

배터리 팩 시험기 용 3상 양방향 풀브릿지 컨버터 CC-CV 제어 최적 설계

권용훈, 성호재, 현승욱, 원충연
성균관대학교

CC-CV Optimization for 3-Phase Full-Bridge Converter for Battery Pack Testing System

Yong Hoon Kwon, Ho Jae seong, Seung Wook Hyun, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리 팩 시험기에 사용되는 토폴로지인 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터의 CC CV 최적 설계에 대해 제안한다. 대용량 배터리 팩 시험기를 구성하는 소자들은 높은 정격이 요구되고 그에 따라 부피가 커지는 단점이 있다. 이러한 단점을 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터를 사용하여 보완을 할 수 있지만 까다로운 회로 해석이 요구된다. 이 배터리 팩 시험기에 사용되는 복잡한 토폴로지를 스위칭 방식에 따라 간단하게 모델링하고, 그에 맞게 정전류 및 정전압 제어 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과를 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 이산화탄소 배출 규제나 연비 규제가 까다로워져 기존의 기술만으로는 충족시키기 곤란한 목표치가 설정되고 있으며 이에 대한 대응 기술 개발이 요구되는 시점이다. 이에 따라 하이브리드 자동차와 전기자동차 상용화가 이루어지고 있지만 이러한 자동차는 주행거리 한계라는 최대의 단점이 있다. 따라서 친환경 자동차에 사용되는 대용량 배터리 팩의 수요가 늘어나고 있다. 배터리를 제어하기 위해 충전 및 방전 곡선을 파악해야 하는데 이러한 특선 곡선을 얻기 위해서는 양방향 DC DC 컨버터가 사용되는 배터리 팩 시험기가 필요하다.

본 논문에서는 배터리 팩 시험기에 사용되는 DC DC 컨버터를 간단하게 모델링하여 보다 쉽게 컨버터를 제어하는 방법을 제안한다. 컨버터의 스위칭 방식을 통한 모드 분석 및 그에 맞는 PWM 방식을 통해 회로를 등가화 하고 CC CV 제어를 수행한다.

2. 본 론

2.1 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터

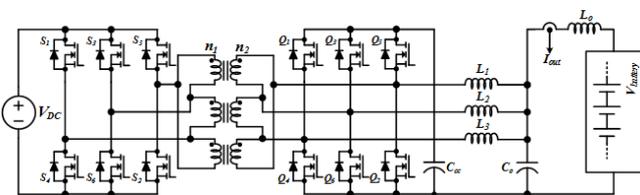


그림 1 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터
Fig. 1 Bi-directional 3-phase full-bridge converter

그림 1은 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터를 나타낸다. 이 컨버터는 전력이 1차 측에서 2차 측으로 전달 될 때 충전 모드로 동작을 한다. 이 모드에서 스위치 Q_2, Q_4, Q_6 는 다이오드 정류기로 동작이 되고 인덕터 L_1, L_2, L_3 와 커패시터 C_0 는 필터로 동작을 하기 때문에 벡 컨버터로 등가화 할 수 있다. 즉 전압원 V_{DC} 는 변압기의 턴수 비에 비례하여 2차측에 인가되는 전압원으로 볼 수 있으며, 이 전압원과 인덕터 L_0 와 배터리가 직렬 연결로 이루어진 하나의 회로로 볼 수 있다. 이 회로를 스위칭 방식에 따라 모드 분석을 하면 3상 구형파 인버터와 같은 시스템으로 해석을 할 수 있다. 즉 부하에 전원 전압의 1/3 또는 2/3 크기 전압에 변압기 턴 수에 비례한 값의 전압이 인가된다.

2.2 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터 전류 제어(CC)

3상 양방향 풀 브릿지 컨버터 부하에 인가되는 전압 레벨을 스위칭 방식에 따라 제어 할 수 있다. PWM 방식을 통한 듀티 값의 변화를 이용하여 평균 출력 전압을 구하고 이 평균 출력 전압은 입력전압, 턴수 비, 듀티 비 곱으로 표현이 가능하다. 이에 따라 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터의 충전 상태를 벡 컨버터와 유사하게 모델링 할 수 있다. 이러한 방식으로 모델링된 회로의 인덕터에 흐르는 전류를 제어하며 배터리가 가지는 전압을 전압보상을 통해 배터리 전압을 상쇄한다. 다음의 과정을 통해 제어 시스템을 단순하게 컨버터 출력전류와 RL 인덕터 필터로 모델링 할 수 있다.

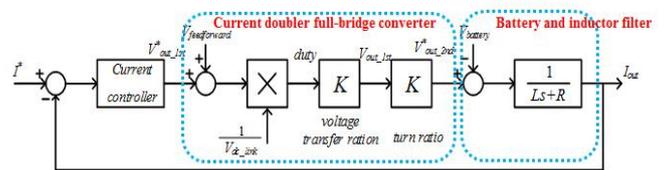


그림 2 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터 전류 제어 블록도
Fig. 2 Current controller block diagram for 3-Phase full-bridge converter

다음 수식은 전류 제어를 하기 위한 PI 제어기, 인덕터 그리고 ESR의 전달함수를 구하고 영점과 극점을 상쇄시키는 pole zero cancellation 기법을 사용한 수식이다. (1) 수식에서는 PI 제어기의 전달 함수를 구한 것이다. (2) 수식에서는 PI제어기, 인덕터와 ESR의 전달함수를 구한 것이다. 최종적으로 수식을 정리하면 제어기의 이득 값(영점)과 R, L 값(극점)을 상

왜시킴으로써 설계한다. 이를 통해 제어기의 이득 값으로만 전류 제어의 특성을 결정짓고 시스템 자체적인 특성을 제거할 수 있음을 알 수 있다.

$$G_{II}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \left(T_c = \frac{K_p}{K_i} \right) \quad (1)$$

$$G_o(s) = K_p \left(\frac{s+1/T_c}{s} \right) \frac{1}{Ls+R} \quad (2)$$

$$= K_p \frac{s + \frac{K_i}{K_p}}{s} \frac{1}{s + \frac{R}{L}}$$

2.3 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터 전압 제어(CV)

전류 제어기를 통해 출력되는 일정한 전류가 배터리로 흐르게 되고 배터리가 완전 충전 될 때까지 충전이 된다. 하지만 계속해서 배터리에 전류를 흘려 충전을 하면 과 충전이 되기 때문에 배터리가 과충전되거나 수명 단축이 되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 배터리 전압이 일정한 값에 도달하면 흐르던 전류가 서서히 감소하면서 일정전압이 되면 정전압모드로 변경된다. 그림 3은 정전류, 정전압 제어 블록도이다. 과 충전이 발생하여 배터리 전압이 특정한 값을 초과하지 못하도록, 정전압 모드로 변경되어야 하므로 배터리 레퍼런스 전압을 설정하고 리미터를 걸어 전압을 제어한다.

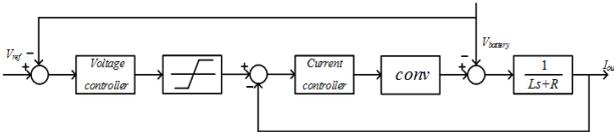


그림 3 CC-CV 제어 블록도
Fig. 3 CC-CV controller block diagram

3. 시뮬레이션

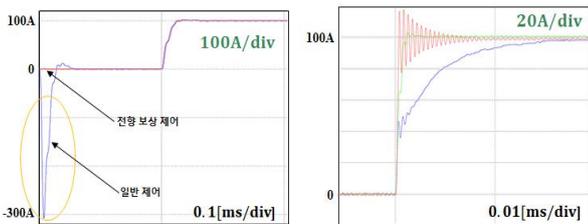


그림 4 전류 제어 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Current control simulation

그림 4은 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터의 전류 제어 시뮬레이션 결과이다. 일반 제어 시스템으로만 시뮬레이션 했을 때 그림과 같이 배터리 전압 값이 초기 오버슈트로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 이 배터리 전압을 없애기 위해 배터리 전압을 전향 보상함으로써 오버슈트를 상쇄시키고 전류를 안정적으로 제어하는 시스템을 설계하여 전류 제어가 잘 되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 스위칭 주파수, 인덕터와 저항 값을 계산하여 제어기의 이득 값을 선정하고 그에 따른 각각의 제어 특성을 확인할 수 있다.

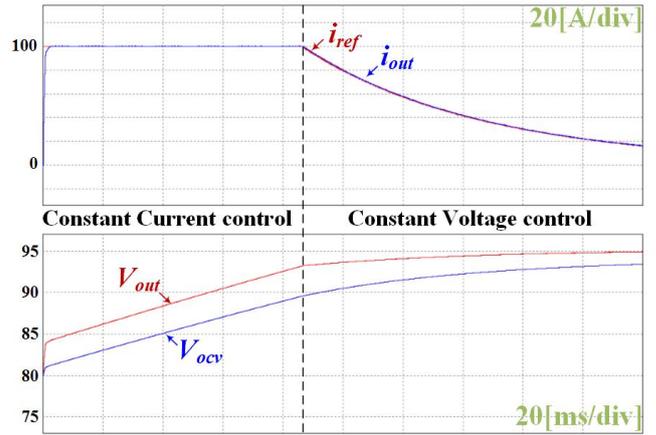


그림 5 CC-CV 제어 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results of CC-CV control

그림 5는 배터리 팩 시험기에 사용되는 3상 양방향 풀 브릿지 컨버터와 배터리를 연결하여 시뮬레이션을 통해 얻은 CC CV 제어 결과 파형이다. 시뮬레이션 결과를 보면 정전류 제어 구간에서는 전류 제어기를 통해 출력되는 100A가 배터리에 흘러 배터리가 충전되는 것을 알 수 있다. 이 때 출력 전류는 짧은 과도상태를 거쳐 전류 레퍼런스 값을 추종하는 것을 볼 수 있다. 또한 배터리 전압을 레퍼런스를 95V로 설정하여 정전압 제어를 하였는데 파형에서 볼 수 있듯이 배터리 출력 전압이 95V에 근접 할 때 배터리로 흐르는 전류가 서서히 감소하며 정전압 제어를 시작하는 것을 확인 할 수 있다. OCV(open circuit voltage)는 실제 배터리 내부 기생 저항 성분으로 인해 충전 혹은 방전 시에 기생 저항성분에 걸리는 전압강하 부분을 제거한 전압이다. 따라서 출력 전압보다 더 낮은 값을 갖게 출력되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 배터리 팩 시험기에 사용되는 3상 풀 브릿지 컨버터를 간단하게 모델링하고 그에 맞게 전류 제어기를 설계하여 CC 모드로 충전을 하고 과충전 방지를 위해 특정 전압 값을 설정하여 전압 제어기를 설계하였다. 시뮬레이션에서는 배터리 충전 시, 100A의 정전류 제어, 95V의 정전압 제어를 수행하는 시뮬레이션을 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 지원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.20152020105720)

참고 문헌

- [1] Kwang Woon Lee, "Design and Implementation of a Current Controller for Boost converters Using a DSP", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics Vol. 17 No.3, 2012.
- [2] Kyung Chul Bae, "A study on method of battery module balancing using fuzzy controller based on SOC", 2015, Sungkyunkwan University.