

태양광 출력 감발 시 입력 커패시터 영향 완화를 위한 제어 방법

양형규, 이준혁, 김명원, 최장혁, 박정욱
연세대학교

A Control Method to Mitigate the Influence of Input Capacitor in Photovoltaic Power Curtailment

Hyoung-Kyu Yang, Junhyuk Lee, Myeong-Won Kim, Jang-Hyeok Choe, Jung-Wook Park
Yonsei University

ABSTRACT

본 논문에서는 태양광 출력 감발 시 입력 커패시터의 영향을 분석하고, 이를 완화시키는 제어 방법을 제안한다. 기존의 감발 제어는 태양광 시스템 출력에 대한 입력 커패시터의 영향을 고려하지 않아, 출력 감발 시 오히려 태양광 시스템 출력이 순간적으로 증가할 위험이 있다. 따라서 입력 커패시터 출력을 고려한 제어 방법을 제안하여, 순간적인 태양광 시스템 출력 증가를 방지하고 연계된 계통의 안정적인 운영을 가능케 한다.

1. 서 론

최근 계통 내 태양광 발전 점유율은 지속적으로 증가하는 추세이다. 그러나 태양광 발전의 급격한 출력 증가로 인해 전력 수급의 불균형이 일어나면, 계통이 태양광 시스템 출력을 더 이상 수용하지 못하는 상황이 발생한다^[1]. 따라서 태양광 시스템 출력을 제한시킬 수 있는 감발 제어에 대한 필요성이 대두되었다.

기존의 감발 제어는 태양광 시스템 출력을 태양광 어레이 출력과 동일하게 간주한다^[2]. 그러나 출력 감발 시에는 태양광 어레이 전압의 안정화를 위해 사용된 입력 커패시터가 시스템 출력에 영향을 미칠 수 있다. 이로 인해, 오히려 태양광 시스템 출력이 순간적으로 증가할 위험이 있으나, 이에 대한 연구가 거의 진행되지 않은 상황이다.

따라서 본 논문에서는 입력 커패시터의 태양광 시스템 출력에 대한 영향을 분석하고, 입력 커패시터 출력을 고려한 감발 제어 방법을 제안한다. 이를 통해 태양광 시스템 출력의 순간적인 증가를 방지하고, 연계된 계통을 안정적으로 운영할 수 있게 한다. 제안하는 제어 방법의 효과는 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증되었다.

2. 태양광 출력 감발 제어

2.1 태양광 시스템

태양광 출력 감발 제어를 위한 시스템이 그림 1에 나타나 있다. 이 시스템은 태양광 어레이, 입력 커패시터, DC/DC 부스트 컨버터, DC-링크 단으로 구성된다. 입력 커패시터는 태양광 어레이 전압(v_{pv}) 안정화를 위해 사용된다. 이 때, P_{pv} 는 태양광 어레이 출력, P_{out} 은 태양광 시스템 출력, P_C 는 입력 커패시터 출력을 의미한다.

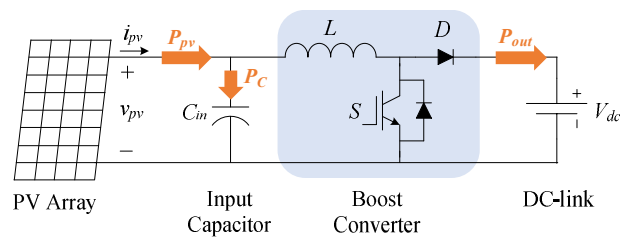


그림 1 태양광 시스템 구성
Fig. 1 Configuration of photovoltaic system

태양광 어레이의 출력-전압(P - V) 곡선은 그림 2와 같이 비선형적인 특징을 갖는다. 따라서 P_{pv} 를 최대 출력(P_{mpp})에서 감발시키기 위해서는 v_{pv} 를 최대 출력점 전압(v_{mpp}) 보다 작거나 크도록 제어해야 한다. 이 때, v_{pv} 를 감소시키는 편이 시스템을 더 안전하게 운영할 수 있다^[2].

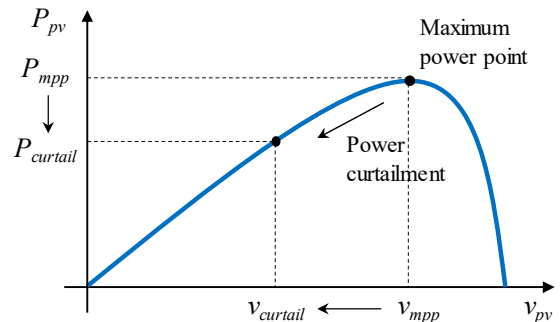


그림 2 태양광 어레이 P - V 곡선
Fig. 2 P - V curve of photovoltaic array

2.2 입력 커패시터 영향 분석

태양광 출력 감발 제어의 주요 목표 중 하나는 가능한 빠르게 v_{pv} 를 감소시켜 P_{pv} 를 줄이는 것이다. 그러나 P_C 를 고려하지 않은 v_{pv} 의 감소는 오히려 P_{out} 을 증가시킨다. P_{out} , P_{pv} , P_C 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$P_{out} = P_{pv} - P_C = P_{pv} - C_{in} v_{pv} \frac{dv_{pv}}{dt} \quad (1)$$

여기서 C_{in} 은 입력 커패시터의 커패시턴스이다. 감발 제어로 인해 v_{pv} 가 빠르게 감소하면, dv_{pv}/dt 는 절댓값이 큰 음수가 되어

P_{out} 이 P_{pv} 보다 커지는 결과를 야기한다. 결국, P_{out} 을 감소시키고자 한 원래의 목적에 반하는 결과가 발생하며, 이는 연계된 계통을 불안정하게 한다.

2.3 제안하는 제어 방법

제안하는 제어 방법은 P_C 가 P_{out} 에 미치는 영향을 고려한다. P_{out} 의 순간적인 증가를 막기 위해, (2)와 같이 1보다 큰 임의의 비례 상수(k)를 선정하여 P_{out} 의 최댓값을 제한한다. 그리고 (2)를 (1)에 대입해 (3)의 식을 얻는다.

$$\max(P_{out}) = k P_{pv} \quad (2)$$

$$\min\left(\frac{dv_{pv}}{dt}\right) = \frac{1-k}{C_{in}} i_{pv} \quad (3)$$

여기서 i_{pv} 는 태양광 어레이 전류이다. 제안하는 제어 방법은 (3)을 이용하여 태양광 어레이 전압 지령(v_{pv}^*) 변화율의 최솟값을 제한한다. 이를 제어 블록으로 나타내면 그림 3과 같다.

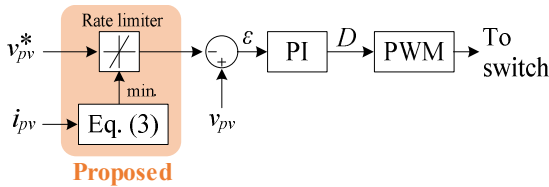


그림 3 제안하는 방법의 제어 구조
Fig. 3 Control structure of proposed method

2.4 시뮬레이션 결과

제안하는 제어 방법의 효과를 검증하기 위해 PSIM 프로그램을 통한 시뮬레이션을 진행하였다. 시스템 파라미터는 표 1에 나타나 있다.

표 1 태양광 시스템 파라미터
Table 1 Photovoltaic system parameters

태양광 어레이 사양	제어 파라미터		
정격출력(P_{mpp})	10 kW	입력커패시터(C_{in})	100 μ F
정격전압(V_{mpp})	562 V	비례상수(k)	1.01
정격전류(I_{mpp})	17.8 A	DC-링크전압(V_{dc})	800 V

제안하는 제어 방법을 적용하지 않았을 때와 적용하였을 때 시뮬레이션 결과가 그림 4와 5에 각각 나타나 있다. 시뮬레이션에서 10 kW의 최대 출력을 내던 태양광 시스템은 0.05 초부터 8 kW로 감발된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 제안하는 방법을 적용하지 않은 감발 제어는 빠르게 v_{pv} 를 감소시키며, dv_{pv}/dt 는 절댓값이 매우 큰 음수가 된다. 이는 태양광 시스템이 감발되지 않고 오히려 1.7 kW의 초과 출력을 내는 결과를 가져온다. 반면에, 그림 5에 나타난 바와 같이, 제안하는 방법을 적용한 감발 제어는 P_{out} 을 P_{pv} 의 1.01배로 제한하며 v_{pv} 를 감소시킨다. 따라서 P_{out} 은 기존 출력 대비 0.1 kW 만을 초과하였을 뿐, 안정적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 한편, 제안하는 방법으로 인해 감발 제어 완료까지의 시간이 증가하였지만, 이는 0.075 초로 여전히 짧은 시간으로 여겨진다.

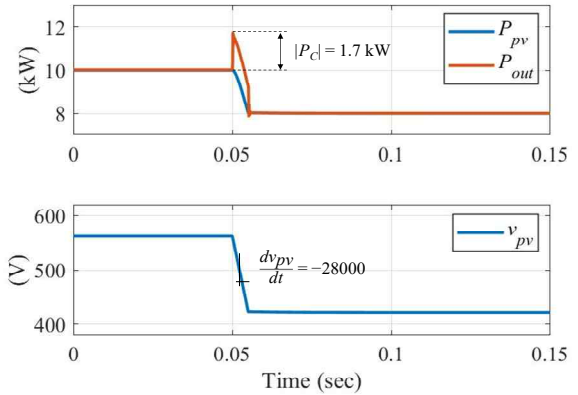


그림 4 제안하는 제어 방법을 적용하지 않은 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation results without the proposed method

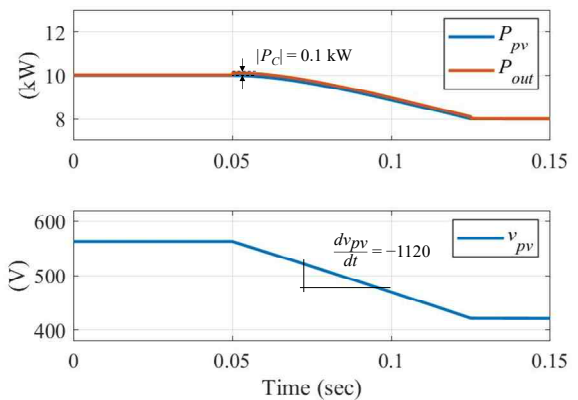


그림 5 제안하는 제어 방법을 적용한 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results with the proposed method

3. 결론

본 논문은 태양광 출력 감발 시 입력 커패시터의 영향을 분석하고, 이를 완화시키는 제어 방법을 제안하였다. 입력 커패시터 출력을 고려하지 않은 감발 제어는 오히려 태양광 시스템 출력을 순간적으로 증가시킬 수 있다. 따라서 제안하는 제어 방법은 태양광 어레이 전압 지령의 변화율을 제한하여 태양광 시스템의 초과 출력을 방지하였고, 시뮬레이션을 통해 그 효과를 검증하였다. 제안하는 제어 방법을 통해 태양광 출력 감발 시 연계된 계통의 안정성 확보가 가능해질 것으로 기대된다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1A3B2079407).

참고 문헌

- [1] 명호산, 김형철, 강남호, 김영환, 김세호. (2018). 제주지역 풍력발전 및 태양광발전의 전력계통 부하기여 분석. *한국태양에너지학회 논문집*, 38(1), 13-24.
- [2] 양형규, 방태호, 배선호, 박정욱. (2019). 태양광 시스템의 전 범위 전력점 추종을 위한 CPG 알고리즘에 관한 연구. *전력전자학회 논문지*, 24(2), 111-119.