

전류오차 신호를 이용한 간단한 MPPT제어기 설계에 관한 연구

강주성*, 고강훈, 최광주, 홍두성, 이현우
 경남대학교 전기공학과

A Study on Design of the simple MPPT controller using current error signal

Ju Sung Kang*, Kang Hoon Koh, Kwang Ju Choi, Doo Sung Hong, Hyun Woo Lee
 Division of Electrical Engineering, Kyungnam University

ABSTRACT

To improve the drawback of LCMPPPT(Limit Cycle Maximum Power Point Tracking) controller of the existing two power conversion stages, an advanced MPPT scheme of single power conversion stage is proposed in this paper. This topology is faster on the control speed by means of current control method and the system configuration is simpler. The Authors produce a battery charger by using a cost effective one-chip processor (PIC16F877A) and evaluate another application on the basis of simulation. As a result, the proposed new LCMPPPT algorithm is confirmed to be stable and useful.

Keywords : LCMPPPT controller, battery charger

1. 서론

분산전원인 연료전지, 풍력, 태양광 발전시스템은 자연조건, 시스템 발전 조건 및 부하 상태 등에 따라서 최대전력이 변동하는 비선형적인 특성을 가지고 있다. 그러므로 항상 최대전력 점추종(MPPT : Maximum Power Point Tracking) 제어기법을 적용하여야 한다^[1].

태양광 발전 시스템의 경우, P&O(Perturbation and Observation), IncCond(Incremental Conductance) 기법이 가장 대표적인 방법이며 다양한 기법이 연구되고 있다. 이러한 연구의 최종목표는 시스템의 간소화와 다양한 분야에 응용 가능한 범용 시스템 개발에 목적이 있다.

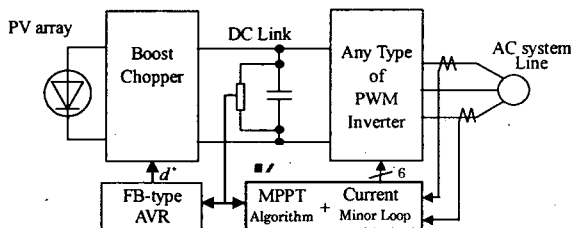


그림 1 전력변환단 2단의 LCMPPPT기법
 Fig. 1 LCMPPPT method of two stages in a power conversion

간소화된 기법 가운데, DC링크단의 전압 오차 신호를 이용, 출력 전류 제어 루프내의 전류 오차 신호를 이용한 전력 변환단 2단의 리미트 사이클 MPPT방식(이하, LCMPPPT : Limit Cycle Maximum Power Point Tracking)이 제안되었다.^[2,3]

이 방식은 전력의 최대화가 기존의 등산법과 같이 탐색에 의한 것이 아니라 태양전지의 최대 공급 전력을 초과하는 점에서 전력 수급의 평형이 붕괴되어도 직류 링크 전압을 일정하게 유지되도록 제어하는 것이다. 즉, 시스템이 전력 평형/불평형의 경계점에서 리미트 사이클 동작 하도록 하여 항상 MPPT동작이 가능하게 된다. 따라서, 이 시스템은 태양전지의 전압, 전류의 검출을 필요로 하지 않고, 과거와 현재의 전력 비교 동작이 필요하지 않기 때문에 제어 회로가 매우 간단함으로 기존의 등산법에 의존하지 않는 지극히 간단한 MPPT 제어기를 제안하였다.

그림 1은 기존에 제안하였던 “전력 변환단 2단의 리미트 사이클 MPPT 방식” (이하, LCMPPPT : Limit Cycle Maximum Power Point Tracking)를 나타냈다.

그러나, 이 시스템은 배터리 충전 시스템과 같은 전력 변환단 1단 응용에는 적용이 곤란하였다.

따라서, 출력 전류 제어 루프내의 전류 오차 신호를 이용하는 전력변환단 1단 응용에 대하여 리미트 사이클을 적용한 MPPT가 가능한 시스템을 제안한다.^[4]

제안한 방식은 전류 센서 1개만을 사용함으로 비용적으로 유리하며, 신호의 미분 연산을 필요로 하지 않기 때문에 스위칭 잡음 등의 영향을 받지 않고 안정적으로 동작한다는 이점을 가지고 있다. 그림 2는 제안하는 “전력 변환단 1단의 리미트 사이클 MPPT 방식”을 나타낸 것이다.

본 논문에서, 시스템의 효율성을 입증하기 위하여 시뮬레이션과 저가의 원칩 프로세서를 이용한 배터리 충전시스템을 제작하여 분석하였다. 그 결과 저가의 제어기 구성으로도 원활한 제어가 가능하다는 것을 확인 하였다.

2. 제안하는 전력변환단 1단의 LCMPPPT제어기

제안한 1단방식의 LCMPPPT의 구성은 그림 2와 같이 주회로는 태양전지, 승압초퍼, 제어를 위한 전류센서, 충전을 위한 산화 납(Lead acid) 배터리, 하단의 제어부는 PI제어기와 리미터 사이클 발생부로 구성된다.

기준전류와 배터리 충전전류에 의해 얻어진 에러값 e_i 는 PI제어기에 의해 스위치 오프 듀티 지령비 d^* 를 발생한다. 스위치 오프 듀티 d^* 는 태양전지의 최적동작전류 I_{mpp} 가 되도록 승압초퍼를 제어한다. 이와 동시에 전류제어루프에서 얻어진 e_i 는 리미터 사이클 제어 부분을 통하여 충전전류 제어값 I_{bat_ref} 를 증가시킨다. 기존의 리미터 사이클 발생조건과 동일하게 천천히 출력전력이 증가되어 태양전지의 동작점은 최대 전력점에 도달하게 된다.

이 지점에서 좀더 I_{bat_ref} 를 증가시켜 출력전력이 증가하게 되면 전력의 공급 평형이 깨지게 되어 초퍼의 출력전류 I_{bat} 는 급격히 저하한다. 이 현상에 의해 I_{bat} 가 급격히 저하되어 듀티비 지령 오프 듀티 d^* 는 0이 되어 스위치는 항상 온 상태가 되어 단락상태가 된다. 이와 동시에 동작점은 급격히 원점($V_{array} = P_{array} = 0$)에 도달한다. 따라서 동작점이 I_{mpp} 에 가깝게 도달한 경우에 I_{bat} 가 급격히 저하되는 것을 막을 수 있다면 전력을 최대전력점에서 동작시킬 수 있다.

이것을 정의하자면, 최대 전력 평형/불평형 경계점을 일정한 리미터값으로 제어되도록 하며, 리미터 된 값이 일정한 주기를 가지고 동작되기 때문에 리미터 사이클 제어라 한다. 그림 3은 LCMPT의 동작개념을 알 수 있게 나타낸 파형이다.

3. 시뮬레이션 및 시험결과 분석

3.1 PSIM 시뮬레이션 결과 분석

그림 4는 전력변환단 1단방식의 LCMPT제어기 구성을 나타낸 것이다. 제어기는 리미터 사이클 발생부, PI제어부, 게이트 신호 발생부로 구성된다.

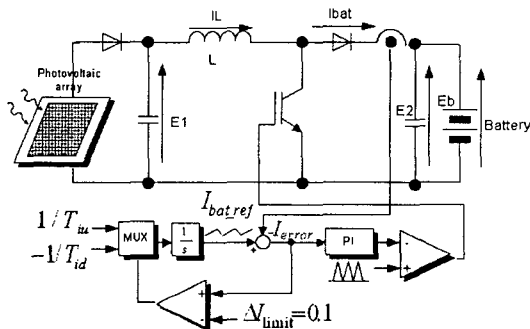


그림 2 제안하는 LCMPT제어기의 회로
Fig. 2 Proposed the circuit of LCMPT controller

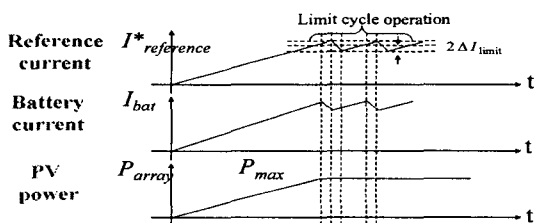


그림 3 LCMPT의 동작파형
Fig. 3 Operating waveform of LCMPT

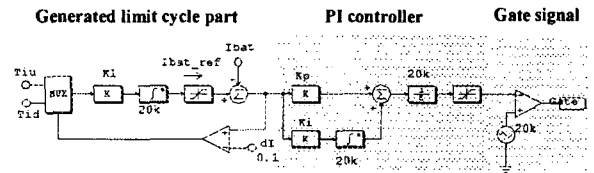


그림 4 LCMPT의 시뮬레이션 회로도
Fig. 4 Simulation circuit diagram of LCMPT

표 1은 최대일조조건의 경우를 A, 최대일조조건의 40%의 경우를 B로 하여 나타낸 것이다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들을 나타낸 것으로 실험과 동일한 파라미터 값을 적용시켰다.

그림 5는 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 조건 A의 경우, 그림 5(b)는 조건 B의 경우를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 일사량의 변화와 관계없이 리미터 사이클 주기는 일정하며, 리미터 된 값에 만족하게 동작한다는 것을 알 수 있다.

표 1 태양전지어레이 시뮬레이터의 설정값

Table 1 Setting value of the solar array simulator

| ITEM | V_{oc} | I_{sc} | V_{mpp} | I_{mpp} | P_{mpp} |
|------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| A | 21.7[V] | 3.45[A] | 17.4[V] | 3.15[A] | 55[W] |
| B | 20[V] | 1.45[A] | 16[V] | 1.3[A] | 20.8[W] |

표 2 각 파라미터 설정값

Table 2 Setting value of each parameter

| ITEM | VALUE | ITEM | VALUE |
|--------------------|---------|-----------------|-----------|
| ΔI_{limit} | 0.1[A] | I_{ripp} | 0.15[A] |
| K_p | 0.2 | Δv | 2.5[V] |
| L | 1.2[mH] | T_{id} | 1[ms] |
| T_{iu} | 200[ms] | T | 201[ms] |
| τ_{pi} | 1.7[ms] | $\tau_{pi low}$ | 1.875[ms] |

3.2 실험결과

그림 6은 제작된 시작품 사진을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 PIC내부의 파라미터 값은 표 2의 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값과 동일한 조건을 사용하였다. 그림 7은 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸 것이다. 그림 7(a)는 조건 A의 경우, 그림 7(b)는 조건 B의 경우를 나타낸 것이다. 실험결과와 시뮬레이션 결과와 거의 일치한다는 것을 확인하였다.

그림 8은 5[s]의 주기로 솔라 어레이 시뮬레이터(HP, E4351B, 4[A], 480[W])로서 일조 조건의 변화를 구형파 형태로 변화를 주었을 경우 각부 동작파형을 나타낸 것으로 리미터 사이클 동작주기는 약 5[Hz]이다.

그림 9는 구형파 형태로 일사량의 변화를 주었을 경우 동작 궤적을 나타낸 것으로 항상 최대전력점에서 동작하고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 제안한 전력변환단 1단 방식의 LCMPT 제어기의 특성을 시뮬레이션 및 실험으로 분석하였다. 분석결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- i) 전력 평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작하도록 함으로써 태양전지의 전압과 전류 검출에 필요한 센서나 부가적인 연산이 필요하지 않다.
 - ii) 전류추종제어기법이기 때문에 전압제어에 비하여 추종속도가 빠르며 부하 변화에도 빠른 응답특성을 가지고 있다.
 - iii) 저가의 제어기와 센서리스 시스템 구성이 가능하다.
- 이상과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 향후 인버터와 결합된 시스템 및 부분그늘에 있어 제안한 시스템 적용시 그 유용성을 입증하고자 한다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.
 이 논문은 산업자원부의 전력산업고급인력 해외 연수지원에 의해 연구 되어진 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] M.Matsui, T.Kitano and DH.Xu, "A Simple Maximum Photovoltaic Power Tracking Technique Utilizing System Inherent Limit Cycle Phenomena," IEEE IAS 2003 Annual Meeting Conf. Rec., pp.2041-2047, 2003.
- [2] Jun Youn Ahn, Jong Hoo Park, B.H.Cho, K.J.Yoo, "Analog MPPT for connected single phase system", KIPE conference, pp. 785-788, 2003.
- [3] M.Matsui, T.Kitano, "Proposal of Simple MPPT control Technique Using Current Minor-Loop Error Information", ICPE04 Conf. Proceedings, pp.121-125, Oct. 2004.
- [4] Kang-Hoon Koh, M.Matsui, "An Investigation of Limit cycle MPPT control for Battery charger by Current-Control-Loop Error Signal", JIASC2005, 1341-1342, Aug. 2005.

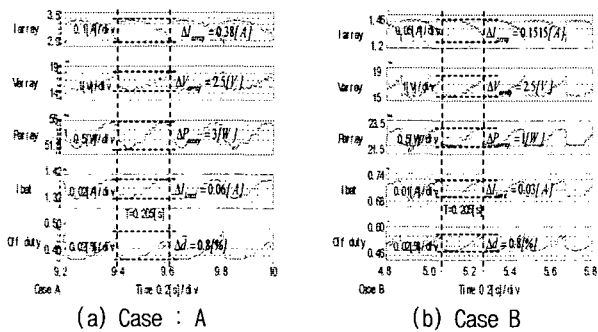


그림 5 일사조건에 의한 LCMPT 동작 파형
 Fig. 5 LCMPT operating waveform by Insolation condition

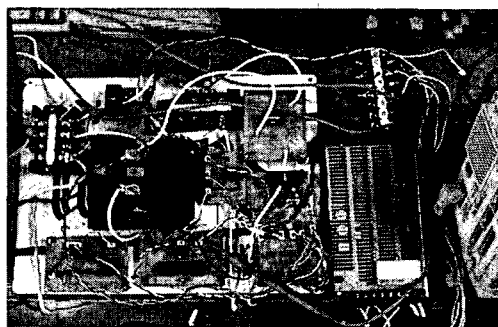


그림 6 LCMPT 제어기 시작품 사진
 Fig. 6 Picture of LCMPT controller trial product.

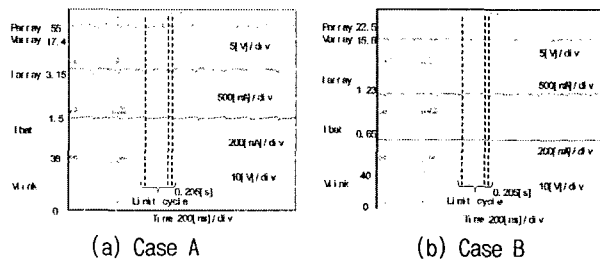


그림 7 각각의 일사조건에 의한 LCMPT 동작 파형
 Fig. 7 LCMPT operating waveform for each Insolation conditions

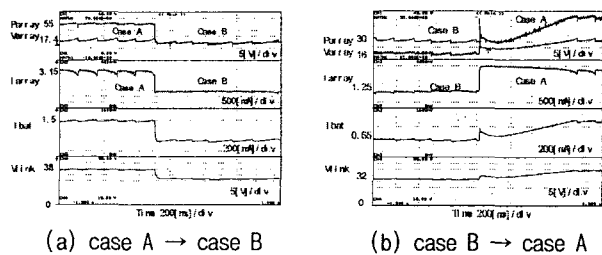


그림 8 구형파 변동 조건시 동작 파형
 Fig. 8 Operating waveform at condition of varied square waveform

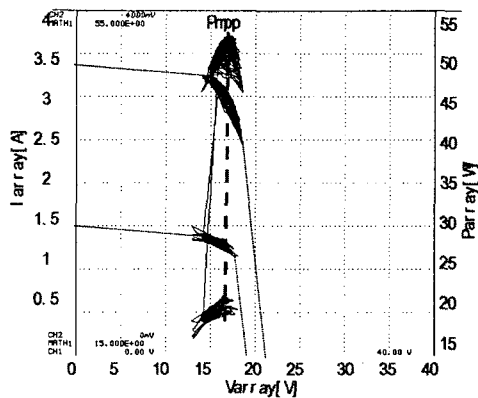


그림 9 구형파 변동시 동작 궤적
 Fig. 9 Operation trajectory at changed square-wave