

HVDC 송전을 위한 전원용 컨버터 시스템의 역할 및 파형개선에 관한 연구

황락훈* 이춘상* 이상용* 나승권* 조문택**
 *세명대학교 전기전자공학부 **대원과학대학 전기과

A Study on Improvement of Powerfactor and Source Waveform Converter System of Power Supply for HVDC Transmission

Lak-Hoon Hwang* , Chun-Sang Lee* , Sang-Yong Lee* , Seng-Kwon Na* , Moon-Taek Cho**
 *Semyung University **Dae-Won Science College

Abstract - This paper presents a method of improving the power factor and the waveform of A.C line currents and the out waveforms of AC to DC fully bridge converter systems which is achieved by connecting converters in series and parallel. The results of simulation show that the power factor and the source voltage and current waveforms are improved by the method of connecting converter in series, and the controlled input voltage and current waveform using a current limit controller.

1. 서 론

직류송전은 전력계통연계, 장거리, 대용량 송전에 적합한 방식으로 전력계통의 안정도 향상 뿐만 아니라 고장용량을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 직류송전의 발전, 변전은 교류에 의해 송전만을 직류로 하는 것으로 비용의 대부분이 전력변환장치가 차지하고 있기 때문에 그 신뢰성과 경제성이 중요한 문제로 대두되고 있다. 전력변환장치의 일관된 위상제어장치는 직류 출력전압이 연속적으로 변화되고 자연전류 되기 때문에 각종 직류전원으로 널리 채용되고 있다. 이와 같은 종류의 전력변환장치는 위상제어 방법으로 운전될 때 점호각의 증가에 따른 전원측의 역률변화 및 전류파형의 왜형으로 낮은 차수의 고조파가 상당히 포함된다. GTO 다이리스터에 의한 전력변환장치에서 전원측의 역률을 개선하기 위하여 출력전압을 전원측 바이어스 전압으로 피이드백의 방법, PWM을 컨버터에 이용하는 방법, 전원측 무효전력 보상 및 무효전력공급방식이 발표되었고, 이들 GTO 다이리스터는 소자자체가 정격에 알맞게 사용될지라도 단시간내의 과부하에 견디기 어려운 문제점이 있으나 소자자체의 손실이 없는 온·오프방식을 이용하므로 전류 피이드백 루프에 의한 전류원으로 구동하는 경우도 있다. 본 연구에서는 직렬로 접속된 컨버터들과 또 다른 직렬로 접속된 컨버터들을 결합하여 병렬운전할 때 일부 컨버터는 자연전류방식의 지상운전을 시키고 일부 컨버터는 강제전류방식의 진상운전을 시킴으로서 직류측의 출력전압 파형의 개선을 물론이고 전원측을 고역률로 유지하고 전류파형을 개선시킬 수 있는 결과를 해석하였다.

2. HVDC 컨버터 해석

컨버터의 점호각을 α 라 하면, 제어각 β 는 식 (1)로 표현되며, 소호각 γ 는 제어각 β 와 중복각 μ 에 의해 결정되며 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad (1)$$

$$\gamma = \beta - \mu \quad (2)$$

또한 컨버터단의 변압기율 S_N 은 식 (3)에 나타냈다.

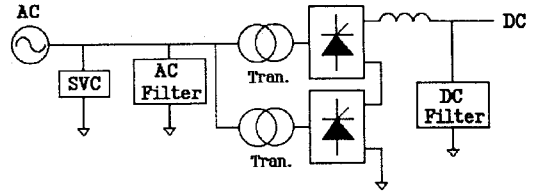


그림 1. HVDC 컨버터의 기본 구성도

$$S_N = \sqrt{2} U_{VN} I_{dN} \quad (3)$$

여기서, U_{VN} 은 상전압, I_{dN} 은 정격직류전압이다.

밸브와 HVDC 컨버터 브릿지를 설계하는데 있어서 리액턴스 X_C 를 결정하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 리액턴스는 $0.1 < X_C < 0.15$ 의 범위내에서 결정된다.

교류 전류버스에서 컨버터에 대한 역률의 근사값은 정류기에서는 식 (4), 인버터에서는 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\text{역률} = \cos(\theta) = \cos(\alpha) - 0.5 X_C \left(\frac{I_d}{I_{dN}} \right) \quad (4)$$

$$\text{역률} = \cos(\theta) = \cos(\gamma) - 0.5 X_C \left(\frac{I_d}{I_{dN}} \right) \quad (5)$$

여기서 I_d 는 직류부하전류, I_{dN} 은 정격직류전류, θ 는 역률각이다. 인버터의 여유각은 컨버터에서 결정되는데 일반적으로 $\gamma = 18^\circ$ 를 가진다. 컨버터에서 손실을 무시한다면, 브릿지에 흐르는 전력 P_d 는 식 (6)으로 되며, 무효전력 Q_L 은 식 (7)로 된다.

$$P_d = I_d U_d \quad (6)$$

$$Q_L = P_d \tan(\theta) \quad (7)$$

여기서 I_d 와 U_d 는 컨버터 브릿지를 통해 흐르는 직류 전류와 전압이다.

따라서 상전압 U_{VN} 은 식 (8)로 표현된다.

$$U_{VN} = \frac{U_{dN}}{1.35 \cdot \cos(\theta)} \quad (8)$$

정류기에서 중복각 μ 는 지연각 α , 리액턴스 X_C , 직류부하전류 I_d 가 결정되었을 때, 식(9)와 같이 근사적으로 결정할 수 있으며, 인버터에서는 식 (10)으로 된다.

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos(\alpha) - X_C \frac{I_d}{I_{dN}} \quad (9)$$

$$\cos(\gamma + \mu) = \cos(\gamma) - X_C \frac{I_d}{I_{dN}} \quad (10)$$

인버터에서 지연각 α 는 γ 와 μ 가 결정되었다면 식 (11)과 같이 된다.

$$\alpha = 180^\circ - (\gamma + \mu) \quad (11)$$

또한 상전압을 기준으로 해서 컨버터단의 변압기에 대한 권수비를 결정하기 위한 것을 식 (12)에 표현했다.

$$\text{권수비} = \frac{\text{밸브측 상전압}}{\text{교류측 상전압}} = \frac{U_{VN}}{U_{LN}} \quad (12)$$

3. 시스템 및 시뮬레이션 결과

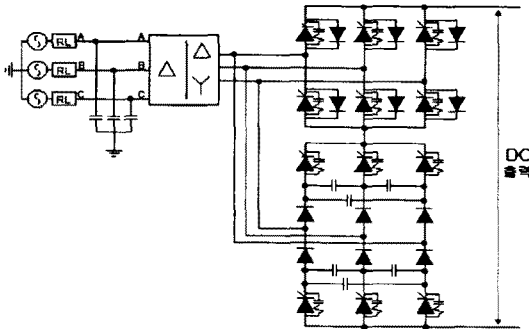


그림 2 HVDC 컨버터 주회로

그림 2는 부하에 100MW를 공급하는 VSC(Voltage Source Converter Transmission)이다. 컨버터단은 교류전압의 제어를 위해 캐리어 주파수가 기본주파수의 27배인 PWM 제어를 했으며, 인버터는 교류전압의 크기와 주파수를 제어하기 위해 33배의 캐리어 주파수를 이용한 PWM 제어를 했다. 교류시스템에서 시뮬레이션에 대한 전압의 크기는 115(kV), 단락회로는 167(MVA)를 설정을 했으며, 변압기는 100(MVA)의 Y- Δ fm 구성했으며 부하저항은 0.1233(Ω), 리액턴스는 99.69(Ω)로 하였다.

이러한 시스템에 대한 제어기는 그림 3과 같이 나타냈으며, 컨버터와 인버터의 게이트 펄스단에 대한 제어기는 그림 4에 있다.

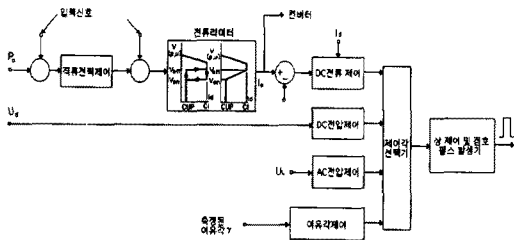


그림 3. HVDC 제어시스템

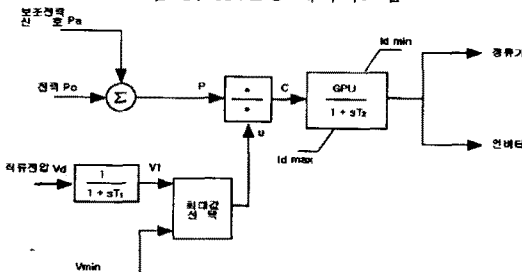


그림 4. DC 링크 단자에 대한 전력 제어기

그림 5는 90[Hz]의 low-pass 필터와 120[Hz]/60[Hz]의 노치를 가질때의 전압파형이며, 그림 6은 필터전압과 기준전압의 차가 PI제어기를 통과한 후에 AngleOrder의 파형으로 P값은 1.55, I값은 0.1로 설정했다. 또한 그림 7은 정류기측의 유효전력에 대한 파형이며, 그림 8은 직류전압, 그림 9는 직류전류, 그림 10은 인버터단의 전압파형, 그림 11은 부하단의 상전류, 그림 12는 변조지수에 대한 시뮬레이션 파형을 나타냈다.

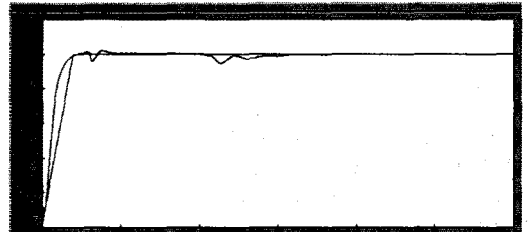


그림 5 low-pass 전압파형

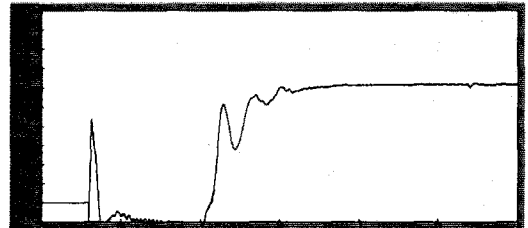


그림 6 PI제어기 출력파형

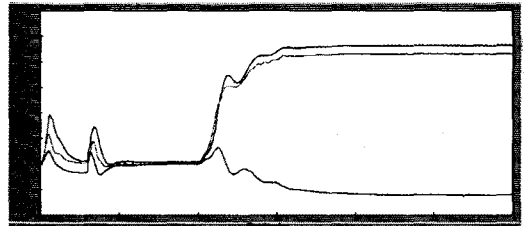


그림 7 정류기측 유효전력파형

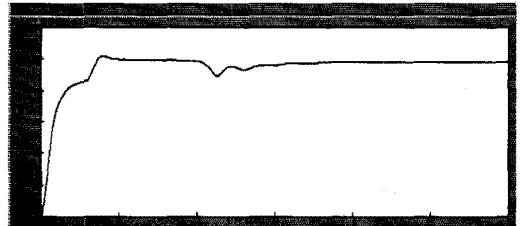


그림 8 직류전압 파형



그림 9 직류전류 파형

(참 고 문 헌)

- [1] 민완기 외 3명, "직류송전에서 과도응답특성 개선을 위한 컨버터제어", 대한전기학회 하계학술대회, pp.342-344, 1996
- [2] "EMTDC User's Manual", manitoba HVDC Research Centre Winnipeg, Canada, 1988
- [3] D.A.Woodford, "Solving the fereresonance problem when compensating a d.c converter station with a series capacitor", IEEE Trans. Power Systems, Vol.3, No.2, 1325-1331, August, 1996
- [4] J.Reeve, J.A.Baron and G.A.Hanley, "A technical assessment of artificial commutation of hvdc converters", IEEE Trans. PAS, Vol.PAS-87, No.10, 1830-1840, October, 1968
- [5] R.L.Hauth, P.J.Tatro, B.D.Railing, B.K.Johnson, J.R.Stewart and J.L.Fink, "HVDC Power Transmission Technology Assessment Report ORNL/Sub/95-SR893", Oak Ridge National Laboratory, April, 1997

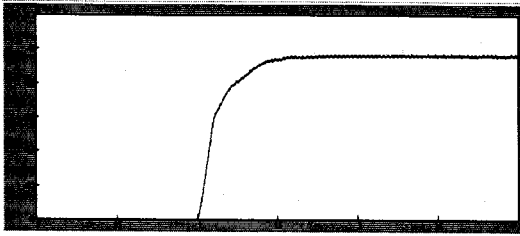


그림 10 인버터단의 전압파형

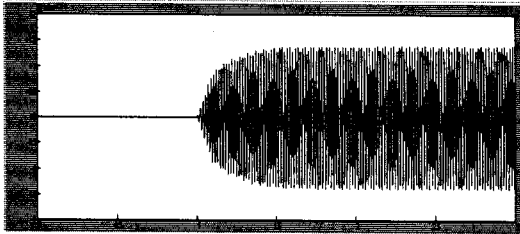


그림 11 부하단의 전류파형



그림 12 변조지수

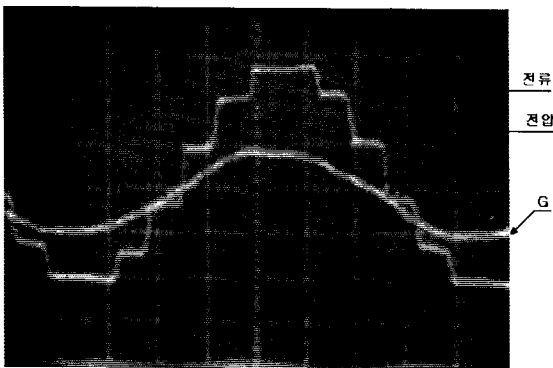


그림 13 입력측 전압-전류파형

4. 결 론

본 연구에서는 HVDC 컨버터의 일반적인 전력변환회로의 직류링크 캐패시터의 용량을 줄이면서 전원측의 역할 1의 운전을 하도록 하는 제어를 제안하였다. 또한 전류를 직접적으로 제어하여 컨버터 입력측의 지락과 같은 외란으로부터 과도응답특성을 개선하였으며 전원측 전압, 전류파형이 개선 되었음을 알 수 있었다. HVDC를 위한 대용량 System을 시뮬레이션 및 동작을 시키기 위한 전력계통연계는 향후 연구 발표할 예정이다.