

전기자동차용 인버터의 DC-Link 전압 가변을 위한 2상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터

이재혁* 이정효* 원충연*
성균관대학교*

2 Phase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter for Inverter of Variable DC-Link Voltage using on Electric Vehicle

Jae-Hyuk Lee*, Jung-Hyo Lee*, Chung-Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

본 논문은 전기자동차용 인버터의 DC-Link 전압 가변을 위한 2상 양방향 DC-DC 컨버터의 제어 기법을 제안한다. 제안된 DC-DC 컨버터는 2-스위치 Buck-Boost 컨버터를 병렬구성하여 전기자동차의 높은 출력에 대응하였으며 출력단 다이오드를 스위치로 교체하여 회생동작을 가능하게 하였다. 이를 시뮬레이션을 통하여 제어알고리즘의 가능성을 확인하였다.

1. 서론

최근 하이브리드 자동차와 전기자동차에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 성능 높은 전동기 구동 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량용 영구 자석 전동기 제어 시스템^[1]에서 전원 전압의 크기는 일반적으로 배터리 전압의 상태에 따라 달라지며 동시에 배터리 전압의 전압 범위에 맞게 전동기의 역기전력이 설정된다. 하지만 매입형 영구자석 동기전동기의 역기전력은 정지 상태에서 전압이 매우 작기 때문에 전동기 전류 리플의 크기가 증가하고 동시에 전동기의 전류 정격도 증가된다. 이러한 전동기의 입력 전류의 리플은 전동기의 토크와 속도 리플의 주요한 원인이 되기도 한다.^[2] 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터의 DC-Link 전압 가변을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어 알고리즘을 제안하였다.

2. 2상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터

전력시스템에 사용되는 비절연형 단일 모듈의 에너지 회생 장치의 경우, 구성이 간단하고 제어가 용이하다는 장점을 가지고 있으나 대 전류가 흐를 시에 도통손실과 높은 열의 발생함으로써 시스템의 열적인 특성을 나쁘게 하며, 또한 높은 정격의 소자를 요구하게 된다. 한편, 절연형 양방향 DC-DC 컨버터의 경우 1차 측과 2차 측의 절연을 할 수 있어 시스템의 안정도를 향상시킬 수 있고 입출력 전압의 가변이 용이하다는 장점이 있다. 하지만 입출력 전압차가 크지 않고 공통 영전위를 사용하고자 하는 경우에는 변압기를 사용할 필요가 없고 변압기 자체의 손실을 무시할 수 없다는 단점이 있다.^[3]

이러한 단점을 보완하기 위해 2상 양방향 DC-DC 컨버터를 제안하였다. 이는 다중 모듈로 구성하여 부하 전류를 모듈 수 만큼 분담하기 때문에 인덕터의 크기를 줄일 수 있고, 각 모듈의 스위칭 펄스를 180°만큼 위상 이동 시키는 인터리빙 기법을

이용하여 리플을 줄일 수 있어 커패시터의 스트레스 및 EMI를 줄일 수 있다. 또한 한 모듈 고장 시 나머지 모듈로 부하를 감당할 수 있는 여유를 확보할 수 있다.

본 논문은 이러한 2상 양방향 DC-DC 컨버터를 이용하여 IPMSM의 속도에 알맞은 전압 제어와, 이를 위한 승압과 강압 모드 시 과도상태 없는 절환을 확인하였다.

2.1 벡/부스트 출력모드

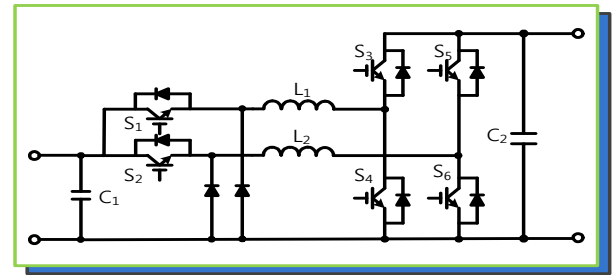


그림 1 2상 양방향 DC-DC 컨버터
Fig. 1 2 Phase bi-directional DC-DC converter.

그림 1에서 스위치 S_3, S_5 가 Turn off되고 S_1, S_2 가 Turn on된 상태에서 스위치 S_4, S_6 가 180°위상차를 가지는 PWM 신호에 의해 상보적으로 동작하게 되면 부스트 모드의 경로가 만들어진다. 그리고 스위치 S_3, S_4, S_5, S_6 이 Turn off된 상태에서 스위치 S_1, S_2 가 180°위상차를 가지는 PWM 신호에 의해 상보적으로 동작하게 되면 벡 모드의 경로가 만들어져 입력되는 배터리 전압보다 낮은 전압을 인버터 측으로 인가하게 된다.

2.2 벡 회생모드 동작

스위치 S_1, S_2, S_4, S_6 이 Turn off된 상태에서 스위치 S_3, S_5 스위치가 상보적으로 동작하게 되면 벡 타입의 회생하는 경로가 만들어지며 회생하는 에너지를 배터리 쪽으로 전달하게 된다.

3. 제어 알고리즘

그림 2는 제안된 양방향 DC-DC 컨버터의 제어 블록도를

나타낸다. IPMSM으로부터 측정된 속도 ω_r 값을 Voltage reference generator를 통하여 V_{ref} 이 얻어지며 수식은 다음과 같다.

$$V_{ref} = \omega_r \sqrt{(L_d i_{ds}^* + \phi_f)^2 + (L_q i_{qs}^*)^2} \quad (1)$$

이렇게 얻어진 V_{ref} 는 1보다 큰 K 값과 곱해서 전압지령 V^* 이 되며, 전압지령과 V_{dc} 값과의 차이가 PI 제어를 거쳐서 전류지령 I^* 가 되며 같은 방법으로 전류 I_{sen} 값과의 차이가 PI제어를 거쳐 제어신호를 만들게 되며 Limiter를 통하여 2상의 180° 위상차를 가지는 PWM 신호를 발생하게 된다.[4]

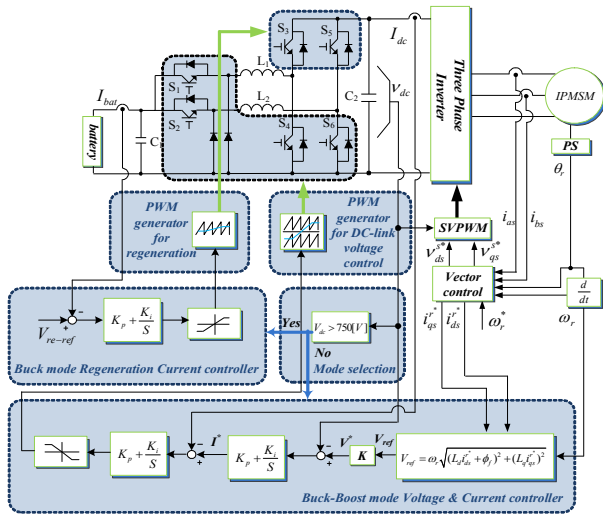


그림 2 2상 양방향 DC-DC 컨버터 제어 블록도
Fig. 2 2 phase bi-directional DC-DC converter control block diagram.

DC-Link 전압이 상승하면 Mode selection에 따라 회생모드 동작을 하게 된다. 회생모드 제어기의 출력에 의한 PWM 신호가 스위치 S_3, S_5 을 동작시켜 회생에너지를 배터리로 전달하게 된다.

4. 시뮬레이션

표 1은 시뮬레이션에 사용된 2상 DC-DC 컨버터의 파라미터 값을 나타낸다.

표 1 2상 양방향 DC-DC 컨버터 설계사양
table.1 parameter values of 2 phase Bidirectional DC-DC Converter.

구분	파라미터	값	단위
2상 양방향 DC-DC 컨버터	정격 출력	40	[kW]
	입력 배터리 정격전압	300	[V]
	스위칭 주파수	20	[kHz]
	정격 출력 전압	50~450	[V]
	정격 출력 전류	8~80	[A]
	인덕턴스	1.2	[mH]
커패시턴스	2200	[μF]	

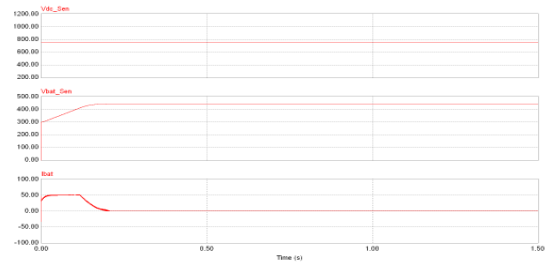


그림 3 회생모드 파형
Fig. 3 Regeneration mode waveform.

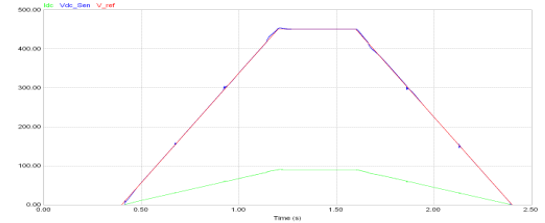


그림 4 기준전압 가변 시 출력 전압, 전류
Fig. 4 Output voltage and current, when variable reference voltage.

3. 결론

본 논문에서 제안된 2상 양방향 DC-DC 컨버터의 제어 기법을 통하여 DC-Link 기준전압 가변에 따라 출력 전압, 전류가 제어됨을 확인하였고, 회생모드 동작 시 배터리 측으로 전류가 회생됨을 시뮬레이션을 통하여 확인 하였다. 이를 통해 적용된 제어 알고리즘의 제어 가능성을 확인하였다.

참고 문헌

[1] Zahra Amjadi, "Power-Electronics-Based Solutions for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Energy Storage and Management Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 2, pp. 608-616, Feb, 2010
 [2] 강현수, 김준형, 이병국, 허진, "2-스위칭 Buck-Boost 컨버터를 이용한 DC 링크 가변형 인버터 설계," *KIEE trans.* Vol. 58, No.5 pp. 950-959, May, 2009
 [3] 이동규, 박남주, 현동석 "소프트 스위칭 기법을 적용한 싱크로너스 양방향 DC-DC 컨버터," *2008년도 전력전자 학술대회 논문집*, Vol. 13, No. 4 pp. 311-318, 8월 2008
 [4] Monzer Al sakka, joeri Van Mierlo, Hamid Gualous, philippe Lataire "Comparison of 30KW DC/DC Convert topologies interfaces for fuel cell in hybrid electric vehicle," *Power Electronics and Applications*, Vol. 13, pp. 1-10, Sept, 2009