 인버터의 변조비 MI 와 제어각 α 를 조정한다. 여기서, 계통측 역률 1을 만족하기 위해서 직류전압 평균치 E_{dc} 와 교류전압 실효치 E_u 는 다음 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

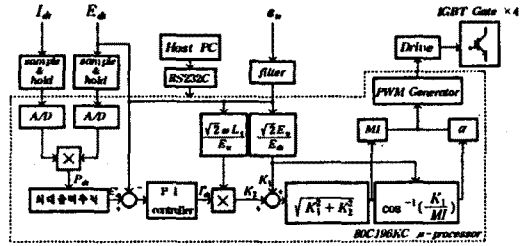


그림 5. 제어 블럭도

$$MI \cos \alpha = \frac{\sqrt{2} E_u}{E_{dc}} = K_1 \quad (1)$$

역률 1을 만족하기 위해서 MI 와 α 는 식 (2)와 같은 관계를 고려해야 한다.

$$MI \sin \alpha = \frac{\sqrt{2} \omega L_r I_u}{E_{dc}} = K_2 \quad (2)$$

식 (1)에서 제어각 α 는

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sqrt{2} E_u}{E_{dc} MI} = \cos^{-1} \frac{K_1}{MI} \quad (3)$$

이다. 식 (1), (2)로부터 변조비 MI 는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$MI = \sqrt{K_1^2 + K_2^2} = \frac{\sqrt{2}}{E_{dc}} \sqrt{E_u^2 + E_L^2} \quad (4)$$

단, $E_L = \omega L_r I_u$ 이다.

이때 최대출력시 태양전지의 전류 I_{dc} 에 대하여 계통측 전류 I_u 는

$$I_u = \frac{E_{dc} I_{dc}}{E_u} \quad (5)$$

로 주어지고, 상수 K_2 가 직류전압에서 PI 제어에 의해 결정되면, 어떤 임의의 일사량에서 태양전지의 최대출력을 계통측에 역률 1로써 공급할 수 있다.[5][6]

3.2 최대출력점 추적제어

그림 5의 최대출력점 추적제어를 위한 제어블럭도에 의해서 태양전지로부터 임의의 시점에서 샘플링된 전압, 전류를 마이크로프로세서의 A/D변환기와 곱셈기를 통하여 전력값으로 연산, 저장하고, 과거의 전력과 현재의 전력을 비교하여 현재의 전력이 크고 이전의 전압지령치가 증가 방향이었으면 전압지령치를 계속 같은 방향으로 변화시킨다. 만일, 현재의 전력이 작으면 이전의 전압지령치와 반대방향인 감소방향으로 전압지령값을 변화시켜 식 (4)의 관계에 따른 MI 를 가변하므로 일사량, 온도변화에 따라 항상 인버터가 최대출력점을 추적하고 역률 1을 유지하기 위한 α 제어를 동시에 행하도록 제어를 한다.

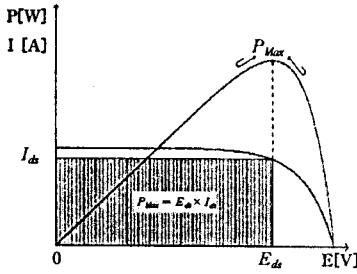


그림 6. 태양전지의 출력특성곡선

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 전력변환기에 스위칭함수를 부가하여 시스템을 모델링 하였으며, 그림 1에서 인버터 출력전류 i_L 와 출력전압 e_s 를 상태변수로하여 상태방정식으로 표현하면 식 (6)과 같다.

$$P \begin{bmatrix} i_L \\ e_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L_s} \\ \frac{1}{C_p} & -\frac{1}{RC_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ e_s \end{bmatrix} + \frac{1}{L_s} \begin{bmatrix} SE_{dc} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 S는 스위칭함수로서,

$$S = g_1 - g_2 \quad (7)$$

이며, 변수 g_1 과 g_2 는 스위칭에 따른 변수로서 도통시 1, 소호시 0 이다. 단, P는 미분연산자 (d/dt) 이다.

그림 7, 8, 9, 10은 시뮬레이션 결과를 나타내며, 직류 입력전압 E_{dc} 는 일정하다는 조건하에서 수행하였다. 시뮬레이션 파라메타는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라메타

DC 입력전압	$E_{dc} = 160$ [V]
인덕턴스	$L_s = 5.5$ [mH]
필터 캐패시턴스	$C_p = 10$ [μ F]
부하저항	$R_o = 20$ [Ω]
캐리어주파수	$f_c = 4$ [kHz]
샘플링 시간	$T_s = 250$ [μ S]

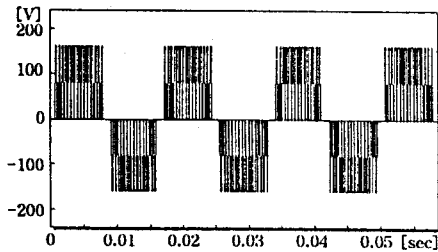


그림 7. 브리지 출력전압파형

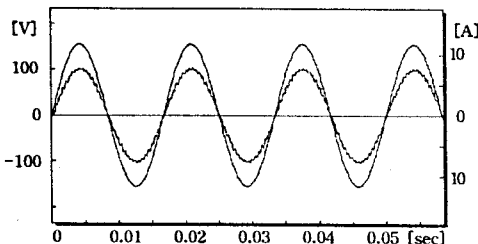


그림 8. 계통전압 및 부하전류 파형

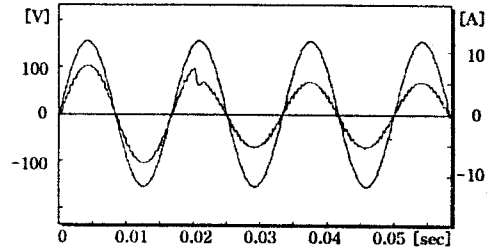


그림 9. 부하가변시 계통전압 및 부하전류파형

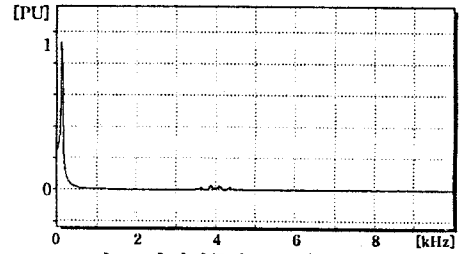


그림 10. 출력전류의 고조파 스펙트럼

5. 결론

본 연구에서는 직류 전압원으로 태양전지를 사용한 단상 PWM 전압형 인버터를 구성하여 상용계통과 연계 운전하는 방식에 대하여 이론적으로 고찰하였으며, 변조비 M 와 제어각 α 를 동시에 각각 제어하여 단위역률에서의 정현파에 가까운 전압, 전류파형을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] S.Nonaka, K.Kesamaru, K.Yamasaki, et al, "Interconnection System with Sinusoidal Output PWM Current Source Inverter between Photovoltaic Arrays and the Utility Line," IPEC-Tokyo, pp.144-151, 1990.
- [2] Sakutaro Nonaka, "A Suitable Single-phase PWM Current Source Inverter for Utility Interactive Photovoltaic Generation System," JIEE, Vol. 114, No. 6, pp. 631-637, 1994.
- [3] 정연택, 한경희, 이승환 외, "송강압초퍼에 의한 태양전지의 최대출력 추적제어," 전기학회 논문지, 제43권 11호, pp. 1846-1854, 1994.11.
- [4] 한전 기술연구원, "소규모 계통선 연결형 태양광발전 시스템 개발," KRC-89G-J08, 1992.8. pp.149-151.
- [5] Sakutaro Nonaka, "A Novel Single-phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Residential Photovoltaic Power Generation System," JIEE Vol. 115, No. 2, pp.115-118, 1995.
- [6] 根葉 保彦, 東 眞喜夫, 野中 作太郎, "系統連系太陽光発電システムの最大出力点追従制御," 平成7年日本電氣學會全國大會 講演論文集, No. 753, pp. 4-124, 1995. 3.