

## DC 전력시스템을 위한 VBC의 설계

석봉준<sup>1</sup>, 정해선<sup>1</sup>, 김영조<sup>2</sup>, 나재두<sup>3</sup>, 김영석<sup>1</sup>  
 인하대학교<sup>1</sup>, 유한대학<sup>2</sup>, 인하공업전문대학<sup>3</sup>

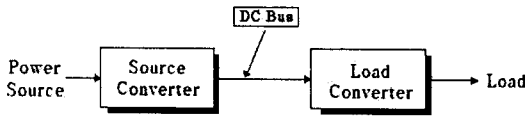
### Design of the Voltage Bus Conditioner for a DC Distributed Power System

Bong-Jun Seok<sup>1</sup>, Hae-Seon Jung<sup>1</sup>, Young-Jo Kim<sup>2</sup>, Jae-Du La<sup>3</sup>, Young-Seok Kim<sup>1</sup>  
 Inha University<sup>1</sup>, Yuhan University<sup>2</sup>, Inha Technical College<sup>3</sup>

**Abstract** - The purpose of this paper is to develop a VBC (Voltage Bus Conditioner) system for a DC DPS (Distributed Power System). The advantages of the proposed VBC system are as follows: 1) the storage capacitor use smaller value than the conventional capacitive storage 2) the controller requires only one sensor to both damp the voltage transients and maintain the storage voltage. The performance of the proposed VBC system has been simulated and evaluated by Saber package.

#### 1. 서 론

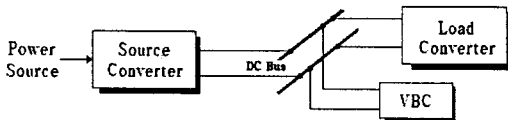
DPS는 전력시스템 설계자들에게 고전력효율, 고전력량, 비용의 절감 등 많은 장점을 제공한다. 따라서, DPS는 항공기, 우주선, 전기통신분야, 자동화 생산라인 그리고 군사방어 시스템 등의 다양한 산업분야로 확산되어 있다[1]. 대부분의 DPS의 기본 구성은 그림1과 같이 표현할 수 있다.



<그림1> 일반적인 DPS의 기본 구성.

그러나 위와 같은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 DPS는 Source Converter로 인한 EMI를 저감하기 위해 입력 필터를 필요로 한다. 또한, Constant Power Load(CPL)로 인한 Negative Impedance는 입력필터와의 상호작용에 의해 DC 버스전압의 불안정성을 초래 할 수도 있다[2]. 그러므로 DC 버스의 불안정성을 저감 또는 안정화 시키기 위하여 적절한 보상장치가 필요하다.

Voltage Bus Conditioners(VBCs)는 Bus의 과도상태를 완화시킬 수 있는 전력변환기이다. 그림2는 VBC를 가진 DC 전력시스템이다.



<그림2> VBC를 가진 DC DPS 기본 구성

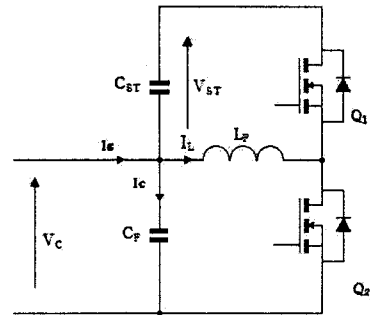
일반적으로 VBC의 종류는 current-storage 형태와 voltage-storage 형태의 VBC로 분류할 수 있다. Current

-storage 형태는 인덕터를 저장장치로 사용하며, 이러한 VBC 장점은 저장된 에너지를 전부 사용할 수 있다. 그러나 정상상태에서 상당한 전력손실이 있으며, 부하전류가 인덕터의 전류보다 크면 VBC가 버스전압을 댄핑(damping)함에 있어서 다소 비효율적이다[3]. 위와 같은 current-storage VBC의 단점은 커패시터를 저장장치로 사용하는 voltage-storage VBC로 보완할 수 있다. 그러나, 저장장치로 사용되어지는 커패시터는 대용량의 전해 커패시터(최소 1 [mF])를 사용해야만 하고, 저장된 에너지를 충분히 사용할 수 없는 단점이 있다[4]. 이 논문에서, 기존의 storage 커패시터보다 1/10 적은 소용량의 커패시터(100 [uF])를 이용하여 에너지 사용 효율을 높은 VBC를 제안한다.

이 논문에서, 첫 번째로 컨버터의 설계 및 동작을 설명한다. 두 번째로 제어기 설계를 다룬다. 세 번째로 모의 실험을 통해 결과를 확인한다.

#### 2. 컨버터의 설계 및 동작

그림3은 제안된 컨버터 회로를 나타낸다.



<그림3> 제안된 컨버터 회로.

Vc 전압은 DC Bus Voltage이다. 필터 커패시터 Cf는 작은 값을 가지고, 스위칭 리플을 완화시켜준다. Lp는 Bus 전압과 커패시터 사이의 전류를 제한한다. 커패시터 Cst는 저장장치로 사용된다. 그림 3에서 제안된 VBC는 split capacitor를 사용하며, 이러한 구조는 소용량의 capacitor를 storage로 사용할 수 있게 한다. 위 회로의 정상상태의 듀티비는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D_s = \frac{V_{sr}}{V_{sr} + V_c} \quad (1)$$

듀티비(Ds)는 스위칭 주기 Ts와 Q2의 turn on 사이의 비로 정의한다. 스위치 Q2가 turn off 되면, 인덕터 전류는 내려가고, 다이오드를 통해 Cst를 충전시킨다. 그리고 Q1의 turn on 시간이 길어지면 전압 Vsr는 감소하

고, 에너지는 DC 버스로 흐른다.

### 3.제어기 설계

기존의 VBC 제어기들은 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 첫 번째로 2개의 제어 루프 즉, 주제어 루프와 보조제어루프를 가진다. 주제어 루프는 버스전압의 제어를 위한 것이고, 보조제어 루프는 storage 전류 또는 전압을 적절하게 유지시키기 위한 것이다. 두 번째로 이들 제어기들은 2개 이상의 전류 또는 전압센서를 필요로 한다 [3,4].

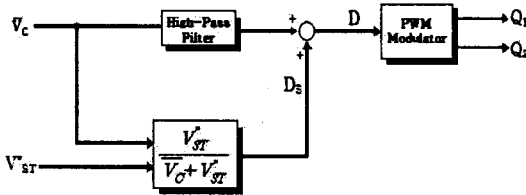
제안된 VBC는 하나의 전압센서를 사용하여 Bus전압과 storage 전압을 제어한다. 식(2)는 VBC를 제어하는 듀티비로서 정상상태에서 스토리지 전압  $V_{ST}$ 를 일정한 값으로 유지하는  $D_s$ 와 전압 transient를 제어하는  $I_C$ 의 두 항의 합으로 구성된다.  $\bar{I}_C$ 는 DC 버스의 필터 커패시터  $C_F$ 에서의 전류이다.  $V_{ST}^*$ 는 storage 커패시터의 reference 전압이다.

$$D = \frac{V_{ST}^*}{V_{ST}^* + V_C} + \bar{I}_C \quad (2)$$

식(2)에서 필터 커패시터 전류의 신호는 Bus 전압으로부터 1차 고역필터를 사용하여 추정할 수 있다. 따라서, 제어 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$D = \frac{V_{ST}^*}{V_{ST}^* + V_C} + \omega_c C_F \frac{s}{s + \omega_c} \bar{V}_C \quad (3)$$

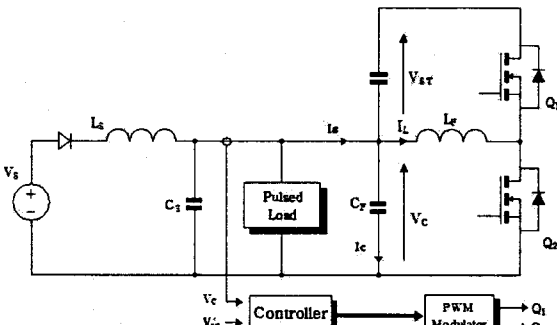
$\omega_c$ 는 필터의 corner frequency이다. 식(3)를 블럭다이어그램으로 표시하면 그림4와 같다.



<그림4> 제어 블럭 다이어그램.

### 4. 모의실험

그림 5는 VBC를 가지는 DC DPS의 간단한 구조를 나타낸다. 첫 번째 부분은 power source 이다. 두 번째는 입력필터이다. 세 번째는 부하컨버터이고, 마지막으로 VBC이다.



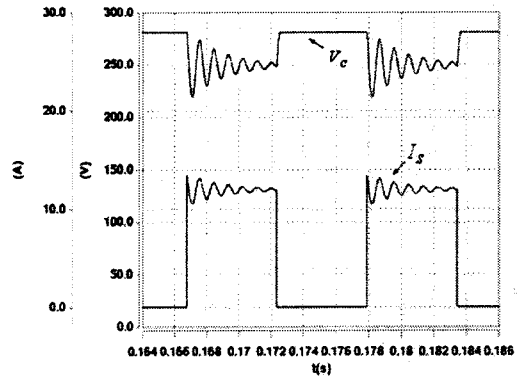
<그림5> VBC를 가진 DC DPS의 시스템의 구조

모의실험에서는 입력 전원 250 [V]였다. 입력필터  $L_s$ 는 400 [mH],  $C_s$ 는 50 [uF] 이다. 이 필터의 Corner frequency는 1 [kHz]였다. 모의실험은 3 [kW]의 저항부하와 승압(step-up)변환기를 각각 별도로 사용하였다. 사용된 부하는 90 [Hz], 50 [%]의 듀티로 On/Off하였다.

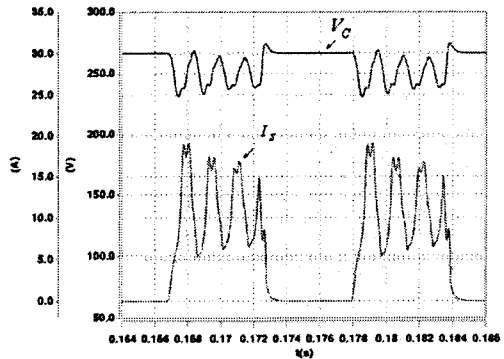
### 4.1 모의실험결과

#### 4.1.1 VBC가 없는 상태에서의 모의실험결과

그림 6과 7은 VBC가 없는 상태에서의 저항과 승압컨버터를 각각 부하로 사용하였을 때의 모의실험결과이다. 입력 필터  $L_s$ 와  $C_s$ 로 인하여 저항부하의 경우 버스전압 및 소스전류에서는 1 [kHz]의 공진이 발생하였으며, 승압컨버터에서는 600 [Hz]의 공진이 발생하였으며, 또한 버스전압 및 소스전류에서의 심각한 transients가 초래될 수 있다. 정상상태 250[V]기준으로 저항부하의 경우 버스전압은 최저 217[V], 최고 282[V]로 약  $\pm 13\%$  변동하였고, 승압 컨버터의 경우 버스전압은 최저 227[V], 최고 274[V]로 약  $\pm 10\%$ 로 변동하였다



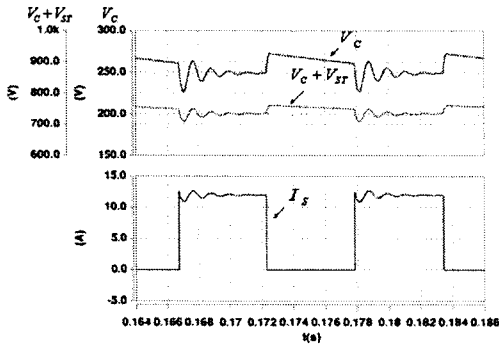
<그림 6> 저항부하에서의 모의실험결과.



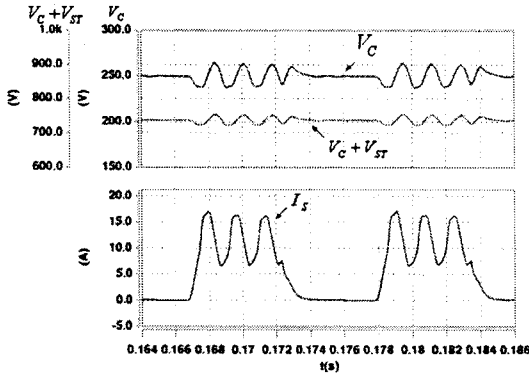
<그림 7> 부하컨버터에서의 모의실험결과.

#### 4.1.2 VBC를 가진 DC DPS

그림 8과 9는 VBC를 포함하였을 경우의 저항과 승압컨버터를 부하로 사용하였을 때의 모의실험결과이다. 버스전압 및 소스전류에서 진동이 나타났음에도 불구하고 그림 6과 7의 결과와 비교하여 보면 전압의 transients와 공진이 상당히 줄었음을 볼 수 있다. 정상상태 250[V]기준으로 저항부하의 경우 버스전압은 최저 229[V], 최고 271[V]로 약  $\pm 8\%$  변동하였고, 승압 컨버터의 경우 버스전압은 최저 236[V], 최고 265[V]로 약  $\pm 5\%$ 로 변동하였다.



<그림 7> 저항부하에서의 모의실험결과.



<그림 8> 부하컨버터에서의 모의실험결과.

## 5. 결 론

이 논문에서는 기존의 VBC보다 작은 값을 가지는 Bidirectional DC/DC converter를 VBC 시스템으로 제안하였다. 제안된 VBC는 DC 버스의 transients를 효율적으로 댐핑(damping)하였다. 그리고 실현하기 쉬운 제어기를 제시하였다. 제안된 시스템은 모의실험에 의하여 타당성이 입증되었다.

## [참 고 문 헌]

- [1] S. Luo, "A Review of Distributed Power Systems, Part I: DC Distributed Power System", Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, Vol. 20, Issue 8, Part 2, Aug 2005, Page(s) 5- 16.
- [2] A. Emadi, A. Khakigh, C.H. Rivetta, G. A. Williamson, "Constant Power Loads and Negative Impedance Instability in Automotive System: Definition, Modeling, Stability, and Control of Power Electronic Converters and Moto Drives" IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 55. No. 4, Jul/2006.
- [3] S.V. Mollov, and J. D. LA, "Study of control algorithms for a voltage bus conditioner", Vehicle Power and Propulsion 2005 IEEE Conference, pp.372-378, Sep 2005.
- [4] Andrew J Forsyth, and Awang Jusoh, "Simulation of an Active Damping Device for DC Power Networks", Society of Automotive Engineers Conference, Paper No. 2002-01-3191.