
계통연계형 태양광 인버터의 새로운 최대 전력점 추종과 태양전지의 전류리플 감소에 관한 연구

황의선* · 강문성** · 양 오***

A Study on the New Maximum Power Point Tracking and Current Ripple Reduction of Solar Cell for the Grid-connected PV Inverter

Uiseon Hwang* · Moonsung Kang** · Oh Yang***

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

요 약

태양광 인버터는 항상 태양전지 어레이의 최대 전력을 추종하며 동작해야 한다. 또한 태양광 인버터는 폭넓은 태양전지의 최대 전력점 전압과 관계없이 최대 전력점을 추종해야 한다. 태양전지의 전류리플이 발생한다면 최대 전력점 추종 기능이 저하되고 일사량 변동이나 최대 전력점 변동 시 정상적으로 추종하기 어려워진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 고효율의 새로운 최대 전력점 추종 알고리즘과 태양전지의 전류리플 감소 알고리즘을 제안하였다. 4KW급 계통연계형 태양광 인버터에 적용하여 실험한 결과 최대 전력점 추종 효율이 99.97%, 인버터 출력 효율은 97.5%, 인버터 전류의 고조파 총 왜곡률은 1.05%로 우수한 성능을 보였다. 또한 0.5초 동안 일사량을 100% → 10%, 10% → 100%로 급격히 변동하였을 때에도 안정된 최대 전력점 추종이 가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Photovoltaic inverters should always track the maximum power of solar cell arrays in operation. Also, they should be irrespective of the maximum power point voltage of a wide range of solar cells in tracking the maximum power point. If the current ripple of solar cells occurs, the function of maximum power point tracking drops, and normal tracking is difficult when solar radiation or the maximum power point changes. To solve this problem, this paper proposed a new maximum power point tracking algorithm with high efficiency and an algorithm to reduce the current ripple of solar cells. According to the results from the test on 4KW grid-connected PV inverter, the efficiency of maximum power point tracking and inverter output and the total harmonic distortion of inverter output current showed 99.97%, 97.5% and 1.05% respectively. So, the inverter showed excellent performance, and made possible stable maximum power point tracking operation when the solar radiation rapidly changed from 100% to 10% and from 10% to 100% for 0.5 seconds.

키워드

최대전력점 추종, 태양광 발전시스템, 계통연계형 인버터, 전류리플 감소

Key word

maximum power point tracking, photovoltaic power system, grid-connected inverter, current ripple reduction

* 준회원 : 청주대학교 전자공학과 석사과정

접수일자 : 2013. 02. 15

** 정회원 : 청주대학교 전자공학과 교수

심사완료일자 : 2013. 04. 10

*** 정회원 : 청주대학교 반도체공학과 교수(교신저자, ohyang@cju.ac.kr)

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.5.1187>

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

세계적으로 지난 200년간 석탄, 석유, 천연가스인 화석연료로부터 에너지를 얻어왔지만 매장량의 한계와 화석연료의 사용으로 인한 이산화탄소 또는 산성의 오염물질 증가로 인해 환경오염의 주원인이 되고 있다. 이러한 화석에너지의 단점으로 인해 선진국 중심으로 대체 에너지를 개발하고 있으며 대체 에너지 중에서도 무한하며 재생 가능한 에너지인 신재생에너지 사용을 확산시키는데 노력을 하고 있다. 그 중에서도 주목받고 있는 태양광에너지는 태양광 발전 밀도가 높은 여러 나라에서 태양광 발전 시스템에 대하여 활발하게 연구가 진행되고 있다[1-2].

계통연계 태양광 인버터는 그림 1과 같이 태양전지 어레이, 부스트컨버터, 인버터로 구성되어 있다. 부스트컨버터는 태양전지 어레이의 입력 전압이나 출력 부하량에 관계없이 인버터에 일정한 전압을 공급하도록 제어되어야 한다. 인버터는 직류 전압을 교류 전압으로 변환하여 부하나 전력계통에 공급해준다. 계통연계 태양광 인버터는 전력 품질을 높이기 위해 많은 제어 시스템이 필요하다. 즉, 인버터 전류와 계통 전압과 동상이어야 하며 이를 위해 위상 고정 루프제어 기술, 태양광 전지 어레이의 최대 전력을 유지하기 위한 최대 전력점 추종(MPPT) 제어 기술 등이 있다.

태양전지 어레이는 일사량 및 온도 등과 같은 외부 환경에 따라 전력-전압 곡선, 전류-전압 곡선의 특성이 비선형적으로 변화한다. 이러한 변화에 따라 태양광 발전 시스템은 태양전지의 전력손실을 최소화하고 최대전력을 얻을 수 있는 최대 전력점 추종 기능이 필요하고 현재까지 다양한 방식으로 연구 성과가 보고되고 있다[3].

최대 전력점 추정기법으로 동요 및 관찰 알고리즘과 증분컨덕턴스 알고리즘이 주로 사용되어 왔다. 동요 및 관찰 방법은 태양광 발전 전력의 변화량을 이용하여 현재의 전력과 과거의 전력을 비교하여 추종하는 방법이다. 그러나 증분컨덕턴스 방법은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스를 비교하여 추종하는 방법이다[4].

계통연계형 태양광 인버터는 출력 전류의 용량에 비례하여 직류링크전압에 리플이 발생하고 직류링크전압의 리플은 계통전압 주파수의 2배가 된다. 또한, 직류링크

크전압의 리플은 태양전지의 전류에 영향을 준다. 따라서 태양전지의 전류도 직류링크 전압리플 주파수와 같게 된다.

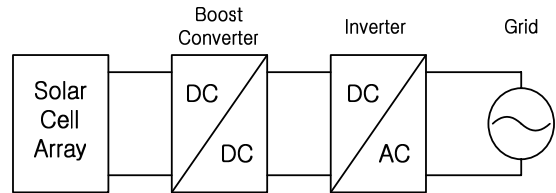


그림 1. 계통연계 태양광 인버터의 구조
Fig. 1 Structure of the grid-connected PV inverter

태양전지의 전류리플은 태양광 인버터에 악영향을 준다. 첫 번째로 태양전지는 약 10년에서 20년의 수명을 가지고 있지만 태양전지의 전류리플로 인하여 수명이 단축된다. 두 번째로 최대 전력점 추정 기능에 악영향을 끼쳐 효율이 떨어지고 급격한 일사량 변동과 같은 급격한 환경변화에 대응하지 못하게 된다. 따라서 태양전지의 전류리플 감소는 태양광 발전 시스템에 안전성과 효율성 등에서 중요한 사항이다. 아울러 부스트컨버터 단에 큰 용량의 전해 커패시터를 추가로 연결하여 태양전지 전류리플을 감소시키는 방법이 있지만 계통연계형 태양광 인버터의 부피가 커지고 비용이 크게 늘어나는 단점이 있다[5-7].

종래의 동요 및 관찰 알고리즘은 간단하여 구현하기 쉬운 장점을 가지고 있지만 최대 전력점을 기준으로 최대전력의 전력점이 변동하여 효율이 떨어지고 불안정한 최대 전력점 추종 운전을 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 안정된 최대 전력점 추종 알고리즘을 제안하고 태양전지의 전류리플을 감소시키기 위한 알고리즘을 제안하여 인버터의 성능과 효율을 향상시키고자 한다.

II. 종래의 최대 전력점 추종 알고리즘

동요 및 관찰 알고리즘은 태양전지 어레이의 전력의 변화량과 전압의 변화량을 이용하여 운전하는 방식으로 현재 전력과 과거 전력을 비교하여 태양전지 어레이의 출력 전압을 증가 혹은 감소시켜 태양전지 어레이의

최대 전력점을 추종하는 방식이다. 태양전지 어레이의 최대 전력점에서 태양전지 어레이의 출력전압이 연속적으로 진동하여 태양전지 어레이의 손실이 발생하게 된다. 또한 급격한 일사량 변동 시 빠르게 추종하기 어렵게 된다. 증분컨덕턴스 알고리즘은 부하 임피던스와 태양전지 임피던스를 비교하여 최대 전력점을 추종하는 제어 기술이다.

최대 전력점에서 미소 진동하는 것과 일사량 변동에 따라 전압 변동 폭이 따라가지 못하는 단점을 보완하였다. 부하 임피던스가 최대 전력점일 때 태양전지 어레이의 전류-전압 기울기가 동등하게 제어를 한다. 빠른 일사량 변화에 대한 최대 전력점 추종 성능이 좋은 장점이 있지만 실수 연산이 많아 고성능의 마이크로프로세서가 필요하다[8].

III. 제안한 최대 전력점 추종 알고리즘

태양전지는 일사량과 온도 또는 출력부하에 따라 전압-전압, 전류-전압 특성이 비선형적으로 변화한다. 최대 전력점 추종 알고리즘은 태양전지의 비선형적인 전압-전압, 전류-전압 특성에 구애받지 않고 최대 전력점 추종이 이루어져야 한다.

최대 전력점 추종은 부스트컨버터의 펄스폭을 변화시키는 방식과 비례적분제어기로 지령전압을 부스트컨버터로 유지하고 인버터 전류를 변동시키는 방식이 있다. 제안한 최대 전력점 추종 알고리즘은 부스트컨버터의 펄스폭을 변동시키는 방식으로 설계되었고 기본 원리는 다음과 같다.

태양전지 전압(V_{Solar})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 작을 때는 직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})을 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})으로 고정시키고 부스트컨버터의 펄스폭을 증가하거나 감소시켜 최대 전력점을 추종한다. 태양전지 전압(V_{Solar})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 클 때는 직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})을 직류링크 전압(V_{DcLink})으로 설정하고 직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})을 증가하거나 감소시켜 최대 전력점을 추종한다. 따라서 태양전지의 개방전압에 구애받지 않고 추종할 수 있다.

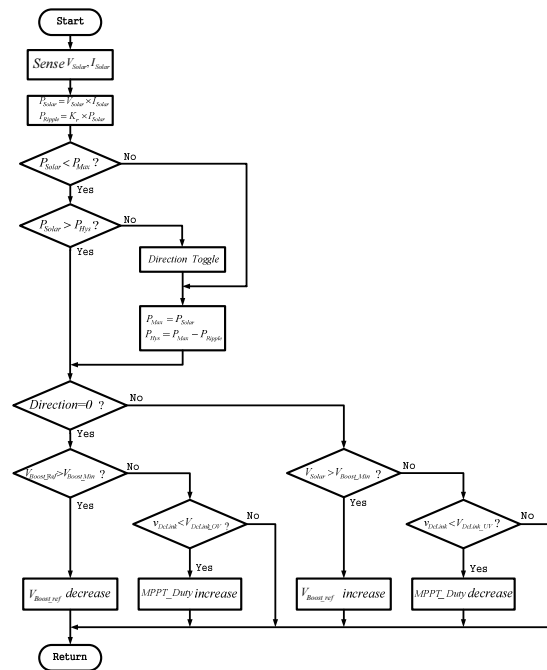


그림 2. 제안한 최대 전력점 추종 알고리즘 순서도
Fig. 2 Flowchart of the proposed maximum power point tracking algorithm

제안한 최대 전력점 추종 알고리즘의 순서도는 그림 2와 같고 이를 위해 안정된 계측 알고리즘과 최대 전력점 판단 알고리즘을 제안하였다.

인버터의 동작에 따른 심한 노이즈로 인해 태양전지의 전압, 전류를 정확하게 계측하기 어렵다. 따라서 태양전지의 전압과 전류를 100ms 마다 평균치리를 하여 정확한 태양전지의 전압, 전류를 계측할 수 있다. 100ms 마다 평균치리 된 태양전지의 전압(V_{Solar})과 전류(I_{Solar})를 곱하여 태양전지의 전력(P_{Solar})을 구한다. 그리고 히스테리시스 전력(P_{Hys})을 연산하기 위한 리플전력(P_{Ripple})은 식 (1)에서 보여주고 있다. 이득(K_r)은 1보다 작아야 하고 0보다 커야 한다. 리플전력(P_{Ripple})값은 이득(K_r)값에 따라 결정하게 되고 최소 전력값을 결정하게 된다. 이득(K_r)값이 너무 크면 효율이 떨어지고 너무 작으면 최대 전력점을 찾을 수 없게 된다.

$$P_{Ripple} = K_r \cdot P_{Solar} \quad (0 < K_r < 1) \quad (1)$$

최대 전력점을 판단하기 위해 현재 전력(P_{Solar})과 최대 전력(P_{Max})을 비교한다. 현재 전력(P_{Solar})이 최대 전력(P_{Max})보다 크거나 같을 때 최대 전력(P_{Max})은 현재 전력(P_{Solar})으로 설정되며 히스테리시스 전력(P_{Hys})을 연산하고 방향(Direction)은 이전상태를 유지한다. 이와 같은 상태는 태양전지의 전력이 최대 전력점까지 도달하는 중임을 판단한다.

현재 전력(P_{Solar})이 히스테리시스 전력(P_{Hys})보다 클 때 방향(Direction)을 반전시키고 최대 전력(P_{Max})은 현재 전력(P_{Solar})으로 설정되며 히스테리시스 전력(P_{Hys})을 연산한다. 이와 같은 상태는 현재 전력(P_{Solar})이 히스테리시스 전력(P_{Hys})까지 도달했기 때문에 다시 최대 전력점을 추종하도록 판단한다. 히스테리시스 전력(P_{Hys})은 식 (2)에서 보여주고 있다[9].

$$P_{Hys} = P_{Max} - P_{Ripple} \quad (2)$$

방향(Direction)은 최대 전력점 추종의 동작 방향을 나타내며 '1'과 '0'을 갖게 된다. 그림 3은 방향(Direction)에 따른 최대 전력점 추종의 동작을 보여주고 있으며, 방향(Direction)이 '0'일 때는 다음과 같다.

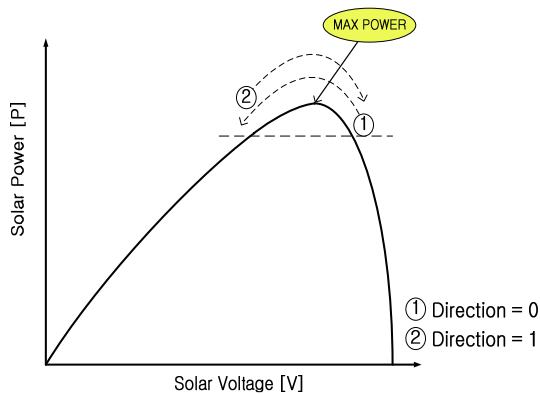


그림 3. 방향(Direction) 변화에 따른 최대 전력점 추종 동작 특성

Fig. 3 Maximum power point tracking operation characteristic according to the change of direction

직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 클 때 직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})을 일정하게 감소시켜 최대 전력점을 추종한다. 반대로 직

류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 작을 때 부스트컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)을 일정하게 증가시켜 최대 전력점을 추종한다. 부스트컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)을 증가시킬 때 직류링크 순시전압(V_{DcLink})이 직류링크 과전압보다 낮아야 한다.

방향(Direction)이 '1'일 때는 다음과 같다.

태양전지 전압(V_{Solar})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 클 때 직류링크 기준전압(V_{Boost_Ref})을 일정하게 증가시켜 최대 전력점을 추종한다. 태양전지 전압(V_{Solar})이 직류링크 최소전압(V_{Boost_min})보다 작을 때 부스트컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)을 일정하게 감소시켜 최대 전력점을 추종한다. 부스트컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)을 감소시킬 때 직류링크 기준전압(V_{DcLink})이 직류링크의 저 전압보다 높아야 한다.

IV. 제안한 태양전지 전류리플 감소 알고리즘

계통연계형 태양광 인버터의 출력전력(P_s)은 계통 전압과 인버터 전류가 동상에 있을 때 식 (3)과 같으며 v_s 와 i_s 는 인버터 순시전압과 순시전류이며 ω 는 계통 전압 각주파수이고 V_s 와 I_s 는 인버터 출력 전압과 전류의 실효값이다. 직류링크전압의 주파수는 인버터 출력 전력의 주파수와 같다. 이러한 직류링크전압의 제2조파 특성은 태양전지의 전류에도 영향을 주어 인버터의 성능을 저하시킨다. 또한 태양전지 전류의 리플로 인하여 계측 오차가 생기게 되어 최대 전력점 추종 효율이 떨어지게 된다. 즉, 안정적인 최대 전력점 추종제어를 위해 태양전지의 전류리플을 감소해야 할 필요가 있다[10-11].

$$\begin{aligned} P_s &= v_s \cdot i_s \\ &= \sqrt{2} V_s \sin \omega t \cdot \sqrt{2} I_s \sin \omega t \\ &= V_s I_s (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

제안한 태양전지의 전류리플 감소 알고리즘은 부스트컨버터에 의해 제어되며 복잡한 연산이 필요한 알고리즘과 달리 간단하고 명확한 효과를 볼 수 있다. 그림 4

는 제한한 전류리플 감소 제어기의 구조이다.

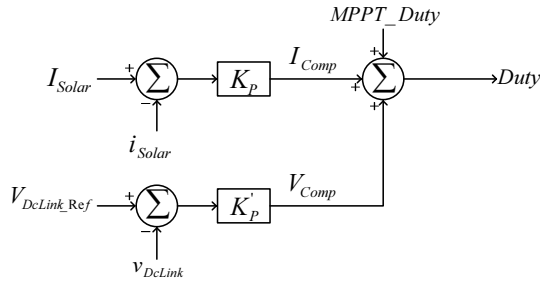


그림 4. 전류리플 감소 제어기의 구조
Fig. 4 Block diagram of current ripple reduction controller

제한한 태양전지의 전류리플 감소 알고리즘의 구조는 비례(P)제어기로 구성되어 있으며 태양전지의 전류와 직류링크 전압으로 제어된다.

최대 전력점 추종 제어 시 사용하였던 100ms마다 평균 처리한 태양전지의 전류값(I_{Solar})과 59.5us마다 계측된 태양전지의 순시 전류값(i_{Solar})의 차만큼 보상을 한다. 이때 이득(K_p)가 지나치게 크면 최대 전력점 추종 제어가 불안하고 태양전지의 전류리플이 감소되지 않는다.

이를 보완하기 위해 직류링크 기준전압(V_{DcLink_Ref})과 59.5us마다 계측된 직류링크 순시전압(v_{DcLink})의 차만큼 추가로 보상하였다. 태양전지 전류의 리플은 부스트 컨버터에 의해 감소시킨다. 부스트컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)과 태양전지의 전류리플 제어기의 출력(I_{comp})과 직류링크 전압리플제어기의 출력(V_{comp})를 더한 펄스폭으로 전류리플을 감소시킨다. 여기서 부스트 컨버터의 펄스폭(MPPT_Duty)은 그림 2에서 제한한 최대 전력점 추종 알고리즘의 출력을 나타낸다. 또한 I_{comp} 와 V_{comp} 는 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$I_{comp} = K_p \cdot (I_{Solar} - i_{Solar}) \quad (4)$$

$$V_{comp} = K'_p \cdot (V_{DcLink_Ref} - v_{DcLink}) \quad (5)$$

V. 실험 결과 및 고찰

태양 전지 어레이를 대신하여 태양광 시뮬레이터인 REGATRON사의 TopCon Quadro와 태양광 시뮬레이터 프로그램 SasControl을 사용하였다. 계통연계형 태양광 인버터의 마이크로프로세서는 Freescale사의 MK60FX 512VLQ12를 사용하였다. 태양전지의 전압과 전류, 계통전압, 인버터 전류 측정은 프로세서에 내장되어 있는 16bit A/D 변환기를 사용했으며 샘플링 시간은 59.5us로 계측하였다. 펄스폭 변조 주파수는 16.8KHz로 사용하였고 100ms 마다 최대 전력점 추종 제어를 하였다. 태양전지 어레이의 최대전력은 4KW로 실험을 하였으며 다음과 같이 3가지 실험을 통해 제한한 알고리즘의 우수성을 확인하였다.

- 1) 일사량 변동 실험
- 2) 태양전지의 전류리플 감소 실험
- 3) 최대 전력점 추종 및 효율 실험

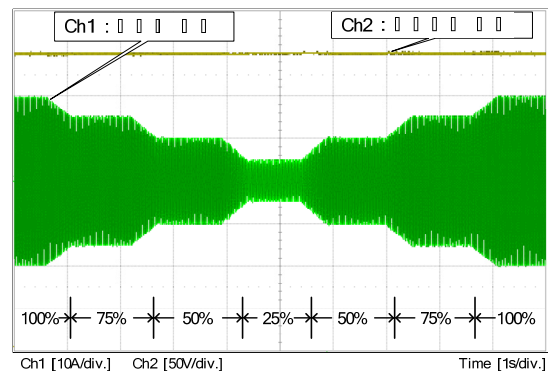


그림 5. 일사량 변동 실험
100% → 75% → 50% → 25% → 50% → 75% → 100%
Fig. 5 Irradiance fluctuation experiment
100% → 75% → 50% → 25% → 50% → 75% → 100%

그림 5는 제한한 최대 전력점 추종 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 일사량 변동실험을 한 결과이다. REGATRON사의 태양광 시뮬레이터인 SasControl를 사용하여 0.5초 동안 변동률 25%로 일사량 변동을 하고 1.2초 동안 일사량을 유지하였다. 그 결과 빠른 일사량 변동에서도 안정적으로 가변되는 인버터 전류와 일정하게

유지되는 직류링크 전압을 확인하였고 안정적인 최대 전력점 추종을 하였다.

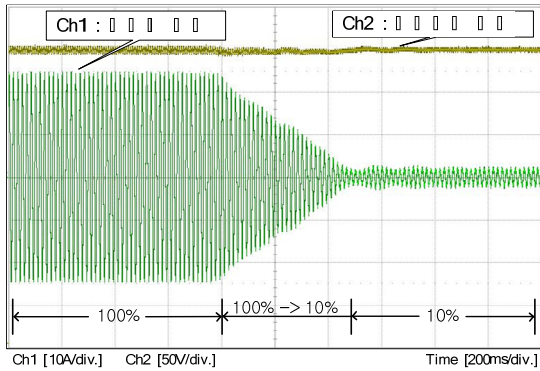


그림 6. 100% → 10% 일사량 변동
Fig. 6 Irradiance fluctuation from 100% to 10%

그림 6은 0.5초 동안 일사량을 100%에서 10%로 급격하게 변동시켰을 때 제안한 최대 전력점 추종 알고리즘의 실험 결과이다. 일사량 100%에서 10%로 급격한 변동에도 불구하고 인버터 전류가 안정적으로 감소됨을 볼 수 있고 특히 직류링크 전압이 일사량 변동 직후 직류링크 기준전압에서 $\pm 3V$ 의 변동이 보이지만 바로 직류링크 기준전압으로 제어되고 있음을 확인하였다.

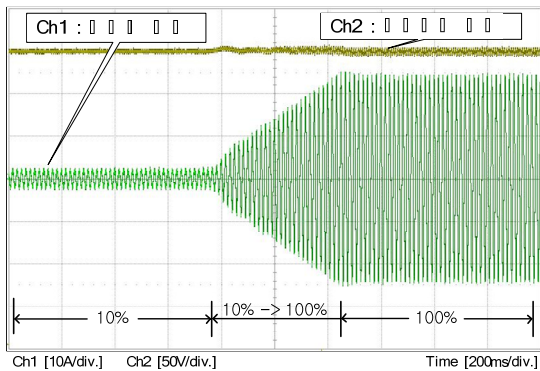


그림 7. 10% → 100% 일사량 변동
Fig. 7 Irradiance fluctuation from 10% to 100%

그림 7은 90%의 일사량 변동 실험을 통해 안정적인 최대 전력점 추종 기능의 우수성을 보인 실험 결과이다.

다. 계통연계형 태양광 인버터는 일사량 100%에서 최대 전력 4kW일 때 실험을 하였고 일사량 10% 즉, 400W로 제어하다가 0.5초 동안 일사량을 10%에서 100%로 변동 시 인버터 전류와 직류링크 전압 파형이다. 최대 전력점 추종기능이 불안하면 인버터 전류와 직류링크 전압이 심하게 변동되지만 그림 7과 같이 급격한 일사량 변동에도 안정적으로 인버터 전류가 제어됨을 확인할 수 있으며 일사량 변동 직후 직류링크 전압이 심하게 떨어지거나 증가되지 않고 안정적으로 제어됨을 확인하였다.

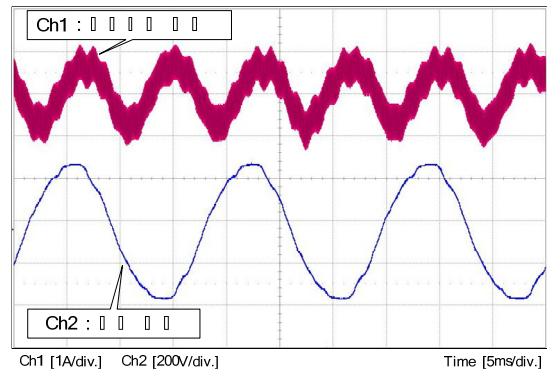


그림 8. 전류리플 감소 제어기 미사용 시의 태양전지 전류와 계통전압 파형
Fig. 8 Waveform of solar cell and grid voltage without current ripple reduction controller

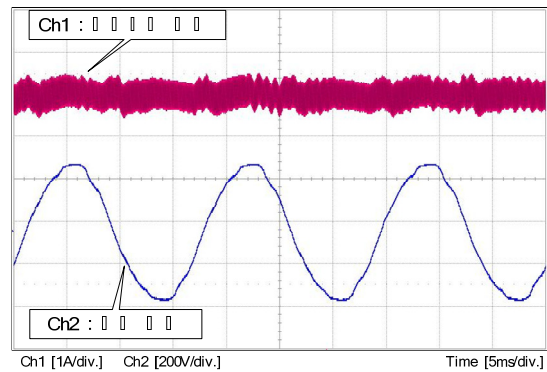


그림 9. 전류리플 감소 제어기 사용 시의 태양전지 전류와 계통전압 파형
Fig. 9 Waveform of solar cell and grid voltage using current ripple reduction controller

그림 8은 기존의 전류리플 감소 제어기를 사용하지 않았을 때 태양전지 전류와 계통전압에 대한 실험 결과 파형이다. 이 실험결과를 통해 전류리플 감소 제어기 사용하지 않았을 때 태양전지의 전류리플이 심하게 변동됨을 알 수 있고 $\pm 1.1A$ 의 오차가 발생하였다.

그림 9는 제안한 전류리플 감소 제어기를 적용한 실험결과 파형이다. 태양전지의 최대 전력점 전압 300V, 최대 전력점 전류 13.3A 일 때 태양전지의 전류 파형과 계통전압 파형을 보여주고 있다. 제안한 태양전지 전류리플 감소 제어기를 사용함으로써 태양전지 전류리플 감소 제어기를 사용하지 않을 때보다 약 11배 이상이 감소된 $\pm 0.1A$ 의 전류리플 오차가 발생되었다. 그림 8과 9로부터 전류리플 감소 제어기의 우수성을 보여주고 있다. 또한 제안한 전류리플 감소 제어기의 유, 무에 따른 태양전지 전력과 최대 전력점 추종 효율, 인버터 효율, 인버터 전류의 고조파 총 왜곡률(THD) 과 일사량 변동시 직류링크 전압 변동폭을 비교하여 본 논문의 우수성을 보이고자 한다.

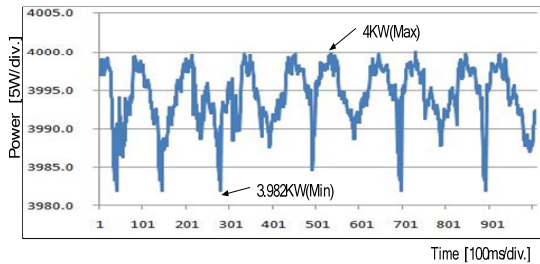


그림 10. 전류리플 감소 제어기 미사용 시 태양전지 전력
Fig. 10 Solar cell power without current ripple reduction controller

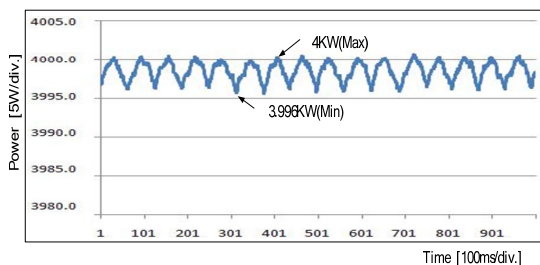


그림 11. 전류리플 감소 제어기 사용 시 태양전지 전력
Fig. 11 Solar cell power using current ripple reduction controller

그림 10은 전류리플 감소 제어기를 사용하지 않았을 때 실험결과이고 그림 11은 제안한 전류리플 감소 제어기를 사용하였을 때 태양전지의 발생 전력을 나타내고 있다. 그림 10과 11을 통해 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하였을 때 안정적인 최대 전력점 추종이 되고 있음을 실험을 통해 확인하였다.

표 1. 제안한 전류리플 감소 제어기에 대한 실험 결과
Table. 1 Experiment result on proposed current ripple reduction controller

실험 항목		전류리플 감소 제어기	
		미사용	사용
태양전지	최대 전력	4.0kW	4.0kW
	최소 전력	3.982kW	3.996kW
	평균 전력	3.991kW	3.998kW
	전류 리플	$\pm 1.1A$	$\pm 0.1A$
MPPT 효율	최대 효율	100%	100%
	최소 효율	99.55%	99.9%
	평균 효율	99.77%	99.97%
인버터 효율		97.1%	97.5%
고조파 총 왜곡률(THD)		1.24%	1.05%
일사량 급변시 직류링크 전압 변동폭		$\pm 7V$	$\pm 3V$

표 1은 제안한 전류리플 감소 제어기의 사용 유, 무에 따른 실험결과를 보여주고 있다. 계측기는 Newtons 4th Ltd사의 PPA5520으로 인버터 전류의 총 왜곡률과 인버터의 효율을 측정하였다. 인버터 전류의 고조파 총 왜곡률은 1.05%, 인버터 출력 효율은 97.5%로 측정되었다.

그림 12는 본 논문에서 제안한 최대 전력점 추종 알고리즘과 전류리플 감소 제어 알고리즘을 적용하였을 때 계통연계형 단상 4kW급 태양광 인버터의 계통 전압과 인버터 전류 파형이다. 그림 12에서 알 수 있듯이 계통전압이 왜곡되었을 때에도 왜곡 없이 인버터 전류가 발생됨을 알 수 있다.

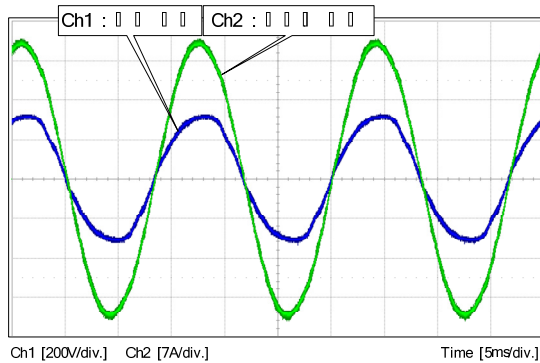


그림 12. 제안한 알고리즘을 사용한 계통전압과 인버터 전류 파형
 Fig. 12 Waveform of grid voltage and inverter current using proposed algorithm

인버터 전류 및 직류링크 전압은 최대 전력점 추종 기능으로 제어되고 있으며 최대 전력점 추종기능이 부정확하고 안정적이지 못하면 계통연계형 태양광 인버터의 전류 및 직류링크가 정상적으로 제어가 되지 않기 때문에 태양광 인버터의 전력품질이 떨어지게 된다.

본 논문에서 제안한 전류 리플 감소 제어 알고리즘으로 인해 더욱더 안정적이고 정확한 최대 전력점 추종 기능을 함으로써 계통연계형 태양광 인버터 전류의 총 왜곡률은 1.24%에서 1.05%, 제 3차 고조파는 0.97%에서 0.73%으로 제 5차 고조파는 0.49%에서 0.41%로 향상되었다. 그리고 효율은 97.1%에서 97.5%로 향상되어 제안한 알고리즘의 우수성을 보였다.

VI. 결 론

태양전지의 전류리플이 발생되면 계측오차 때문에 효율이 떨어지며 불안정한 최대 전력점 추종 운전을 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 새로운 최대 전력점 추종 알고리즘과 태양전지의 전류 리플을 감소시키기 위한 알고리즘을 제안하였다.

제안한 전류리플 감소 알고리즘의 타당성을 보이기 위해 전류리플 감소 제어기의 사용 유, 무에 따라 태양전지의 전류리플이 $\pm 1.1A$ 에서 $\pm 0.1A$ 로 약 11배 감소됨을 실험을 통해 확인하였다. 그리고 일사량 100%인 태양전

지의 최대전력인 4KW일 때 최대 전력과 최소전력의 차는 18W에서 4W로 오차가 크게 줄었으며 최대 전력점 추종 시 평균효율이 99.77%에서 99.97%로 0.2% 향상됨을 보였다. 또한 일사량을 0.5초 동안 100%에서 10%, 10%에서 100%로 급변동 실험 시 인버터 전류와 직류링크 전압이 안정적으로 제어되었다. 아울러 제안한 알고리즘으로 인해 계통연계형 태양광 인버터 전류의 총 왜곡률은 1.24%에서 1.05%로 향상되었으며, 제 5차 고조파는 0.97%에서 0.73%, 제 5차 고조파는 0.49%에서 0.41%로 향상되었다. 또한 계통연계형 태양광 인버터의 효율은 97.1%에서 97.5%로 향상됨을 보여 우수한 결과를 얻었다.

참고문헌

- [1] N. Khaehintung, "Grid-connected Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking using Self-Organizing Fuzzy Logic Controller", Proceedings of the IEEE, pp. 1-4, 2005.
- [2] F. Bouchafaa and D. Beriber, "Modeling and control of a grid connected PV generation system", Proceedings of the IEEE, pp. 315-320, 2010.
- [3] Il-Song Kim, Myung-bok Kim and Myung-joong Youn, "New Maximum Power Point Tracker Using Sliding-Mode Observer for Estimation of Solar Array Current in the Grid-Connected Photovoltaic System", IEEE, Vol. 53, pp. 1027-1035, 2006.
- [4] 유권중, 정영석, 최주엽, "새로운 고효율 MPPT 제어 알고리즘 고찰", 한국태양에너지학회, pp. 11-20, 2002.
- [5] D. Casadei, G. Grandi and C. Rossi, "Single-phase single-stage photovoltaic generation system based on a ripple correlation control maximum power point tracking", Proceedings of the IEEE, pp. 562-568, 2006.
- [6] T. Brekken, N. Bhiwapurkar and M. Rathi and N. Mohan and C. Henze and L.R. Mounmeh, "Utility-connected power converter for maximizing power transfer from a photovoltaic source while drawing ripple-free current" IEEE PESC 04, Vol.3, pp. 1957-1963, 2004.

- [7] 이우중, 김영록, 차한주, “3상 계통연계형 배터리 충전기의 전류리플 분석 및 보상”, 전력전자학회, 전력전자학술대회, pp. 267-268, 2012.
- [8] 옥승규, 양오, “계통연계형 태양광 발전시스템의 새로운 MPPT에 관한 연구”, 한국정보기술학회, pp. 28-35, 2012.
- [9] Jung-Min Kwon, “Multi-mode MPPT control for improved efficiency”, Proceedings of the IEEE, pp. 140-143, 2008.
- [10] T. Shimizu, Y. Fujioka, G. Kimura, “DC ripple current reduction method on a single phase PWM voltage source converter”, Proceedings of the IEEE, pp. 237-240, 1997.
- [11] Jung-Min Kwon, “Grid-Connected Photovoltaic Multistring PCS With PV Current Variation Reduction Control”, Proceedings of the IEEE, pp. 4381-4388, 2009.



양 오(Oh Yang)

1983년 : 한양대학교 전기공학과
학사 졸업
1985년 : 한양대학교 전기공학과
석사 졸업

1997년 : 한양대학교 전기공학과 박사 졸업
1985년-997년 : LG 산전 연구소 책임연구원
1997년-현재 : 청주대학교 반도체공학과 교수
2006년-2007년 : Texas A&M University 방문교수
※관심분야 : 디지털 시스템 설계 및 DSP 응용제어
시스템 설계, 계통연계형 태양광 인버터 설계, ASIC
설계

저자소개



황의선(Uiseon Hwang)

2012년 : 청주대학교 반도체공학과
학사 졸업
2012년 - 현재 : 청주대학교
전자공학과 석사과정

※관심분야 : DSP 응용제어 시스템 설계, 태양광
인버터설계



강문성(Moonsung Kang)

1978년 : 한양대학교 전기공학과
학사 졸업
1980년 : 한양대학교 전기공학과
석사 졸업

1991년 : 일본 교토대학 전기공학과 박사 졸업
1979년-1991년 : 한국전력 공사 기술연구원
1991년-현재 : 청주대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 제어 및 시스템공학