

태양광-배터리 복합발전시스템의 전력 최적화를 위한 배터리 집적형 PV-DC 모듈

최철웅, 최봉연, 노용수, 지용혁, 이병국, 원중연
성균관대학교

Battery integrated PV DC-Module for power optimization in PV-Battery Hybrid generation system

Cheul Woong Choi, Bong Yeon Choi, Yong Su Noh, Young-Hyok Ji, Byoung Kuk Lee, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

Abstract Recently, hybrid generation systems combine multiple energy sources or storage components to optimize the characteristics of the individual energy sources. In this paper, a battery integrated PV power optimizer for PV battery hybrid power generation system is proposed. PV system using proposed topology can easily increase battery capacity and remove high power bidirectional converter to control bulky battery bank.

1. 서 론

최근, 태양광 에너지는 환경 문제 해결을 위한 해결책으로 인정받고 있으며, 환경 요인에 의해 영향을 받는 태양광 발전의 한계를 극복하기 위해 태양광 발전과 에너지 저장 기술이 결합한 태양광 배터리 복합발전시스템이 연구되고 있다.^{[1] [2]}

본 논문에서는 태양광 배터리 복합발전시스템의 전력 최적화를 위한 배터리 집적형 PV DC 모듈(BIPO)을 제안하였다. 제안된 토폴로지를 적용한 그림1의 복합발전시스템은 기존 복합발전시스템의 대용량 배터리 뱅크를 분할하여 각각의 PV DC 모듈에 집적함으로써 복합발전시스템의 배터리 용량 증설을 용이하게 하고, 대용량 배터리 뱅크 제어를 위한 대용량 인버터가 요구되지 않는다. 본 논문에서는 제안된 BIPO에 대한 동작 모드와 특성을 분석하였으며, 제안된 시스템의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증 하였다.

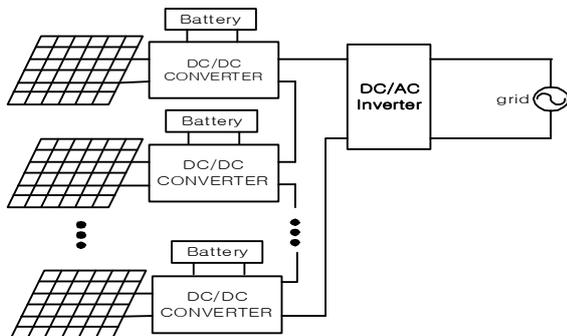


그림 1 제안된 토폴로지가 적용된 태양광-배터리 복합발전시스템
Fig. 1 Applied the proposed topology pv-battery hybrid generation system

2. 제안된 토폴로지

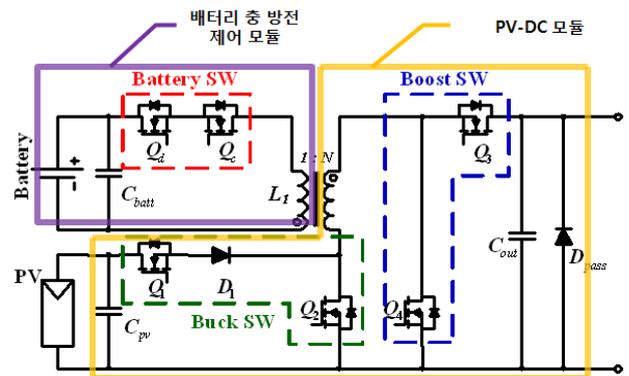


그림 2 제안된 배터리 집적형 PV-DC 모듈
Fig. 2 Proposed battery integrated power optimizer(BIPO)

제안된 토폴로지는 벡, 부스트, 벡 부스트, 배터리 충전, 배터리 방전 모드로 구성된 다섯 가지 모드에서 동작한다. 이러한 동작 모드는 컨덕턴스 변화율(컨덕턴스 변화율= G_{in}/G_{out})과 출력 전력에 의해 결정된다. 만약 BIPO의 출력 전력이 태양전지 정격전력의 20%이하이면, BIPO는 배터리 방전 모드에서 동작하고, 20%이상이면 그림3의 그래프에서 컨덕턴스 변화율에 따라 동작 모드가 결정된다.

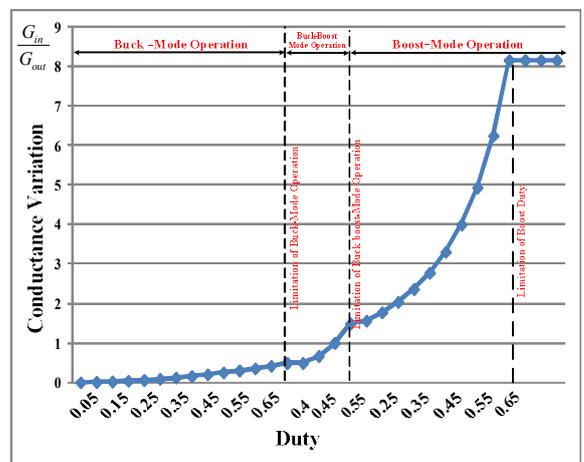


그림 3 컨덕턴스 변화율에 의한 동작 모드
Fig. 3 Operating mode due to the conductance variation ratio

3. 동작 모드 분석

3.1 동작 모드별 컨덕턴스 변화율

벽 모드로 동작 시, Q_1 과 Q_2 스위치는 스위칭 동작을 수행하고 다른 스위치는 턴 오프 된다.

만약 벽 모드 주 스위치 Q_1 이 통류율 D 로 스위칭을 한다면, 전압 전달 함수는 식 (1)로 표현 된다.

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (1)$$

전력 변환 손실이 무시된다면, 출력 전류는 식 (2)로 표현 된다.

$$I_{out} = \frac{1}{D} I_{in} \quad (2)$$

식 (1) (2)를 통해 벽 모드에서의 컨덕턴스 변화율은 식 (3)으로 표현 된다.

$$\text{컨덕턴스 변화율} = \frac{G_{in}}{G_{out}} = D^2 \quad (3)$$

부스트 및 벽 부스트, 배터리 충전 방전시 컨덕턴스 변화율 또한 벽 모드와 동일한 과정을 통해 구해지며 표 1로 정리 된다.

표 1 동작모드별 컨덕턴스 변화율

Table 1 Conductance variance according to operating modes

동작모드	주 스위치	컨덕턴스 변화율
벽 모드	Q_1	D^2
벽 부스트 모드	Q_1, Q_2	$\left(\frac{D}{1-D}\right)^2$
부스트 모드	Q_2	$\left(\frac{1}{1-D}\right)^2$

3.2 배터리 방전 모드

배터리 방전 모드는 플라이백 컨버터로 동작 한다. 이때, 배터리로부터 출력되는 전류의 평균값은 플라이백 컨버터의 전압 전달비를 통하여 식 (4)로 연산된다.

$$I_{Batt,avg} = \frac{N^2 D^2 V_{Batt}}{(1-D)^2} G_{out} \quad (4)$$

3.3 배터리 충전 모드

배터리 충전 모드는 배터리 충전 스위치(Q_c)의 턴 온 시 트랜스포머 PV 측 에너지가 배터리 측으로 전달되어 배터리를 충전하게 된다. 이때, 충전되는 전류의 평균값은 식 (5)로 연산된다. 스위칭 한 주기(T_S) 중, 스위치 Q_c 의 턴 온 시간(T_{ON})의 제공에 비례한다. 즉, 스위치 Q_c 의 통류율의 조절로 배터리 전류를 제어 할 수 있다.

$$I_{Batt,avg} = \frac{T_{ON}}{2T_S} \frac{(V_{PV}/N) - V_{Batt}}{L_{1,leakage}} T_{ON} \quad (5)$$

4. 시뮬레이션

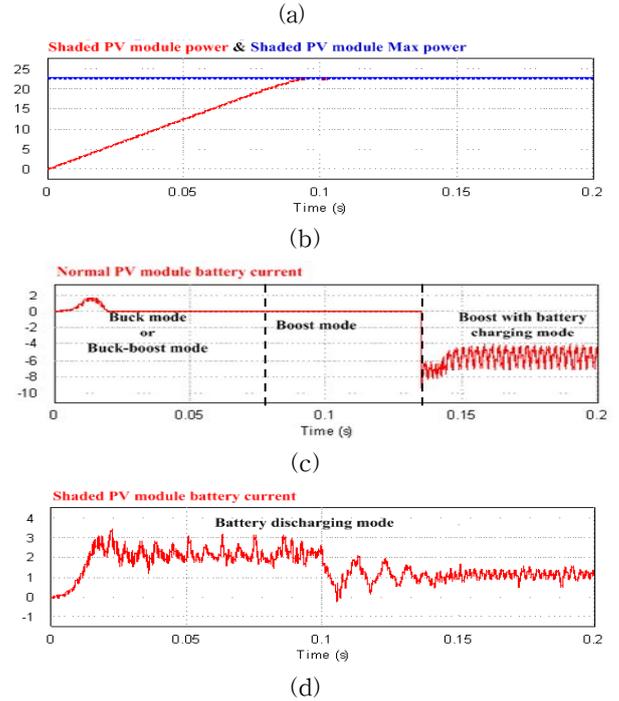
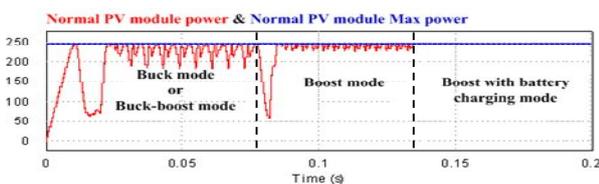


그림 4 부분 음영 조건에서의 태양전지 출력과 배터리 전류
Fig. 4 PV-Module output power and battery current of partial shading condition

일사량 높은 태양전지의 출력은 (a), 일사량 낮은 태양전지의 출력은 (b)이다. 시뮬레이션 결과 (a), (b)에서 각각의 태양전지가 최대출력을 추종하는 것을 알 수 있다. 배터리 충전 방전의 경우 일사량 높은 모듈과 연결된 BIPO는 (c)와 같이 배터리를 충전 시키고 남은 에너지를 부하로 공급하며, (d)의 시뮬레이션 결과 일사량이 낮은 모듈과 연결된 BIPO는 배터리를 방전하여 일정한 출력을 유지한다. 시뮬레이션 결과를 통해 부분음영 조건에서 BIPO가 안정적으로 동작 가능함이 검증되었다.

5. 결론

본 논문에서는 배터리를 사용한 태양광 복합발전시스템의 전력 최적화를 위한 배터리 집적형 PV DC 모듈(BIPO)을 제안 하였다. 제안된 BIPO는 컨덕턴스 변화율과 태양전지의 출력 전력에 따라 다양한 모드 동작을 통해 각 태양전지가 최대 전력점에서 동작하며, 제안된 동작 모드는 이론적 분석과 시뮬레이션을 통하여 제안된 토폴로지의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 R&D전략기획단(No.2011T100100025)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

[1] PVPS 2011 "The role of Energy storage for Mini grid stabilization", IEA PVPS Task 11, July 2011
[2] Yang Du and Dylan Dah Chuan Lu, "Analysis of a Battery Integrated Boost Converter for Module Based Series Connected Photovoltaic System", IEEE conf. 2010 International