전압형 MMC HVDC 시스템의 커패시터 용량 추정 방법

선다운, 송성근
전자부품연구원

Capacitance Estimation Method of VSC Type MMC HVDC

Daun Sun, Seong geun Song
Korea Electronics Technology Institute

ABSTRACT

본 논문에서는 MMC(Modular Multi level Converter)타입 전압형 HVDC 서브모듈의 커패시터 용량을 추정하는 방법을 기술하였다. 서브모듈 내 별도의 전류센서 및 계측 시스템을 추가하지 않고 커패시터 용량을 추정하여 안정적인 HVDC 시스템의 동작이 가능하도록 하였으며 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

고압직류송전(HVDC)은 교류송전에 비하여 전력 품질을 높게 유지할 수 있으며 계통 연계 및 전력 제어가 용이하여 최근 신재생에너지와 함께 주목받고 있다.[1] Half bridge형태의 서브모듈(SM)을 직렬로 결합한 모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multi level Converter) 토폴로지의 개발은 컨버터 전압 용량을 늘리면서 전력손실은 감소시켜 전압형 컨버터 HVDC 시스템의 장점을 향상시켰다.[2]

여러 개의 커패시터가 직렬로 구성되는 MMC 토폴로지에서 커패시터의 고장은 HVDC 시스템의 전력회로를 통한 단락사고로 이어져 매우 위험하다. 때문에 이에 대한 고장진단 시스템이나 사전 파라미터 검출에 따른 노후 부품교체 등 미연의 사고방지 대책이 필요하다.[3]

본 논문에서는 MMC 서브모듈에 사용되는 커패시터의 상태를 확인하고 최적의 교체주기를 판단하기 위하여, 별도의 전류센서 및 계측시스템 없이 커패시턴스를 추정하는 방법을 기술하였다.

2. 본 론

2.1 전압형 MMC 시스템

그림 1 (a)는 본 논문에서 다루는 전압형 MMC 시스템의 구성도이다. MMC는 다수의 컨버터 암(Arm)으로 구성되어 있으며 각 암은 서브모듈이 직렬로 연결된 구조이다. 서브모듈의 회로도는 그림 1 (b)로 나타내었다. 서브모듈의 개수는 출력크기에 따라 결정되고 두개의 스위치가 토글방식으로 스위칭 한다. 스위치 S2 턴 오프, S1 턴 온 되어있고 암 전류가 그림 1과 같은 방향인 양(Positive)의 방향으로 흐르면, S1의 환류 다이오드를 거쳐 커패시터로 전류가 흘러 커패시터가 충전하고 서브모듈이 On 상태가 된다. 이때 S2가 턴 온하면 암 전류는 커패시터를 거치지 않고 S2를 통해 도통되므로 서브모듈이 Off 상태가 되고 커패시터 전압이 변동하지 않는다. 스위치 S1 턴 오프, S2 턴 온 되어있고 전류 방향이 음(Negative)일 때, 암 전류는 S2의 환류 다이오드를 거쳐 흐르면서 커패시터 전압이 변동하지 않다가 S1 턴 온 하면 암 전류가 스위치를 통해 흐르며 커패시터가 방전된다.

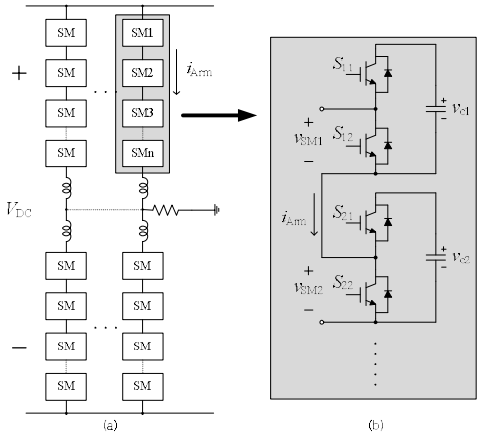


그림 1 전압형 MMC HVDC 시스템
Fig. 1 VSC type MMC HVDC system

2.2 커패시턴스 추정 기법

멀티레벨 컨버터를 구비한 HVDC 시스템은 형성하고자 하는 전압 레벨에 따라 사용할 서브모듈을 결정하고 그에 대응하는 커패시터를 충·방전시킨다. 그림 2는 서브모듈의 커패시터 전압 균형을 위한 알고리즘이다. Quick Sorting 알고리즘을 이용하여 전압을 정렬하고 암 전류 방향에 따라 서브모듈을 적절히 스위칭 하여 커패시터 전압을 밸런싱 한다.

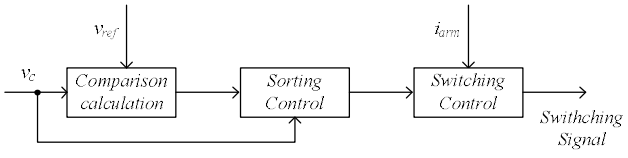


그림 2 서브모듈 커패시터 전압 균형을 위한 알고리즘
Fig. 2 Algorithm for submodule capacitor voltage balancing

각 암은 서브모듈이 직렬로 연결되어 암 전류에 의해 서브

모듈의 커패시터가 충·방전 된다. 따라서 서브모듈에 별도의 전류센서를 추가할 필요 없이, 암 전류 I_{Arm}과 전압 밸런싱을 위해 계측된 커패시터 양단 전압 V_{sm}을 이용하여 커패시턴스를 구할 수 있다. 이에 대한 계산식은 식 (1)로 나타내었다.

$$C_{SM} = I_{Arm} \frac{dt}{dv_{SM}(t)} \quad (1)$$

그림 3은 본 논문에서 사용한 커패시턴스 추정 알고리즘이다. 시스템이 동작하여 암 전류가 흐르는 상태에서 서브모듈이 On 상태가 되어 커패시터가 투입된 경우, 실시간으로 계측된 I_{Arm}과 V_{sm}을 식 (1)에 대입하여 계산하고 필터를 거쳐 커패시턴스 값을 추정한다.

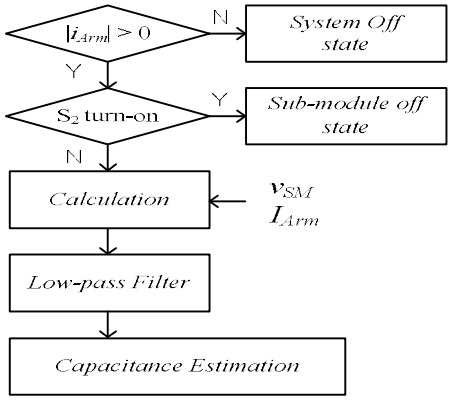


그림 3 커패시턴스 추정 알고리즘
Fig. 3 Capacitance estimation algorithm

2.3 시뮬레이션

그림 4는 본 논문에서 제안한 방식을 적용한 커패시터 전압과 스위칭 시뮬레이션 파형이며, 그림 5는 암 전류와 커패시터 전압을 이용하여 커패시턴스를 계산하고 Low pass filter를 통과시켜 커패시터 용량을 추정한 값이다. 그림 5 (b)는 2개의 서브모듈에 각각 500, 200 μF의 커패시터를 추가 한 시뮬레이션이다. 시뮬레이션을 수행한 결과 시스템 파라미터와 본 논문에서 기술한 커패시턴스 추정 값이 거의 유사함을 확인하였다.

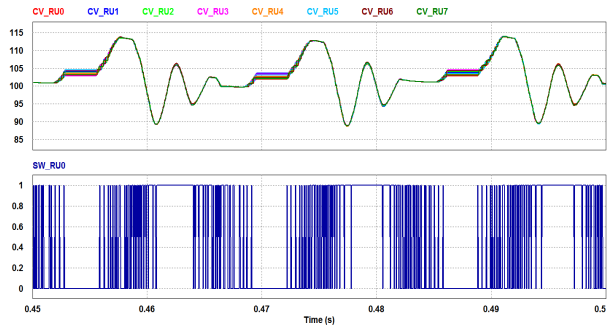
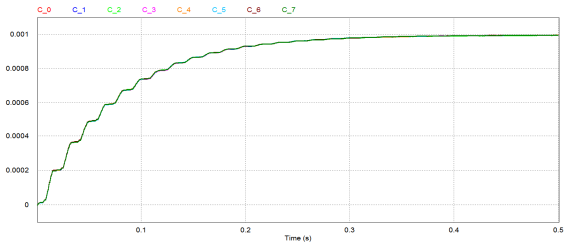
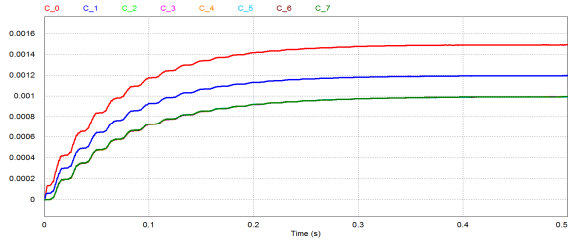


그림 4 서브모듈의 커패시터 전압과 스위칭 파형
Fig. 4 Capacitor voltage and switching waveforms of submodule



(a) 모든 서브모듈 커패시턴스가 1000 μF 인 경우



(b) 2개의 서브모듈에 500, 200 μF 을 추가한 경우

그림 5 서브모듈 커패시터 용량 추정
Fig. 5 Capacitance Estimation of submodule

3. 결 론

본 논문에서는 MMC type VSC HVDC 시스템 서브모듈의 커패시터 양단전압과 암 전류 데이터를 취득하고 서브모듈 동작 상태에 따라 커패시터 양단 전압 및 충·방전 전류를 분석하여 커패시턴스를 추정하였으며 이에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 여러 개의 서브모듈이 직렬로 연결되어 각각의 서브모듈에 별도의 전류센서 추가 없이 암 전류센서 만을 이용하여 다수의 서브모듈 커패시터 용량 추정이 가능하다. 많은 비용 추가 없이 시스템 감시 진단이 가능하며, 커패시터의 상태를 고장 전 미리 분석하여 사고를 예방할 수 있어 안정적인 HVDC 시스템 운전이 가능하다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20179310100050)

참 고 문 헌

[1] 김희진, 허견, 윤민한, 장길수, “전압형 컨버터 HVDC 기술 동향과 사례 분석” The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 8, p. 34 40, 2012, February.

[2] S. Debnath, Q. Jiangchao, B. Bahrani, M. Saeedifard, and P. Barbosa, “Operation, control, applications of the modular multilevel converter: A review,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 1, pp. 37 53, Jan. 2015.

[3] Mahmoud Abdelsalam, Mostafa Marei, Sarath Tennakoon, Alison Griffiths, "Capacitor Voltage Balancing Strategy Based on Sub module Capacitor Voltage Estimaion for Modular Multilevel Converters", Csee Journal of Power and Energy Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 65 73, 2016, March.