

3kW급 계통 연계형 태양광 인버터에 관한 연구

송성근, 이상훈*, 박성준

전남대학교 전기공학과, 부산대학교 메카트로닉스협동과정*

Study on grid-connected photovoltaic 3 kW Inverter

S-G Song, S.H. Lee*, S-J Park

Chonnam Univ., Busan Univ.*

ABSTRACT

This paper presents a 3kW grid-connection photovoltaic power generation system and its topology. Photovoltaic system must provide the sinusoidal output voltage wave for unity power factor. High frequency switching converters are becoming more popular because of several benefits which are essential in power conversion system. This paper introduces a high speed digital controller using TMS320F2812 DSP chip which can be used for high frequency switching converters

The experimental results of the proposed PWM Inverter demonstrates its high performance with unity input power factor having very low distortion in input current waveforms and good dynamic characteristics at full load.

1. 서론

태양전지에서 발생하는 직류전압으로 인해 태양광발전 시스템을 계통과 연계하기 위해서는 DC/AC 변환장치가 필수적이며, 상용계통과 연계하여 운전할 경우 단위역률을 갖는 정현파 전류를 형성하기 위해 전력변환기에서는 정현적인 전압발생 하여야 한다. 계통 연계형 태양광 발전시스템은 잉여전력을 전원계통에 공급이 가능하여 에너지 저장 장치를 제거할 수 있어 시스템의 단가를 저감할 수 있는 장점을 갖고 있다. 상용계통에 연계되어 운전되는 계통연계 태양광 발전시스템은 변동하는 일사량으로부터 최대전력을 생산하기 위해서는 항상 최대 전력점(Maximum Power Point : MPP)에서 운전되면서, 분산전원으로 동작을 하게 됨으로 계통의 고장이나 계통의 정전시 사용계통과 부하에 영향을 미치지 않는 보호기능을 완벽히 겸비하여야 한다.

본 논문은 주택용 태양광발전 시스템으로 제어, 보호 기능, 계측기능을 갖는 3kW급 계통연계형 PV시스템을

구성하여 그 실용화의 타당성을 실험적으로 검증하였다.

2. 연계형 인버터의 제어원리

그림 1은 PV 시스템에 적용한 주회로를 나타내며, 그림 2는 등가회로를 나타내고 있다. 연계형 인버터에서 출력전류의 정현도는 인버터자체에서 발생하는 출력전압의 정도에 좌우된다.

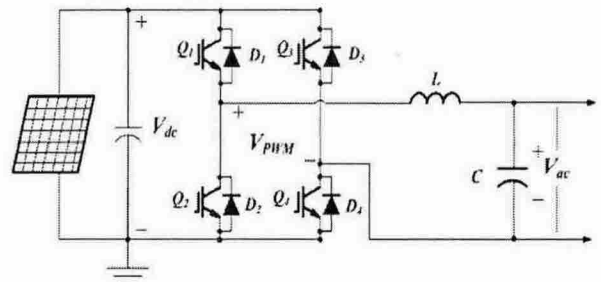


그림 1 PV 시스템의 주회로

Fig. 1 Main circuit diagram of PV system

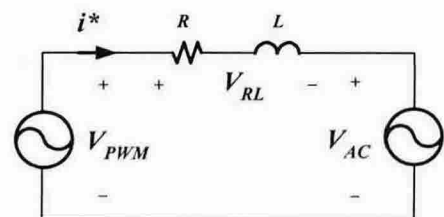


그림 2 계통연계형 태양광전력회로

Fig. 2 photovoltaic power circuit of the grid-connection

인버터부에서는 원하는 출력전압의 극성에 따라 한 암의 상단(Q3) 또는 하단(Q4) 스위치를 선택하여 ON 시키고, 다른 암의 하단(Q2) 또는 상단(Q1) 스위치를 ON 시키되 시비율 d 에 의해 도통시간을 제어함으로써 출력전압의 크기를 변화시킬 수 있다. 이 시비율 값과 순시 출력전압사이의 관계를 평균 전압법에 의해 도출하면 식

(1)과 같다.

$$|V_{PWM}| = |V_{ac} + V_L| = dV_{dc} \quad (1)$$

식 (1)로 부터 시비율을 구하면 다음식과 같다.

$$d = \frac{|V_{PWM}|}{V_{dc}} = \frac{|V_{ac} + V_L|}{V_{dc}} \quad (2)$$

기준 출력전압에 따라 시비율을 순시적으로 식 (2)와 같이 가변시킴으로써 원하는 순시전압을 얻을 수 있다. 식 (2)에서 시비율 d 가 1을 초과하지 않는 안정된 제어를 위해서는 컨버터의 출력 DC전압이 V_{ac} 와 V_L 전압의 순시치 합보다 항상 커야 한다.

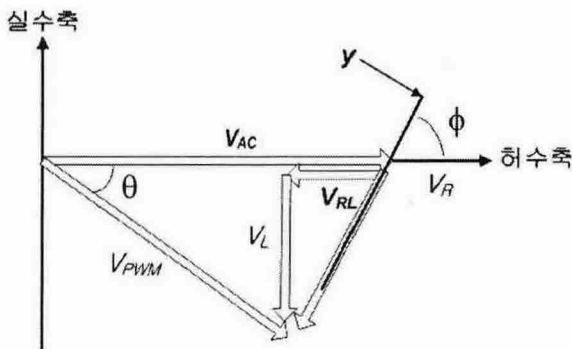


그림 3 페이저도
Fig. 3 Phase diagram

V_{PWM} 의 전압을 식 (2)에 의해 순시적으로 제어할 수 있다고 가정하고, 인덕터의 저항성분을 고려하여 단위역률을 구현하기 위한 V_{ac} , V_{RL} , V_{PWM} 의 페이저 관계는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 입력전압과 전류가 동위상으로 제어되기 위해서는 V_{RL} 의 지령전압을 입력전압보다 ϕ 만큼 앞서게 제어되어야 한다. 만일 그림 3에서 저항성분을 무시하면 V_{RL} 의 지령전압을 입력전압보다 90° 뒤지게 제어되어야 한다. 그림 3에서 알 수 있듯이 입력전압과 전류가 동위상으로 제어되기 위해서는 V_{PWM} 의 페이저도는 1차 직선 상에서 움직여야 하며, 그 직선은 식 (3)와 같이 주어진다.

$$y = \frac{\omega L}{R}(x - V_{ac}) \quad (3)$$

단위역률을 위한 V_{PWM} 의 페이저도는 허수축(y)만 정해지면 실수축(x)는 종속되므로 허수축의 함수로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$|V_{PWM}| = \sqrt{\left(\frac{R}{\omega L}y + V_{ac}\right)^2 + y^2} \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{\frac{R}{\omega L}y + V_{ac}}\right)$$

단

식 (4)와 같이 컨버터의 V_{PWM} 를 제어하기 위한 변수(y)를 도입한 결과 y 값이 θ 이면 부하영역이 되고 θ 이 되면 발전영역이 됨에 따라 제어의 간략성을 기할 수 있다.

3. 실험결과

그림 4는 계통 연계형 태양광 발전시스템 구성도를 나타내고 있다. 시스템 구성은 크게 입력필터부, 인버터부, 변압기부 및 제어부로 구별되며, 제어기는 DSP인 TMS320F2812를 사용하였으며, 변압기는 110:220방향성코어를 사용하였다. 인버터의 동작범위는 150[V] -460[V]이다.

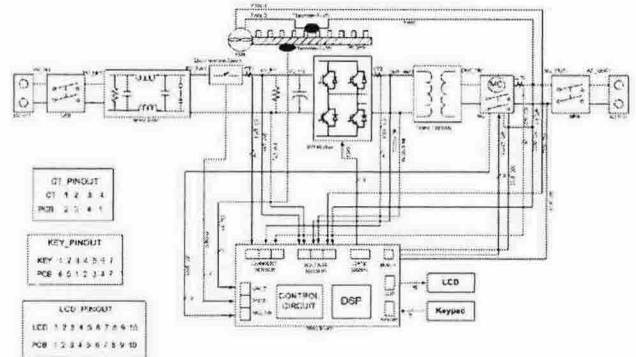


그림 4 시스템 구성도
Fig. 4 System controller configuration

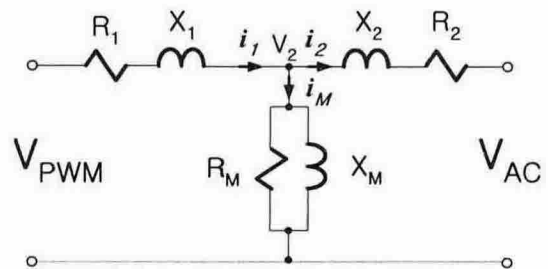


그림 5 변압기의 등가회로
Fig. 5 Equivalence circuit of transformer

그림 5는 연계형 인버터에 사용된 변압기의 등가회로를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 경부하에서는 변압기의 여자전류에 의해 1,2차 전류에 위상차가 발생하며, 전류센서 두 개를 사용하여 이를 보상하였다.

그림 6은 제어 플로우차트를 나타내고 있다.

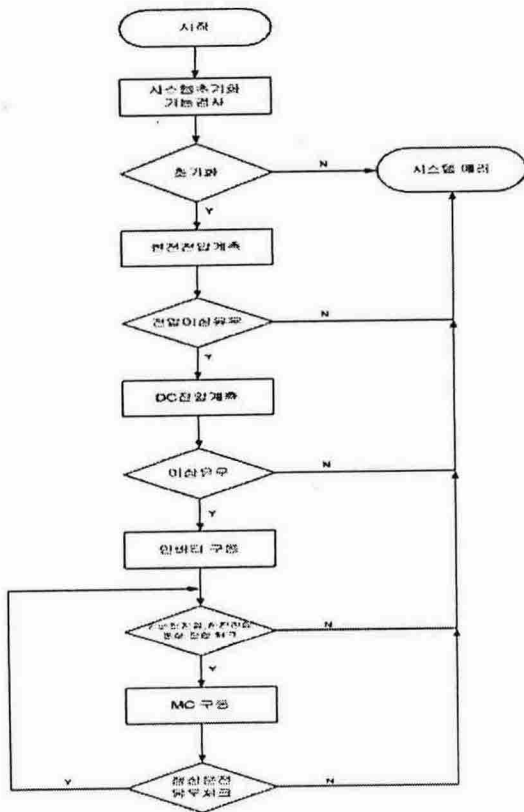


그림 6 제어 플로우차트
Fig. 6 Control flow-chart

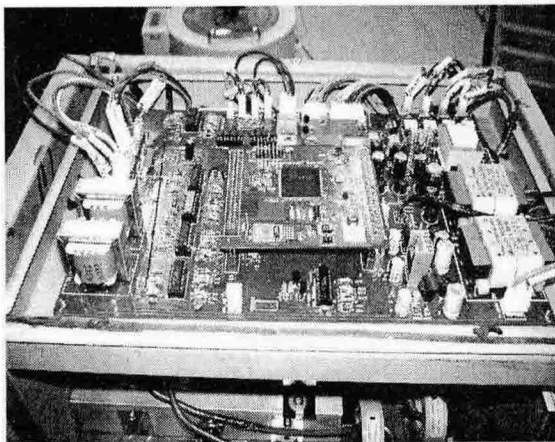


그림 7 제작된 시제품 인버터의 사진
Fig. 7 The photograph of prototype inverter

그림 7은 계통연계형 태양광발전 시스템의 시제품을 나타내고 있다.

그림 8은 계통연계 직전의 인버터 출력파형과 전원전압파형을 나타내고 있다. PWM주파수는 15k[Hz]로 설정하였으며, 계통전압의 성분에는 고조파성분이 많이 포함되어 있으며, 제어기에서 계통전압을 실시간 DFT를 행하고 그 결과를 PWM출력파형으로 발생한다. 이렇게 함으로 출력전압 왜란에 강인하게 할 수 있었다.

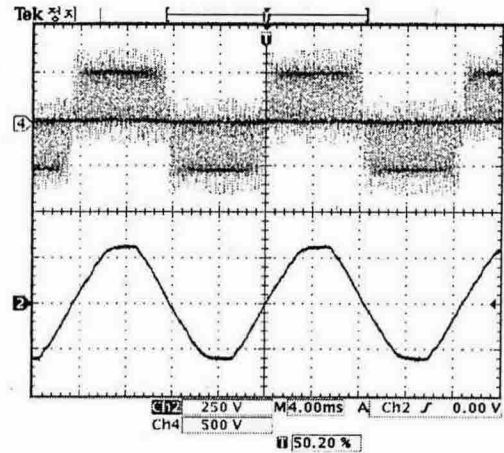
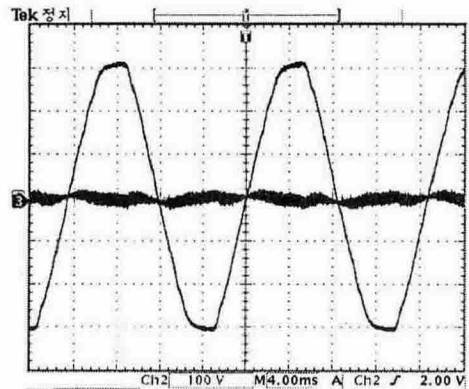
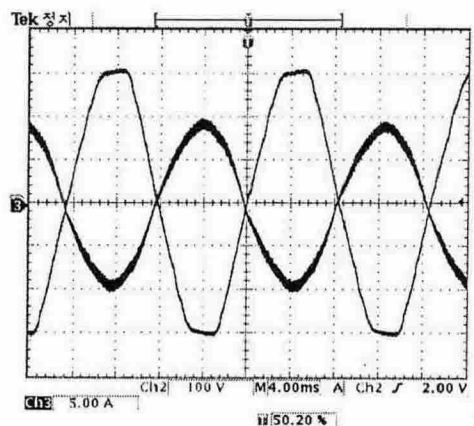


그림 8 계통전압 및 PWM 출력파형
Fig. 8 Waveform of utility line & PWM voltage

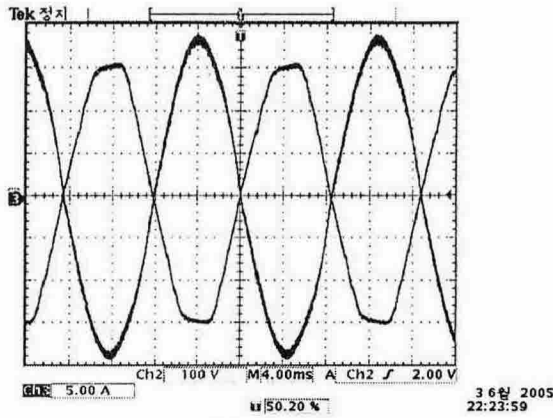
그림 9는 계통 연계형 태양광 발전시스템에서 분산전원으로 동작시의 전압전류파형을 나타내고 있다. 그림 9(a)는 계통연계를 하고 있으나, 잉여전력이 없는 상태이며, 이때의 전류의 형상이 인버터의 성능을 좌우하는 측도로 삼을 수 있다. 그림에서 보는바와 같이 전류는 모든 영역에서 거의 영(zero)을 유지함을 알 수 있다.



(a) 0%출력

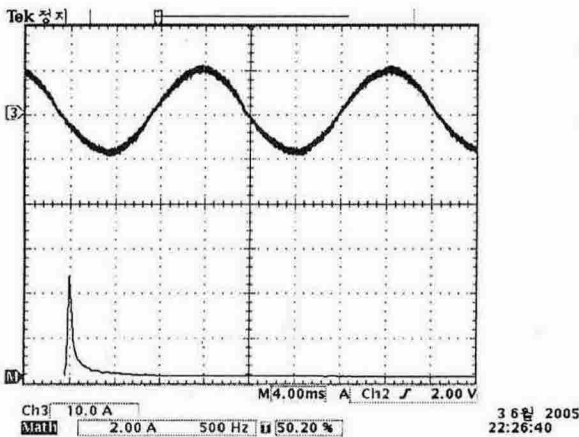


(b) 50% 출력

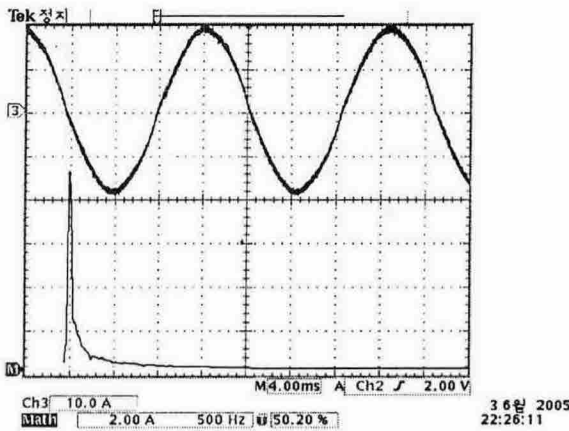


(c) 100% 출력

그림 9 입력전압 및 전류파형
Fig. 9 Waveform of utility line voltage & current



(a) 50% 출력



(b) 100% 출력

그림 10 전류고조파 분석결과
Fig. 10 THD analysis

그림 9(b), (c)는 1.5kW 및 3kW인 인버터 정격의 50%발전량, 100%일 때 입력전압 및 전류파형을 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 전압전류 위상차는 정확히 180.를 유지하면서, 전류는 정현적을 유지함을 알 수 있다.

그림 10는 그림 8의 상태에서 전류파형의 왜곡율을 측정하기 위해 FFT결과를 나타내고 있다. 그림 10(a)는 50%일 때의 고조파 분석결과이며, 이 때 전류 총고조파 왜형률은 2.4[%]로 나타났으며, 그림 10(b)는 100%일 때의 고조파 분석결과이며, 이 때 전류 총고조파 왜형률은 2.0[%]로 나타났다.

4. 결 론

본 논문은 주택용 태양광발전 시스템으로 제어, 보호 기능, 계측기능을 갖는 3kW급 계통연계형 PV시스템을 구성하여 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (a) 계통전압의 실시간 DFT를 통해 0%전력발생시에서 영(zero)전류파형을 구현할 수 있었으며, 인버터전류의 고조파성분을 제거함으로써 정현파에 가깝게 제어하였다.
- (b) 계통연계시 50[%] 및 100[%]에서 인버터의 출력전류의 총고조파 왜형률은 3[%] 이하로 양호하게 나타났다.
- (c) 계통전압과 인버터의 출력전류를 역상으로 운전함으로써 고역률 제어를 행하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [3] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, 1997.
- [4] 박성준, 강필순, 박노식, 김철우, "변압기 직렬 결합을 이용한 새로운 멀티 레벨 인버터", 전력전자학회 논문지, 제 8 권, 제 1호, PP. 9-16, 2003년 2월.