

태양광 발전 시스템을 활용한 스마트 모빌리티 충전시스템 설계

이현민, 박성민

홍익대학교 전자전기융합공학과

Design of Smart Mobility Charging System Employing Photovoltaic Generation System

Hyeon-Min Lee, Sung-Min Park

Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University

ABSTRACT

본 논문에서는 단상 3.3kW PV-BESS 시스템과 능동전력디커플링 회로를 연계한 스마트 모빌리티 충전시스템을 제안한다. 일반적인 계통 연계 시스템에서 문제가 되는 2차 리플 전력을 능동전력디커플링 회로를 적용하여 제거함으로써 스마트 모빌리티에 안정적인 전력을 공급하고 스마트 모빌리티 충전 시스템의 전력밀도를 높이고 수명을 늘릴 수 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 들어 환경오염의 문제로 지구 기후 변화의 원인이 되는 이산화탄소에 대한 감소 요구로 인해 신재생에너지를 활용한 응용분야에 대한 연구가 활발해지고 있다. 신재생에너지의 대표적인 에너지로 태양광 발전이 있다. 그러나 태양광 발전은 일사량의 불규칙성으로 인하여 효율적인 운용이 어렵고 계통에 악영향을 끼칠 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 배터리를 이용하여 저장한 후 사용하는 PV(Photovoltaic) BESS(Battery Energy Storage system)의 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 또한 환경오염 문제를 해결하기 위해 전기를 이용한 스마트 모빌리티의 사용량도 증가하고 있다. 이러한 스마트 모빌리티를 충전하기 위한 충전소를 친환경적인 PV-BESS 시스템을 이용해 설계하고 계통과 연계하여 안정적으로 스마트 모빌리티에 전력을 공급하도록 한다. 하지만 일반적인 계통연계 시스템에서 직류 전원과 계통 전력에 의하여 컨버터 입력 측에 2차 리플 전력이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 용량이 큰 전해 커패시터를 사용한다. 하지만 전해 커패시터는 PV패널 보다 수명이 짧고 온도 변화에 따라 특성 변동이 심하다는 단점이 있다. 이러한 전해 커패시터를 필름 커패시터로 대체하기 위해 커패시터 분할타입 능동전력디커플링(Active Power Decoupling : APD)회로를 연계함으로써 시스템의 수명을 늘리고 전력밀도를 높일 수 있다.

2. 제안하는 스마트 모빌리티 충전소 회로

그림 1은 제안하는 단상 3.3kW PV-BESS 전체 시스템의 구조를 나타낸다. DC 전력 부는 태양광 발전 컨버터, 배터리 컨버터, 모빌리티 충전컨버터로 구성되어진다. 태양전지 부에는

승압을 위한 Boost 컨버터로 구성되어 있으며 최대 전력 발전을 위한 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어를 실시한다. 배터리 부는 승압과 강압을 위한 Buck-Boost 컨버터로 구성되어 있으며 전체 시스템의 전력 균형 제어를 실시한다. 스마트 모빌리티 충전부는 Buck 컨버터를 이용하여 고전압의 DC-link단 전압을 저전압으로 강압하여 다수의 모빌리티 배터리들을 동시에 충전할 수 있다.

출력 계통부에는 단상 Full-Bridge 컨버터로 구성하여 전력의 양방향 흐름이 가능하도록 하였다. 일반적으로 계통 연계 시스템에서 발생하는 2차 리플 전력을 제거하기 위해 전해 커패시터를 사용한다. 하지만 전해 커패시터보다 수명이 길고 온도 변화에 영향을 적게 받는 필름 커패시터를 사용하기 위해 커패시터 분할형 APD를 회로에 연계하였다. 이를 통해 고전력 밀도, 고수명 스마트 모빌리티 충전시스템이 구현될 수 있다. APD회로의 상단 커패시터와 하단 커패시터는 같은 값의 커패시터를 갖고 전압은 서로 180도의 위상 차이를 가지며 변동하게 된다. 그림 2는 APD회로의 제어 알고리즘을 나타낸다.

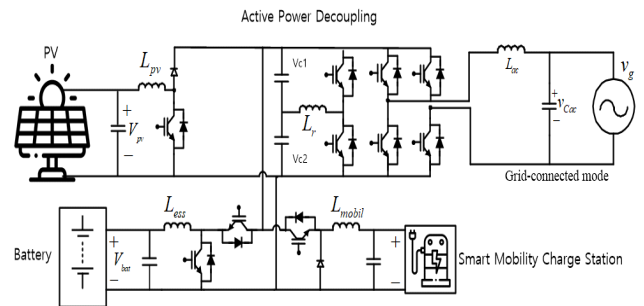


그림 1 제안하는 전체 시스템 회로도

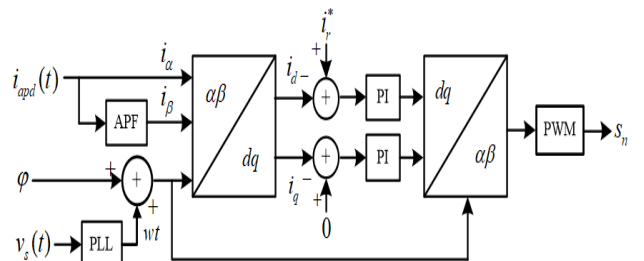


그림 2 커패시터 분할 타입 APD회로 제어 블록다이어그램

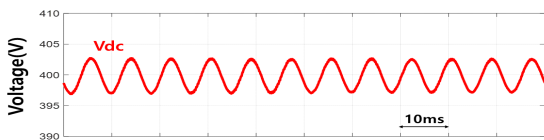
2차 전력 리플을 처리하기 위한 APD 인덕터 전류를 제어하기 위해 가상 dq변환을 이용하였다. APD 인덕터 전류를 α 축 전류로 놓고, 전역 통과 필터를 통과하여 90도 위상 지연된 가상 β 축 전류를 얻어 제어한다. 이를 통해 AC성분을 포함한 APD 인덕터 전류를 DC성분으로 변환함으로써 간단한 PI제어기만으로 원하는 제어효과를 얻을 수 있다.

3. MATLAB 시뮬레이션 결과

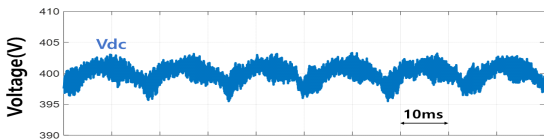
본 논문에서 제안한 제어기의 및 회로도의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 진행하였으며 표1은 시뮬레이션 조건을 나타낸다. 그림 3은 정격 부하 조건의 정상 상태에서 전해 커패시터를 사용했을 경우와 APD회로를 사용했을 경우의 DC-link 전압 파형을 보여준다. 전해 커패시터는 2000 μ F를 사용했고 APD의 전체 커패시터는 110 μ F로 약 18배 작은 커패시터로 동일한 수준의 리플을 달성 할 수 있다. 그림 4는 APD회로의 커패시터 전압 V_{c1} , V_{c2} , DC-link의 전압을 나타낸다. 직류단 전압 리플은 약 9V 수준으로 평균 직류 전압의 약2.3%이며 그림 4를 통해 안정적인 DC전압을 만들어 내는 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 (a)는 1.65kW의 전력을 태양광 발전과 계통에서 각각 BESS에 공급할 때의 전류 파형이다. 그림 5의 (b)는 3.3kW의 태양광발전 전력에서 BESS에 1.65kW를 공급하고 남은 잉여전력을 계통에 송전할 때의 전류 파형이다. 이를 통해 BESS에 안정적으로 전류가 공급되어 충전되는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 모빌리티의 배터리를 충전하는 정격 전압 52V에서 인접한 51.6V로 강압이 되는 파형이다. 계통 동작에 상관없이 모빌리티 배터리를 충전하는 전압이 안정적으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Values
DC-link Voltage(V)	400
PV inductor(mH)	2
APD-capacitor(μ F)	220
APD-inductor(mH)	1.2
ESS Inductor(mH)	2.5
Switching frequency(kHz)	20



(a)



(b)

그림 3 전해 커패시터를 사용했을 경우 DC-link 전압(a), APD를 사용했을 경우의 DC-link 전압(b)

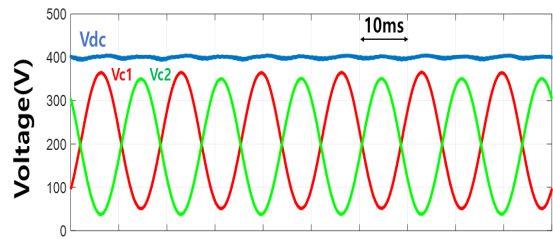
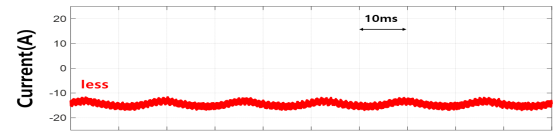
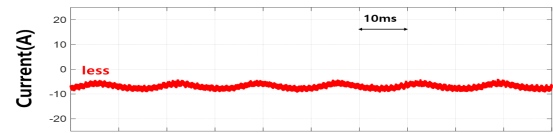


그림 4 DC-link 전압과 APD 커패시터 전압



(a)



(b)

그림 5 계통에서 전력을 공급 받을 때의 ESS 전류(a), 계통에 전력을 송전할 때의 ESS 전류(b)

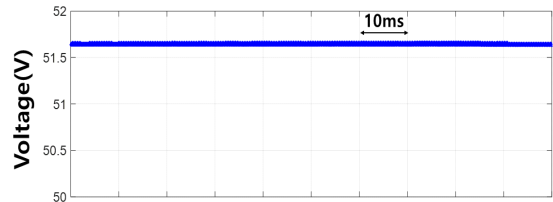


그림 6 스마트 모빌리티 충전 전압

4. 결론

본 논문은 PV-BESS 시스템과 능동전력 디커플링 회로를 활용한 스마트 모빌리티 충전시스템을 제안하였다. 제안된 시스템을 통해 친환경 태양광에너지를 활용한 모빌리티 배터리 충전이 가능하고, 에너지 저장장치를 활용하여 유효전력과 무효전력 보상 운전을 통해 전력계통 안정화를 이룰 수 있다. 이와 더불어 능동전력 디커플링 회로를 적용하여 고전력 밀도와 고수명 모빌리티 충전시스템이 가능함을 확인하였다.

이 논문은 2020년도 산업통상자원부의 '창의산업융합 특성화 인재양성사업'의 지원을 받아 연구되었음. (No. N0000717)

참고 문헌

- [1] S.I Paeng, J.U Lim, G.H Choe, "Development of 3.3kW PV ESS System with DC Power Supply Function", Journal of the KIIE, Vol. 31, No. 11, pp. 119-130, 2017, Nov.
- [2] D.H Kim, S.G Kim, S.M Park "A Study on Parallel Active Power Decoupling Circuits Using EV Traction System", The Contrence of the Korea Institute of Power Electronics, pp. 330-331, 2019, Jul.