

# 전압 밸런싱을 위한 부스트-포워드 컨버터를 이용한 피드백 방식 차동전력조절 시스템

김경탁, 박중후  
 송실대학교

## Feedback Differential Power Processing System using Boost-forward converter for Voltage balancing

Kyoung-Tak Kim, Joung-Hu Park  
 Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문에서는 전압 밸런싱을 위한 부스트-포워드 컨버터를 이용한 피드백 방식 차동전력조절(DPP, Differential Power Processing) 시스템을 제안한다. 이 시스템은 서로 직렬 연결된 태양광패널을 입력으로 연결된 상태에서 DPP 컨버터가 각 태양광패널에 병렬로 연결된다. 또한 DPP 컨버터의 출력도 직렬로 연결되고 전체는 부스트 컨버터에 의해 통합되어 최종적으로 인버터를 통해 계통 및 기타 시스템에 연결된다. 이러한 구조의 DPP 시스템은 태양광패널 중의 한 부분에 그늘짐 현상이 발생할 경우 DPP 컨버터의 출력에 영향을 미치게 되어 전압불균형이 발생한다. 이는 전체 시스템의 효율과 인버터와 같은 계통과 연결 시 정상작동 여부에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 DPP 컨버터 출력부의 전압 밸런싱을 수행하는 회로가 필요하다. 제안하는 회로는 이러한 DPP 시스템에서 적용할 수 있는 부스트-포워드 컨버터를 이용한 전압 밸런싱 회로이다. 이를 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였다.

### 1. 서론

지난 수십년간 여러 세대를 거쳐서 최근 태양광 전력 조절기는 차동전력조절기라고 불리는 4세대를 맞이하였다. 1세대의 중앙 집권형 전력조절기와 2,3세대의 모듈형 전력조절기를 거치면서 이러한 시스템의 주된 목표인 최대전력추적(MPPT)을 원활히 수행하는가에 대한 끊임없는 연구가 진행되었다. 4세대인 DPP 시스템은 이전까지의 시스템에서의 문제점으로 꼽히던 각 태양광 패널에서 직면할 수 있는 그늘짐 현상과 같은 조건 하에서 MPPT를 수행할 수 있는가에 대한 답을 제시하고 있다. DPP 시스템에서 핵심이 되는 조건을 살펴보면 다음과 같다<sup>[1]</sup>. 첫째, 태양광 패널들이 직렬로 연결되어 있어 태양광 패널에서 시스템으로 넘어가는 전류인 스트링 전류가 모두 같아야 한다. 둘째, 각 태양광 패널들의 MPPT 전압이 같다. 셋째, 어느 한 패널에 그늘짐 현상이 발생한다면 각 태양광 패널들이 발전하는 전력의 편차가 발생한다. 넷째, 각 태양광패널 간 전력의 편차가 발생하지만 전류가 같으므로 둘째에서 언급한 MPPT를 정상적으로 수행하기 어렵다. 이러한 문제가 발생하는 시스템에서 DPP 컨버터가 문제를 해결한다. MPPT 전압이 모두 동일하고 직렬 연결된 태양광패널들의 전류가 같으며 전력의 편차가 발생한 상황이 핵심이므로 DPP 컨버터가 모자란 전류를 채워주거나 상대적으로 과한 전류를 일정량 부담해 주는 방식으로 작동하여

편차가 발생한 각 태양광 패널의 발전전력의 차이를 DPP 컨버터가 부담한다는 것이다. 발생하는 전력의 차이를 부담하는 방식에 따라 두가지 방식으로 나눌 수 있다. 60W를 최대 발전하고 있는 태양광 패널을 1번 태양광패널, 그늘짐 현상이 발생하여 30W를 발전하고 있는 태양광 패널을 2번 태양광패널이라고 가정한다면 두 태양광 패널의 발전량의 편차가 30W가 된다. 이 30W에 해당하는 전력 편차를 최대 발전하고 있는 1번 태양광패널에서 전류를 빼내 옴으로서 2번 태양광 패널의 전류를 기준으로 태양광발전이 이루어지는 방식을 피드포워드 방식, 반대로 2번 태양광패널에 전류를 주입하여 30W 편차를 부담하여 1번 태양광 패널의 전류를 기준으로 가동하는 방식을 피드백 방식 이라고 한다. 본 논문에서는 이 두가지 방식 중 피드백 방식을 기반으로 한 DPP 시스템에서 발생하는 DPP 컨버터의 전압불균형을 해결하는 토폴로지를 제안한다.

### 2. 본론

#### 2.1 부스트-포워드 컨버터의 동작특성

그림 1은 피드백 방식의 DPP컨버터가 태양광 패널과 연결된 DPP 시스템을 보여주고 있다<sup>[2]</sup>. 부스트 컨버터의 입력으로 직렬 연결된 두개의 태양광패널이 연결되어 있고 각각의 태양광 패널에는 DPP 컨버터가 연결되어 있다. DPP컨버터 간 입력은 직렬 연결되어 부스트 컨버터의 출력과 연결되어 있다. 이러한 구조에서 PV<sub>1</sub>이 60W로 최대 발전하고 있고 PV<sub>2</sub>가 그늘짐 현상이 발생해 30W를 발전하고 있다면 위 아래의 DPP컨버터 중 위인 DPP<sub>1</sub>컨버터는 작동하지 않고 아래의 DPP<sub>2</sub>컨버터만 작동하게 된다. DPP컨버터의 입력이 직렬로 연결되어 있기 때문에 DPP컨버터의 입력전압은 DPP컨버터의 전력에 비례하

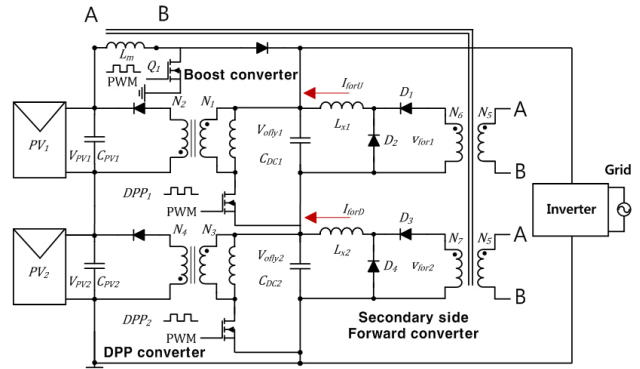


그림 1. 제안하는 차동전력조절 시스템 구조  
 여 인가된다. 즉 DPP<sub>1</sub>컨버터의 전력이 0W, DPP<sub>2</sub>컨버터의 전력이 30W이기 때문에 DPP<sub>1</sub> 컨버터와 DPP<sub>2</sub>컨버터의

입력전압은 각각 0V, 인버터의 입력전압으로 나뉘게 된다. 이는 DPP컨버터의 구성소자를 디자인함에 있어서 정격을 그늘짐 현상이 발생할 때를 기준으로 삼아야 하기 때문에 효율면에서 불리할 수 있다. 또한 멀티레벨 인버터와 같이 계통과 연결되는 인버터와 DPP 시스템이 연결된다고 한다면 두 DPP컨버터의 입력전압의 불균형은 인버터의 정상작동을 보장할 수 없게 된다. 따라서 이러한 DPP 시스템에서 전압 밸런싱을 위한 부스트-포워드 컨버터를 제안한다. 부스트 포워드 컨버터의 2차측의 전류가 두 DPP 컨버터의 입력전압 중 낮은 쪽으로 입력되어 두 전압의 편차를 줄이려고 한다.

### 2.2 부스트-포워드 컨버터의 회로해석

회로의 동작은 부스트 컨버터의 ON/OFF DCM으로 동작하는 포워드 컨버터의 인덕터 전류를 기준으로 해석한다.<sup>[3]</sup>

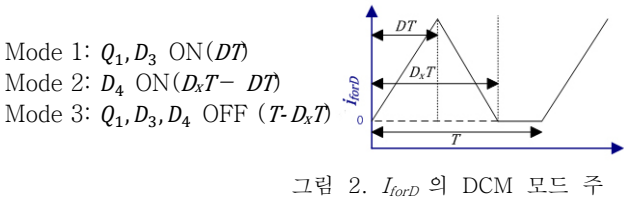


그림 2.  $I_{forD}$ 의 DCM 모드 주

부스트-포워드 컨버터 2차측 전압을  $v_{for2}$ 라 하고  $L_m$ 에 걸리는 전압을 이용해 부스트 컨버터가 ON 상태 ( $D_3=ON$ ,  $D_4=OFF$ )에서의 인덕터  $L_{x2}$ 에서의 최대 전류  $\Delta i_{forD}$ 를 구하면

$$\Delta i_{forD} = \frac{DT(v_{for2}-v_{ofly2})}{L_{x2}} \quad (1)$$

와 같다.  $D_3=OFF$ ,  $D_4=ON$ 에서의 전류를 구하면

$$\Delta i_{forD} = \frac{(DT-D_xT)(v_{ofly2})}{L_{x2}} \quad (2)$$

와 같다.  $L_{x1}$ 의 최대 전류를 이용하여  $i_{forD}$ 의 평균을 구하면

$$I_{forD} = \frac{DD_x(v_{for2}-v_{ofly2})}{2L_{x2}f} \quad (3)$$

OFF 기간동안 식 (3)에 해당하는 전류가 매 시비율 구간동안 두 DPP컨버터의 입력전압 중 낮은 쪽으로 주입되어 편차를 줄이는데 사용된다<sup>[4]</sup>. 턴수비와 인덕터를 설계함에 따라 전류로 인한 손실과 전압 밸런싱 성능을 조절할 수 있다.

### 2.5 제안하는 부스트-포워드 컨버터의 컴퓨터 시뮬레이션 실험결과

그림 3(a)는 제안하는 전압 밸런싱을 위한 부스트 포워드 컨버터가 없는 상태에서의 DPP컨버터의 입력전압 편차를 보여주고 있다. 인버터 입력에 해당하는 전압이 180V이고 PV<sub>1</sub>이 60W로 최대로 발전하고 있고 PV<sub>2</sub>가 그늘짐현상이 발생하여 30W로 발전하고 있을 때 DPP<sub>1</sub>컨버터가 작동을 멈추고 DPP<sub>2</sub>컨버터만 작동하고 있다. 이러한 상황에서 DPP컨버터들이 부담하는 전력(0W/30W)에 따라 전압 편차가 벌어진 것을 보여주고 있다. 그림 3(b)는 제안하는 부스트-포워드 컨버터가 적용된 상태에서의 DPP<sub>1</sub>컨버터와 DPP<sub>2</sub>컨버터의 입력 전압의 상태를 보여주고 있다. 약 0.8V

내외의 편차를 보여주면서 입력전압 간 밸런싱이 잡혀있는 것을 볼 수 있다. 그림 3(c), (d)는 포워드 컨버터의 2차측이 DPP컨버터의 입력 커패시터로 주입하는 전류를 보여준다. 포워드 컨버터의 턴수비를 두 DPP컨버터의 입력전압 중 평균값보다 작은 쪽에만 전류를 주입하도록 설계하여 부족한 쪽인 아래의 DPP<sub>2</sub>컨버터에만 전류를 주입하고 있는 것을 볼 수 있다.

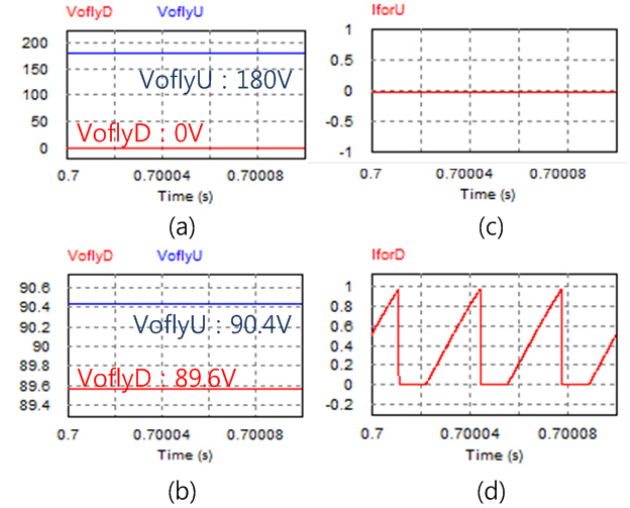


그림 3. 제안하는 시스템의 시뮬레이션 (PSIM) 결과

## 3. 결론

본 논문에서는 그늘짐 현상과 같은 상황에 놓일 때 피드백 방식 차동전력조절 시스템에서 발생할 수 있는 DPP 컨버터 입력전압의 불균형을 해소할 수 있는 부스트 포워드 컨버터를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 회로를 사용한 결과와 사용하지 않은 결과를 살펴보고 그를 통해 더 손실이 낮은 DPP컨버터를 구성하는 소자들을 사용할 수 있음으로써 전체 시스템의 효율을 높이고 멀티레벨 인버터와 같이 인버터의 입력전압들의 밸런싱이 필요한 어플리케이션에 적용할 수 있음을 예상할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] Pradeep S. Shenoy, Katherine A. Kim, Brian B. Johnson, "Differential Power Processing for Increased Energy Production and Reliability of Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 6, pp. 2968-2979, June 2013.
- [2] Shenoy et al. (2013). "System and Method for Optimizing Solar Power Conversion", US Patent 8,508,074, The Board of Trustees of the University of Illinois, Urbana, IL (US), 2013.
- [3] 김경탁, 박중후, "불연속모드 부스트-포워드 컨버터를 이용한 셀 밸런싱", 전력전자학회 전력전자학술대회 논문집, 255-256, 2015.7
- [4] 김경탁, 박중후, "태양광 모듈형 전력조절기를 위한 양방향 백-부스트 포워드 컨버터", 전력전자학회 전력전자학술대회 논문집, 50-51, 2015.11