

# 5kW 계통연계형 배터리충전기 시스템 실험

이우중\*, 이종경\*, 김영록\*\*, 차한주\*  
충남대학교\*, 헥스파워시스템\*\*

## Experiment for Grid Connected 5kW Lead-Acid Battery Charger

Wujong Lee\*, Jongkyung Lee\*, Youngrok Kim\*\*, Hanju Cha\*  
Chungnam National University\*, Hex Power System\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 5kW 계통연계형 배터리충전기 시스템의 해석 및 실험에 대한 연구이다. 배터리충전기는 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터와 계통연계형 인버터로 구성된다. 인터리빙 방식을 이용해 컨버터의 인덕터의 크기를 줄이고, 배터리 양단에 커패시터를 연결하여 배터리 전류리플을 감소시킨다. 실험 결과는 본 논문에 서술하였다.

### 1. 서론

신재생에너지 중에서 풍력발전과 함께 풍력발전의 불규칙 출력에 대응하기 위해 배터리를 사용하는 연구가 많이 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 배터리 충·방전기에 사용되는 DC-DC 컨버터 구조는 현재보다 높은 효율을 지향하기 위해 다양한 기법들이 논의되고 있지만 그중에서 인터리브 방식은 전류 흐름의 다분화와 상의 수만큼 분배된 위상차 발생으로 전류 간 상쇄효과에 기인하여 전체 전류 리플크기의 감소와 입·출력 필터의 용량과 체적을 줄일 수 있는 이점을 제공한다<sup>[2]</sup>. 아울러 낮은 스위칭 주파수로 높은 스위칭 주파수 효과를 얻을 수 있어 스위칭 전류 모드에서의 컨버터가 분석되었다.

배터리를 이용해 충·방전 시스템의 경우 최근까지 양방향 DC-DC 컨버터를 이용해 연구되어지고 있다<sup>[3-4]</sup>. 본 논문에서는 배터리를 모델링하고<sup>[5]</sup>, 배터리와 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터, 계통연계형 인버터를 연결하는 알고리즘을 통해 배터리 충·방전 시스템의 동작 방법에 대해 제시하고 실험을 통하여 그 특성을 확인하였다.

### 2. 배터리 모델링

Randles 회로에서 그림1과 같은 배터리 모델을 얻는다. 이 모델은 전극과 용액계면에 일어나는 현상을  $R$ ,  $C$ 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  $R$  만 보이게 되고, 정상상태에서 커패시턴스는 개방된 것으로 볼 수 있으므로  $R$ ,  $R_p$  성분의 합을 알 수 있게 된다.  $C_p$ 는 시상수로부터 계산할 수 있다.

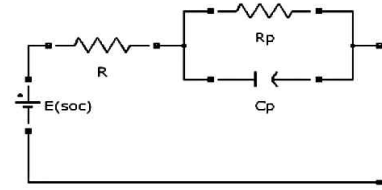


그림1 배터리 모델링

### 3. 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

본 논문에서 DC-DC 컨버터는 배터리에서의 에너지 저장 장치를 통하여 적절한 에너지를 충·방전함으로써 일정한 연료이용률을 유지하고 배터리와 인버터 간 전력의 균형을 맞추는 역할을 하게 된다.

#### 3.1 인터리빙 특징

인터리브 방식의 다상 구조는 배터리와 컨버터 사이의 입력 전류의 리플을 감소시켜 DC 링크의 전압 및 전류의 리플을 감소시켜 효율 상승을 유도하고, 부가적으로 능동 소자의 용량과 사이즈를 줄이기 위한 효과를 얻을 수 있다. 리플크기는 단상에 비해 약  $1/N$  배로 감소된다.

다른 특징으로는 시스템 설계에 필요한 인덕턴스와 커패시턴스는 작아져 식(1)처럼 시스템 제작 시 제품의 크기와 비용을 절감할 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} L I^2 \quad E_n = \sum_{k=1}^n \frac{1}{2} L \left( \frac{I}{N} \right)^2 = \frac{1}{6} L I^2 \quad (3\text{phase}) \quad (1)$$

#### 3.2 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 모델링

전압비가 3이하에서는 비절연형 컨버터를 사용하는데 그중 Half-Bridge를 사용하였다. 장점은 경우 다음과 같은 장점으로 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 적용하였다.

- 하나의 인덕터와 커패시터만 필요하다.
- 인덕터의 용량이 작다.
- 스위치의 전압·전류정격이 작다.

#### 3.3 충·방전 모드

충전모드의 경우 DC-DC 컨버터가 벡 모드로 동작하여 직류단이 700V로 일정하게 유지되고, 입력된 전류기준치가 일정하게 흘러 배터리 측으로 에너지를 공급 받는다. 배터리에 충전되는 전압이 일정 범위를 넘어설 경우 전압제어를 하게 된다.

방전모드는 부스트 모드로 동작하여 배터리에서 직류단으로 에너지가 전달되어 필요한 에너지를 배터리로부터 계통 측으로 공급한다.

#### 4. 계통연계형 인버터

그림 2는 계통연계형 인버터의 제어 블록도를 보여주었고 있다. 계통 측 전압과 전류를 동기좌표계로 변환할 경우 직류와 같이 크기 성분만 존재하여, 빠르고 정확하게 제어할 수 있다. 인버터에서는 직류단 전압, 계통 전류를 제어하였다.

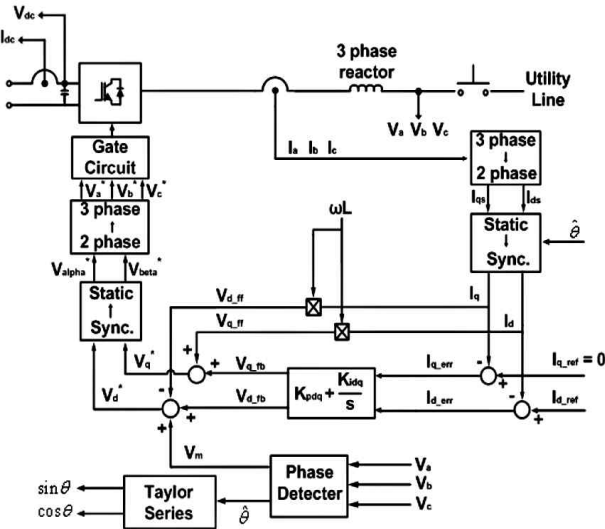


그림2 계통연계형 인버터 제어 블록도

#### 5. 하드웨어 실험 결과

24개의 배터리를 사용하고(배터리전압:245~331V), TI사 DSP28335보드로 시스템을 제어하였다. 충·방전 모드의 변화는 PM150CSD120 IPM으로 제어하였다. 표1의 조건으로 실험을 수행하였다.

표1 실험조건

배터리 전압	245~331V
직류단 전압	700V
계통 전압	380V
컨버터측 인덕터	2mH
인버터측 인덕터	4mH

그림3은 충·방전 모드에서의 컨버터의 상전류이다. 각 상전류는 균형을 이루고 있다. 충전모드는 SOC에 의해 최대 0.25C의 전류로 충전한다. 수식적으로 계산하면 4.1A의 전류로 충전하여 1.35A씩 충전한다.. 방전모드는 15.6A로 충전하여 각 상전류당 1/3인 5.2A씩 방전한다.

배터리에 인가되는 리플전류를 줄이기 위해 배터리와 병렬로 커패시터를 연결하여 그림4와 그림5와 같은 결과를 얻었다.

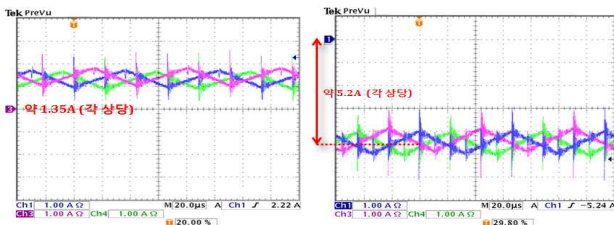


그림3 충·방전 상전류

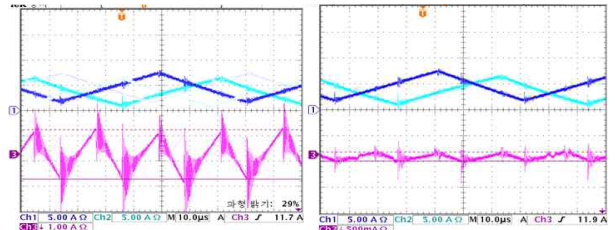


그림4 충전모드 배터리전류 리플

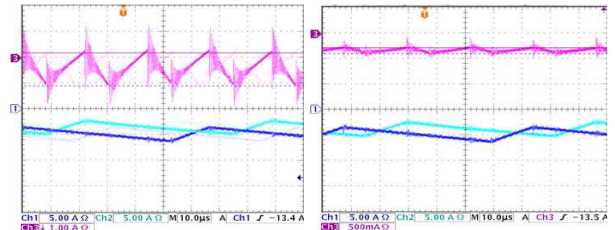


그림5 방전모드 배터리전류 리플

그림4와 5에서 Ch3이 배터리전류의 리플을 보여준다. 충전모드에서는 전류리플이 14%에서 1.1%로 줄어들었고, 방전모드에서는 9.2%에서 0.8%로 줄었다. Ch1과 Ch2는 컨버터의 상전류가 균형을 이루고 있음을 보여준다.

#### 6. 결론

5kW DC-DC 컨버터를 단위 모듈로 하는 3상 인터리브드 컨버터와 인버터를 제작하고, 배터리와 연결하여 배터리 충·방전 시스템에서 전력을 효율적으로 제어하였다. 배터리 영단에 커패시터를 사용함으로써 입력전류와 상전류 리플 크기를 감소시켰다. 감소되는 리플의 크기는 단상에 비해 1/N배로 감소되기 때문에 전체적인 높은 동적 성능을 갖고, 배터리의 수명을 증가시키는 장점이 있다. 또한 DC 링크 전압과 계통 출력 전류를 안정적으로 제어함에 따라서 배터리 시스템에 전력을 효율적으로 제공하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Tomonobu Senjyu, Yasuaki Kikunaga, Atsushi Yona, Hideomi Sekine, Ahmed Yousuf Saber, Toshihisa Funabashi, "Coordinate Control of Wind Turbine and Battery in Wind Power Generator System" IEEE, pp 1-7, July, 2008.
- [2] John Betten, Robert Kollman, "Interleaving dc-dc converters boost efficiency and voltage", Texas Instruments. EDN, pp78, 84, October, 2005.
- [3] Nadia M. L. Tan, Takahiro Abe, Hirofumi Akagi "A 6-kW, 2-kWh Lithium-Ion Battery Energy Storage System Using a Bidirectional Isolated DC-DC Converter" IPEC, pp 46-52, 2010
- [4] 조진상, 정상민, 이진희, 최세완, 한수빈 "연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법" 전력전자학회 논문지, pp.428-435, Oct. 2005.
- [5] 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.