

계통연계형 배터리 에너지 저장장치 구현 및 실험

이우종*, 김대식**, 차한주*
 충남대학교*, 한국원자력안전기술원**

Implementation of Grid Connected Battery Energy Storage System

Wujong Lee*, Daesik Kim**, Hanju Cha*
 Chungnam National University*, Korea Institute of Nuclear Safety**

ABSTRACT

본 논문에서는 계통연계형 배터리 에너지 저장장치의 실험에 대하여 서술한다. 배터리 에너지 저장장치는 배터리 뱅크와 계통연계형 인버터로 이루어져 있다. 배터리 뱅크는 납축전지로 구성되고, DC Link에 병렬로 연결된다. 인버터의 동작모드는 충전과 방전 두 가지로 나뉘며, 충전모드에서는 배터리의 수명을 고려하여 CC-CV 제어를 수행하고, 방전모드에서는 유효/무효 전력제어를 수행한다.

1. 서 론

신재생에너지 중에서 풍력, 태양광 발전과 함께 스마트그리드에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 스마트그리드 구축에 따라 양방향 전력 정보 교환을 통해 합리적 에너지 소비를 유도하고, 고품질의 에너지를 제공한다. 이에 계통으로의 고품질 에너지 공급을 위해 불규칙한 출력을 보상하는 에너지 저장장치에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

기존의 배터리 에너지 저장장치는 DC-DC 컨버터와 인버터를 이용한 시스템으로 높은 효율을 지향하기 위해 다양한 기법들이 논의되고 있다. 하지만 DC-DC 컨버터를 사용하면 효율이 떨어지고 시스템의 부피가 커질 수 밖에 없다.

본 논문에서는 배터리와 계통연계형 인버터만의 구조로 시스템이 구성된다. 배터리를 모델링하고^[1], 계통연계형 인버터 알고리즘과 충전 모드에서의 알고리즘을 통해 배터리 에너지 저장장치의 동작 방법을 제시^[2]하고 실험을 통하여 그 특성을 확인하였다.

2. 계통연계형 배터리 에너지 저장장치

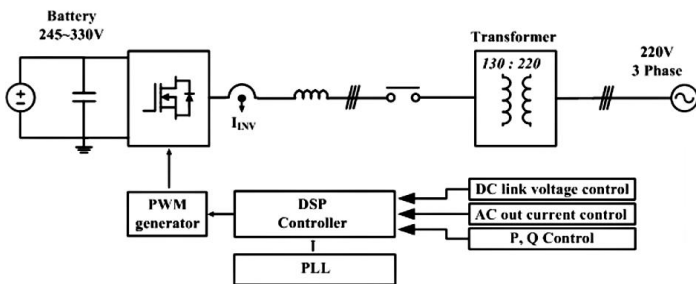


그림 1 계통연계형 배터리 에너지 저장장치 블록도

그림 1은 계통연계형 배터리 에너지 저장장치의 블록도를 보여준다. 그림 1에서처럼 배터리 뱅크는 DC Link와 병렬로 연결되어 있고, 인버터 출력은 130V로 변압기를 통해 220V 계통으로 연결된다.

3. 배터리 모델링

납축전지는 가장 오래된 배터리로 널리 사용된다. 특징으로는 다른 배터리에 비해 내부 저항이 작고, 배터리 전류의 응답 속도가 빠르다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 배터리 모델을 사용하였다. 이 모델은 전극과 용액계면에 일어나는 현상을 R 과 C 로 표현하였다. 모델의 파라미터는 실험을 통해서 구할 수 있으며, 스텝 함수의 전류를 방전시켜서 전압의 변화를 통해 각 파라미터를 구한다. 개로전압(E)와 SOC는 서로 선형관계이다. 방전 초기에는 커패시턴스 성분에 의해 단락되어 저항 R_i 만 보이게 되고, 정상상태에서 커패시턴스는 개방된 것으로 볼 수 있으므로 R_i , R_p 성분의 합을 알 수 있게 된다. C_p 는 시상수로부터 계산할 수 있다.

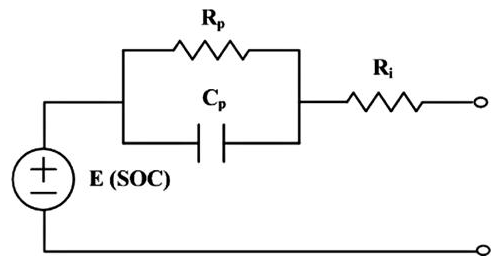


그림 2 배터리 모델링

4. 계통연계형 인버터

계통연계형 인버터에서는 계통으로부터 전력을 공급받아 배터리를 충전하는 모드, 배터리로부터 계통으로 부족한 전력을 공급하는 방전모드 두 가지로 동작한다.

3.1 충전모드

충전모드는 배터리의 수명을 고려하여 시스템을 제어해야 한다. 그중 정전류-정전압 (CC-CV) 제어 기법을 사용하여 배터리의 허용 최대 전압을 넘지 않고 유지하는 것이 중요하다. CC-CV 제어 블록도는 그림 3과 같다.

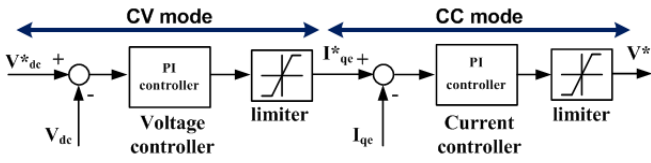


그림 3 CC-CV 제어 블록도

3.2 방전모드

계통의 안정화를 위해 전력을 공급할 때, 유효전력뿐만 아니라 무효전력도 같이 공급해야 한다. 그렇기에 유효/무효 전력 제어가 인버터에서 이루어져야 한다. 피상전력은 식(1), 유효전력은 식(2), 무효전력은 식(3)과 같다. 동기좌표변환을 하면 $V_{de} = 0$ 이기에 P, Q는 간단하게 정리된다.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1)$$

$$P = \frac{3}{2} (V_{qe} I_{qe}^* + V_{de} I_{de}^*) = \frac{3}{2} V_{qe} I_{qe}^* \quad (2)$$

$$Q = \frac{3}{2} (V_{qe} I_{de}^* - V_{de} I_{qe}^*) = \frac{3}{2} V_{qe} I_{de}^* \quad (3)$$

그림 4는 계통연계형 인버터의 P-Q 전류제어 블록도를 보여주고 있다. 계통 측 전압과 전류를 동기좌표계로 변환할 경우 직류와 같이 크기 성분만 존재하여, 빠르고 정확하게 제어할 수 있다.

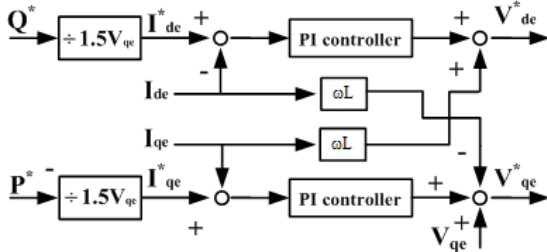


그림 4 P-Q 전류제어 블록도

5. 실험 결과

납축전지(ES 24-12)를 24개 직렬 연결하여 배터리 뱅크를 제작하고, DSP 28335 제어보드로 시스템을 제어하였다. 그림 5는 배터리 에너지 저장장치 프로토타입이다.



그림 5 배터리 에너지 저장장치 프로토타입

그림 6은 충전모드에서의 CC-CV 제어 파형이다. 배터리 최대 전압에 도달 시 CC mode에서 CV mode로 변환한다. 그림 7은 방전모드에서의 P-Q 전류제어 결과파형이다. 역률 1과 0일 경우에 전압과 전류의 위상은 90도 이상되는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 3kW 충방전 실험파형이다. 계통 상전류는 13.6Arms이고 방전모드에서는 계통 상전압과 전류가 동상, 충전모드에서는 역상인 것을 확인할 수 있다.

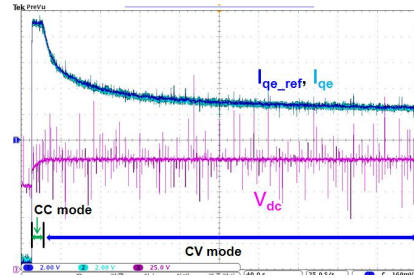


그림 6 CC-CV 모드

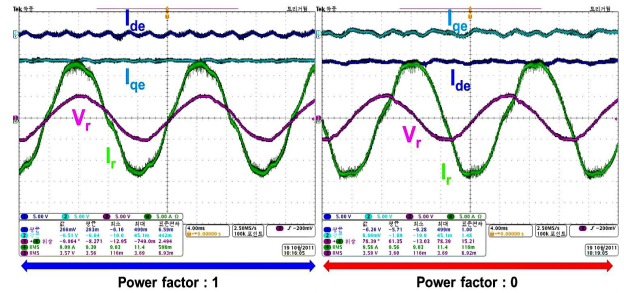


그림 7 P-Q 전류제어 (PF: 1, 0)

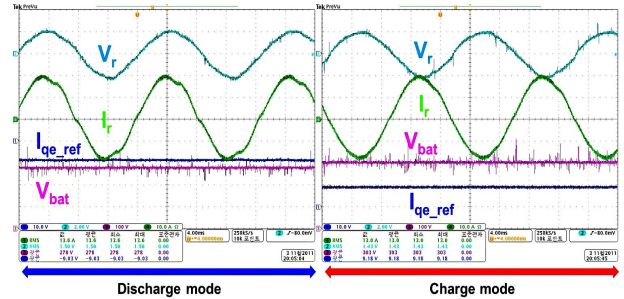


그림 8 충방전모드 실험파형

6. 결론

계통연계형 배터리 에너지 저장장치를 제작하고, 배터리와 연결하여 배터리 충방전 시스템에서 전력을 효율적으로 제어하였다. 배터리 뱅크와 인버터만의 구조로, 충전모드에서는 CC-CV 모드로 배터리 전압을 안정적으로 제어하고, 방전모드에서는 P-Q 전류제어를 통해 유효전력을 공급하였다.

참고 문헌

- [1] Tremblay, O., Dessaint, L.-a., Dekkiche, A.-I., "A generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles", VPPC 2007. IEEE, pp. 284-289, 9-12 Sept. 2007.
- [2] Wujong Lee, Byung-Moon Han, Hanju Cha "Battery ripple current reduction in a three-phase interleaved dc-dc converter for 5kW battery charger" 2011 IEEE ECCE pp. 3535-3540.