

마이크로그리드에서 전압변동 제어를 위한 적응형 MPPT 알고리즘 개발

이경찬, 이순정, 오윤식, 서훈철, 김철환
성균관대학교

Development of Adaptive MPPT Algorithm for Voltage Fluctuation Control in Microgrid

Kyoung-Chan Lee, Soon-Jeong Lee, Yun-Sik Oh, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - PV(Photovoltaic) cell의 출력 전력은 일사량이나 온도와 같은 외부환경의 영향을 받아 변화하게 되므로 PV cell은 전압과 전력의 출력에 있어 비선형적이다. 이와 같은 비선형적 관계로 인해 MPPT(Maximum Power Point Tracking)를 수행하는 것이 PV 시스템에서는 매우 중요하다. 본 논문에서는 PV의 전력-전압 출력 특성에서 MPP를 기준으로 양쪽 경사면의 기울기와 Section의 차이를 이용한 새로운 추종법을 제안하였다. P-V 특성 곡선에서 왼쪽 측면에 비해 오른쪽 측면이 큰 기울기를 갖는 동시에 좁은 Section을 가지므로 제안하는 알고리즘은 이러한 특성을 활용한다. 또한 EMTP를 이용하여 제안된 기법의 성능과 동작을 검증하였다.

1. 서 론

지구의 온난화가 가속화 되고 화석연료가 고갈되고 있는 현 시점에서 신재생에너지에 대한 관심은 그 어느 때보다 높다고 할 수 있다. 이와 같이 화석연료를 대체하기 위한 에너지로는 태양광, 풍력 그리고 수소에너지 등이 있다. 이 중 태양광 발전은 유지·보수가 용이하고 설치의 제약이 적다는 장점을 가지고 있어 다가올 자원으로 대체할 수 있는 유력한 신재생에너지이다. 이러한 태양광 발전의 전류-전압, 전력-전압 특성곡선을 보면, 태양광 셀은 전기적으로 비선형적인 특성을 지니고 있다. 따라서 주위의 환경변화에 따라 수시로 변화하는 최대전력점을 추적하기 위하여 일련의 과정이 필요하게 되며, 이를 최대전력점추종(MPPT)이라고 한다[1].

본 논문에서는 기존의 MPPT 방법들을 바탕으로 하여, 더 나은 특성을 갖는 새로운 MPPT 방법을 제시하였다. PV의 출력의 전력-전압곡선에서 MPP를 기준으로 양쪽 경사면의 기울기와 Section의 차이를 이용한 새로운 알고리즘을 제시하고, EMTP를 이용하여 제안된 알고리즘의 동작에 대한 특성을 분석하였다.

2. 태양광 발전 시스템과 기존 MPPT 알고리즘

2.1 태양광 발전 시스템

태양광 발전은 햇빛을 받으면 광전효과(Photoelectric Effect)에 의해 전기를 발생하는 태양전지와 전기에너지를 저장 공급하는 요소들에 의해 전력을 생산하는 시스템으로 집광판 및 전력변환장치(Power Conditioning System, PCS) 등으로 구성되어 있다. 그림 1은 계통에 연결된 태양광 발전 시스템에 대한 개념도이다. 전지에서 광전효과에 의해 전력이 발생되고 발생된 전력은 PCS에 공급된다. PCS는 태양전지 본체를 제외한 태양광 발전 시스템의 주변장치 중 가장 큰 비중을 차지하며 크게 전력제어장치와 인버터로 구성된다. 전력제어장치는 태양광 모듈에서 최대 출력을 얻는 역할과 직·교류 측의 전기적인 감시와 보호기능을 수행한다. PCS를 거쳐 생성된 교류전류는 변압기를 통하여 계통에 공급이 가능하다. 이러한 태양광 발전은 대기오염이나 폐기물의 발생이 없다는 장점이 있다. 또한 발전과 제어부분이 반도체 소자와 전자 부품으로 구성되기 때문에 기계적인 진동과 소음이 없으며 유지·보수가 용이하다. 하지만 태양광 발전은 날씨와 환경의 영향으로 출력이 일정하지 않은 단점이 있다. 특히 온도나 조사량의 변화는 태양광 Array의 출력 전압 및 전류에 많은 영향을 미친다[2].



<그림 1> 태양광 발전 시스템의 개념도

2.2 기존의 MPPT 알고리즘

태양광 Array의 출력 전압과 전력은 선형적인 비례관계를 가지지 않는다. 따라서 태양광의 출력전압, 전류를 이용하여 inverter 내부에 PWM(Pulse Width Modulator) 신호를 제어함으로써 최대출력을 발생시키기 위한 제어방법이 필요하다. 이와 같이 최대출력을 발생시키기 위한 방법을 MPPT라 하고, 현재 태양광 발전시스템에서 다양한 MPPT 알고리즘들이 사용되고 있다. 대표적인 방법으로는 Incremental conductance 방법과 Perturbation & Observation 방법이 있다.

2.2.1 IncCond 방법(Incremental conductance method)

IncCond 방법은 MPPT의 대표적인 방법으로 태양광 발전의 전력-전압 특성 곡선에서 최대전력점에서의 미분 값은 0이라는 것을 기반으로 한 방법이다. 미분 값이 (-)인 경우는 현재 동작점이 최대전력점의 오른쪽, (+)인 경우는 현재 동작점이 최대전력점의 왼쪽에 있음을 의미한다. 구체적으로 살펴보면 최대전력점에서 전력을 전압으로 미분하여 다음 식 (1),(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I \cdot dV + V \cdot dI = 0 \quad (1)$$

$$\frac{V}{I} = - \frac{dV}{dI} \quad (2)$$

위 식은 부하 임피던스가 최대전력점에서 태양광 Array의 전압-전류 특성곡선의 기울기와 동등하다는 것을 나타낸다.

2.2.2 P&O 방법(Perturbation & Observation method)

P&O 방법은 IncCond 방법과 더불어 대표적인 MPPT 방법으로 태양광 발전의 전력-전압 특성 곡선에서 현재 샘플과 이전 샘플의 위치를 기반으로 하여 최대출력점에 가깝도록 Vc.ref를 조정하는 방법이다. 전력 변화량의 부호가 (+)이면 최대전력점을 향해 Vref가 이동하고, 전력 변화량의 부호가 (-)이면 최대전력점에서 멀어짐을 의미한다.

2.2.3 IncCond 방법과 P&O 방법의 특징 비교

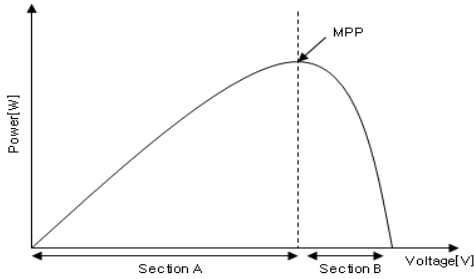
IncCond 방법과 P&O 방법 사이에는 몇 가지 차이점이 있다. IncCond 방법은 샘플링 구간의 문제로 디지털 방식으로 구현이 어렵다. 또한 A/D변환 오차와 노이즈에 의한 측정 오차가 추종에 영향을 미친다. 하지만 P&O 방법보다 정확하고 빠른 추종이 가능한 장점이 있다. 반면 P&O 방법은 알고리즘이 간단하여 디지털 방식으로 구현이 용이하다. 또한 태양전지의 영향을 받지 않기 때문에 태양전지 노후화에 의한 특성 변화와는 무관하게 동작한다. 하지만 IncCond 방법 보다 수렴속도가 느리고, 최대전력점 부근에서 미소진동이 발생하여 효율이 떨어진다 는 단점이 있다.

3. 적응형 MPPT 알고리즘

3.1 기본개념

태양광 Array의 출력 특성을 살펴보면 비선형적인 특성을 가짐을 알 수 있다. 이로 인해 MPP를 찾기 위해서는 특정한 알고리즘이 필요하게 된다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 MPP를 찾기 위해서는 Hill을 올라가는 형태의 추적이 필요하다. 이 때 MPP를 기준으로 언덕의 기울기가 왼쪽은 (+), 오른쪽은 (-)가 됨을 알 수 있다. 또 하나의 큰 특징은 (+)의 기울기를 가지는 Section A는 (-)기울기를 가지는 Section B에 비해 구간이 2배 이상 길다는 것이다. 따라서 같은 Vref 크기를 이용하여 추적하는 경우 Section A보다 Section B를 이용하는 것이 더 빠른 MPP 추적이 가능하다. 이를 바탕으로, 만약 현재의 출력이 Section A에서 나타나고 있을 경우 최대한 빨리 Section B로 이동시키는 것이 필요하다. Section B로 빠르게 이동시킨 후 MPP를 추적하는 것이 Section A에서 MPP 추적을 시작하는 것과 비교했을 경우 훨씬 더 빠른 추적이 가능하다.

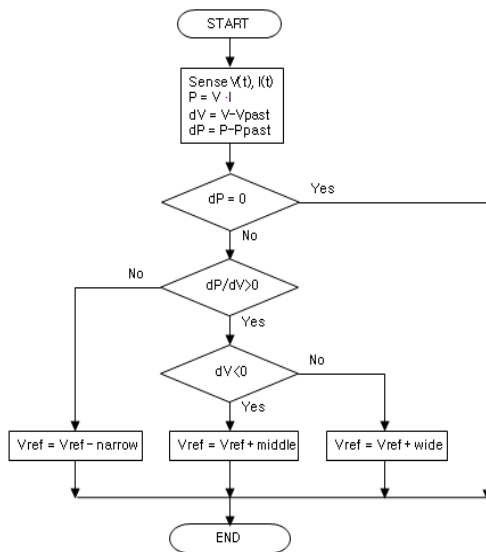
다. 이와 같은 특징을 이용하여 특성그래프 상에서 (+)기울기를 가지는 경우에는 V_{ref} 를 오른쪽으로 크게 이동시키도록 하고 반면, (-)기울기를 가지는 경우에는 작은 단위의 V_{ref} 를 왼쪽으로 이동시켜 MPP를 추적한다.



〈그림 2〉 태양광 Array 출력 특성곡선

3.2 적응형 MPPT 알고리즘

다음 그림 3은 제안하는 MPPT 동작에 대한 알고리즘이다.



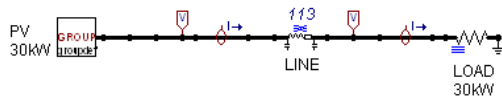
〈그림 3〉 적응형 MPPT 알고리즘

우선, 현재 출력되는 전압과 전류를 취득하고 이를 이용하여 출력 전력을 계산한다. 다음으로 이전 전압과 전력을 이용하여 기울기를 구하고, 이때 기울기가 (-)크기를 갖는다면 그림 2에서 Section B에 위치하고 있다는 것을 의미하므로 narrow V_{ref} 를 왼쪽으로 이동시켜 MPP를 추적한다. 이 경우 dV 의 부호와 관계없이 항상 Section B에 위치하게 되므로 dV 는 고려사항이 아니다. 반면 기울기가 (+)인 경우, 2가지 경우를 고려해야 한다. 기울기가 (+)인 동시에 dV 도 (+)의 부호를 가진다면 Section A에서 MPP를 찾아 가는 과정에 있는 것이므로, 최대한 빨리 Section B로 이동하기 위해 wide V_{ref} 를 오른쪽으로 증가시킨다. 이와 달리 기울기가 (+)이지만 dV 는 (-)인 경우에는 Section B에서 Section A로 이동하는 순간에만 일어나므로, MPP 부근에서 Oscillation을 줄이기 위하여 너무 크지 않은 middle V_{ref} 를 이용하여 증가시킨다.

4. 시뮬레이션

4.1 계통 모델

독립형 태양광 발전 모델은 그림 4와 같다. PV array의 출력은 30kW를 나타내도록 설정하였다. 출력은 조사량을 변화시켜 전류와 전압을 측정하였다 EMTP를 통하여 조사량의 변화로 발생하는 최대전력의 변화를 적응형 MPPT 알고리즘이 적절히 추종하는지 확인하였다.



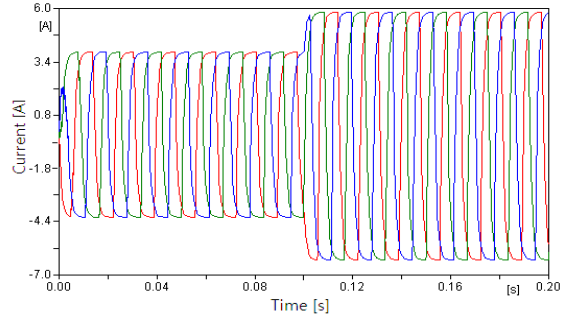
〈그림 4〉 독립형 태양광 발전 모델링

4.2 시뮬레이션 조건

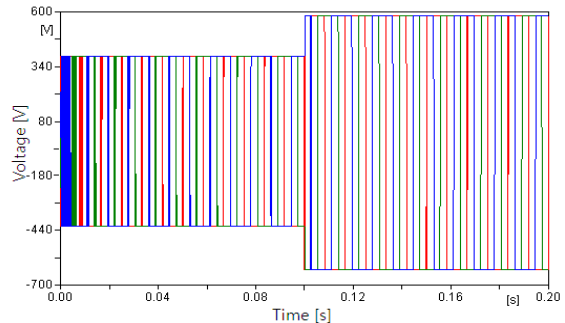
적응형 MPPT 알고리즘의 동작을 검증하기 위한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 태양광 Array의 출력은 조사량의 변화에 영향을 받으므로, 최대전력을 변화시키기 위하여 0.1초에서 조사량을 $500(W/m^2)$ 에서 $1000(W/m^2)$ 으로 변화시켰다.

4.3 시뮬레이션 결과

다음 그림 5는 조사량의 변화에 따른 출력 전류의 파형이다. 초기 조사량이 $500(W/m^2)$ 일 때, 3.9A의 전류를 출력하고, 조사량이 0.1초에 $1000(W/m^2)$ 로 변화한 후 전류는 5.8A로 상승한다. 또한 그림 6은 이때의 태양광 발전 출력전압에 대한 그래프이다.



〈그림 5〉 태양광 발전의 출력전류



〈그림 6〉 태양광 발전의 출력전압

조사량 $500(W/m^2)$ 에서 최대전압은 388V이고, 조사량이 변화한 0.1초 이후 출력 전압은 580V로 상승하였다. 결과적으로 출력전력은 1513.2W에서 3364W로 상승하게 되며 MPPT가 최대전력을 적절히 추종하고 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문은 최대전력점 추종시간을 단축시키기 위한 MPPT 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 IncCod 방법을 개선한 적응형 MPPT 방법으로써 최대전력점 추종시간의 효율을 증가시켰다. 적응형 MPPT 방법의 성능 검증을 위하여 EMTP를 이용하여 조사량을 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 조사량 변화에 따라 MPP점의 추종이 QK르게 이루어짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

(No. 20103060130010)

[참 고 문 헌]

- [1] Youngseok Jung, Junghun So, Gwonjong Yu, Jaeho Choi, "Improved preturbation and observation method(IP&O) of MPPT control for photovoltaic power system", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp1788-1791, 2005
- [2] 서훈철, 윤영민, 김선룡, 이시봉, "Matlab/Simulink를 이용한 계통연계형 태양광 발전 모델링", 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp92-94, 2008.11.7