

가정용 직류 배전 시스템을 위한 양방향 절연형 전지 충전기

류명효*, 백주원*, 김흥근**
 * 한국전기연구원, ** 경북대학교

Bi-directional Isolated Battery Charger for Residential DC Distribution Systems

Myunghyo Ryu*, Juwon Baek*, Heungkeun Kim**

* Korea Electrotechnology Research Institute, ** Kyungpook National University

ABSTRACT

본 논문은 가정용 DC 배전 시스템을 위한 DAB 컨버터 구조의 양방향 절연형 배터리 충전기를 제안한다. 가정용 DC 배전 시스템은 양방향 AC-DC 정류기, 신재생 에너지원, 에너지 저장 시스템, 가정용 가전기기, 조명 등으로 구성되어진다. 가정용 DC 배전 시스템의 안정적인 동작을 보장하고 부하에 안정적인 전력을 공급하기 위하여 에너지 저장 시스템은 가정용 DC 배전 시스템에 필수적으로 요구되어진다. 다양한 양방향 DC-DC 컨버터 중에서, DAB 컨버터는 고주파 변압기로 절연된 고효율의 승압/강압이 가능한 양방향 DC-DC 컨버터이다. 본 논문에서는 DAB 컨버터의 기본적인 동작 특성과 설계 원리를 설명하고 가정용 DC 배전 시스템을 위한 배터리의 충/방전 알고리즘을 제안한다. 제안한 배터리 충전기의 성능을 검증하기 위하여 3kW(380Vdc 입력, 150-200Vdc 출력) DAB 컨버터를 제작/테스트하였다.

1. 서론

근래에는 태양광 에너지, 풍력 에너지, 전지, 연료전지, 슈퍼커패시터 등의 신재생 에너지원과 에너지 저장 시스템의 증가로, 직류 배전 기술이 각광을 받고 있다. 기존의 교류 배전 시스템과 비교하여 직류 배전 시스템에서, 가정용 기기들은 다이오드 정류기나 역률보상회로와 같은 교류-직류 변환기, 신재생 에너지원과 에너지 저장 시스템은 직류-교류 컨버터 또는 교류-직류 컨버터가 요구되어지지 않는다. 이는 전력변환 단계와 소자 수를 줄임으로써 시스템을 더 효율적이고 신뢰할 수 있게 한다. 연구 결과에 따르면, 교류 배전 시스템에 비하여 직류 배전 시스템에서의 전력변환 효율은 약 8% 증가하고, 소자 가격은 약 25% 감소하는 것으로 알려져 있다.^[5]

개발된 직류 배전 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 380Vdc의 직류 배전 시스템의 제안된 테스트베드는 양방향 AC-DC 정류기, 신재생 에너지원, 에너지 저장 시스템, 가전기기, 조명 등으로 구성되어 있다. 직류 배전 시스템의 안정적인 동작을 보장하고 부하에 양질의 전원을 공급하기 위하여, 양방향의 에너지 저장 시스템이 요구되어진다. 가장 연구가 많이 진행되고 있는 양방향 직류-직류 컨버터는 비절연형의 Buck-Boost 컨버터, 절연형의 Boost/full-bridge 컨버터, Boost/phase-shift full-bridge 컨버터^[1], DAB 컨버터^[2,4], CLLC 컨버터^[3] 등이다. 그 중에서 DAB 컨버터는 고주파 변압기에

의해 절연된 승압/강압의 양방향 전력 변환이 용이한 컨버터로써, 적은 소자 수와 소프트 스위칭 특성은 하이브리드 전기 자동차, 배전 시스템, 전기 항공기, 무정전 전원장치 등의 다양한 분야에 적용가능하게 한다.^[2,4]

본 논문에서는 180Vdc 전지 시스템과 정류된 380Vdc의 직류 버스를 접속하는 고효율 양방향 DAB 컨버터를 소개한다. 정격 전력은 3kW이고, 직류 버스 전압은 360Vdc에서 400Vdc로 가변하며, 전지 전압 범위는 150Vdc에서 200Vdc이다. 전지 충전기의 충/방전은 입력 전압의 조건에 의해 결정되도록 설계하였다. 또한 충전모드에서는 충전 전류의 크기는 출력 전압 조건에 의해 결정되고, 방전모드에서의 운전은 입력 전압 조건과 정류기의 상태에 의해 결정된다.

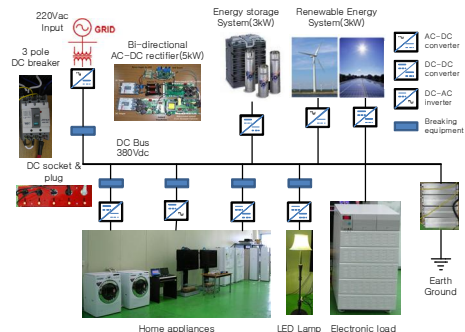


그림 1 380Vdc 직류 배전 시스템의 구성도
 Fig. 1 Configuration of 380Vdc DC distribution system

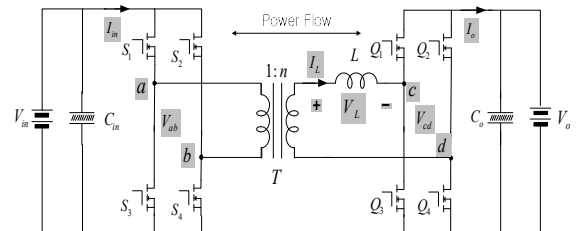


그림 2 Dual Active Bridge 컨버터
 Fig. 2 Dual Active Bridge Converter

2. 가정용 직류 배전 시스템을 위한 양방향 DAB 컨버터

일반적인 DAB 컨버터는 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 DAB 컨버터는 고주파 변압기에 의해 절연된 양방향 DC-DC

컨버터이며 일차 측과 이차 측은 풀-브리지 스위치로 구성되며 각각의 스위칭은 위상 천이(phase-shift) 방식으로 동작함으로써 인덕터에 에너지를 충/방전한다. DAB 컨버터는 양방향 동작, 높은 변환 효율, 높은 신뢰성, 높은 전력 밀도가 쉽게 구현된다.

그림 1에서와 같이 가정용 직류 배전 시스템의 직류 버스는 양방향 정류기에 의해 380Vdc의 정격 전압을 제어하고, 신재생 에너지 시스템과 가전기기, 조명 등의 부하에 전력을 공급한다. 여기에 에너지 저장 시스템은 전체 시스템의 안정적인 동작을 위하여 직류 버스와 연결되어지며 그림 3의 제어 알고리즘에 의해 전지 시스템의 충/방전 모드를 결정한다.

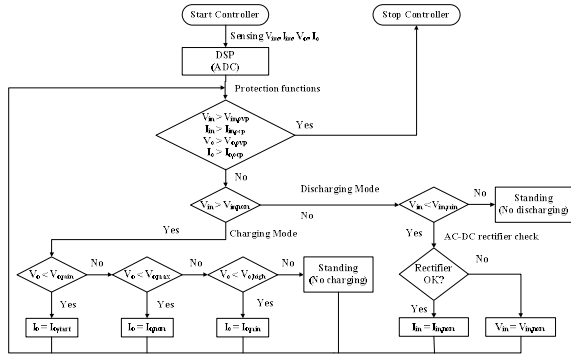


그림 3 전지 충전기의 제어 알고리즘
Fig. 3 Control Algorithm of the Battery Charger

3. 실험 결과

가정용 직류 배전 시스템용 전지 충전기의 성능을 검증하기 위하여 3kW DAB 컨버터를 제작하여 테스트하였다. 그림 4는 전지 충전기의 양방향 동작, 즉 10A의 충전 운전과 5A의 방전 운전 테스트를 위한 장치 구성도이다. 스위칭 주파수는 50kHz, 일, 이차 측 스위치는 IXKR47N60C3, 변압기 권선비는 15:8(EE6565), 이차 측 인덕터 값은 31uH이다. 그림 5는 충전 운전과 방전 운전시의 DAB 컨버터의 주요 파형(일차 측 인버터 출력 전압, 이차 측 인버터 출력 전압, 인덕터 양단 전압, 전류)을 나타낸다.

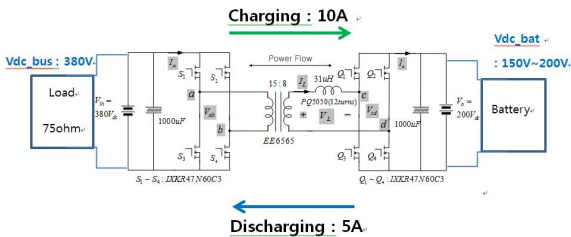


그림 4 전지 충전기의 양방향 동작 구성도
Fig. 4 Test Setup of the Battery Charger

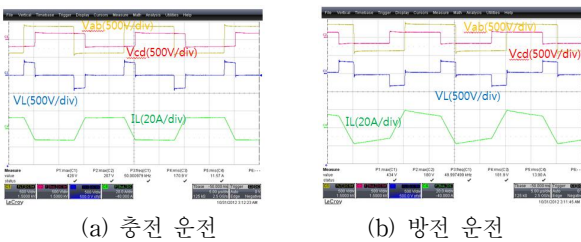


그림 5 정상 상태 실험 결과 파형(5usec/div.)
Fig. 5 Experimental Results at Steady-State(5usec/div.)

아래 그림 6은 전지 충전기의 양방향 동작 결과 파형을 나타낸다. 충전 운전에서 방전 운전, 방전 운전에서 충전 운전으로의 양방향 동작이 원활하게 이루어짐을 알 수 있으나 운전 변경시에 soft start 구간에 의해 정상 상태 도달 시간이 조금 지연되는 것을 알 수 있다.



(a) 충전 운전 (b) 방전 운전

그림 6 양방향 동작 실험 결과 파형(500msec/div.)
Fig. 6 Experimental Results at Bi-directional Operation (500msec/div.)

4. 결론

가정용 직류 배전 시스템의 안정적인 운전을 보장하고 부하에 양질의 전력을 공급하기 위하여, 양방향 절연형 에너지 저장 시스템이 요구되어진다. 본 논문에서는 3kW(380Vdc 입력 전압, 150-200Vdc 출력 전압, 50kHz 스위칭 주파수)급의 양방향 절연형 전지 충전기를 제안하고, 설계/테스트하였다. 몇 가지 실험을 통하여 제안한 전지 충전기는 양방향 운전에 적합하며, 전지 충/방전에 적합함을 검증하였다. 최종적으로 가정용 직류 배전 시스템과의 연계 테스트를 통하여 제안한 전지 충전기의 타당성을 검증하고, 제안한 제어 알고리즘의 실현 가능성을 검토할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Tsai-Fu, Yung-Chu Chen, Jeng-Gung Yang, and Chia-Ling, "Isolated Bi-directional Full-Bridge DC-DC Converter with a Flyback Snubber," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 7, pp. 1915 - 1922, Jul. 2010
- [2] Rik W. A. A. De Doncker, Deepakraj M. Divan, and Mustansir H. Kheraluwala, "A Three-Phase Soft-Switched High-Power-Density dc/dc Converter for High-Power Applications," *IEEE Trans. Industry Applications.*, vol. 27, no. 1, pp. 63-73, Jan./Feb. 1991.
- [3] J.H. Jung, H.S. Kim, M.H. Ryu, and J.W. Baek, "Design Methodology of Bidirectional CLLC Resonant Converter for High Frequency Isolation of DC Distribution Systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 4, pp. 1741 - 1755, Apr. 2013.
- [4] R. T. Naayagi, A. J. Forsyth, and R. Shuttleworth, "High-Power Bidirectional DC-DC Converter for Aerospace Applications," *IEEE Trans. on Power Electron.*, vol. 27, no. 11, pp. 4366 - 4379, Nov. 2012.
- [5] T.F. Wu, C.H. Chang, L.C. Lin, G.R. Yu, and Y.R. Chang, "DC-Bus Voltage Control with a Three-Phase Bi-directional Inverter for DC Distribution Systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 4, pp. 1890 - 1899, Apr. 2013.