

전압형 HVDC 모듈의 예비량 결정

김찬기, 이성두, 이철희, 최순호, 조영환, 김용환
한국전력공사

Redundancy Determination of VSC HVDC Modules

Chanki Kim, Seongdo Lee, Churhee Lee, Soonho Choi, Younghwan Jo, Yonghwan Kim
Korea Electric Power Corporation

ABSTRACT

전압형 HVDC 시스템은 다수의 모듈로 구성되며, 각각의 모듈은 DC/DC 컨버터, 게이트 드라이버, 커패시터, 그리고 IGBT 등의 소자로 구성된다. 각 모듈의 가동율 및 신뢰도 평가를 통해 멀티모듈형 컨버터의 고장율을 평가하였으며, 정상상태 운전조건에 필요한 모듈에 추가적으로 모듈전압 및 유지보수기간에 따라 필요한 모듈의 수량을 설계하였다.

1. 서론

전력계통에서 전력전자와 제어시스템의 발달로 전압형 컨버터(voltage source converter) 기반 HVDC 기술에 대한 응용분야가 급격하게 확장되고 있다. 전압형 HVDC 시스템은 IGBT (insulated gate bipolar transistor)에 기반하고 주된 토폴로지는 멀티레벨이다. 최근에 HVDC 시스템에 대한 멀티레벨 컨버터는 필요한 AC 전압을 출력하기 위해 직렬 2레벨 컨버터 모듈을 연결하는 모듈형 멀티레벨 컨버터(MMC : modular multilevel converter)토폴로지를 사용하는 것이다.

IGBT를 사용하는 HVDC 밸브 모듈은 다수의 전자장비구성품을 포함한다. HVDC 밸브 모듈의 설계에서 비용 신뢰도 균형의 결정을 위하여 정량적 가동율 분석과 정량적 신뢰도 분석이 수행되어 왔다.^[1]

본 논문에서는 전력전자 컨버터 신뢰도의 종합적인 검토를 수행하였으며, 멀티레벨 컨버터의 가동율과 관련한 추가적인 모듈의 개수 및 유지보수 기간의 신뢰도 영향을 검토하였다.

2. 신뢰도 예측 기준

시스템 신뢰도 평가와 향상의 첫 번째 단계는 분석기준을 결정하는 것이다. 설계목표에 따라 기준이 달라질 수 있기 때문에, 기준을 결정하는데 필요한 모든 정보는 고객의 요구사항 및 응용분야를 면밀한 검토결과를 반영해야 한다. 전력전자 시스템을 평가하기 위한 일반적인 기준으로 신뢰도, 고장율, 고장 전 평균소요시간(mean time to failure), 평균수리시간(mean time to repair), 그리고 가동율이 있다.

2.1 신뢰도

신뢰도는 설비가 주어진 환경 및 운전 조건에서 일정기간동

안 필요한 기능을 수행하는 가능성으로 정의된다. 신뢰도 함수 $R(t)$ 는 시스템이 $[0, t]$ 시간동안 고장없이 작동할 확률을 나타낸다. 시스템의 신뢰도는 시간에 의존적이며, 일반적으로 시간이 지남에 따라 신뢰도는 감소한다.

2.2 고장율

설비의 고장율은 시간 t 가 경과한 후 고장 경향을 나타내는 지표이다. 설비의 수명주기는 개발기간, 사용기간, 마모기간으로 구분할 수 있으며, 단위 시간당 평균 고장 건수로부터 고장율을 추정할 수 있고, 10억 시간당 고장 발생수(FIT)로 표현한다.

$$1FIT = 10^{-9}(\text{failure}/\text{hour}) \quad (1)$$

2.3 고장발생전 평균시간

MTTF(Mean time to Failure)는 고장 발생전에 예상되는 시간이다. 신뢰도와는 달리, MTTF는 시간의 특정기간에 의존하지 않는다. 고장없이 설비가 운전되는 평균 시간을 나타낸다. 이 지표는 다양한 시스템 설계의 성능 기준 비교를 위해 적용된다. 하지만, 정해진 시간보다 더 긴 MTTF를 갖는 시스템이라고 해서 정해진 시간 내에 신뢰도가 높은 것을 의미하지는 않는다.

MTTF와 신뢰도함수 사이의 관계는 다음과 같다.^[2] 고장률 λ 가 일정할 때, MTTF를 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

2.4 평균 수리시간

MTTR(Mean time to Repair)은 고장을 제거하고, 지정된 상태로 시스템을 복원하는데 걸리는 평균 수리시간이다. 수리시간은 고장의 효과적인 판별, 사전에 교체 할 수 있는 구성설비 및 유지보수성 등에 의해 결정된다.

2.5 평균 가동율

가동율은 시스템이 정해진 시간동안 운전될 확률이다. 평균 가동율은 시스템이 일정기간 동안 운전시간의 비율의 평균이다. 수리가능한 시스템에서 설비의 고장 발생 시 새제품과 같이 수리될 수 있다면 평균 가동율은 다음과 같다.

$$A_{avg} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (3)$$

그러므로, 가동을 향상은 MTTF 증가와 MTTR 감소를 수 반한다. 평균 가동을 기준이 가진 한계는 고장 또는 필요한 유지보수의 횟수를 반영할 수 없다는 것이다.

3. 전압형 멀티레벨 컨버터의 모듈 신뢰도

본 논문에 나타난 HVDC 모델은 각 상별 약 400개의 서브 모듈을 포함하는 두 개의 컨버터를 가진 600MW 전압형 HVDC 연계를 고려한다. 그림 1은 각 서브모듈이 하나의 커패시터와 두 개의 IGBT 스위치로 구성된 MMC 토폴로지를 나타내고 있다. 정상운전 중에는 두 개의 스위치 (S1 이나 S2) 중 하나만 ON된다. 그 결과 스위치 S1이 ON (S2는 OFF)일 때와 S2가 ON (S1은 OFF)일 때, SM의 전압은 0이 된다. MMC의 서브모듈의 개수는 본 논문에서 선택한 IGBT의 규격에 따라 결정되었으며 3가지 종류의 IGBT, 1.6[kV], 1.8[kV] 그리고 2[kV]를 고려하였다.

MMC의 서브모듈 고장을 자료를 표 1에 나타내었다.

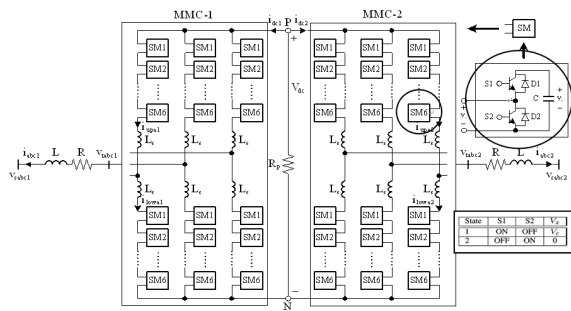


그림 1 전압형 멀티레벨 HVDC 컨버터
Fig. 1 VSC Multi-level HVDC Converter

표 1 고장을 자료
Table 1 Failure Rate Data

설비	수량	고장율 (FIT)	전체 고장율
전력회로			
IGBT 및 게이트 드라이브	2	40	80
싸이리스터 및 게이트 드라이브	1	47	47
차단기 및 액추에이터	1	1000	1000
필름 커패시터	1	10	10
전력용 저항	1	265	265
제어판넬			
PLD	1	150	150
광통신	2	100	200
크리스탈 오실레이터	1	13	13
전원공급장치			
변압기	2	22	44
DC DC 컨버터	1	1000	1000

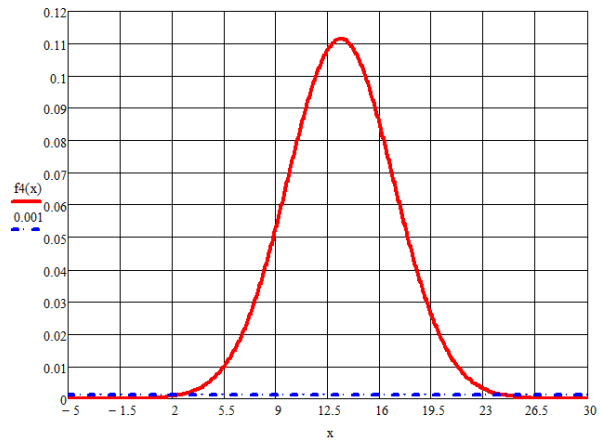


그림 2 334 모듈의 시스템의 예비 모듈 증가에 따른 시스템의 비가동률

Fig. 2 Unavailability for the 334 modules system according to redundant modules increment

표 2 유지보수 기간과 모듈 전압별 추가 모듈의 개수
Table 2 Additional modules against maintenance period and module voltage

모듈 전압	모듈 개수	유지보수기간 필요한 셀		
		1년	2년	3년
1.6kV	375	7	22	28
1.8kV	334	6	20	25
2.0kV	300	5	17	20

MMC에 대한 예비 모듈의 수를 결정하기 위해, 다음의 시나리오를 고려하였다.

1. 유지보수 기간은 1년, 2년, 3년이다.
2. IGBT는 1.6[kV], 1.8[kV] 그리고 2[kV]를 사용하였다.
3. DC DC 컨버터의 FIT는 1000에서 500으로 바뀐다.

결과적인 유지보수기간 및 각 모듈의 전압별 MMC 모듈의 수와 추가적으로 필요한 모듈의 수를 표 2에 정리하였다.

4. 결론

멀티레벨로 구성된 전압형 HVDC 컨버터의 신뢰도에 대한 종합적인 검토를 수행하였다. 유지보수기간과 컨버터의 신뢰도 요인에 따라 추가적으로 필요한 모듈의 수가 결정되는 것을 확인하였다. 멀티레벨 컨버터에서 밸브부품중에 가장 높은 FIT의 값이 감소한다면, 밸브의 예비모듈의 수량이 감소됨을 확인하였다.

참고 문헌

[1] A. Ristow, M. Begovic, A. Pregelj, and A. Rohatgi, "Development of a methodology for improving photovoltaic inverter reliability," IEEE Trans. ND. Electron., vol. 55, no. 7, pp. 2581-2592, Jul. 2008.

[2] Jingjing Wang, Ming Ding, Shenghu Li, "Reliability analysis of converter valves for VSC HVDC power transmission system," Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp. 1-4, 28-31 March 2010