

PV용 PCS의 MPPT 제어 포지션 고찰

박용성*, 박가우** 유권종***, 정명웅***, 정영석***, 최 재호*
 충북대학교, 포스콘기술연구소(주), 한국에너지기술연구원

The Study of PV PCS MPPT Control Position

Park, Yong-Sung*, Park, Ga-Woo**, Yu, Gwon-Jong*, Jung, Myoung-Woong***, Choi, Jae-Ho*
 Chungbuk National Univ**, POSCON Corporation**, KIER***

Abstract - This paper describes the control of grid connected transformerless type PV power conditioning system, which is simple and more efficient than the usual transformer type system. With the modeling and analysis of power system, the validity of control strategy is well verified through the simulation and experimental results.

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 크게 태양전지, 인버터 제어부로 구성되며 계통과의 절연 방식과 컨버터의 구조에 따라 상용 주파수 절연방식, 고주파 절연방식, Transformerless 방식으로 분류된다. 상용 주파수 절연 방식은 H Bridge 컨버터, 상용주파수 절연 변압기로 구성되며 PWM 변조 방식으로 출력 전류를 제어한다. 주 회로 구성이 단순하기 때문에 제어가 간단하고 단위 역률 제어뿐 아니라 무효 전력 제어도 가능하다는 이점이 있다. 그러나 상용주파수 절연 변압기는 저주파 변압기의 손실이 너무 크고 무게가 많이 나가게 되어 시스템의 소형화에 한계가 있으며 소음이 심각한 단점이 있다.⁽¹⁻²⁾ 고주파 링크 방식의 태양광 발전 시스템은 태양 전지 어레이와 H Bridge 고주파 인버터, 고주파 변압기, 단상 H Bridge 다이오드 정류기, DC 리액터, 단상 H Bridge 저주파 인버터, 교류 LC필터로 구성된다. 단상 H Bridge 고주파 인버터는 태양전지 어레이 DC 전압을 고주파 AC 전압으로 변환하여 고주파 변압기에 인가한다. 변압기의 출력전류의 크기를 PWM 패턴으로 제어함으로써 고주파 변압기 포화를 방지한다. 변압기 2차측 고주파 전압은 다이오드 정류기를 통하여 인덕터와 저주파 인버터를 통하여 계통의 전압과 동상의 전류를 공급한다. 이 방식은 상용 주파수 절연방식과 달리 Transformer의 고주파 여자를 하기 때문에 히스테리시스손을 적게 할 수 있어 효율 향상이 가능하나 전력 회로의 구조가 복잡하여 제어가 복잡하고 가격이 비싼 단점이 있다. Transformerless 방식의 계통 연계형 시스템은 태양전지 어레이, DC/DC 컨버터, H Bridge 인버터로 구성되며, DC/DC 컨버터가 변압기의 역할을 대체하는 방식으로 인버터 효율 측면에서 우수하고 소음이 없으며 부품소자도 적게 드는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 전 디지털 방식이 가능한 Transformerless 방식의 계통 연계형 PCS의 모델링, 시뮬레이션 및 실험으로 제어의 타당성을 검증한다.

2. Transformerless 방식의 MPPT 위치 고찰

Transformerless 방식의 PCS는 MPPT를 수행하는 위치에 따라 Inverter에서 MPPT를 수행하는 경우와, DC/DC 컨버터에서 수행하는 경우로 구분할 수 있

다.

2.1 MPPT Inverter Control

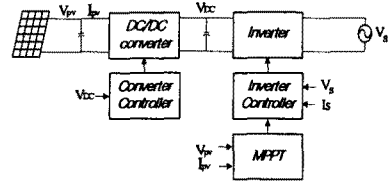


그림 1. MPPT Inverter Control Type

Inverter에서 MPPT를 수행하는 경우는 DC/DC 컨버터는 DC Link 단 전압을 일정하게 유지하기 위하여 IGBT PWM 스위칭을 태양전지 어레이 출력단의 전압과 전류를 센싱받아 인버터 전류 제어의 레퍼런스로 사용한다. Inverter는 MPPT에 의하여 발생된 전류 레퍼런스를 추종하면서 계통 위상에 맞게 출력 전류를 제어한다.

2.2 MPPT Converter Control 방식

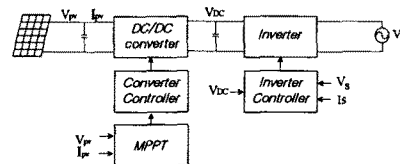


그림 2. MPPT Converter Control Type

DC/DC 컨버터에서 MPPT를 수행하는 경우는 DC/DC 컨버터는 MPPT 알고리즘에 의하여 Solar Array의 출력을 제어하여 Peak Power Point에서 운전되도록 제어하고 DC/AC Inverter는 DC Link단측 전압을 일정하게 유지하고 계통 위상에 맞는 전류를 출력하는 제어를 한다. 전 디지털 제어로 DC/DC Boost 부분과 DC/AC Inverter 부분을 DSP에서 제어한다.

본 논문은 DC/DC 컨버터에서 MPPT를 수행하는 전 디지털 방식의 제어 방법을 택하였으며 저가형 DSP TMS320F240을 이용하여 소형 경량화 할수 있는 장점을 가지고 있다.

3. DC/DC 컨버터 제어 및 시뮬레이션

3.1 DC/DC 컨버터 제어 알고리즘

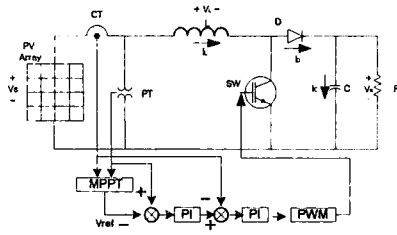


그림 3. DC/DC 컨버터 제어 블록도

DC/DC 컨버터는 태양전지 어레이에서 출력된 전압 전류로 A/D 센싱하여 P&O MPPT 알고리즘을 거쳐 MPPT의 전압 레퍼런스를 만든다. 이 전압 레퍼런스를 이용하여 인덕터 전류의 전류 레퍼런스를 만들고 DC/DC 컨버터의 최종 제어인 IGBT PWM 레퍼런스를 만드는 입력단 Boost 컨버터 제어이다.

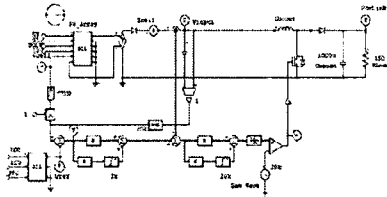


그림 4 PSIM 시뮬레이션 블록도

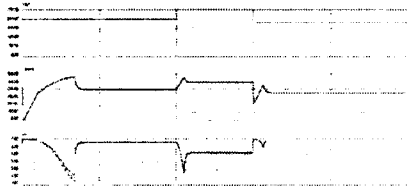


그림 5 PSIM 시뮬레이션 파형

전체 제어 주기는 전류 제어기 20kHz 전압 제어기 2kHz로 실제 DSP구동과 동일하게 시뮬레이션 하였다. 상단 파형은 MPPT 알고리즘에 의하여 만들어진 전압 레퍼런스를 임의로 주어진 파형이고 중간 파형은 전압 레퍼런스에 추종하는 전압 파형, 하단 파형은 전류 레퍼런스에 추종하는 전류 파형을 나타낸다.

3.1 전체 PCS 제어 알고리즘

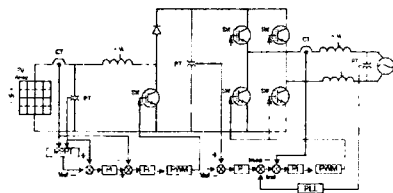


그림 6 전체 PCS 제어 블록도

DC Link 단의 전압과 계통전압 보다 높은 전압의 기준 레퍼런스 전압과의 차이로 전류 레퍼런스 크기를 만들고, 계통의 위상 전압을 센싱하여 전류 레퍼런스를 만들어 출력 전류의 궤환 값과의 오차로 PI제어기를 거쳐 H Bridge PWM IGBT 게이팅 신호를 내보내는 제어 블록도 이다. 기준 레퍼런스와 DC Link 단의 전압차에 의한 P 제어기의 \$K_p\$ factor를 통과한 전류 레퍼런스 크기는 계통의 위상과의 PLL을 거쳐 전류 제어기를 통

과하게 된다⁽³⁾.

(1) 전류 제어기의 설계

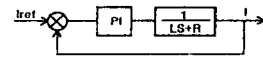


그림 7 전류 제어 블록도

출력단 전압 전류 방정식

$$V_i = V_a + (L \frac{di}{dt} + R)i \quad \dots\dots\dots(1)$$

PI 전류 제어기

$$V_a^* = V_i - (K_p + \frac{K_i}{s})(i^* - i) \quad \dots\dots\dots(2)$$

(1),(2)를 이용하여 \$V_a\$를 소거하여 제어 PI제어 전달함수를 (3),(4)를 통하여 구한다.⁽⁴⁻⁵⁾

$$(-\frac{K_p S + K_i}{S})i^* = (LS + R)i + (\frac{K_p S + K_i}{S})i \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{i}{i^*} = \frac{K_p S + K_i}{LS^2 + (R + K_p)S + K_i} \quad \dots\dots\dots(4)$$

(2) 전체 시스템 시뮬레이션

인버터의 전류 제어 주기는 10kHz이며 전압 제어 주기는 1kHz로 하였으며 실제 DSP 구동과 동일한 사양으로 시뮬레이션 하였다. H Bridge 인버터를 사용하였으며 스위칭은 Bipolar PWM 스위칭을 하였다.

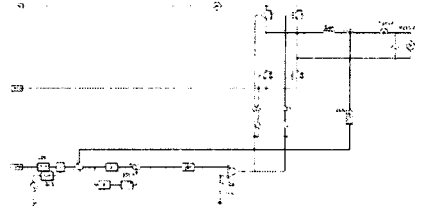
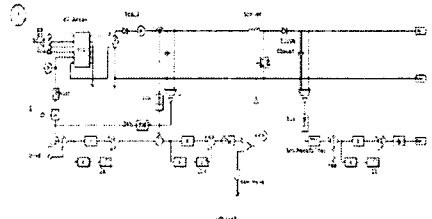


그림 8 전체 시스템 시뮬레이션 제어 블록도

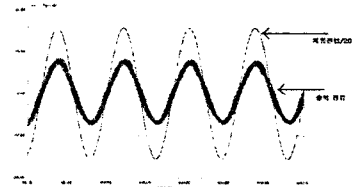


그림 9 전체 시스템 시뮬레이션 파형

DC/DC 컨버터의 MPPT는 시뮬레이션에서 일정전압 제어를 하였으며 실제 실험에서는 MPPT 전압 레퍼런스는 P&O MPPT 알고리즘을 20kHz의 제어 주기에 포함시켜 MPPT 전압 레퍼런스를 만들었다. 인버터 출력은 계통으로 전력을 내보내므로 계통 위상 60Hz의 의하여 120Hz의 맥동 성분이 DC Link 단으로 유입되며 이는 소프트웨어적으로 Digital LowPassFilter를 사용하여 제거하였으며 DC Link 단의 전압차로 발생된

출력 전류 파형이 계통의 위상과 동상을 유지하면서 양호한 출력 파형을 시뮬레이션에서 관찰하였다.

4. 실험 결과

전체 PCS시스템은 5개의 센싱부와 제어 보드(TMS320F240), IGBT Gate Drive로 구성되 있다.

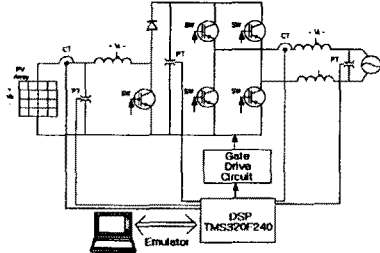


그림 10 PCS 시스템 실험 장치 구성도
4.1 MPPT를 하는 DC/DC 컨버터 실험 결과

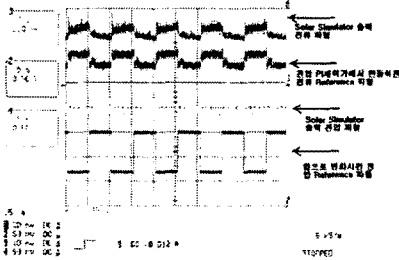


그림 11 DC/DC 컨버터의 제어 추종 파형

실험은 실제 태양전지 어레이의 출력 특성을 갖는 Solar Array Simulator를 사용하였다. DC/DC 컨버터의 제어 추종을 확인하기 위하여 DSP 내부에서 4번째 파형처럼 전압 레퍼런스를 가변시키면서 전압 및 전류 추종 파형을 관찰하였다. 세번째 파형이 실제 어레이 출력 전압으로 네번째 레퍼런스 파형에 추종함을 관찰하였고, 첫 번째 파형이 실제 태양광 어레이 출력 전류 파형으로 두 번째의 전류 레퍼런스 파형에 추종함을 관찰하였다. 이로서 DC/DC 컨버터가 입력단을 MPPT로 제어하는 레퍼런스를 추종함을 확인하였다.

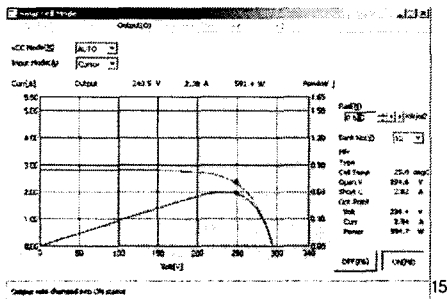


그림 12. 일사량 600에서 P&O MPPT 파형

일사량 600에서의 P&O 알고리즘을 적용한 DC/DC 컨버터의 MPPT 파형이다. MPPT 효율은 99.5%로 양호한 MPPT 효율을 나타내고 있다.

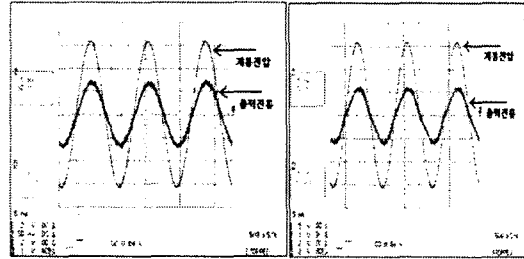


그림 13. rms 110 [V] 계통 연계시 출력 전류 파형
그림 14 rms 220 [V] 계통 연계시 전압 전류 파형

계통 전압을 rms 110 [V]와 220 [V] 각각에 대하여 계통 연계 실험을 하였으며 출력 전류가 계통 위상에 Delay 현상 없이 계통 위상에 동기화 되어 출력됨을 관찰할 수 있었다. 전압제어기 1kHz, 전류 제어기 10kHz의 제어 주기이며, 변환 효율은 90.2%. THD 는 약 5%의 변환 특성을 얻었다.

5. 결론

본 논문은 TMS320F240 DSP를 이용하여 MPPT를 DC/DC 컨버터에서 수행하며 출력 전류는 계통과 연계되는 인버터에서 담당하는 전 디지털 제어 방식을 택하였다. 현재 태양광 발전용 PCS 시스템은 상용주파수 절연 방식과 고주파 절연 방식에서 점차 Transformerless 방식으로 발전되어 나가는 추세이며, Transformerless 방식의 여러 가지 제어 알고리즘 중에서 본 논문이 제시한 알고리즘은 MPPT 알고리즘 주기가 DC/DC 컨버터의 제어 주기인 20kHz로 동작하며 MPPT는 DC/DC 컨버터에서 DC Link 단 및 출력 계통과 동상의 출력 전류는 인버터에서 담당하는 개별적 제어 방식을 택하였다.

태양광 발전용 PCS 중에서 변압기를 생략한 Transformerless 방식의 PCS에 대하여 DC/DC 컨버터에서 MPPT를 하는 계통 연계형 PCS 제어 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션 및 실험으로 검증하였다.

(참고 문헌)

- [1] V. John, N. Mohan, "Standby Power supply with High Frequency Isolation", APEC'95. Conference Proceedings, pp.990-994
- [2] T. Takebayashi, H. Nakata, M. Eguchi, and H. Kodama, "New Current Feed back Control Method for Solar Energy Inverter using Digital Signal Processor", PCC-Nagaoka, 1997, pp. 687-690.
- [3] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and William P. Robbins, "Power Electronics Converters, Applications and Design", 2nd Edition, 1995
- [4] Omar Stihl and Boon-Teck Ooi, "A Single-Phase Controlled-Current PWM Rectifier", IEEE trans. on Power Electronics, Vol. 3, No. 4, October 1988, pp.453-459
- [5] Chunk Wong, Ned Mohan, and Jin He, "Adaptive Phase Control for Three Phase PWM AC-TO-DC Converters with Constant Switching Frequency", PCC-Yokohama 1993, pp. 73-78