

PWM 컨버터를 이용한 계통연계형 태양광발전 시스템

정정훈*, 조정민*, 전기영*, 이승현**, 오봉환***, 김성남³, 김용주³, 한경희*
 *명지대학교, **대덕대학, ***명지전문대학, ¹(주)두이전기통신, ²동양공업전문대학

A Utility Interactive Photovoltaic Generation System Using PWM Converter

J.H. Chung¹, J.M. Jho², K.Y. Jeon³, S.H. Lee^{**}, B.H. Oh^{***}, S.N. Kim³, Y.J. Kim³, K.H. Han^{*}
¹Myongji Univ., ²Taedok College, ³Myongji College, ¹Tole-Tec Co., ²Dongyang Technical College

Abstract - Since the residential load is an AC load and the output of solar cell is a DC power, the photovoltaic system needs the DC/AC converter to utilize solar cell. In case of driving to interact with utility line, in order to operate at unity power factor, converter must provide the sinusoidal wave current and voltage with same phase of utility line. Since output of solar cell is greatly fluctuated by insolation, it is necessary that the operation of solar cell output in the range of the vicinity of maximum power point. In this paper, DC/AC converter is three phase PWM converter with smoothing reactor. And then, feedforward control used to obtain a superior characteristic for current control and digital PLL circuit used to detect the phase of utility line.

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 어떤 환경오염도 유발시키지 않으면서 빛 에너지를 직접 전기 에너지로 변환할 수 있기 때문에 대체에너지로 주목받고 있다. 최근의 반도체 기술 및 제조공정의 발달로 태양광 발전 시스템은 기존의 화석연료 및 기타의 발전시스템과 충분히 경쟁을 이룰 수 있을 것으로 사려된다. [1]-[3]

태양광 발전시스템은 태양전지에서 출력되는 전력을 수용자가 안전하게 양질의 전기를 사용할 수 있도록 하는 전력변환 제어시스템이라 할 수 있다. 태양전지의 출력은 직류인데 비하여, 부하의 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 최대출력을 추종하도록 제어해야 한다. [4]-[5]

본 논문에서는 PWM 컨버터를 이용하여 태양광발전 시스템을 구성하였다. PWM 컨버터를 이용한 시스템의 구성은 직렬 리액터를 사용함으로써 기존의 절연변압기를 사용한 방식에 비하여 시스템의 소형화를 추구하였다.

시스템의 안정성을 향상시키기 위하여 디지털 PLL 회로를 구성하여 계통전압과 태양광발전 시스템의 위상 동기화를 시키고, 빠른 전류응답을 얻기 위하여 feedforward 제어를 적용하였으며, PWM 컨버터를 이용하여 일사량 변동에 따른 태양전지의 출력을 항상 최대로 하였다.

본 시스템은 한 여름의 에어컨 사용등의 급격한 수요 증가에 의해 발생되는 컷두부하에 의한 전력부족현상을 해소할 수 있도록 태양전지로부터 발생된 출력을 단위역률로 부하에 공급할 수 있도록 하였고, 임의전력분 발생 시 단위역률로 계통에 공급하여 상용계통과의 고역률 연계를 가능하도록 하였다. 이러한 동작특성을 MATLAB Simulink를 이용한 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

2. 계통연계형 시스템

2.1 전체 제어 시스템

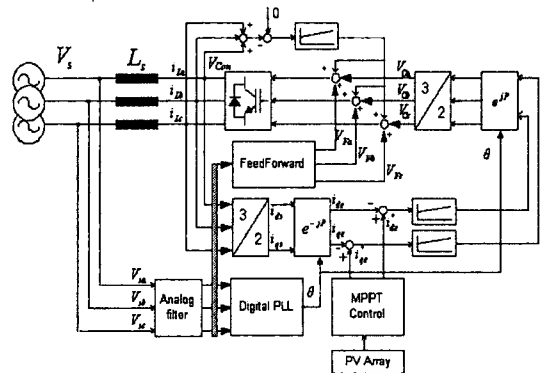


그림 1. 제안된 시스템의 제어블록도

그림1은 PWM 컨버터를 이용한 계통연계형 태양광발전 시스템의 제어블록도를 나타내고 있다. 전체 시스템 구성은 PWM 컨버터, PV 어레이, 그리고 직렬 리액터로 구성되어 있다. 전체적인 제어 방식은 전류 백터제어를 수행하였다.

계통으로부터 전원의 위상을 디지털 PLL회로를 이용하여 추정하고, 이를 기준으로 좌표변환이 이루어지며, 고역률 연계운전을 위한 계통전압과 태양광발전 시스템의 위상동기화를 시켰다.

PWM 컨버터는 태양전지의 최대출력점 제어를 수행하며, q축 전류 지령값은 태양전지의 최대 출력점을 추종하는 시점에서의 전류값이 된다. 또한 컨버터의 계통연계시 발생할 수 있는 DC 오프셋 전류를 보상하기 위해서 오프셋 전류 제어가 구성되어 있다.

2.2 Feedforward 제어기

전류지령에 대한 부하 전류응답 즉, 전체전달함수

$$\frac{i_L}{i_L^*} = G(s) \text{ 를 구하면 식(1)과 같다.}$$

$$\frac{i_L}{i_L^*} = \frac{\frac{1}{L_s s} G_c(s)}{1 + \frac{1}{L_s s} G_c s - \frac{1}{1 + \tau_c s}} \quad (1)$$

그림2는 시스템의 전류속응제어를 위한 feedforward 제어 블록을 나타내고 있다.

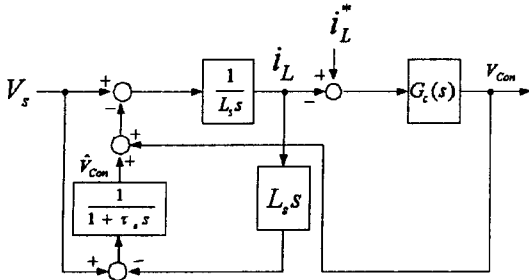


그림 2. feedforward 제어 블록도

여기에서,

G_c : 컨버터의 PI 전류제어기

i_L : 계통 주입전류

τ_c : feedforward 블록의 필터 시정수

feedforward 블록의 필터 시정수가 $\tau_c=0$ 라 한다면, 위의 시스템은 이상적인 전류 제어 루프를 구성할 수 있다. 그러나 실제 시스템에서는 미분된 전류 값을 그대로 이용할 수 없기 때문에, 본 연구에서 필터의 시정수는 $\tau_c=0.001$ 로 설정하였다. 이러한 경우 필터에 의한 지연과 시스템의 반응을 근 궤적을 통하여 살펴보았다. 그림3은 시스템에 영향을 줄 수 있는 퍼드포워드 제어기의 우세극점을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이, 우세극점은 -824 정도로 비교적 속응 응답을 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서 구현하고자 하는 태양광발전 시스템을 구성할 수 있었다.

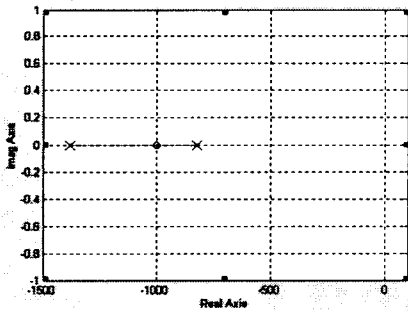


그림 3. $\tau_c=0.001$ 인 경우의 우세극점

3. 시뮬레이션

전체적인 제어특성을 알아보기 위해서 본 논문에서는 MATLAB Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그림4는 이때의 시뮬레이션에 적용된 제어 블록도를 나타내고 있다.

이 때, 시스템에 적용된 시뮬레이션 파라미터는 표1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

PWM 컨버터의 파라미터			
V_{in}	400[V]	V_{util}	220[V]
f_s	10[kHz]	L_f	10[mH]

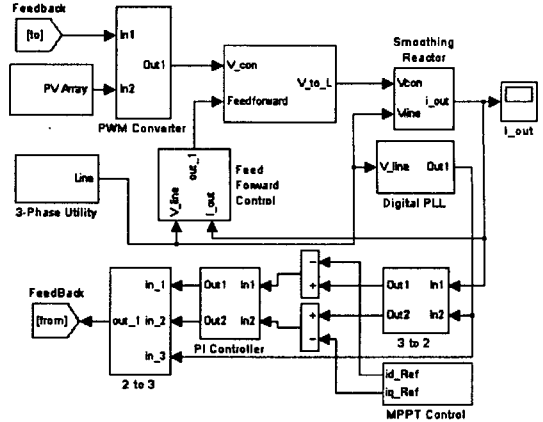


그림 4. 시뮬레이션에 적용된 제어 블록도

그림5는 본 연구에 적용된 태양전지의 특성을 나타내었다. 여기서 사용된 태양전지의 모델은 Solar Cell M65이다. 태양전지의 시뮬레이션 특성곡선에서 볼 수 있듯이 최대 출력점에서 출력 전류값은 4.2[A] 정도의 값을 보여주고 있다.

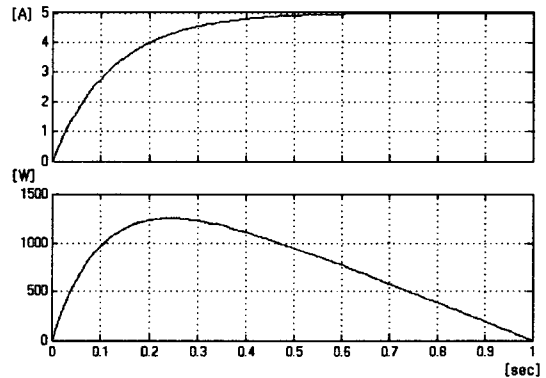


그림 5. 태양전지의 전압-전류 및 출력 특성곡선

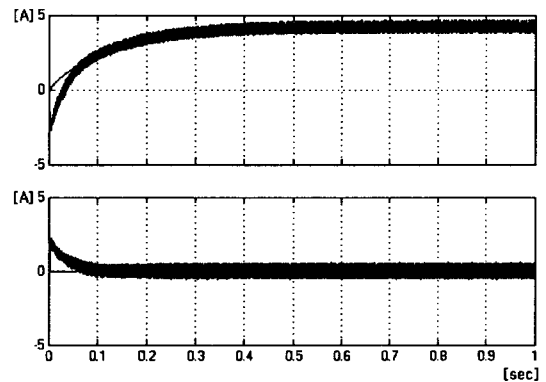


그림 6. d-q 축 지령치 전류 및 출력전류

그림6은 최대출력점제어를 위한 컨버터의 d-q축 전류 지령치 및 출력전류 파형을 나타내고 있다. 그림으로부터 초기 기동시 약간의 과도 전류현상이 나타나고 있으나 0.1초 이내에 최대출력점제어를 위한 지령치 전류를 수렴하고 있다. 이때 q축 전류지령치는 최대출력점제어

를 위한 최대출력점에서의 전류이고, d축 전류지령치는 태양전지로부터 출력된 에너지를 단위역률로 계통으로 공급하기 위한 것이다.

그림7은 그림5와 같은 태양전지 조건에서 계통으로 공급되는 전류 파형이다. 그림7의 전류 파형으로부터 최대 출력점을 추종하는데 걸리는 시간은 0.4초 정도이며, 최대 출력점의 추종시 나타나는 최대 출력점에서의 자력진동 현상은 미소하기 때문에 안정되게 전류를 공급함을 분수 있다.

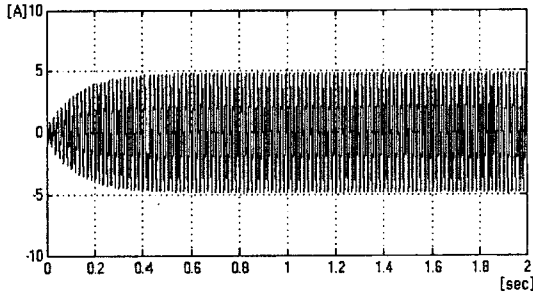


그림 7. 최대출력 제어되는 출력전류파형

그림8과 그림9는 일사량 변화시 최대 출력점 제어 전류지령변화에 의한 계통으로의 전류 공급 파형을 나타낸 것으로서, 일사량 변화에도 최대 출력점 추종을 원활히 수행하고 있음을 보여주고 있다.

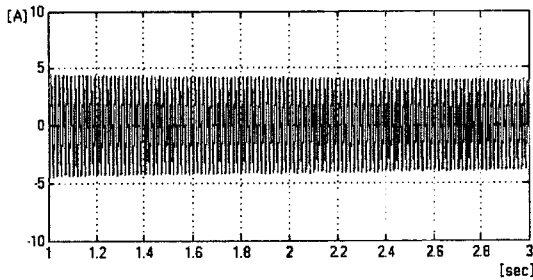


그림 8. 일사량 감소시 출력전류파형

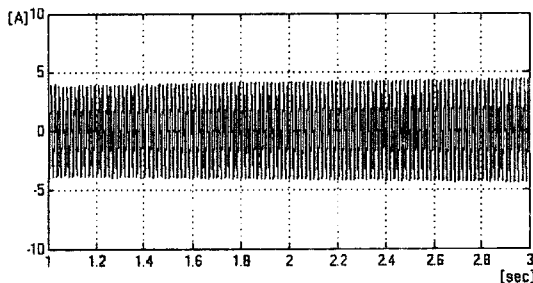


그림 9. 일사량 증가시 출력전류파형

그림10은 a상 계통전압과 컨버터의 출력전류 파형, 그리고 그 때의 출력전력을 나타낸 것으로서 계통전압과 컨버터 출력전류의 극성이 반대이고, 출력 전력값이 음의 값을 가지므로 태양광 발전에 의한 에너지가 계통으로 전달되는 것을 알 수 있다. 또한, 위상차가 180°를 보이고 있으므로 단위 역률로 계통에 에너지를 공급함을 보여주고 있다. 따라서 디지털 PLL 회로의 동작이 양호함을 알 수 있다.

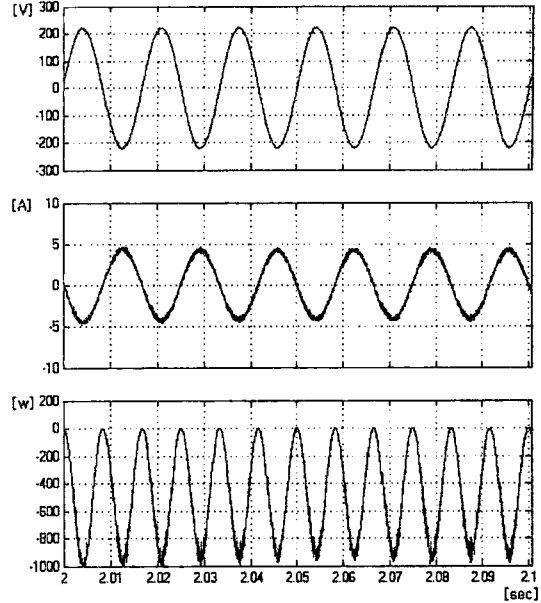


그림 10. a상 계통전압과 a상 출력전류 및 출력전력

4. 결 론

본 연구는 PWM 컨버터를 사용한 계통연계형 태양광 발전 시스템에 관한 연구로써, 한 여름의 에어컨 사용 등에 의해 발생하는 첨두부하에 의한 전력부족현상을 해결하는데 기여할 수 있다.

본 연구에서는 계통전압과 태양광발전 시스템의 연계에 있어 절연변압기를 사용하지 않고 직렬 리액터를 이용하여 PWM 컨버터로 시스템을 구성하였고, 이 PWM 컨버터를 이용하여 일사량 변동에 따른 태양전지의 출력을 최대로 하였다.

시스템의 안정성을 향상시키기 위하여 디지털 PLL 회로를 구성하여 계통전압과 태양광발전 시스템의 위상 동기화를 시키고 빠른 전류응답을 얻기 위하여 feedforward 제어를 적용하였으며, 시뮬레이션을 통해 위의 동작특성들이 원활히 수행됨을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, and N.C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system", IEEE Trans. Power Electronics., vol. 16, pp.46-54, 2001.1.
- [2] Chihchiang Hua and Chihming Shen., "Study of maximum power tracking techniques and control of DC/DC converters for photovoltaic power system", IEEE-PESC Conf. Rec., vol. 1, pp.86-93, 1998
- [3] C.R Sullivan and M.J. Power, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic arrays in a solar-powered race vehicle", IEEE-PESC Conf. Rec., pp. 574-580, 1993.
- [4] S.Nonaka, K.Kesamaru, K.Yamasaki & M. Nishi. "Interconnection System with Single Phase IGBT PWM CSI between Photovoltaic Arrays and The Utility Line", conf. Rec. of IEEE/IAS Annual Meeting, Seattle Washington, p.1302, 1990. 10
- [5] 유태빈 외 5명, "태양광발전시스템을 위한 단상 PWM 전압형 인버터", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(A), pp.443-445, 1995.7