

다중 병렬 부하를 가지는 DC 배전 시스템에서의 전력 품질 향상을 위한 Voltage Bus Conditioner의 PI 제어

이병현\*, 우현민\*, 이재두\*\*, 신재화\*\*\*, 김영석\*  
 인하대학교\*, 인하공업전문대학\*\*, 인천대학교\*\*\*

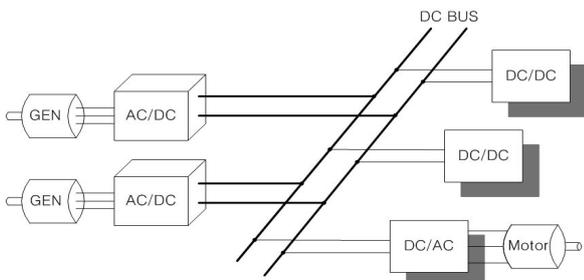
The PI control of the Voltage Bus Conditioner for the improvement of the Power Quality in the DC Power Distribution System with multiple parallel loads

Byung-hun Lee\*, Hyun-min Woo\*, Jae-du La\*\*, Jae-hwa Shin\*\*\*, Young-seok Kim\*  
 Inha University\*, Inha Technical College\*\*, Incheon University\*\*\*

**Abstract** - A DC Power Distribution Systems(DC PDS) are widely used in telecommunication system, electric vehicle, aircraft, military system, etc. In the DC PDS, DC bus voltage instability may be occurred by the operation of multiple loads such as pulsed power load, motor drive system, and constant power loads. To damp the transients of the DC bus voltage, the Voltage Bus Conditioner(VBC) with the PI compensator is used. In this paper, the validity of the proposed VBC system is verified by PSIM simulation package.

1. 서 론

DC 배전시스템은 중앙전력 시스템, 모듈식 전원 시스템, 분산전원 시스템의 세 가지 전력 공급 구조로 나뉘어진다. 중앙 전력 시스템(centralized power system)은 모든 전력 처리 기술을 집중할 수 있다는 장점이 있으나 새로운 전자 장치의 발생시에 적절하게 동작을 할 수 없다는 단점이 있다. 모듈식 전력 시스템은 여러 개의 전력 변환기가 시스템의 한 곳에 위치하고 있으며 대전력이 필요한 경우에 부하의 요구사항을 충족시키기 위해 결합될 수 있다. 모듈식 전력 시스템은 특별히 고전력 설계에 있어서 다수의 작은 전력변환기를 하나의 유닛에 병렬로 연결함으로써 요구사항을 충족시킬 수 있다는 장점이 있지만 대개 부하로부터 멀리 떨어져 있다는 단점이 있다. DC PDS는 모듈형 전력 시스템의 장점을 포함하여 규격단위로 조립한 방법을 종종 사용한다. 오늘날의 전력 시스템은 실제로 하이브리드 시스템이며 중앙 전력 시스템을 멀리하고 DC PDS를 채용하는 경향은 IC들의 전력 소비를 최소화 시키고 높은 처리속도를 만족시키기 위한 산업에 초점을 맞추고 있다.[1-2] <그림 1. 1>은 기본적인 DC PDS의 구조를 나타낸다.



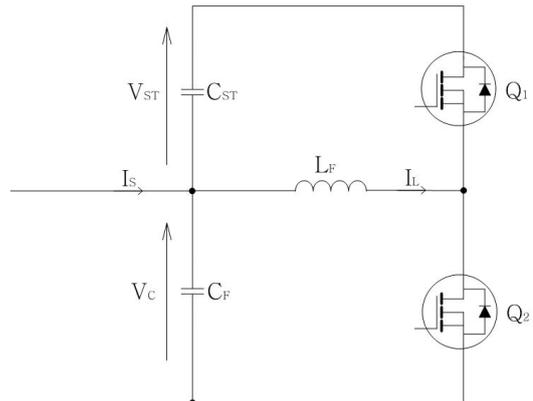
<그림 1.1> DC PDS의 구조

이런 배전 시스템에서 일정한 전력을 소모하는 부하는 입력 전압이 증가하면 부하 전류가 감소하고, 전압이 감소할 경우 부하 전류가 증가하는 부 입력 임피던스 특성을 띄게 되고 입력 필터와의 상호 작용으로 시스템을 불안정하게 한다.[3] 불안정 현상을 완화 하기 위해 Voltage Bus Conditioner(VBC)를 DC Bus에 병렬로 연결함으로써 시스템을 안정화 하고 부하의 변동시에 발생하는 과도 상태를 완화 시킬 수 있다. VBC는 전류저장형과 전압저장형으로 구분된다.[4]

2. 본 론

2.1 제안된 컨버터

<그림 2. 1>은 제안된 컨버터 회로이다.  $C_F$ 는 필터 커패시터,  $V_C$ 는 버스 전압,  $C_{ST}$ 는 소용량 커패시터로 에너지 저장장치,  $L_F$ 필터 인덕터로 버스 전압과 커패시터 사이의 전류를 제한하는 용도이다. 스위치  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 대칭적으로 동작하며 회로의 정상상태 듀티비는 스위치  $Q_2$ 를 기준으로 식(1)과 같다.



<그림 2.1> 제안된 컨버터 회로

$$D = \frac{V_{ST}}{V_{ST} + V_C} \tag{1}$$

스위치  $Q_2$ 가 OFF 되면 인덕터의 전류가 감소하고  $Q_1$ 의 다이오드를 통해  $C_{ST}$ 를 충전시킨다.  $Q_1$ 가 ON 되어 Turn-on 시간이 길어지면 storage 전압  $V_{ST}$ 가 감소하고 에너지는 bus로 흐른다. <그림 2. 1>회로의 상태방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{dV_C}{dt} \\ \frac{dV_{ST}}{dt} \\ \frac{dI_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{D}{C_F} \\ 0 & 0 & \frac{1-D}{C_{ST}} \\ \frac{D}{L_F} & -\frac{1-D}{L_F} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_C \\ V_{ST} \\ I_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_F} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} I_S \tag{2}$$

2.2 PI 제어기

<그림 2. 1>에서 필터 커패시터에 흐르는 전류  $I_C=0$ 으로 가정하면  $I_S \cong I_L$ 로 볼 수 있고 따라서 상태방정식을 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{dV_{ST}}{dt} \\ \frac{dI_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1-D}{C_{ST}} \\ -\frac{1-D}{L_F} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ST} \\ I_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{D}{L_F} \end{bmatrix} V_C \tag{3}$$

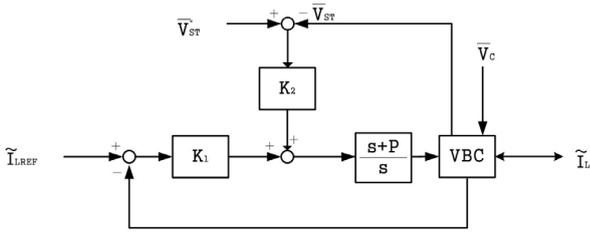
(3) 식으로부터 듀티변화에 대한 입력  $I_L$ 의 전달함수를 구하면 식(4)와 같다.

$$G_p(s) = \frac{I_L}{D} = \frac{V_T s + \frac{(1-D)I_L}{L_F C_{ST}}}{s^2 + \frac{(1-D)^2}{L_F C_{ST}}} \tag{4}$$

PI제어기는 시스템의 차수를 한 차수 증가시켜 시스템의 오차를 개선하며 일반적인 PI제어기의 전달함수는 식(5)로 표현 할 수 있다.[5]

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \tag{5}$$

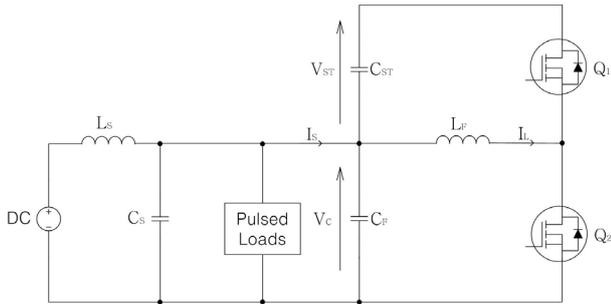
<그림 2. 2>는 시스템의 제어 블록 다이어그램을 나타낸다.



<그림 2.2> 시스템의 제어 블록 다이어그램

### 2.3 모의 실험

<그림 2.3>은 VBC를 가지는 DC PDS의 구조를 나타낸다.

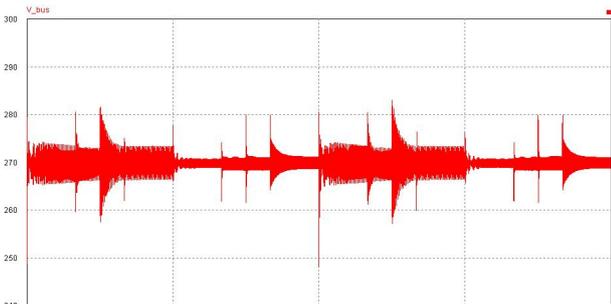


<그림 2.3> VBC가 연결된 DC PDS의 구조

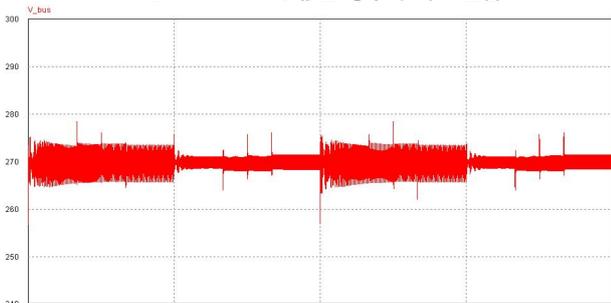
DC PDS에서 VBC가 연결된 경우와 연결되지 않은 경우를 모의실험 하였으며 시스템의 파라미터는 <표. 1>과 같다.

Parameter	Symbol	Value	Unit
DC 버스전압	$V_C$	270	V
LC 필터 인덕터	$L_S$	400	uH
LC 필터 커패시터	$C_S$	50	uF
Storage 커패시터	$C_{ST}$	100	uF
VBC의 필터커패시터	$C_F$	1.2	uF
VBC의 인덕터	$L_F$	900	uH

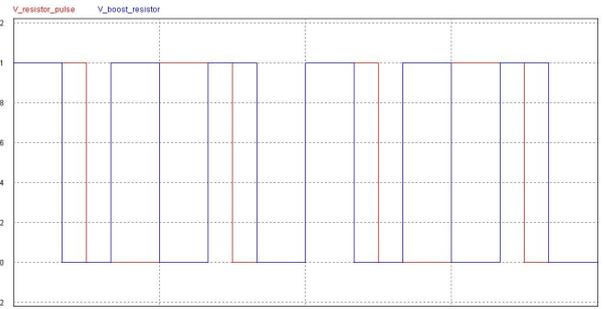
본 논문의 부하는 각각 저항 1[kW], 승압 컨버터 1[kW], 전동기 1[kW]를 사용하였다. <그림 2.4>와 <그림 2.5>는 각각 회로에 VBC가 연결된 경우와 그렇지 않은 경우를 나타낸 것이며 <그림 2.6>은 저항과 컨버터 부하가 각각 2[Hz], 3[Hz]로 ON/OFF되는 것을 나타내고 <그림 2.7>은 전동기 부하가 100[rad/s]의 속도로 기동, 정지를 반복하고 있는 것을 나타낸다.



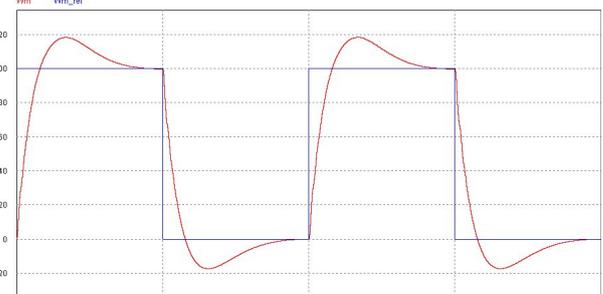
<그림 2.4> VBC가 없는 경우의 버스 전압



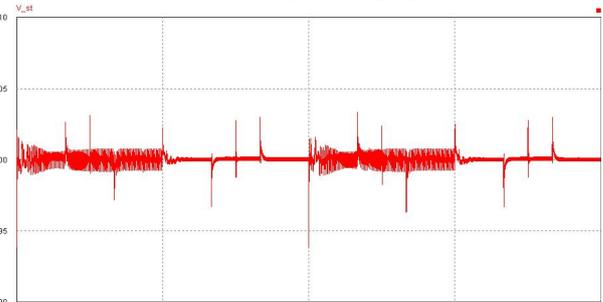
<그림 2.5> VBC가 연결된 경우의 버스 전압



<그림 2.6> 저항과 컨버터 부하의 ON/OFF



<그림 2.7> 전동기의 기동/정지



<그림 2.8> Storage Capacitor 전압

모의 실험 결과 회로에 VBC가 연결된 경우와 그렇지 않은 경우에 각각의 부하가 ON/OFF될 경우에 과도 상태가 완화된 것을 확인 할 수 있다. 또한 에너지 저장장치인  $C_{ST}$  커패시터의 양단 전압 또한 500[V]로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

DC PDS에 VBC를 적용시키는 경우 BUS에서 발생하는 과도가 완화되는 것을 확인 할 수 있고 이는 DC배전 시스템에서 전력 품질을 개선시키고 안정도를 향상 시킬 수 있다고 볼 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Shiguo Luo, Issa Batarseh, "A review of distributed power systems Part I : DC distributed power system", Aerospace and Electronics Systems Magazine, 20, 5-16, 2005
- [2] Wojciech A. Tabisz, Milan M. Jovanovic, Fred C. Lee, "Present and future of distributed power systems", Applied power electronics conference and exposition, 11-18, 1992
- [3] Claudio Rivetta, Ali Emadi, Geoffrey A. Williamson, Ranjit Jayabalan, Babak Fahimi, "Analysis and control of a buck DC-DC converter operating with constant power load in sea and undersea vehicles", Industry applications conference, vol.2, 1146-1153, 2004
- [4] 나재두, "전력 시스템을 위한 Active damping device", 전기 학회논문지 P, 제58권 2호 116~121, 2009
- [5] B.C. Kuo, "Automatic Control Systems", 8th edition, John Wiley & Sons, 2006