

## 직류송전에서 과도응답특성 개선을 위한 컨버터의 제어

민 완 기<sup>o</sup>, 유 명 호, 김 영 한      최 재 호  
한전 전력연구원      충북대학교

# New Control Method of Converter to Improve Transient Response in HVDC Link System

Wan-Ki Min<sup>o</sup>, Myeong-Ho Yoo, Yeong-Han Kim  
KEPRI of Korea Electric Power Cooperation  
Jeo-Ho Choi  
Chungbuk National University

**ABSTRACT** This paper describes the usefulness of new control method in HVDC link system which suffers from severe condition of weak ac system. The proposed control scheme is used for the positive feedback control which directly controls dc current at dc link system. The object of this paper is to improve the transient response of HVDC link system in disturbances such as faults. To achieve this objective, digital time-domain simulations are employed by the Electro Magnetic Transient Program for DC system (EMTDC).

1. 서 론

오늘날 전력계통에서 직류송전(HVDC)의 역할은 점점 커져가고 있으며 많은 전력회사들이 장거리송전은 물론 해저케이블이나 계통간 연계등에 직류송전을 적용하고 있다. 직류송전은 여러가지 장점도 가지고 있지만 교류를 직류변환시 입력교류 전원이 낮거나 불량한 경우 전압의 불안정과 고조파가 발생하며 컨버터나 인버터의 입출력 계통에서 지락과 같은 외란 발생시 용답특성이 문제점으로 대두되었다. 기존의 싸이리스터를 이용한 컨버터의 제이기들은 각종 외란들을 효과적으로 대처 할 수 없는 단점을 가지고 있었다.

직류송전계통에서 대전력용 컨버터는 대부분 싸이리스터를 사용하고 있으므로 계통선로에 라인 전류방식을 일반적으로 사용하고 있으며 전류를 시키기 위해서 교류전압에 전적으로 의존하게 된다. 교류전압의 조건이 열악한 상태에서 직류전압을 제어하게 되면 찾은 전류 실패로 결국 직류전압이 불안정하게 된다.[1] 교류에서 직류변환하는 시스템에서 칼만 필터를 사용한 기법들이 제시되었다.[2][3] 이러한 방법들은 직류송전계통에서 전압의 불안정 문제를 제거하는 데에는 기여를 하였으나 근본적으로 전류의 실패를 할 수 있는 요인들을 가지고 있고, 정류기

기와 인버터의 각종 외란들에 효과적으로 대처 할 수 없었다.

본 연구에서 컨버터의 전류를 적집적으로 제어하기 위하여 기존의 제어방식에 양재환(Positive Feedback)제어 투포를 침가하여 지락이나 단락과 같은 외란들로부터 용답특성을 개선하고자 하였다. 제안된 제어기법을 입증하기 위하여 EMTDC (Electro Magnetic Transient Program for DC system)[4]를 사용하여 디지털 시뮬레이션을 수행하였으며 컨버터의 입력축의 지락시험들을 한 결과 양호한 용답특성을 보여주었다. 제안된 제어기법은 간단한 방식으로 실질적으로 실계통에 적용이 가능하며 직류송전계통에 외란에 의한 불안정과 과도용답특성을 개선하고자 하였다.

## 2. 컨버터의 모델링

교류측에서 볼 때 컨버터회로는 그림 1에서와 같이 기본파와 고조파를 발생하는 전압과 전류원으로써 표현되는데 교류전압  $E$ 와 커뮤니티에 흐르는 전류  $I_{cap}$ 는 식(1)과 (2)로 주어진다.

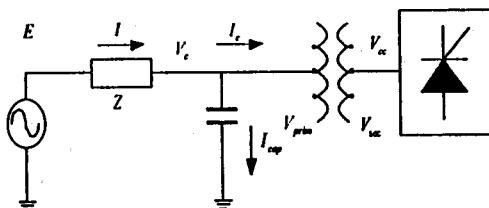


그림 1 컴퓨터의 기본구성도

$$E = V_c + (I_c + I_{cap})Z \quad (1)$$

$$I_{cap} = \frac{V_c}{X_{cap}} \quad (2)$$

컨버터의 입력 위상각  $\psi$ , 교류측 특성 임피던스 각도  $\theta$  와 컨버터 전류를  $I_c$  라 하면 식 (1)은 식 (3)으로 정리 할 수 있다.

$$E = V_c + I_c Z \cos(\theta + \phi) + j I_c Z \sin(\theta + \phi) \quad (3)$$

$$+ I_{cap} Z \cos\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) + j I_{cap} Z \sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right)$$

식 (3)에서  $I_c$ 를  $V_c/X_{cap}$ 를 대입하면 식 (4)로 표현 할 수 있다.

$$V_c^2 \left[ \frac{1+Z^2}{X_{cap}^2} - \frac{2Z \sin(\phi)}{X_{cap}} \right] + V_c^2 I_c Z [\cos(\theta + \phi) + \frac{Z \sin(\theta)}{X_{cap}}] + [I_c^2 Z^2 - E^2] = 0 \quad (4)$$

식 (4)에서 미지의 값으로는 컨버터의 역률각  $\theta$  와 컨버터의 전압  $V_c$ 이다. 이 변수들 중에 하나가 다른 식에 의해 정의되면 필요한 관련된 수식은 컨버터의 정상상태 방정식들로 컨버터의 제어시 이용된다.

$$I_d = \frac{V_c}{\sqrt{1+Z^2}} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{(\cos \alpha + \cos \beta)}{2} \quad (6)$$

$$V_d = \frac{3\sqrt{1+Z^2}}{Z} V_c \cos \theta \quad (7)$$

### 3. 시스템의 개요

컨버터의 제안된 제어기기법을 적용하기 위하여 CIGRE Benchmark 모델을 기본시스템으로 이용 하였다.[5]

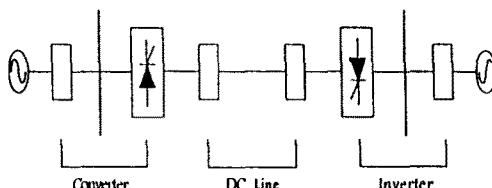


그림 2 직류송전 시스템의 회로도

그림 2는 직류송전계통으로 1000MW의 500kV HVDC 계통을 이며 외란발생시 과도응답특성을 개선하기 위하여 컨버터의 제어기를 설계하였다.

컨버터는 2개의 6개 멀스 브리지로 구성하였고, 드랜스 포머를 Y-△결선을 하여  $12n \pm 1$ 배수 고조파가 발생하도록 구성하였다.

그림 3에서와 같이 고조파 필터는 C-Type, High pass 와 Shunt 필터로 구성된다.

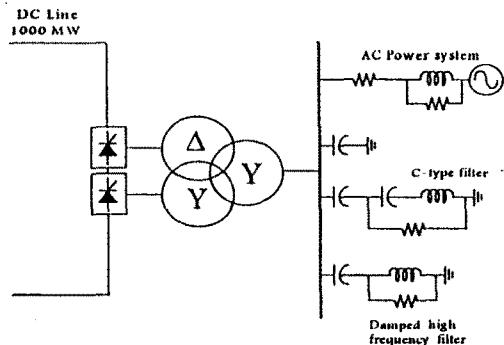


그림 3 컨버터의 회로도

### 3. 제어 알고리즘

컨버터 입력측의 외란들이 발생할 경우 직류송전계통의 컨버터와 인버터의 빠른 통신 방법이 없을 때 직류송전계통은 운전중에 범위를 이탈하여 붕괴될 수 있다. 따라서 양측의 적절한 협조에 의해 전류의 자령치를 유지하여야 만 한다.

인버터 입력측에 직류전압이 감소될 때 컨버터의 전류의 기준치를 감소하도록 하는 방식을 일반적으로 사용한다. 이러한 방법을 VDCOL(Voltage Dependent Current Order Limit)이라 부르며 특징은 부하의 의해 발생된 약한 댐핑 상태에서 고장시에는 회복특성이 좋으나 저락과 같은 큰 외란시 용답특성이 느린 단점을 가지고 있다. 따라서 빠른 용답특성을 갖기 위해서는 컨버터의 출력전류를 직접적으로 제어하는 것이 가장 좋은 방법이다.

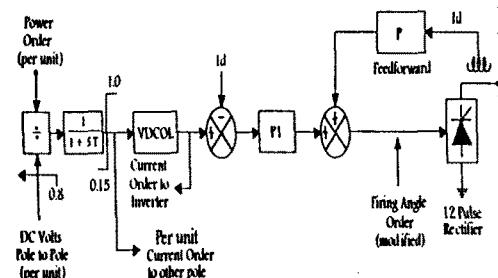


그림 4 제안된 제어기의 회로도

그림 4은 제안된 제어기의 회로도로 피드백된 직류전류를 필터를 통과시켜 고차 고조파의 주입을 막는고, 제어기로 왜형 고조파를 제주입하는 개념을 도입하는 간단한 방법으로 비례계인 P를 고조파의 컨버터의 점호각에 더 하였다. 컨버터의 전류를 직접적으로 제어하기 위하여 기존의 제어방식에 양극환제어루프를 첨가하여 저락이나 단락과 같은 외란들로 부터 용답특성을 개선하고자 하였다. 이 제안된 기법은 컨버터의 출력전류  $I_d$ 를 직접적으로 제어하여 직류전류 일정하게 유지하고, 과도상태에서

과도한 전류증가를 막는 양호한 응답특성을 나타냈다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

전력계통에서 과도현상 시뮬레이션을 위하여 프로그램들이 많이 사용되어 왔다. 역사적으로 전력계통의 많은 문제점들이 이와 같은 프로그램들을 이용하여 조류와 과도안정도 등의 연구를 위해 이용되어 왔다. 그러나 이러한 프로그램들은 직류송전계통에서 과도전압을 해석하는데에는 적당하지 못하였다. 본 연구에서는 시간영역에서 해석이 가능한 EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 5와 6에서는 각각 직류송전계통의 그림의 위부터 순서대로 첫번째 파형은 컨버터의 입력측 3상 전압, 두번째 파형은 인버터의 입력 직류전류와 컨버터의 출력 직류전류, 세번째 파형은 인버터의 입력 직류전압과 컨버터의 출력 직류전압 파형이고, 마지막 네번째는 인버터출력 3상 교류전압파형이다. 그림 5는 컨버터의 입력측 교류전압에서 A상 전압의 1상 지락시 파형을 나타내고 있다. 그림 6은 정류기의 입력측 교류전압에서 3상 지락의 경우 파형을 나타내고 있다. 그림 5과 6으로 부터 컨버터의 입력전압 지락시 컨버터의 전류값은 0.4~0.7 P.U로 진동을 하나 지락후 정상상태의 운전모드로 복귀하되 인버터의 입력 전류값은 크기는 낮아지나 일정한 레벨을 유지하고, 전압붕괴와 같은 현상은 나타나지 않고 있다. 제안된 양의 케워란루프에 의한 기법은 과도한 전류증가를 억제시키고 지락과 같은 외란에 대하여 양호한 응답특성을 보여주고 있다.

#### 5. 결 론

CIGRE 벤취마크모델을 이용하여 제안된 제어기의 특성을 시뮬레이션 통하여 결과를 검증하였다. 본 연구에서는 컨버터의 전류를 직접적으로 제어하기 위하여 VDCOL 제어방식에 양케워란루프를 추가하여 컨버터 입력측의 지락과 같은 외란으로부터 과도응답특성을 개선하였다.

제안된 기법은 직류전압의 제어시 고성능제어기로 동작하였고 실질적인 적용시 간단한 방법으로 응용이 간단할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] P.C.S Krishnayya, R.J.Piwko, M.P.Bahman and A.E.Hammond, "DC Transmission Terminating at Low-Shunt Circuit Ratio Locations," IEEE Trans., Vol.PWRD-1, No.3, July 1986, pp308-317.
- [2] C.E.Grund, R. V. Pohl, and J. Reeve, "Control design of an active and reactive power HVDC modulation system with Kalman filtering", IEEE Trans., 1982, PAS-101, pp.4100-4111
- [3] Y. Y. Hsu, and L. Wang, "Damping a parallel AC-DC power system using PID power system stabilizers and rectifier current regulators", IEEE Trans., 1988, EC-3,(3), pp.540-548
- [4] "EMTDC User's Manual", manitoba HVDC Research Centre Winnipeg, Canada, 1988.
- [5] Xiao Jiang, A. M. Gole, "An energy recovery

filter for HVdc sysstem", IEEE Trans., 1994 Power Delivery Vol. 9, No.1 pp.119-127

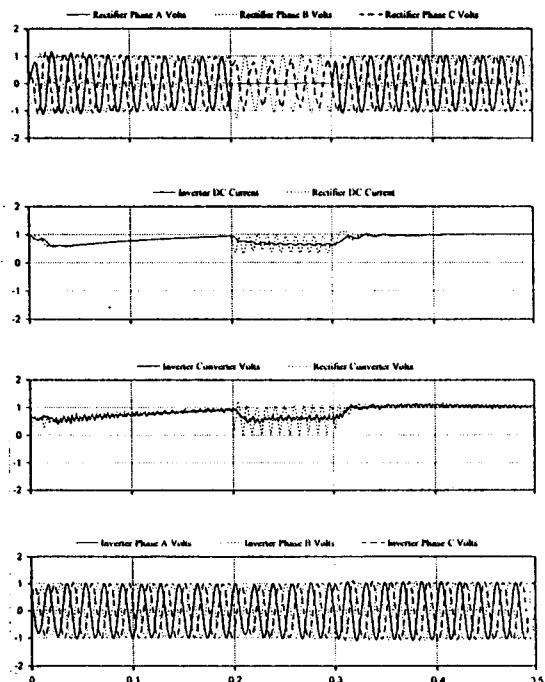


그림 5 컨버터의 입력측 교류전압 A상 지락

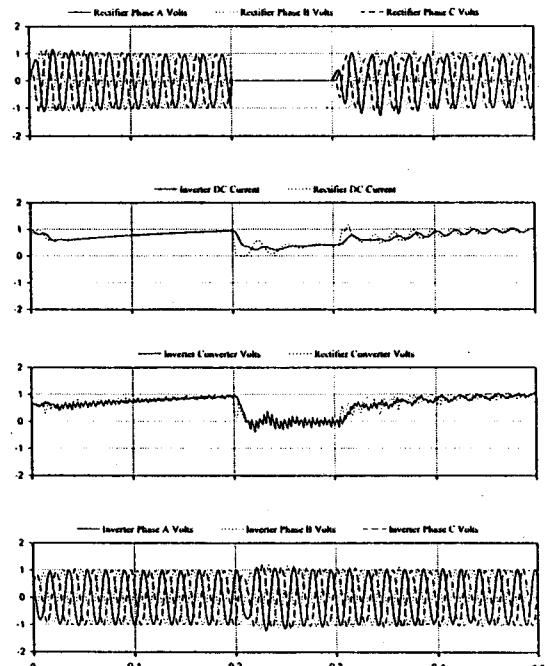


그림 6 컨버터의 입력측 교류전압 3상 지락