

전압원 방식으로 동작하는 제주-해남 HVDC의 성능해석

박용희*, 조윤호*, 최준영*, 한병문*
*영지대학교 전기공학과

Performance Analysis of Jeju-Hanam HVDC System operated by Voltage Source Converter

Yong-Hee Park*, Yun-Ho Cho*, Jun-Young Choi*, Byung-Moon Han*
*Dept. of Electrical Engineering, Myongji University

Abstract - 본 논문에서는 현재 전류원 HVDC로 연계되어 있는 제주-해남 전력계통을 전압원 HVDC로 대체하였을 경우 동특성을 분석한 내용에 대해 기술하고 있다. 동적특성분석을 위해 EMTDC를 이용한 시뮬레이션모델을 개발하고 전압원 HVDC가 일정조류제어와 주파수제어를 수행할 때 유무효전력의 제어특성을 분석하였다. 전압원 HVDC 시스템은 전류원 HVDC와는 달리 컨버터 자체로 유무효전력을 독립적으로 제어할 수 있어 동기조상기와 캐패시터뱅크 같은 무효전력보상설비를 필요로 하지 않는다. 본 연구결과는 향후 전압원 HVDC 시스템의 설치를 검토할 때 활용 가능할 것으로 보인다.

1. 서 론

전압원 HVDC 시스템은 GTO 또는 IGBT와 같은 자기소호형 반도체스위치를 사용하는 전압원컨버터로 구성되어 있어 교류전압변동에 따라 전류실패를 발생하지 않고 컨버터 자체로 유무효전력을 독립적으로 제어할 수 있다. 따라서 전류원 HVDC 시스템과는 달리 동기조상기나 캐패시터뱅크와 같은 무효전력보상설비를 필요로 하지 않는다.[1]

또한 전압원컨버터는 PWM 스위칭방식을 사용하여 교류 한주기당 스위칭수가 증가하여 이에 따른 전력손실은 증가하지만 출력과형의 저차 고조파를 감소시켜 출력파형개선을 위한 고조파필터의 용량과 크기가 작아지게 된다. 따라서 전압원 HVDC의 설치면적은 동일한 용량의 전류원 HVDC 보다 훨씬 작아지게 된다[2].

전압원컨버터는 90년대 이후 꾸준히 FACTS 나 Custom Power를 구현하기 위해 전력계통에 적용되어 왔다. 전압원컨버터를 HVDC에 처음 적용한 것은 ABB 사가 스웨덴 Gottland에 풍력발전을 계통에 연계하기 위해 설치를 착수한 시스템용량이 60MVA이고 송전직류전압이 ±80kV인 시스템이었다. 그리고 현재까지 가장 큰 용량의 전압원 HVDC 시스템은 2002년에 설치 운영 중인 Connecticut과 Long Island를 연결한 Cross Sound cable인데 시스템 용량은 330MVA이고 송전직류전압은 ±150kV 이다.[3]

본 논문은 전압원 HVDC 시스템의 시뮬레이션 모델을 EMTDC를 이용하여 개발하고 제주-해남 HVDC 시스템을 이것으로 대체하였을 경우의 동적특성을 분석하였다.

2. 본 론

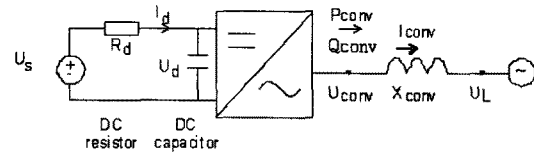
2.1 유무효전력 제어

그림 1은 유무효전력 제어원리를 설명하기 위해 전압원 HVDC 시스템에서 교류계통과 연계된 한쪽 컨버터를 등가회로로 나타낸 것이다. 직류측은 반대쪽 컨버터를 직류전압원 U_s 로, 직류선로저항은 직류저항 R_d 로, 그리고 직류전압을 안정화시키는데 필요한 직류커패시터 C_d 로 등가화가 가능하다. 교류측은 교류전류의 안정화와 유무효전력을 제어하는데 사용되는 결합변압기의 누설리액턴스와 필터 리액터를 인덕턴스로 등가화가 가능하다.

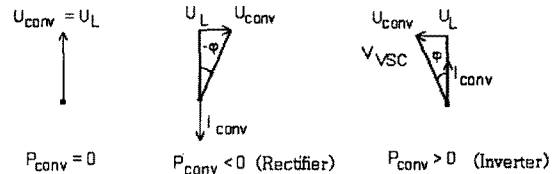
유효전력의 제어는 그림 1(b)에 보인 것처럼 컨버터출력전압의 위상각을 제어함으로써 가능하다. 즉, 컨버터출력전압의 위상각이 교류계통전압의 위상각보다 앞선다면 컨버터는 인버터로 동작하여 교류계통으로 유효전력을 주입한다. 이때 직류 측에서는 등가전류 I_d 가 직류전압원으로부터 흐를 것이고 직류전압 U_d 는 $U_d = U_s - R_d \cdot I_d$ 에 의해서 감소한다.

컨버터출력전압의 위상각이 교류계통전압의 위상각 보다 뒤지면 컨버터는 정류기로 동작하여 교류계통으로부터 유효전력을 흡수한다. 이때 직류 측에서는 등가전류 I_d 가 직류전압원으로부터 주입될 것이고 직류전압 U_d 는 $U_d = U_s + R_d \cdot I_d$ 에 의해서 증가한다.

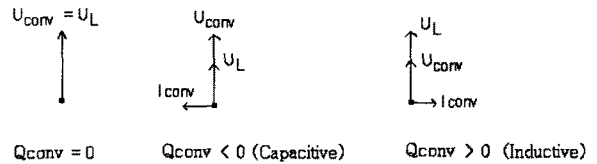
무효전력의 제어는 그림 1(c)에 보인 것처럼 컨버터출력전압의 크기를 조절함으로써 가능하다. 즉, 컨버터출력전압 U_{conv} 의 크기가 교류계통전압 U_L 보다 크면 용량성 모드로 컨버터는 무효전력을 교류계통으로 주입하고 컨버터출력전압 U_{conv} 의 크기가 교류계통전압 U_L 보다 작으면 유도성 모드로 컨버터는 무효전력을 교류계통으로부터 흡수한다. 이는 STATCOM의 동작원리와 동일하다.



(a) 전압원 HVDC 등가회로



(b) 유효전력 벡터도



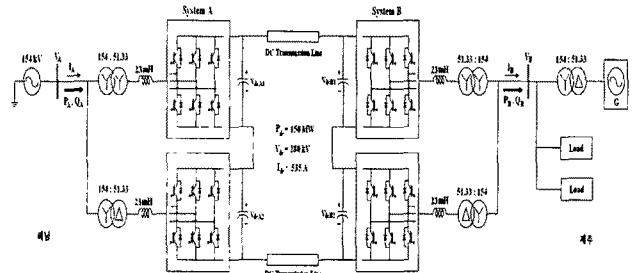
(c) 무효전력 벡터도

〈그림 1〉유무효전력 제어 원리

2.2 시뮬레이션 모델

전압원 HVDC 시스템의 동적특성을 해석하기 위해 EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 해남계통은 교류등가전원으로 그리고 제주계통은 하나의 발전기와 부하로 등가화 하여 그림 2와 같이 나타내었다. HVDC 시스템의 운영은 해남측 컨버터는 정류기로 동작하고 제주측 컨버터는 인버터로 동작하며, 각 전압원 컨버터는 독립적으로 연계된 교류계통의 무효전력을 제어한다.

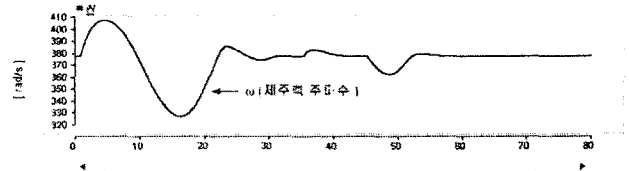
한편 특성해석을 효과적으로 수행하기 위해 표 1에 기술된 시나리오에 따라 시뮬레이션을 실시하였다. 즉 해남측(A-side)에서는 전 구간 동안 일정직류전압제어로 동작하고 제주측(B-side)에서는 0-60초까지 일정조류제어모드로 그리고 60-80초까지 주파수제어모드로 동작한다.



〈그림 2〉 전압원 HVDC 시뮬레이션 모델

〈표 1〉 시뮬레이션 시나리오

시간[sec]	0-35	35-45	45-60	60-65	65-80
해남측	일정 직류전압 제어				
제주측	일정조류제어			주파수제어	
P_B [MW]	150	200	150		
Q_B [MVar]	0	50	0		
V_{dc} [kV]	280	280	280	280	280
부하조건	360MW, 90Mvar			300MW 75Mvar	360MW 90Mvar



〈그림 3〉 시뮬레이션 결과

2.3 시뮬레이션 결과분석

표 1에 기술된 제주측 일정조류제어모드의 경우 0-35초 구간에서는 HVDC 시스템을 투입하여 안정화를 이룬 후 유무효전력 기준값을 $P_B=150MW$, $Q_B=0MVar$ 로 하고, 35-45초 구간에서는 $P_B=200MW$, $Q_B=50MVar$ 로 그리고 45-60초 구간에서는 $P_B=150MW$, $Q_B=0MVar$ 로 변경하였다.

그림 3에 나타난 것처럼 직류전압유지와 유무효전력의 독립제어가 원활히 수행되고 있음을 알 수 있다. 이때 제주계통의 주파수는 HVDC의 전송전력이 바뀔 때 따라 제주측 발전기의 출력전력이 바뀌게 되므로 주파수가 흔들림을 알 수 있다. 초기 0-35초 구간에서 주파수가 크게 요동하는 현상은 부하투입에 따른 조속기의 동작에 기인한다.

표 1에 기술된 제주측 주파수제어모드의 경우 60-65초 구간은 60MW의 부하가 탈락하였을 때를 그리고 65-80초 구간은 다시 부하를 투입하는 상태를 나타낸다. 그림 3의 그래프를 보면 부하의 탈락이나 투입이 발생해도 일정한 주파수가 유지됨을 알 수 있다. 이것은 탈락된 부하만큼 HVDC 시스템이 공급량을 자동으로 조절하므로 나타나는 특성이다. 만일 일정조류제어모드라면 주파수는 앞부분처럼 흔들렸을 것이다. 한편 제주측의 직류전압이 해남측에 비해 약간 떨어지는데 이것은 직류전송선로에 의한 전압강하분이 존재하기 때문이다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 전류원 HVDC로 연계되어있는 제주-해남 전력계통을 전압원 HVDC로 대체하였을 경우 동특성을 분석하였다. 동적특성분석을 위해 EMTDC를 이용한 시뮬레이션모델을 개발하고 전압원 HVDC가 일정조류제어와 주파수제어를 수행할 때 유무효전력의 제어특성을 분석하였다. 전압원 HVDC 시스템은 전류원 HVDC와는 달리 컨버터 자체로 유무효전력을 독립적으로 제어할 수 있어 동기조상기와 캐패시터뱅크 같은 무효전력보상설비를 필요로 하지 않는다. 본 연구결과는 향후 전압원 HVDC 시스템의 설치를 검토할 때 활용 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 한국전력공사의 전력산업연구개발산업 과제 “부하집중지 송전용량 증대방안” 지원에 의하여 이루어진 연구의 일부로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] E. Schettler, H. Huang, N. Christle, "HVDC transmission system using voltage source converters-design and applications", IEEE PES Summer Meeting, July 2000.
- [2] T. Larsson, et al, "Eagle Pass back-to-back tie: a dual purpose application of voltage source converter technology", IEEE PES Summer Meeting, 2001.
- [3] Anna-Karin Skytt, Per Holmberg, Lars-Erik Juhlin, "HVDC light for connection of wind farms", Second International Workshop on Transmission Networks for Off-Shore Wind Farms, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, March 29-30, 2001.

