

높은 응답속도와 승/강압비를 갖는 출력 200A/0~5V 배터리 사이클러용 DC-DC 컨버터 개발

이승헌, 김선주, 윤지수, 홍성현, 최세완[†]
서울과학기술대학교

Development of DC-DC Converter for 200A, 5V battery Cycler with high step up/down ratio and high dynamic response

Seung-heon Lee, Sunju Kim, Jisoo Yun, SeongHyeon Hong, Sewan Choi[†]
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문은 낮은 전압에서 대전류 출력이 가능한 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 시스템은 2-stage 구조로 SRC (Series Resonant Converter)와 DBC (Differential Buck Converter)로 구성된다. 제안하는 컨버터의 출력은 두 개의 각 벽 컨버터의 출력 전압의 전위차로 결정되고 낮은 전압에서 대전류 출력과 빠른 응답속도로 승·방전이 가능하다. 본 논문에서 제안하는 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 1kW급 시제품을 제작하였고 91% 최고효율을 달성하였다.

또한 설계사양이 150A로 제한되어 보다 높은 전류를 사용하기 위해서는 추가적인 병렬회로가 필요하다.

대용량에서는 승·강압효율이 낮아서 동작이 불가능 하다.^[1] 그래서 본 논문에서는 낮은 전압에서도 승압이 가능한 양방향 절연형 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 회로는 SRC와 DBC로 구성되며 회로의 이상적인 동작을 위해 SRC는 공진점에서 고정 주파수, 고정 듀티(0.5)로 동작하고 DBC는 전압과 전류를 제어 하면서 200A/4ms의 빠른 응답속도로 CC-CV 제어를 기반으로 동작을 수행한다.

1. 서 론

배터리의 충방전기는 포메이션, 사이클러 두 가지 장비로 분류 된다. 두 장비는 다음과 같은 특징이 있다.

	포메이션	사이클러
전압 범위	2.7~4.3V	0V~5V
전류 범위	50mA ~60A	50mA~500A
제어 단위	일괄 제어	독립 제어

표 1. 배터리 충방전기 특징^[2]

배터리 사이클러의 요구사항 중에 영전압 충·방전을 위한 높은 승·강압비 그리고 높은 응답 성능이 필수적이다. 이것을 해결하기 위해 2-stage 양방향 동작이 가능한 2-stage 회로를 설계하고 알고리즘을 검증하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 단일모듈로 200A 및 4ms 응답성능을 갖는 배터리 사이클러 장비 설계를 제안한다. 이와 같은 장비는 전기적 절연 상태와 다양한 출력에 대응할 수 있는 특성이 필요하며 CC, CV, CP 동작시 빠른 전류 응답 특성이 필요하다.

기존의 유사한 구조를 가진 양방향 절연형 컨버터에서는 0~100V범위로 전압을 제어한다.^[1] 하지만 셀 단위 (3.7V~4.2V)의 전압을 제어할 때는 MCU의 ADC의 분해능 낮춰 설계를 하더라도 본 응용보다 세밀한 전압 제어가 불가능 하다.

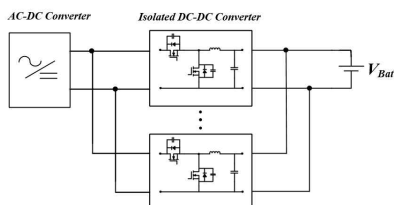


그림 1. 양방향 단일 DC-DC 벽 컨버터 사이클러

2. 본 론

2.1 제안하는 5V급 배터리 사이클러 회로

본 논문에서 제안하는 양방향 절연형 DC-DC 컨버터 회로는 그림 2와 같다. 그림 3은 제안하는 컨버터의 동작 시퀀스이다. 그림 4는 실제 제작한 시제품 회로이다. 그림 2의 DBC 회로는 Buck 1은 인덕터(L_{L1})의 전류와 출력 커패시터(V_{C1})의 전압 제어하고 Buck 2는 출력전압 V_{C2} 를 30V 고정 전압으로 제어한다.

DBC회로는 스위치가 하드 스위칭을 하는 회로이기 때문에 입력전압, 스위칭 주파수가 증가하면 스위칭 손실 증가한다. 따라서 SRC 회로의 출력을 하프 브릿지로 선정하고 2차측을 센터 탭으로 선정하는 것으로 높은 강압비로 DBC 입력전압 낮춰 회로의 손실을 저감하여 대전류에서 보다 높은 효율을 제안한다. SRC회로의 변압기를 설계하면서 선정한 공진 주파수와 동일한 스위칭 주파수로 동작한다면 SRC회로의 모든 스위치 소자는 ZVS 턴 온, ZCS 턴 오프 동작이 모두 가능하다.^[1]

DBC의 출력전압(V_{BAT})은 Buck 컨버터 각각의 출력전압(V_{C1} , V_{C2})의 전위차에 의해서 결정된다. 배터리를 직접 연결했

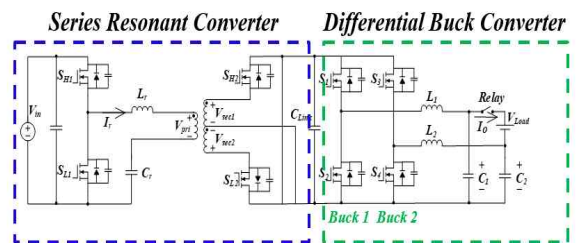


그림 2. 양방향 절연형 DC-DC Differential Buck컨버터

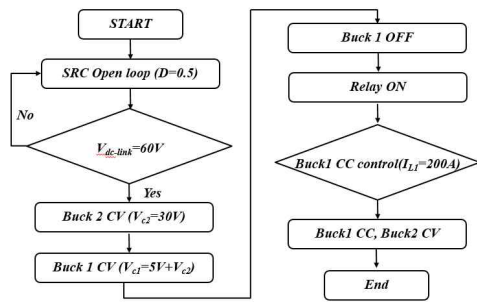


그림 3. 동작 시퀀스

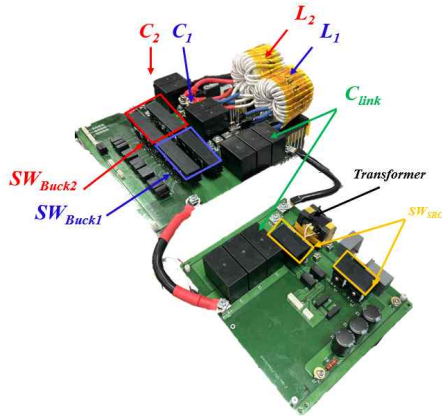


그림 4. 1kW 배터리 사이클러 프로토타입

을 때는 V_{C1} 의 전압은 V_{BAT} 와 V_{C2} 의 합으로 결정되어 I_{L1} 전류만을 제어하게 된다. 따라서 각각의 벡 컨버터의 출력전압(V_{C1} , V_{C2})이 같으면 V_{BAT} 이 저전압($V_{BAT} \approx 0V$)이 되므로 매우 높은 승·강압비를 갖는다.

2.2 응답속도 확보를 위한 DBC 입력전압 분석

효율을 높이기 위해 SRC 변압기의 턴비를 높게 설정하여 높은 강압비로 DBC의 입력전압을 낮게 선정하였지만 입력전

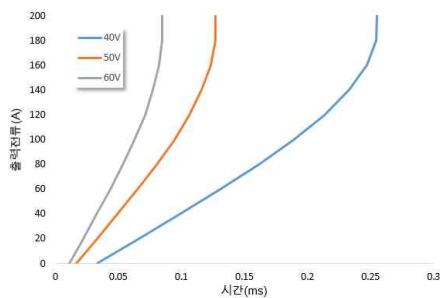


그림 5. 입력전압에 따른 배터리 전류 응답속도 분석

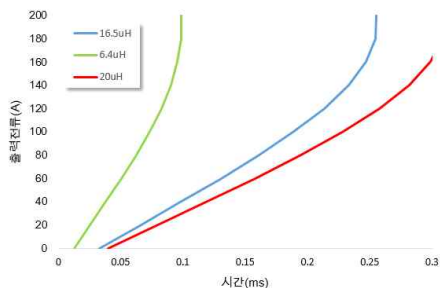


그림 6. 인덕턴스에 따른 배터리 전류 응답속도 분석

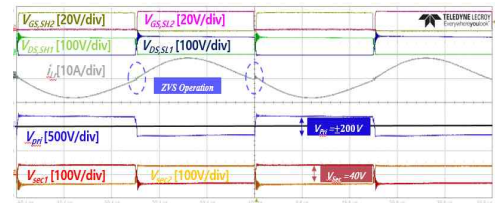


그림 7. SRC 정상상태(1kW 부하)

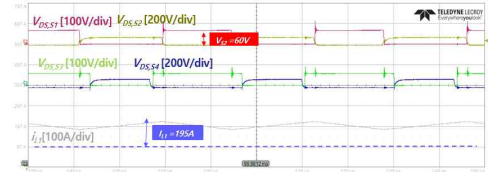


그림 8. DBC 정상상태(1kW 부하)

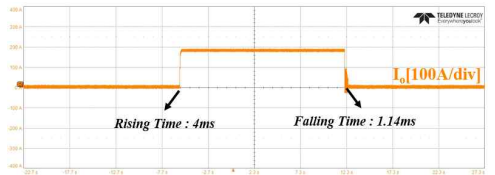


그림 9. 응답속도 측정 ($L1=16.5\mu H/L2=34.3\mu H/V_{dc}=60V$)

압이 낮아지면 응답속도도 같이 낮아지게 된다. 그래서 초기에는 그림 5와 같이 40V에서 충분한 응답속도를 확보할 수 있다고 판단하였으나, 회로의 기생성분으로 인해 충분한 응답속도를 확보하지 어려웠다. 이를 해결하기 위해 입력 전압에 따른 이론적인 응답속도를 확인하였고 입력전압 60V에서 설계한 응답속도를 확인할 수 있었다. 인덕턴스를 증감하며 응답속도를 확인하였으나 실험결과 입력전압에 따른 응답속도가 크게 바뀌는 것을 확인할 수 있었다.

2.3 실험 결과

제안하는 컨버터의 성능을 검증하기 위해 1kW급 시작품을 제작하였다. 그림 7는 정상상태의 SRC 회로의 스위치 전압과 입력전압 공진 전류 파형으로 회로 전체의 스위치가 ZVS 턴 온 및 ZCS 턴 오프를 성취한다. 그림 8에서는 정상상태의 DBC 회로의 스위치 전압과 및 출력 전압 출력 전류 파형으로 정격 동작을 확인 할 수 있다. 그림 9는 DBC의 인덕턴스 및 입력전압을 개선하는 것으로 응답속도 198A/4.05ms를 달성하였다.

3. 결 론

본 논문에서 배터리 셀 단위의 200A급 양방향 배터리 사이클러를 제안하였다. 제안한 회로는 2-stage인 SRC와 DBC로 구성되었고, 낮은 분해능으로 세밀한 전압제어가 가능하며 빠른 응답속도(198A/4.05ms)를 만족한다.

이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC3.0 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Iksun Kim, "15kW Isolated DC-DC Converter for Charging / Discharging from 0V to 100V", Proceedings of the KIPE, Vol. 76, No. 4, pp. 255-256, 2020, Aug.
- [2] 정대택, "다이오드 모듈을 이용한 영전압 충방전 회로" 특허 번호[10-1336763], July 10, 2012