

고승압 컨버터를 사용한 태양광 차동 전력 조절기 구조

김재봉¹, 전영태², 박종후², 전희종²
비츠로테크¹, 숭실대학교²

Differential Power Processing Converter system using High Step-up converter for Photovoltaic

Jae-Bong Kim¹, Young-Tae Jeon², Jung-hu Park², Hee-Jong Jeon²
Vitzrotech¹, Soongsil University²

ABSTRACT

태양광 발전 시스템은 그 필요성이 늘어남에 따라 다양한 연구가 진행되고 있다. 기존에 태양광 발전 제어 방식인 스트링 방식이나, 마이크로 컨버터 같은 방식 이외에도 그늘짐 등으로 인해 발생한 태양광 모듈의 전력 차이를 담당하는 컨버터를 이용한 차동 전력 조절 방식도 연구가 되고 있다. 차동 전력 조절기는 담당하는 전력이 적고, 스트링 컨버터를 통해 많은 전력이 전달이 되어 기존의 방식 보다 효율이 높다. 하지만, 태양광 모듈 MPPT 전압으로 부터 DC_link 전압만큼의 승압이 필요하다. 따라서, 고승압, 고효율 컨버터를 차동 전력 조절기로 사용을 하면 기존의 차동 전력 방식보다 더 나은 동작 특성을 가질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 차동 전력 조절기로 고승압의 컨버터 토폴로지를 사용하여, 기존의 방식보다 고효율을 유지하면서 차동 전력 조절기의 기능을 수행하는 구조를 제안한다.

1. 서 론

신재생 에너지의 필요성에 따라서 태양광 전력 조절 방식도 다방면으로 연구가 진행 되고 있다. 그 중 차동 전력 조절기(Differential Power Processing converter)는 태양광 모듈의 전력 편차만을 다룬다는 점에서 저용량으로 설계가 가능하고 대부분의 전력을 스트링 컨버터를 통해 전달하기 때문에, 기존의 전력 조절 방식에 비해 제작 단가와 효율 면에서 우위를 지녔다.^[1] 그림 1은 차동 전력 조절 방식의 기본적인 구조를 나타낸다.

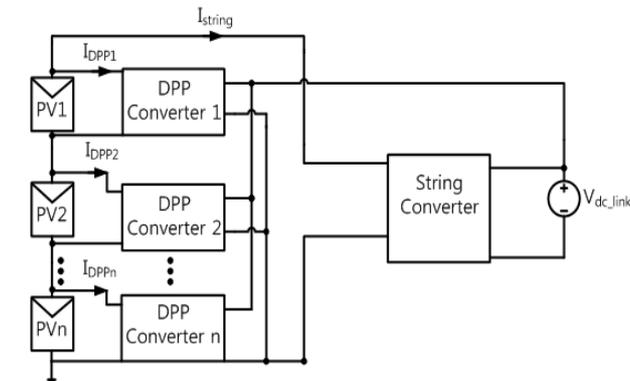


그림 1 차동 전력 조절 방식의 구조

현재까지 차동 전력 조절기로서 플라이백, 다출력 플라이백, 포워드 컨버터 등의 비교적 고승압 효율이 좋지 않은 컨버터들이 사용되었다. 하지만, 차동 전력 조절기로 사용되는 컨버터들은 태양광 패널의 최대 전력 전압으로부터 계통연계를 위한 DC_link 전압까지 승압이 필요하므로 고승압, 고효율 컨버터가 사용되어야 한다. 본 논문에서는 차동 전력 조절기로 스위치 온 타임과 오프 타임 모두 전력 전달을 하는 차지 펌프 스위치드 커패시터 플라이백^[2](CSFB : Charge pump Switched capacitor Flyback) 컨버터를 이용하여 고효율을 유지하면서 고승압 동작을 하는 차동 전력 조절기 구조를 제안하고, 실현 가능성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

2. CSFB 차동 전력 조절 시스템의 구조

2.1 CSFB 컨버터의 특성

그림 2는 CSFB 컨버터의 구조를 나타낸다. CSFB 컨버터를 DCM 동작 시킬 경우, 별도의 공진회로 없이 ZCS 동작이 가능하기 때문에, 스위칭 손실을 줄일 수 있고, 스위치 및 다이오드 동작에 따라 3가지 모드로 나누어 분석을 할 수 있다. 정상 상태 해석을 통해 얻어지는 입,출력 전압 이득 관계식은 식 (1)과 같다.^[2]

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{\frac{N_{s2}}{N_p} + \sqrt{\left(\frac{N_{s2}}{N_p}\right)^2 + \frac{2D^2R}{L_m f}}}{2}$$

(1)위 식 (1)을 통해 각각의 파라미터들을 설정 할 수 있다.

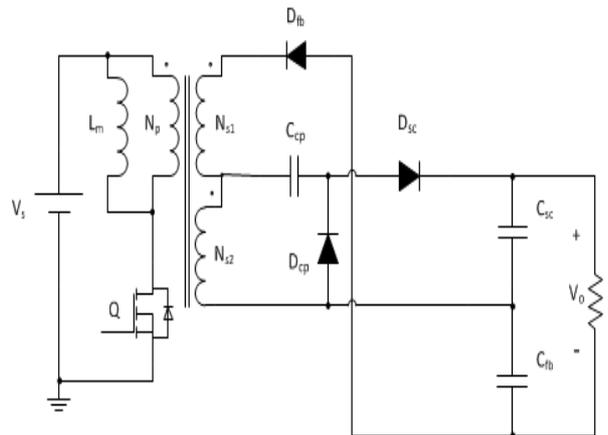


그림 2 절연형 CSFB 컨버터

2.2 제안 하는 차동 전력 조절 시스템의 구조

제안 하는 구조는 차동 전력 조절기로서 CSFB 컨버터를 사용 하는 구조이고, 그림 3은 이를 적용한 태양광 모듈이 직렬로 2개 연결 되어 있는 시스템의 차동 전력 조절기 시스템이다. CSFB 컨버터는 각 태양광 모듈을 입력 전압으로 갖고 DC_link를 출력 전압으로 갖는 병렬 연결 구조이고, 스트링 컨버터는 태양광 모듈의 전체 직렬 연결 전압을 입력으로 갖는다. 태양광 모듈1에 부분 음영으로 인한 태양광 모듈의 전력 차이가 발생할 경우, 대부분의 전력은 스트링 컨버터로 전달되고, 오직 두 모듈간의 전력 차이가 차동 전력 조절기인 CSFB 컨버터로 전달이 된다. 대부분의 전력이 스트링 컨버터를 통해 DC_link로 전달되기 때문에, 스트링 컨버터는 일반적으로 효율이 높은 부스트 컨버터를 사용하였고, 전력 변환 효율이 높을 것으로 예상할 수 있다. 태양광 모듈 편차를 담당하는 CSFB 컨버터의 경우도 고승압이 가능하여 태양광 모듈의 전압으로부터 DC_link 전압 까지 승압하여 전력 전달이 가능하다. 태양광 모듈 간의 전력 편차가 없는 경우에는 모든 전력이 부스트 컨버터를 통해 전달되고 CSFB 컨버터들은 동작하지 않는다.

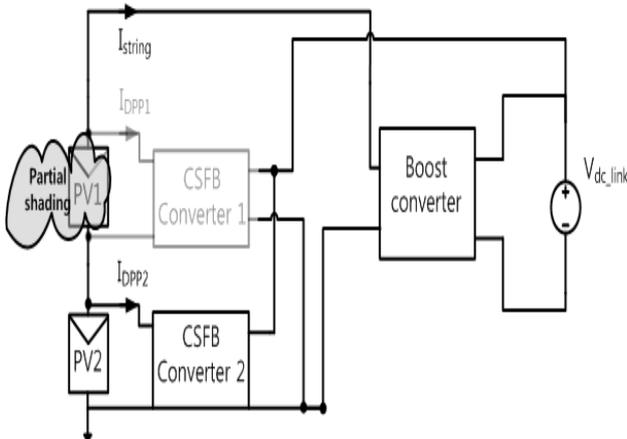


그림 3 CSFB 컨버터 차동 전력 조절 시스템

3. PSIM 시뮬레이션

차동 전력 조절기로서의 CSFB 동작 가능성을 확인하기 위하여 PSIM을 통하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 이상적인 소자를 사용하여 손실이 없다는 가정 하에 진행하였다.

그림 4는 태양광 모듈의 편차가 생겼을 경우, 부스트 컨버터의 전류 제어를 통해 차동 전력 조절기가 부담하는 전류(전력)를 최소화 하였을 때의($I_{pv1}=I_{string}$) 시뮬레이션 파형이다. 그림 4는 PV1과 PV2가 전력 편차가 발생해 각각 최대 전력 지점이 $V_{pv2} = 30V$, $I_{pv2} = 3.3A$, $V_{pv1} = 27V$, $I_{pv1} = 3A$ 인 동작점의 파형을 보여준다. 차동 전력 조절기가 담당하는 전력이 최소가 되는 경우는 부스트 컨버터 전류는 제어를 통해 $I_{pv1}=I_{string}$ 인 경우이다. 대부분의 전력은 부스트 컨버터를 통해 DC_link로 넘어가고, 태양광 모듈의 전류(전력) 편차인 0.3A만이 차동 전력 조절기인 CSFB 컨버터(DPP2)를 통해 전달이 된다. 이 경우, DPP1은 전류가 거의 흐르지 않아 전달되는 전력이 거의 없는 것을 파형을 통해 확인 할 수 있다. 또한 태양광 모듈로부터의 입력 전압은 DC_link 전압인 340V로 승압되는 것을 볼 수 있다. 전력 차이가 없을 경우엔 모든 전력이 부스트 컨버터를 통해서 전달되어 차동 전력 조절기는 동작 하지 않고, 스트

링 컨버터인 부스트 컨버터만이 동작을 하게 된다.

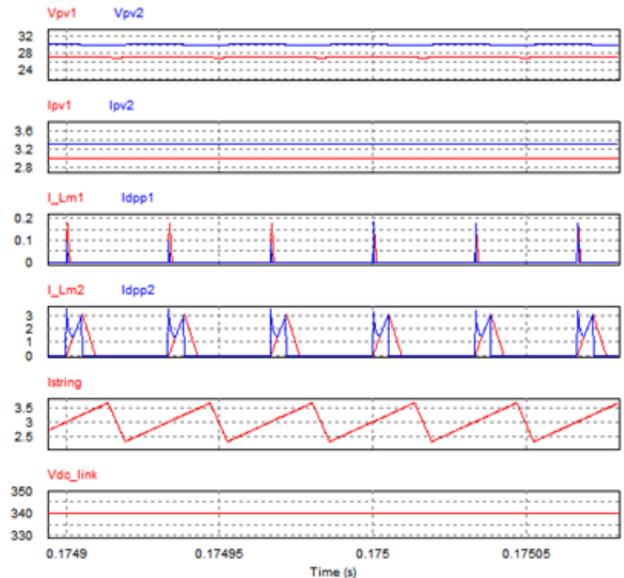


그림 4 CSFB 컨버터의 차동 전력 조절기 파형

V_{pv1} , V_{pv2} , I_{pv1} , I_{pv2} : 각 PV의 전압 전류
 I_{LM1} , I_{dpp1} , I_{LM2} , I_{dpp2} : DPP 전류와 자화전류
 I_{string} : 부스트 컨버터의 인덕터 전류
 V_{dc_link} : DC_link 전압

4. 결론

태양광 모듈의 편차가 생겼을 경우 대부분의 전력은 부스트 컨버터로, 나머지 편차 전력은 CSFB 컨버터를 통해 전달하여 차동 전력 조절기로서 동작할 수 있음을 확인하였다. 또한, CSFB 컨버터는 고승압 조건에서도 고효율을 유지하기 때문에 [2] 편차가 증가하여 많은 전력이 CSFB로 전달되더라도 전체 시스템은 여전히 고효율을 유지할 수 있는 가능성을 PSIM 시뮬레이션을 통해 확인 하였다. 차후, 200W급 하드웨어 프로토타입을 제작하여 시뮬레이션과 파형과 동작을 비교하고, 직접 효율을 측정하여 기존의 차동 전력 조절기들과 비교해 고승압, 고효율을 유지하는 차동 전력 조절기임을 실험을 통해 증명하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Young-Tae Jeon, Hyunji Lee, Katherine A. Kim, Joung-Hu Park, "Least Power Point Tracking Method for Photovoltaic Differential Power Processing Systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Volume: PP, Issue: 99, 2016
- [2] Do-Hyun Kim, Hyun-Woo Kim, Joung-Hu Park, Hee-Jong Jeon, "High Efficiency High-Step-up Single-ended DC-DC Converter with Small Output Voltage Ripple", Journal of Power Electronics, Vol. 15, No. 6, pp. 1468-1479, November, 2016.