ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 67, No. 2, pp. 233~238, 2018
http://doi.org/10.5370/KIEE.2018.67.2.233

태양광 발전 시스템의 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법

Seamless Transfer Method of MPPT for Two-stage Photovoltaic PCS

박 종 화* · 조 종 민* · 안 현 성* · 차 한 주†
(Jong-Hwa Park · Jongmin Jo · Hyunsung An · Hanju Cha)

Abstract - This paper proposes a seamless MPPT operation mode transfer method of photovoltaic system. The photovoltaic system consists of a DC-DC boost converter, a DC-Link, and a 3-level neutral point clamp (NPC) type inverter. The PV voltage fluctuates due to the output characteristics of the solar pane1 depending on the irradiation amount and the temperature. The photovoltaic system requires seamless MPPT mode transfer method that the discontinuity does not occur in order to supply the stable power to system without affecting the fluctuation of the PV voltage. MPPT operation is divided into two modes by the voltage reference. Under the condition that the PV voltage is below 650V, the DC-DC boost converter performs MPPT through duty control based on perturb & observe (P&O) method, and the inverter conducts DC-link voltage and grid current controls in synchronous reference frame. On the other hand, when the PV voltage exceeds above 650V, inverter performs MPPT in accordance with the variation of DC-link voltage control while the converter stops operating. Two MPPT operation modes is smoothly transferred through the proposed method that DC-link voltage or grid current commands are appropriately adjusted from the certain criteria. The feasibility of the MPPT operation mode transfer method is verified using a 10kW solar photovoltaic system, experimental results have good performances that the fluctuation of PV current is reduced to 100%.

Key Words : Photovoltaic system, PV, PCS, MPPT, Seamless, Transfer method

1. 서 론

최근 전 세계적으로 석유 에너지 자원의 고갈과 고유가로 대체 에너지 및 신재생 에너지에 대한 관심과 투자가 집중되고 있다. 국내의 경우 태양광 에너지는 유지 보수가 간편하고, 장시간 사용이 가능하다는 장점에서 타 발전 시설에 비해 대용량 발전 시스템 설비가 늘어나고 있으며, 그에 따라 시스템의 세부적인 연구 및 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 정책적으로도 계통연계형 태양광 발전 시스템의 보급 사업이 추진 중에 있다[1].

그 중 태양광 발전 시스템의 태양광 패널은 일사량과 온도의 변화에 따라 개방 전압과 단락 전류의 출력 특성이 변화하게 되며, 그에 따라 효율을 최대화할 수 있는 최대전력 출력점의 위치도 변화된다. 이와 같이 외부 변화에 따라서, 최대전력 출력점의 변화로 PV 전압이 변동하기 때문에 태양광 발전 시스템의 최대전력 출력점에서 운전이 가능한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘이 매우 중요한 요소이다. 그러므로 외부 변화에 따른 PV 전압의 기준을 선정하고 각각 다른 MPPT 알고리즘이 요구된다[2],[4],[5].

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University, Korea.
E-mail: hjcha@cnu.ac.kr
* Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University, Korea.
Received : September 11, 2017; Accepted : January 22, 2018

지금까지 많은 MPPT 방법이 개발되고 구현되어왔지만 이들 방법들은 DC-AC 인버터 단독 운전을 통해 전력을 공급하거나, DC-DC 부스트 컨버터를 추가하여도 컨버터는 항상 동작을 수행하고, DC-AC 인버터는 전류제어 수행을 통해 전력을 공급하는 단일 운전에 관한 연구들이었다[6]. 본 논문에서 제안한 기법의 경우 PV 전압의 기준에 따라 나누어진 운전 모드가 서로 다른 MPPT 알고리즘을 수행하므로, 절체 시 불연속성이 발생하여 시스템에 큰 영향을 끼질 수 있으므로, 절체 시 PV 전압과 PV 전류의 변동이 없는 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법이 요구된다.

본 논문에서는 태양광 발전 시스템의 기존 인버터만 사용하였을 때 600~900V인 동작 전압 범위를 확대하고자 DC-DC 컨버터를 사용하여 DC 전압을 승압하는 토폴로지를 사용하여 동작 전압 범위를 300~900V로 확대하였다. 이와 같이 동작 전압 범위가 확대될 경우 발전 효율적인 측면에서 큰 장점을 가질 수 있다. 본 논문에서는 시스템을 바탕으로 태양광 패널의 발전 전압(PV 전압)의 변동에 따라 2가지 운전모드로 나뉘고 운전 모드 절체 시 안정적인 전력 공급을 위하여 불연속 구간이 발생하지 않는 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법을 제안하였다. 3상 380V의 계통에 전력을 공급하기 위하여 계통의 전압변동률과 마진을 고려하여 DC-Link의 정격 전압을 650V로 선정하였으며, PV 전압이 선정된 기준 전압 이하일 경우 태양광 발전 시스템에서 DC-DC 부스트 컨버터가 MPPT를 담당하게 되고, PV 전압이 선정된 기준 전압을 초과하는 경우 인버터가 MPPT를 담당하는 총 2가지의 MPPT 모드로 구분하여 무순단 MPPT 모드 절체 기법

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 구현하였다. 구분된 2가지 MPPT 운전 모드의 무순단 절체 기법을 검증하기 위하여 10kW급 태양광 PCS를 제작하고 이를 적용하여 실험을 통해 검증하였다[3],[6],[7].

2. 태양광 발전 시스템의 구조

그림 1은 계통연계형 태양광 발전 시스템의 구조를 나타내며, 태양광 패널, DC-DC 부스트 컨버터, DC-Link, 3레벨 NPC 타입 인버터, LC 필터 및 계통으로 구성된다. Vpv는 태양광 패널의 출력 전압, Ipv는 태양광 패널의 출력전류, Vdc는 DC-Link 전압, Iinv는 3레벨 NPC 타입 인버터의 출력 전류이며, Vg는 계통 전압을 나타낸다. 태양광 발전 시스템의 발전 범위를 확대하기 위하여 DC-DC 부스트 컨버터가 적용되며, DC-AC 인버터의 경우에는 출력단의 전압, 전류의 고조파 성분의 저감 특성을 향상시키고 높은 효율을 갖는 3레벨 NPC 타입 방식을 적용하였다.

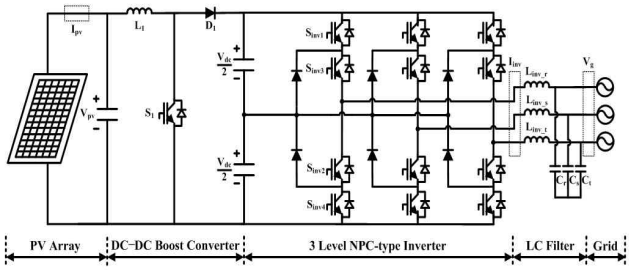


그림 1 계통연계형 태양광 발전 시스템
Fig. 1 Grid connected photovoltaic system

3. 태양광 발전 시스템의 MPPT 운전 모드 및 절체 기법

3.1 컨버터 MPPT 운전 모드

그림 2는 태양광 패널의 최대전력 출력점을 추종하기 위해 P&O 방식을 이용한 컨버터 MPPT 알고리즘을 나타내는 것으로 태양광 발전 시스템에서 PV 전압이 기준 전압 650V 이하인 경우 컨버터 MPPT 운전 모드로 동작하게 된다. P&O 방식을 기반으로 하는 컨버터 MPPT 알고리즘 기법은 태양광 패널에서 피드백 되는 PV 단의 전압과 전류로부터 계산된 PV 전력의 현재 값과 과거 값을 비교한 후, PV 전압의 현재 값과 과거 값을 비교함에 따라 DC-DC 부스트 컨버터의 스위칭 동작을 위해 전압전달비(Duty)를 증가시키거나 감소시킴으로써 최대전력 출력점을 추종하는 방식이다. 따라서 PV 전압이 기준 전압 650V 이하인 경우에는 컨버터가 MPPT 제어권을 담당한다. DC-AC 인버터는 기준 전압 값인 650V를 전압 지령치로 설정함에 따라 DC-Link 양단의 전압이 일정하게 유지하기 위한 DC-Link 전압 제어를 수행한다. DC-Link 전압 제어기의 출력은 DC-DC 부스트 컨버터에서 수행되는 P-V 곡선의 최대전력점에 해당하는 전력을 계통에 공급하기 위한 AC 전류 지령치로써 인가된다. 이러한 전류 지령치로부터 AC 전류는 동기좌표계 상에서 비례-적분 제어기로부터 제어된다.

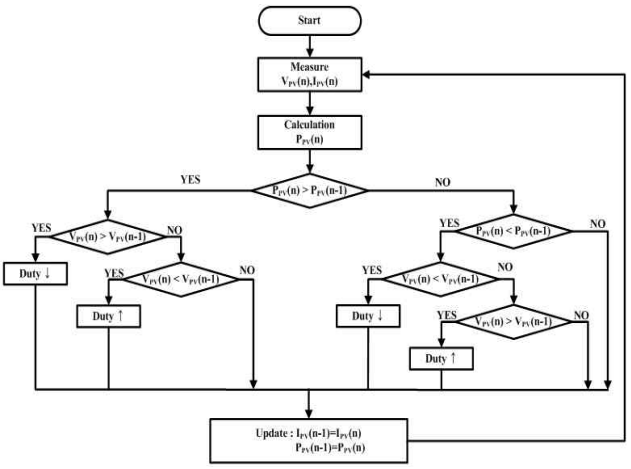


그림 2 컨버터 MPPT 운전 모드 흐름도
Fig. 2 Flow chart of converter MPPT operation mode

그림 3은 컨버터 MPPT 운전 모드에서 계통으로 전력을 공급하기 위한 인버터 DC-Link 전압 제어 및 전류 제어를 나타낸다. DC-Link 전압 제어기는 기준 전압 650V와 실측 Vdc를 통해 전류 지령치를 출력하며, 이러한 전류 지령치는 계통연계 전류 제어의 지령치(Iqe_ref)로 사용된다. 전류 제어 지령치는 피드백 되는 3상 계통 전류의 동기좌표변환을 통한 Iqe와의 오차를 0으로 추종하는 비례-적분 제어기를 사용하여 전류 제어를 수행한다. 동기좌표 d, q축의 상호간섭 성분을 보상하기 위한 디커플링(ωL)이 전류 제어기의 출력에 인가된다. 전류 제어기의 출력은 Vde_cmd와 Vqe_cmd를 역변환 하여 인버터의 지령치(Vr_cmd, Vs_cmd, Vt_cmd)로 출력된다.

3.2 인버터 MPPT 운전 모드

그림 4는 컨버터 MPPT 알고리즘과 동일하게 P&O 방식을 이

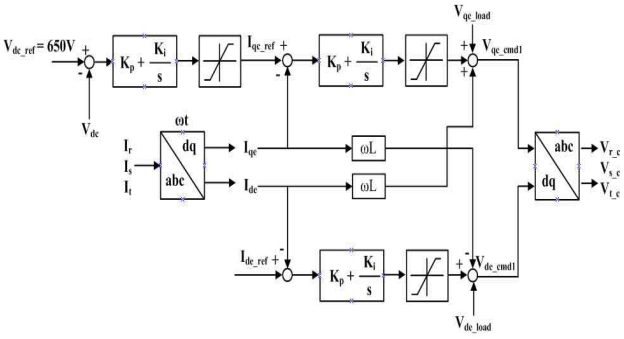


그림 3 컨버터 MPPT 운전 모드 전압 제어 및 전류 제어 기법
Fig. 3 Converter MPPT operation mode voltage control with current control technique

용한 인버터 MPPT 알고리즘을 나타내는 것으로 태양광 발전 시스템에서 PV 전압이 기준 전압 650V를 초과할 때, 인버터 MPPT 운전 모드로 동작한다. 컨버터 MPPT 운전 모드와 같이 태양광 패널에서 피드백되는 전압 Vpv와 전류 Ipv로 계산할 수 있는 전력 Ppv를 현재 값과 과거 값을 비교하고, 그 결과에서 Vpv의 현재 값과 과거 값을 비교하여 DC-Link 전압 제어기의 지령치(Vpv_ref)를 증가시키거나 감소시킴으로써, 최대전력 출력점을 추종하는 방식으로 PV 전압이 기준 전압 650V를 초과한 경우에는 인버터가 MPPT 제어권을 담당한다. DC-DC 부스트 컨버터는 동작을 정지하고, DC-AC 인버터는 MPPT를 통해 얻어지는 지령치를 사용하여 전압 제어를 수행한다. MPPT를 수행하면서 바뀌어지는 DC-Link 전압 제어기의 출력은 컨버터 MPPT 운전 모드와 동일하게 최대전력 출력점에 해당하는 전력을 계통에 공급하기 위한 AC 전류 지령치로써 인가되고 비례-적분 제어기로부터 제어된다. 하지만 인버터 MPPT 운전 모드의 경우 PV 전압 변동으로 인해 DC-Link의 내압 범위를 벗어날 수 있다. 본 논문에서의 태양광 발전 시스템 DC-Link 내압의 범위는 1000V 이므로 안정 범위를 동작 전압 범위인 900V와 동일하게 90%로 선정하여 PV 전압이 안정 범위를 벗어날 경우 회로를 차단하는 것으로 문제를 해결하였다.

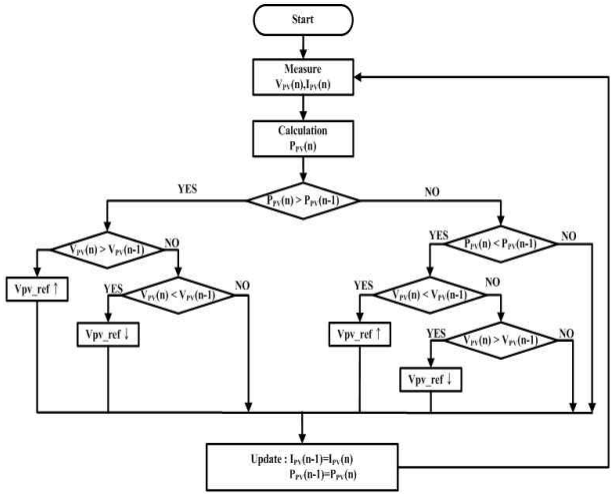


그림 4 인버터 MPPT 운전 모드 흐름도

Fig. 4 Flow chart of inverter MPPT operation mode

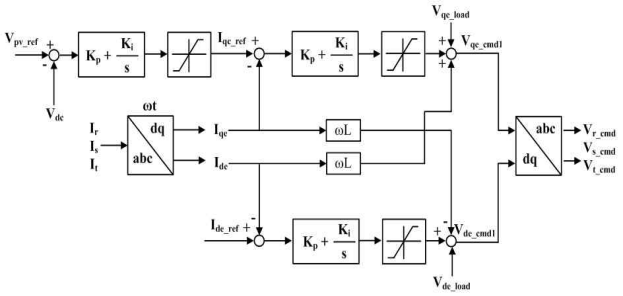


그림 5 인버터 MPPT 운전 모드 전류 제어 기법

Fig. 5 Inverter MPPT operation mode current control technique

그림 5는 3레벨 NPC 타입 인버터의 전류 제어기를 나타내고 있다. DC-Link 전압 제어기의 지령치가 기준 전압 650V로 고정되어 있는 컨버터 MPPT 운전 모드와 달리 인버터 MPPT 알고리즘을 통해 DC-Link 전압 제어기 지령치 Vpv_ref(=Vdc_ref)가 결정되며, 이 후의 인버터 계통 전류 제어는 앞 절에서 설명한 것과 동일한 제어를 통해 계통으로 전력을 공급한다.

3.3 운전 모드 무순단 절체 기법

그림 6은 MPPT 운전 모드의 절체 조건을 보여준다. 계통연계형 인버터는 3상 계통에 안정적인 전력을 공급하기 위해 DC-Link의 커패시터에 일정 이상의 전압을 필요로 하며, 본 논문에서는 계통전압 변동률과 마진을 고려하여 DC-Link의 정격 전압을 650V로 선정하였다. 컨버터 MPPT 운전 모드에서 인버터 MPPT 운전 모드로의 절체 조건인 모드 절체 전압은 PV 전압이 상승하여 DC-DC 부스트 컨버터를 통한 승압의 필요성이 없어 기동을 정지하는 것이 효율적인 정격 전압 650V를 모드 절체 전압으로 선정하였다. 인버터 MPPT 운전 모드에서 컨버터 MPPT 운전 모드로의 절체 조건은 PV 전압이 감소하여 최대전력 출력점이 앞 절에서 설명한 모드 절체 전압(650V) 근처로 이동하였을 경우 양쪽으로 모드 절체가 반복될 수 있으므로, 약 5%의 여유분을 포함하여 620V로 모드 절체 전압을 선정하였다. 태양광 발전 시스템이 컨버터 MPPT 운전 모드로 동작을 수행 중에 Vpv가 650V를 초과할 경우 DC-DC 부스트 컨버터는 스위칭을 하지 않는 오픈된 상태이며, 인버터 MPPT 알고리즘에 따라 인버터의 DC-Link 전압 제어 및 계통 전류 제어를 통해 전력을 공급할 수 있는 인버터 MPPT 운전 모드로 절체된다. 반대로 인버터 MPPT 운전 모드에서 수행하던 도중, Vpv가 620V 이하가 되면 컨버터 MPPT 알고리즘에 따라 DC-DC 부스트 컨버터가 스위칭을 수행하며, 인버터의 전류 제어를 수행하여 계통으로 전력을 공급하는 컨버터 MPPT 운전 모드로 절체된다.

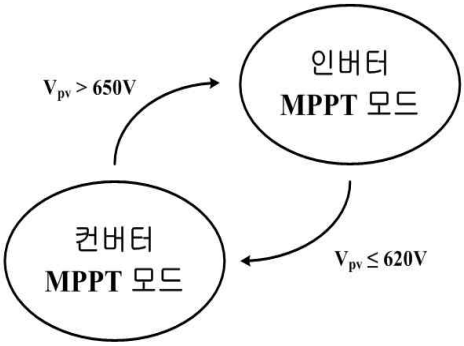


그림 6 MPPT 운전 모드 절체 조건

Fig. 6 MPPT operation mode transfer condition

2개의 MPPT 운전 모드 상호 간에 절체 시 불연속을 방지하기 위하여 컨버터 MPPT 운전 모드에서 인버터 MPPT 운전 모드로 절체하는 경우 DC-DC 부스트 컨버터의 동작을 멈추고, 기존에 계산되어진 PV 전압의 평균값을 DC-Link 전압 제어기의

지령치가 된다. 인버터 MPPT 운전 모드에서 컨버터 MPPT 운전 모드로는 모드 전환의 여유를 두어 620V 이하일 경우 절체가 수행되어진다. 이러한 경우 불연속 방지를 위하여 현재 MPPT 운전 모드에서 사용하는 인버터의 계통 전류 지령치 Iqe_ref를 가져가며, DC-Link 전압 제어기의 지령치는 620V에서 650V로 소프트 스타트를 수행하여 기준 전압 650V가 된다.

4. 실험 결과

본 논문에서 제안된 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법을 검증하기 위하여, 10kW급 태양광 발전 시스템을 구성하여 실험을 진행하였다. 기존의 DC-AC 인버터의 단독 운전인 시스템에서 동작 전압 범위 600~900V를 확대하기 위하여 DC-DC 부스트 컨버터를 추가하여 PV 전압을 승압하여 동작 전압 범위를 300~900V로 확대하는 토폴로지를 사용하였다. 그림 8은 태양광 발전 시뮬레이터, DC-DC 부스트 컨버터 및 3레벨 NPC 타입 인버터를 나타내고 있으며, 태양광 발전 시뮬레이터의 출력 전압 변동을 통해 제안한 절체 기법을 검증하였다.

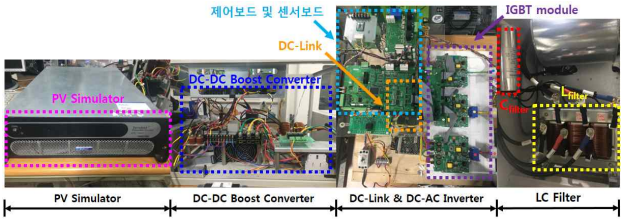


그림 7 프로토 타입 태양광 발전 시스템의 구성
Fig. 7 Proto-type photovoltaic system

표 1 태양광 발전 시스템의 파라미터 및 PV 곡선 파라미터
Table 1 PV curve parameter and parameter of photovoltaics system

태양광 발전 시스템 파라미터	
컨버터 입력 측 인덕터 (L_{conv})	9.3[mH]
DC-Link 커패시터 용량 ($C_{DC-Link}$)	1000[V]_3300[uF]
인버터 출력 측 필터 인덕터 (L_1)	0.69[mH]
인터버 출력 측 필터 커패시터 (C_f)	Δ 20[uF]
PV 곡선 파라미터 (컨버터 MPPT 운전 모드)	
개방전압 (Voc)	580.0[V]
최대 출력점 전압 (Vmp)	489.36[V]
단락전류 (Isc)	9.0[A]
최대 출력점 전류 (Imp)	8.529[A]
최대 출력점 전력 (Pmp)	4250.4[W]
PV 곡선 파라미터 (인버터 MPPT 운전 모드)	
개방전압 (Voc)	788.8[V]
최대 출력점 전압 (Vmp)	677.77[V]
단락전류 (Isc)	9.926[A]
최대 출력점 전류 (Imp)	9.407[A]
최대 출력점 전력 (Pmp)	6.37[kW]

표 2은 본 논문에서 태양광 발전 시스템의 실험을 위한 태양광 발전 시스템의 파라미터와 각 운전 모드의 PV 곡선 파라미터를 나타내고 있으며, 그림 8은 태양광 패널의 파라미터에 따른 I-V 곡선을 따라 DC-DC 부스트 컨버터가 최대전력 출력점을 추종하며, 그 효율이 99.63%로 운전 모드가 안정적으로 수행됨을 나타낸다.

그림 9는 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법이 적용되지 않았을 때의 실험 결과를 나타낸다. PV 전압 Vpv가 상승하다가 절체 조건인 650V를 초과하는 순간에 PV 전압 Vpv가 순간적으로 하강하여, PV 전류 Ipv가 PV 전압에 맞춰서 크게 상승하는 불연속 구간을 나타내고 있다. 이러한 불연속 구간이 발생하여 시스

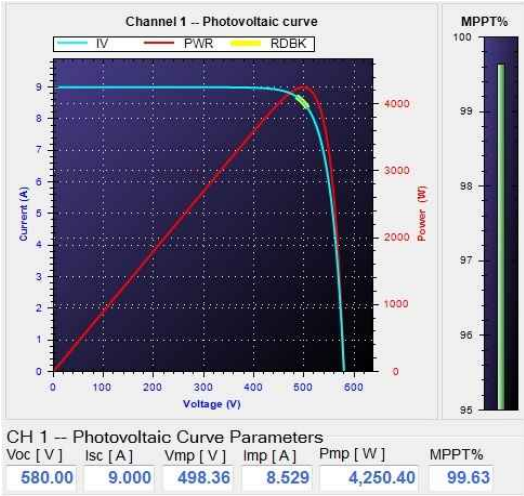


그림 8 DC-DC 부스트 컨버터 MPPT I-V 곡선 및 효율
Fig. 8 I-V curve and efficiency of DC-DC boost converter MPPT

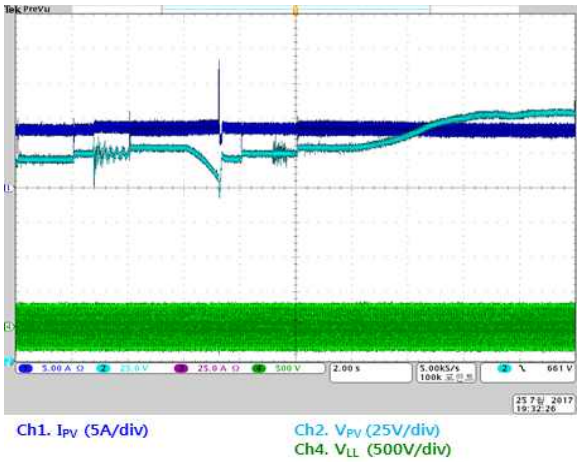
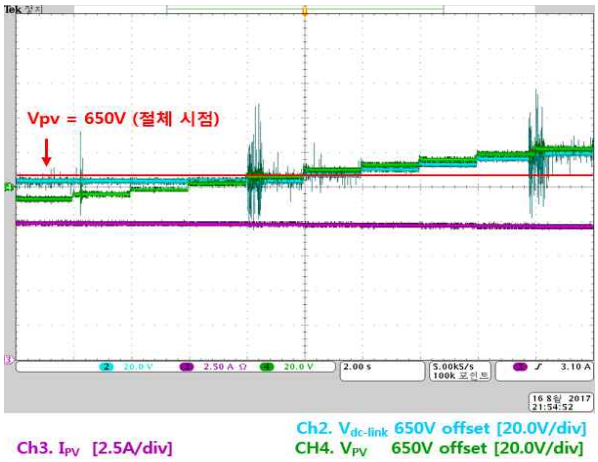
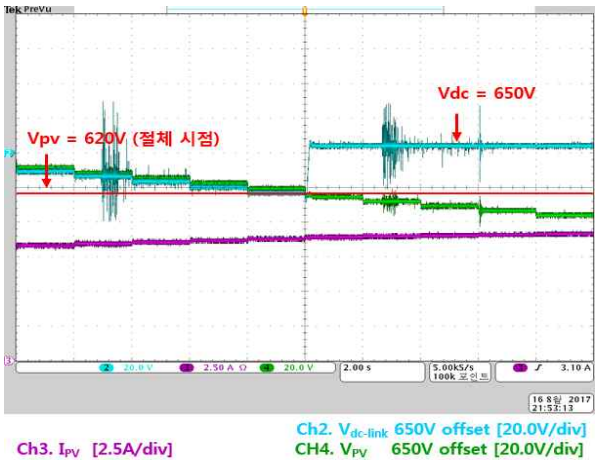


그림 9 무순단 절체 기법 적용 전 문제 파형
Fig. 9 Seamless experiment result of before mode transfer method



(a) 컨버터 MPPT 운전 모드 → 인버터 MPPT 운전 모드



(b) 인버터 MPPT 운전 모드 → 컨버터 MPPT 운전 모드

그림 10 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법 실험 결과

Fig. 10 Seamless MPPT operation mode transfer method experiment result

템에 큰 영향을 미쳐, 발전 효율을 저하시키는 문제점을 나타냄으로써 본 논문에서 제안한 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법을 적용하였다.

그림 10은 적용한 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법의 실험 결과를 나타낸다. 그림 10(a)는 Vpv가 650V를 초과하게 되어 컨버터 MPPT 운전 모드에서 인버터 MPPT 운전 모드로 절체되는 시점의 실험 결과를 나타내며, 최대전력 출력점으로 추종하는 과정에서 MPPT 운전 모드가 절체되어도 인버터 MPPT 알고리즘에 따라 DC-Link 전압 제어 지령치의 증감을 통해 불연속 없이 안정적으로 추종하는 것을 알 수 있다. 그림 10(b)는 Vpv가 620V 이하로 내려가서 인버터 MPPT 운전 모드에서 컨버터 MPPT 운전 모드로 절체 되어지는 시점의 실험 결과를 나타내며, 절체 시점인 620V에서 절체되고 DC-Link 전압 제어를 통해 선정된 기준 전압 650V로 DC-DC 부스트 컨버터를 통해 승압이 되며 PV 전압은 컨버터 MPPT 알고리즘을 통해 출력되는 전압 전달비에 의해 최대전력 출력점으로 불연속 구간이 없이 안정적으로 추종하는 것을 확인할 수 있다. 그림 9와 그림 10(a), (b)의 실험 결과 파형으로부터 본 논문에서 제안한 태양광 발전 시스템의 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 DC-AC 인버터만 사용할 경우의 동작 전압 범위를 확대시키기 위하여 DC-DC 부스트 컨버터를 추가하여 동작 전압 범위를 300~900V로 확대하였다. 태양광 패널의 외부 변화에 따라 PV 전압의 변동을 고려하여 기준 전압을 선정하고 두 가지 MPPT 운전 모드로 나뉘었다. 기준 전압보다 낮을 경우 컨버터가 MPPT 주도권을 가지고 인버터는 전류 제어를 통해 전력을 공급하며, 기준 전압보다 높을 경우 운전 효율 향상을 위하여 컨버터는 동작을 정지하고 인버터에서 MPPT 주도권을 가지고 전력을 공급한다. 본 논문에서는 이와 같은 두 가지 운전 모드가 PV 전압이 변동함에 따라 절체되고, 절체 시 나타나는 컨버터의 동작 유무와 제어기에서 발생할 수 있는 불연속 구간을 방지하기 위하여 무순단 MPPT 운전 모드 절체 기법을 제안하였다. 일사량과 온도에 따라 태양광 패널의 특성이 변화되어 PV 전압이 변동하여도 영향을 받지 않는 MPPT 운전 모드 절체 방식이다. 제안된 절체 기법을 검증하기 위하여 10kW급 태양광 발전 시스템에 적용하였으며, 실험을 통해 절체 시 나타나는 PV 전류의 변동 없이 안정적인 제어를 나타냄으로써 타당성을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 충남대학교의 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

References

[1] Ju-Yeop Choi, Gwon-Jong Yu, “Trends of Multi-functional and High Efficiency PCS Technology for Next Generation Distributed Power Supply Using Photovoltaic Power Generation”, The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 8, No. 6, 35-39 [5pages], December 2003.

[2] Jae-Hwe Shim, Seung-Dae Yang, Seung-Hwan Jung, Ju-Yeop Choi, Ick Choy, Jin-Ung An, Dong-Ha Lee “Analysis of various MPPT algorithms for PCS”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 2, 16-21 [6pages], April 2011.

[3] Sanghoey Lee, Hanju Cha “Anaysis of Utility Interactive

3-phase Photovoltaic Power Conditioning System", 2009 Summer The Korean Institute of Electrical Engineers, 14-17[4pages], July 2009.
[4] Riad Kadri, Jean-Paul Gaubert, Gerard Champenois," An Improved Maximum Power Point Tracking for Photovoltaci Grid-Connected Inverter Based on Voltage-Oriented Control", IEEE Tran. Industrial Electronics, Vol. 58, No. 1, 66-75, January 2011.
[5] Z. Salameh and D. Taylor, "Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays," Solar Energy, vol. 44, no. 1, pp. 57-61, 1990.
[6] Woo-Cheol Lee, "Maximum Power Point Tracking Control for a Frid-Tie Photovoltaic Inverter", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No. 5, pp. 72-79 May 2009.
[7] K. H. Hussein, 1. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada, "Maximum photo voltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric condition," lEE Proc. -Gener. Trans. Distrib., vol. 142, no. I, pp. 59-64, 1995.
[8] L. Wu, Z. Zhao, J. Liu, "A single-stage three-phase gridconnected photovoltaic system with modified MPPT method and reactive power compensation," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 22, no. 4, pp. 881-886, 2007.

저 자 소 개

박 종 화 (Jong-Hwa Park)
1990년 7월 23일생. 2016년 경성대학교 전기공학과 졸업, 2016~현재 충남대학교 전기공학과 전력 및 자동화 석사과정

조 종 민 (Jongmin Jo)
1987년 4월 1일생. 2013년 충남대 전기공학과 졸업. 2015년 동 대학원 전기공학과 전력 및 자동화 졸업(석사). 2015년~현재 동 대학원 전기공학과 전력 및 자동화 박사과정

안 현 성 (Hyunsung An)
2010년 충북대 물리학과 졸업. 2013년 충남대 대학원 전기공학과 전력 및 자동화 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 전기공학과 전력 및 자동화 박사과정.

차 한 주 (Hanju Cha)
1988년 서울대 전기공학과 졸업, 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사). 2004년 미국 Texax A&M University, College station(공박), 1990년~2001년 LG산전연구소 책임연구원, 2004년 미국 United Technology Research Center 방문교수, 2005년~현재 충남대학교 전기공학과 교수