태양광 발전차량의 차동전력 조절기 배열에 따른 효율분석

권경준, 김예린
울산과학기술원

Efficiency Analysis for Differential Power Processing Converter Configurations in Photovoltaic Electric Vehicles

Kyoungjun Kwon, Katherine A. Kim
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

최근 전기자동차(EV)의 수요가 높아짐에 따라, 그와 관련된 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 기존 EV dc-bus에 쉽게 결합할 수 있는 photovoltaic - 전기자동차(PV-EV)의 개발이 진행되었지만, 낮은 시스템 효율로 인해 상용화에 어려움을 겪었다. PV-EV의 특성상 태양광 시스템이 불균일한 태양빛의 변화에 노출되기 때문에, 차동전력 조절기(differential power processing (DPP) 컨버터)가 없는 기존의 시스템에서는 시스템 효율이 매우 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 연구에서 차동전력 조절기가 적용된 PV-EV 시스템을 제안하였다. 본 논문에서는 차동전력 조절기 시스템의 새로운 배열인 DPP to Load 배열을 제안하며 기존의 차동전력 조절기 시스템 배열과 비교분석 하였다. 또한 각각의 차동전력 조절기 배열에서 태양빛의 세기, 보조 부하의 크기, 컨버터의 효율을 변화시키며 각 배열의 시스템 효율을 비교하였다. 주어진 대부분의 조건에서 가장 높은 시스템 효율을 보여준 배열은 Isolated bus 배열 이었다. 맑은 날, 모든 컨버터의 효율은 85%, 보조부하가 250 W라고 가정하였을 때, Isolated bus 배열은 가장 높은 시스템 효율인 74%의 효율을 나타내었다.

1. 서론

최근 화석연료 사용을 줄이기 위해, 여러 기업에서 공해를 일으키지 않는 전기자동차 (EV)와 전기추진선박(electric ship (ES))을 개발 및 출시하고 있다. 더불어 photovoltaic (PV) 시스템과 EV/ES가 이 결합되어 있는 PV electric vehicle (PV-EV) 및 PV electric ship (PV-ES) 연구도 진행되고 있다. 하지만 PV-EV 와 PV-ES의 특성상 태양광 시스템이 불균일한 일사량의 변화에 노출될 확률이 높으며, 이러한 환경에서 기존 태양광 시스템의 효율은 급격하게 저하 되었다. 이에 대한 해결책으로 불균일한 일사량에 대해 기존의 직렬 연결 시스템 보다 높은 효율을 낼 수 있는 차동전력 조절기 (differential power processing (DPP) 컨버터) 시스템이 제시 되었다.[1]-[4] 또한 차동전력 조절기 시스템에는 PV to bus (PV-bus) 배열, isolated port (IP) 배열[3]과 같은 시스템 배열이 존재하며, 이러한 배열들은 시스템 효율에 각기 다른 영향을 미친다. 본 논문에서는 차동전력 조절기 시스템의 새로운 배열인 DPP isolated bus(IB) 배열을 제안하면서, 일사량, 부하크기, 컨버터 효율에 따른 3가지 차동전력 조절기 시스템 배열의 시스템 효율을 비교분석 하였다.

2. 차동전력 조절기 배열에 따른 시스템 효율 분석

2.1 기존의 차동전력 조절기 시스템의 배열

그림 1의 (a)와 (b)는 기존의 차동전력 조절기 시스템의 두 가지 배열인 PV-bus 배열과 IP 배열을 나타낸다.

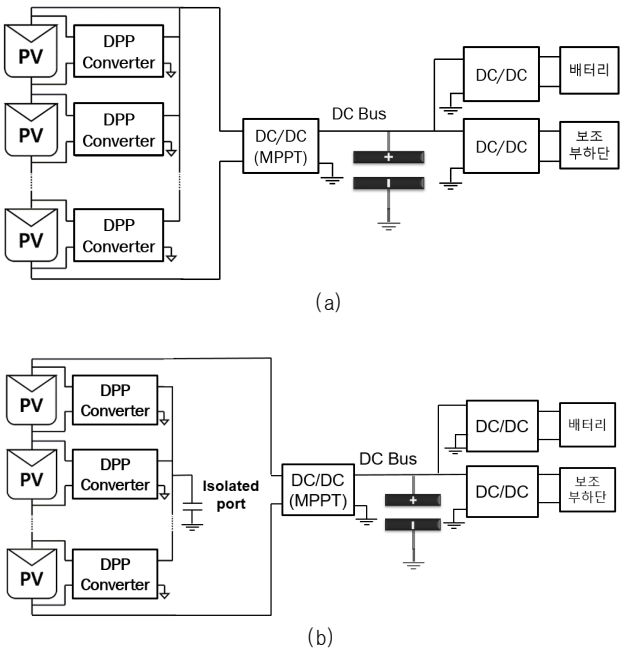

그림 1(a) PV to bus 배열 (b) isolated port DPP 배열
Fig. 1(a) PV to bus and (b) isolated port DPP configuration

그림 1에서 차동전력 조절기는 양방향 DC/DC 컨버터로 각각의 PV가 고유의 최대전력점에서 작동하도록 제어하는 역할을 한다. 그림 1(a)에 제시된 PV-bus 연결방식에서, 차동전력 조절기의 출력단은 DC/DC 컨버터와 연결되어 있으며 이 컨버터는 전체 시스템의 maximum power point tracking (MPPT)를 담당한다. MPPT 컨버터 출력단은 다시 두개의 DC/DC 컨버터를 통해 각각 배터리와 보조부하단으로 연결되어 있다. 그림 1(b)는 IP 연결방식으로, 차동전력 조절기의 출력단이 MPPT 컨버터와 연결되어 있지 않고 분리되어 있는 형태이다. Isolated port는 차동전력 조절기에서 양방향으로 처리되는 전력을 안정적으로 재분배하는 역할을 한다.

2.2 제안된 차동전력 조절기 시스템의 Isolated Bus 배열

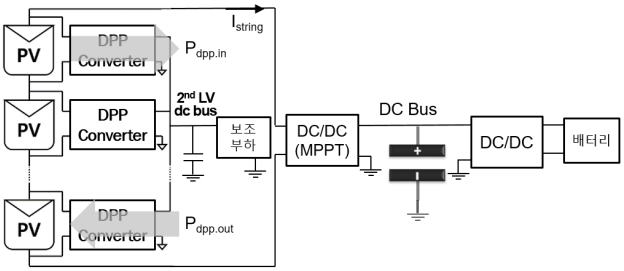

그림 2 DPP isolated bus 배열의 도식도
Fig. 2 DPP isolated bus configuration

그림 2는 본 논문에서 제안한 IB 배열을 나타낸다. IB 배열은 IP 배열에서 보조 부하단이 차동전력 조절기의 출력단인 2nd low-voltage dc bus로 이동해 연결된 형태이다. 보조부하의 크기를 P_{load}, 차동전력 조절기가 PV에서 보조 부하 방향으로 처리하는 전력을 $P_{dpp,in}$, 보조 부하에서 PV 방향으로 처리하는 전력을 $P_{dpp,out}$ 이라고 한다면, power balance에 의해 식(1)과 같은 관계를 만족해야 한다.

$$\sum P_{dpp,in} = \sum P_{dpp,out} + P_{load} \quad (1)$$

여기서 $P_{dpp,in}$과 $P_{dpp,out}$은 각각 식(2)와 식(3)과 같다.

$$P_{dpp,in} = \sum |I_{pv} - I_{string}| V_{pv,k} \quad (2)$$

$$P_{dpp,out} = (\sum |I_{pv} - I_{string}| V_{pv,k}) / \eta_{converter} \quad (3)$$

식(2)와 식(3)을 식(1)에 대입하여 식(1)를 만족시키는 I_{string}을 찾을 수 있고, 정해진 I_{string}은 차동전력 조절기에서 처리해야하는 전력에 영향을 미친다. 따라서 전체 시스템에서 발생하는 시스템 손실은 일사량, 컨버터의 효율, 보조부하의 크기, I_{string}에 의해 결정되며, 이러한 영향은 차동전력 조절기 시스템 배열에 따라 달라진다. 본 논문에서는 세 가지의 차동전력 조절기 배열에서 시스템 손실에 영향을 미치는 조건을 변화시키며 다양한 조건에서의 시스템 효율을 비교하고자 한다.

2.3 차동전력 조절기 배열에 따른 시스템 효율

그림 3은 차동전력 조절기 배열에 따른 시스템 효율을 비교한 그래프다. 제안된 태양광 시스템은 10개의 태양전지로 구성되어 있으며, 계산의 편의성을 위해 차동전력 조절기를 제외한 모든 DC/DC 컨버터의 효율은 85%로 고정하였다. 그림 3(a)와 3(c)는 태양전지가 맑은 날의 표준 일사량 (1000 W/m^2)에 비교적 균일하게 노출된 경우이고, 3(b)와 3(d)는 5개의 태양전지가 partial shading으로 인해 표준 일사량의 약 50% 정도에 노출된 경우로 가정하였다. 그림 3(a)와 3(b)는 보조부하의 크기를 표1에 근거하여 250 W로 고정하고, 차동전력 조절기의 효율에 따라 달라지는 시스템 효율을 나타낸다. IB 배열은 PV-bus/IP 배열보다 최대 4% 높은 시스템 효율을 나타냈다.

표 1 자동차 보조부하의 평균 부하출력
Table 1 Average load power in vehicles

부하명	부하	부하명	부하
라디오, 열선	80W	난방, 송풍, 방열기	80W
차폭등, 제동등	18W	방향등, 안개등	27W
번호등, 미등	25W	표시등, 계기판	20W

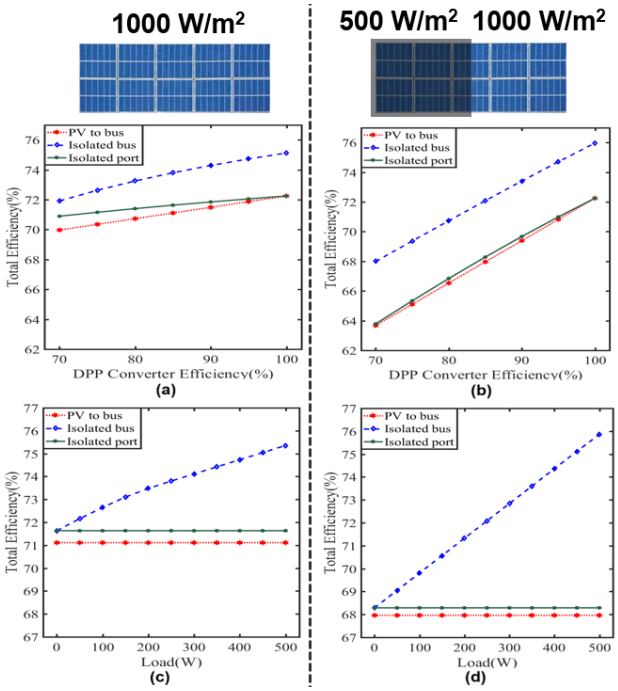

그림 3 차동전력 조절기 시스템 배열에 따른 효율 비교
Fig. 3 DPP converter system configuration efficiency comparison

그림 3(c), 3(d)는 차동전력 조절기 효율을 85%로 고정하고 보조부하를 변화시킬 때의 시스템 효율을 나타낸다. Partial shading 조건에서 IB 배열은 나머지 배열보다 최대 8% 높은 시스템 효율을 나타냈다. IB 배열에서는 보조부하의 크기가 증가할수록 차동전력 조절기에서 발생하는 손실이 증가하지만, 보조부하 크기만큼의 전력이 MPPT 컨버터와 DC/DC 컨버터를 거치지 않기 때문에 전체적으로 시스템 손실이 줄어들게 된다. 따라서 IB 배열이 나머지 두 배열보다 전체적으로 높은 시스템 효율을 보임을 알 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 기존의 차동전력 조절기 배열인 PV to bus 및 isolated port 배열을 본 논문에서 제안한 isolated bus 배열과 비교하였다. 시스템 손실에 영향을 미치는 일사량, 컨버터 효율, 보조부하의 크기, I_{string}을 변화시키며, 세 가지 차동전력 조절기 배열의 시스템 효율을 비교분석하였다. 분석 결과, 대부분의 조건에서 제안된 IB 배열이 다른 두 배열보다 시스템 효율이 높음을 확인하였다.

이 논문은 울산과학기술원의 1.150093.01 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] C. Olalla; et al., "Submodule Integrated Converters in the Isolated -Port Differential Power-Processing Photovoltaic Architecture", IEEE JESTPE, Vol.2, No.4 Dec 2014
[2] 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.
[3] 전영태, 이현준, 박종후 "전력용량 최소화 설계를 위한 차동 전력 조절기 제어기법" 전력전자학술대회논문지, pp.257-258, 2015.
[4] 이현지, 김예린, "웨어러블 충전 어플리케이션의 태양전지 배열에 따른 효율 분석" 전력전자학술대회논문지, pp.353-354, 2015.