

병렬 Differential Power Processing 컨버터의 비교 분석

이현지, 김예린
울산과학기술원

Comparison of Two Parallel Differential Power Processing Configurations

Hyunji Lee, Katherine Ann Kim

Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

태양광 발전 시스템 구현에 있어 가장 큰 문제점 중 하나는 불균일한 태양빛 조건에서의 전체 시스템 발전량 감소이다. 이를 해결하기 위해 module integrated converter (MIC), dc optimizer, differential power processing (DPP) 등 다양한 컨버터가 연구되고 있다. 그 중에서도 DPP 컨버터는 낮은 전력 변환 손실로 높은 시스템 효율을 얻을 수 있어 최근 많은 주목을 받고 있다. 보통 그리드 연결형 태양광발전 시스템에 적용되는 직렬 DPP의 경우, 이미 많은 연구가 진행되고 있지만, 병렬 DPP의 경우 아직 많은 연구가 필요한 상황이다. 본 논문에서는 front end 컨버터의 존재 유무에 따른 두 가지 병렬 DPP 컨버터 배열을 비교 분석 하였다. Front end 컨버터가 적용된 병렬 DPP 컨버터 배열의 경우, dc 전압과 태양전지의 전압 차이를 최소화해 전력 변환 손실을 감소시킬 수 있지만, front end 컨버터에서 추가적인 전력 변환 손실이 발생한다. Front end 컨버터가 없는 경우, dc 전압과 태양전지의 전압 차이가 커 DPP 컨버터에서 발생하는 전력 변환 손실이 커진다. 따라서 주어진 조건 아래 효율적인 병렬 DPP 컨버터 디자인을 위한 가이드라인을 본 논문에서 제시하고자 한다.

1. 서 문

최근 원자력 발전소 감소 추세에 따라 풍력 에너지, 태양광 에너지 등 신재생 에너지가 많은 각광을 받고 있다. 특히 태양광 에너지와 관련하여 불균일한 태양빛 조건 아래 시스템 발전량을 최대화 시키는 컨버터/인버터 배열에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 여기서 불균일한 태양빛이란 각각의 태양전지에 도달하는 태양빛이 불균일한 것을 지칭하며, 태양전지의 노화, 태양전지 위 이물질 누적, 장애물에 의한 태양빛 가림 등 다양한 원인에 의해 발생한다. 기존의 태양광 발전 시스템은 중앙 컨버터에 의해 제어 받기 때문에 불균일한 태양빛이 발생할 경우, 시스템 발전량이 급격히 감소하게 된다. 이러한 중앙 제어 문제점을 해결하기 위해 컨버터와 태양전지가 일대일로 연결되어 있는 module integrated converter (MIC)가 제안되었다. MIC의 경우 태양전지의 개별 제어가 가능하기 때문에 불균일한 태양빛 조건 아래에서도 각각의 태양전지가 고유의 최대 전력점에서 작동할 수 있다. 하지만 MIC는 태양 전지에서 발생하는 모든 전력을 처리하기 때문에 MIC에서 상당한 전력 변환 손실이 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 위해 태양전지의 일부 전력만을 처리하는 differential power processing (DPP) 컨버터가 제시되었다.^[1] DPP 컨버터 배열로는 직렬 DPP와 병렬 DPP 두 가지가 존재하며 본 논문에서는 병렬 DPP 중 2가지 배열을 비교 분석 하려 한다.

2. 병렬 DPP 컨버터 배열 비교

2.1 병렬 DPP 배열

그림 1은 병렬 DPP 시스템의 기본 회로도들을 나타낸다. DPP 컨버터의 입력단은 dc bus 전압과 동일하며, DPP 컨버터의 출력단에는 태양 전지가 직렬로 연결되어 있다. 따라서 DPP 컨버터의 출력 전압은 dc bus 전압과 태양 전지의 차이와 동일하며 이때 DPP 컨버터에서 처리하는 전력은 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{dpp,p} = I_{PV} \cdot (V_{dc} - V_{PV}) / \eta_{conv.} \quad (1)$$

따라서 DPP 컨버터에서 발생하는 전력 손실은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{dpp,p} = I_{PV} \cdot (V_{dc} - V_{PV}) \cdot (1 - \eta_{conv.}) / \eta_{conv.} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에 의해 dc bus 전압과 태양 전지의 전압 차이가 작으면 작을수록 DPP 컨버터에서 발생하는 전력 손실을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 하지만 DPP 컨버터의 입력단 전압은 dc bus 전압과 동일하기 때문에 DPP 컨버터의 출력 전압이 너무 작아지면 컨버터 제어의 문제가 생길 수 있다. 이러한 문제를 해결 하기 DPP 컨버터에 front end 컨버터를 적용한 병렬 DPP 컨버터가 제안되었다.^[2]

2.2 Front-end 컨버터가 적용된 병렬 DPP 배열

그림 2는 front end 컨버터가 적용된 병렬 DPP 컨버터 배열을 나타낸다. Front end 컨버터는 dc bus 전압을 더 낮은 전압으로 낮춰주는 역할을 하며 front end 컨버터의 출력단은 모든 DPP 컨버터의 입력단에 각각 연결되어 있다. DPP 컨버터의 입력단 전압이 낮아짐에 따라 DPP 컨버터 제어는 용이해지지만 front end 컨버터에서 또 다른 전력 변환 손실이 발생하게 된다. Front end 컨버터는 DPP 컨버터에서 처리하는 모든

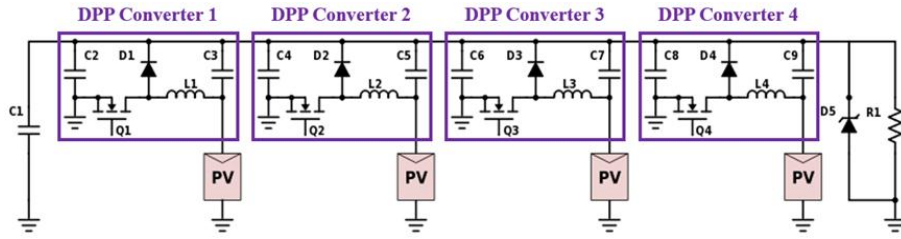


그림 1 Front-end 컨버터가 없는 병렬 DPP 컨버터 시스템 회로도
 Fig. 1 Schematic of the parallel DPP system without front-end converter

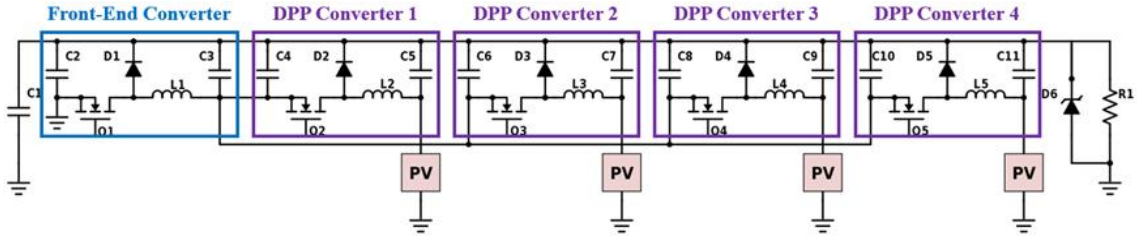


그림 2 Front-end 컨버터가 있는 병렬 DPP 컨버터 시스템 회로도
 Fig. 2 Schematic of the parallel DPP system with front-end converter

전력의 합을 처리하기 때문에, front end 컨버터와 DPP 컨버터의 효율이 동일하다고 가정할 경우, front end 컨버터에서 처리하는 전력은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{fe} = \sum I_{PV} \cdot (V_{dc} - V_{PV}) / \eta_{conv}^2 \quad (3)$$

따라서 부하, dc bus 전압, 태양 전지 특성 등을 고려해 적절한 병렬 DPP 배열 선택이 필요하다.

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

2가지 병렬 DPP 배열을 비교 하기 위해 그림 1, 그림 2와 같이 태양 전지 4개로 구성된 태양광 발전 시스템을 구성하였다. 충분한 일사량 아래 각각의 태양전지는 약 4V에서 최대 전력점을 갖는다. 부하로는 5,000 mAh 보조 배터리를 연결하였으므로 보조배터리의 특성에 의해 dc bus 전압이 결정된다. 그림 3은 다양한 태양빛 조건 아래, 컨버터의 효율이 70%라고 가정하였을 때의 두가지 병렬 DPP 시스템의 시스템 발전량을 나타낸다.

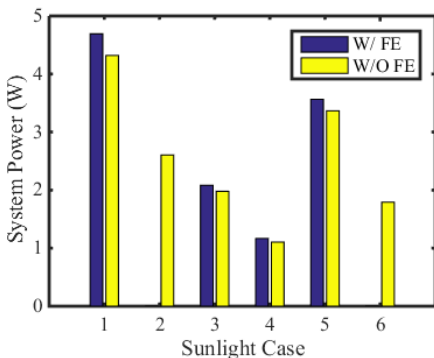


그림 3 다양한 일사량 조건 아래 병렬 DPP 시스템 발전량
 Fig. 3 Parallel DPP system output power under various sunlight conditions

일사량 Case 01과 Case 05는 비교적 균일한 태양빛 조건을 나타내며 이러한 경우, front end 컨버터가 적용되지 않은 시스템이 비교적 높은 시스템 발전량을 나타냈다. 나머지 경우는 모두 불균일한 태양빛 조건을 나타내며, 일부 경우에는 front end 컨버터가 적용되는 않은 시스템이 더 높은 시스템 발전량을 나타냈으나, 경우에 따라 배터리 충전이 불가능한 경우가 발생함을 알 수 있다. 따라서 태양광 발전 시스템이 비교적 균일한 태양빛에 노출될 경우 front end 컨버터를 적용한 배열이 강점을 나타내며, DC bus 전압이 제어되지 않고 부하 특성에 따라 변화할 경우 front end 컨버터를 적용하지 않은 배열이 강점을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 병렬 DPP 컨버터 배열 중 front end 컨버터의 적용 유무에 따라 달라지는 시스템 발전량을 비교 분석하였다. 보조 배터리를 부하로 연결하였을 경우, 다양한 일사량 조건에서 계속 충전이 가능한 배열은 front end 컨버터가 적용되지 않은 병렬 DPP 배열임을 확인하였다.

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2016R1D1A1B03931573).

참 고 문 헌

- [1] K. A. Kim; et al., "Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 4, pp. 1987-1997, April 2015.
- [2] H. Zhou, J. Zhao, and Y. Han, "Pv balancers: Concept, architectures, and realization," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 7, pp. 3479-3487, July 2015.