

# 보조 컨버터를 이용한 HVDC의 특성개선

김동희, 박성준, 남해곤, 김광현, 최준호  
전남대학교 전기공학과

## Improvement of HVDC Performance using Auxiliary

Dong-Hee Kim, Sung-Jun Park, Hae-Kon Nam, Kwang-Heon Kim, Joon-Ho Choi  
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

### ABSTRACT

HVDC용 AC/DC 컨버터들은 본질적으로 무효전력을 발생한다. 본 연구에서는, 수전단 전압의 비정현성에 의한 점호실패에 강인하여, 최소 점호각 제한을 적게 할 수 있고, 동일 출력 DC전압 조건하에서 무효전력 발생을 적게 할 수 있는, 보조 컨버터를 사용한 새로운 HVDC용 AC/DC컨버터의 구조를 제안한다. 또한 제안된 HVDC용 AC/DC 컨버터를 Proto-type으로 제작 및 실험을 행하여, 제안된 방식의 타당성을 입증하였다.

### 1. 서 론

현재는 교류계통에도 거리의 벽을 극복하기 위해 교류계통의 기능 강화용으로 정지형 무효전력보상장치(SVC, Static Var Compensator)나 정지형 무효전력발생장치(SVG, Static Var Generator)와 교류계통의 제어성을 높이기 위한 방안으로 가변 임피던스 기기나 위상제어장치 등의 FACTS(Flexible AC Transmission System)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 기술은 고도의 제어 정밀도를 요구되고 있으며 대용량 전력전송에는 한계로 인하여 그 대안으로 직류송전에 대한 필요성이 대두되고 있다.

### 2. 새로운 HVDC 시스템

그림 1은 보조컨버터를 이용한 HVDC용 컨버터 구조를 제안한 전력회로를 나타내고 있다.

제안된 컨버터의 구조는 크게 주컨버터와 보조컨버터로 구성되어 있다. 주컨버터에서는 HVDC 컨버터의 통상 정상전압을 설정하여 제어하고, 보조컨버터는 전력전송을 위한 보조전압을 제어하는 구조를 취하고 있다. 주컨버터의 입력 상전압과 보조컨버터의 입력 상전압은 전체 HVDC시스템에서 요구되는 전압범위에 따라 결정되어 진다. 주컨버터와 보조컨버터의 전압 비인  $p, s$ 는 아래 수식이 만족하도록 결정한다.

$$pN + sN = N \quad (1)$$

$N$  : 기존방식의 변압기 권수비  
 $pN$  : 제안된 방식의 주 권선비  
 $sN$  : 제안된 방식의 보조 권선비

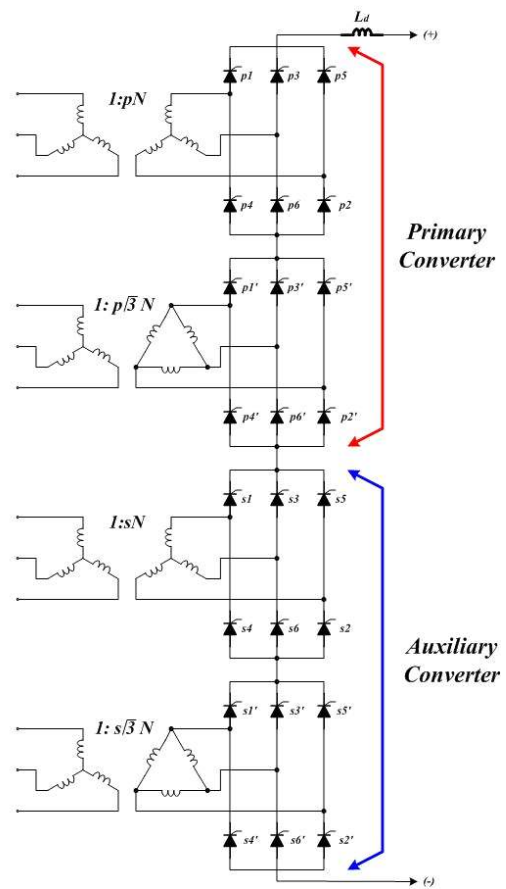


그림 1. 제안된 브리지 컨버터  
Fig. 1 Proposed bridge converter

제안된 컨버터의 구조에서 출력전압을 제어하기 위해서는 주컨버터의 점호각과 보조컨버터의 점호각인 두개의 점호각 지령치가 필요하다. 컨버터의 점호각에 따른 출력 직류전압의 평균치는 아래와 같다.

$$V_d = V_{do_p} \cos \alpha_p + V_{do_s} \cos \alpha_s \quad (2)$$

단,  $\alpha_p$  : 주컨버터의 점호각  $\alpha_s$  : 보조컨버터의 점호각

$$V_{do_p} = p V_{do}, \quad V_{do_s} = s V_{do}$$

식 (2)에서 알 수 있듯이 특정 출력 직류전압을 발생하기 위해서는 두 컨버터의 점화각 해가 무수히 많다. 본 논문에서는 주컨버터의 점화각은 일정값으로 하고, 보조컨버터의 점화각 제어 방식을 택한다.

출력 직류전압을 제어하기 위한 기존의 12-펄스 컨버터에서 점화각의 전류는  $\alpha$ 에서 송전단 상전류의 기본과 성분은 아래와 같다.

$$i_{a1} = \frac{2}{\pi} \sqrt{3} I_d \cos(\omega t + \alpha) \quad (3)$$

이때 점화각은 점호 실패방지와 입력역률에 의해 최대, 최소치가 설정되어지며, 이 범위 안에서 동작하게 된다.

$$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} \quad (4)$$

제안된 컨버터에서 송전단 상전류의 기본과 성분은 아래와 같이 두 컨버터의 점화각과 두 변압기의 권수비에 의해 아래 수식과 같이 주어진다.

$$i_{a1} = \frac{2}{\pi} \sqrt{3} I_d [ p \cos(\omega t + \alpha_p) + s \cos(\omega t + \alpha_s) ] \quad (5)$$

이때 주컨버터의 점화각은 점호 실패방지를 위해 최소치로 고정되며, 보조컨버터의 점화각은 전압제어를 위해 제어되며, 그 제어범위는 아래와 같다.

$$\alpha_p = K, \alpha_{\min} \leq \alpha_s \leq \pi \quad (6)$$

그림 2는 점화각에 따른 출력 직류전압 특성을 나타낸 것이다. 주컨버터는 일정점화각에 의한 일정 출력 직류전압 ( $V_{d_p}$ )을 형성하고, 보조컨버터의 점화각에 의해 ( $V_{d_s}$ )를 형성한다. 따라서 컨버터의 최종 출력은 그림 2의 실선으로 나타나며, 컨버터의 출력 직류전압은 보조 컨버터의 점화각에 의해  $V_{d_{\min}}$ 에서  $V_{d_{\max}}$ 로 동작하며, 이 전압은 HVDC 전체 시스템에서 요구하는 직류전압에 의해 결정되며, 그 값은 주컨버터용 변압기와 보조컨버터용 변압기의 권수비로 설정 할 수 있다.

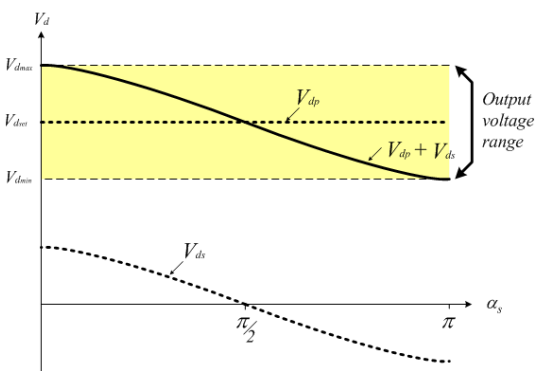


그림 2. 점화각에 따른 출력 직류전압 특성  
Fig. 2 Characteristics of output DC voltage according to firing angle

그림 3은  $p=0.8, s=0.2$ 인 경우의 제안 컨버터의 경우는 0.97로 우수하게 나타났으며, 동일 출력전압 구동 범위에서 기존의 컨버터는 0.60으로 나타났다.

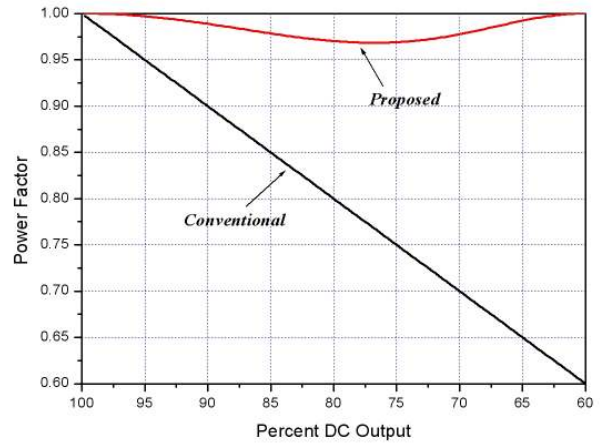


그림 3. 출력 직류전압에 따른 역률각 특성  
Fig. 3 Characteristics of power angle according to output DC voltage

### 3. 시뮬레이션 및 실험결과

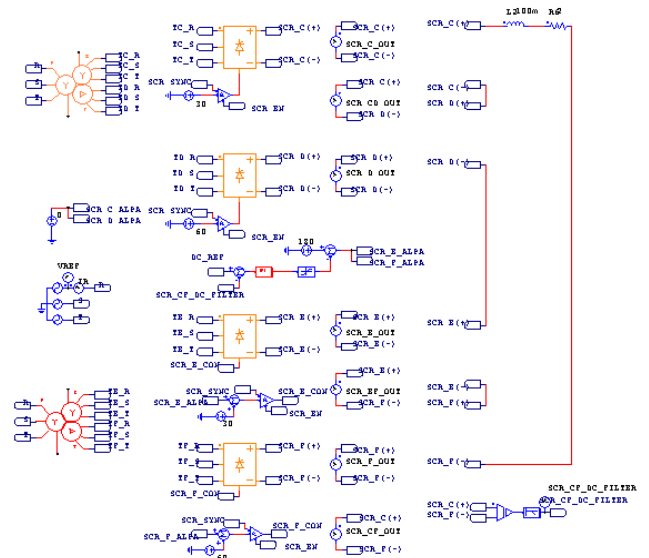


그림 4. PSIM 시뮬레이션 회로  
Fig. 4 Simulation circuit of PSIM

그림 4는 제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로이다. 변압기 1차측 상전압을 220[V]로 하였으며, 2차측 컨버터가 최대 100[V]를 발생할 수 있도록 메인 컨버터와 보조컨버터의 변압기 권수비는 8:2로 설정하였다.

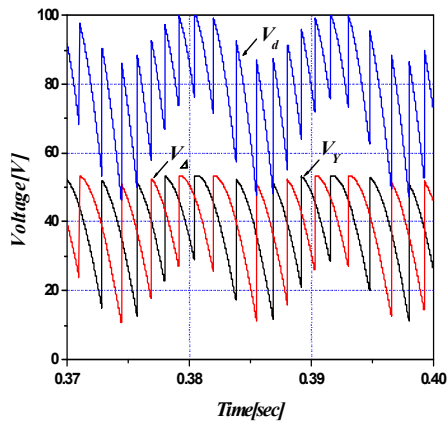


그림 5. 기존 컨버터의 전압 특성  
Fig. 5 Voltage characteristics of conventional converter

그림 5는 기존의 12-펄스 컨버터에서 출력 직류전압 지령치를 80[V]로 설정한 경우 Y축 컨버터의 출력전압, Δ축 컨버터의 출력전압, 최종 출력직류 전압을 나타내고 있다. 출력전압 리플은 50[V]로 나타남을 알 수 있다.

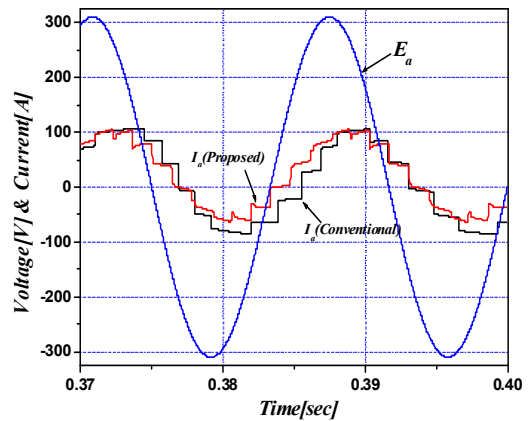


그림 7. 제안한 컨버터의 입력전류 위상특성  
Fig. 7 Characteristics of power angle between according to output DC voltage

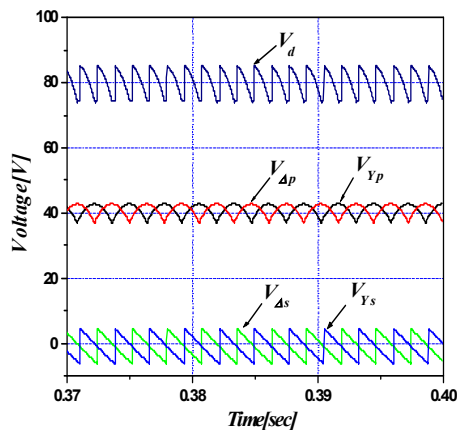


그림 6. 제안한 컨버터의 전압 특성  
Fig. 6 Voltage characteristics of proposed converter

그림 6은 보조 컨버터를 이용한 제안된 방식에서 입력역률이 최저인 출력 직류전압 지령치를 80[V]로 설정한 경우 메인 컨버터의 Y축 컨버터의 출력전압, Δ축 컨버터의 출력전압, 보조 컨버터의 Y축 컨버터의 출력전압, Δ축 컨버터의 출력전압, 최종 출력직류 전압을 나타내고 있다. 출력전압 리플은 10[V]로 기존 방식에 비해 상당히 줄어들음을 알 수 있다. 이 출력전압 리플 저감은 HVDC 시스템의 직류 스무딩 리액터의 용량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 송전단 및 수전단 전류의 양호하게 한다.

그림 7은 제안된 컨버터의 입력역률 특성의 우수성을 검증하기 위해 제안된 컨버터 최소 역률인 조건하에서 기존 컨버터와 제안된 컨버터의 전류 위상을 비교한 결과이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 제안된 컨버터가 기존 컨버터보다 상당히 좋은 역률을 보이고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 HVDC시스템용 새로운 컨버터에 대한 연구로 컨버터의 역률개선과 출력전압 제어를 위해 보조컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터를 실제 HVDC시스템에 적용될 경우 SCR 및 변압기의 수나 용량의 증대 없이 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구를 행한 결과 제안된 컨버터에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. 보조컨버터의 사용으로 제안된 컨버터는 기존의 12-펄스 컨버터에 비하여 전 영역에서 입력역률이 우수함을 알 수 있었으며, 특히 조상설비 용량을 결정하는 최소 입력역률은 기존 컨버터가 0.60인데 비하여 제안된 컨버터는 0.97로 그 상승효과가 매우 크게 나타났다.

나. 제안된 컨버터의 구조에서 출력 직류전압 리플은 기존 컨버터에 비해 약 5배 감소시킬 수 있었다. 이는 HVDC 시스템의 스무딩 리액터의 용량을 대폭 감소 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Kundur, "High-Voltage Direct-Current Transmission", chapter 10.
- [2] Final Report of KERI, "Development of Prototype Control System for HVDC", 2000.
- [3] Chan-Ki Kim, "Transient Performance of Cheju-Haenam HVDC System", KEPRI KEPCO, 2001.
- [4] H. K. Nam, et al., Estimation of Reasonable Load Shedding Amount and Stabilizing Measures for the Jeju System through Detailed Analysis, Final Report, Korea Power Exchange, 2007.5.