

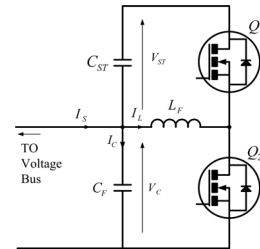
다중 병렬 부하를 갖는 전기 자동차의 DC 배전 시스템을 위한 Voltage Bus Conditioner의 슬라이딩 모드 제어기 설계

장한솔*, 전용성*,나재두**, 김영조***, 김영석*
 인하대학교*, 인하공업전문대**, 유한대학***

The design of the Sliding Mode Controller of Voltage Bus Conditioner for a DC Power Distribution System with multiple parallel loads in the Electrical Vehicles

Han-Sol Chang*, Yong-Sung Jeon*,Jae-Du La**, Young-Jo Kim***, Young-Seok Kim*
 Inha University*, Inha Technical College**, Yuhan University***

Abstract - An electrical vehicle (EV) is a huge issue in the automotive industry. The EV have many electrical units: electric motors, batteries, converters, etc. The DC power distribution system (PDS) is essential for the EV. The DC PDS offers many advantages. However, multiple loads in the DC PDS may affect the severe instability on the DC bus voltage. Therefore, a voltage bus conditioner (VBC) may use the DC PDS. The VBC is used to mitigate the voltage transient on the bus. In this paper, sliding mode controller (SMC) is designed for the VBC of DC PDS in the EV. The simulation results by PISM simulation package are presented for validating the proposed control technique.



<그림 3> storage 커패시터를 사용한 VBC

본 논문에서는 다중 병렬 부하를 갖는 EV의 DC PDS를 위한 VBC의 제어를 위해 SMC를 설계하며, 모의실험을 통해 그 타당성을 입증하였다.

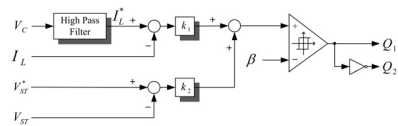
2. VBC의 슬라이딩 모드 제어

슬라이딩 모드 제어는 시스템의 상태공간에 위치한 임의의 불연속면이 시스템의 상태와 교차되어 생기는 슬라이딩 평면을 기초로 제어입력을 구현하여, 시스템의 제어구조가 불연속적으로 변화하면서 제어입력이 안정한 영역에 머무르도록 하는 것이다[7]. <그림 3>의 VBC의 인터커전류 I_L , storage 커패시터의 전압 V_{ST} 를 사용하여 슬라이딩 평면을 설정하면 식(1)과 같다.

$$S = k_1(I_L^* - I_L) + k_2(V_{ST}^* - V_{ST}) \quad (1)$$

I_L^* 은 버스전압인 V_C 의 1차 고역필터 ($\omega_c = 6283[\text{rad/sec}]$)를 통과한 출력 값으로 버스전압의 변화 분을 나타낸다. 식(1)에서 I_L^* 과 I_L 의 차는 버스전압의 과도상태를 완화시키기 위해 사용되며 V_{ST}^* 와 V_{ST} 의 차는 storage 전압을 일정하게 유지시켜 주기 위해 사용된다.

<그림 4>는 제안된 슬라이딩 모드 제어기이며 이의 상세 설계는 [8]에 상세히 기술되어 있다.



<그림 4> VBC의 슬라이딩 모드 제어기

위 그림에서 히스테리시스 비교기에 입력되는 β 는 히스테리시스 밴드로서 시스템의 스위칭 주파수에 따라 선정하였으며, Q_1, Q_2 는 VBC의 스위치의 게이트 신호이다. <표 1>은 VBC와 슬라이딩 모드 제어기의 파라미터이다.

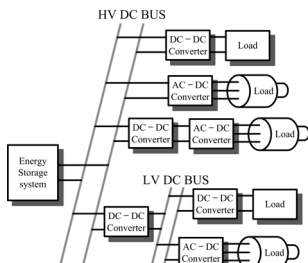
3. 모의실험

3.1 시스템 구성

EV의 DC PDS에는 컨버터, 모터, 배터리 등 여러 부하가 연결되어 있는데 본 논문에서는 저항, DC-DC컨버터, 모터 드라이브 부하를 병렬로 연결하고 PSIM을 사용하여 모의실험을 하였다. 그 회로는 <그림 5>와 같다. 저항부하와 컨버터 부하는 <표2>와 같이 스위치를 on, off하여 변동을 주었으며, 모터 드라이브 부하는 모터의 속도 가변을 통해서 변동을 주었다.

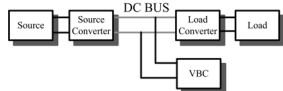
1. 서 론

전 세계적으로 이산화탄소 절감에 대한 관심이 증가함에 따라, 자동차 업계에서도 전기 자동차 (Electrical Vehicle: EV)에 대한 관심과 생산이 증가하고 있다[1]. 또한 EV에서 전기적인 부하 (전동기, 컨버터, 배터리 등)들이 기계적인 부하들을 대체하고 그 사용 영역 또한 확장되고 있는 추세이다[1]. 전기적인 부하들로 구성되는 DC 배전 시스템 (Power Distribution systems: PDSs)은 다양한 이점 (모듈화, 고전력 효율, 신뢰성, 비용 절감, 유지 보수의 편의 등)으로 인해 EV뿐만 아니라 우주/항공 시스템, 군사방위 시스템 등 여러 분야에서 그 활용도가 높아지고 있다[2]. EV의 일반적인 DC PDS의 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> EV에서의 일반적인 DC PDS 구성

<그림 1>에서 알 수 있듯이 DC bus의 부하로 여러 컨버터들이 접속되어 있는데 이들은 Constant Power Loads (CPLs)의 특성을 보이며 이는 입력단에 negative impedance를 가지게 되고 시스템의 불안정성을 초래한다[3]. 이러한 현상은 <그림 2>와 같이 DC bus 전압의 과도상태의 불안정성을 완화 시켜주는 양방향 DC-DC 컨버터인 Voltage Bus Conditioner (VBC) [4]를 병렬 연결해 줌으로써 해결 할 수 있다.



<그림 2> VBC가 연결된 DC PDS의 구성

본 논문에서는 소용량의 커패시터를 사용하는 전압형 VBC[5]를 사용하였으며, 이를 <그림 3>에 나타내었다.

스위치의 상태에 따라 구조가 변하는 VBC의 경우에는 대표적인 가변 구조 제어기법인 슬라이딩 모드 제어 (Sliding Mode Control: SMC)를 사용함으로써 그 역할을 수행 할 수 있도록 할 수 있다. SMC는 불확실한 상태의 복잡한 고차의 비선형적 특성을 제어하는데 효과적인 강인 제어 기법이다[6].

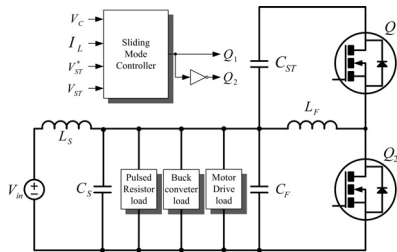
〈표 1〉 VBC 파라미터

Parameter	Value	Unit
C_f	1.2	μF
L_f	900	μH
C_{sr}	100	μF
V_c	270	V
V_{sr}	500	V
I_c	0	A
$I_L = I'_L = I_s$	18	A
k_1	1	·
k_2	0.15	·
β	2.08	·
$f_{s,max}$	100	kHz

3.2 모의실험 결과

〈그림6〉, 〈그림7〉은 〈그림5〉에 보이는 DC DPS에서 VBC가 없을 때와 있을 때의 DC 버스 전압, 부하전류, storage 전압, 모터의 속도 파형을 보여준다.

DC DPS에 VBC를 연결하게 되면, 입력 필터에 의한 DC 버스의 와 부하 전류의 공진을 7번에서 3번으로 완화시켰으며, 정정시간의 개선에 있어서도 1ms 정도 단축되는 신속한 응답을 보였다. 또한 부하의 on, off에 따라 흔들리는 전압을 10V 정도 감소시켰다. storage 전압은 평균 505V로 유지되고 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 VBC가 연결된 다중 병렬 부하를 가지는 EV의 DC PDS

〈표 2〉 시스템 파라미터

Parameter	Value	Unit	
System Power	3	kW	
Input Voltage V_m	270	V	
Input Filter C_s	50	μF	
Input Filter L_s	400	μH	
Pulsed resistor load	Power	1 kW	
	duty ratio	0.5	·
	frequency	90	Hz
buck converter load	Power	1 kW	
	load duty ratio	0.5	·
	load frequency	90	Hz
Motor Drive load	Power	1 kW	
	Speed	1800	rpm
	Torque	5.3	$N \cdot m$

4. 결 론

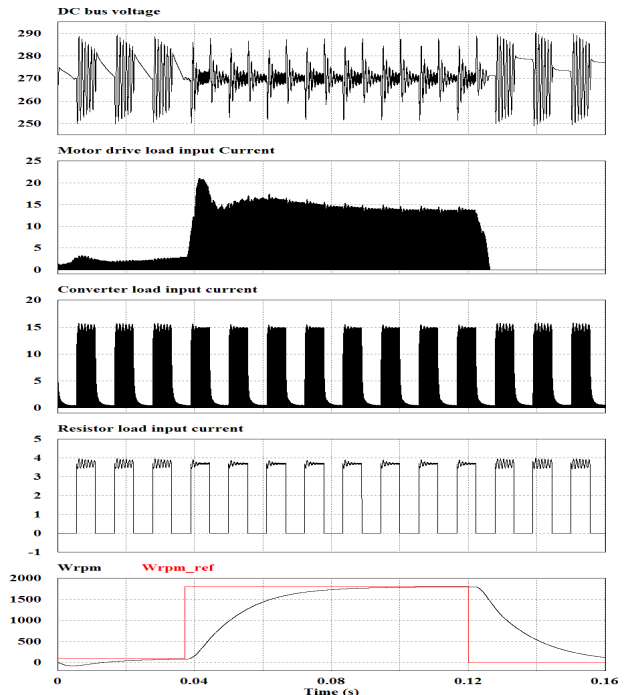
다중 병렬 부하를 가지는 전기자동차의 DC 배전 시스템에서 슬라이딩 모드 제어가 사용된 VBC의 연결은 부하 변동으로 인한 DC 버스 전압의 과도 상태와 부하전류의 진동을 효율적으로 완화시켰다. 또한 storage 전압도 일정하게 유지되는 것을 확인 하였다. 그러므로 전기자동차의 DC 배전시스템에서 VBC의 사용은 전력품질과 안정도의 향상을 가져올 것이다. 모의실험을 통하여 제안된 제어 알고리즘의 타당성을 확인 하였으며, 향후 실험을 통하여 전체 시스템의 타당성을 입증할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

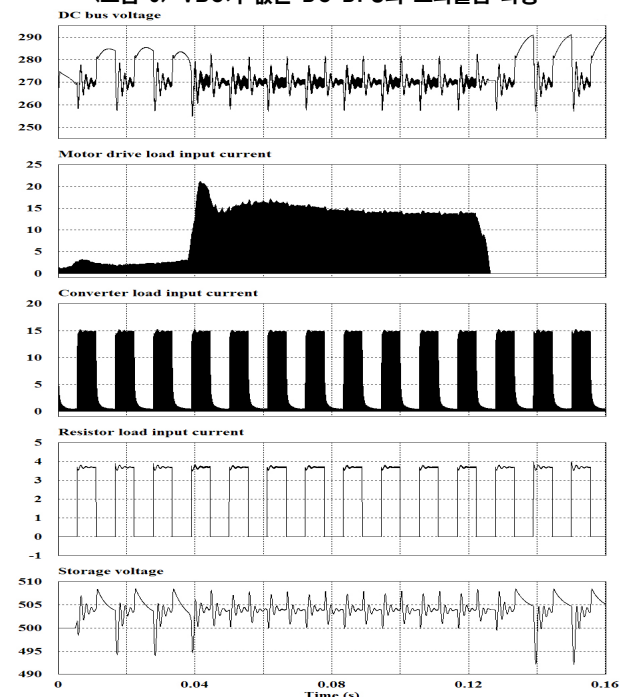
[1] A. Emadi, S. S. Williamson, A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.21, pp.567-577, 2006.
 [2] S. Luo, "A Review of Distributed Power Systems part I: DC Distributed Power System", Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, Vol. 20, Issue: 8, pp.5-16, Aug. 2005.
 [3] A. Emadi, A. Khakigh, C. H. Rivetta, G. A. Wolliamson, "Constant Power Loads and Negative Impedance Instability in Automotive

System: Definition, Modeling, Stability, and Control of Power Electronics Converters and Motor Drives", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.55, Issue: 4, pp.1112-1125, July 2006.

[4] S. V. Mollov, J. D. La, "Study of control algorithms for a voltage bus conditioner", Vehicle Power and Propulsion 2005 IEEE Conference, pp.372-378, Sep 2005.
 [5] 나재두, "전력시스템을 위한 Active Damping Device", 대한전기학회 논문지, Vol. 58P, pp.116-121, 2009.
 [6] V. Utkin, J.Guldner, J.Shi, "Sliding Mode Control in Electro-mechanical Systems", 1st edition, Taylor & Francis, 1999.
 [7] J. Y. Hung, W. Gao, J.C. Hung, "Variable structure control: a survey", IEEE Transactions of Industrial Electronics, Vol 40, pp.2-22, Feb, 1993.
 [8] 장한술, 김영조, 나재두, 김영석, "병렬 부하를 가지는 DC 배전 시스템에서 Voltage Bus Conditioner의 가변 구조 제어기 설계", KIEE EMECS학회 춘계학술대회 논문집, pp.219-221, 2011.



〈그림 6〉 VBC가 없는 DC DPS의 모의실험 파형



〈그림 7〉 VBC가 연결된 DC DPS의 모의실험 파형