

전류형 MPPT를 이용한 3kW 태양광 PCS 제어기 설계 및 구현

차한주, 이상희
충남대학교

Design and implementation of 3kW Photovoltaic Power Conditioning System using a Current based Maximum Power Point Tracking

Hanju Cha, Sanghoey Lee
Chungnam National University

Abstract - 이 논문에서는 전류형 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 기법을 제안하고 적용하여 태양광 PCS(Power Conditioning System)의 기본적인 제어기를 설계하고 구현하였다. 기본적인 무변압기형 토폴로지에 전류 MPPT를 수행하고 이때에 얻어진 기준전류를 dc/dc 부스트 컨버터를 통해 dc-link에 전압을 충전하여 준다. 이 충전된 파워는 인버터를 통해 계통에 공급되게 된다. 이처럼 크게 MPPT 제어, dc/dc 컨트roller, dc-link전류제어, 인버터 전류제어로 나뉘며 본 논문에서는 각 부분의 제어를 살펴보고 실험을 통해 제어기의 성능을 확인하였다. 실험결과 제안된 전류MPPT는 원활히 파워를 공급해주었고 dc/dc 부스트 컨버터를 거쳐 인버터 단까지 파워를 안정적으로 발전하는 것을 확인하였다.

1. 서론

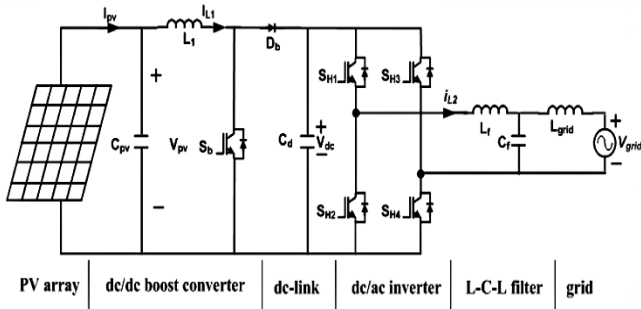
현대 산업사회의 급속한 발달과 에너지소비의 급증으로 인해 화석에너지 고갈에 대한 위기감과 더불어 화석에너지로 인한 대기환경 오염문제 등이 지구 자체를 위협하고 있어 미래대체에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 태양광에너지는 친환경적이며 경제적 이유로 전 세계적으로 많은 성장을 하고 있는 발전 시스템으로 다른 신재생 에너지에 비해 간편하게 발전 설비를 설치 할 수 있으며 보다 편리하게 일상생활에서 전기를 생산 할 수 있는 특징을 가지고 있다.

일반적으로 태양광시스템은 태양에너지를 전기에너지로 바꾸어주는 태양전지 어레이와 태양전지 어레이로부터 발생한 전류 전력을 교류 전력으로 바꾸어주는 PCS로 구성되며 낮 시간동안에 변동하는 일사량으로부터 최대의 전력을 생산하기위해 PCS는 항상 최대 전력점에서 운전하도록 제어된다. 현재는 전압 형 MPPT를 사용하여 P&O(Perturb and Observe)와 IncCond(Incremental Conductance)을 등의 기법이 주로 이용되고 있으며 좀 더 빠른 추종을 위해 수정 보안된 MPPT 알고리즘 이 제안되고 있다.[1] 본 논문에서는 이러한 일반적인 전압 형이 아닌 전류 형 MPPT를 제안하여 보았으며 이에 따른 제어기의 알고리즘 또한 제안하여 보았다.

2. 태양광 PCS

2.1 태양광 PCS 구조

태양광 발전 시스템의 PCS는 현재 여러 방법으로 많은 토폴로지와 새로운 테크닉이 제시되고 있다. 간단히 토폴로지들을 살펴보면 저주파 변압기 방식, 고주파링크방식, 무변압기 방식 등등이 주로 이용되고 있으며 각각의 토폴로지는 장단점을 가지고 있겠지만 본 논문에서는 저주파 변압기를 사용하지 않고 고효율, 소형, 경량화에 유리한 특징을 가지는 무변압기 방식의 PCS를 이용하여 시스템을 구현하였다. 그림1은 계통연계형 태양광 PCS의 전체적인 구조이다. 태양광 PCS의 토폴로지를 보여주고 있으며 PV어레이, dc/dc 부스트 컨버터, dc/ac 인버터로 구성되어 있다. 부스트 컨버터는 PV어레이의 전류를 조정하여 MPPT를 수행하여 최대 전력을 뽑아내는데 이용된다.



<그림 1> 태양광 PCS

현재 많은 알고리즘이 구현되어 상용화되어 있지만 아직도 효율을 올리기 위한 연구가 계속적으로 이루어지고 있으며 본 논문에서는 전류형 Incremental Conductance 기법을 구현하여 적용하였다. 인버터 부는 풀브리지 유니폴라 방식을 사용하였으며 IGBT의 손실발생과 DSP의 연산 가능 속도 등을 고려하여 스위칭주파수는 10kHz를 사용하였다. 인버터의 제어방법은 주로 정지형인버터의 경우 전압 제어 방법을 사용하지만 계통연계 인버터는 전압형 전류제어방식을 주로 이용하므로 이 방법을 사용하여 PWM 제어에 응용하였다.

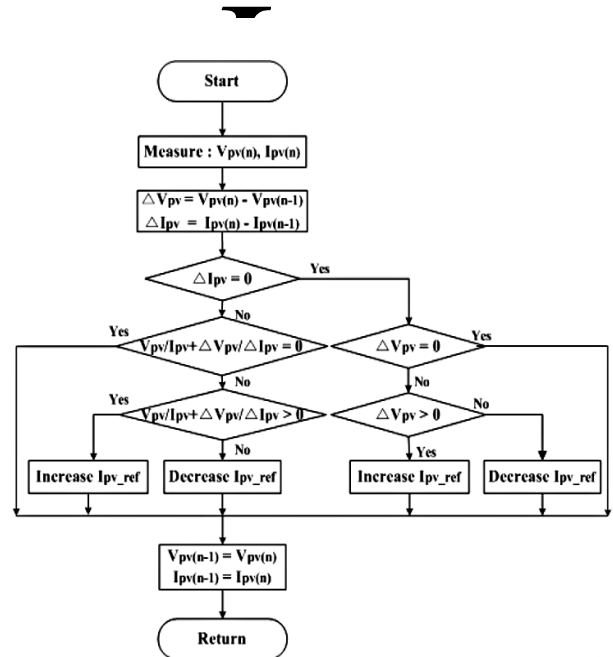
2.2 전류형 MPPT 제어

그림2는 전류 MPPT의 순서도를 보여주고 있다. 간단히 살펴보면 V_{pv} , I_{pv} 전류와 전압 측정값이며 $V_{pv(n-1)}$ 와 $I_{pv(n-1)}$ 는 이전 전류와 전압이다. $dP_{pv}/dI_{pv} < 0$ 일 때는 기준전류를 감소해주고 $dP_{pv}/dI_{pv} > 0$ 일 때는 기준전류를 증가 시켜주어 $dP_{pv}/dI_{pv} = 0$ 이 되는 MPPT에 도달하게 된다. 이처럼 전류와 전압의 기울기를 구해 최종적으로 구해진 기준 전류는 V-I커브에서 최고출력점에 존재하여 PV어레이에서 최대 전력을 뽑아 낼 수 있다.

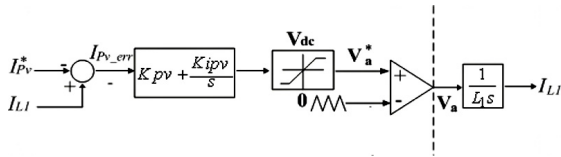
2.3 DC/DC 컨버터 제어기

그림3은 dc/dc 부스트 컨버터의 블록다이어그램이다. 컨버터는 PI제어기를 사용하였으며 전압 제한기와 PWM 발생기로 구성되어 있다. I_{pv}^* 는 전류 MPPT에 의해 구해진 값이며 L_{L1} PCS의 L_1 전류에 전류의 차를 PI제어 하여 명령을 만들어 준다. 전달함수는 식1과 같다.

(1)



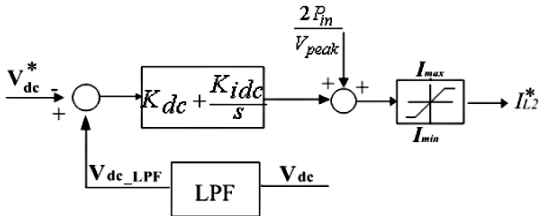
<그림 2> 전류형 MPPT 순서도



<그림 3> DC/DC 부스트 컨버터 블록 다이어그램

2.4 DC-link 전압 제어

그림4는 dc-link 전압 제어기이다. V_{dc}^* 는 기준전압이며 P_{in} 은 PV 어레이의 파워, V_{peak} 는 계통의 피크전압, P_{out} 은 계통전압에 나가는 파워이며 수식(2)처럼 정의 된다.



<그림 4> DC-link 전압 컨트롤 블록 다이어그램

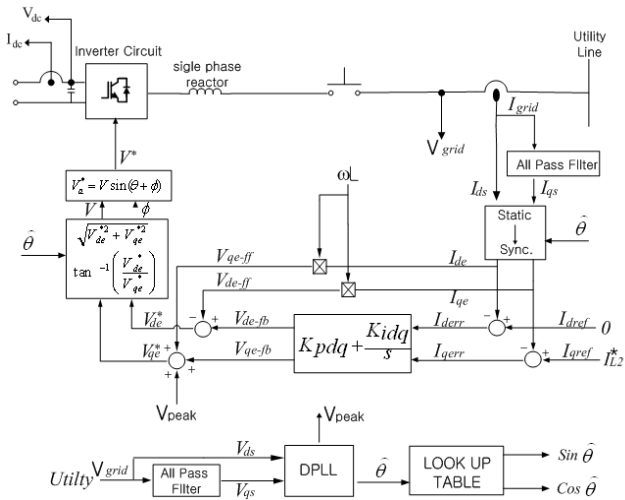
$$P_{in} = V_{pv} \cdot I_{pv} \quad (2)$$

로우패스 필터는 2차 고조파 필터로 인버터에 들어오는 전압리플성분을 제거 하기위해 사용하였다. 10Hz의 cut-off 주파수를 사용하고 있다. 전달함수는 수식(3)과 같다.

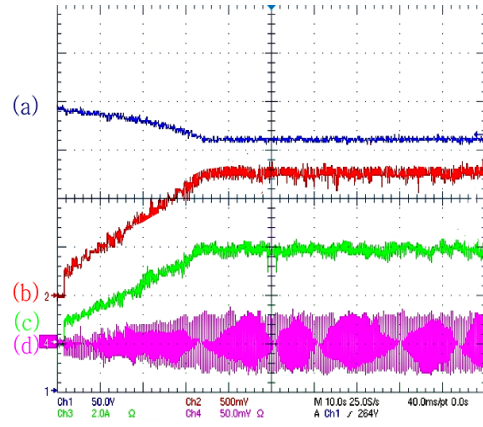
$$\frac{V_{dc}}{V_{dc}^*} = \frac{K_{dc}s + K_{idc}}{\frac{2C_{dc}V_{dc}^*}{V_{peak}}s^2 + K_{dc}s + K_{idc}} \quad (3)$$

2.5 DC/AC 인버터 제어

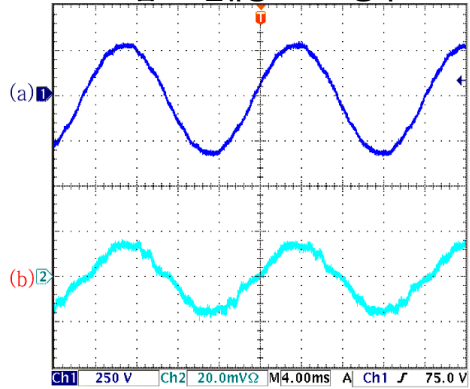
그림5는 dc/ac 인버터 컨트롤러 블록다이어그램이다. 인버터 컨트롤러는 All-Pass Filter, PLL(Phase Locked Loop), d-q변환을 이용하였으며 안정된 성능 시뮬레이션에서 검증해보고 본 논문의 실험에 적용해 검증하였다. 간단히 dc/ac인버터 동작을 살펴보면 계통으로부터 전압과 전류를 측정하여 위상과 전압피크전압을 검출하고 전역통과 필터를 적용하여 d-q동기좌표변환을 한다. 여기서 구해진 크기와 위상을 PI제어를 통해 V_{dc}^* 와 V_{qe}^* 를 arctan과 절대 값을 구해 스위칭 V^* 를 수행하여 발전하게 된다.[2][3]



<그림 5> dc-ac 인버터 컨트롤러 블록 다이어그램



<그림 6> 전류형 MPPT 동작



<그림 7> 계통 전압과 전류

3. 실험 결과

실험은 전류형 MPPT, 계통전압전류에 대해 실험해 보았다. 그림6에서는 전류형 MPPT의 파형으로 (a)는 [50V/div] V_{pv} 의 전압을 나타내며 (b)는 [1.5A/div]로 dacard로 읽은 I_{pv} 전류를 나타낸다. (c)는 [2A/div] 오실로스코프로 직접전류센서를 이용하여 측정된 파형이며 (d)는 [25A/div]계통에 출력되는 전류를 측정된 파형이다. 이처럼 MPPT에 의해 기준전류의 변화를 전류의 상수를 통해 확인 할 수 있었다. 그림7의 (a)는 [250V/div]로 계통전압을 나타내며 (b)는 [10A/div]로 계통전류를 나타낸다. 즉 발전되는 실제계통의 전압전류의 파형으로 동작유지하며 발전하는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 계통에 무난히 발전을 수행하는 것을 확인 시켜주는 파형이다. 위의 2가지 실험파형으로 PCS의 성능을 검증 할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 전류형 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 기법을 제안하고 적용하여 태양광 PCS(Power Conditioning System)의 기본적인 제어기의 블록다이어그램들을 살펴보고 실질적인 PCS에 적용하여 구현하였다. 구현된 PCS에서는 전류형 MPPT, 계통 전압전류 등등을 실험을 통해 파형을 분석해보고 제어기의 신뢰성을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] J. Kwon, K. Nam, B. Kwon, "Photovoltaic Power Conditioning System With Line Connection", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 53, no. 4, p. 1048-1054, August 2006.
- [2] V. Blasko, V. Kaura, "Operation of a Phase Locked Loop System under Distorted Utility Conditions", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol.33, no.1, p.58-63, January/February 1997
- [3] I. Hwang, K. Ahn, H. Lim, S. Kim, "Design, development and performance of a 50 kW grid connected PV system with three phase current-controlled inverter", Proc. Photovoltaic Specialist, 2000, .p. 1664 - 1667, 15-22 Sept. 2000