

Differential Power Processing 컨버터를 적용한 PV 충전 가방

이현지, 김예린
울산과학기술원

Differential Power Processing Converter Design for a Photovoltaic-Powered Bag

Hyunji Lee, Katherine A. Kim
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

기존의 태양광 시스템은 대체로 고정된 형태로 사용되었지만 태양광 시스템의 응용분야가 확장됨에 따라 전기자동차, 웨어러블 기기 등의 이동식 태양광 시스템 또한 많이 개발되고 있다. 이동식 태양광 시스템의 경우 불균일한 태양빛에 많이 노출되며, 이러한 불균일한 태양빛은 극심한 시스템 효율 저하를 야기한다. 본 연구에서는 이러한 시스템 효율 저하 문제를 해결하기 위해 differential power processing (DPP) 컨버터를 병렬로 적용한 photovoltaic (PV) 충전 가방을 제시하였다. DPP 컨버터는 PV 충전 가방이 불균일한 태양빛에 노출되어도, 각각의 태양전지가 고유의 최대 전력점에서 작동하도록 제어하는 역할을 한다. PV 충전 가방은 4개의 태양전지로 구성되어 있으며 충분한 태양빛 아래, 5 W의 출력전력을 가질 수 있다. PV 충전 가방은 하나의 front-end 컨버터와 4개의 DPP 컨버터로 구성되었으며, P-SIM 시뮬레이션과 실험을 통해 front-end 컨버터와 DPP 컨버터의 정상 작동을 입증하였다. 또한 동일한 태양빛에 노출된 경우, 기존의 연결 방법 중 하나인 병렬 배열은 1.49 W의 출력 전력을 가진 반면, DPP 시스템은 4.35 W의 출력 전력을 가져 약 3배 높은 출력 전력을 확인하였다.

1. 서론

기존의 태양광 시스템은 평지나 건물의 옥상 등 대체로 고정된 형태로 개발되어 사용되고 있다. 하지만 기술이 발달됨에 따라 자동차, 배, 가방, 웨어러블 기기 등 태양광 시스템의 응용분야 또한 다방면으로 확장되고 있다. 이러한 이동식 태양광 시스템은 기존의 고정식 태양광 시스템에 비해 불균일한 태양 빛 또는 빠른 태양빛의 변화에 노출될 확률이 높기 때문에 기존의 태양광 시스템과는 다른 컨버터 배열을 요구한다. 기존의 태양광 시스템에서는 태양전지들이 직렬 또는 병렬로 연결되었으며 하나의 중앙 컨버터가 시스템을 제어하였다. 직렬 또는 병렬 배열은 비교적 쉽게 구현이 가능하지만, 불균일한 태양빛에 노출될 경우 시스템 단위의 maximum power point tracking (MPPT)로 인해 심각한 시스템 손실을 야기한다. 본 연구에서는 이러한 시스템 손실을 줄이기 위해 differential power processing (DPP) 컨버터^{[1]-[3]}가 적용된 photovoltaic (PV) 충전 가방을 제안하였다. 또한 DPP 컨버터의 올바른 동작을 입증하고 개선된 시스템 출력 전력을 소개하려 한다.

2. DPP 컨버터가 적용된 PV 충전 가방

2.1 PV 충전 가방

그림 1(a)는 동일한 태양전지 4개로 구성된 PV 충전 가방을 나타내며 그림 1(b)는 각각의 태양전지의 I-V 곡선을 나타낸다.

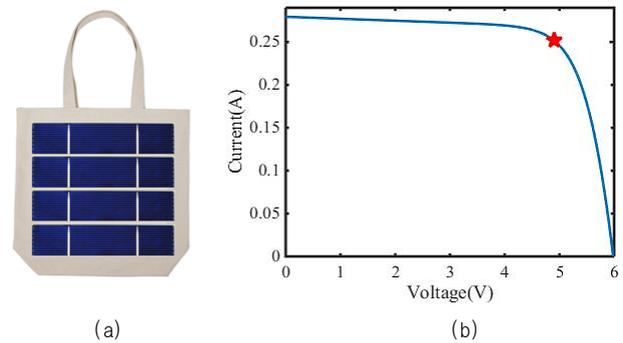


그림 1(a) PV 충전 가방과 (b) 각각의 태양전지의 I-V 곡선
Fig. 1(a) PV-powered bag and (b) I-V curve of each PV cell

그림 1(b)에 표시된 빨간 별은 태양전지의 최대전력점을 나타내며, 하나의 태양전지는 기준 일사량(1,000 W/m²) 아래 1.23 W를 발전할 수 있다. 따라서 PV 충전 가방은 최대 1.23 W X 4 = 4.92 W의 출력 전력을 가질 수 있다.

2.2 PV 충전 가방의 DPP 시스템

그림 2는 PV 충전 가방의 DPP 시스템 회로도를 나타낸다. 전체 시스템은 하나의 front-end 컨버터와 4개의 DPP 컨버터, Zener 다이오드로 구성되어 있다. Zener 다이오드는 dc bus를 5 V로 제한하는 역할을 하는데, 이는 휴대폰 충전을 위한 입력 전압임과 동시에 PV의 최대전력점(4.9 V)과 유사한 값이다. 시스템 제어가 시작되기 전, PV는 부하에 의해 정해진 임의의 작동 점에서 작동하게 된다. 만약 Zener 다이오드를 이용해 dc bus를 5 V로 제한한다면, PV가 최대전력점 근처에서 전력을 생산하게 되어 시스템의 시작을 위한 에너지를 빠르게 얻을 수 있다. Front-end 컨버터는 5 V를 2 V로 강압하여 각각의 DPP 컨버터 입력으로 제공해 주는 역할을 한다. DPP 컨버터의 출력 전압은 dc bus 전압과 PV 전압의 차이로 보통 0.5 V 이하이다. 따라서 좀 더 안정적인 DPP 컨버터의 동작을 위해 DPP 컨버터의 입력 전압을 낮추어 적절한 duty를 갖도록 하였다.

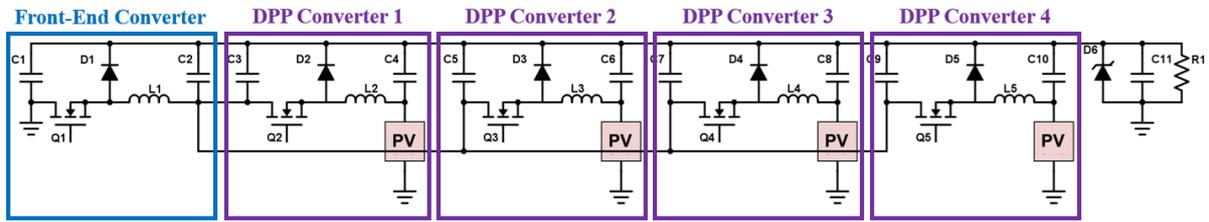


그림 2 PV 충전 가방의 DPP 시스템 회로도
Fig. 2 Schematic of the DPP system in PV-powered charging bag

3. 실험 결과

3.1 시뮬레이션 결과

DPP 컨버터 시스템의 올바른 동작 입증을 위해 그림 2와 동일한 회로도가 사용되었으며 자세한 소자값과 시뮬레이션 정보는 표 1에 제시하였다. 일사량은 $1,000 \text{ W/m}^2$ 로 동일하게 주어졌고 3초 뒤, $1,000/800/500/200 \text{ W/m}^2$ 로 변화하였다.

표 1 전력송전 시스템 상수의 P.U.값
Table 1 Per unit values of the system parameters

C1	220 μF	C4, C6, C8, C10	62 μF
L1 - L5	2.7 μH	C11	220 μF
C2	203 μF	f_s	100 kHz
C3, C5, C7, C9	47 μF	f_{MPPT}	2 Hz

그림 3은 PV MPPT를 위한 태양전지 전압을 나타낸다. 3초 후에 일사량이 변한 후 각각의 태양전지 작동점이 새로운 최대 전력점으로 이동하는 것을 알 수 있다.

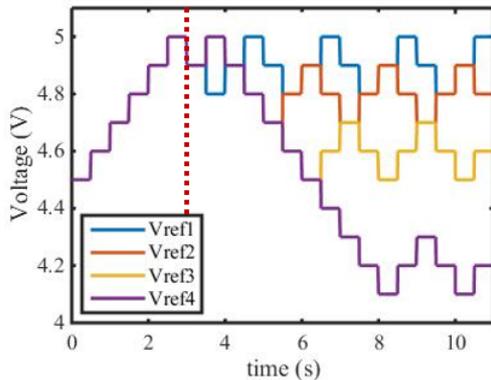


그림 3 각각의 태양전지의 MPPT 전압 기준점
Fig. 3 MPPT voltage references for each PV cell

3.2 실험 결과

DPP 시스템의 정상 작동 입증을 위해 그림 2와 동일한 회로로 구성된 PCB가 사용되었으며, 약 $1,100 \text{ W/m}^2$ 태양빛에 노출되었다. 실험에 사용된 소자값은 표 1과 동일하지만 MPPT 주파수는 0.8 Hz로 조정되었다. 그림 4는 실험 파형을 나타내며 위부터 차례대로 dc bus 전압, 태양전지1 전압, 태양전지2 전압, 출력 전류, 출력 전력을 나타낸다. Zener 다이오드로 인해 dc bus는 5.18 V로 제한되었으며, MPPT로 인해 태양전지의 전압이 3단계로 변화하는 것을 알 수 있다. 동일한 태양빛 조건 아래, DPP 시스템은 4.35 W의 출력 전력을 가졌지만

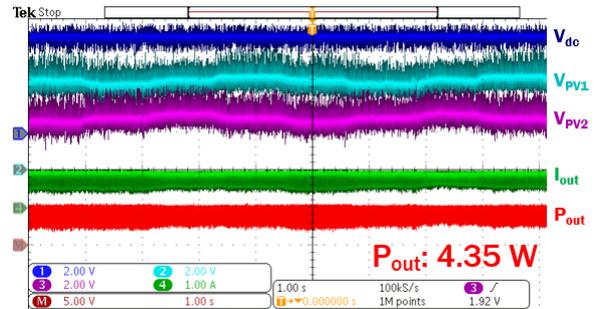


그림 4 PV 충전 가방의 실험 파형
Fig. 4 Experiment results of PV-powered charging bag

동일한 PCB에서 모든 컨버터의 작동 및 제어를 중지한 병렬 배열 시스템은 약 66% 감소한 1.49 W의 출력 전력을 나타냈다. DPP 시스템에서 태양전지의 발전량은 5.11 W로 약 85%의 시스템 효율을 보였다. 이는 첫 번째 프로토타입의 시스템 효율로 추후 프로토타입의 최적화 및 최소화를 통해 더 향상된 시스템 효율을 얻을 수 있다.

4. 결론

이동식 태양광 시스템의 경우, 기존의 고정식 태양광 시스템과는 다른 컨버터 배열을 요구한다. 본 연구에서는 DPP 컨버터를 적용한 PV 충전 가방을 제안하였다. 균일한 태양빛과 불균일한 태양빛 조건 모두에서, 시뮬레이션과 실험을 통해 올바른 DPP 컨버터의 동작을 입증하였다. 동일한 태양빛 조건에서, DPP 컨버터 배열은 기존의 병렬 배열에 비해 약 3배 높은 출력 전력을 가지는 것을 확인하였다. 또한 PV 충전 가방의 프로토타입을 이용해 실제로 대용량 보조배터리의 충전이 가능한 것을 확인하였다.

이 논문은 울산과학기술원의 1.160004.01 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] K. A. Kim; et al., "Converter Rating Analysis for Photovoltaic Differential Power Processing Systems," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 4, pp. 1987-1997, April 2015.
- [2] H. Zhou, J. Zhao, and Y. Han, "Pv balancers: Concept, architectures, and realization," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 7, pp. 3479 - 3487, July 2015.
- [3] 전영태, 이현준, 박종후 "전력용량 최소화 설계를 위한 차동 전력 조절기 제어기법" 전력전자학회논문지, pp.257-258, 2015.