

# 전력용량 최소화 설계를 위한 차동 전력 조절기 제어기법

전영태, 이현준, 박종후  
 숭실대학교

## Least Power Point Tracking Control Algorithm for Power Capacity Optimization of Differential Power Processors

Young Tae Jeon, Hyun Jun Lee, Joung Hu Park  
 Soongsil University

### ABSTRACT

본 논문은 최근 태양광 발전 시스템 중 하나로서 주목 받고 있는 차동 전력 조절기의 전력을 최소화 하기위한 LPPT(Least Power Point Tracking)에 관한 논문이다. 기존에 있던 LPPT 방식은 차동 전력 조절기가 부담하는 전력의 총 합을 최소화 시키는 방향으로 중앙 부스트 컨버터의 스트링 전류를 제어 하였지만, 본 논문에서는 여러개의 차동 전력 조절기 중 가장 전력을 많이 부담 하게 되는 쪽의 전력을 최소화(worst case LPPT) 하는 방향으로 스트링 전류를 제어 하는 알고리즘을 제안한다. 이를 PSIM 시뮬레이션과 140W급 하드웨어 프로토타입으로 Worstcase LPPT 동작을 확인 하였다.

### 1. 서론

최근 신재생 에너지 확대 추세와 더불어 태양광 에너지 산업이 성장 하고 있고, 태양광 전력 조절기 분야의 연구 또한 여러 방향으로 연구가 되고 있다. 기존에 연구되었던 전력 조절기들의 단점을 보완한 4세대 전력 조절기로서 차동 전력 조절기(Differential Power Processing converter) 주목 받고 있다. 이는 각 태양광 패널에 병렬로 연결되어, 태양광 패널의 전력 편차만을 다루기 때문에 용량으로 설계가 가능하다. 차동 전력 조절기는 직렬 연결한 태양광 패널들을 입력으로 하는 중앙 컨버터의 스트링 전류를 제어하여 부담하는 전력을 최소화 되도록 조절 가능하다. 기존에 최소 전력 추종 기법(Least Power Point Tracking)은 차동 전력 조절기가 다루는 전력의 합을 최소화 하는 방법이다.<sup>[1][2]</sup>

본 논문에서는 양방향 컨버터를 차동 전력 조절기로 이용하여, 태양광 패널과 DC\_Link 사이에 양방향으로 전력 전달이 가능하게 하였다. 부분 음영 등으로 발생한 전력 차이를 차동 전력 조절기가 부담하게 될 때, 가장 많은 전력을 부담하는 전력 조절기의 전력( $P_{worst}$ )을 최소화(worst case LPPT) 하는 기법을 제안하고, PSIM 시뮬레이션과 140W급 하드웨어를 통해 가능성을 입증 하였다.

### 2. 양방향 차동 전력 조절기 전력 분석

#### 2.1 양방향 차동 전력 조절기의 구조

그림 1 은 PV DC\_Link 구조의 양방향 차동 전력 조절기의

구조를 나타낸 것이다.

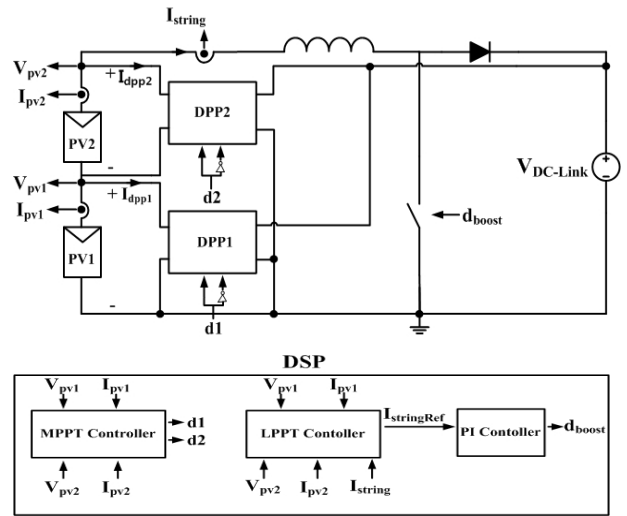


그림 1 PV-DC\_Link 양방향 차동 전력 조절기 시스템

차동 전력 조절기로는 양방향 플라이백 컨버터를 사용하고, 중앙 스트링 컨버터는 부스트 컨버터를 사용 하였다. 대부분의 전력은 부스트 컨버터를 통해 DC\_Link 에 전달이 되고, PV 간 전력 편차가 발생 하게 되면, 전력 편차만큼만 양방향 플라이백 컨버터를 통해서 전력 전달이 된다. 차동 전력 조절기의 전력은 PV 전압과 차동 전력 조절기로 흐르는 전류의 곱이 되므로,  $P_{dpp1} = V_{pv1} \times I_{dpp1}$ ,  $P_{dpp2} = V_{pv2} \times I_{dpp2}$ 가 된다. 각 PV 의 전압, 전류, 부스트 컨버터의 스트링 전류를 DSP로 받아 오면 MPPT 제어기와 LPPT 제어기를 통해서 MPPT와 LPPT 동작을 동시에 할 수 있다.

#### 2.2 Istring에 따른 Worst-case DPP 모듈 전력 분석

$P_{worst}$  를 최소화 하기 위해서는 스트링 전류에 따른 각 DPP의 전력 변화를 확인하고, 스트링 전류에 따라서  $P_{worst}$  가 최소가 되는 지점이 한 점만 존재해야 한다. DPP 전력은  $P_{dpp1} = V_{pv1} |I_{string} - I_{pv1}|$  (1)  
 $P_{dpp2} = V_{pv2} |I_{string} - I_{pv2}|$  (2)  
 으로 나타낼 수 있다.<sup>[2]</sup>

PV1 음영이 발생하고  $V_{pv1} < V_{pv2}$ ,  $I_{pv1} < I_{pv2}$  라고 가정했을 때, 구간을 나누어  $I_{string}$  변화에 따른  $P_{worst}$  를 확인

해 보면,

$$\textcircled{1} I_{string} < I_{pv1} < I_{pv2}$$

$$P_{worst} = P_{dpp2} = -V_{pv2}I_{string} + V_{pv2}I_{pv2} \quad (3)$$

$$\textcircled{2} I_{pv1} < I_{string} < I_{pv2}$$

$$\textcircled{2} \text{ i, } \alpha < \frac{k_1 k_2 + 1}{k_1 + 1}$$

$$P_{worst} = P_{dpp2} = -V_{pv2}I_{string} + V_{pv2}I_{pv2} \quad (3)$$

$$\textcircled{2} \text{ ii, } \alpha > \frac{k_1 k_2 + 1}{k_1 + 1}$$

$$P_{worst} = P_{dpp1} = V_{pv1}I_{string} - V_{pv1}I_{pv1} \quad (4)$$

$$\textcircled{3} I_{pv1} < I_{pv2} < I_{string}$$

$$\textcircled{3} \text{ i, } \frac{k_1 k_2 - 1}{k_1 - 1} > \alpha$$

$$P_{worst} = P_{dpp1} = V_{pv1}I_{string} - V_{pv1}I_{pv1} \quad (4)$$

$$\textcircled{3} \text{ ii, } \frac{k_1 k_2 - 1}{k_1 - 1} < \alpha$$

$$P_{worst} = P_{dpp2} = V_{pv2}I_{string} - V_{pv2}I_{pv2} \quad (5)$$

(단,  $V_{pv2} = k_1 V_{pv1}$ ,  $I_{pv2} = k_2 I_{pv1}$ ,  $I_{string} = \alpha I_{pv1}$ ) 스트링 전류에 따른 DPP의 전력 변화는 첫 번째 구간에서 음의 기울기를 갖다가 식 (3)과 (4)의 구간  $\alpha = \frac{k_1 k_2 + 1}{k_1 + 1}$  인 지점에서 양의 기울기를 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 이 지점에서 최소 전력 지점이 한 점 존재 한다는 것을 수식을 통해 확인 하였다.

### 3. PSIM 시뮬레이션

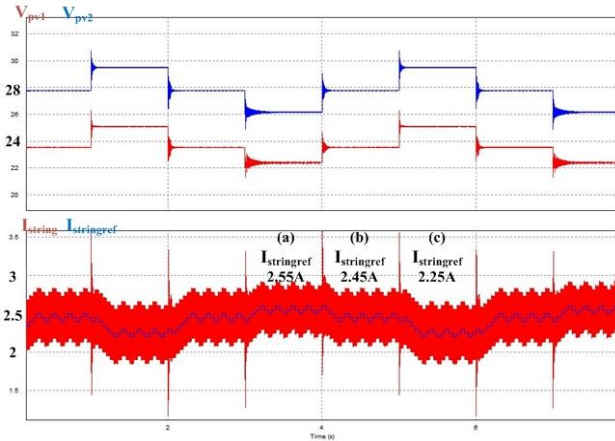


그림 2 MPPT, LPPT 를 동시에 구현한 PSIM 시뮬레이션 파형

그림 2는 시뮬레이션 파형으로 태양광 시스템에서 MPPT와 LPPT 동작을 동시에 구현한 파형이다. PV가 P&O 기법으로 최대 전력점을 추종하는 각 구간에서 각기 다른 LPPT 동작점이 존재하고, 값이 다르기 때문에 이를 계산해보면, 수식에 따라서 (a) 구간은  $V_{pv1} = 22.3V$ ,  $I_{pv1} = 2.28A$ ,  $V_{pv2} = 26.1V$ ,  $I_{pv2} = 2.76A$  이므로,  $I_{string} = 2.53A$ 이 되어야  $P_{worst}$ 가 최소가 된다. PV1, PV2의 최대전력 지점인 (b) 구간은  $V_{pv1} = 23.6V$ ,  $I_{pv1} = 2.18A$ ,  $V_{pv2} = 27.8V$ ,  $I_{pv2} = 2.64A$  이다.  $P_{worst}$ 가 최소가 되는 값을 계산 해보면  $I_{string} = 2.4287A$ 이 되고, (c) 구간은  $V_{pv1} = 25.0V$ ,  $I_{pv1} = 2.03A$ ,  $V_{pv2} = 29.4V$ ,  $I_{pv2} = 2.42A$  으로,  $I_{string} = 2.24A$ 가 되어야 한다. 시뮬레이션

파형에서 각 구간은 스트링 전류가  $P_{worst}$ 를 최소화 하는 지점에서 P&O 알고리즘을 통해 제어 되는 것을 확인 하였다. ( $I_{string}$  단위 스텝은 0.05A)

### 4. 실험 결과

수식과 시뮬레이션으로 확인한 LPPT 동작을 입증하기 위해 140W 급의 하드웨어 프로토타입을 제작하여 실험하였다.

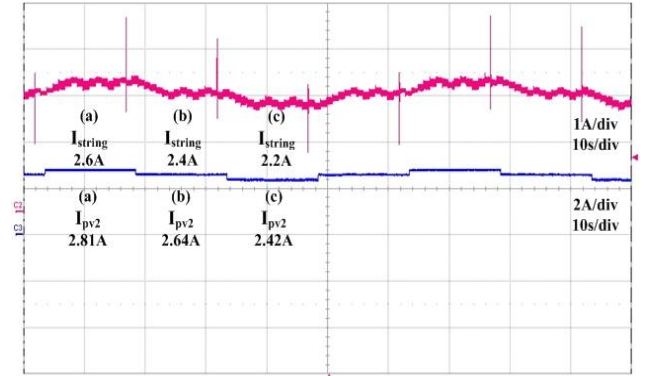


그림 3 MPPT, LPPT 동작 실험 파형 ( $I_{string}$ :위,  $I_{pv2}$ :아래)

그림 3은  $I_{pv2}$  전류와  $I_{string}$ 의 파형이다. 스트링 전류는 부스트 컨버터의 인덕터 전류이지만, LPPT 추종 3단계의 변화를 순시 리플 때문에 관측하기 어려우므로 averaging 파형을 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 스트링전류는 각 MPPT 동작이 변함에 따라 최소 전력 지점을 추종을 하게 된다. 각 구간의 동작점은 (a)  $V_{pv1} = 21.8V$ ,  $I_{pv1} = 2.34A$ ,  $V_{pv2} = 25.8V$ ,  $I_{pv2} = 2.81A$ , (b)  $V_{pv1} = 23.6V$ ,  $I_{pv1} = 2.18A$ ,  $V_{pv2} = 27.8V$ ,  $I_{pv2} = 2.64A$ , (c)  $V_{pv1} = 25.5V$ ,  $I_{pv1} = 2.10A$ ,  $V_{pv2} = 29.8V$ ,  $I_{pv2} = 2.42A$  로 시뮬레이션과 같거나 비슷해 MPPT 동작을 하고 있음을 알 수 있고,  $I_{string}$ 의 동작 점은 각각 2.6A, 2.4A, 2.2A 로 LPPT 동작을 하고 있다. ( $I_{string}$  단위 스텝은 0.1A)

### 5. 결론

본 논문에서는 차동 전력 조절기가 부담하는 전력 중 가장 많은 쪽의 전력( $P_{worst}$ )을 최소화 하도록 worst case LPPT 동작을 제안하고 수식, 시뮬레이션과 실험을 통해 이를 입증 하였다. 제안하는 방식을 이용하여  $P_{worst}$ 에 맞추어 DPP의 설계가 가능하므로 DPP에 소비되는 전력에 따라 용량이 최소화 되어 가격과, 크기 등에서 유리함이 있어 DPP가 효율적으로 사용 될 수 있을 것이다.

### 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

[2] 전영태, 김현우, 박종후 "차동 전력 조절기의 최소 전력점 추종기법" 전력전자학회 추계학술대회 논문집, 2014, 46-47