

PSIM을 이용한 전기저장장치의 CMV 모델링에 관한 연구

최성문*, 김승호**, 김미영***, 노대식*
*한국기술교육대학교, 세방전기**, 호원대학교***
e-mail:moon9507@koreatech.ac.kr

A Study on Modeling of Common Mode Voltage for Energy Storage System Using PSIM

Sung-Moon Choi*, Seung-Ho Kim**, Mi-Young Kim*** Dae-Seok Rho*
Korea University of Technology and Education*, Global Electricity Co. Ltd**,
Howon University***

요약

ESS(Energy Storage System)는 생산된 전기를 배터리에 저장하였다가 전력이 필요할 때 공급하는 설비로 용도에 따라서 주파수 조정용, 신재생 연계용, 피크부하 저감용으로 사용된다. 하지만, ESS는 2017년 이후 2020년 6월까지 총 29건의 화재사고가 발생하고 있으며 이에 대한 원인의 하나로 공통모드 전압(CMV: Common Mode Voltage)이 추정되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 PCS로부터 발생하는 CMV 메커니즘을 분석하여, CMV가 발생하는 구조와 ESS에 미치는 영향에 대해 제시한다. 즉, PCS의 CMV는 스위칭과 방열판 사이에서의 기생 커패시턴스에 의해 발생하고, ESS에 높은 전압 스트레스로 작용할 가능성이 있다. 또한, 전력전자 상용해석 프로그램인 PSIM을 통해 접지식 계통의 CMV와 비접지식 계통의 CMV를 모델링한다. 이를 바탕으로, 접지에 따른 CMV 특성을 분석한 결과, 비접지식 계통의 ESS에서 CMV가 감소됨을 확인하여, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

1. 서론

최근, 환경오염 문제와 기후변화에 대응하기 위하여, 재생 에너지원의 출력 안정화, 수효관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 ESS의 설치가 급격하게 증가하고 있다. 그러나 리튬이온전지를 이용한 ESS의 화재사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 많은 재산피해가 보고되고 있다[1-3]. 2017년 8월에 고창 전력시험센터에서 발생한 ESS의 화재를 시작으로 경산 변전소의 F/R용 ESS, 군산 태양광발전연계용 ESS 등 현재까지 총 29건의 화재사고가 발생하였다. 이에 따라, 정부에서는 ESS의 정확한 화재원인을 파악하고 안전성을 확보하기 위하여, 사고원인에 대한 조사를 시행하여, 화재 사고에 대한 원인을 제시하였는데, 그 중에서 전기적인 위해요인으로 공통모드 전압(Common Mode Voltage, CMV)이 주요 원인 중 하나로 고려되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 ESS의 PCS로부터 발생하는 CMV 메커니즘을 분석하여, CMV가 발생하는 구조와 ESS에 미치는 영향에 대해 제시한다. 즉, PCS의 CMV는 스위칭과 방열판 사이에서의 기생 커패시턴스에 의해 발생하고, ESS에 높은 전압 스트레스로 작용할 가능성이 있다. 또한, 전력전자 상용해석 프로그램인 PSIM을 통해 접지식 계통의 CMV와 비접지식 계통의 CMV

를 모델링한다. 이를 바탕으로, 접지에 따른 CMV 특성을 분석한 결과, 비접지식 계통의 ESS에서 CMV가 감소됨을 확인하여, 본 논문의 유용성을 확인하였다.

2. 전기저장장치의 CMV 발생 메커니즘

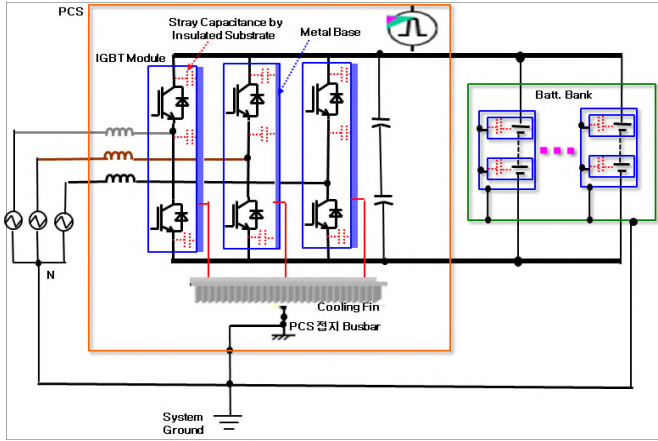
2.1 CMV의 정의

PCS의 IGBT는 전압을 스위칭 동작제어(Pulse Width Modulation Control, PWM)를 통해 계통에서 필요한 전압으로 변환한다. 하지만, 이러한 고속도 스위칭 동작은 부득이하게 커먼 모드 전압(Common Mode Voltage, CMV)이 발생한다. CMV는 컨버터의 스위칭 특성으로 인해 나타나고, 선로의 중성점과 접지 사이에 발생하는 전압이며, PCS의 스위칭 주파수에 대응하는 주파수를 가진다. 또한, CMV는 발생 구간에 기생 정전용량 등의 통전 경로가 존재할 경우, 커먼 모드 전류(Common Mode Current, CMC)에 의한 전자파 간섭(Electro Magnetic Interference, EMI)을 발생시켜 보호 협조 시스템에 오동작을 초래하여 화재가 발생할 수 있다.

2.2 스위칭에 의한 CMV 발생 메커니즘

AC 측의 PCS에서 각 상별로 스위칭에 의한 고주파 전압은

그림 1과 같이 평활용 커패시터 및 접지된 케이스(외함)과의 기생 커패시턴스에 의해 CMV를 발생시키고, DC 측의 배터리 전로와 외함 사이에 CMV가 인가되는 형태가 된다. 즉, 배터리의 (+)단과 (-)단 사이의 NMV(Normal Mode Voltage)는 일정 전압의 DC로 되지만, (+)단과 접지 및 (-)단과의 접지에는 CMV가 포함된 형태로 전압이 가해지게 된다.

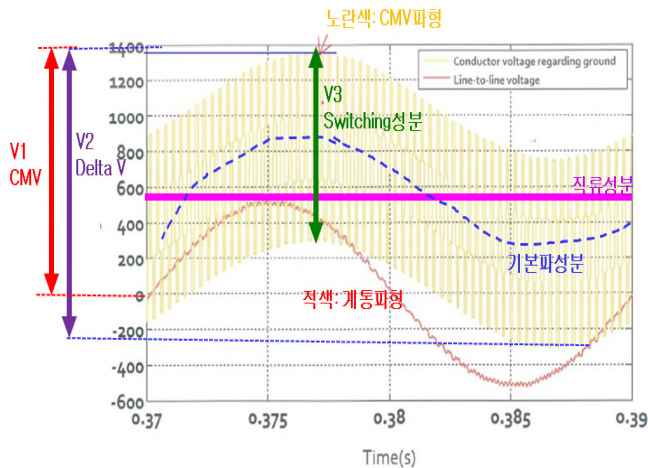


[그림 1] PCS 및 리튬이온 배터리에서의 기생 커패시턴스

또한, CMV는 일반적으로 직류성분 + 교류기분과 성분(또는 3조파 성분) + 스위칭 성분의 3가지 성분이 합성된 결과를 나타낸 실효치는 식 (1)과 같이 표시된다. 한편, 그림 2의 파형에서 CMV는 접지대비 전압이므로 V_2 가 아닌 V_1 의 크기가 되며 Delta-V는 V_2 가 된다.

$$V_{CM} = \sqrt{V_{dc}^2 + V_{ac}^2 + V_{sw}^2} \quad (1)$$

여기서, V_{CM} : CMV 전압[V], V_{dc} : CMV의 AC 기본파 성분 [V], V_{ac} : CMV의 DC 성분[V], V_{sw} : CMV의 스위칭 성분[V]

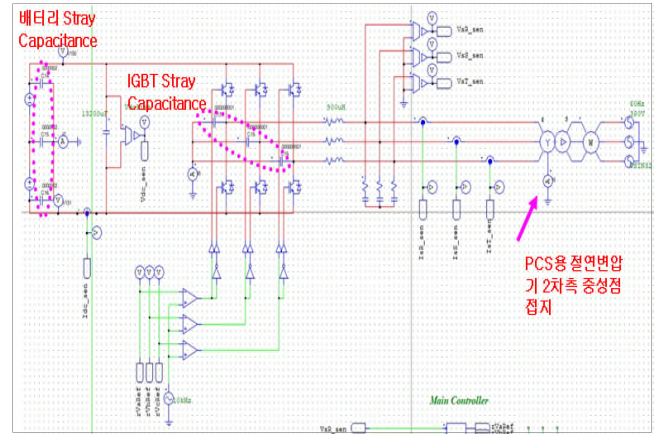


[그림 2] CMV의 구성

3. PSIM을 이용한 ESS의 CMV 특성 모델링

3.1 접지식 계통의 CMV 모델링

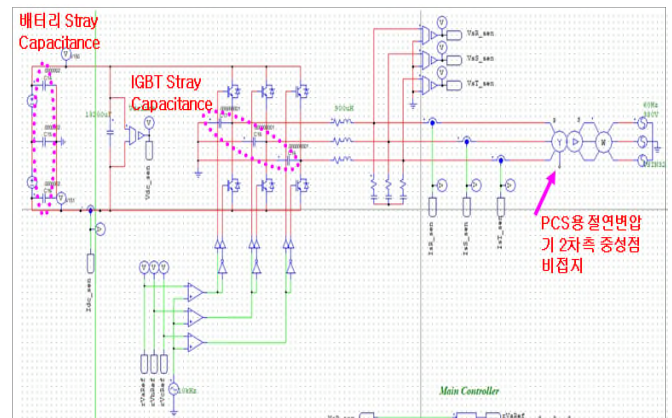
접지식 ESS 계통에서 CMV의 특성을 분석하기 위하여, PSIM S/W를 이용해 배터리랙, DC전로, PSC를 포함한 전체 시스템을 모델링 하면 그림 3과 같다. 여기서, 접지식 계통을 모델링 하기 위해 PCS용 절연변압기 2차측 Y 중성점에 접지한다.



[그림 3] 접지계통 CMV 모델링

3.2 비접지식 계통의 CMV 모델링

비접지식 ESS 계통에서 CMV의 특성을 분석하기 위하여, PSIM S/W를 이용해 배터리랙, DC전로, PSC를 포함한 전체 시스템을 모델링 하면 그림 4와 같다. 여기서, 비접지식 계통을 모델링하기 위해 PCS용 절연변압기 2차측을 접지를 하지 않는다.



[그림 4] 비접지계통 CMV 모델링

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

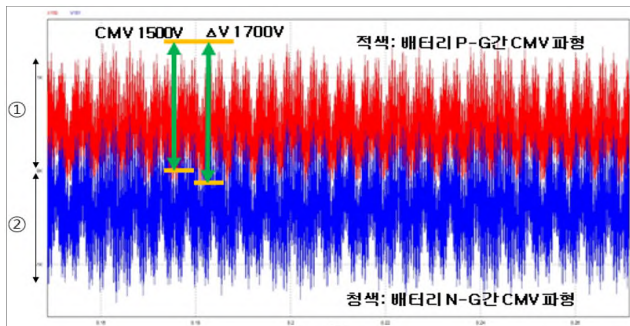
접지 특성에 따른 CMV의 특성을 확인하기 위하여 배터리의 Stray Capacitance, IGBT의 Stray Capacitance, 배터리의 전압, Y-Δ 변압기, PCS 스위칭 주파수를 상정하면 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

[표 1] 시뮬레이션 파라미터

항 목	내 용	
배터리 Stray Capacitance	20nF/랙	10랙 기준
IGBT Stray Capacitance	1000pF/개	IGBT 3개
배터리전압	800V DC	
Y-Δ 변압기	380/380V	절연형
PCS 스위칭 주파수	10KHz	

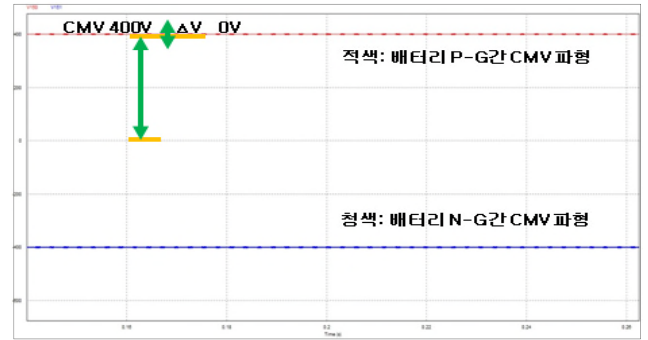
4.2 CMV 특성 분석

상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로, 접지식 계통의 CMV 특성을 나타내면 그림 6과 같다. 여기서, 그림 6의 ①은 배터리의 P-G간의 CMV 파형을 나타내고, ②는 배터리의 N-G간의 CMV 특성을 나타낸다. 또한, CMV는 1500V가 계속되고, 스위칭 노이즈 성분을 나타내는 ΔV의 경우는 1700V가 계속된다.



[그림 6] 접지식 CMV의 특성

한편, 비접지식 CMV의 특성을 나타내면 그림 7과 같고, 이 그림에서와 같이, 비접지식 CMV는 접지방식 CMV 1,500V에서 400V로 낮아지는데 이는 배터리 전압 800V의 1/2에 해당한다 또한, 스위칭 노이즈 성분을 나타내는 ΔV는 접지식 1,700V에서 0V로 낮아져 ΔV가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.



[그림 7] 비접지식 CMV의 특성

5. 결 론

본 논문에서는 ESS에서 발생한 화재 원인중 하나로 거론되고 있는 CMV에 대하여 CMV 메커니즘 및 접지방식에 따른 특성을 분석하고, PSIM S/W를 통해 CMV를 모델링 하여 CMV 특성을 분석한 결과, CMV는 접지방식보다 비접지방식이 유리함을 알 수 있어 본 논문의 유용성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.201824101 05070)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 우리금융경영연구소 경제연구실, “글로벌 ESS시장 전망과 시사점”, 2018. 4.
- [2] 산업통상자원부, “ESS 사고원인 조사결과 및 안전강화 대책 발표”, 2019. 6.
- [3] ESS 화재사고조사단, “ESS 화재사고 조사결과 보고서”, 2020. 2.