

평형/불평형 제어를 이용한 MPPT제어에 관한 연구

강태경, 고강훈, 최광주, 박정우, *M.Matsui, 이현우
 경남대학교, *동경공예대학

A study on MPPT control using the balace/unbalance control

K. T. K, K. G. H, C. K. J, P. J. W, *M.Matsui, L. H. W
 Kyungnam University, *Tokyo polytechnic university

Abstract - This paper proposes a simple MPPT control scheme of a Current- Control-Loop Error system Based that can be obtains a lot of advantage to compare with another digital control method, P&O and IncCond algorithm, that is applied mostly a PV system. An existent method is needed an expensive processor such as DSP that calculated to change the measure power of a using current and voltage sensor at the once. But, a proposed method is easy to solve the cost reduction and power unbalance problems that it is used by control scheme to limit error of a current control of common sensor.

This proposed algorithm had verified through a simulation and an experiment on battery charger using PIC that is the microprocessor of a low price.

1. 서 론

기존 MPPT방법은, 기본적인 전력정보를 취득하기 위하여, 태양전지단자 또는 부하단자에서의 전압 전류를 검출해서, 입 출력전력을 연산 제어하는 방법인 P&O (Perturbation and Observation), IncCond (Incremental Conductance)가 대표적인 방법이다. 또한, 제어기법 간 단화와 비용저감을 위하여 아날로그 미분기를 사용한 제어방법도 있다.

이러한 연구의 최종목표는 시스템의 간소화와 다양한 적용이 가능한 시스템 개발에 있다. 시스템의 간소화로는 센서레스 시스템, 저가의 제어기 채용, 다양한 응용을 위하여 대체에너지 전반(풍력, 플라이휠, 연료전지 등)에 적용 가능한 시스템 설계에 있다.

본 논문에서는 평형/불평형 제어를 이용한 MPPT제어기를 사용하였으며 시뮬레이션 및 시작품제작을 통한 실험결과를 분석하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 제안하는 LCMPTT

제안하는 방식은 전력의 최대화는 탐색에 의하여 이루어지는 것이 아니며 태양전지의 최대공급전력을 넘는 점에서 전력수급의 발란스가 무너져도 직류 링크전압이 일정하게 되도록 함으로써 계를 정상적으로 전력평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작 시키는 것으로써 항상 최대전력점동작이 이루어지게 된다. 이 제안된 방식의 동작은 태양 전지의 전압, 전류의 검출을 필요하지 않으며, 과거와 현재 전력의 비교동작이 필요하지 않기 때문에 제어회로가 상당히 간단하며, 기존의 등산법에 의존하지 않는 극히 간단한 MPPT제어를 제안하였다.

제안된 제어 방식은 전류제어루프내의 전류오차신호를 이용하는 것로부터 리미터 사이클을 적용한 MPPT가

가능한 시스템을 제안하고자 한다.(1)(2)(3) 이 방식에서는 전류센서 1개만을 필요로 하기 때문에 비용적으로 유리하고, 더욱이 신호의 미분연산을 필요로 하지 않기 때문에 스위칭 노이즈 등의 영향을 받지않기 때문에 동작이 안정적인 이점을 가지고 있다. 그림 1은 제안하는 LCMPTT방식을 나타낸 것이다.(5)

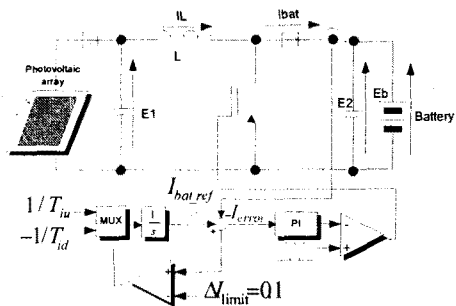


그림 1 제안하는 LCMPTT
 Fig. 1 Proposed LCMPTT

2.2 LCMPTT의 동작

I_{bat} 와 I_{bat}^* 의 전류제어오차 e_i 의 값에 따라서 초퍼 스위치가 제어됨으로써 출력전력 조절이 가능하다. 또 \bar{d} 는 I_{array} 가 최적동작전류 I_{opt} 가 되도록 결정하지만, 배터리의 최대 충전전류는 태양전지의 설계값에서 크게 벗어나지 않으므로 그림 2와 같이 리미터 사이클을 설계하여 탐색폭을 한정해 줌으로써 추종 속도를 개선 할 수 있다. 그러므로 태양전지의 출력전력 P_{array} 는 초퍼를 통하여 배터리로 최대전류를 공급하게 된다.

본 시스템은 입출력의 전력 밸런스로 동작한다. 즉 출력전력 P_o 가 최대전력 P_{max} 에 도달하지 않았을 시, $P_o < P_{max}$ 의 경우, 태양전지의 출력전력 P_{array} 는 여유가 있기 때문에 P_o 의 변화하는 시정수에 대하여 V_{bat} 를 일정하게 유지하는 PI제어 루프의 등가시정수 τ_{pi} 가 짧으면 초퍼부의 PI연산에 의해 $e_i=0$ 로 유지하는 것이 가능하다. 여기에서 I_{bat}^* 를 단위량 변화시키기 위해 요구되는 시간 T_{iu} 에 대하여 적분기의 입력으로 정의값 $1/T_{iu}$ 를 입력하게 된다면 I_{bat}^* 를 그림 2와 같이 천천히 증가하게 되며, 이때 τ_{pi} 와 적분정수 T_{iu} 의 사이에는

$$\tau_{pi} < T_{iu} \quad (1)$$

식의 조건이 성립되지 않으면 안된다.

식(1)이 만족하지 않는 경우에 있어서는, I_{bat}^* 가 증가하는 속도에 비례하여 PI제어루프의 응답속도가 느려

지기 때문에 요구되는 전력을 초과로써 공급한다면 I_{bat} 가 급격히 저하한다. 이 때 이것을 검지하여 리미터 사이클 동작이 시작하게 된다. P_{max} 에 도달하기도 전에 리미터 사이클 동작이 일어나게 된다. 즉 $\tau_{pi} > T_{id}$ 가 되는 경우, 정상출력전력은 P_{max} 에서 벗어나게 된다. 이때, I_{array} 는 단락상태의 전류가 흐르므로 $P_o > P_{max}$ 가 되어 공급전력 P_{array} 는 여유가 없기 때문에 전력의 수급 밸런스가 무너지게 된다. 그 결과 I_{bat} 는 급격히 저하하여 e_i 는 급격히 증가하게 된다. 따라서 $e_i > \Delta I_{limit}$ 가 되면, I_{bat}^* 를 단위량 변화시키기 위하여 요구되는 시간 T_{id} 를 적분기의 부의 입력값으로 $-1/T_{id}$ 을 주게 되면 I_{bat}^* 는 그림 2와 같이 빠르게 감소된다. 이때 PI제어루프의 등가 시정수 τ_{pi} 와 적분정수 T_{id} 의 사이에는

$$T_{id} < \tau_{pi} \quad (2)$$

의 관계가 성립되도록 적분정수 T_{id} 를 선택 할 필요가 있다.

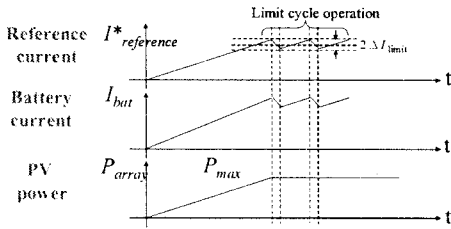


그림 2 LCMPTT 동작
Fig. 2 LCMPTT operation.

식(2)가 만족하지 않는 경우, I_{bat}^* 가 감소하는 속도에 비례하여 PI제어루프의 응답이 빠르기 때문에 초과 오프 듀티비 \bar{d} 가 급속히 1로 포화하여 I_{array} 는 개방상태가 되어 P_{array} 는 영점에 도달하게 되어 버린다.

이와 같이, 본 제안방식은 전력의 최대화가 입력과 출력의 전력 탐색에 의해서 이루어지는 것이 아니다. 다시 말해, LCMPTT방식은 태양전지의 최대공급전력을 넘는 점에서, 전력수급의 평형이 무너지 최대 충전전류 I_{bat} 가 일정하게 유지되지 못하게 되는 현상을 이용하는 것으로 전력 평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작 시키는 것에 의하여 구현 가능하다. 따라서 최대전력 P_{max} 를 LCMPTT 동작시키기 위해서는 식(1), (2)의 양조건이 동시에 만족하여야 한다.

$$T_{id} < \tau_{pi} < T_{in} \quad (3)$$

즉, 일사조건이 저하하게 되면 τ_{pi} 도 따라서 증가하게 된다. 이때 식(3)의 조건이 만족하지 않게 되는 경우가 발생하게 된다면 정상적인 동작점은 최대동작점과 차이가 발생하겠지만 P_{max} 에서 갑자기 0로 되지는 않는다.

2.3 시뮬레이션

그림 3은 태양전지의 특성곡선 (개방전압 V_{oc} = 21.325[V], 단락전류 I_{sc} = 3.89[A])을 나타내었다.

T_{in} 와 T_{id} 의 폭을 넓게 설계한다면 최대일조의 20[%]보다도 넓게 설계하는 것이 가능하지만 식(3)의 조건 $T_{in} > \tau_{pi} > T_{id}$ 를 만족하도록 하기 위하여 설계 예에서는 $T_{id} = 0.002T_{in}$, $I_{rip-p} = 1.506 \cdot \Delta I_{limit}$ 로 된

다. $\Delta I_{limit} = 0.1$ 인 경우 I_{rip-p} 값은 0.1506[A]이 된다.

I_{bat}^* 는 배터리 충전전류로서 V_{bat} 와 최대전력 P_{max} 에 의해 결정된다. 본 실험에 사용된 배터리의 경우 26.4[V] ($12[V] \times 2 = 24[V]$), 1cell = 2.2[V], 6Cell) 내부저항은 약 0.5 Ω 이며 최대전류를 공급하기 위한 V_{bat} 는

$$V_{bat} = \frac{P_{max}}{I_{bat}} \quad (4)$$

으로 되기 때문에 $P_{max} = 59.85$ [W], $I_{bat}^* = 2.23$ [A]이면 $V_{bat} = 26.883$ [V]가 가되며 $\Delta v = 6.365 \cdot K_p$ 가 된다. Δv 를 크게 설정한다면 입력 전류 I_{array} 의 리플 성분이 증가하게 되어 입력전력의 맥동분이 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 $\Delta v = 2.5$ 로 가정한다면 $K_p = 0.4$ 로 결정된다. 또한 $\tau_{pi} = 0.5848L$ 되며 $L = 1.25$ [mH]로 결정 (10%의 듀티 변동시 전류리플 0.1이내로 선정)한다면 $\tau_{pi} = 0.73$ [ms]가 되고, 일사조건이 나쁜 경우의 PI제어 루프의 등가 시정수 $\tau_{pi} = 0.7962$ [ms]가 된다. 식 3의 조건을 만족하도록 $T_{in} = 0.2$ [s], $T_{id} = 0.4$ [ms] ($T_{id} = 0.002T_{in}$ 의 관계식을 이용)로 각각 파라미터를 설정하였다. 이 결과, 배터리 충전전류 $I_{bat} = 2.23$ [A]로 하여 발생하는 리미터 사이클의 동작주기는 (4.28)식으로부터 $T = 0.2004$ [s] (약 5[Hz])로 된다. 설정한 파라미터 값들을 표 1에 정리하였다.

표 1 시뮬레이션에 대한 파라미터
Table. 1 Parameter for simulation

명칭	값	명칭	값
ΔI_{limit}	0.1[A]	I_{rip-p}	0.1506[A]
K_p	0.4	Δv	2.5[V]
L	1.25[mH]	T_{id}	0.4[ms]
T_{in}	200[ms]	T	200.4[ms]
τ_{pi}	0.73[ms]	$\tau_{pi} = 0.7962$	0.7962[ms]

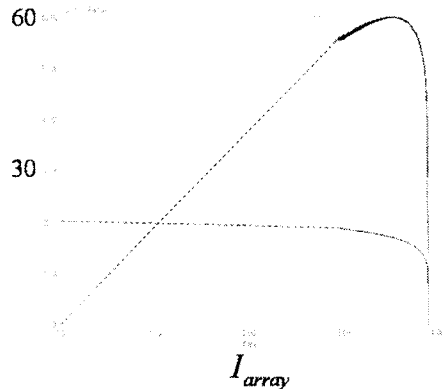


그림 3 $V_{array} - I_{array}$, P_{array} 특성곡선
Fig. 3 Characteristic waveform of $V_{array} - I_{array}$, P_{array}

그림 3의 조건을 이용하여 일사조건이 변화한 경우를 PSIM에 의해 시뮬레이션 한 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 5는 앞서 설계한 값과 동일한 리미터 사이클 주

기인 $T=0.2004[s]$ 로 동작하고 있으며 일사량의 변화에 따라 입력전류의 리플은 변동이 있으나 V_{array} 의 $V_{rip-\beta}$ 는 2.5[V]를 유지하고 있다. 또한 $\Delta I_{limit}=0.1[A]$ 값으로 동작하며 입력전류 리플은 $\Delta I_{array} = \Delta \frac{I_{bat}}{d}$ 수식을 만족하고 있다. 이때 리미터 사이클 주파수는 약 5[Hz]이다.

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

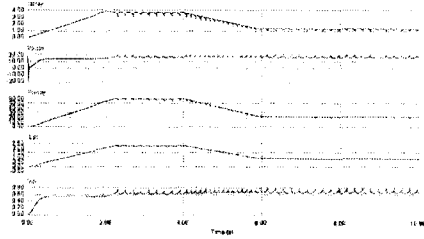


그림 4 일사조건 변화시 LCMPTT 동작파형
Fig. 4 LCMPTT operating waveform when change of illumination condition

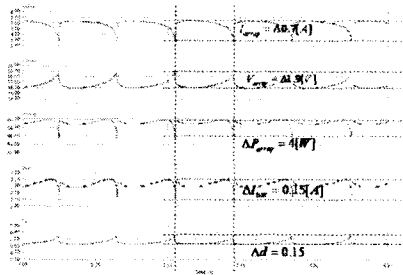


그림 5 LCMPTT 동작파형
Fig. 5 LCMPTT operating waveform

3. 결 론

본 논문은 새롭게 제안한 LCMPTT방식을 리미터사이클 동작시의 파형 분석 결과에 기준하여 제어 파라미터와 회로의 정수를 결정하였다. 시스템은 정상적으로 전력 평형/불평형의 경계점에서 리미터 사이클 동작이 이루어지도록 함으로서 태양전지의 전압과 전류의 검출에 필요한 센서나 연산이 필요하지 않는 간단한 제어회로로 승압초퍼를 제어함으로써 항상 MPPT동작 한다는 것을 시뮬레이션 및 실험으로써 확인하였다.

시스템 제어기로는 저가의 PIC16F877A를 사용하였다. A/D변환(16us, 10bit)과 처리속도(200ns per 1cycle)가 다소 느리기 때문에 대전력용 시스템에 있어서 적합하지 않다. 그러나 소용량의 용도에 대하여서는 다른 방식에 비하여 간단한 제어회로가 실현가능하기 때문에 비용저감의 이점을 살릴 수 있다고 생각된다.

더불어, 인덕터 L의 용량을 크게 하거나 스위칭 디바이스를 고속의 Power-MOSFET로 교체하여 스위칭 속도를 빠르게 한다면 인덕터의 전류 리플이 저감됨으로 값을 줄일 수 있다. 따라서, 입력전력의 리플분이 저감되기 때문에 효율을 향상이 향상되며 리미터 사이클 주기도 줄어들게 된다.

[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 (2003.10)
- [2] 北野, 松井: "電流マイナーループ内の誤差情報を用いた新リミットサイクルMPPT制御-太陽電池アレイ並列接続システムへの応用-", 平成16年電氣學會産業応用部門大會No.1-113, pp.I 519-520,(2004)
- [3] 高, 大内, 松井, 北野: "電流制御ループ内の誤差信号に基づく簡易MPPT制御器とバッテリー充電器への応用", 電氣學會半導体電力交換研究會SPC 05-8, pp.47-52(2005)
- [4] M.Matsui, T.Kitano: "Proposal of Simple MPPT control Technique Using Current Minor-Loop Error Information", ICPE04 Conf. Proceedings, pp.I21-I25 (2004.10)
- [5] 강태경, 강주성, 고강준, 권순걸, 서기영, 이현우: "전류제어신호를 이용한 MPPT제어기에 대한 연구", 대한전기학회 전기기기및 에너지 변환시스템 부분회 춘계학술대회, pp280-282(2005.4.29)