

48V ESS(Energy Storage System)용 1kW급 양방향 충전기에 관한 연구

안효성*, 박규성*, 신덕식*, 박성준**
 한국전자기술연구원*, 전남대학교**

Research on 1kW level bi-directional charger for 48V ESS(Energy Storage System)

Hyo-Seong Ahn*, Gyu-Sung Park*, Duck-Shick Shin*, Sung-Jun Park**
 Korea Electronics Technology Institute*, Chonnam National University**

ABSTRACT

본 연구에서는 세계적인 에너지 공급 이슈 및 환경규제 대응을 위한 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)의 고효율화를 위한 목적으로 하며, 태양광 발전을 포함한 신재생 발전에서 생산된 전력을 일반 상용 전원으로 사용하기 위해 AC Coupled ESS 구성의 1kW급 양방향 충전기를 제안한다. 제안하는 1kW급 양방향 충전기는 배터리와 계통 전원의 절연 및 승압을 위한 절연형 Full-Bridge 양방향 DC/DC 컨버터와 계통 연계형 인버터 그리고 컨버터와 인버터 사이에 부하 변동에 따른 전류제어를 위한 양방향 Buck-Boost DC/DC 컨버터 등 3단계로 구성되어 있다. 충전기의 효율 향상을 위해 양방향 Buck-Boost DC/DC 컨버터를 CRM(critical-conduction mode) 동작이 되도록 설계하였으며, 제안한 토폴로지의 특성 및 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이션으로 구현하였다.

1. 서론

세계적인 에너지 공급 이슈 및 환경규제로 인하여 에너지 관련 문제가 대두되고 있다. 이에 따라 신재생 에너지에 기반을 둔 AC Coupled ESS가 제안되고 있다. ESS는 신재생 에너지원과 그리드 간 전력 배전시스템의 필수 요소로서 그 중요성이 증대되고 있다.

본 연구에서는 AC Coupled ESS에 적용을 위한 3단 구성 방식의 1kW급 양방향 충전기를 설계하였으며, 충전기의 효율 향상을 위해 DC/AC 컨버터 내의 Buck-Boost 컨버터에 CRM 동작이 되도록 설계하여 CCM(Continuous Conduction Mode) 동작을 사용한 경우와 비교하여 손실 및 효과를 검증하였다.

2. 본론

2.1 계통 연계형 AC Coupled ESS PCS 구성

그림 1은 제안하는 1kW급 양방향 충전기의 구성도이다. 양방향 충전기는 48Vdc의 배터리 전압을 인가받아 절연형 풀 브리지 컨버터에서 1:6의 변압비와 스위칭을 이용하여 570Vdc로 승압하고, Buck-Boost 컨버터에서 DC 링크 전압인 410V로 강압 후 양방향 인버터를 통하여 단상 220Vac로 변환하여 계통 연계가 되도록 구성하였다. 또한, 계통 전압을 인가받아 배터리를 충전하는 모드도 가능하다.

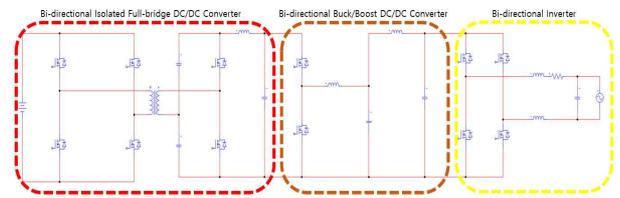


그림 1 ESS용 양방향 충전기의 구성
 Fig. 1 Configuration of bi-directional charger for ESS

2.2 CRM(Critical Conduction Mode) 제어 기법

CRM은 인덕터 전류가 0A로 감소된 시점에 MOSFET을 Turn ON 시켜 전류와 전압이 겹치는 구간을 최소화하여 스위칭 손실을 개선할 수 있는 제어 기법이다. 또한 바디 다이오드가 영 전류에서 Turn OFF 되기 때문에 역 회복 전류가 발생하지 않아 ZVS 또는 Vally Switching 동작을 통해 스위칭 손실을 저감하여 고효율에 적합하다^[1]. 따라서 하드 스위칭으로 인해 스위칭 손실이 큰 Buck/Boost 컨버터에 CRM을 적용하여 효율을 높일 수 있다^[2].

2.3 CCM 및 CRM 적용 ESS용 양방향 충전기 방전 모드 시뮬레이션

그림 2는 PSIM 프로그램을 활용한 1kW급 양방향 충전기 시뮬레이션 블록도이며, Buck-Boost 컨버터 스위칭 모드를 CCM 및 CRM으로 동작시킬 수 있도록 설계하였다. 절연형 풀 브리지 DC/DC 컨버터 및 인버터의 스위칭 주파수는 154kHz로 설정하였다. CCM과 CRM에서의 Buck-Boost 컨버터 인덕터 파라미터 값은 350uH로 설정하였다. 이에 따라 식 (1)을 이용하여 CCM에서 Buck-Boost 컨버터의 스위칭 주파수는 100kHz로 설정하였고, CRM에서 Buck-Boost 컨버터의 스위칭 주파수는 식 (2)를 이용하여 200W에서 1kW 부하 기준으로 82.5kHz에서 61.7kHz까지 가변 될 수 있도록 설정하였다.

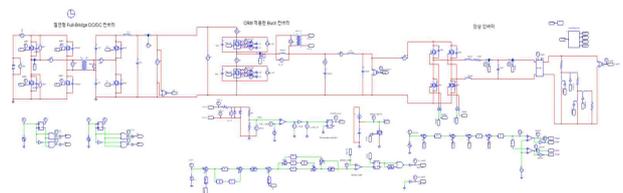


그림 2 1kW급 양방향 충전기 시뮬레이션 블록도
 Fig. 2 1kW level bi-directional charger block diagram

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta i_L} \cdot DT_{SW} \quad (1)$$

$$t_{cr_Buck} = \frac{2L \cdot P_{out}}{V_{out}^2(1-D)} \quad t_{res} = \pi \sqrt{L \cdot C_{oss}} \quad (2)$$

$$f_{sw_Buck} = \frac{1}{t_{res} + t_{cr_Buck}}$$

그림 3은 CCM 및 CRM 동작에 따른 Buck-Boost 컨버터 스위칭 파형이다. 그림 3 (a)는 CCM 동작으로 인한 스위칭 파형이고, 그림 3 (b)는 CRM 동작으로 인한 스위칭 파형이다. 그림 3 (b)를 보면 Q1 스위치가 CRM 동작으로 스위칭 손실을 줄이기 위해 IL이 0이고, ZVS 동작할 때 Turn ON 되는 파형이다.

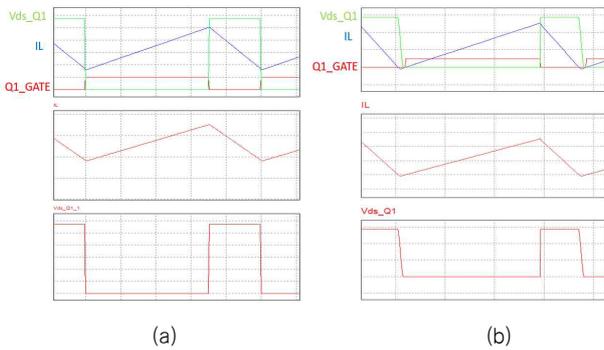


그림 3 (a) CCM 및 (b) CRM 알고리즘을 적용한 방전모드 시뮬레이션 파형 비교
Fig. 3 Comparison of discharge mode simulation waveforms using (a) CCM and (b) CRM algorithms

2.4 부하에 따른 CCM, CRM의 손실 및 인덕터 전류 리플, 효율 비교

그림 4는 부하별 CCM 및 CRM의 스위칭 손실 및 도통 손실과 인덕터 전류 리플, 효율을 비교한 그래프이다. 그림 4 (a)는 CRM을 적용했을 때 스위칭 손실 및 도통 손실이다. 그림 4 (b) CCM 적용했을 때와 비교하면 본론 2.2에서 CRM은 바디 다이오드가 영 전류에서 Turn OFF 되므로 역 회복 전류가 발생하지 않아 다이오드 스위칭 손실에서 큰 차이를 보여준다. 그림 5 (a)는 인덕터 전류 리플을 비교하는 그래프이다. CCM은 인덕터 전류가 연속적으로 흐르는 모드로, 부하가 증가할수록 리플이 CRM보다 작아지는 것을 보여준다. 그림 5 (b)는 부하별 CCM과 CRM 효율을 보여준다. 특히 1kW 부하에서 효율 차이가 1.65% 나타나는데, 이는 CRM을 적용했을 때 효율이 더 높아진다는 것을 보여준다. CCM 및 CRM의 Switch와 Diode 도통 손실과 스위칭 손실 값을 Q1 스위치와 Q2 스위치의 합으로 표 1에 나타내었다.

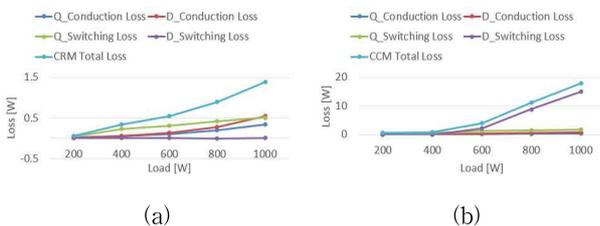


그림 4 (a) CRM 손실 (b) CCM 손실
Fig. 4 (a) CRM losses (b) CCM losses

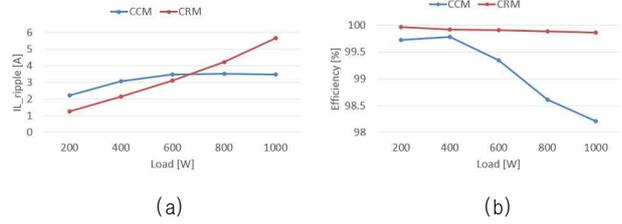


그림 5 (a) 인덕터 전류 리플 비교 (b) CCM 및 CRM 효율 비교
Fig. 5 (a) Inductor current ripple comparison (b) Efficiency comparison of CCM and CRM

표 1 Thermal Module을 이용한 도통 손실 및 스위칭 손실 [W]
Table 1 Conduction loss and switching loss using Thermal Module [W]

CCM	(a) Switch conduction losses	(a) 0.414
	(b) Diode conduction losses	(b) 0.721
	(a) Switch switching losses	(a) 1.71
	(b) Diode switching losses	(b) 15
Total losses		17.572
CRM	(a) Switch conduction losses	(a) 0.333
	(b) Diode conduction losses	(b) 0.549
	(a) Switch switching losses	(a) 0.506
	(b) Diode switching losses	(b) 679u
Total losses		1.389

3. 결론

본 연구에서는 48V ESS용 1kW급 양방향 충전기를 설계하고, 벡/부스트 컨버터에 CCM 알고리즘을 사용한 것과 CRM 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션한 것의 손실을 비교하였다. 시뮬레이션을 통해 CRM을 적용하였을 때 1kW 기준 손실이 17.572W에서 1.389W로 감소 되어 효율이 1.65% 향상된 것을 확인하였다. 차후에는 반대로 계통 전압을 인가받아 배터리를 충전하는 방향으로 손실 및 효율을 검증할 것이다.

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20026705)

참고 문헌

- [1] Huber L, Irving B T, Jovanovi M M. "Effect of Valley Switching and Switching-Frequency Limitation on Line-Current Distortions of DCM/CCM Boundary Boost PFC Converters" IEEE transactions on power electronics : 33 9-347.
- [2] Park Jong-Hu, and Cho Bo-Hyung. "The zero Voltage switching (ZVS) critical conduction mode (CRM) buck Converter With tapped-inductor." IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS - 20.4 (2005): 762-774.