

# 차동 전력 조절기의 최소 전력점 추종기법

전영태 박종후  
 숭실대학교

## Least Power Point Tracking control for Differential Power Processing Converter

Young Tae Jeon, Joung Hu Park  
 Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문은 태양광 발전 시스템 중 차동 전력 조절기가 다루는 전력을 최소화하기 위한 LPPT (Least Power Point Tracking)에 관한 것이다. 두 개 이상의 태양광 모듈에서 그늘짐 등으로 인해 발생 하는 전력 차이를 양방향 차동 전력 조절기를 통해 다루게 되는데, 이 때 태양광 모듈을 입력으로 하는 부스트 컨버터의 스트링 전류를 조절하게 되면 차동 전력 조절기가 담당하는 전력이 최소가 되도록 할 수 있다. 차동 전력 조절기의 용량이 줄어들어 따라 시스템 크기를 줄일 수 있고, 이와 함께 단가도 감소하는 효과를 낼 수 있다. 본 논문에서는 차동 전력 조절기의 전력이 최소가 되게 하는 LPPT 방법을 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 입증 하고자 한다.

### 1. 서론

친환경 녹색 에너지 분야 중 하나로 주목 받고 있는 태양광 에너지 분야는 기존의 발전사업자 중심의 형태에서 주거형 산업으로까지 확장되고 있다. 이에 따라서 태양광 전력조절기에 대한 연구도 변화가 진행되고 있다. 태양광 전력조절기의 1세대라고 부를 수 있는 중앙 집중형 시스템부터 2세대인 멀티스트링 방식, 보다 향상된 능력의 마이크로 인버터 방식, 모듈형 컨버터 시스템이 연구 되어 왔고 이를 3세대 및 3.5세대 라 할 수 있다. 최근 차세대 태양광 전력 조절기 형태로 주목받고 있는 차동 전력 조절기(Differential Power Processing converter)는 각 태양광 모듈의 전력 편차만을 다루는 컨버터이다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 양방향으로 전력 전달이 가능한 차동 전력 조절기가 다루는 전력을 스트링 전류 조절을 통해 최소로 만드는 최소 전력 추종(Least Power Point Tracking)기법을 PSIM을 통해 시뮬레이션 하고, 140W급 하드웨어 프로토타입에 적용하여 LPPT 동작을 확인 하였다.

### 2. 양방향 차동 전력 조절기

#### 2.1 양방향 차동 전력 조절기 구조

2개의 태양광 모듈을 갖는 양방향 절연형 PV DC link 차동 전력 조절기의 구조는 그림 1 과 같다. 양방향 전력 전달이 필요하기 때문에 차동 전력 조절기로는 양방향 플라이백 컨버터를 사용하여 출력이 DC link와 병렬로 연결 되어있고, 전체 태양광 스트링을 입력으로 하는 부스트 컨버터의 출력도 DC link 에 연결이 되어있다. 다수의 태양광 모듈을 갖는 양방향 차동 전력 조절기는 직렬 연결된 태양광 모듈을 각 입력으

로 하고 컨버터 출력이 DC link에 병렬로 다수가 연결된 형태를 갖는다.

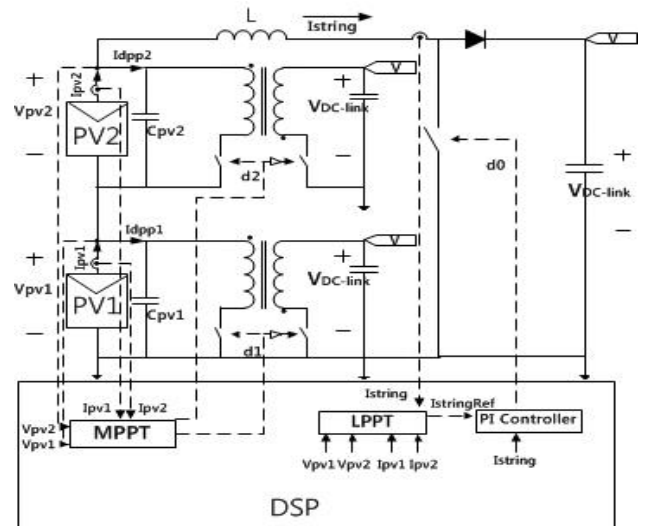


그림 1 양방향 차동 전력 조절기 구조 (인버터 구간 생략)

각각의 태양광 모듈간 전력 차이가 없다면, 모든 전력은 부스트 컨버터를 통해서 DC link 에 전달이 된다. 부분 그늘짐 등으로 인해 모듈간의 전력 차가 발생 하게 되면 그 전력 차를 차동 전력 조절기인 플라이백 컨버터가 다루게 되고, n번째 플라이백 컨버터의 전력은  $V_{pvn}$  와  $I_{dppn}$  의 곱인  $P_{dppn}$ 로 나타낼 수 있다.

#### 2.2 String 전류에 따른 차동 전력 조절기의 전력 분석

양방향 차동 전력 조절기가 다루는 전력의 방향은 부스트 컨버터의 인덕터 전류인  $I_{string}$  에 따라 PV 에서 DC link 혹은, DC link 에서 PV 로 양방향으로 동작 할 수 있기 때문에 각 전력의 절대 값의 총합을 최소로 하는  $I_{string}$  값을 구해야 하고, 스트링 전류에 대한 차동 전력 조절기가 다루는 전력의 합이 최소가 되는 지점이 한 점만 존재하면 스트링 전류 조절을 통해 LPPT를 할 수 있다. 태양광 모듈이 2개인 경우 차동 전력기의 최소 전력의 합은 식 (1)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\sum |P_{\Delta}| = |P_{dpp1}| + |P_{dpp2}| \quad (1)$$

$I_{dppn}$ 의 전류는  $I_{pvn}$ 에서  $I_{string}$ 을 뺀 값이므로 식(2)와 같이 정리가 된다. 차동 전력 조절기가 다룰 전력의 총합은  $I_{pv1}$ ,

$I_{pv2}$ 와  $I_{string}$ 이 같을 때 0 이 됨을 알 수 있다. 그늘짐 정도에 따라 PV1이 더 낮은 전력을 출력 한다고 가정하면  $I_{pv1} < I_{pv2}$ ,  $V_{pv1} < V_{pv2}$  이고,  $I_{string} < I_{pv1}$  의 구간 (3),  $I_{pv1} < I_{string} < I_{pv2}$  의 구간 (4),  $I_{pv2} < I_{string}$  의 구간 (5) 의 3개의 구간으로 나눌 수 있다.

$$\sum |P_{\Delta}| = V_{pv1} |I_{pv1} - I_{string}| + V_{pv2} |I_{pv2} - I_{string}| \quad (2)$$

$$\sum |P_{\Delta}| = -(V_{pv1} + V_{pv2}) I_{string} + V_{pv1} I_{pv1} + V_{pv2} I_{pv2} \quad (3)$$

$$\sum |P_{\Delta}| = -(V_{pv2} - V_{pv1}) I_{string} - V_{pv1} I_{pv1} + V_{pv2} I_{pv2} \quad (4)$$

$$\sum |P_{\Delta}| = (V_{pv1} + V_{pv2}) I_{string} - V_{pv1} I_{pv1} - V_{pv2} I_{pv2} \quad (5)$$

식 (2), (3), (4) 는 모두  $I_{string}$ 에 대한 1차 함수로 표현이 되고 각 구간이 연속이며  $I_{string} = I_{pv2}$  인 경우 차동 전력 조절기의 전력의 합이 최소가 된다. 그림 2는  $V_{pv1} = 25V$ ,  $I_{pv1} = 2.3A$ ,  $V_{pv2} = 27.5V$ ,  $I_{pv2} = 2.55A$  가 PV1의 그늘짐으로 인해 각각 태양광 모듈의 최대 전력점의 전압 전류인 경우, 위 식들을 그래프로 나타낸 것이다. 차동 전력 조절기 전력의 합이 최소가 되는 동작점은,  $I_{string} = 2.55A$  일 때, 한 점 존재하는 것을 알 수 있다.

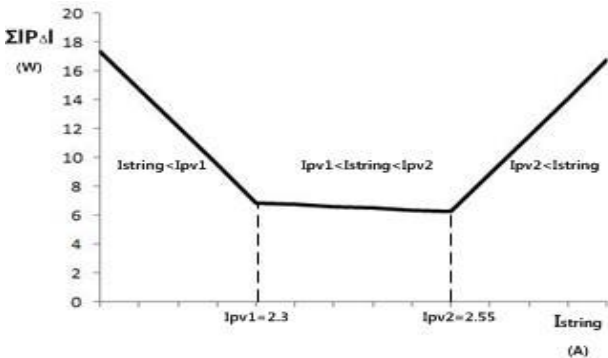


그림 2  $I_{string}$  에 대한  $\sum |P_{\Delta}|$  의 그래프

### 3. PSIM 시뮬레이션

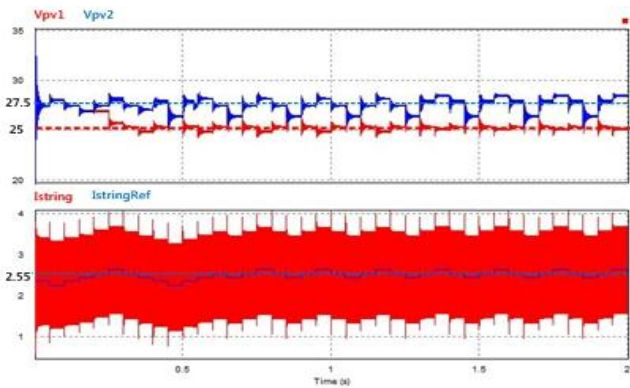


그림 3 PSIM 시뮬레이션 파형

2개의 태양광 모듈은 각각  $V_{pv} = 27.5V$  일 때,  $I_{pv} = 2.55A$  으로 최대 전력(70W) 점을 갖는다. 그림 1의 구조에서처럼 태양광 모듈의 최대 전력점을 추종(MPPT) 하기 위해 PV의 전압과 전류를 센싱하며 P&O 알고리즘을 사용하여, Direct Duty 방식으로 시비율  $d1$ ,  $d2$ 를 조절, 플라이백 컨버터를 통해 MPPT를 한다. 또한 부스트 컨버터의 스트링 전류 센싱과 각 PV의 전압 전류 센싱 값으로 식(2)의 차동 전력 조절기의 전력 합을 계산한다. 스트링 전류에 따른 차동 전력 조절기의 최소 전력의 합은 최소 전력점이 한 점만 존재하므로, P&O 알고

리즘을 적용하여 최소 전력점을 추종 할수 있다. 계산된  $I_{stringRef}$ 는 PI제어기의 레퍼런스 전류가 되므로 스트링 전류가 제어가 된다. 스트링 전류에 의해 차동 전력 조절기는 전력의 합이 최소가 되는 LPPT 동작을 하게 되므로, 대부분의 전력은 부스트 컨버터로 DC link 단에 전달이 되고 플라이백 컨버터가 최소한의 전력을 전달하게 되는 LPPT 동작을 한다. 그림 3은 PSIM 시뮬레이션 결과를 나타낸다. PV1은 그늘짐으로 인해 최대 전력점이 25V이고, PV2는 최대 전력점이 27.5V에서 각각 MPPT를 수행한다.  $\sum |P_{\Delta}|$ 를 최소화 하는 스트링전류는 2.55A로 LPPT 동작을 하고 있음을 알 수 있다.

### 4. 실험 결과

그림 4는 140W 급 하드웨어를 제작하여 실험한 결과 파형이다. (a)구간은 그늘짐으로 인하여 PV1과 PV2 모두 MPP 지점이  $V_{pv1,2} = 25V$ ,  $I_{pv1,2} = 2.3A$  (58.2W) 이다.  $I_{pv1} = I_{pv2}$ 이므로,  $I_{string} = 2.3A$ 으로 LPPT하며 (b)구간은 PV2가 최대 일사량으로 MPP  $V_{pv1} = 27.5V$ ,  $I_{pv1} = 2.55A$  (70W)로 변한다. 따라서, 구간 (b)의  $I_{string} = 2.55A$ 로 추종하여  $\sum |P_{\Delta}|$ 를 최소화 시킨다. 구간 (c)에서 PV1의 최대 전력점 (70W)도 상승하여  $I_{pv1} = I_{pv2}$ 가 되므로  $I_{string} = 2.55A$ 로 유지되어  $\sum |P_{\Delta}| = 0$  이 되므로  $I_{string}$ 의 변화에 따라 LPPT 동작을 실험을 통해 확인하였다.

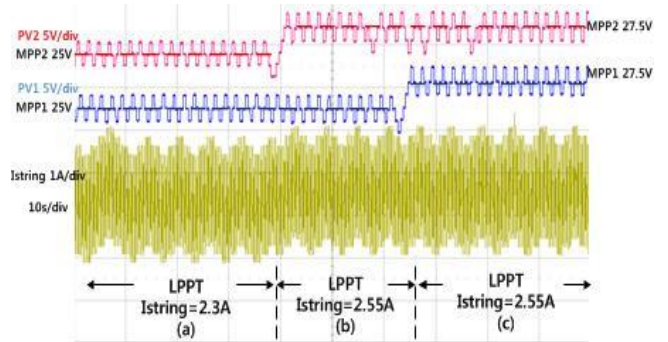


그림 4 하드웨어 실험 결과 동작 파형

### 5. 결론

본 논문에서 LPPT를 함으로써 차동 전력 조절기가 최소 전력을 감당하므로 전력 조절기에서 발생하는 손실을 최소화 할 수 있음을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다. 결과적으로, 기존의 전력 조절기 방식 보다 효율이 좋아질 뿐만 아니라 크기와 가격에서도 유리한 면이 있음을 볼 수 있었고, 차후 다수개의 태양광 모듈에도 적용하여 효과를 낼 수 있을 것으로 기대 된다.

본 연구는 2014년도 산업통산부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 (No.20144030200600)입니다.

### 참고 문헌

[1] Pradeep S. Shenoy, Katherine A. Kim, Brian B. Johnson, Philip T. Krein "Differential Power Processing for Increased Energy Production and Reliability of Photovoltaic Systems" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 28, NO. 6 JUNE 2013