전기자동차용 양방향 DC/DC 컨버터의 모드 전환 방법

김기만, 정한정, 박상훈, 이정효, 신수철, 원충연
성균관대학교

Mode Conversion Method of Bi-directional DC/DC Converter for Electric Vehicle

Ki-Man Kim, Han-Jeong Jeong, Sang-Hoon Park, Jung-Hyo Lee, Soo-Cheol Shin, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차(Electric Vehicle, EV)의 주요 에너지 공급원인 배터리를 안정적으로 충·방전하기 위한 모드 전환 기법을 제안한다. 제안된 모드 전환기법의 타당성을 검증하기 위해 일반적으로 차량 시스템에 사용되는 다상 방식의 양방향 컨버터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 컨버터의 전류제어는 각 상의 인덕터 전류에 대해 평균전류모드제어(Average Current Mode Control) 방법을 적용하여 제어하였다.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경오염과 석유 에너지 고갈에 대한 대책을 활발히 연구 중이다. 특히, 자동차산업 분야에서는 배터리를 주 동력원으로 사용하는 전기자동차의 개발에 연구를 매진하고 있다. 일반적으로 전기 차량 시스템에서는 배터리의 전압과 인버터 DC-Link단의 전압을 승압 및 강압시키기 위한 양방향 전력변환장치가 필요하다.

양방향 DC/DC 컨버터는 배터리와 인버터 사이에 위치하며 다음과 같은 모드로 동작된다. 차량 구동 시 배터리에 충전된 에너지가 전력변환장치(양방향 컨버터와 인버터)를 통해 전동기로 전달되는 동작모드(승압)와 감속 시 전동기로부터 회생되는 에너지가 전력변환장치를 통해 배터리로 충전되는 동작모드(강압)로 나뉜다. 하지만, 양방향 DC/DC컨버터의 강압 모드 전환 시 발생되는 순간적인 과도전류는 차량의 구동과 회생이 빈번하게 발생되는 구간에서 차량 시스템에 악영향을 미칠 수 있다. 이에 따라, 이러한 전류를 제한하기 위한 여러 가지 기법들이 소개된 바 있다[1],[2].

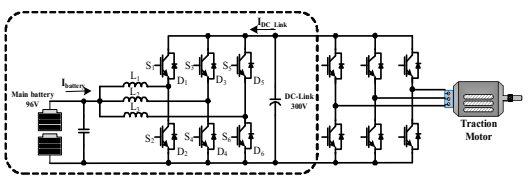


그림 1. 제안된 모드전환 방법이 적용된 전력변환장치의 구성도

본 논문에서는 앞서 소개된 기법들을 개선하여 모드 전환 시 과도전류를 보다 안정적으로 제한하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 그림 1과 같은 3상 인터리브드(Interleaved) 방식의 양방향 DC/DC 컨버터에 적용하여, 승압모드에서 강압 모드로 전환 시 계산된 과도시간동안 컨버터의 전류를 소프트 스타팅(Soft-starting)하는 방법을 적용하여 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 제안된 동작모드 전환 방법

본 논문에서 적용한 양방향 DC/DC 컨버터는 차량의 주행 상태에 따라 승압 및 강압 모드로 동작을 하게 된다. 이때, 동작 모드를 전환하는 기준은 인버터 DC-Link의 전압변동에 따라 결정된다. 즉, 인버터 DC_Link의 정격 전압을 기준으로 하여 차량 감속 시 전동기에서 회생되는 에너지에 의해 인버터 DC_Link의 전압이 상한치(Upper Level) 이상으로 높아지면 컨버터는 강압 모드로 동작하게 되고, 차량구동 시 및 과부하에 의해 인버터 DC_Link 전압이 하한치(Lower Level) 이하로 떨어지게 되면 승압 모드로 동작한다. 다음의 그림 2는 앞에서 언급한 인버터의 전압 변동에 따른 컨버터의 동작모드를 설명한 그림이다.

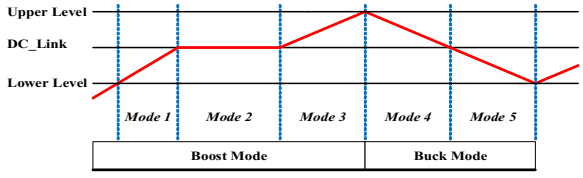


그림 2. 인버터 DC-Link 전압변동에 따른 컨버터 동작 모드

모드 1은 초기에 차량 시스템 구동 시 인버터 DC-Link 전압을 확립하는 구간이고, 모드 2는 차량 정속 시 인버터 DC-Link 전압을 정격으로 유지하는 구간이다. 모드 3은 전동기 회생 시 인버터 DC_Link 전압이 상승하는 구간이고, 모드 4와 모드 5는 회생된 에너지에 의해 인버터 DC_Link 전압이 상한치 이상이 되면, 컨버터가 강압 모드로 동작하여 배터리를 충전하는 구간이다. 이 구간동안 인버터 DC_Link 전압은 감소하기 시작하며, 에너지 회수가 완료 되거나 전압 레벨이 하한치 이하로 떨어지면 인버터 DC_Link 전압을 일정 범위 안에 유지하려 승압 모드로 동작한다.

다음의 그림 3은 3상 인터리브드 방식의 양방향 DC/DC 컨버터를 사용하여 본 논문에서 제안한 방식의 동작모드 전환 방법을 나타낸 제어 블록도이다.

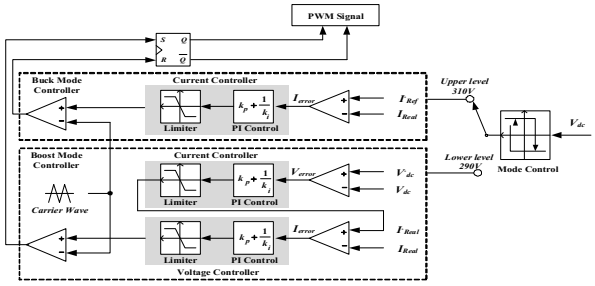


그림 3. 제안된 모드전환 방법을 적용한 컨버터 제어 블록도

앞에서 언급하였듯이 컨버터의 동작모드는 인버터 DC_Link 전압에 의해 결정된다. 선택된 동작모드에 따라, 승압모드 구간에서는 인버터의 DC_Link 전압제어와 컨버터의 전류 제어가 수행되고, 강압모드 구간에서는 컨버터의 전류 제어만 수행된다.

양방향 DC/DC 컨버터의 전류 제어는 인덕터 각 상에 대한 전류 제어기를 따로 두어 전류 평형 제어가 되도록 하였으며, 평균 전류 모드제어 기법을 적용하여 컨버터의 전류 기준값과 실제 전류값 사이의 오차값이 최소가 되도록(ADC를 통한 각 전류의 샘플링 시점이 각 전류의 평균값이 되는 구간에서 검출) 제어하였다[3]. 또한, 승압모드에서 강압모드로 전환되는 구간에서 식 (1)과 같이 계산된 전류 기준값에 대해 실제 전류에서 발생하는 과도전류를 억제하기 위해 식 (2)과 같이 계산된 과도시간 △t 동안 컨버터 전류를 소프트 스타팅(Soft-starting)하는 방법을 적용하였다 [4].

$$I^{*}_{Ref} = \frac{V_{DC_Link} \times I_{inv}}{V_{Battery}} \quad (1)$$

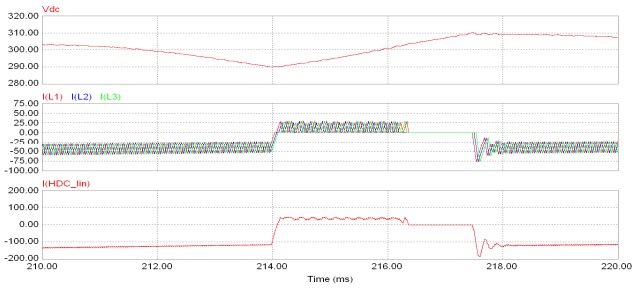
$$\Delta t = \frac{L}{V_{DC_Link} - V_{battery}} (I^{*}_{DC_Link} + I_{battery}) \quad (2)$$

3. 시뮬레이션 결과

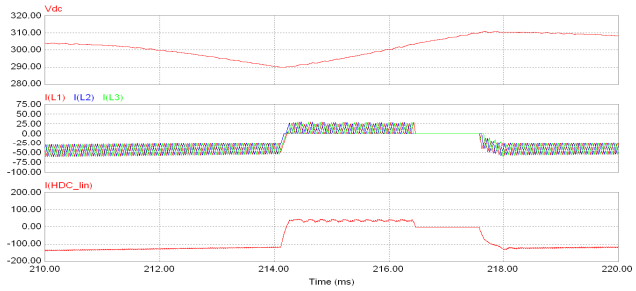
표 1은 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 파라미터를 정리한 표이다. 그림 4는 승압모드에서 강압모드로 전환 시 제안한 방법을 적용하지 않았을 때와 적용하였을 때에 양방향 DC/DC 컨버터의 각 상에 흐르는 인덕터 전류 및 배터리 충전전류를 나타낸 시뮬레이션 파형이다. 이 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯이 제안된 방법을 적용하였을 시 인덕터 및 배터리로 유입되는 충전전류에 대한 과도전류가 크게 개선됨을 확인 할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터 사양

사양	항목	값	단위
입출력 사양	배터리 전압	96	V
	인버터 DC_Link 전압	300	V
컨버터 사양	각 상 인덕턴스	200	μH
전동기 사양	상 전압	180	V
	상 전류	20	A
	d-축 인덕턴스	4.44	mH
	q-축 인덕턴스	8.94	mH
	상 저항	0.25	Ω
	극수	4	극



(a) 제안된 전환방법을 적용하지 않은 상태의 각 부 전류의 시뮬레이션 파형



(b) 제안된 전환 방법을 적용한 상태의 각 부 전류의 시뮬레이션 파형

그림 4. 제안된 전환 방법의 적용 여부에 따른 각 부 전류의 시뮬레이션 파형

4. 결 론

본 논문에서는 차량 시스템의 급변하는 부하에 따라 양방향 DC/DC 컨버터의 승압모드에서 강압모드로 전환 시 과도전류를 억제하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 3상 인터리브드 방식의 양방향 DC/DC 컨버터와 IPMSM(영구자석형 동기전동기)을 인버터 부하로 사용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] 조영창, 임지훈, 송승호, 최주엽, 이국선, 최익, 권태석, 이상준, 이현동, “모드절환을 고려한 양방향 DC-DC 컨버터의 디지털 전압 제어기 설계,” 2010년도 전력전자학회 하계학술대회 논문집, pp. 6~8. 2010. 7.

[2] 이정임, 이종현, 정안열, 이춘호, 박종후, 전희종, “TMS320F28335로 구현한 친환경 커패시터 전력저장장치의 양방향 디지털 제어 충/방전 시스템,” 전력전자학회 논문지, 제15권 제3호, pp. 188~198, 2010. 6.

[3] H. S. Bae, J. H. Yang, J. H. Lee and Bo H. Cho, "Digital State Feedback Current Control using Pole Placement Technique for the 42V/14V Bi-Directional DC-DC Converter Application," 2007 Applied Power Electronics Conference, pp. 3~7, Feb. 2007.

[4] 조진장, 정산민, 이진희, 최세완 한수빈, “연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법,” 전력전자학회 논문지, 제10권 제5호, pp. 428~435, 2005. 10.