

계통연계형 50kW급 고효율 전력변환기 개발

박성준\*, 송성근\*\*, 허민호\*\*\*, 김종선\*\*\*\*, 오동성\*\*\*\*  
 전남대학교\*, 전자부품연구원\*\*, 준성이엔알\*\*\*, 삼성전기\*\*\*\*

Development of High Efficiency 50kW Inverter on Grid Type

Sung-Jun Park\*, Sung-Geun Song\*\*, Min-Ho Heo\*\*\*, Jong-Sun Kim\*\*\*\*, Dong-Sung Oh\*\*\*\*  
 Chonnam University\*, KETI\*\*, Junsung E&R\*\*\*, SAMSUNG Electro-Mechanics\*\*\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 50kVA급 태양광용 인버터를 구성하고, 제어 알고리즘을 분석하였으며, 특성을 개선하기 위하여 IGBT를 사용하여 3상 PWM 인버터로 시스템을 구성하고, 전력품질을 개선하기 위해 고속의 DSP 제어장치를 이용한 고정도 제어를 행하였으며, 실제 프로토타입의 제작과 실험을 통하여 검증하였다.

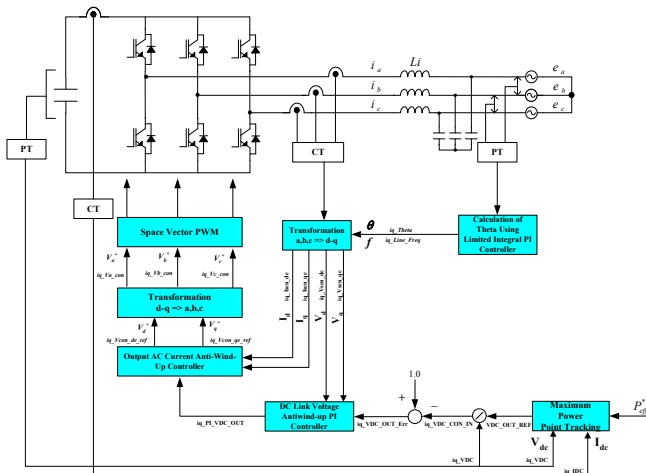
1. 서 론

최근 태양광 전력변환기의 제조 원가를 줄이거나 효율 개선을 통하여 실용화 시기를 앞당기기 위한 노력을 기울이고 있고, 이와 병행하여 인버터 등 주변 장치의 저가화 및 고효율화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]. 태양광 전력변환기의 전체 시스템 단가를 줄이는 대안은 전력변환 장치의 고효율화와 태양전지로부터 최대 에너지를 발생하도록 제어하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 계통 연계형 인버터에 대한 동작을 이론적으로 분석하고 DSP TMS320F2808을 이용한 50[kW]급 시작품의 실험 결과로부터 본 전력변환기의 실용화에 대한 타당성을 검증하였다.

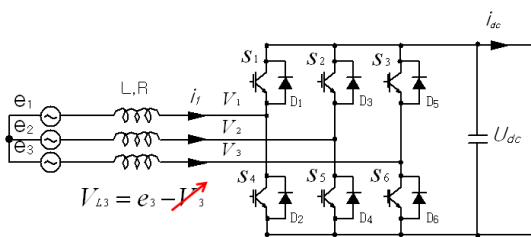
2. 본 론

2.1 연계형 인버터의 모델링

그림 1은 본 연구에서 개발한 50[kW]급 태양광 연계형 인버터 시스템의 전체 블록도를 나타내고 있다. 그림에서 회로는 일반적인 인버터와 같이 입력 라인에 인덕터 L과 직류전압 평활용 콘덴서 C를 가지고 있으며 6개의 각 스위칭 소자는 양방향 전력전달이 가능하도록 다이오드가 역 병렬로 연결된 전력용 반도체로 구성되어 있다. 우선 최대 전력을 추종하기 위한 직류 링크 전압 지령치를 출력하기 위한 제어부와 인버터의 전류는 DSP 주 제어보드에 의해 다음과 같이 제어되도록 설계해야 한다.



<그림 1> 태양광 인버터의 제어블록도



<그림 2> 전압형 PWM 인버터

전압형 인버터는 3상 전원전압과 인터페이스 인덕터(interface inductor) L로 구성된 3상 PWM 인버터는 그림 2와 같다. 주 스위칭 소자의 저항을 무시하고 3상 전압평형으로 가정하면 3상 PWM 인버터에 관한 입출력 전압 전류 관계는 다음과 같이 수학적으로 모델링된다.

$$C \frac{du_{dc}}{dt} = \sum_{k=1}^3 i_k d_k - i_{dc} \quad (1)$$

$$L \frac{di_k}{dt} + R i_k = e_k - u_{dc}(d_k - \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 d_n); k=1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^3 e_k = \sum_{k=1}^3 i_k = 0 \quad (3)$$

여기에서  $k$  : 3상 전원을 위한 인덱스 = {1, 2, 3}  
 $d_k$  :  $k$  상의 스위칭 함수  
 $i_k$  :  $k$  상 선전류,  $e_k$  :  $k$  상 상전압  
 $u_{dc}$  : 직류 링크 전압,  $i_{dc}$  : 출력 전류  
 $R, L$  : 인터페이스 인덕터의 저항과 인덕턴스

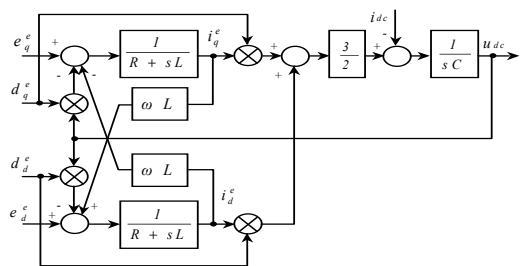
3상 PWM 인버터를 나타낸 전압 방정식은 아래와 같이 2상 동기좌표계의 모델링이 얻어진다.

$$C \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3}{2} (i_a^e d_a^e + i_d^e d_d^e) - i_{dc} \quad (4)$$

$$L \frac{di_a^e}{dt} = e_a^e - u_{dc} d_a^e - \omega L i_d^e - R i_a^e \quad (5)$$

$$L \frac{di_d^e}{dt} = e_d^e - u_{dc} d_d^e + \omega L i_a^e - R i_d^e \quad (6)$$

식(4)에서 식(6)까지의 2상 동기좌표계 모델의 블록도는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 3> 2상 동기좌표계 모델의 블록도

2.2 연계형 인버터의 제어

전류제어기는  $i^*d$ 와  $i^*q$ 의 편차를 보상함으로써  $V^*d$  출력하므로 식(7)로 나타낸다.

$$-L \frac{di_d^e}{dt} = K_p i_d^e + K_i \int (i_d^e - i_d^*) dt \quad (7)$$

이때 이 식의 전달함수를 구하면 식(8)과 같이 된다.

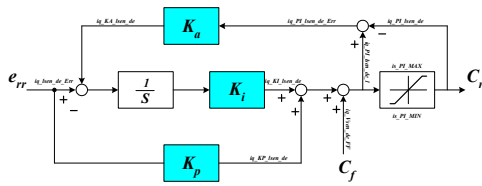
$$\frac{i_d(s)}{i_d^*(s)} = \frac{\frac{K_i}{L}}{s^2 + \frac{K_p}{L}s + \frac{K_i}{L}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

따라서 전류제어기의 비례이득과 적분이득은 다음과 같이 구할 수 있다.

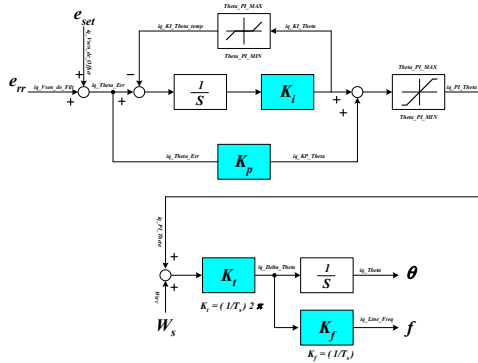
$$K_p = 2\zeta\omega_n L \quad (9)$$

$$K_i = \omega_n^2 L \quad (10)$$

그림 4는 전류제어기의 제어블록도를 나타내고 있으며, 그림 5는 위상각 추정블럭다이어그램으로 출력단 전압 계측 및 PI 제어기를 이용하여 위상각을 안정적으로 추정하였다.



〈그림 4〉 전류제어기의 블록도



〈그림 5〉 위상각 추정회로

그림 6은 실제 제작된 50kVA급 태양광 3상 전력변환기로 제작사양은 다음 표 1과 같다.

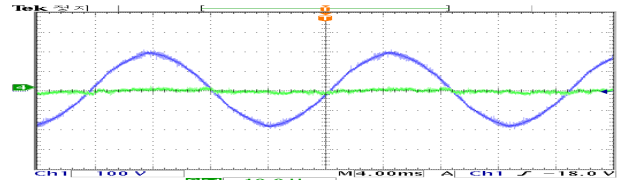
〈표 1〉 연계형 인버터의 사양

구분	사양
정격 용량	50kW
입력 범위(MPPT)	230~670V
출력 전압	3상220Vac
역률 (PF)	0.99
전류왜율 (THD)	3%

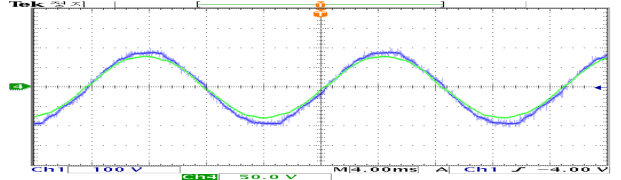


〈그림 6〉 50kW 태양광 전력변환 시스템

그림 7은 인버터의 특성을 조사하기 위한 실험 파형으로 그림 7(a)는 계통에 연결되어 있으나 전력 전송이 없을 경우이며, 그림 7(b)는 20kW의 유효전력만 공급할 경우로 전원전압의 왜곡은 발생하나 전류는 제어기에 의해 등가 정현적으로 흐름을 알 수 있었다. 그림 8은 전류제어기의 특성을 조사하기 위해서 발전량을 3kW에서 1.5kW로 50% 변동한 경우와, 1.5kW에서 3kW로 100% 변동한 경우의 상전압 및 상전류 파형으로 각 부하변동에 대하여 반주기내에 제어기가 수렴함을 알 수 있었다. 그림 9는 인버터 효율을 전력계측기 WT3000을 이용하여 계측하고 계측된 값을 기준으로 Euro 효율을 계측한 결과로 최고효율 96.8%, Euro 효율 96.3%로 계측 되었다.

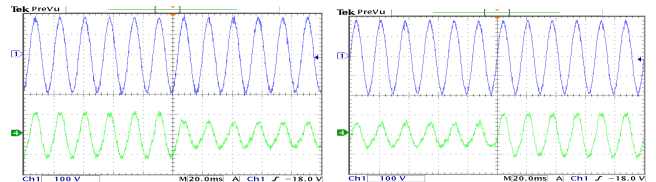


(a) 무전송시



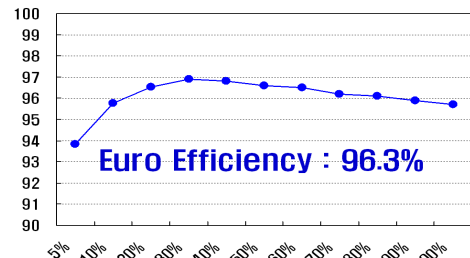
(b) 20kW 전력 전송시

〈그림 7〉 인버터 출력 파형



(a) 3kW -> 1.5kW (b) 1.5kW -> 3kW

〈그림 8〉 개발한 연계형 인버터 제어특성



〈그림 9〉 효율특성 곡선

### 3. 결 론

본 연구에서는, 태양광 인버터의 등가회로를 분석하였으며, 인버터의 제어기를 설계하였다. 연구를 행한 결과, 50kW 태양광 연계형 인버터 시스템에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서는 전압형 3상 PWM 인버터에 관한 입출력 전압 전류 관계를 스위칭 함수에 의한 수학적으로 모델링하였으며, 이를 근거로 한 동기좌회계 모델의 블록도를 구성하여 정규화된 전압제어기 설계에 대한 근간을 마련하였다.
2. d-q축 전류 제어기 역기전력을 전향 보상하여 전류가 제어되도록 제어기를 구성하였으며, 강인한 전류제어기의 설계에 대하여 분석하였다.
3. 50kVA급 전압형 태양광 연계형 인버터에 대한 특성을 분석 및 실험을 행한 결과 전력전송 제어 성능면에서는 만족할 만한 결과를 도출하였으며, 또한 시스템을 프로토타입으로 제작 및 실험을 행하여 제안된 방식의 타당성을 입증하였다.
4. 본 인버터는 연계전류를 순식적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 전압 변동 특성이 우수하여 전력계통의 부하변동이나 폴트(fault)에 대한 대처가 우수하였다.

### 감사의 글

본 논문은 삼성전기 산학연구센터사업의 "전남대학교 EPRC 센터"과제의 지원으로 연구되었음

### 〈참 고 문 헌〉

[1] Dr. F. Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol. 1 (1998), pp. 10-50.  
 [2] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovoltaic Power System Inter connected with Utility", Proceedings of the American Power Conference, Vol. 1 (1990), pp.276-281.