

# 다출력 전압 밸런싱 회로를 적용한 태양광 발전용 피드포워드 차동전력조절기

전영태, 김경탁, 박종후  
숭실대학교

## Feed-Foward Differential Power Processing Converter for Photovoltaic Systems using Multi-Output Flyback Converter Change Balancer

Young Tae Jeon, Kyoung TaK Kim, Jung Hu Park  
Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문은 태양광 발전 시스템의 차동 전력 조절 방식 중 Feed Foward 방식을 적용한 다중 출력 플라이백 컨버터를 이용하여 DC\_Link 다중 출력 전압을 균등화 하는 회로에 대한 내용이다. DC\_Link가 여러 단으로 되어 있을 경우, 전압을 일정하게 맞추어 줄 필요가 있는데, 이를 차동 전력 조절기(Differential Power Processing converter)를 통해서 DC\_Link 출력 전압을 균등화 할 수 있다. 스트링 컨버터인 부스트 컨버터의 스트링 전류를 제어 하여 부스트 컨버터의 전력과 DPP 역할을 하는 다중 출력 플라이백 컨버터로 전달되는 전력을 조정가능하다. 이를 통하여 전압 균등화가 이루어지게 할 수 있고, 각 DPP 컨버터는 PV 전압 제어를 하여 MPPT 동작을 하게 된다. PSIM 시뮬레이션과 150W급 하드웨어 프로토타입을 제작해 실험을 통하여 검증 하였다.

### 1. 서 론

신재생 에너지 분야에 대한 관심이 증가함에 따라 태양광 에너지 분야에 관한 연구도 진행이 되고 있다. 최근 태양광 시스템 중 3세대라 부를 수 있는 태양광 마이크로 인버터뿐만 아니라 4세대인 차동 전력 조절 방식에 대한 연구도 이루어지고 있다. DPP 방식은 태양광 패널에 병렬로 연결되는 DPP로 태양광 모듈간의 차이를 다루고 대부분의 전력은 스트링 부스트 컨버터를 통해서 DC\_Link 에 전달되어 효율적이고, 전력조절기의 용량을 최소화 하는 방식이다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 태양광 모듈간의 편차가 없는 경우 스트링 전류를 제어하여 출력 전압 균등화를 하기 위한 최소한의 전력을 제외하고 스트링 컨버터로 대부분의 전력이 전달되는 상황을 PSIM 시뮬레이션과 실험으로 확인 하였다. 다중으로 나누어진 DC\_Link의 전압을 일정하게 유지하기 위해 DPP로는 다중 출력 플라이백 컨버터, 전력 조절방식은 DPP가 다루는 전력을 PV to DC\_Link로 전달 하는 방식인 Feed Foward 방식을 적용 하였다. 대부분의 전력을 담당하는 스트링 컨버터는 부스트 컨버터를 적용함으로써, 전력 변환 효율을 높게 유지할 것으로 예상할 수 있다.

### 2. 다출력 플라이백 전압 밸런싱 회로

#### 2.1 Feed-Foward 방식 DDP 시스템의 구조

그림 1 은 인버터 구간을 제외한 DC DC 구간의 컨버터로서 DPP1,2 로 다출력 플라이백 컨버터를 사용하고 스트링 컨버터로 부스트 컨버터를 사용한 Feed Foward 방식 DPP 회로이다.

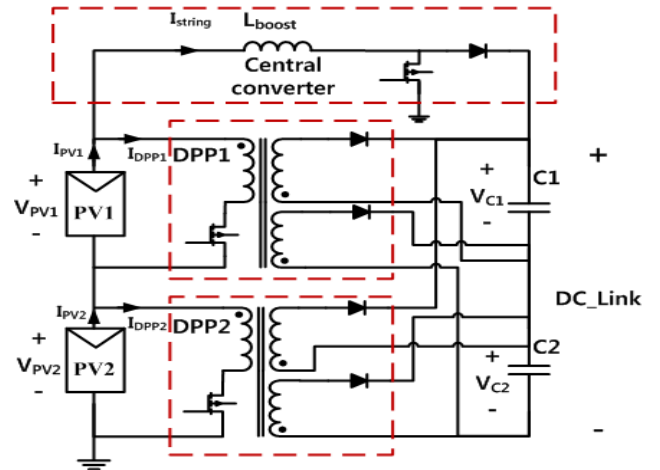


그림 1 Feed-Foward 방식 DPP 회로 (인버터 생략)

PV 모듈간의 전력 편차가 없는 경우에는 대부분의 전력은 부스트 컨버터를 통해서 DC\_Link로 전달되고 각각의 DPP는 MPPT 제어를 수행한다. 저가형 H bridge 인버터 토폴로지를 적용한 마이크로 인버터 회로에서 발생하는  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  간의 전압 불균형을 다중 출력 플라이백 컨버터를 통해 해결 할 수 있다.<sup>[1]</sup> DPP인 다중 출력 플라이백 컨버터의 전력은  $I_{string}$  제어를 통하여  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  간의 전압 불균형을 해소할 만큼만 다루게 되어 상대적으로 효율이 좋은 부스트 컨버터로 대부분의 전력이 전달되기 때문에 전체적인 컨버터의 효율 상승을 기대 할 수 있다.

#### 2.2 Feed-Foward 방식 DDP 시스템의 제어

동일한 태양광 모듈에서 전력차이가 없다면 스트링 컨버터인 부스트 컨버터를 통해서 모든 전력이 전달되는 LPPT 제어를 하여 DPP 시스템에서 가장 높은 효율을 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup> 하지만, 그림 1의 구조에서 모든 전력이 부스트 컨버터를 통해 DC\_Link에 전달되면  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  간의 전압 불균형이 발생 하게 된다.  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  의 전압이 균등하기 위해선 플라이백 컨버터로 전달되는 전력이 플라이백 컨버터의 입 출력 전압 관계식을

만족시키기 위한 CCM 조건이 되어야 한다. 따라서 전압 균등화를 위한 최소한의 전력은 다중 출력 플라이백 컨버터로 전달이 되어야 하고, 이는 부스트 컨버터의  $I_{string}$  을 제어함으로써 가능하다.  $I_{string}$  을 감소시키면  $I_{dpp1}$  과  $I_{dpp2}$  로 흐르는 전류가 증가하면서 플라이백 컨버터가 CCM을 유지하기 때문에, 출력 전압이 균등하게 유지되고, 각각의 DPP 컨버터는 전압 제어를 통해 MPPT를 수행한다.

### 3. PSIM 시뮬레이션

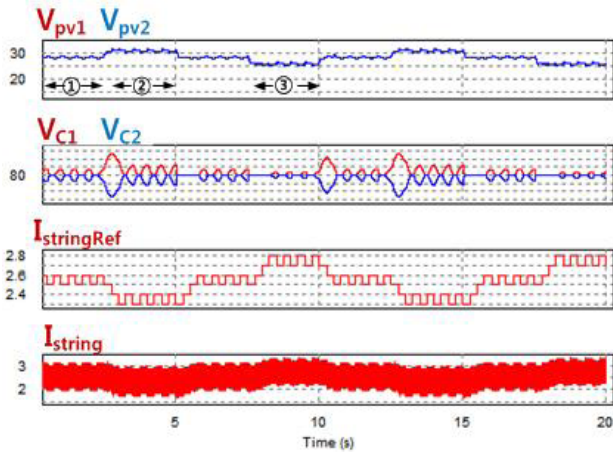


그림 2 PSIM 시뮬레이션 주요 파형

그림 2는 시뮬레이션 결과 파형이다. 그림 1의 회로에서 출력  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 는 저가형 멀티레벨 인버터의 경우 직류링크의 두 커패시터 사이에 방전 전력 편차가 존재하므로 부하 저항을 각각  $100\Omega$ ,  $85\Omega$  으로 추가 하여 시뮬레이션 하였다. PV는 전력 편차가 없어 동일한 지점의 MPP  $28.5V$  (①)를 갖고 PV 모듈에 병렬로 연결된 DPP1,2를 전압 제어하여 MPPT 동작을 수행하는 것을 확인 할 수 있다. DPP인 다중 출력 플라이백 컨버터를 통해 전달되는 전력이 일정 수준보다 낮고, 부하의 전력 편차가 있으면, 두 부하 저항 간 전압차이가 발생하기 때문에 DPP로 전달되는 전력을  $I_{string}$  제어를 통해 제어함으로써,  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 의 전압을 균등화 할 수 있다.  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 의 전압을 각각 비교하여, 전압차이가  $0.1V$  이상 발생하면 스트링 컨버터의 전류 기준전류인  $I_{stringRef}$ 를  $0.1A$ 씩 감소시켜 부스트 컨버터를 통해 전달되는 전력을 줄인다. 그 결과, 플라이백 컨버터로 전달되는 전력이 증가하게 되어 각 출력전압이  $80V$ 로 같아진다. MPPT 동작을 하면 각 동작점 마다 요구되는  $I_{string}$ 의 값이 달라지기 때문에 이를 추종 할 수 있어야 한다. 이를 위해서 출력 전압 간 차이가 일정하게 유지되어도  $I_{string}$ 에 섭동을 주어  $0.1A$ 를 증가 시킨다. 이 때, MPPT 동작점이 그 전과 같으면  $I_{string}$ 은 다시 감소하여 출력 전압 차이를 줄이고, 동작점이 변하였으면 출력 전압 균등화를 할 수 있는  $I_{string}$ 을 추종하게 된다. ①,②,③구간은 MPP가 각각  $28.5V$ ,  $31V$ ,  $26V$ 이고,  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 의 전압 균등화를 위한 최소 전류인  $I_{stringBal}$ 은  $2.5A$ ,  $2.3A$ ,  $2.7A$ 이다.

### 4. 실험 결과

하드웨어 실험은  $150W$ 급 프로토타입을 제작하여 진행하였다. PV1,2의 MPP는  $28.5V$ ,  $27.4A$ 로 각각  $78W$ 이다.  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  출력 부하의 값은 각각 하드웨어 손실을 감안하여  $100\Omega$ ,  $85\Omega$ 으로,  $64W$ 와  $75W$ 로  $11W$ 의 차이가 발생한다. 제어부로는

TMS320F28335 DSP를 사용하여 제어 하였다. PV 전압, 전류를 센싱하여 플라이백 컨버터를 전압 제어, PV 모듈의 MPPT를 수행하고,  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 을 센싱하여 전압 편차에 따라  $I_{stringRef}$ 를 감소시키거나, 증가시키에 따라 출력 전압 균등화에 필요한  $I_{stringBal}$ 을 추종 하게 된다. 그림 3은 각 PV모듈이 MPPT를 동작 할 때 변화하는  $I_{stringBal}$ 을 추종 하는 모습을 나타낸다. 시뮬레이션과 마찬가지로 ①,②,③구간의  $I_{stringBal}$ 은 각각  $2.5A$ ,  $2.3A$ ,  $2.7A$ 이다. 그림 4는  $I_{stringBal}$ 을 추종하면서  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ 은  $80V$ 로 동작 하고 있음을 보여준다.

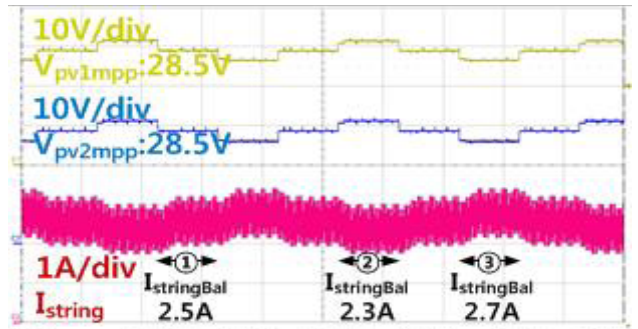


그림 3 PV1,2 MPPT 각 동작점의  $I_{string}$  파형

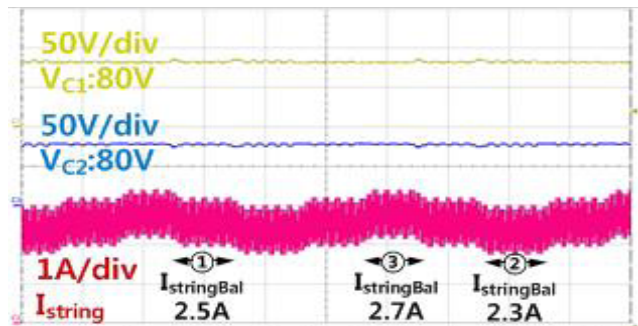


그림 4  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$  Balancing 동작 파형과  $I_{string}$  실험 파형

### 5. 결론

2 Level 로 나누어진 DC\_Link에 저가형 H bridge 인버터를 적용하기 위해 필요한 출력 전압의 균등화를 Feed Forward 방식의 DPP를 적용하여 만족하였다. 전압 균등화가 가능한 최소한의 전류인  $I_{stringBal}$ 로  $I_{string}$ 이 동작함으로써 균등화를 위해 필요한 전력을 제외한 대부분의 전력은 부스트 컨버터를 통해 DC\_Link에 전달되어 전체적인 효율이 상승 하는 효과를 가진다. PV간 전력 편차가 없는 경우만이 아니라 부분 음영 등으로 전력 편차가 발생하여 PV간 전력 편차가 있는 경우 역시 연구 되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Mohana Sundar Manoharan, Ashraf Ahmed, Jung won Seo, Joung Hu Park "Power Conditioning for a Small Scale PV System with Charge Balancing Integrated Micro Inverter" Journal of Power Electronics, Vol15, No.3 May 2015  
 [2] 전영태, 김현우, 박종후 "차동 전력 조절기의 최소 전력점 추종기법" 전력전자학회 추계학술대회 논문집, 2014, 46 47