

계통 연계 단상 시스템을 위한 아날로그 MPPT

안준연, 박종후, 조보형, 유권중*

서울대학교 전력전자시스템 연구실, 한국에너지기술연구원*

Analog MPPT for grid connected single-phase system

J.Y. Ahn, J.H. Park, B.H. Cho, G.J. Yoo*

School of Electrical Engineering Seoul National University

*Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

In this paper, the simple MPPT(Maximum Power Point Tracking) control algorithm is proposed for the grid-connected photovoltaic power system. This method uses the difference in the slope of the solar array voltage range below the MPP and above the MPP. This simple the algorithm enables the hardware implementation achieved by only analog devices. The proposed MPPT algorithm is verified by the hardware experiment using 500[W] solar array simulator, simplified inverter model hardware set, and rectified grid-line.

1. 서론

해가 거듭해 가면서 점점 대체 에너지에 대한 필요성과 관심이 증대되고 있다. 이러한 추세는 한국뿐만 아니라 전세계적인 추세로써, 화석 자원의 고갈과 심각해지는 대기 오염이 그 이유이다. 일찍이 선진국들에서는 풍력 및 태양광 그리고 최근에는 바이오와 폐기물을 이용한 대체 에너지에 대해 활발한 연구를 진행해 왔고, 많은 성과를 이루고 있다. 그 중에서도 태양광을 이용한 대체 에너지가 가장 각광을 받고 있다. 이는 태양광 자체가 무한정 에너지이며, 이를 태양 전지를 이용해 전기 에너지로의 변환 효율이 뛰어나기 때문이다. 하지만 태양 전지는 그 고유한 비선형 특성으로 인해, 항상 태양 전지의 최대 전력점(Maximum Power Point)에서 동작하도록 하는 제어가 필요하다. 이러한 제어는 DC/DC 컨버터 또는 DC/AC 인버터 등 전력 변환 장치에서 수행하고 있다.

MPPT 제어로 많이 알려진 P & O (Perturbation and Observation) 방식 및 IncCond(Incremental conductance)

방식 등은 일반적으로 DSP를 이용한 디지털 제어로써 수행된다. 하지만 저전력 시스템(수십 ~ 수백 W)의 경우, DSP를 적용하기에는 크기 및 가격면에서 불리하다. 이 경우 아날로그 제어가 하나의 해법이 될 것이다. 기존의 아날로그 MPPT 제어기 구성을 보면, S/H (Sample and Hold)를 이용하거나 복잡한 수식적 관계에서 도출된 식을 이용하여 제어기를 구성하였다. 이는 실제 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 이 논문에서는 저전력에서 실용적으로 구현 가능한 간단한 아날로그 회로로 구성된 MPPT를 제안한다.

2. 제안된 아날로그 MPPT의 기본 원리

그림 1 은 태양전지의 array voltage에 대한 array power의 곡선이다. 곡선을 보면 최대전력점(V_{pp})을 기준으로 그 이하의 array 전압(그림1 참조)에서는 전압의 기울기와 전력의 기울기가 정비례한다. 반면 V_{pp} 이상의 array 전압(그림1 참조)에서는 기울기가 반비례한다. 이 같은 특성을 이용해, 기존의 Digital 제어에서는 태양 전지 power의 이산된 현재값과 이전값의 미소 변동차를 측정하여 스위치 동작을 결정하였다. 이를 Analog 회로로 구현하기 위해서는 메모리 기능이 필요하다. 따라서 기존의 방법에서는 S/H를 이용하였다.[1] 하지만 S/H를 이용할 경우 가격 효율성이 떨어지고, 상당히 복잡한 회로가 되어 사용하기 어렵다. 하지만 제안된 방법은 곱셈기와 OP-amp 적분기만을 이용한 간단한 회로로 구현될 수 있다. 그 원리는 그림1 과 같은 특성을 이용한다 ([2]~[3]).

그림 1 과 같이 일정한 주파수로 V_{pv} 를 ΔV_{pv} 로 흔들어 주면 V_{pp} 를 기준으로 왼쪽 power slope(그림1의 (1))에서는 Array power가 ΔV 와 같은 위상으로 흔들리며 오른쪽 power slope(그림1의 (2))에서는 Array power가 ΔV_{pv} 와 180° 반전된 위상으로 흔들리게 된다. 따라서 ΔV_{pv} 와 Array power를 검출하여 ac ripple 성분(이

하 ΔP_{pv} 의 위상을 비교하여 같으면 V_{pv} 를 증가시키고, 반전되면 V_{pv} 를 감소시킨다. 이러한 위상 판별은 ΔV_{pv} 와 ΔP_{pv} 를 곱함으로써 쉽게 구현할 수 있다.

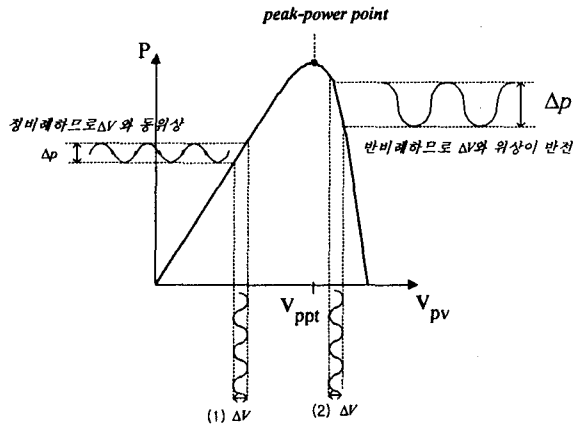


그림 1 제안된 Analog MPPT의 기본 원리
Fig 1 The basic principle of proposed analog MPPT

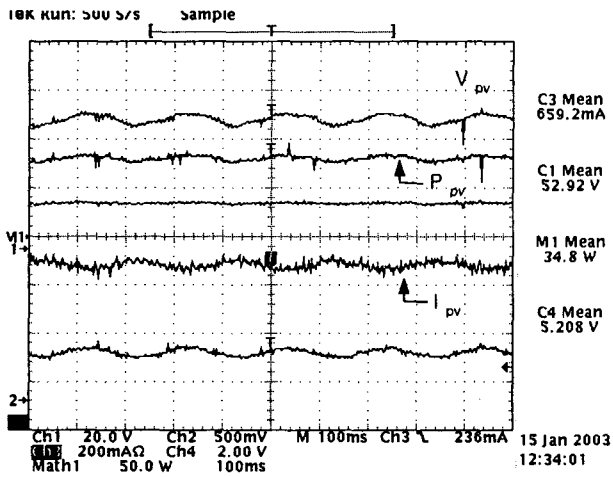


그림 2 P_{pv} 와 V_{pv} 가 동상인 경우
Fig 2 Case of in-phase between P_{pv} with V_{pv}

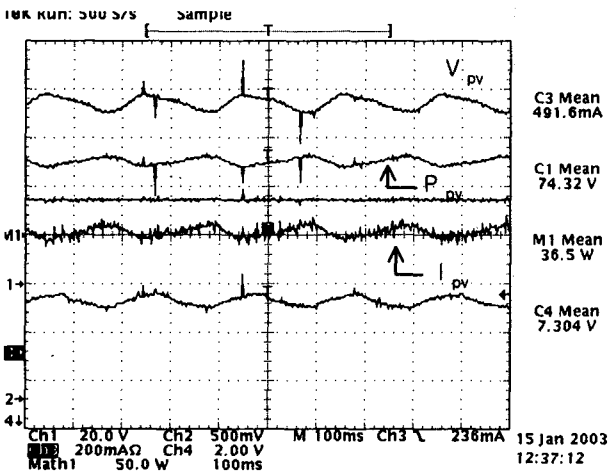


그림 3 P_{pv} 와 V_{pv} 가 역상인 경우
Fig 3 Case of de-phase between P_{pv} with V_{pv}

그림 2와 그림 3은 solar array simulator를 이용해 그림 1을 실험적으로 확인한 파형이다. Solar array simulator의 MPP 전압이 약 58[V]일 때, 그림 2는 V_{pv} 가 52.9[V]이므로 array power slope의 왼쪽에 있게 되고, 따라서 ΔV_{pv} 와 ΔP_{pv} 가 서로 동상임을 확인할 수 있다. 그림 3은 V_{pv} 가 약 74.32[V]이므로 array power slope의 오른쪽에 있게 되고, 따라서 ΔV_{pv} 와 ΔP_{pv} 가 서로 역상임을 확인할 수 있다.

3. 제안된 MPPT 제어 알고리즘 및 회로 구현

다음은 MPPT 제어 알고리즘을 Flow chart로 나타내었다.

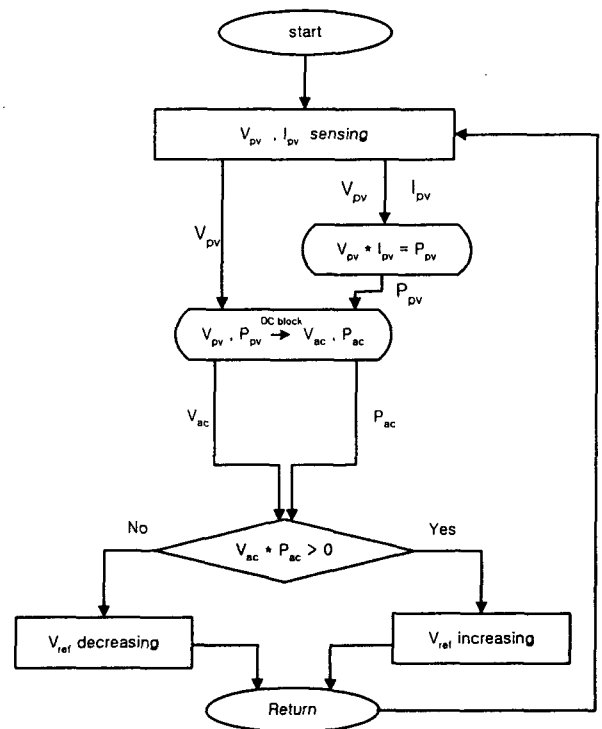


그림 4 제안된 Analog MPPT 제어 알고리즘의 Flow chart
Fig 4 Flow chart of control algorithm of the proposed analog MPPT

그림 4의 Flow chart에서, 알고리즘이 상당히 단순하다 것을 확인할 수 있다. Flow chart에서 V_{ref} 의 increasing 또는 decreasing은 적분기로 행해진다. 이런 알고리즘은 DSP에서 간단히 구현될 수 있지만, DSP를 사용하기 어려운 저가형 시스템에서도 아날로그 회로로 구현할 수 있다.

그림 5에는 아날로그 회로로 구현된 MPPT 회로를 나타내었다. 여기서 f_d 는 dither signal의 주파수이며 V_{ppt_ref} 를 흔들며 줌으로써 ΔV_{pv} 를 만들어 준다. 실험에서는 약 10 ~ 15 [Hz]를 dither signal의 주파수로 사용하였다. 이는 현 알고리즘이 태양전지의 DC 특성곡선을

4. 실험 결과

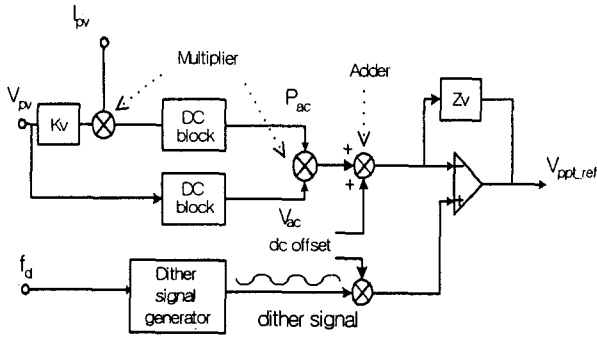


그림 5 제안된 아날로그 MPPT 제어 블럭도

Fig 5 Control block diagram of proposed analog MPPT

이용하기 때문에 AC 특성이 충분히 DC 특성과 가까운 영역이 되도록 설정하기 위함이다. DC block 은 capacitor를 사용하여 ac ripple 성분만을 추출하도록 한 것이며, Zv는 적분기로서 ΔV_{pv} 와 ΔP_{pv} 의 곱을 적분함으로써 $V_{pvt.ref}$ 를 MPPT점을 향해 연속적으로 변화시키게 되며, 이는 급격한 변화로 순간 V_{pv} 이 V_{pvt} 를 크게 벗어나 트랩(trapped)된 상태가 발생하지 않게 된다.[4]

그림 6 은 실험실에서 구현한 태양광 발전용 PCS 축소 모델의 제어 회로도를 보여 준다. PCS의 전력부는 그림6에서 본 것 같이 buck converter를 사용하고 제어부는 출력 전류의 위상 제어를 위한 current loop과 입력 전압 제어를 위한 voltage loop으로 구성된다. 여기서 $V_{pvt.ref}$ 는 전압 loop의 지령치로 사용되어 V_{pv} 가 $V_{pvt.ref}$ 를 추종하게 된다. 그리고 출력에는 정류된 계통 라인을 연결하였다. 전체적인 제어의 방향은 전력부의 입력 전압을 제어하므로 일반 컨버터와는 반대가 되며, 전류 루프의 제어 방향은 입력의 DC link 전압을 제어하기 위해 DC link 전압 감소할 때 duty가 감소하도록 제어된다.

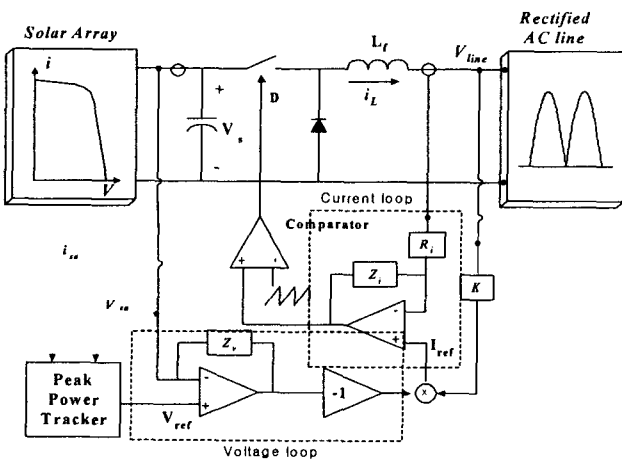


그림 6 MPPT 실험을 위해 구현된 계통 연계 태양광 발전 시스템 및 제어부 회로도

Fig 6 The grid connected PV generation system and control circuit for experiment of MPPT

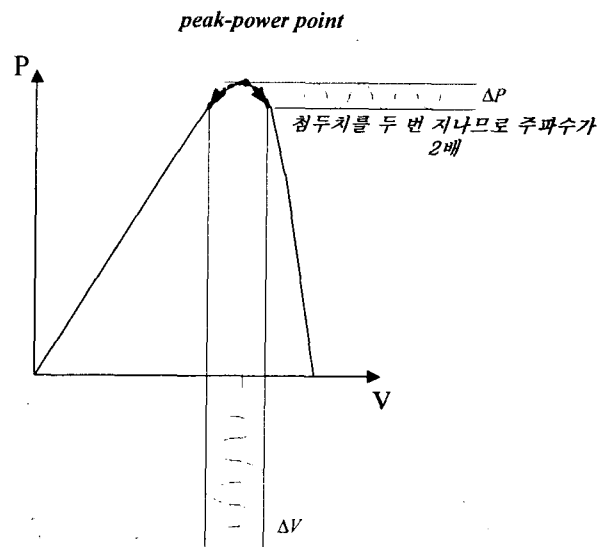


그림 7 MPP에서 Ppv와 Vpv의 주파수의 상관관계

Fig 7 At MPP, relationship between PV power frequency and PV voltage frequency

제안된 알고리즘을 검증하기 위하여 앞에서 살펴본 축소모델 PCS를 Sloar array simulator를 입력하여 부하와 계통에 연결하여 실험하였다. MPPT 가 정상적으로 수행되는지를 확인하기 위하여 그림 7 과 같은 방법을 사용하였다.

MPPT를 정상적으로 수행하게 되면, 그림 7과 같이 V_{pv} 는 최대 전력점 부근에서 dither signal 의 주파수로 흔들리게 되고, P_{pv} 는 전압의 한 주기 동안 최대 전력점을 두 번 지나게 되므로, V_{pv} 주파수($f_{\Delta V}$)의 2배로 흔들리게 된다.(1) 따라서 V_{pv} 와 P_{pv} 의 주파수를 비교해 보면 MPPT 수행 여부를 알 수 있다.

$$f_{\Delta P} = 2 \cdot f_{\Delta V} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

실험 세팅

- ▷ Solar array simulator : 용량 500[w], 개방 전압 120[V] 단락 전류 10 [A]
- ▷ 고주파 링크 방식 PCS 축소 모델 : 100[w] buck type 전류원
- ▷ 계통 : 220[V] line를 강압.
- ▷ 부하 : 10[Ω] 정류된 계통 라인과 병렬로 연결.

다음은 실험 결과를 나타내었다. 그림 8 에서 P_{pv} 주파수($f_{\Delta P}$)가 V_{pv} 주파수($f_{\Delta V}$)의 2배임을 볼 수 있다. 이로서 MPPT가 정상적으로 수행하고 있음을 알 수 있고, 그때의 최대 전력점이 58.44[V]로써 simulator의 예상 최대 전력점에 근접한 것을 확인할 수 있다.

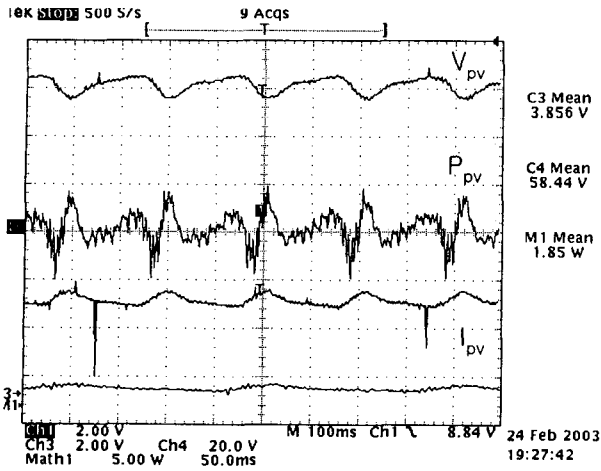


그림 8 MPPT 실험 결과 파형
Fig 8 MPPT Test result waveform

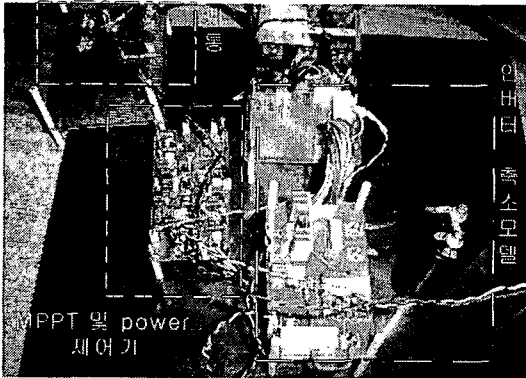


그림 9 인버터 축소 모델 하드웨어와 MPPT 제어부
Fig 9 Simplified inverter model hardware and MPPT control stage

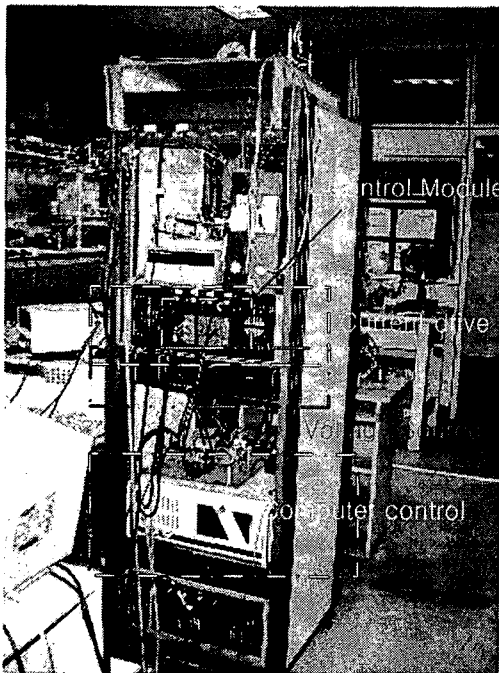


그림 10 실험에 사용된 태양전지 시뮬레이터
Fig 10 Solar array simulator for experiment

그림 9 와 그림 10 은 제안된 아날로그 MPPT 검증을 위한 축소 모델 PCS 시스템 사진과 solar array simulator 사진이다.

5. 결 론

제안된 아날로그 MPPT는 Solar array power 곡선의 특성을 이용해 V_{pv} 에 dither signal를 중첩함으로써 P_{pv} 와 V_{pv} 의 ac ripple를 곱하여 제어의 방향을 결정하게 된다. 그리고 간단한 analog 회로를 이용해 V_{ppLref} 를 생성하였다. 생성된 V_{ppLref} 는 디지털 제어에서 만들어진 이산 신호에 비해, 연속적이므로 오차가 적은 실시간 제어가 가능하게 한다. 제안된 아날로그 MPPT는 저전력 PCS을 소형, 경량화 및, 가격 저감에도 유리한 것으로 판단되었다. 또한 알고리즘에 대한 원리 역시 간단하여 DSP로도 쉽게 구현할 수 있다는 장점을 지닌다.

이 논문은 한국 에너지 기술 연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Kasemsan Siri, Vahe A. Caliskan, C.Q. Lee' "Maximum Power Tracking in Parallel Connected Converters", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic systems, vol. 29, No 3, July 1993.
- [2] Hinz H. Mutchler P. Calais M., "Control of a single phase three level voltage source inverter for grid connected photovoltaic systems", Power conversion topic: 4.
- [3] Mummadi Veerachary, Tomonobu Senjyu, Katsumi uezato, "Voltage-Based Maximum Power Point Tracking Control of PV System", IEEE Transations of aerospace and electronic systems, vol. 38, No. 1, Jan 2002.
- [4] Kasemsan Siri, Kenneth A. Conner, " Parallel-connected Converters with Maximum Power Tracking", APEC 2002, Dallas Texas, March 9-14, 2002.