

PSCAD를 이용한 ±80kV 60MW HVDC System의 AC Filter 절연 협조 설계

이육화*, 권준범*, 정용호*, 나현국**, 이덕진**, 문형배**
 LS산전(주)*, 한국전력공사**

AC Filter Insulation Coordination Design and Verification of the ±80kV 60MW HVDC System using the Modeling and PSCAD

U.K.Lee*, J.B.Kwon* Y.H.Chung*, D.J.Lee**, H.B.Moon**
 LSIS*, KEPCO**

Abstract - 본 논문에서는 제주 한림 풍력발전소와 한림 변전소 간에 구축할 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 절연 설계를 위해, 각 구성품의 절연 등급을 수 계산으로 설계하였고 PSCAD로 검증하였다. 각 부분의 절연설계 부분 중, 특히 AC측의 선로에 설치되어 고조파를 저감하는 AC Filter의 절연설계는 고려할 사항이 많다. AC측 선로의 사고, 임펄스 그리고 구성 소자인 인덕터와 커패시터의 설치 구성에 따라 AC Filter의 절연설계가 달라질 수 있다. 따라서 Filter 종류 및 주변 상황요소가 미치는 영향 등 모든 상황을 고려하여 모의하였고 수 계산으로 설계된 절연등급을 검증하였다.

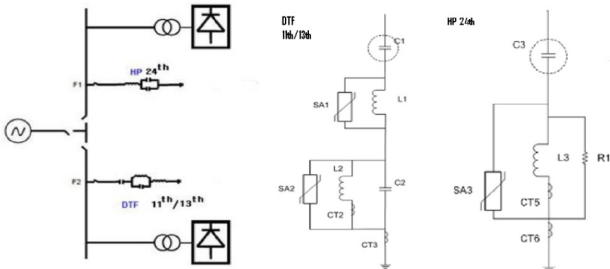
1. 서 론

HVDC 변환설비의 절연 설계 과정은 2가지 목적을 바탕으로 한다. 첫째, 시스템에서 나타나는 임펄스 과전압의 충격으로부터 즉시 주요 소자(변압기, 싸이리스터 Valve 등)를 보호하기 위함이다. 둘째, 신뢰성 있고 경제성이 확보된 변환설비를 설계하기 위하여 BIL, BSL 그리고 clearance 등을 최적화하기 위함이다.

그 중 AC Filter는 다른 기기와는 다르게 절연설계 시 별도로 고려해야 할 점이 많다. 따라서 본 논문에서는 다른 기기와 마찬가지로 최대 정상상태 전압, 일시적 과전압, 순간과도 전압 등이 AC Filter 동작 중에 어떠한 영향을 미치는지 주위 요소를 감안하여 등급을 정한다. 그리고 AC Filter의 절연 내력 및 특성을 선택하기 위해 보호 등급을 경제적, 신뢰성 등의 요소를 고려하여 정한다. 또한 이를 기반으로 AC Filter에 설치되어 있는 피뢰기의 보호 동작 여부 에너지 내량 등을 설계하여 시뮬레이션으로 검증한다.

2. 본 론

2.1 ±80kV HVDC System-AC Filter 및 AC Line 구성



〈그림 1〉 ±80kV HVDC System-AC Filter 절연레벨 위치

다른 HVDC 시스템에 설치되어 있는 기기들과는 다르게 AC-Filter는 수 계산으로 절연설계를 하기 어렵다. 따라서 몇 가지 상황을 가정하고 주변요소를 고려 시 일어날 수 있는 사고에 대한 시뮬레이션을 통하여 절연레벨을 정한다. 그림 1은 ±80kV HVDC System의 절연 정류기 측 AC Filter 구성을 나타내는 그림이다. 24차 고조파를 저감시키기 위한 High Pass Filter, 11차 및 13차 고조파를 저감시키기 위한 Double Tuned Filter를 사용하였다. 해당 AC-Filter의 절연등급 및 보호등급을 정하기 위하여, 표 1과 같은 상황에서 시뮬레이션 하였다.

〈표 1〉 Simulation 조건

구 분		값
System Voltage	Nominal	154kV
	Min	139kV
	Max	169kV
Frequency	Nominal	60±0.2Hz
	Min	57.5Hz
	Max	62Hz
Existing Insulation Levels	피뢰기 정격전압	138kV
	피뢰기 제한 전압	460kV
	BIL(Reduced Insulation)	650kV
	BIL(Full Insulation)	750kV

2.2 AC Filter 절연/보호등급 결정 시 고려사항

시뮬레이션을 통하여 AC Filter의 절연/보호등급을 결정 시 AC Filter의 각 소자에 걸리는 최대 정상상태 과전압은 다음 몇 가지 상황을 고려하여 결정해야 한다. 우선 최대 정상상태 AC 전압을 고려해야 하고, 변환설비에서 정의된 기본 주파수의 편차, 그리고 AC 선로의 역 상분 2%, AC Filter 기기의 오차율 ±1%, 시스템의 단락용량, 시스템 운전 시 과부하 조건 등이 고려되어야 한다. 또한 절연 등급 시뮬레이션 시 과도 상태 사고를 모의해야 하는데 모의된 대표적인 사고는 표 2와 같다.

〈표 2〉 사고 조건

구 분	사고 조건	스트레스 종류
Case 1	Single Phase Ground Fault	Lightning
Case 2	Switching Surge	Switching
Case 3	Filter Energization	Switching
Case 4	Recovery After Three Phase Ground Fault	Switching

2.3 AC Filter 절연/보호등급 시뮬레이션 결과

표 1에 정의된 사고 조건을 모두 모의하여 그림 1의 AC-Filter 구성 소자인 인덕터와 커패시터에 걸리는 최대 전압을 모두 측정하였으며 그 결과 최악 조건에서 피뢰기 SA1, SA2, SA3에 걸리는 최대 지속 전압 및 SIPL, LIPL, SIWL, LIWL 및 피뢰기 에너지 내량은 다음 표 3, 표 4와 같다.

〈표 3〉 시뮬레이션 결과(SIPL)

피뢰기	CCOV (kV)	Simulated SIPL			SIWL
		kV	Current (kA)	Energy (kJ)	
SA1	6.85	102.3	5.21	48.37	125
SA2	1.16	16.06	small	0.22	95
SA3	1.34	101.8	4.66	27.31	125

〈표 4〉 시뮬레이션 결과(LIPL)

피뢰기	CCOV (kV)	Simulated LIPL			LIWL
		kV	Current (kA)	Energy (kJ)	
SA1	6.85	116.9	50.26	69.6	150
SA2	1.16	9.32	small	0.068	95
SA3	1.34	117	50.47	69.8	150

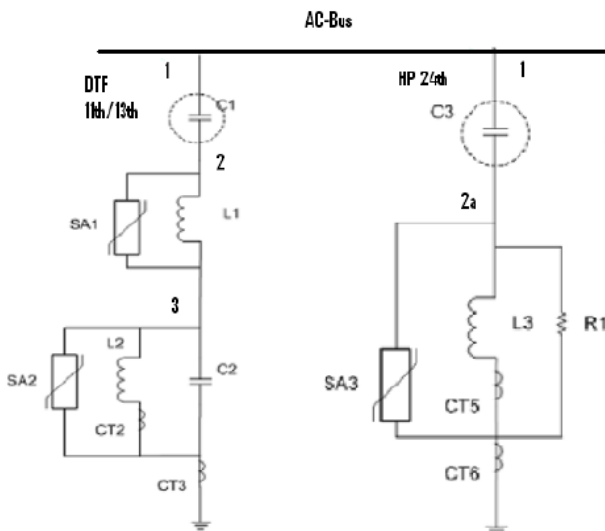
〈표 5〉 상간 절연 등급

위치	1	2	2a	3	단위
LIPL	600	120.1	117	9.24	kV
SIPL	210	103.8	101.9	16.06	kV
LIWL	750	150	150	95	kV
SIWL	350	125	125	95	kV

〈표 6〉 기기 간 절연 등급

위치	1-2	2-3	1-2a	단위
LIPL	290	116.9	290	kVpeak
SIPL	382.67	102	382.6	kVpeak
LIWL	650	150	650	kVpeak
SIWL	650	125	650	kVpeak

표 3과 표 4로부터 얻어진 시뮬레이션 결과를 고려하여, 피뢰기를 선택할 수 있다. 또한 다음 그림 2와 표 5, 표 6의 결과를 이용하여 인덕턴스 및 커패시턴스 बैं크의 설계 시 반영한다. 이는 제작 및 설치 시 전체 기기의 크기 및 설치 면적 결정 시 반영될 수 있다.



〈그림 2〉 AC Filter 구성 요소 간 절연레벨 위치

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 자체기술을 이용하여 개발 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템에 대하여 기본 절연 설계 등급, 방안, 고려사항을 제시하였다. 그 중 HVDC 주변에 설치된 기기 중 다른 기기와는 다르게 AC 선로 및 AC 필터 구성을 고려해야 하는 AC 필터의 절연 등급 및 보호 등급을 최악 사고 상황을 시뮬레이션으로 모의 후 가격, 설치 면적, 신뢰성 등 trade-off 관계를 고려하여 최종 결정하였다. 이 값들은 AC 필터의 보호 기기 및 각 구성요소 설계 시 적용이 가능하다. 향후 이 방법은 최적화된 방법으로 HVDC 시스템의 추가 도입 시 적용할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC Standard 60071-1, Insulation Co-ordination - Part 1 : Definition, principles and rules
- [2] IEC Standard 60071-2, 1996 Insulation Co-ordination - Part 2 : Application Guide
- [3] IEC Standard 60071-5, Ed1, Insulation Co-ordination - Part 5 : Procedures for HVDC Converter Stations
- [4] Cigre Application Guide for Metal Oxide Arresters without gaps for HVDC Converter Stations (WG 33/14-05)
- [5] Cigre Application Guide for Insulation Co-ordination and Arrester Protection of HVDC Converter Stations WG 33-05)
- [6] "High-Voltage Direct Current Handbook, First Edition", D. Wilhelm
- [7] "Guidelines for the Application of Metal Oxide Arresters without Gaps for HVDC Converter Stations," Electra No. 127, December 1989.
- [8] I. S. Kresge and E. C. Sakshaug, "Zinc Oxide Experience and Applications of HVDC Stations," IEEE Conference on Overvoltage on Integrated AC-DC Systems, Winnipeg, Canada, July 9-11, 1980.
- [9] E. C. Sakshaug, J. S. Kresge, S. A. Miske, "A New Concept in Station Arrester Design," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. P AS-96, March/April 1977, pp. 647-656.