

빠르게 변화하는 환경에 적합한 가변적인 힐 클라이밍 MPPT 방법 분석

*이진구, 정동규, 홍요한, 백광현
중앙대학교 전자전기공학과

e-mail : cainstem@naver.com, dkjung@naver.com, ksbbono@naver.com kbaek@cau.ac.kr

Analysis of an adaptive hill climbing photovoltaic maximum power point tracking methods for fast-changing environmental conditions

*Jingu Lee, Dong Kyu Jung, Yohan Hong, Kwang-Hyun Baek
School of Electrical and Electronics Engineering
Chung-Ang University

Abstract

This paper presents the analysis of the three types of maximum power point tracking (MPPT) systems under rapidly fast changing environment. Perturb and Observe (P&O) algorithm takes the greatest advantage in terms of easily implementing the system. However it has slow tracking speed and oscillation around MPP, which causes a large amount of power loss. Successive approximation register (SAR) algorithm has faster than P&O. However, it must track MPP periodically even if MPP is not changed. Unbounded binary search (UBS) algorithm has also fast tracking speed than others without oscillation. Since UBS does not need to track periodically, it will reduce a lot of power loss, which leads to the best solution of photovoltaic module under rapidly fast changing environment.

되는 에너지의 용량은 기하급수적으로 증가하고 있으며 이러한 생산 시설들의 필수적인 요구 능력은 모든 시간에 걸쳐 최대의 전력 효율을 갖추는 것이다[1]. 따라서 이러한 시설들은 온도나 날씨에 따라 시시각각 변화하는 환경에서 최적의 전력 효율을 낼 수 있어야 한다. 안정적인 날씨를 위한 Maximum Power Point Tracker (MPPT) 기술들은 다양한 방법으로 구현되어 있으며 그룹이나 그들의 의한 부분적인 태양광의 차단이 발생하지 않는 장소에 설치된 태양광 시설에 대해서는 안정적인 성능을 보여준다. 그러나 도시에 설치된 태양광 시설은 주변의 건물들과 기후 조건 변화에 따라 부분적으로 태양광이 차단되어 Maximum Power Point (MPP)가 변화하는 현상이 발생한다[2]. 본 논문에서는 가장 널리 사용되고 있는 P&O, SAR 그리고 UBS 알고리즘들을 분석하고 시뮬레이션을 통하여 변화하는 환경에서도 안정적인 효율을 낼 수 있는 MPPT 기술에 대하여 알아본다.

II. 본론

I. 서론

전 세계적으로 설치된 태양광 발전 시설로부터 생산

2.1 Perturb and Observe (P&O)

Perturb and Observe (P&O) MPPT 방법은 그림 1

에 알고리즘과 같이 설치된 Photovoltaic (PV) 모듈로부터 발생하는 전압과 전류를 측정하여 컨트롤러를 통하여 전력을 계산한 뒤 측정된 전력을 이전 측정된 전력과 비교하여 이전 전력과 현재의 전력의 차이를 바탕으로 DC-DC 컨버터를 통하여 PV 모듈의 전압을 정해진 n -bit의 해상도에 따라 각 스텝마다 일정량씩 증가시키거나 감소시켜 전력을 변화시켜 준다. 이러한 과정을 반복하여 P&O 알고리즘은 MPP를 찾아간다. P&O의 가장 큰 장점은 매우 직관적이고 구현이 간단하다는 것이다. 그러나 구름 등에 의하여 MPP가 급격하게 변화하면 P&O 알고리즘의 경우 매 스텝마다 일정량씩 변화하기 때문에 MPP를 추적하기 까지 최대 2^n+4 만큼의 스텝이 필요하다. 이러한 문제는 한 구간에서의 전압의 변화량의 크기를 크게 함으로써 빠른 속도로 추적할 수 있게 만들 수 있으나, MPP 상에서도 큰 리플을 발생시켜서 전체 시스템의 효율을 낮추고 MPPT 시스템을 구성하는 소자들의 내구성을 악화시킨다[3].

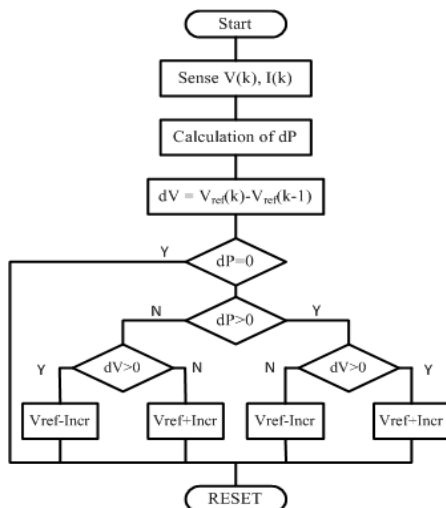


그림 1. P&O 알고리즘

2.2 Successive Approximation Resister (SAR)

SAR MPPT 알고리즘은 active mode와 power down mode로 구성되어 있으며 active 모드에서는 P&O 알고리즘과 달리 SAR 알고리즘의 binary weighted 된 값들을 이용하여 전압의 최대 변화량의 $\pm 1/2, \pm 1/4, \pm 1/8$ 순으로 전압에 변화를 주어 최대 $2n-1$ 의 스텝을 필요로 하므로 보다 빠른 속도로 MPP를 추적한다. MPP를 추적한 뒤에는 power down mode로 동작하여 active 모드의 추적동작과 전력 측정을 중지시키고 찾아낸 MPP를 유지하여 P&O에서 발생하는 발진을 발생하지 않으면서 소모되는 전력 또한 감소시켰다. 그러나 SAR MPPT의 경우 환경에 따라 변화

하는 MPP를 재추적하기 위해서 active 모드와 power down mode가 주기적으로 반복되어야만 한다. MPP가 변하지 않았을 때에도 active mode에서는 다시 MPP를 추적하는 동작을 수행하게 되어 효율을 낮추고 이는 반복적인 리플을 발생시킨다. 또한 반복 동작을 위한 주기가 정해져 있기 때문에 active mode에서 MPP를 추적하는 도중에 급격한 변화가 발생하였을 시 정해진 주기를 벗어나지 못하므로 새로운 MPP를 찾지 못한 채 power down mode로 변환하면 최대 전력 효율을 가질 수 없게 된다. 자세한 SAR 동작 알고리즘은 그림 2에 묘사되어 있다.

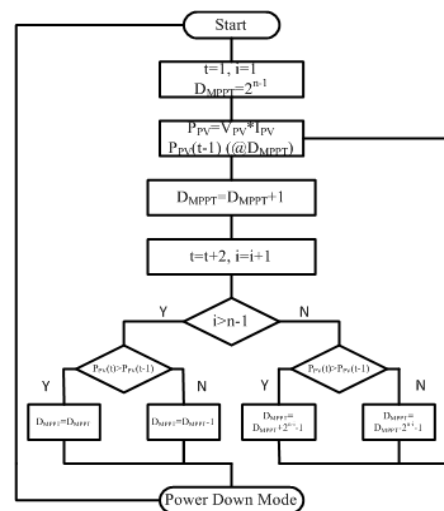


그림 2. SAR 알고리즘

2.3 Unbounded Binary Search (UBS)

Unbounded Binary Search 역시 P&O 알고리즘과 마찬가지로 매 클럭마다 전력을 측정하지만 바로 직전의 전력 측정값이 아닌 현재까지의 최대 전력 측정값과 비교하여 현재 측정된 전력이 최대 전력 측정값과 동일할 경우에는 SAR 알고리즘의 power down mode처럼 추적 동작을 하지 않고 현재의 상태를 유지한다. 그러나 전력을 측정하는 것은 중지하지 않고 MPP가 변했을 시 즉각적으로 추적 동작을 수행한다. UBS 알고리즘 역시 SAR 알고리즘과 유사하게 이전 가중된 전압 변화량을 사용하지만 SAR 알고리즘과 다르게 추적의 첫 번째 단계에서는 최소 단위의 전압 변화량을 증가시키거나 감소시키고 전력 변화의 여부를 통해 전압변화의 방향을 알아낸 뒤 변화량을 두 배씩 증가시켜 더해가면서 빠르게 MPP를 추적하고 MPP를 지나쳤을 경우 다시 이전 단계로 돌아가고 다시 최소 전압 변화량만큼 더 가감한 뒤 같은 방식으로 추적한다. n -bit의 해상도를 지닌 UBS의 경우 MPP를 추적하기 위해 최대 $2n$ 만큼의 단계가 필요하다. UBS 알고리즘

은 MPP를 찾아낸 뒤 그 상태를 유지하는 것은 SAR의 power down 모드와 마찬가지로 MPP 상에서 리플을 없애고 전력 효율을 극대화시키는 것은 동일하지만 전력 측정을 매 클럭마다 끊임없이 하고 있기 때문에 MPP가 변하면 P&O와 마찬가지로 즉각적으로 대응이 가능하며 SAR 알고리즘에서의 불필요한 MPP 추적을 할 필요가 없어 전력 효율을 높일 수 있다. 그림 3. 은 UBS의 자세한 동작 알고리즘을 나타내고 있다.

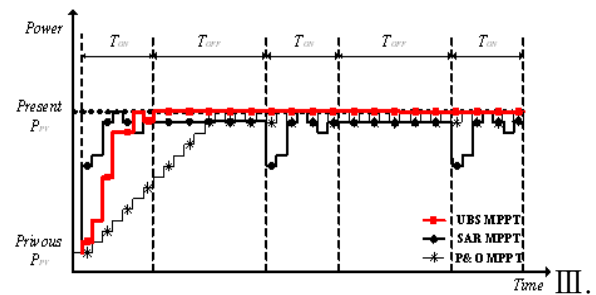


그림 4. MPPT 알고리즘의 동작 비교

III. 시뮬레이션

본 시뮬레이션은 JSM100-36-01 PV-module@1000kW

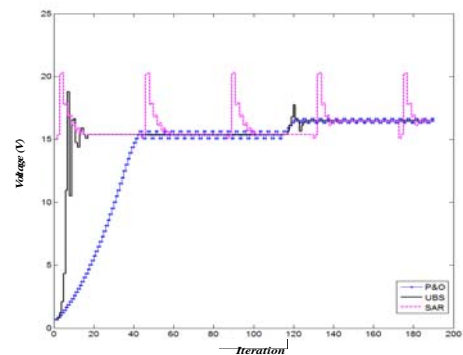


그림 5. 7bit 해상도를 가진 MPPT 알고리즘의 전압 시뮬레이션 결과

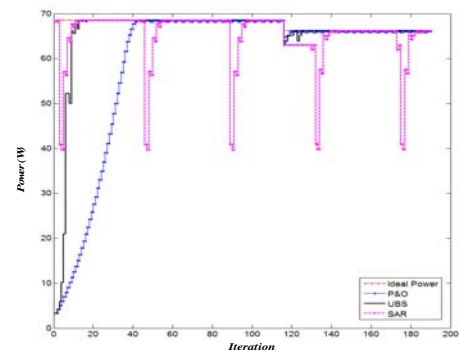


그림 6. 7bit 해상도를 가진 MPPT 알고리즘의 전력 시뮬레이션 결과

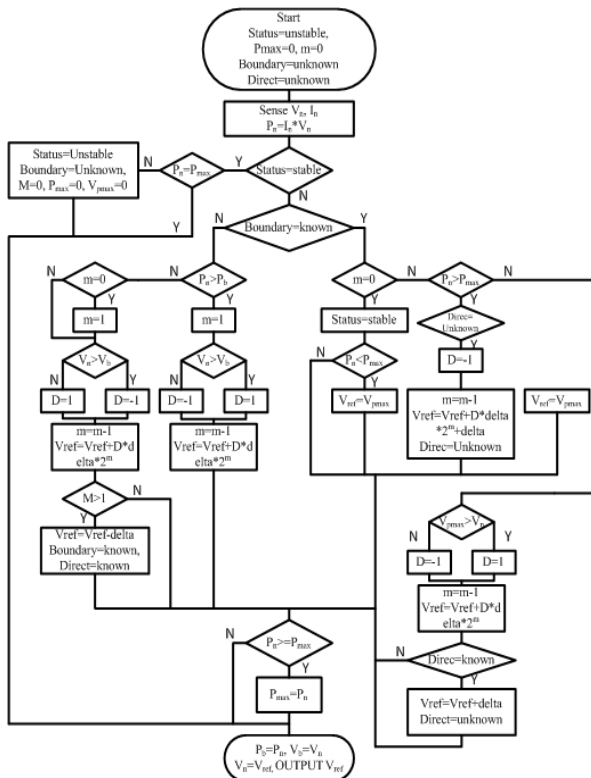


그림 3. UBS 알고리즘

그림 4에서는 각각의 MPPT에 대한 기술의 MPPT 동작 모습을 보여주며 T_{ON} 은 SAR 알고리즘의 active mode, T_{OFF} 는 SAR 알고리즘의 power down 모드의 구간을 나타낸다. 앞서 설명했듯이 P&O 알고리즘의 경우 가장 느리게 MPP를 찾아가며 MPP 상에서도 끊임없이 이전값과 현재값을 비교하여 전압을 변화시키므로 리플이 발생한다. SAR 알고리즘은 P&O에 비해 빠르게 MPP를 찾아가지만 active mode 와 power down 모드를 반복적으로 동작하면서 재 추적에 따른 전력 효율의 감소가 주기적으로 나타난다. UBS의 SAR의 비하여 추적의 속도가 조금 느리지만 P&O에 비해 매우 빠르며 MPP 상에서 리플이 없고 SAR와 같이 주기마다 재 추적하지 않는 것을 보여주며 전체적으로 가장 높고 고른 효율을 가진다는 것을 알 수 있다.

W/m^2 의 데이터를 바탕으로 7bit 해상도를 지닌 MPPT 알고리즘을 MATLAB을 통하여 구현하였고 각각의 추적 알고리즘만의 효율을 비교하기 위하여 DC-DC 컨버터의 효율은 배제하였다. 초기에는 PV 모듈을 전부가리지 않은 상태를 가정하였고 이후 일부분을 가리는 것으로 가정하여 새로운 MPP를 추적하도록 하였다.

그림 5.은 각각의 알고리즘에 대하여 MPP를 추적하는 동작에서의 전압의 변화를 보여주고 있다. MPP가 전압이 증가하는 방향으로 설정이 되어 있으며 P&O 알고리즘의 경우 일정한 전압값으로 한 스텝씩 증가하는 것을 알 수 있으며 MPP에 이르러서도 이전 전력과 비교를 통해 증가와 감소를 반복하는 것을 알 수 있으며 MPP가 변하더라도 바로 감지해서 연속적으로 추적하는 동작을 볼 수 있다. SAR 알고리즘의 경우 첫 스텝에서의 전압의 동작이 크게 변하고 차츰 MPP를 찾아가는 것을 볼 수 있으며 P&O와 달리 power down 모드로 일정한 전압값을 유지하지만 주기적으로 active 모드로 동작하여 전압값이 주기적으로 변하게 되어 그림 6.에서와 같이 전력이 감소했다가 다시 MPP를 찾아가는 것을 확인할 수 있다. UBS의 경우 SAR 알고리즘과 비슷한 속도로 MPP를 찾아가면 MPP를 유지하며 MPP가 변화가 생긴 이후에도 즉각적으로 추적하여 전력 효율이 떨어지지 않도록 동작하였다. 그림 6.에서 MPP를 추적하는 동안의 각 알고리즘의 전력 효율은 P&O 알고리즘이 58.9%, SAR 알고리즘이 81.9%, UBS 알고리즘이 80.4%로 SAR 알고리즘이 가장 효율이 좋게 나왔으나 반복적으로 active 모드에서 추적 동작을 수행하기 때문에 이러한 전력 손실을 고려하였을 때 UBS 알고리즘의 효율이 가장 안정적이고 우수하다는 것을 그림 6.를 통하여 알 수 있다.

IV. 구현 및 실험

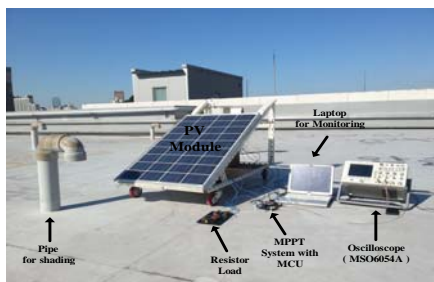


그림 7. 테스트 환경

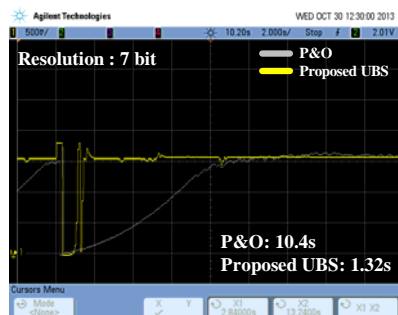


그림 8. 측정 결과

테스트 환경은 그림 7과 같이 구성하였으며 5°C에서 MPP 전압과 전류는 각각 18.9V와 5.15A이고 부분적으로 패널을 가려 MPP가 변하도록 한 뒤 추적하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 7bit의 해상도를 가진 P&O와 UBS 알고리즘을 보드상으로 구현하여 각각 오실로스코프로 측정한 결과 그림 8.에서와 같이 P&O 대비 UBS 알고리즘이 82.95%의 더 빠른 속도로 MPP를 추적하여 91.51%까지 전력 손실 감소시켰다. 그러므로 UBS가 급격하게 변화하는 환경에서 가장 적은 전력 손실 및 빠른 추적 속도를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 기존 MPPT기술에 대한 실제 환경에 가장 적합한 기술을 찾기 위해 각각의 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 구현해보고 그 결과 UBS MPPT 기술이 실제 환경을 고려했을 때 응답속도와 발전 측면에서 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW 창의 연구과정의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2013-(H0502-13-1110))

참고문헌

- [1] Y.-S. Kim, and R. Winston, “Unbounded Binary Search for a Fast and an Accurate Maximum Power point Tracking,” 7th Int. conf. on Concentrating Photo. Systems., 1407, pp. 289-292, 2011.
- [2] D. Sera, R. Teodorescu, J. Hantschel, and M. Knoll, “Optimized Maximum Power Point Tracker for Fast-changing Environmental Conditions,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 7, pp.2629-2637, Jul. 2008.
- [3] P. Robert C. N., and P. David J., “Sub-module Integrated Distributed Maximum Power Point Tracking for Solar Photovoltaic Applications,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 6, pp. 2957 - 2967, Jun. 2013.