

복수의 스트링을 가지는 PV 패널에 대응 가능한 차동 전력 조절기의 동작 알고리즘

김근욱, 김민아, 정지훈
울산과학기술대학원 (유니스트)

Control Algorithm of Differential Power Processing Module for Power Generation from Photovoltaic Panels Including Multiple Strings

Geun-wook Kim, Mina Kim, Jee-Hoon Jung
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

차동 전력 조절기 시스템은 PV 모듈의 부분 음영으로 인해 전체 발전량이 감소하는 현상을 방지하기 위해서 사용한다. 기존의 차동 전력 조절기는 PV 패널과 바이패스 다이오드를 연결하여 구성된 PV 스트링당 한 개의 전력변환 장치가 필요하므로, 전력변환 장치의 개수가 증가하고 전력 시스템의 설치 비용이 증가한다. 본 논문에서는 복수의 스트링에 단일 전력변환장치를 사용할 수 있는 차동 전력 조절기 모듈의 구조와 동작 알고리즘을 제안한다. 차동 전력 조절기에 대한 동작 알고리즘을 통해 다양한 부분 음영 조건 시에도 기존의 직렬 연결 방식이나 차동 전력 조절 방식에 비하여 최대 발전량을 유지할 수 있다. 제안하는 차동 전력 조절기의 동작 알고리즘은 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

1. 서론

최근 친환경 에너지에 대한 관심과 화석연료 고갈, 늘어나는 에너지 수요 등으로 친환경적이고, 효율적인 태양광 발전에 대한 관심이 높아지고, 고효율 전력생산을 위한 태양광 산업의 발전이 계속되고 있다. 태양광 산업이 발전함에 따라 시스템을 구성하는 기술도 같이 발전하고 있다. 초기 PV패널 회로 구성은 PV패널을 직렬회로로 구성하여 전압을 높이는 중앙 집중형 방식으로 태양광 회로를 구성했다. 이후에는 멀티 스트링으로 스트링을 나눠 전력 수급에 문제가 생긴 스트링은 메인 회로와 분리해, 보다 안정적인 전력수급이 가능하도록 할 수 있었다. 그러나 태양광 패널에서 생산한 전력을 모두 사용하지 못하는 점에서 생산효율이 떨어지는 문제가 있었다. 이를 보완한 방식은 마이크로 인버터 방식으로, PV 스트링마다 인버터를 설치하여 전력을 수급했는데, 경제성이 낮고, 유지보수가 어려운 문제점이 있었다.

차동 전력 조절기(DPP)는 일정하지 않은 태양광 조사량에도 기존의 직렬연결 시스템보다 높은 효율을 내는 방법으로 제시되었다.^[1] PV스트링에서 부분 음영이 발생하여 전력 생산량이 감소한 경우, 전력조정을 통해 부족한 전류 분은 보충하여 전체 전압 평형을 맞추는 장치이다.^[2] 이를 통해 전력의 발전량은 전체 평형을 이루게 되고, 부분 음영 짐으로 PV스트링 전체가 발전을 못 하는 문제를 해결하게 되었다. 그러나 특정한 조건인 부분 음영이 패널 전체에 발생하는 조건에서는 오히려 DPP를 사용하는 것이 직렬 바이패스 회로의 전력 발전량보다 적을

수 있다.

본 연구에서는 다수의 스트링이 있는 차동 전력 조절기 시스템에서 차동 전력 조절기의 동작 알고리즘을 제안하고자 한다. 장치의 추가적인 설치 없이 동작 모드를 제어하여 발전량이 큰 방법으로 전력 발전량을 늘리는 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 Matlab/Simulink 시뮬레이션으로 모듈을 제작하고 타당성을 검증하였다.

2. 차동전력조절기 알고리즘

2.1 H/W 구성 스트링 회로

그림 1. 은 PV 패널이 스트링으로 구성되고 말단부에 다이오드가 부착되어 스트링간 병렬로 구성한다. 스트링간 전류패스를 공유하여 PV 스트링에 동일한 전류 크기를 가지며, 전압은 태양광의 조사량에 따라 스트링 간 상이한 값을 가진다. 만약 부분 음영이나, PV에 악조건이 발생하여 특정 1개의 스트링의 생산량이 유의미하게 감소하면 해당 스트링의 다이오드가 동작하여 태양광 패널을 분리한다. 직렬 PV 회로에서 다이오드로 인해 바이패스하면 전체 PV 패널의 전류가 감소하는 것을 방지할 수 있지만, 해당 스트링의 전력생산량이 큰 폭으로 감소한다.

DPP 회로는 직렬 PV 회로의 전력생산량 감소가 발생하는 점을 보완하는 회로이다. 특정 PV 스트링에 부분 음영이 발생하여 PV 스트링에서 Maximum Power Point (MPP) 동작 상황 시 전류가 다른 스트링보다 떨어지는 현상이 있을 때, 차동 전력 조절기가 부족한 수치만큼 전류를 보상한다. 이로 인해 해당 PV 스트링은 다른 스트링과 전압의 평형을 유지할 수 있고, 원활한 전력생산이 가능하여 전체 전력생산 효율이 향상한다.

그러나 PV 스트링에 짙은 음영이 가려져 해당 스트링의 전압이 매우 낮아진 경우에는 결과가 상반된다. 직렬구조에선 해당 스트링을 바이패스하므로 해당 스트링의 전압에 관계 없이 전력이 떨어지지만, DPP 회로에선 전압 감소분으로 인한 전력만큼 보상해야 하므로 부분적으로 짙은 음영이 진다면 직렬구조가 유리하다. 따라서 기존의 DPP 회로와 동작 알고리즘은 해당 상황일 때 전력 생산량이 줄어드는 문제가 있다. 본 논문에서는 이를 새로운 동작 알고리즘으로 해결하기 위하여 H/W 회로는 DPP를 채용한 회로를 구성한다.

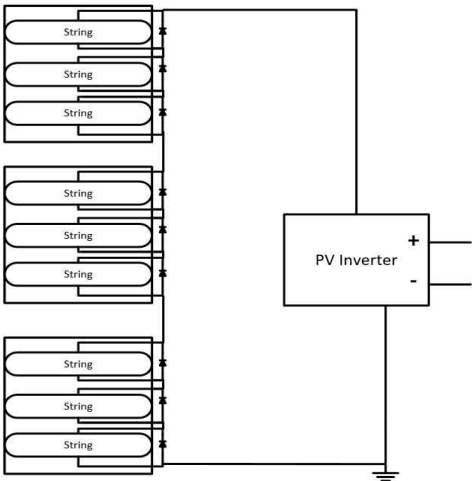


그림 1. 직렬 연결 방식의 PV 발전 회로

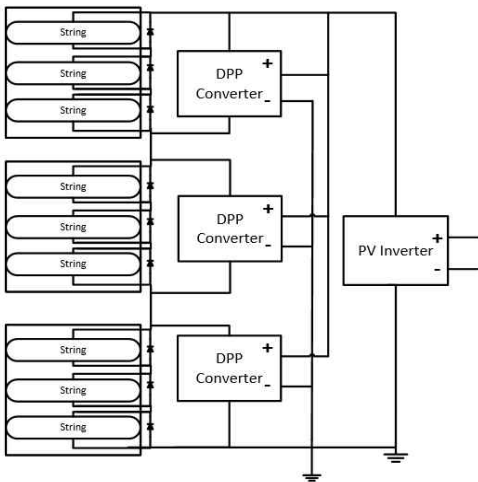


그림 2. 차동 전력 조절기를 사용한 PV 발전 회로

2.2 S/W 구성 알고리즘

그림 3은 차동 전력 조절기가 부착된 회로에 부분 음영이 생겼을 때, PV직렬 회로와 DPP 회로 중 동작 상태를 선택하여 더 높은 전력생산을 위해 제안하는 DPP 동작 알고리즘이다. 기존의 차동 전력 조절기 회로들은 DPP의 동작이 정지하면, 회로는 직렬 PV 스트링 회로로 동작하고, 차동전력 조절기를 다시 켜면, 원래대로 차동 전력 조절기의 회로로 동작한다. 이를 이용하여 두 가지 방법으로 전력 생산량을 비교하여 우수한 방법을 채택하는 방식이다.

제안하는 DPP 동작 알고리즘이 정상적으로 동작하기 위해서 선행조건이 두 가지 있다. 첫 번째는 차동 전력 조절기의 제어방법이 일반적으로 사용하는 PV 전압을 동일하게 하는 방법이 아닌, PV의 전류를 제어하는 방법이어야 한다. 차동 전력 조절기에서 전압을 조정하여 최대 전력 점을 찾으면 차동 전력 조절기의 동작이 불명확하다. 이 때, 차동 전력 조절기가 임의로 동작하게 되고 이로 인해 차동 전력 조절기의 손실이 발생한다. PV를 전류로 제어하면, 차동 전력 조절기가 임의 동작하지 않고 이로 인한 불필요한 손실이 감소한다.

두 번째 선행조건은 알고리즘 동작의 기준이다. 알고리즘을 통해 차동 전력 조절기를 언제 켜고 켜지 않을지 기준이 필요하다. 알고리즘이 효율적으로 동작하기 위해서 하기와 같이 두 가지 기준을 세우고, 한 개라도 만족하면 동작하도록 설정했다.

첫 번째로는 일정한 시간이 지나면 알고리즘이 동작하도록 했다. 그림자가 천천히 생겨 전력생산량이 변화가 점진적으로 발생하는 상황을 가정했다. 일정한 시간이 지났을 때 차동 전력 조절기를 이전상태와 반대로 동작시켜, 생산량이 많다면 변경된 상태를 유지하고, 작다면 변경 전 상태로 돌아가는 것이다.

두 번째로는 급격한 전력 생산량의 변화가 있으면 알고리즘이 동작하도록 설계했다. 전력의 급격한 변화가 있을 때 PV패널에 음영이 크게 발생하거나 줄어든 것으로 판단한다. 이 방법으로 알고리즘이 동작하였을 때 첫 번째 방법인 주기적인 판별 방법과 중복 동작을 방지하기 위해, 해당 시간을 초기화시킨다. 알고리즘이 동작하는 주기, 알고리즘을 동작시키는 전력 변화량의 기준은 적용하는 시스템에 맞게 선정 할 수 있다.

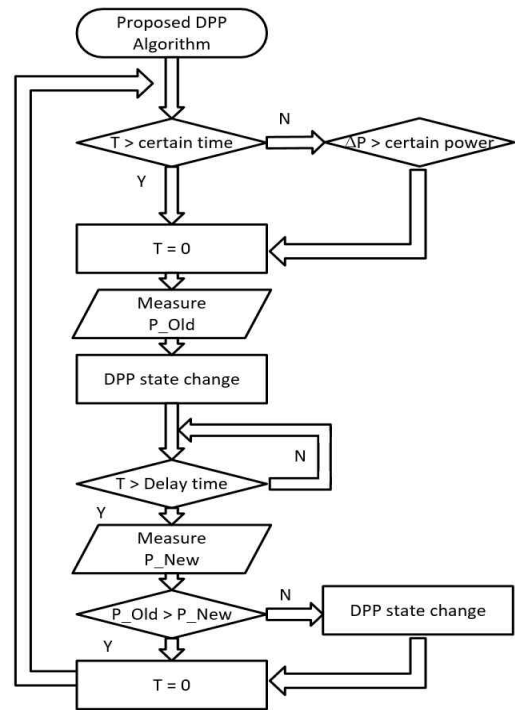


그림 4. 제안하는 DPP 알고리즘의 순서도

3. 모의실험 결과

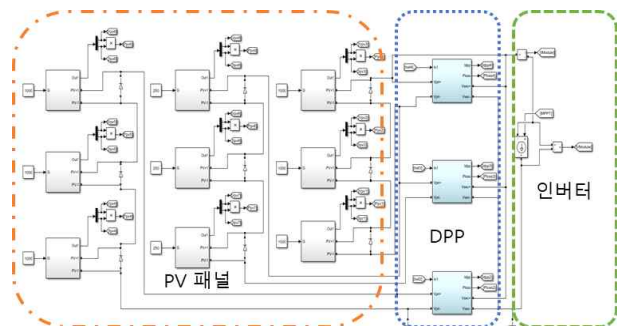


그림 4. MATLAB/Simulink 시뮬레이션 모델

Maximum Power	105.9 [W]
Open circuit voltage	16.2 [V]
Voltage at maximum power point	12.72 [V]
Short-circuit current	8.8 [A]
Current at maximum power point Imp	8.33 [A]
Temperature coefficient of V	-0.36 [%/deg.C]
Temperature coefficient of I	0.06 [%/deg.C]
Number of parallel strings	3

표 1. PV 패널의 주요 파라미터

제안한 알고리즘의 시뮬레이션은 PV 패널 3개를 직렬연결 회로에 차동 전력조절기를 연결한 형태이다. 표 1은 시뮬레이션 구현에 활용된 PV 패널의 주요 파라미터이다. 그림 4는 MATLAB/Simulink 시뮬레이션 모델이다. 좌측에 태양광 모듈에 조사되는 조사량에 따라 전력을 발전하고, DPP모듈로 전류를 조정하여 전체 생산량을 높이는 구조이다.

그림 5는 PV 패널 중 1개 스트링에 짙은 부분 음영이 생겼을 때 DPP의 동작 여부에 따른 전력생산량 차이이다. 차동 전력 조절기의 동작 상태를 OFF 시켜 바이패스 다이오드가 동작하도록 하는 것이 전체 전력생산량이 21.49% 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그림 6는 PV 패널 중 1개 패널에 있는 스트링 3개에 열린 부분 음영이 발생했다. 이 때 DPP를 정지시켜 전력을 생산하면 부분적으로 짙은 음영일 때 해당 스트링을 바이패스 시키므로 상대적으로 높은 전력생산량을 확보할 수 있다.

결론적으로 많은 스트링에 열린 음영이 발생할 때는 DPP를 동작시켜 부족한 전력분을 보충해주는 것이 전체 전력생산량을 향상시키는데 도움이 되며, 패널에 전체적으로 음영이 짙을 때는 DPP를 동작하지 않고 바이패스 하는 것이 전력변환 손실을 줄여 전력생산량이 증대될 수 있다는 점을 확인했다. 이를 DPP 동작 알고리즘에 적용하여 차동 전력 조절기의 동작/정지 상태를 제어한다면 PV 패널로부터 전력 생산의 효율성을 높이는 데 도움이 될 수 있음을 보였다.

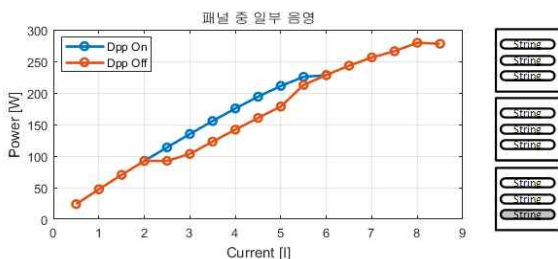


그림 5. PV 패널 중 1개 스트링에 부분음영

4. 결론

제안하는 알고리즘은 특정조건에서 차동 전력 조절기(DPP)를 누락시켜 전력을 생산한 출력과, DPP를 동작시켜 전력을

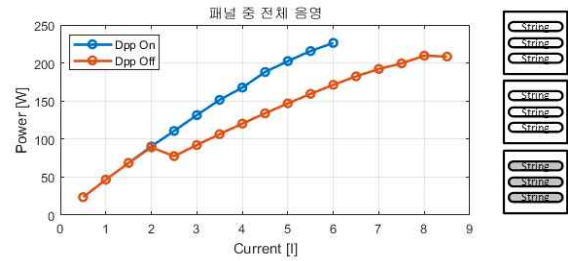


그림 6. PV 패널 중 1개 패널 부분음영 생산한 출력을 비교하여 우수한 동작 조건을 선정하여 최대 전력을 생산하는 알고리즘이다. 기존의 DPP 회로에서 장치의 추가 없이 차동 전력 조절기에 동작 알고리즘만의 적용으로 PV 전력 생산성을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 제안된 알고리즘은 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 이용하여 특정 조건에서 DPP의 동작을 제어하여 출력전력이 21.49% 향상하는 것을 확인하여 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 한국전력공사의 2018년 선정 사외공모 기초연구사업 과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호 : R18XA06-72)

참고 문헌

- [1] P. S. Shenoy, K. A. Kim, B. B. Johnson and P. T. Krein, "Differential Power Processing for Increased Energy Production and Reliability of Photovoltaic Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 6, pp. 2968-2979, June 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2211082.
- [2] Seungbin Park, Mina Kim, Hoejeong Jeong, Katherine A. Kim, Taewon Kim, A-Rong Kim, Jee-Hoon Jung. (2019). Design Methodology of Bidirectional Flyback Converter for Differential Power Processing Modules in PV Applications. ICPE(ISPE)논문집, (), 1759-1764.