

# 계통연계형 단상 배터리 충전기의 리플 전류 저감기법 비교

안현성 · 이재도 · 차한주  
충남대학교 전기공학과

## Comparison of Ripple Current Reduction methods in Grid Connected Single-phase Battery Charger

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

### ABSTRACT

본 논문은 계통연계형 단상 배터리 충전기에서 필연적으로 발생하는 2고조파 리플 전류에 대해서 분석하였으며, 이 리플 전류를 저감하기 위한 방법들을 제시하였다. 또한, 제시한 기법 중에 LC 공진을 이용한 기법에 대한 실험을 진행하여 성능을 확인하였으며, 해석을 통해 비교하였다.

### 1. 서론

수요자와 소비자 모두 에너지의 효율적인 이용과 고품질의 에너지의 공급을 원하기에 불규칙한 출력을 보상하는 배터리 에너지 저장장치에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 배터리 저장장치는 산업용뿐만 아니라 가정용까지 다양하게 사용되고 있어 효율적인 에너지 사용을 위한 배터리 충전기의 성능을 비롯하여 충전 방전의 효율, 계통전류의 왜곡보상, 배터리 충전 방전 시 발생하는 리플 전류 등에 대한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서 다루고 있는 계통연계형 단상 충전기는 계통 측의 전압과 전류에 의해 배터리에서 120Hz의 리플 전류가 필연적으로 발생하게 되며, 배터리 수명 특성을 고려하여 배터리 리플 전류에 대한 보상이 적절하게 이루어져야 한다. 배터리 리플 전류의 저감기법으로는 인터리브드 방식의 DC-DC 컨버터의 연계, 혹은 전력 변환 시스템 연계를 통해 시스템 제어를 통해 배터리 리플 전류 감소가 제안되었으나<sup>[1][2]</sup>, 시스템의 대형화와 효율의 저하를 이유로 다른 방법의 연구가 요구되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 인터리브드 DC-DC 컨버터를 이용한 저감기법과 전력변환 시스템을 제어하는 저감기법을 서술하며, 추가로 LC 공진회로를 사용한 저감기법에 대해 서술하고 성능을 확인하며, 배터리 충전 방전 시 발생하는 리플 전류에 대해 비교 해석한다.

### 2. 배터리 리플 전류

단상 충전기에서는 계통과 연계 되어 있어 계통 측의 전압과 전류의 관계에 의해 그림 1에서와 같이 배터리 측에서 2고조파 성분이 나타나게 된다. 식(1)부터 식(6)을 통해 배터리 측의 전류에서 2고조파가 발생하는 것을 확인 할 수 있으며, 식(5)의  $I_{DC}$ 는 배터리 입력전류의 직류 성분을 나타내며, 식(6)의  $i_{ac}$ 는 교류성분으로 2고조파의 성분을 보여준다. 그리고 수식에서의  $\Phi$ 는 계통 측의 전압과 전류의 위상차를 나타낸다.

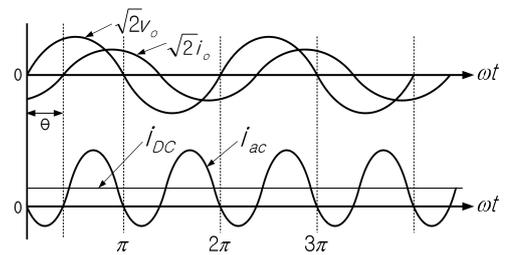


그림 1 단상 배터리 충전기의 2고조파  
Fig. 1 Second harmonic of single battery charger

$$v_o = \sqrt{2} V_o \sin \omega t \quad (1)$$

$$i_o = \sqrt{2} I_o \sin (\omega t - \Phi) \quad (2)$$

$$p_o = v_o i_o = P_o + p_{ac} \quad (3)$$

$$i_{DC} = \frac{P_o}{V_{DC}} = I_{DC} + i_{ac} \quad (4)$$

$$I_{DC} = \frac{V_o I_o}{V_{DC}} \cos \Phi \quad (5)$$

$$i_{ac} = -\frac{V_o I_o}{V_{DC}} \cos (2\omega t - \Phi) \quad (6)$$

### 3. 배터리 리플 전류의 저감기법

2장에서 설명하였듯이 계통연계형 단상 시스템에서는 필연적으로 2고조파가 발생하게 되며 이에 따라서 적절한 저감기법을 통해서 리플 전류를 최소화할 시켜야 한다. 본 3장에서는 인터리브드 DC-DC 컨버터, DC-DC 컨버터 제어를 이용한 저감기법 그리고 제안한 LC 공진회로에 대해 설명한다.

#### 3.1 인터리브드 DC-DC 컨버터

그림 2은 N상 인터리브드 DC-DC 컨버터의 구성을 보여주며, 배터리가 DC-DC 컨버터에 연계되어 있고 DC링크에 병렬로 단상 인버터가 연결된다. 배터리 충전 방전 시스템에서의 인터리브드 방식의 다상 구조는 배터리와 컨버터 사이의 입력 전류의 리플을 감소시킨다. 이 다상 구조의 인터리브드 DC-DC 컨버터는 다상의 전류( $I_{L1}, I_{L2}$ )가 있으며, 이 전류들은 스위칭에 의해 서로 다른 위상이 존재한다. 이 위상은 상의 개수에 따라서 위상이 달라지게 되며, 그 관계는 기본 위상  $2\pi$ 에  $1/N$ 배 만큼 차이가 생긴다.

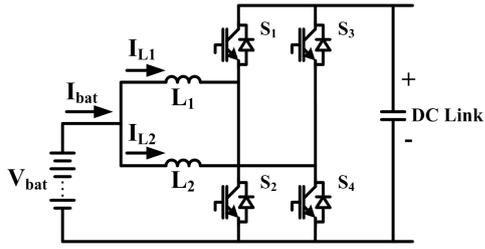


그림 2 N상의 인터리브드 DC-DC 컨버터 구성  
Fig. 2 Structure of N phase interleaved DC-DC converter

### 3.2 DC-DC 컨버터 제어를 통한 저감기법

단상 인버터와 DC DC 컨버터를 연계하여 전력변환 시스템의 제어를 통해 배터리 리플 전류를 저감시키는 기법으로 계통측은 2고조파에 대한 전력을 필요로 하게 되며 이에 따라서 배터리 측의 전압과 전류에 포함되어 있는 2고조파 성분 중 전압의 2고조파 성분을 더 키우며 전류의 2고조파 성분은 감소시키는 기법이다. 그림 3은 시스템의 구성을 보여준다.

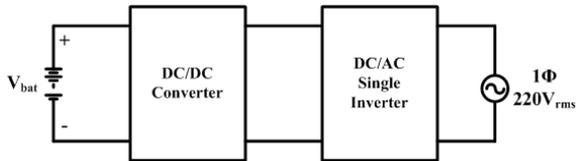


그림 3 DC-DC 컨버터 제어를 이용한 저감기법 블록도  
Fig. 3 Structure of reduction method by using DC-DC converter control

### 3.3 제안된 L-C 공진회로

L C 공진회로를 이용한 저감방법은 배터리와 단상 인버터 사이에 그림 4와 같이 직렬로 L C 병렬공진회로를 추가함으로써 배터리의 리플 전류를 저감하게 된다. 배터리에서 발생하는 2고조파 즉, 120Hz의 성분을 저감하기 위해 L C 공진주파수를 120Hz로 선정하게 된다. 공진주파수는 식(7)을 통해 구할 수 있으며, 이 공진주파수에 맞춰 L과 C를 선정하게 된다.

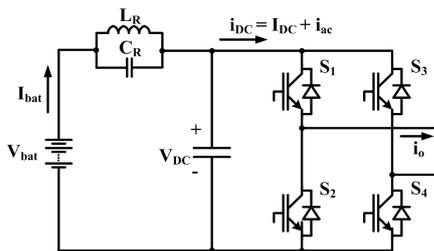


그림 4 L-C 공진회로를 이용한 저감기법 구성  
Fig. 4 Structure of reduction method with L-C resonant circuit

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_R}} \quad (7)$$

### 4. 실험 결과 및 해석

표 1은 본 연구에 사용한 계통연계형 단상 양방향 배터리 충전기의 사양을 보여주고 있다. 이 충전기에 L C 공진회로를 적용하였으며, 그림 5를 통해 L C 공진회로에 따른 리플 전류 저감의 성능을 확인할 수 있다. 그림 5의 (a)와 (b)는 공진회로

적용 후의 배터리 전류(ac성분)와 DC 링크의 전압(ac성분)을 보여주고 있으며, (c)와 (d)는 공진회로 적용 전의 배터리 전류(ac성분)와 DC 링크 전압(ac성분)을 보여주고 있다. 파형을 통해 배터리 리플 전류가 매우 감소한 것을 확인할 수 있으며, 그 값은 리플율 32%에서 2.9%로 감소하였다. 이러한 성능은 해석을 통해서 확인할 수 있다. 식(8)은 배터리 L C 공진회로가 적용 전과 후의 전류에 대한 전달함수를 보여준다. 이를 통해 배터리와 인버터의 DC링크 파라미터를 토대로 볼 때 리플율은 약 1.7%로 매우 감소하는 것을 확인할 수 있다.

표 1 5kW급 계통연계형 단상 양방향 배터리 충전기 사양  
Table 1 Specifications of 5kW grid connected single-phase bidirectional battery charger

정격용량	5,000W
정격전압	1Φ 220V <sub>rms</sub>
정격전류	40A <sub>rms</sub>
L C 필터	L <sub>f</sub> : 450μF C <sub>f</sub> : 50μF
L C 공진회로	L <sub>R</sub> : 6mH C <sub>R</sub> : 300μF

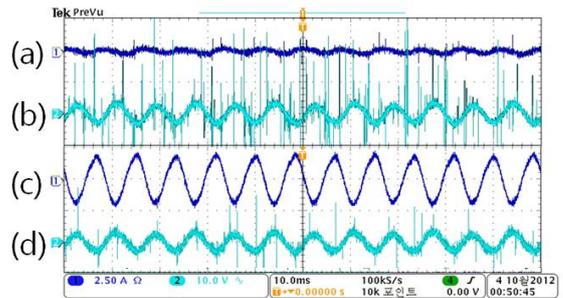


그림 5 L-C공진회로 적용 후의 전류(a)와 전압(b)과 적용 전의 전류(c)와 전압(d)  
Fig. 5 current(a), voltage(b) with L-C resonant circuit and current(c), voltage(d) without L-C resonant circuit

$$i_{ac} = \frac{(S)^2 L_R C_R + 1}{(S)^3 (R_i L_R C_R C_C) + (S^2) (L_R C_R + L_R C_C) + S R_i C_C + 1} i_{DC} \quad (8)$$

### 4. 결론

본 논문에서는 계통연계형 단상 시스템에서 필연적으로 발생하는 2고조파 성분의 리플 전류에 대해서 설명하였으며, 리플 전류를 저감하기 위한 기법들을 설명하였다. 이 중 L C 공진회로를 적용한 방법을 통해서 저감기법에 대한 성능을 확인하였으며, 해석을 통해 실험 결과와 비교하였다.

### 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] Sang Hoey Lee, Tae Pung An, Hanju Cha "Mitigation of low frequency AC ripple in single phase photovoltaic power conditioning systems" 2010 JPE pp. 328-333.