

One Switching Cycle 내에 최대전력점을 추종하는 태양광 발전의 MPPT 제어 시스템

지상근, 권두일, 유철희, 한상규, 노정욱, 이효범*, 홍성수
 국민대학교 전력전자 연구소, *삼성전기(주) P&M 사업부

A Novel Bang-Bang Control for the MPPT Employed in Photovoltaic Applications

Sang-Keun Ji, Doo-il Kwon, Cheol-Hee Yoo, Sang-Kyoo Han, Chung-Wook Roh, Hyo-Bum Lee*, Sung-Soo Hong

Kookmin University Power Electronics Center, *Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

ABSTRACT

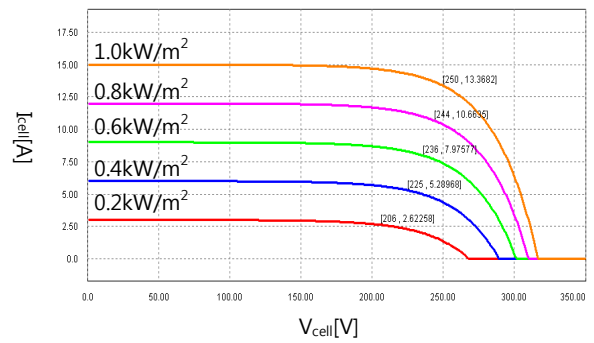
태양전지는 일사량 및 온도에 의해 출력 특성이 변화하여 최대전력을 얻을 수 있는 위치도 변화한다. 따라서 태양전지의 동작점을 최대 전력점에서 동작하게 하는 최대전력점 추적(MPPT, Maximum Power Point Tracking)이 필요하다. 본 논문에서는 One switching cycle 내에 최대전력점을 추종하는 MPPT 제어 방법을 제안한다. 이 방식은 빠르게 최대 동작점을 찾을 수 있고 고효율을 가지며 다른 방식에 비해 구성이 간단하다. 새로 제안된 제어기법의 타당성을 검증하기 위하여 MPPT 실험을 수행하였다.

1. 서론

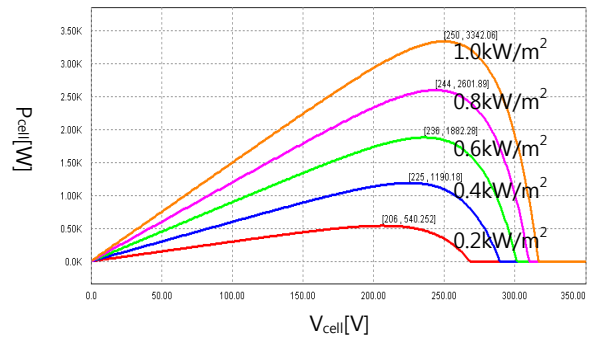
태양광발전시스템은 공해 없이 전기를 생산하고, 무한한 태양에너지를 전기로 직접 변환하는 장점을 가지고 있다. 그리고 태양전지 생산비용을 줄이고 태양전지와 인버터의 효율을 최대로 이용하는 것은 가까운 미래에 태양광 발전시스템이 화석연료를 대체하여 중요한 신재생 에너지의 역할을 할 것이라는 기대를 가진다.^[1]

태양전지 어레이의 최대전압은 일사량과 온도에 의해서 시시각각으로 변한다. 또한 부하상태도 변하기 때문에 태양전지 특성이 변화하지 않아도 동작점은 변하게 되어 최대출력이 얻어지는 부하와는 같지 않게 된다. 즉 태양 전지의 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.

일사량 변동조건에 따른 태양전지 어레이에서 전력변동 관계는 다음 그림과 같다. 그림 1에서 일사량이 최소 0.2[kW/m²] 부터 최대 1.0[kW/m²]로 가변하면서 태양전지 어레이의 전류-전압, 전력-전압 곡선 특성에서 태양전지 셀이 전기적으로 비선형 특성을 알 수 있다. 그림 (b)의 전력-전압 곡선에서 일사량에 따라서 최대전력점이 결정되는데 바로 이점이 태양전지 어레이가 가질 수 있는 최대전력동작점이 되며, 이러한 최대전력점에 대해 외부의 조건(일사량, 온도)으로 인하여 최대전력점이 변해도 태양광 인버터가 항상 태양전지 어레이의 최대출력을 얻어지도록 하는 것을 최대전력추종제어(MPPT)라고 한다.



(a) 전류-전압 곡선



(b) 전력-전압 곡선

그림 1. 일사량에 따른 태양전지 어레이 특성 곡선
 Fig. 1 The Characteristic of the PV array due to the changed irradiance

가장 많이 알려진 MPPT 제어 방식으로 P&O(Perturbation and Observation)방식과 IncCond(Incremental Conductance)방식이 있다.^{[2][3]} 하지만 대부분의 MPPT 제어 방식은 일반적으로 고가의 DSP를 이용한 디지털 제어방식으로, 곱셈이나 나눗셈과 같은 복잡한 연산을 수행하여 대용량의 태양광 시스템에 적용되었다. DSP를 이용한 디지털 제어방식은 noise와 같은 외란에 매우 민감하고 이것은 시스템 매우 치명적인 오동작을 초래할 수 있다. 또한 저전력 시스템(수십~수백 W)의 경우 크기 및 가격면에서 단점으로 지적될 수 있다. 이 경우 저가의 간단한 하드웨어로 구성된 제어방식을 사용해야 할 것이다. 따라서 본 논문에서는 저전력에서 실용적으로 구현 가능한 간단한 아날로그 회로로 구성된 새로운 MPPT 제어방식을 제안한다.

2. 제안된 새로운 MPPT 방식의 기본 원리

2.1 Duty Cycle이 PV 어레이에 미치는 영향

그림 2는 Boost Converter를 PV 어레이에 연결한 회로이다. 이 때 Duty Cycle이 PV 어레이에 미치는 영향을 알아보면 Duty가 증가하면 인덕터 전류가 증가하고 PV 전류 또한 증가하게 된다. 이는 태양전지 특성곡선에서 알 수 있듯이 PV 전압은 감소하게 된다. 마찬가지로 Duty가 감소하면 인덕터 전류가 감소하게 되고 PV 전류 또한 감소하게 된다. 이에 따라 PV 전압은 증가하게 된다.

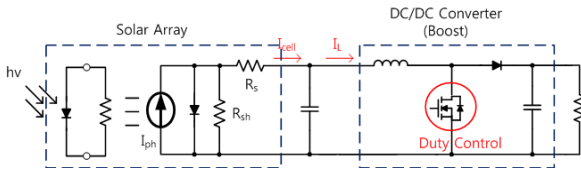


그림 2. Duty Cycle이 PV 어레이에 미치는 영향
Fig. 2 The effects of the Duty Cycle in PV Array

2.2 제안 MPPT 방식의 기본 원리

기존의 MPPT 방식은 태양전지 특성곡선에서 최대전력점 (MPP)을 기준으로 그 이하의 PV 어레이 전압에서는 전압의 기울기와 전력의 기울기가 정비례하고, MPP 이상의 PV 어레이 전압에서는 기울기가 반비례한다. 이 같은 특성을 이용해, Digital 제어에서는 전력값의 이산된 현재값과 이전값의 미소 변동차를 측정하여 스위치 동작을 결정하였다. [4] 하지만 제안된 방법은 메모리를 필요로 하는 미소 변동차를 이용하지 않고 간단하게 아날로그 회로를 이용하여 구성하였다.

그림 3, 4는 제안된 MPPT 방식의 회로도 및 기본 원리를 나타낸다. 제안된 MPPT 방식의 제어단은 Multiplier, 리셋 기능을 가지고 있는 Peak Detector, 비교기, 그리고 D F/F으로 구성되어있다. 초기의 PV 어레이 출력전압은 V_{oc} (개방전압)이고 그림 4의 Start point 지점이다. D F/F의 \bar{Q} 출력 초기값은 'High' 이므로 M1 스위치는 'On' 된다. 그러면 PV 어레이의 전류와 출력 전력은 최대전력점(MPP)를 향해 상승한다. MPP를 지나기 전까지, \bar{Q} 값을 변화시키는 D F/F의 CLK는 비교기의 오프셋 전압 때문에 현 상태를 유지한다. MPP를 지나면 Peak Detector의 출력은 MPP의 값을 가지고 있고, PV 어레이의 출력 전력은 감소한다.

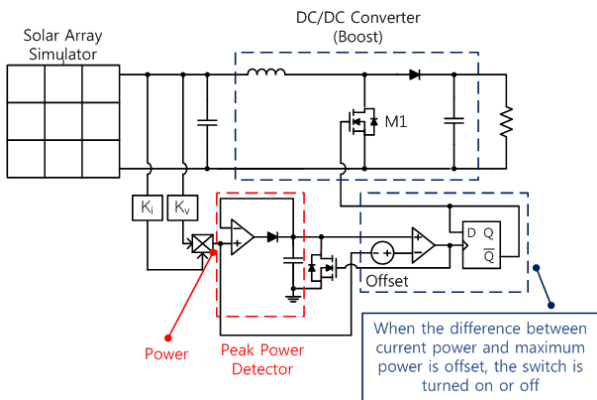


그림 3. 제안된 MPPT 방식의 회로도
Fig. 3 The schematic of proposed MPPT

그림 4의 A지점에서 Multiplier 출력과 오프셋의 합은 MPP 보다 작아지므로 CLK 신호는 'High'가 된다. 그러면 Peak Detector는 리셋되고 \bar{Q} 는 토글되어 'Low'가 되고 M1 스위치는 'Off' 된다. M1 스위치가 'Off' 되면 PV 어레이 전류는 감소하고 전력은 증가하여 다시 Voltage Source 영역으로 움직여서 MPP를 지나가게 된다. MPP를 지나 B지점에 도달하면 CLK는 다시 'High'가 된다. Peak Detector 출력은 다시 리셋되고 \bar{Q} 는 'High'가 되어 M1 스위치는 'On' 된다. M1 스위치가 다시 'On' 되었으므로 PV 어레이 전류는 증가한다. 그러므로 PV 어레이는 Current Source 영역으로 이동하고 다시 MPP를 지나게 되어 앞의 과정을 반복한다. 결론적으로 제안 방식은 MPP를 기준으로 A와 B 지점을 오가며 동작하게 된다. 이 동작들이 반복되며 Duty를 만들고 One Switching Cycle 내에서 M1 스위치를 번갈아 'On', 'Off' 하면서 MPP를 추적 가능하게 된다.

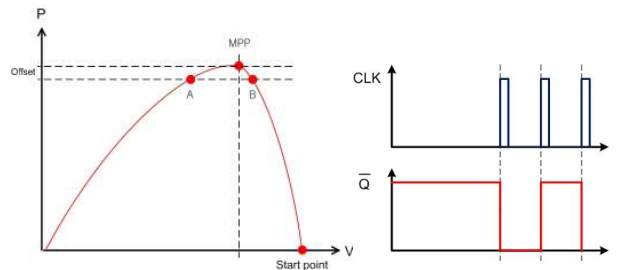


그림 4. 제안된 MPPT 방식의 기본 원리
Fig. 4 The basic principle of proposed MPPT

3. 실험결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 앞에서 살펴본 축소모델 PCS를 Solar array simulator에 입력하여 부하에 연결하여 실험하였다. 실험에 사용된 파라미터의 값은 표 1과 같다. 그림 3과 같은 제안 방식이 MPP를 효율적으로 추종하기 위해서는 작은 값의 오프셋을 가져야만 한다.

표 1. 실험에 사용한 특성값
Table. 1 Parameter values for experiment

Parameter values for solar Array		Parameter values for boost	
V_{oc}	64.2[V]	L	1.50[mH]
I_{sc}	2.26875[A]	C_{out}	220[uF]
V_{mp}	50[V]	R_o	200[Ω]
I_{mp}	2.00841[A]	Offset	0.16[V]
Max. Power	100.4205[W]	K_v	0.167
		K_i	0.43

그림 5는 제안 방식의 초기 상태로 위에서부터 Multiplier 출력, Peak detector 출력, Gate 파형을 나타낸다. 앞에서 설명한 것과 같이 Peak detector 출력이 MPP의 값을 유지하고 있고 Multiplier 출력인 PV 어레이 전류값과 오프셋 만큼 차이 날 때, 스위치가 'On', 'Off'하는 것을 알 수 있다. 또한 대부분의 MPPT 방식과는 다르게 One Switching Cycle 이내에 MPP를

추종할 수 있다.

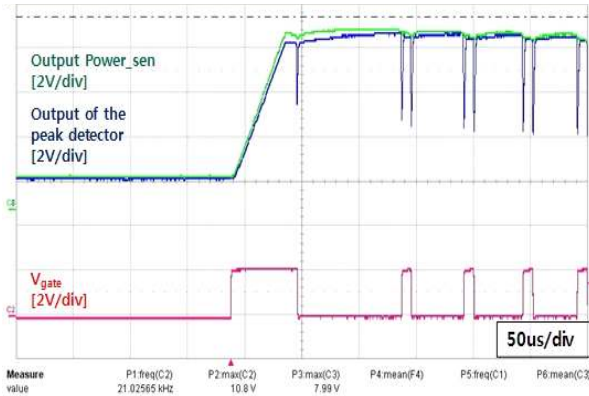


그림 5. 초기 구동 상태

Fig. 5 The startup transient waveforms.

그림 6은 MPPT 추종 실험 결과 파형으로 위에서부터 V_{cell} , I_{cell} , P_{cell} , Gate 파형을 나타낸다. P_{cell} 은 오실로스코프의 math-function을 이용하여 계산하였다. 제안 방식은 한번의 스위칭으로 MPP를 추적하기 때문에 Tracking 속도가 약 54uS으로 매우 빠르다. 또한 정상상태에서 Solar simulator의 세팅값인 $V_{mp} : 50[V]$ 와 $I_{mp} : 2[A]$ 를 일정한 주기로 최대전력점을 추종하는 것을 알 수 있다.

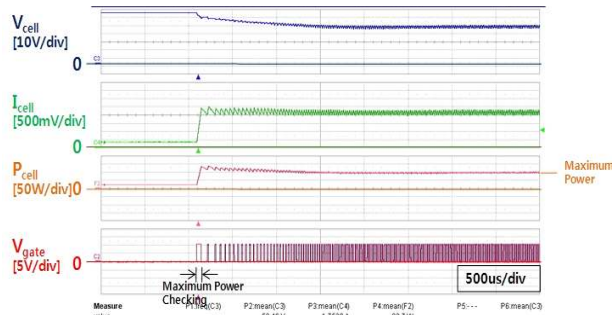


그림 6. MPPT 추종 실험 결과 파형

Fig. 6 Experimental results of maximum power point tracking

그림 7은 제안방식의 효율을 알아보기 위한 P_{cell} 리플 파형이다. 제안 방식은 읍셋값에 따라 P_{cell} 리플이 결정된다.

$$\frac{V_{offset}}{(V_{MPP} \times K_v) \times (I_{MPP} \times K_i)} \times P_{MPP} \quad (1)$$

여기서 K_v 는 V_{cell} 의 센싱 Gain, K_i 는 I_{cell} 의 센싱 Gain이다. 표 1의 값을 대입하여 이론적으로 계산한 P_{cell} 리플은 2.23[W]이고 실험적으로 얻은 값은 2.25[W]로 유사한 값을 보였다. 또한 I_{cell} 과 V_{cell} 은 최대 전력점에서의 전류, 전압값인 2[A], 50[V]를 중심으로 동작하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안 방식의 MPPT 동안 유지하는 P_{cell} 레벨은 최대전력점과 동등함을 알 수 있다. 이는 곧 제안 방식이 MPP를 잘 추종하고 있으며 이 때의 MPPT 효율은 99.1%를 얻었다.

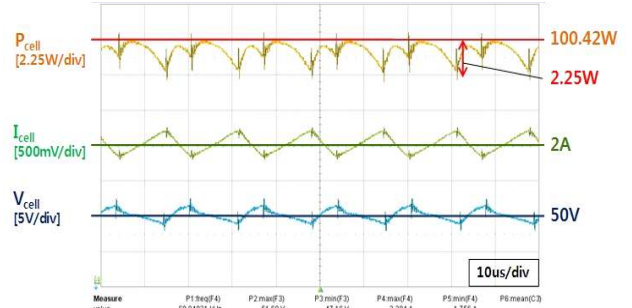


그림 7. Tracking 상세 파형

Fig. 7 Tracking waveforms

4. 결론

태양전지는 전류-전압, 전력-전압의 관계가 비선형 특성을 가지고 있고 외부조건(온도, 일사량)에 의해서 최대전력점이 수시로 변함으로 태양전지로부터 최대전력을 얻는 것은 중요하다. 기존 MPPT 제어기법은 Digital 제어방법인 P&O와 IncCond와 같이 전력값의 이산된 현재값과 이전값의 미소 변화차를 측정하여 스위치 동작을 결정하는 방법이었다.

본 논문은 MPP를 매우 빠르게 추적하고 메모리가 필요한 미소변동차를 이용하는 방법이 아닌 간단한 아날로그 회로를 이용하여 MPP를 추적한다. 제안 방법은 One Switching Cycle 동안에 빠르게 MPP를 추적하고 MPP와 읍셋 만큼 차이나는 두 지점을 오가며 동작을 하기 때문에 읍셋값이 작을 수록 MPPT 효율이 높게 나온다. 실험을 통해서 제안 방식이 빠르게 MPP를 추종하고 효율이 높게 나오는 것을 확인하였다.

제안된 아날로그 MPPT 방식은 저전력 PCS, 독립형 시스템 및 가격 저감에도 유리한 것으로 판단된다. 또한 알고리즘에 대한 원리가 간단하기 때문에 DSP로도 기존 제어기법보다 쉽게 구현할 수 있는 장점을 가진다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] C. R. Sullivan and M. J. Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic array in a solar-powered race vehicle", ZProceedings of the IEEE, pp.574~580, 1993.
- [2] O.Wasynczuk, "Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems," IEEE Trans. Power Applicat. Syst., vol. PAS-102, pp. 3031-3037, Sept. 1983.
- [3] P. Huynh and B. H. Cho, "Design and analysis of a microprocessor controlled peak-power-tracking system," IEEE Trans. Aerosp. Electron.Syst., vol. AES-32, pp. 182-190, Jan. 1996.
- [4] 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.