플로우배터리 충방전을 위한 이중 풀브릿지 컨버터 운전에 관한 연구

주재연, 조영훈, 최규하
건국대학교 전력전자 연구실

A Study of Driving Dual Full-bridge Converter for Charging and Discharging Flow Battery

Jaeyeon Ju, Younghoon Cho, Gyu Ha. Choe
Power Electronics Lab., Konkuk Univ.

ABSTRACT

This paper is proposed dual full bridge converter to drive flow battery used battery energy storage system. The system which is proposed has additional legs at each leg to perform stripping algorithm which is necessary to drive flow battery system. The proposed system is verified by simulation.

1. 서론

급격한 전력 수요의 변화에 따른 첨두부하 삭감 및 부하 평준화를 위해 전력변환장치를 이용한 에너지저장장치에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 배터리를 이용한 에너지저장장치가 가장 많이 대중화되고 있으며, 주로 에너지 밀도가 높은 리튬 계열의 배터리가 사용되고 있다. 그러나 리튬 배터리는 가격이 높아 시스템 전체의 경제성을 저하시키는 원인이 된다. 또 다른 이차전지 중 하나인 플로우배터리의 경우 리튬 배터리에 비해 대용량 시스템 구축 시 경제적인 측면에서 더 유리하다. 뿐만 아니라 플로우배터리의 경우 리튬계열 배터리에 비해 수명이 월등히 길며 독성이 없어 안전성 측면에서도 우수하다는 장점을 가진다.[1]

플로우배터리는 외부탱크에 저장된 두 전해액이 펌프를 통해 멤브레인으로 전달되어 산화환원반응을 일으키면서 전기를 충전 또는 방전한다. 이 과정에서 전극에 생성물 혹은 반응물이 남게 되는데 이는 전지의 효율 저하로 이어지게 된다. 따라서 이를 방지하기 위해 전지를 단락시키는 스트립 기능을 수행하게 된다. 본 논문에서는 레독스플로우 배터리의 운전을 위해 스트립 기능을 구현할 수 있는 이중 풀브릿지 컨버터의 구조와 운전에 대하여 연구하였다.

2. 이중 풀브릿지 컨버터

1.1 이중 풀브릿지 컨버터

풀브릿지 컨버터는 다른 dc dc 컨버터와는 달리 역전압을 인가할 수 있는 특징을 가진다. 제안하는 회로는 이러한 풀브릿지의 각 단에 동일한 레그를 추가하여 인터리빙이 가능하도록 구성하였다. 그림 1은 이중 풀브릿지 컨버터의 전체 구성을 나타낸다.

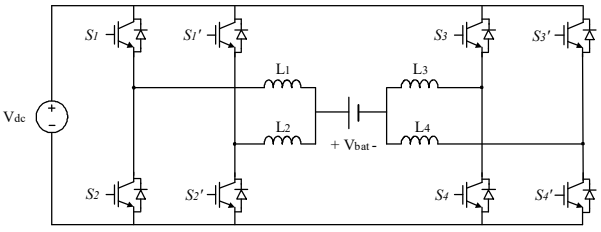

그림 1 이중 풀브릿지 컨버터 회로도
Fig. 1 A circuit of dual full-bridge converter

이중 풀브릿지 컨버터의 입력단에 직류전압 V_{dc}가 인가되면 스위치 S_1, S_4와 S_2, S_3는 서로 상보적으로 온오프 된다. 이 때 S_1', S_2', S_3', S_4'는 S_1, S_2, S_3, S_4와 각각 180도의 위상차를 가지며 동작한다. 따라서 S_1과 S_3', S_2와 S_4', S_3와 S_1', S_4와 S_1'가 동시에 동일하게 온오프 동작을 수행한다. 그림 2는 스위치 S_1과 S_4가 온 상태일 때 L_1과 L_3에 흐르는 전류의 흐름을 나타낸다. 이 때 배터리에는 순방향으로 전압이 인가된다.

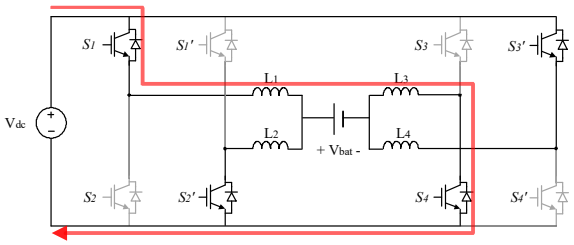

그림 2 이중 풀브릿지 컨버터의 전류 흐름
Fig. 2 A current flow of dual full-bridge converter

1.2 스트립(strip) 사이클

플로우배터리는 전동기로 구동되는 펌프와 순환기를 이용하여 탱크 내에 저장되어 있는 전해액을 멤브레인으로 공급받는다. 이동한 전해액은 멤브레인에서 산화환원반응을 일으키게 된다. 이러한 반응을 거치면 전해액 속의 전해질이 서로 반응하여 생성물을 만들게 되며 이 물질들이 전극에 달라붙어 플로우배터리의 내부저항을 증가시키는 원인이 된다. 이는 배터리의 효율을 저하시킬 뿐만 아니라 수명을 단축시키게 된다. 때

문에 반드시 스트립 사이클을 추가하여 배터리를 완전히 방전시킴으로써 전극에 달라붙은 생성물을 제거하는 과정이 필요하다.

스트립 기능은 수동적인 방법과 능동적인 방법으로 나뉜다. 수동적인 방법은 스택에 지속적으로 전해액을 펌핑하여 전극을 씻어내는 방법으로 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 능동적인 방법의 경우 배터리 양단을 단락시켜 배터리 내부의 낮은 션트저항을 통해 인가된 전류가 전극을 씻어내는 방법으로 전극에 남아있는 생성물을 빠른 시간 내에 효과적으로 제거할 수 있다.

이러한 스트립 사이클은 최소 3 또는 4 사이클마다 한 번씩 수행되어야 한다. 그러나 일반적인 풀브릿지 컨버터의 경우 스트립 사이클을 위한 폐루프가 형성되지 않아 플로우배터리의 충방전 운전을 위해 사용하기에는 적합하지 않다. 그러나 이중 풀브릿지 컨버터의 경우 L_1과 L_4, L_2와 L_3를 통과하는 폐루프를 형성하여 필요한 경우 배터리의 양단을 단락시켜 인덕터에 저장된 전류를 통해 스트립 기능을 수행할 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과분석

그림 3은 이중 풀브릿지 컨버터가 배터리를 30A로 충전하는 경우 배터리로 입력되는 전류와 인덕터 전류를 나타낸다. 이때 스위치는 유니폴라 모듈레이션을 적용하여 동작한다. 같은 방식으로 그림 4는 이중 풀브릿지 컨버터가 배터리를 10A로 방전할 때의 배터리 입력전류와 인덕터 전류를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 플로우배터리의 구동 시 필요한 스트립 기능 수행에 적합한 이중 풀브릿지 회로를 제안하였다. 회로의 동작은 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 이를 통해 스트립 사이클이 수행되어야 하는 플로우배터리의 운전에 적합한 토폴로지임을 확인하였다.

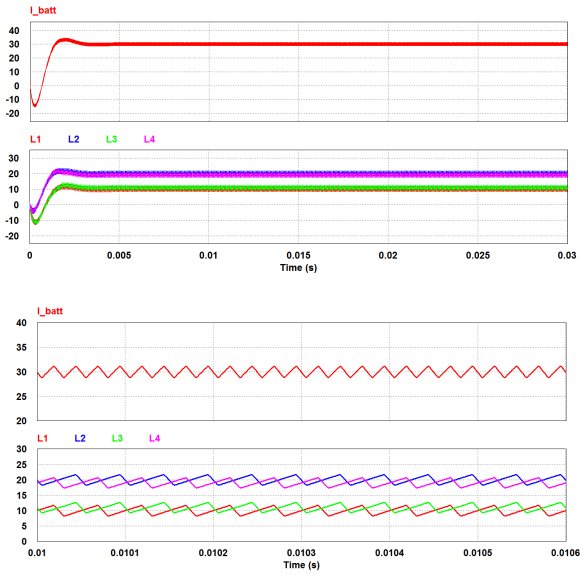

그림 3 충전 시 배터리 입력 전류와 인덕터 전류
Fig. 3 Battery and inductor current to charge

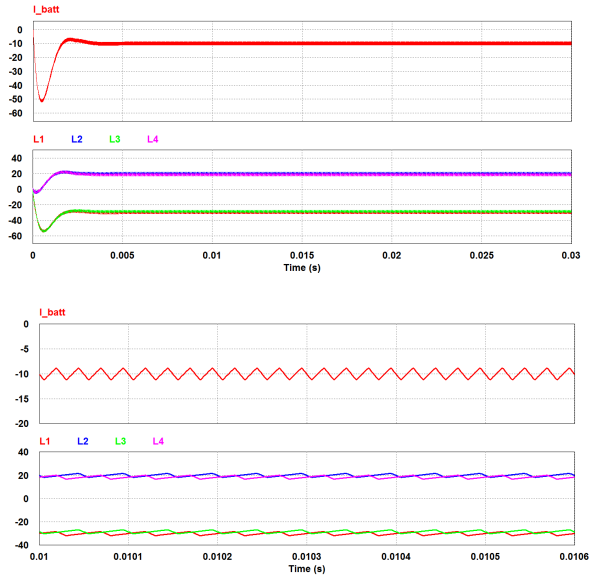

그림 4 방전 시 배터리 입력 전류와 인덕터 전류
Fig. 4 Battery and inductor current to discharge

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF 2013R1A1A2013256)

참 고 문 헌

[1] J.M. Choe, "Design and Test of ESS DC DC Converter using Zinc Bromine Redox Flow Battery for Stand alone Microgrid", The Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol.4, 106 115, 2014, April.

[2] Gu, B., Lin C. Y. Chen, B., Dominic, J., Lai, J. S. "Zero voltage switching PWM Resonant Full bridge Converter with Minimized Circulating Losses and Minimal Voltage Stresses of Bridge Rectifiers for Electric Vehicle Battery Chargers.", Power Electronics, IEEE Trans on., Vol. 28, 4657 4667, 2013, Oct.