양방향 전력변환이 가능한 풀-브리지 컨버터 기반의 DC-DC 컨버터에 관한 연구

채수용, 홍순찬
단국대학교 전자전기공학과

Study on DC-DC Converter for Bidirectional Power Conversion Based on Full-Bridge Converter

Soo Yong Chae and Soon Chan Hong
Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook University

ABSTRACT

본 논문에서는 풀 브리지 컨버터 회로를 기반으로 하며 양방향 전력변환이 가능한 DC DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 부하의 상태에 상관없이 출력전압을 일정하게 유지하면서 연속적인 양방향 전력변환이 가능하다. 본 논문에서 대상으로 하는 부하는 충/방전기로 컨버터 출력에 여러 대의 충/방전기가 병렬로 접속되며, 각각의 충/방전기는 개별로 동작한다. 따라서 충/방전기용 양방향 DC DC 컨버터는 충/방전기의 동작 상태에 관계없이 연속적인 양방향 전력변환이 가능해야 한다. 제안하는 양방향 컨버터의 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 컨버터가 부하 급변 상태에서도 양방향 전력변환을 정상적으로 수행하는 것을 확인하였다.

1. 서 론

최근 전기자동차의 상용화로 인하여 전기자동차용 2차전지에 대한 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 2차전지는 생산과정에서 충전과 방전을 수차례 반복하는 활성화 공정을 통해 전기적 특성을 가진 전지가 되는데 이러한 공정에 사용되는 장비가 충/방전기이다.

충/방전기는 회로방식에 따라 리니어방식 충/방전기와 스위칭방식 충/방전기로 나눌 수 있다. 리니어방식의 충/방전기는 효율이 50[%] 이하로 낮고 방전시 방전에너지를 회수할 수 없는 방식으로서 파워소자에서 열로 소비해야 한다. 따라서 리니어방식 충/방전기는 효율이 낮고 부피가 커지는 단점이 있다. 이러한 이유로 리니어방식 충/방전기는 주로 용량이 작은 소형 전지용 전원장치에 사용된다.

하지만 HEV(Hybrid Electric Vehicle)나 PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle) 같은 전기자동차는 중대형 용량의 배터리 팩을 에너지 저장장치로 사용한다. 리니어방식 충/방전기는 회로특성상 배터리의 전압변동 폭이 커질수록 손실이 비례적으로 증가하는 방식이기 때문에 배터리 팩에 적용하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 3단 전력변환기[1]를 가진 배터리 팩용 충/방전 시스템에 적용 가능한 양뱡향 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버트는 출력단에 연결된 배터리 충/방전기들의 동작 상태에 상관없이 연속적인 양방향 전력변환을 수행하기 위하여 제어기를 단일 제어기로 구성하였다.

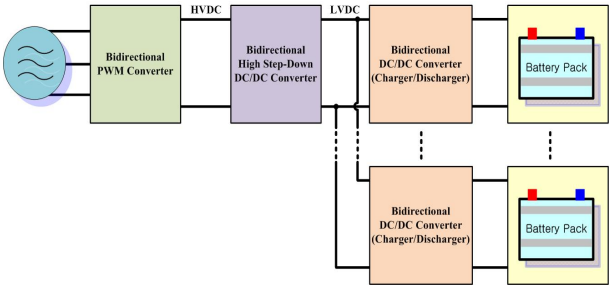


그림 1 배터리팩용 충/방전 시스템
Fig. 1 Charger/Discharger System for Battery Pack

2. 제안하는 양방향 컨버터

제안하는 풀 브리지 컨버터 기반의 양방향 컨버터는 그림 2와 같다. 그림 2에서 변압기의 1차측 스위치 $Q_A \sim Q_D$는 메인 스위치로서 듀티비 0.5로 동작하고 Q_A와 Q_B 그리고 Q_C와 Q_D가 각각 상보적으로 동작한다. 이때 Q_C와 Q_D의 위상을 이동시켜 위상천이 풀 브리지 컨버터로 동작한다. 변압기 2차측 스위치 $Q_1 \sim Q_6$은 순방향 동작시에는 동기정류기로 동작하여 효율을 개선하는 역할을 하고 역방향 동작시에는 인터리브드 부스트 컨버터의 메인스위치로 동작한다. 역방향 동작시 변압기 1차측 스위치 $Q_A \sim Q_D$는 동기정류기로 동작하여 다이오드 도통에 의한 손실을 저감하는 역할을 한다.

제안한 회로의 2차측 회로는 배전류 회로를 3개 직렬로 연결하여 구성하였다. 배전류 회로는 대전류 저전압 출력에 적합한 회로로서 전류가 크기 때문에 출력전압이 높아지면 출력인덕터 설계시 인덕턴스 값이 커져 인덕터를 제작하는데 있어서 인덕터의 코어가 너무 커지게 된다. 인덕터의 코아가 커지면 회로 구성에 어려움이 있으므로 본 논문에서는 인덕터 1개의 인덕턴스 값을 줄이기 위해 3개 직렬회로로 구성하여 배전류 회로 하나의 출력전압을 낮추었다.

제안한 회로의 제어기는 변압기 1차측 풀 브리지 회로를 제어하기 위한 위상천이 제어기와 2차측 스위치를 제어하는 동기제어기 그리고 출력전압을 일정하게 제어하는 전압제어기로 구성되어 있다. 제안한 회로에서는 순방향과 역방향 제어기가 별도로 구성된 기존 양방향 컨버터[2]와 달리 단일제어기로 구성되어 있어서 출력 부하상태에 따른 전력의 방향 변화가 발생하여도 연속적인 전력변환이 가능하다.

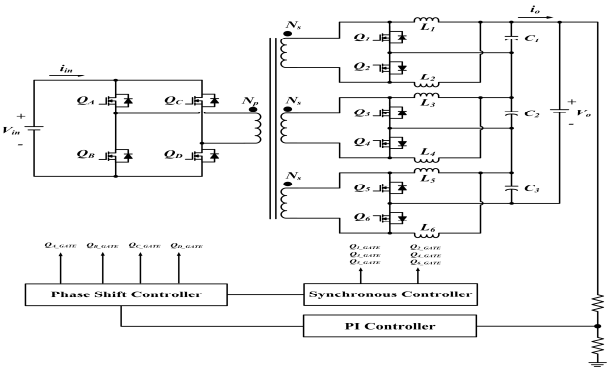


그림 2 제안한 양방향 풀-브리지 컨버터
Fig. 2 Proposed Bidirectional Full Bridge Converter

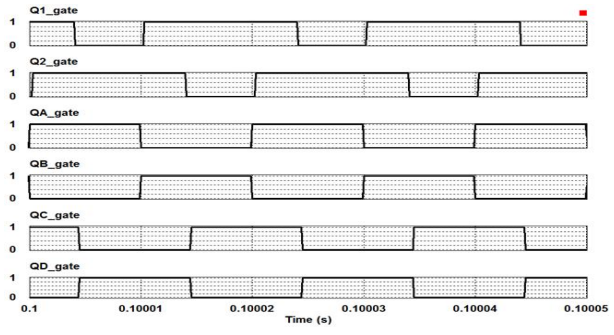
3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 연속제어가 가능한 양방향 위상천이 풀 브리지 컨버터의 유효성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터
Table 1 Simulation Parameters

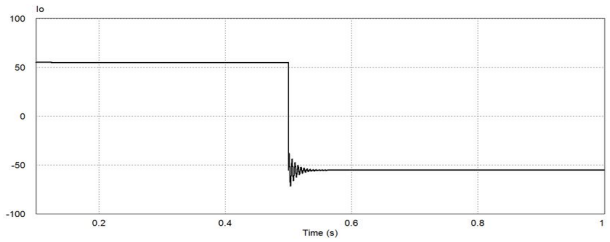
파라미터	기호	사양
입력전압	V_{in}	DC 350[V]
출력전압	V_o	DC 110[V]
출력전류	I_o	DC 55[A]
스위칭 주파수	f_s	50[kHz]
권수비	N_p : N_s	8 : 3
인덕터	$L_1 \sim L_6$	200[uH]
커패시터	$C_1 \sim C_3$	6000[uF]

시뮬레이션에서 스위치의 게이트 파형은 그림 3과 같다. 1차측 스위치 $Q_A \sim Q_D$는 위상천이 동작을 하고 2차측 스위치 Q_1은 Q_C가 턴온 될 때 동기되어 턴온되고 Q_B가 턴오프될 때 동기되어 턴오프 된다. 같은 방법으로 2차측 스위치 Q_2는 Q_D가 턴온될 때 동기되어 턴온되고 Q_A가 턴오프될 때 동기되어 턴오프 된다. $Q_3 \sim Q_6$의 게이트 파형은 Q_1, Q_2와 동일하다.

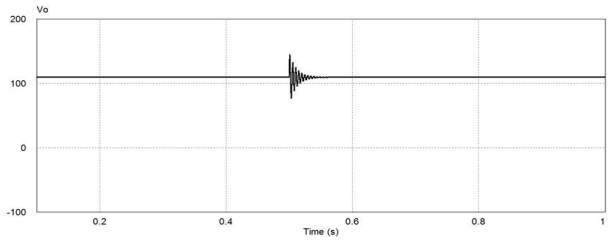


Horizontal : 10[μsec/div.]
그림 3 시뮬레이션 게이트 파형
Fig. 3 Gate Signals in Simulation

그림 4는 부하조건 변경시의 출력전압 및 전류 파형이다. 그림 4(a)는 출력전류 파형으로서 0.5[sec] 이전에는 55[A]로 순방향 동작을 하다가 0.5[sec] 이후부터는 -55[A]로 역방향 동작을 하도록 부하조건을 가변하였다. 이때 출력전압은 그림 4(b)와 같이 110[V]를 일정하게 유지하는 것을 볼 수 있다.



Horizontal : 0.2[sec/div.] Vertical : 50[A/div.]
(a) 출력전류 i_o



Horizontal : 0.2[sec/div.] Vertical : 100[V/div.]
(b) 출력전압 v_o
그림 4 부하가변시 출력전압 및 전류
Fig. 4 Output voltage and current at the load variation

4. 결 론

본 논문에서는 부하조건의 변동시에도 출력을 일정하게 유지하면서 양방향 전력변환이 가능한 풀 브리지 컨버터 기반의 양방향 DC DC 컨버터를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 양방향 컨버터가 순방향에서 역방향으로 전력흐름이 바뀌어도 출력전압을 일정하게 유지하면서 연속적인 전력변환이 가능함을 확인하였다. 제안한 회로를 스위칭방식 충/방전 시스템에 적용할 경우 기존 리니어방식 충/방전 시스템에서의 저효율, 큰 부피의 단점을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Tsai Fu Wu, Cheng Tao Tsai, Yong Dong Chang, and Yaow Ming Chen, “Analysis and Implementation of an Improved Current Doubler Rectifier with Coupled Inductors”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, No. 6, pp. 2681~2693, 2008.

[2] T. Patarau, D. Petreus, S. R. Daraban, R. A. Munteanu, D. Moga, and A. Rusu, “Analysis and Design of a Bidirectional DC DC Converter with Current Doubler Rectifier Used in Smart Grid”, Proc. of Electrical Machines and Power Electronics and 2011 Electromotion Joint Conference, pp. 169~174, 2011.