5kW급 계통연계형 단상 충전기의 구현 및 실험

안현성, 이우종, 차한주
충남대학교 전기공학과

Implementation and Experiment of Single-phase Grid Connected Battery Charger

Hyunsung An, Wujong Lee, Hanju Cha
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 계통연계형 단상 충전기 전류제어기법 및 충전과 방전을 수행하는 제어기법을 서술하였다. 정전류 정전압 모드를 통해 충전을 하며, 유효 무효전력 제어를 통해 방전을 수행하게 되고, 동기좌표 PI 제어기를 적용하여 전류제어를 수행한다. 5kW급 계통연계형 단상 충전기 프로토타입을 제작하여, 제안한 동작모드를 실험하여 그 성능을 확인하였다.

1. 서론

지구의 급격한 환경오염에 따라 산업분야뿐만 아니라 가정용까지 에너지에 대한 개념이 변화하고 있다. 이와 같이 신재생에너지가 부각되고 있는 시점에서 풍력 및 태양광 발전 등의 스마트그리드의 구축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스마트그리드 구축에 따라 에너지를 합리적으로 사용을 하고, 고품질의 에너지를 공급하기 위한 방법이 연구되어진다.

기존의 배터리 에너지 저장장치는 DC DC컨버터와 인버터를 이용한 시스템으로 효율 향상을 위해 다양한 기법들이 제안되고 있으나, DC DC컨버터의 사용으로 효율의 저하와 시스템의 부피가 커지게 된다. 본 논문에서는 배터리와 계통연계형 인버터만의 구조로 시스템을 구성한다. 이에 따라, 단상 인버터를 통한 에너지 저장장치의 설계 및 구현을 통해 스마트그리드의 구축에 대한 합리적인 에너지 사용 및 에너지의 고품질을 위한 실험을 위해 설계하고 실험을 통해 단상충전기의 성능을 확인하는 동시에 단상 인버터의 전압원으로 사용하는 배터리를 모델링[1]하고, 계통연계형 인버터의 알고리즘과 충방전 모드에서의 알고리즘을 통해 배터리 에너지 저장장치의 동작방법을 제시한다[2].

2. 단상 배터리 저장장치

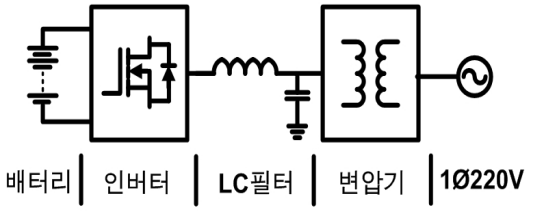

그림 1 계통연계형 단상충전기 블록도
Fig 1 Structure of Single-phase Grid Connected Battery Charger

그림 1은 인버터를 이용한 5kW급 계통연계형 단상 충전기의 블록도를 보여준다. 전압원으로 납축전지를 DC Link와 병렬로 연결하여 사용하며, 인버터의 130V출력을 단상 변압기를 거쳐 220V계통으로 연결되어 있다. 또한, 충전기의 구동을 위한 Gate Driver와 인버터의 제어기로 구성되어 있다.

3. 배터리 모델링

납축전지는 가장 오래된 배터리로 널리 사용된다. 특징으로는 다른 배터리에 비해 내부 저항이 작고, 배터리 전류의 응답속도가 빠르다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 배터리 모델을 사용하였다. 이 모델은 전극과 용액계면에 일어나는 현상을 R과 C로 표현하였다. 모델의 파라미터는 실험을 통해서 구할 수 있으며, 스텝 함수의 전류를 방전시켜서 전압의 변화를 통해 각 파라미터를 구한다. 개로전압(OCV)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_p성분의 합을 알 수 있게 된다. C_p는 시상수로부터 계산할 수 있다.

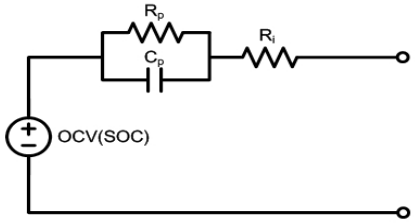

그림 2 배터리 모델링
Fig. 2 Battery modeling

4. 계통연계형 단상 인버터 제어기법

단상 인버터를 구현하고 높은 성능을 지향하기 위해 d q변환을 비롯하여 정전류 정전압 제어에 대해 서술하고 인버터의 데드타임에 의해 발생하는 고조파 성분에 대한 보상을 하기위한 제어기법을 제안한다.

4.1 d-q 좌표변환

빠르고 정확한 제어를 위해서 d q좌표변환을 사용하였다. 실제 단상 충전기 구현에서는 계통전압에서 읽은 값을 정지좌

표계로 설정하고 이를 회전좌표계로 변환하였으며, 전대역필터를 통해 d q축에 대한 위상차를 만들어 좌표변환을 하였다. 좌표변환에 대한 결과는 식(3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \sin\theta \\ -\cos\theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & \sin\hat{\theta} \\ -\sin\hat{\theta} & \cos\hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin\theta \\ -\cos\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0 \\ -V_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

4.2 정전류-정전압 제어(CC-CV Mode)

계통연계형 인버터에서는 계통으로부터 전력을 공급받아 배터리를 충전하게 된다. 하지만 배터리의 특성 및 수명을 고려하여 시스템을 제어해야한다. 그중 정전류 정전압(CC CV) 제어 기법을 사용하여 배터리의 허용 최대 전압을 넘지 않고 유지하는 것이 중요하다. 정전류 정전압 제어 블록도는 그림 3과 같다.

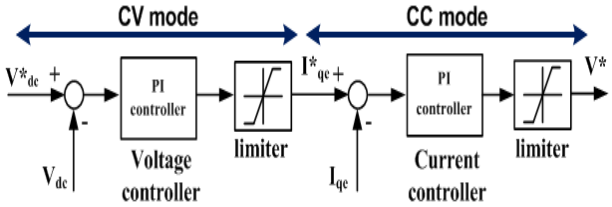

그림 3 정전류-정전압 제어 블록도
Fig. 3 Structure of CC-CV Mode

4.3 전류제어기법

단상 충전기의 전류제어를 위해 PI제어기를 적용하였으며, 시스템에서 발생하는 고조파 성분을 보상하기 위하여 공진형 제어기를 추가적으로 적용하였다. 공진형 제어기의 전달함수는 식 (4)와 같이 나타내며 전류제어기의 블록도는 그림 4와 같다.

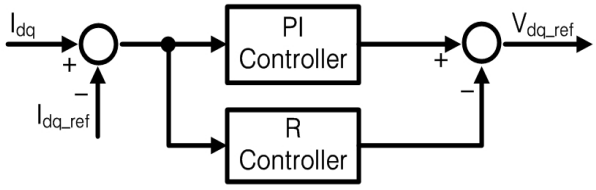

그림 4 전류제어기의 블록도
Fig. 4 Structure of current controller

$$G_r(s) = \frac{K_r s}{s^2 + (n\omega_0)^2} \quad (4)$$

5. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림 5는 5kW급 계통연계형 단상 충전기의 프로토타입으로 크게 배터리, 인버터, LC필터로 나눌 수 있다. processor는 TI사의 DSP28335를 통해 단상 충전기 시스템에 대한 제어를 하게 되며 제어보드는 크게 AD, DA, PWM, 보호부분으로 나누어지며, 보호부는 하드웨어 트립과 소프트웨어 트립을 통해 단상충전기의 시스템을 보호한다.

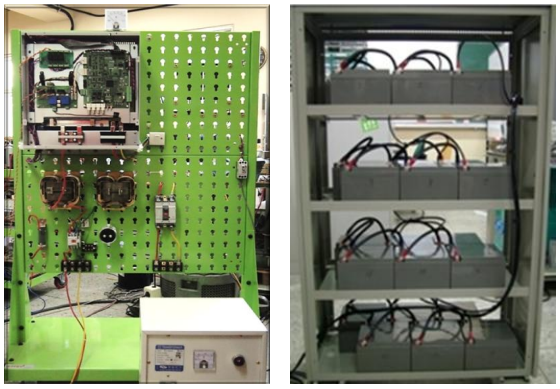

그림 5 단상 충전기의 프로토타입
Fig. 5 A prototype of single-phase battery charger

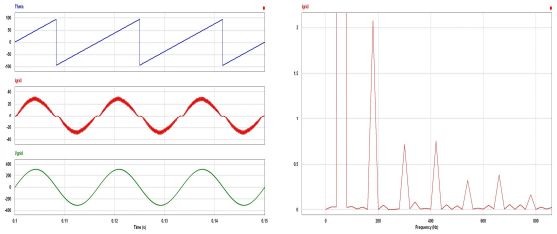

그림 6 3kW 전류제어 시뮬레이션
Fig. 6 3kW Current control simulation

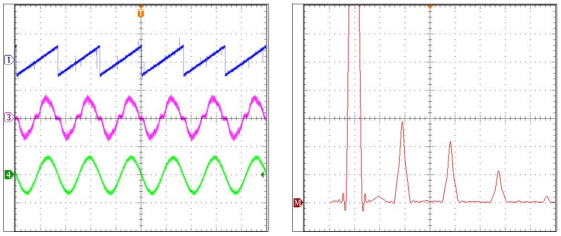

그림 7 3kW 전류제어 실험파형
Fig. 7 Experiment of 3kW current control

그림 6과 그림 7은 전류제어에 대한 시뮬레이션과 실험의 파형으로 각 PLL, Igrid, Vgrid 에 대해 보여준다. 시뮬레이션과 실험을 통해 단상 충전기의 충전 방전 수행을 위한 전류제어기의 성능과 Igrid의 THD(10.3%)및 FFT를 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 실험을 위해 배터리에 대한 모델링도 진행하였으며, 제어기법에 대해 서술하였다. 이를 토대로 5kW급 계통연계형 단상 충전기를 구현하고, 실험을 통해 단상 충전기 시스템의 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌

[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.