



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월25일
(11) 등록번호 10-2710031
(24) 등록일자 2024년09월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/389 (2019.01) G01R 27/02 (2006.01)
G01R 27/26 (2006.01) G01R 31/382 (2019.01)
G01R 31/385 (2019.01) G01R 31/52 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G01R 31/389 (2019.01)
G01R 27/025 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0046907

(22) 출원일자 2023년04월10일

심사청구일자 2023년04월10일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020220102159 A

KR1020200077128 A

KR1019960032007 A

(73) 특허권자

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

노대석

충청남도 천안시 서북구 월봉로 131, 106-101(쌍용동, 용암마을아파트)

한병길

경기도 성남시 분당구 서현로321번길 11(서현동)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김민태

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 양진석

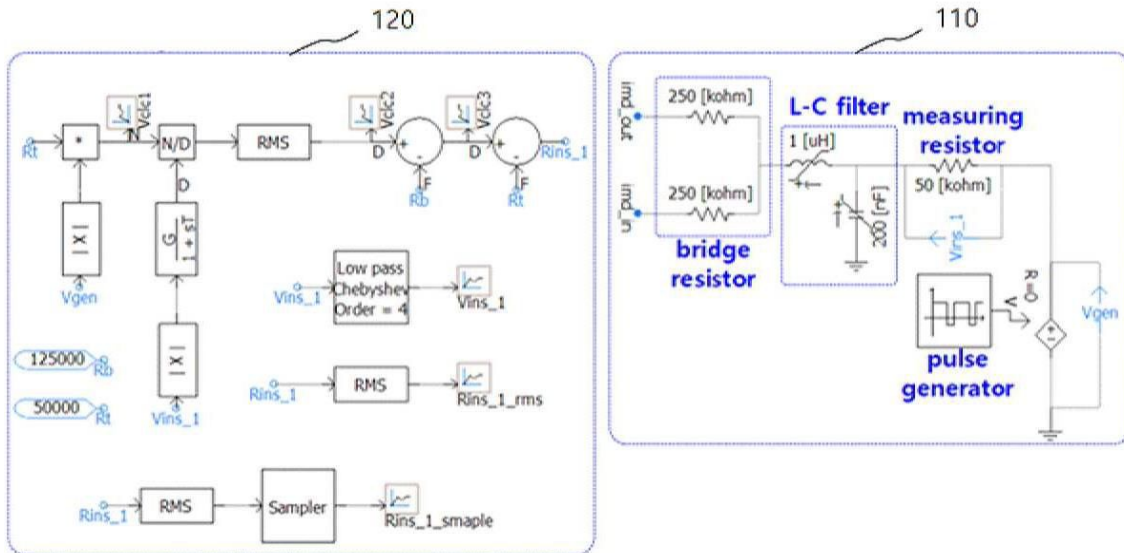
(54) 발명의 명칭 에너지저장장치용 절연저항감시장치

(57) 요약

에너지저장장치의 절연저항을 실시간으로 감시하여 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따라 정정값이 급격히 변동하는 문제점을 해결할 수 있는 에너지저장장치용 절연저항감시장치가 개시된다. 에너지저장장치용 절연저항감시장치는, 브릿지저항, L-C필터, 검출저항 및 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS) DC 전로의 전압을 고려

(뒷면에 계속)

대표도



하여 펄스전압을 발생시키는 펄스전압원을 포함하는 펄스전압 발생부; 및 상기 브릿지저항과 상기 검출저항에 인가되는 펄스전압 값을 이용하여 상기 DC 전로의 절연저항 값을 측정하는 절연저항 모니터링부를 포함하되, 상

$$R_{ins} = 2 \left(\frac{V_{gen}}{V_{sen}} \times R_{sen} - R_{sen} - \frac{R_{bridge}}{2} \right)$$

기 절연저항 값은, (여기서, R_{ins} : 절연저항 값, V_{gen} : 펄스전압, V_{sen} : 검출저항에 인가되는 전압, R_{sen} : 검출저항 값, R_{bridge} : 브릿지저항)에 의해 정의되는 것을 특징으로 한다. 이
에 따라, 에너지저장장치의 절연저항을 실시간으로 감시하여 절연저항이 저하되는 것으로 감지되면 배터리 기생
커패시턴스를 저하시켜 누설전류를 감소시키고 이에 따라 절연저항이 저하되는 것을 방지할 수 있고, ESS의 운
전이 정지되는 사고를 방지할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01R 27/2605 (2013.01)

G01R 31/382 (2019.01)

G01R 31/385 (2019.01)

G01R 31/52 (2022.01)

G01R 31/52 (2022.01)

김경화

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1634-15,
3동 402호

(72) 발명자

김지명

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1636, 명품
에텐빌 201호

최성문

충청남도 천안시 동남구 병천면 가전6길 19, 한걸
음 하우스 302호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415180667

과제번호 20214910100010

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술연구원

연구사업명 고신뢰장주기대용량RFB-ESS(수십MWh급)기술개발사업

연구과제명 대용량(1MWh 이상) VRFB-ESS 현장평가(SAT) 기술기준 및 시험평가 기기 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 (재)한국화학융합시험연구원

연구기간 2022.02.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 22131

과제번호 12031282099340001

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 국가과학기술연구회

연구사업명 신통합 이지바로

연구과제명 VPL 플랫폼 운영기술 및 비즈니스 모델 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 한국에너지기술연구원

연구기간 2022.12.01 ~ 2023.11.30

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

브릿지저항, L-C필터, 검출저항 및 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS) DC 전로의 전압을 고려하여 펄스전압을 발생시키는 펄스전압원을 포함하는 펄스전압 발생부; 및

상기 브릿지저항과 상기 검출저항에 인가되는 펄스전압 값을 이용하여 상기 DC 전로의 절연저항 값을 계측하는 절연저항 모니터링부를 포함하되,

$$R_{ins} = 2 \left(\frac{V_{gen}}{V_{sen}} \times R_{sen} - R_{sen} - \frac{R_{bridge}}{2} \right)$$

상기 절연저항 값은,

(여기서, R_{ins} : 절연저항 값, V_{gen} :

펄스전압, V_{sen} : 검출저항에 인가되는 전압, R_{sen} : 검출저항 값, R_{bridge} : 브릿지저항)에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 절연저항감시장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 ESS의 충전 및 방전 동작 수행시, 누설전류는,

$$i_l(t) = (C_{stray, IGBT} + C_{stray, batt}) \times \frac{\Delta v_{DC}(t)}{\Delta t}$$

(여기서, $i_l(t)$: PCS 및 배터리측 누설전류, $C_{stray, IGBT}$: IGBT와 방열판 사이의 기생커패시턴스, $C_{stray, batt}$: 배터리 모듈과 배터리 외함 사이의 배터리 기생커패시턴스, $\Delta v_{DC}(t)$: DC 측 전압)에 의해 산정되고,

상기 배터리 기생커패시턴스($C_{stray, batt}$)는,

$$C_{stray, batt} = n \times m \times \left(\frac{4 \times \epsilon_r \times \epsilon_0}{\pi} \times w \times \ln \left(\frac{Y}{H} \right) + \frac{A}{d} \times \epsilon_0 + 0.88 \times \epsilon_0 \right)$$

(여기서, C_{stray} : 기생커패시턴스, n: 배터리 모듈의 개수, m: 배터리 랙의 개수 ϵ_r : 대기 유전율, ϵ_0 : 산화알루미늄의 유전율, w: 배터리 모듈의 폭, Y: 배터리 외함의 세로 길이, H: 배터리 외함에서 배터리 모듈 중심까지의 거리, A: 배터리 외함의 면적, d: 배터리 모듈 옆면에서 배터리 외함까지의 거리)에 의해 산정되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 절연저항감시장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 에너지저장장치용 절연저항감시장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 에너지저장장치의 절연저항을 실시간으로 감시하여 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따라 정정값이 급격히 변동하는 문제점을 해결할 수 있는 에너지저장장치용 절연저항감시장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

최근, 태양광의 경우 수십에서 수백 메가와트 규모로 도입되고 있으며, 이에 따라 연계되는 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)의 용량도 함께 급증하고 있는 실정이다.

[0003]

그러나 국내 및 해외에서 운용중인 다수의 리튬이온 기반 ESS에서 화재사고가 빈번히 발생하여, 이에 대한 대책으로 다양한 보호 기기들이 ESS에 적용되고 있다. 특히, 절연저항감시장치(Insulation Monitoring Device,

IMD)는 비 접지 직류계통으로 운용되고 있는 ESS의 특성에 적합하여, ESS의 절연저항을 실시간으로 감시하고, 지락과 같은 사고를 감지하기 위하여 의무적으로 설치되고 있다.

[0004] 하지만, 실제 계통에서 운용중인 다수의 IMD는 기존의 보호기기와는 달리 명확한 정정기준이 없고, 특히 대용량 ESS에서는 배터리 기생커패시턴스와 충전 상태(Stage Of Charge, SOC)에 따라 그 값이 급격히 변동하는 문제점이 발생하고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허 제10-1470553호(2014. 12. 10., 공고)(발명의 명칭: 배터리의 절연 저항 측정 장치 및 방법)

(특허문헌 0002) 대한민국등록특허 제10-2409587호(2022. 06. 27., 공고)(발명의 명칭: 전원선로의 절연 감시 장치 및 방법)

(특허문헌 0003) 대한민국공개특허 제10-2021-0033883호(2021. 03. 29., 공개)(발명의 명칭 : 에너지저장장치의 누설전류 및 절연감시 진단 모니터링 시스템 및 방법)

(특허문헌 0004) 대한민국등록특허 제10-2158595호(2020. 09. 22., 공고)(발명의 명칭: 절연 감시 시스템)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에 본 발명의 기술적 과제는 이러한 점에 착안한 것으로, 본 발명의 목적은 에너지저장장치의 절연저항을 실시간으로 감시하여 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따라 정정값이 급격히 변동하는 것을 해결하여 ESS의 운전이 정지되는 사고를 방지할 수 있는 에너지저장장치용 절연저항감시장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기한 본 발명의 목적을 실현하기 위하여 일실시예에 따른 에너지저장장치용 절연저항감시장치는, 브릿지저항, L-C필터, 검출저항 및 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS) DC 전로의 전압을 고려하여 펄스전압을 발생시키는 펄스전압원을 포함하는 펄스전압 발생부; 및 상기 브릿지저항과 상기 검출저항에 인가되는 펄스전압 값을 이용하여 상기 DC 전로의 절연저항 값을 예측하는 절연저항 모니터링부를 포함하되, 상기 절연저항 값은,

[0008]
$$R_{ins} = 2 \left(\frac{V_{gen}}{V_{sen}} \times R_{sen} - R_{sen} - \frac{R_{bridge}}{2} \right)$$
 (여기서, R_{ins} : 절연저항 값, V_{gen} : 펄스전압, V_{sen} : 검출저항에 인가되는 전압, R_{sen} : 검출저항 값, R_{bridge} : 브릿지저항)에 의해 정의되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 일실시예에서, 상기 ESS의 충전 및 방전 동작 수행시, 누설전류는,

[0010]
$$i_l(t) = (C_{stray, IGBT} + C_{stray, batt}) \times \frac{\Delta v_{DC}(t)}{\Delta t}$$

[0011] (여기서, $i_l(t)$: PCS 및 배터리측 누설전류, $C_{stray, IGBT}$: IGBT와 방열판 사이의 기생커패시턴스, $C_{stray, batt}$: 배터리 모듈과 배터리 외함 사이의 배터리 기생커패시턴스, $\Delta v_{DC}(t)$: DC 측 전압)에 의해 산정되고,

[0012] 상기 배터리 기생커패시턴스($C_{stray, batt}$)는,

[0013]
$$C_{stray, batt} = n \times m \times \left(\frac{4 \times \epsilon_r \times \epsilon_0}{\pi} \times w \times \ln \left(\frac{Y}{H} \right) + \frac{A}{d} \times \epsilon_0 + 0.88 \times \epsilon_0 \right)$$

[0014] (여기서, C_{stray} : 기생커패시턴스, n: 배터리 모듈의 개수, m: 배터리 랙의 개수 ϵ_r : 대기 유전율, ϵ_0 : 산화알루미늄

높의 유전율, l : 배터리 모듈의 폭, Y : 배터리 외함의 세로 길이, H : 배터리 외함에서 배터리 모듈 중심까지의 거리, A : 배터리 외함의 면적, d : 배터리 모듈 옆면에서 배터리 외함까지의 거리)에 의해 산정될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 이러한 에너지저장장치용 절연저항감시장치에 의하면, 에너지저장장치의 절연저항을 실시간으로 감시하여 절연저항이 저하되는 것으로 감지되면 배터리 기생커패시턴스를 저하시켜 누설전류를 감소시키고 이에 따라 절연저항이 저하되는 것을 방지할 수 있다. 절연저항이 저하되는 것을 방지할 수 있으므로 절연저항 값이 IMD 정정 값 이하로 떨어져 ESS의 운전이 정지되는 사고를 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 절연저항감시장치(IMD)의 절연저항 감시회로도이다.
 도 2는 ESS 연계 직류계통의 IMD 실시간 절연저항 측정값을 나타내는 그래프이다.
 도 3은 태양광 연계용 대용량 ESS 절연저항 측정값을 나타낸 그래프이다.
 도 4는 배터리 SOC에 따른 절연저항 변동특성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 5는 배터리 DC전압에 따른 절연저항 변동특성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 6은 배터리 DC전압과 CMV의 크기를 설명하기 위한 파형도이다.
 도 7은 ESS설비의 기생커패시턴스를 설명하기 위한 도면이다.
 도 8은 대용량 ESS의 배터리 측 기생커패시턴스 증가회로도이다.
 도 9는 배터리 SOC에 따른 합성 CMV의 변동 특성을 나타낸 그래프이다.
 도 10은 공통접지망을 공유하는 ESS설비의 등전위 본딩접지를 설명하기 위한 도면이다.
 도 11은 배전용계통부를 모델링한 회로도이다.
 도 12는 PCS를 모델링한 회로도이다.
 도 13은 배터리를 모델링한 회로도이다.
 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 절연저항감시장치를 모델링한 회로도이다.
 도 15는 배터리 기생커패시턴스에 의한 절연저항을 모델링한 회로도이다.
 도 16은 배터리 SOC를 모델링한 회로도이다.
 도 17은 전체 시스템을 모델링한 회로도이다.
 도 18a 및 도 18b는 기생커패시턴스에 의한 누설전류 및 절연저항 특성을 나타낸 그래프이다.
 도 19는 기생커패시턴스에 의한 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.
 도 20a 및 도 20b는 1,000[V]급 배터리의 절연저항 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 21은 1,000[V]급 배터리의 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.
 도 22a 및 도 22b는 1,500[V]급 배터리의 절연저항 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
 도 23은 1,500[V]급 배터리의 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명을 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0018] 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들

의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.

- [0019] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0020] 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0021] 또한, 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서, 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0022] 먼저, ESS의 절연저항 변동 특성에 대해서 설명한다.
- [0023] ESS는 절연저항감시장치(IMD, insulation monitoring device)를 일반적으로 채용한다.
- [0024] 도 1은 절연저항감시장치(IMD)의 절연저항 감시회로도이다.
- [0025] 도 1을 참조하면, 절연저항감시장치는 직류(DC) 전로에 설치하여 전력계통의 절연저항을 실시간으로 감시하고, 절연파괴에 의한 배터리의 화재사고를 방지하는 목적으로 사용된다. 즉, ESS 운전 중 계통의 절연저항 값이 IMD의 정정 값보다 낮아지면, PCS(Power Conditioning System) 동작을 정지시켜 배터리를 보호하는 방식이다.
- [0026] 이러한 ESS의 절연저항은 PCS 및 배터리와 대지 사이에 존재하는 저항성분, 기후 및 습도, 전력선의 경년열화, 계통에 존재하는 커패시턴스 등 다양한 요인들에 의해 영향을 받을 수 있다. 이러한 IMD는 기존의 전력계통 보호기기와는 달리 명확한 정정기준은 없으나, 한국전기설비규정(KEC)의 "저압선로의 절연성능"에 따라 선로의 절연저항이 1[MΩ] 이상이 되도록 규정하고 있다.
- [0027] 하지만, 실제 계통에서 운용 중인 다수의 ESS에서는 절연저항 값이 수시로 변동되고, 때때로 그 값이 IMD 정정 값 이하로 떨어져 ESS의 운전이 정지되는 사고가 발생하고 있는 실정이다.
- [0028] 도 2는 ESS 연계 직류계통의 IMD 실시간 절연저항 측정값을 나타내는 그래프이다. 특히, ESS 실증사이트에서 약 한달 간 IMD를 이용하여 측정한 절연저항 값을 나타내고 있다.
- [0029] 도 2를 참조하면, ESS가 연계된 직류계통의 절연저항 값은 일정한 주기로 변동되는 특성을 알 수 있다. 즉, 20[MΩ]을 유지하는 절연저항 값은 일반적으로 충/방전 운전 중에 5[MΩ] 이하까지 감소하고 다시 회복하는 특성을 나타내고 있으며, 일부 구간에서는 저압선로의 절연성능 규정 값(1[MΩ] 이상) 이하로 감소함을 알 수 있다.
- [0030] 도 3은 태양광 연계용 대용량 ESS 절연저항 측정값을 나타낸 그래프이다.
- [0031] 도 3를 참조하면, 대규모 태양광연계용 ESS의 절연저항 값을 하루 동안 측정한 값으로, 휴지 구간에서 약 15[MΩ]을 유지하는 절연저항이 충전 구간 동안 약 680[kΩ]까지 급격하게 감소하고, 방전 구간에는 다시 급격하게 증가하여 15[MΩ]으로 회복됨을 알 수 있다.
- [0032] 따라서, ESS의 절연저항 특성은 PCS의 동작유무와 배터리의 충/방전 조건에 따라 변동되는 경향을 알 수 있다.
- [0033] 도 4는 배터리 SOC에 따른 절연저항 변동특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0034] 도 4를 참조하면, 동일한 사이트에서 측정한 절연저항의 변동추이와 배터리 SOC에 따른 상관관계 특성을 나타내고 있다. 여기서, 점선은 배터리의 SOC값을 나타내며, 실선은 ESS의 절연저항 값을 나타낸다.
- [0035] 먼저, SOC값은 약 0%에서 배터리 충전을 개시한 이후에 약 90%까지 꾸준히 증가함을 알 수 있다. 또한, 절연저항 값은 휴지 구간에 약 18[MΩ]을 유지하고, 배터리 충전을 개시하면 순간적으로 약 8[MΩ]까지 감소하며, 충전량에 따라 약 260[kΩ]까지 급격하게 감소하며, 배터리 완충 후 PCS 동작이 멈춘 휴지 구간에서 다시 18[MΩ]

Ω]으로 회복하는 것을 알 수 있다.

- [0036] 따라서, 배터리의 SOC값에 반비례하여 ESS의 절연저항이 감소함을 알 수 있다.
- [0037] 도 5는 배터리 DC전압에 따른 절연저항 변동특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0038] 도 5를 참조하면, 동일한 사이트에서 측정한 ESS의 절연저항과 배터리 랙 전압의 변동특성을 나타내고 있다. 여기서, 점선은 배터리 랙 단위의 전압 값을 나타내며, 실선은 ESS의 절연저항 값을 나타내고 있다.
- [0039] 먼저, 배터리 랙 전압은 812[V]에서 충전을 개시함에 따라 964[V]까지 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 한편, 절연저항 값은 배터리 SOC와의 상관관계와 마찬가지로 배터리 랙 전압이 높아짐에 따라 지속적으로 감소됨을 알 수 있다.
- [0040] 도 6은 배터리 DC전압과 CMV의 크기를 설명하기 위한 과형도이다. 즉, 실제 계통에서 운용중인 ESS의 배터리 직류전압과 CMV의 값을 측정한 과형이다.
- [0041] 도 6을 참조하면, ①번 곡선은 직류전압 값을 나타내고 있으며, 배터리가 충전하는 구간 동안 그 값이 880[V]에서 940[V]까지 상승하는 것을 알 수 있다. 한편, ②번 곡선은 공통모드전압(CMV, Common Mode Voltage) 값으로, 동일한 구간에서 280[V]에서 325[V]까지 상승하는 경향을 보이고 있다.
- [0042] 따라서, 배터리의 SOC에 따라 직류전압이 상승하고 CMV도 함께 증가하는 것을 알 수 있다.
- [0043] 이하에서, ESS의 절연저항 변동 메커니즘에 대해서 설명한다.
- [0044] 먼저, 배터리 기생커패시턴스에 의한 절연저항 변동 메커니즘을 설명한다.
- [0045] 태양광전원 연계용 ESS는 연계용변압기 및 보호소자를 포함하는 AC전원부와 AC 필터, PCS용 변압기, IGBT, 방열판 및 DC링크 커패시터를 포함하는 PCS부와, 배터리, BMS 및 보호소자를 포함하는 배터리부 등으로 구성된다. 여기서, 절연저항을 저하시키는 기생커패시턴스는 크게 PCS 측과 배터리 측으로 분류된다.
- [0046] 도 7은 ESS설비의 기생커패시턴스를 설명하기 위한 도면이다.
- [0047] 도 7을 참조하면, PCS 측 기생커패시턴스($C_{\text{paras}, \text{batt}}$)는 IGBT와 방열을 해소하기 위한 방열판 사이에 존재하며, PCS를 구성하는 IGBT의 개수나 회로구성, IGBT의 스위칭 주파수에 따라 변동되는 특징이 있다.
- [0048] 배터리측 기생커패시턴스($C_{\text{paras}, \text{IGBT}}$)는 배터리와 배터리 외함 사이에 존재하며, 배터리의 용량 및 구성에 따라 변동되는 특징이 있다. 즉, 한정된 컨테이너 공간에 대용량의 배터리를 설치하기 위하여 배터리 모듈을 직/병렬로 조합하는 방식을 채택하는 경우, 배터리 기생커패시턴스가 수백 [nF]에서 수 [uF]까지 발생할 수 있다.
- [0049] 또한, 대용량 ESS의 배터리 용량에 따른 기생커패시턴스를 증가화하면 도 8과 같이 나타낼 수 있다.
- [0050] 도 8은 대용량 ESS의 배터리 측 기생커패시턴스 증가회로도이다.
- [0051] 도 8을 참조하면, ESS 배터리부의 전체 기생커패시턴스 값은 각 모듈 기생커패시턴스($C_{11} \sim C_{mn}$)들의 대수적인 합으로 표현할 수 있다.
- [0052] 한편, ESS가 충전 및 방전 동작을 수행하는 경우, PCS와 배터리 기생커패시턴스에 의해 누설전류가 발생하는데, 이 누설전류는 아래의 수식 (1)과 같이 기생커패시턴스와 DC측 전압 변화량에 따라 산정된다.
- [0053] [수식 1]
- [0054]
$$i_l(t) = (C_{\text{stray}, \text{IGBT}} + C_{\text{stray}, \text{batt}}) \times \frac{\Delta v_{\text{DC}}(t)}{\Delta t}$$
- [0055] 여기서, $i_l(t)$: PCS 및 배터리측 누설전류, $C_{\text{paras}, \text{IGBT}}$: IGBT와 방열판 사이의 기생커패시턴스, $C_{\text{paras}, \text{batt}}$: 배터리 기생커패시턴스, $\Delta v_{\text{DC}}(t)$: DC 측 전압
- [0056] 수식 (1)에서와 같이 누설전류의 크기는 DC 측 전압과 기생커패시턴스들에 의해 변동되는데, 특히 배터리 기생커패시턴스를 저감시키면 누설전류가 감소하여 절연저항의 저하를 방지할 수 있다. 이에 따라 절연저항이 저하되는 것을 방지할 수 있으므로 절연저항 값이 IMD 정정 값 이하로 떨어져 ESS의 운전이 정지되는 사고를 방지할 수 있다.

[0057] 이하, 배터리 SOC에 따른 절연저항 변동 매커니즘을 설명한다.

[0058] ESS에서 사용되는 PCS는 전력변환을 위한 스위칭소자인 IGBT가 5~10[kHz]의 고주파 스위칭 동작을 하며, 이로 인하여 CMV(Common Mode Voltage)가 발생한다. 여기서, ESS의 CMV는 IGBT 스위칭 성분과 계통 교류성분 그리고 직류성분의 합성으로 구성된다. 특히, 배터리의 SOC가 높아질 경우, 배터리의 충전모드가 정전류(CC, Constant Current)모드에서 정전압(CV, Constant Voltage)모드로 변경되며, 더 높은 직류전압을 제어하기 위하여, IGBT 스위칭 성분과 직류성분도 함께 증가하게 된다. 즉, ESS의 합성 CMV는 수식 (2)와 같이 시간에 대한 함수로 정리할 수 있다.

[0059] [수식 2]

$$V_{T-CMV}(t) = \sqrt{V_{AC}^2 + V_{SW}^2(t) + V_{DC}^2(t)}$$

[0061] 여기서, $V_{T-CMV}(t)$: 합성 CMV, V_{AC} : 계통교류성분, $V_{SW}(t)$: IGBT 스위칭성분, $V_{DC}(t)$: 직류성분

[0062] 수식 (2)에서 첫 번째 항인 계통 교류성분(V_{AC})은 일반적으로 고정되고, 두 번째와 세 번째 항인 IGBT 스위칭 성분(V_{SW})과 직류성분(V_{DC})은 SOC의 증감에 따라 변동하는 것을 알 수 있다.

[0063] 상기의 수식 (2)를 바탕으로 배터리 SOC와 합성 CMV의 상관관계를 나타내면 도 9와 같다.

[0064] 도 9는 배터리 SOC에 따른 합성 CMV의 변동 특성을 나타낸 그래프이다.

[0065] 도 9를 참조하면, 배터리의 SOC가 높아짐에 따라 배터리부의 직류전압도 높아지는데, 그 값이 수십에서 수백 (V_{dc}) 폭으로 변동되며, 이에 따라 SOC가 높아질수록 합성 CMV도 비례하여 증가함을 알 수 있다.

[0066] 또한, 이러한 CMV는 PCS와 배터리 측에 기생커패시턴스가 존재할 경우 누설전류를 발생시킬 수 있다. 일반적으로 누설전류는 정전용량에 의하여 발생하는 용량성 누설전류와 전로의 열화에 따라 발생하는 저항성 누설전류로 구분할 수 있으나, 본 명세서에서는 절연저항에 주로 영향을 미치는 기생커패시턴스를 고려한 용량성 누설전류를 고려한다. 즉, 주기적으로 변동하는 합성 CMV와 기생커패시턴스에 의해 발생하는 누설전류를 계산하면 다음의 수식 (3)과 같다.

[0067] [수식 3]

$$i_{CMV}(t) = (C_{stray, IGBT} + C_{stray, batt}) \times \frac{\Delta V_{T-CMV}(t)}{\Delta t}$$

[0069] 여기서, $i_{CMV}(t)$: 누설전류, $C_{stray, IGBT}$: IGBT와 방열판 사이의 기생커패시턴스, $C_{stray, batt}$: 배터리 기생커패시턴스, $\Delta V_{T-CMV}(t)$: 합성 CMV

[0070] 수식 (3)을 통해 CMV를 저감시키거나 배터리 운용 전압범위를 낮추면 누설전류가 감소하여 절연저항의 저하를 방지할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0071] 한편, 실제 계통에서 운영 중인 다수의 ESS에는 공통접지 방식이 채용된다.

[0072] 도 10은 공통접지망을 공유하는 ESS설비의 등전위 본딩접지를 설명하기 위한 도면이다.

[0073] 도 10을 참조하면, 실제 계통에서 운영 중인 다수의 ESS에는 각 배터리 외함의 접지선을 등전위로 본딩하고, 배시망에 공통접지하는 방식을 사용하고 있다.

[0074] 따라서, 배터리 SOC에 따라 변동하는 CMV는 ESS의 절연저항을 주기적으로 변화시킬 뿐만 아니라, CMV에 의한 누설전류는 접지선을 따라 이동하여 IMD 등의 보호제어기기를 오동작시키거나 ESS의 절연성능과 수명 저하를 초래할 수 있다.

[0075] 이하에서, PSCAD/EMTDC를 이용한 ESS의 절연저항 모델링에 대해서 설명한다.

[0076] 배전계통부는 배전용변전소와 배전선로로 구성된다.

[0077] 도 11은 배전용계통부를 모델링한 회로도이다.

[0078] 도 11을 참조하면, 배전용변전소의 주변압기(45/60[MVA])는 3권선 Yg-Yg- Δ 결선방식인데, 3차 권선은 제 3고조

파를 제거하기 위하여 Δ 결선방식을 채용한다. 또한, 주변압기 2차 측은 배전계통의 지락전류를 제한하기 위하여, $0.6[\Omega]$ 의 NGR을 설치하는 것으로 상정한다. 그리고 배전선로는 3상 4선식의 π 형 등가회로이며, 선종은 ACSR 160[mm²]로 상정한다.

[0079] ESS부는 PCS와 배터리로 구성된다.

[0080] 도 12는 PCS를 모델링한 회로도이다.

[0081] 도 12를 참조하면, PCS는 반도체 스위치와 제어기, L-C필터, 등으로 구성되며, 비례적분(PI: proportional integral) 제어기와 dq 변환을 이용하여 유효전력과 무효전력을 제어한다. 이때, 목표로 하는 ESS의 전력(유효 전력, 무효전력)을 제어하기 위하여, ESS의 출력을 결정하는 dq축의 기준전류($I_{d,ess}^*$, $I_{q,ess}^*$)를 산정한다. 즉, ESS의 목표 전력(P_d^* , Q_q^*)과 측정 값($P_d(t)$, $Q_q(t)$)을 비교하여 오차를 구한 후, 이를 비례 적분하여 목표로 하는 dq축의 기준전류를 산정할 수 있다.

[0082] 따라서, 기준전류는 수식 (4) 및 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있고, 음의 값을 가질 때 ESS가 충전하고, 양의 값을 가지면 방전한다.

[0083] [수식 4]

$$I_{d,ess}^* = (K_p + \frac{K_i}{s})(P_d^* - P_d(t))$$

[0084]

[0085] [수식 5]

$$I_{q,ess}^* = (K_p + \frac{K_i}{s})(Q_q^* - Q_q(t))$$

[0086]

[0087] 여기서, $I_{d,ess}^*$: ESS 출력을 위한 d축 기준전류, $I_{q,ess}^*$: ESS 출력을 위한 q축 기준전류, P_d^* : d축 유효전력 기준값, $P_d(t)$: d축 유효전력 출력값, Q_q^* : q축 무효전력 기준값, $Q_q(t)$: q축 무효전력 기준값, K_p : 비례제어기 게인 값, K_i : 적분제어기 게인 값

[0088] 도 13은 배터리를 모델링한 회로도이다.

[0089] 도 13을 참조하면, 배터리는 다수의 랙과 랙 BMS로 구성된다. 랙 BMS는 배터리 모듈 및 랙의 전압과 전류 등을 계측하여, 과전압, 과전류 등이 발생할 경우 MC 등을 이용하여, 회로를 신속하게 개폐하는 기능을 수행한다.

[0090] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 절연저항감시장치를 모델링한 회로도이다.

[0091] 도 14를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 절연저항감시장치는 펄스전압 발생부(110)와 절연저항 모니터링 부(120)를 포함한다.

[0092] 펄스전압 발생부(110)는 브릿지저항, L-C필터, 검출저항 및 펄스전압원을 포함한다. 여기서, 펄스전압원은 ESS DC 전로의 전압을 고려하여 한 주기의 펄스전압 크기를 $\pm 50V$ 로 발생시킨다.

[0093] 절연저항 모니터링부(120)는 상기 브릿지저항과 상기 검출저항에 인가되는 펄스전압 값을 이용하여 DC 전로의 절연저항 값을 계측한다. 이때, DC 전로의 절연저항 값은 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

[0094] [수식 6]

$$R_{ins} = 2(\frac{V_{gen}}{V_{sen}} \times R_{sen} - R_{sen} - \frac{R_{bridge}}{2})$$

[0095]

[0096] 여기서, R_{ins} : 절연저항 값, V_{gen} : 펄스전압, V_{sen} : 검출저항에 인가되는 전압, R_{sen} : 검출저항 값, R_{bridge} : 브릿지저항

[0097] 도 15는 배터리 기생커패시턴스에 의한 절연저항을 모델링한 회로도이다.

[0098] 도 15를 참조하면, 배터리 기생커패시턴스는 배터리 용량과 배터리 모듈의 구조, 폭, 면적, 배터리 외함까지의

거리 등에 따라 산정되도록 구성한다. 즉, 배터리모듈과 배터리 외함 사이의 배터리 기생커패시턴스($C_{stray,batt}$)는 랙 외함에서 배터리 모듈의 중심부까지의 거리(H)와 모듈의 개수(n), 랙의 개수(m), 배터리 외함의 면적(A), 등을 고려하여 산정하며, 이는 수식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 배터리 외함의 소재는 산화알루미늄(Al_2O_3)이며 유전율(ϵ_r)은 7.96×10^{-11} 로 상정한다.

[0099] [수식 7]

[0100]

[0101]

$$C_{stray,batt} = n \times m \times \left(\frac{4 \times \epsilon_r \times \epsilon_0}{\pi} \times w \times \ln\left(\frac{Y}{H}\right) + \frac{A}{d} \times \epsilon_0 + 0.88 \times \epsilon_0 \right)$$

여기서, C_{stray} : 배터리모듈과 배터리 외함 사이의 배터리 기생커패시턴스, n: 배터리 모듈의 개수, m: 배터리 랙의 개수 ϵ_r : 대기 유전율, ϵ_0 : 산화알루미늄의 유전율, w : 배터리 모듈의 폭, Y: 배터리 외함의 세로 길이, H: 배터리 외함에서 배터리 모듈 중심까지의 거리, A: 배터리 외함의 면적, d: 배터리 모듈 옆면에서 배터리 외함까지의 거리

[0102]

도 16은 배터리 SOC를 모델링한 회로도이다.

[0103]

도 16을 참조하면, 배터리 SOC는 목표로 하는 SOC를 고려하여, 충전, 방전, 및 휴지동작을 수행하도록 구성한다. 즉, ESS의 동작모드 설정 값($\delta(t)$)은 아래의 수식 (8)과 같이 일반적인 배터리의 운용범위(10% ~ 90%)에 따라 ESS를 동작시킨다. 여기서, 목표 SOC(SOC_{ref})가 현재 SOC(SOC_{sen})보다 크면 충전 동작($\delta(t)=1$), 같으면 휴지 동작($\delta(t)=0$), 작으면 방전 동작($\delta(t)=-1$)을 수행한다.

[0104]

[수식 8]

[0105]

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } SOC_{ref} - SOC_{sen} > 0 \\ 0, & \text{if } SOC_{ref} - SOC_{sen} = 0 \\ -1, & \text{if } SOC_{ref} - SOC_{sen} < 0 \end{cases}$$

[0106]

여기서, $\delta(t)$: ESS의 충전, 휴지, 방전 동작모드, SOC_{ref} : 목표로 하는 SOC 값, SOC_{sen} : 현재 SOC 값

[0107]

도 17은 절연저항 발생 메커니즘을 해석하기 위한 전체 시스템을 모델링한 회로도이다.

[0108]

도 17을 참조하면, 절연저항 발생 메커니즘을 해석하기 위한 전체 시스템은 배전계통부, ESS부, 절연저항감시장치, 배터리 기생커패시턴스부, 및 배터리 SOC부를 포함한다.

[0109]

배터리 용량에 따라 달라지는 기생커패시턴스의 값은 실증사이트의 데이터를 바탕으로 산정하여 배터리 기생커패시턴스부의 모델링에 적용한다. 또한, 배터리 SOC부는 배터리 용량과 DC전압을 고려하여 충/방전을 수행하도록 설정한다.

[0110]

이하, 시뮬레이션을 수행한 후 그 결과 및 분석에 대해 설명한다.

[0111]

본 명세서에서 제안한 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따른 절연저항의 변동특성을 분석하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0112]

표 1은 시뮬레이션 조건을 나타낸다.

[0113] [표 1]

items			contents
ESS	battery	operation range of SOC	10[%] ~ 90[%]
		enclosure resistance	0.15[Ω]
	PCS	stray capacitance of IGBT	3[nF]
		enclosure resistance	0.2[Ω]
grounding system		grounding resistance	30[Ω]
		line resistance	0.1[Ω]
insulation resistance of DC line		sampling frequency	1[Hz]
		pulse voltage	50[V]
		pulse frequency	1[Hz]
		bridge resistance	200[kΩ]
		measuring resistance	50[kΩ]

[0114]

[0115] 표 1을 참조하면, 배터리의 SOC 운용범위는 10[%] ~ 90[%]로 상정하고, IGBT 기생커패시턴스는 3[nF]으로 적용한다. ESS의 공통접지 저항은 30[Ω], 배터리와 PCS의 배터리 외함 저항은 각각 0.15[Ω]과 0.2[Ω]으로 상정한 다. IMD의 펄스전압의 크기와 주파수는 제조사의 성능을 바탕으로 각각 50[V], 1[Hz]를 적용하고, 절연저항 샘플링 주파수는 1[Hz]로 상정한다. IMD에서 절연저항을 측정하기 위한 브릿지저항과 테스트 저항은 각각 200[kΩ], 50[kΩ]을 적용한다.

[0116] 한편, 배터리 기생커패시턴스의 시뮬레이션 조건은 표 2와 같다.

[0117] 표 2는 배터리 기생커패시턴스 및 DC 전압조건을 나타낸다.

[0118] [표 2]

items		1[MW]	2[MW]	3[MW]	4[MW]	5[MW]
stray capacitance in battery		10[nF]	20[nF]	30[nF]	40[nF]	50[nF]
DC voltage according to SOC	Case I	850~1,000[V]	-	-	-	850~1,000[V]
	Case II	1,100~1,500[V]	-	-	-	1,100~1,500[V]

[0119]

[0120] 표 2를 참조하면, 배터리 용량에 따라 10[nF] (1[MW]) ~ 50[nF] (5[MW])로 상정하고, DC전압은 850~1,000[V](case I)와 1100~1,500[V](case II)로 나누어 SOC의 영향을 검토한다.

[0121] 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로, 배터리 및 PCS 기생커패시턴스에 의한 절연저항 변동특성은 도 18과 같다.

[0122] 도 18a 및 도 18b는 기생커패시턴스에 의한 누설전류 및 절연저항 특성을 나타낸 그래프이다. 특히, 도 18a는 배터리, PCS, ESS 연계용변압기의 누설전류를 나타내고, 도 18b는 DC 전로의 절연저항을 나타낸다.

[0123] 도 18a는 배터리 용량에 따른 기생커패시턴스의 값에 따라 배터리측과 PCS측, 연계용변압기측의 누설전류 특성을 나타낸 것이다. 또한, 도 18b는 기생커패시턴스에 따른 절연저항 변동특성을 나타낸 것으로 배터리 기생커패시턴스를 10[nF]에서 50[nF]까지 10[nF]씩 증가시키면, 배터리측과 PCS측의 누설전류는 최대 3.2[mA]까지 증가하고, DC 전로의 절연저항 값은 약 20[MΩ]에서 2.5[MΩ]까지 감소됨을 알 수 있다.

[0124] 표 3은 배터리 용량에 따른 누설전류 및 절연저항 특성을 나타낸다.

[0125] [표 3]

items		1[MW] (10nF)	2[MW] (20nF)	3[MW] (30nF)	4[MW] (40nF)	5[MW] (50nF)
leakage current	Tr.	53[μA]	58[μA]	61[μA]	66[μA]	69[μA]
	battery	0.6[mA]	1.1[mA]	1.7[mA]	2.5[mA]	3.1[mA]
	PCS	0.7[mA]	1.2[mA]	1.8[mA]	2.6[mA]	3.1[mA]
	IMD	9[μA]	14[μA]	19[μA]	23[μA]	26[μA]
insulation resistance of DC line		8.7[MΩ]	4.4[MΩ]	3.3[MΩ]	2.8[MΩ]	2.5[MΩ]

[0126]

[0127] 표 3을 참조하면, 배터리측과 PCS측의 누설전류는 유사한 특성을 가지지만, 연계용변압기측의 누설전류는 표 3과 같이 거의 흐르지 않음을 알 수 있다. 이를 통해, 배터리 기생커패시턴스가 증가함에 따라 DC 전로의 누설전류도 증가하여 배터리 절연에 악영향을 끼칠 가능성이 있다.

[0128] 따라서, 배터리가 대용량 일수록 제조사에서는 배터리의 모듈과 배터리 외함의 절연을 강화하고, 이격거리를 충분히 확보할 필요가 있음을 알 수 있다.

[0129] 또한, 절연저항 값이 최저 값(3.2[MΩ])으로 감소한 경우의 누설전류의 흐름을 나타내면 도 19와 같다.

[0130] 도 19는 기생커패시턴스에 의한 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.

[0131] 도 19를 참조하면, 50[nF]의 기생커패시턴스에서 발생한 3.1[mA]의 누설전류는 접지 저항측(30[Ω])으로 거의 흐르지 않고, PCS와 배터리 외함을 따라 순환하고 있음을 알 수 있다.

[0132] 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로, 5[MW]용량의 1,000[V]급 배터리 SOC에 의한 절연저항 변동특성은 도 20a 및 도 20b와 같다.

[0133] 도 20a 및 도 20b는 1,000[V]급 배터리의 절연저항 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 20a는 배터리, PCS, ESS 연계용변압기의 누설전류를 나타내는 그래프이고, 도 20b는 DC 전로의 절연저항을 나타내는 그래프이다.

[0134] 여기서, 도 20 a는 배터리의 SOC에 따른 연계용 변압기와 배터리측, PCS측의 누설전류 특성을 나타낸 것이고, 도 20b는 배터리 SOC에 따른 절연저항 변동특성을 나타낸 것이다.

[0135] 즉, SOC값을 약 10%(850V)에서 배터리 충전을 개시한 이후에 약 90%(1,100V)까지 단계별로 증가시키면, 연계용 변압기측과 배터리측, PCS측의 누설전류는 각각 최대 0.8[mA], 3.5[mA], 4[mA]까지 상승함을 알 수 있다.

[0136] 또한, DC 전로의 절연저항 값은 25[MΩ]에서 427[kΩ]까지 감소되고, 배터리 완충 후 PCS 동작이 멈춘 휴지 구간에서 다시 25[MΩ]으로 회복되는 것을 알 수 있다.

[0137] 따라서, 배터리의 SOC가 증가함에 따라 ESS의 절연저항을 주기적으로 변동시킬 뿐만 아니라, CMV에 의한 누설전류를 증가시켜 배터리 절연에 악영향을 미칠 수 있으므로, CMV를 저감시킬 수 있는 방안이 요구됨을 알 수 있다.

[0138] 한편, 절연저항 값이 최저 값(427[kΩ])으로 감소한 경우의 누설전류의 흐름을 나타내면 도 21과 같다.

[0139] 도 21은 1,000[V]급 배터리의 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.

[0140] 도 21을 참조하면, SOC가 90%(1,000V)인 경우 발생한 3.7[mA]의 누설전류는 30[Ω]의 접지저항으로 거의 흐르지

않고, PCS와 배터리 외함을 따라 순환되고 있음을 알 수 있다.

[0141] 상기에서 제안한 모델링을 바탕으로, 5[MW]용량의 1,500[V]급 배터리 SOC에 의한 절연저항 변동특성은 도 22와 같다. 여기서, 도 22a는 배터리의 SOC에 따라 발생하는 누설전류 특성을 나타낸 것이고, 도 22b는 절연저항 변동특성을 나타낸 것이다.

[0142] 도 22a 및 도 22b는 1,500[V]급 배터리의 절연저항 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 22a는 배터리, PCS, ESS용 연계변압기의 누설전류를 나타내고, 도 22b는 DC 전로의 절연저항을 나타낸다.

[0143] 즉, SOC값을 약 10%(1,100V)에서 배터리 충전을 개시한 이후에 약 90%(1,500V)까지 꾸준히 증가시키면, 연계용 변압기측과 배터리측, PCS측의 누설전류는 각각 최대 1.6[mA], 5.9[mA], 6.9[mA]까지 증가함을 알 수 있다. 또한, DC 전로의 절연저항 값은 25[MΩ]에서 202[kΩ]까지 감소되어, 배터리의 랙 전압이 1,000[V]인 경우와 비교하여 그 값이 더욱 저하됨을 알 수 있다.

[0144] 한편, 절연저항 값이 최저 값(202[kΩ])으로 감소한 경우의 누설전류의 흐름을 나타내면 도 23과 같다.

[0145] 도 23은 1,500[V]급 배터리의 누설전류 특성을 설명하기 위한 회로도이다.

[0146] 여기서, SOC가 90%(1,500V)인 경우 발생한 6.9[mA]의 누설전류는 30[Ω]의 접지저항으로 거의 흐르지 않고, PCS와 배터리 외함을 따라 순환되고 있음을 알 수 있다.

[0147] 상기의 시뮬레이션을 바탕으로, 배터리의 용량과 SOC에 따라 DC 전로의 절연저항 특성을 나타내면 표 4와 같다.

[0148] 표 4는 배터리 SOC에 따른 누설전류 및 절연저항 특성을 나타낸다.

[0149] [표 4]

items		Case I (1,000[V])		Case II (1,500[V])	
		1[MW]	5[MW]	1[MW]	5[MW]
leakage current	Tr.	529[μA]	0.8[mA]	1[mA]	1.6[mA]
	battery	2.6[mA]	3.5[mA]	3.8[mA]	5.9[mA]
	PCS	3.0[mA]	4.0[mA]	4.4[mA]	6.9[mA]
	IMD	50[μA]	105[μA]	99[μA]	144[μA]
insulation resistance of DC line		740[kΩ]	427[kΩ]	573[kΩ]	202[kΩ]

[0150]

[0151] 이 표에서와 같이, DC 1,000[V]급에서는 ESS의 용량이 1[MW]에서 5[MW]로 증가하면 배터리측과 PCS측의 누설전류는 각각 2.6[mA]와 3.0[mA]에서 3.2[mA]와 4.0[mA]로 상승하고, DC 전로의 절연저항은 740[kΩ]에서 427[kΩ]으로 감소함을 알 수 있다.

[0152] 또한, DC 1,500[V]급에서는 ESS의 용량이 1[MW]에서 5[MW]로 증가하면 배터리측과 PCS측의 누설전류는 각각 3.8[mA]와 4.4[mA]에서 5.9[mA]와 6.9[mA]로 상승하고, DC 전로의 절연저항은 573[kΩ]에서 202[kΩ]으로 감소함을 알 수 있다.

[0153] 따라서, 대용량 ESS가 설치된 현장에서는 충분한 접지 보강을 통하여 접지 저항을 감소시키고, 적절한 변압기의 결선방식을 채택하여 누설전류를 저감시킬 필요성이 있음을 알 수 있다.

[0154] 이상에서 설명된 바와 같이, 본 명세서에서는 실제 계통에서 운용중인 ESS의 절연저항 변동특성을 분석하기 위하여, 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따른 절연저항 변동메커니즘과 모델링을 제시하였다. 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

[0155] ESS의 실제 계통 운영사례 분석을 통하여, ESS가 연계된 직류전로의 절연저항이 주로 배터리 기생커패시턴스와 SOC에 따라 변동됨을 알 수 있었다. 구체적으로 ESS의 SOC가 높아짐에 따라 배터리부의 직류전압이 상승하고, 이에 비례하여 ESS의 CMV도 함께 증가하였으며, 절연저항은 상대적으로 감소됨을 확인하였다.

[0156] 또한 배터리 기생커패시턴스의 절연저항특성을 분석하면, 기생커패시턴스의 값이 증가함에 따라 DC 전로의 누설

전류가 상승하여 배터리 절연에 악영향을 끼칠 가능성이 있다. 따라서, 배터리가 대용량 일수록 제조사에서는 배터리의 모듈과 배터리 외함의 절연을 강화하고, 이격거리를 충분히 확보할 필요가 있음을 알 수 있었다.

[0157] 또한 배터리의 SOC의 절연저항 특성을 분석하면, 배터리의 SOC가 증가함에 따라 ESS의 절연저항을 주기적으로 변동시킬 뿐만 아니라, CMV에 의한 누설전류를 증가시켜 배터리 절연에 악영향을 미칠 수 있으므로, CMV를 저감시킬 수 있는 방안이 요구됨을 알 수 있다.

[0158] 또한 배터리의 DC측 전압과 용량에 따라 절연저항 특성을 분석하면, 대용량 ESS가 설치된 현장에서는 충분한 접지 보강을 통하여 접지 저항을 감소시키고, 적절한 변압기의 결선방식을 채택하여 누설전류를 저감시킬 필요성이 있음을 알 수 있다.

[0159] 이상에서는 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

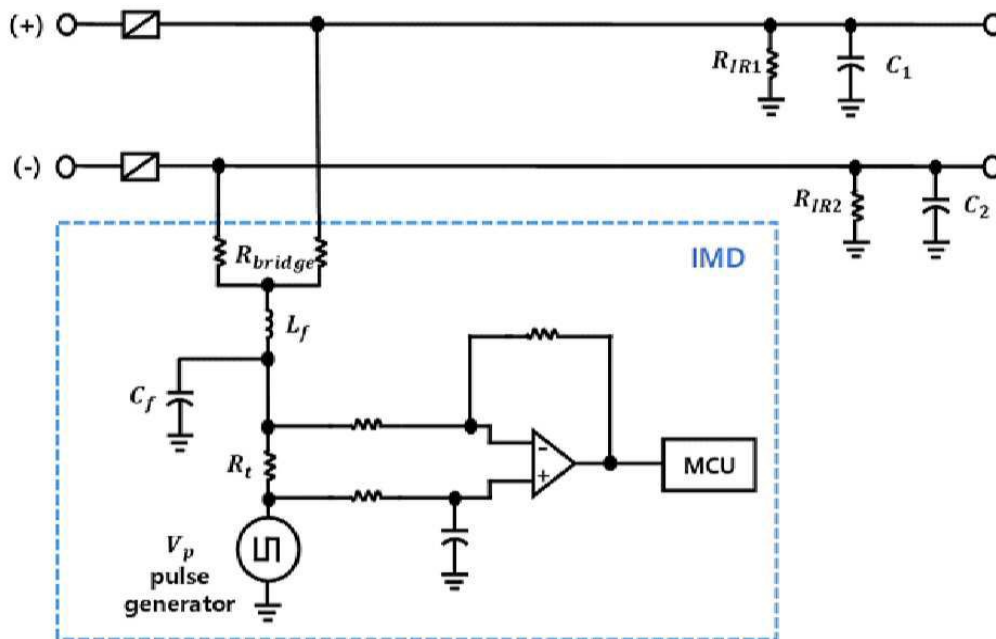
부호의 설명

[0160] 110 : 펄스전압 발생부

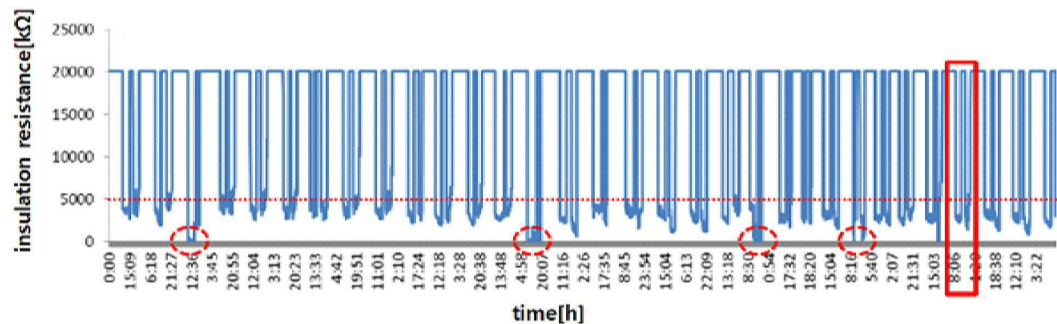
120 : 절연저항 모니터링부

도면

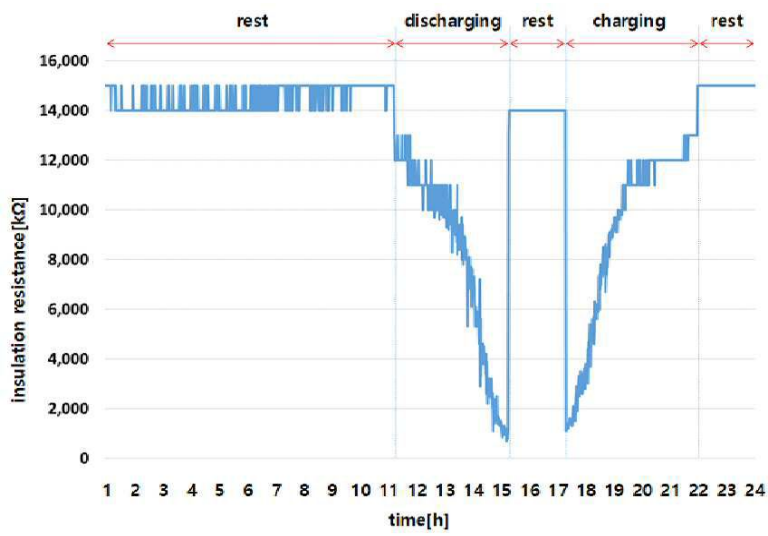
도면1



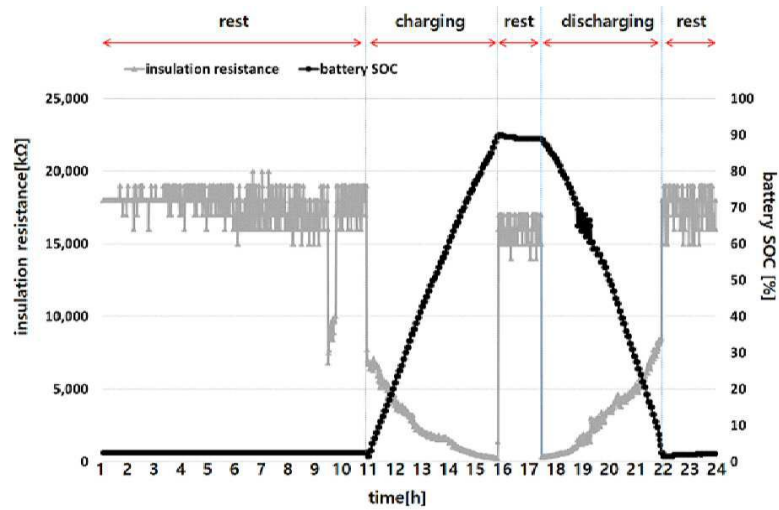
도면2



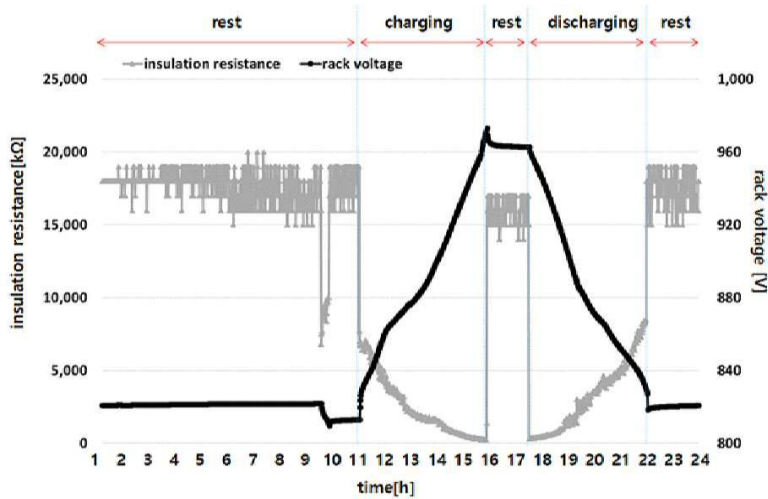
도면3



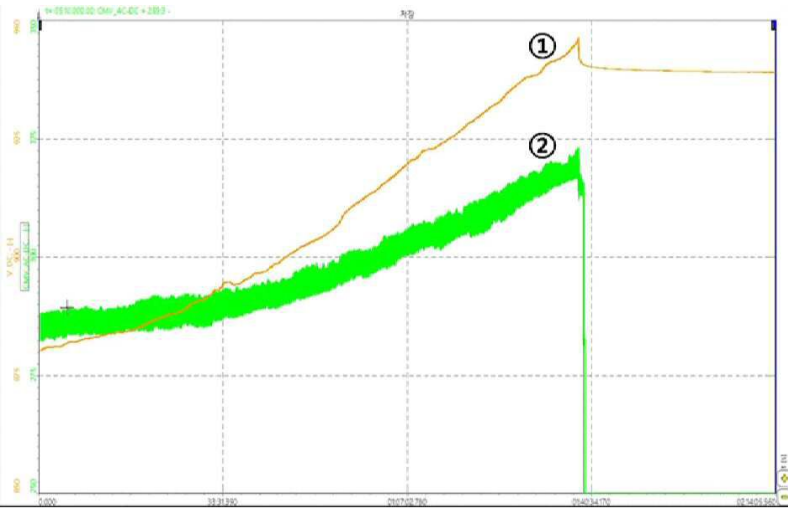
도면4



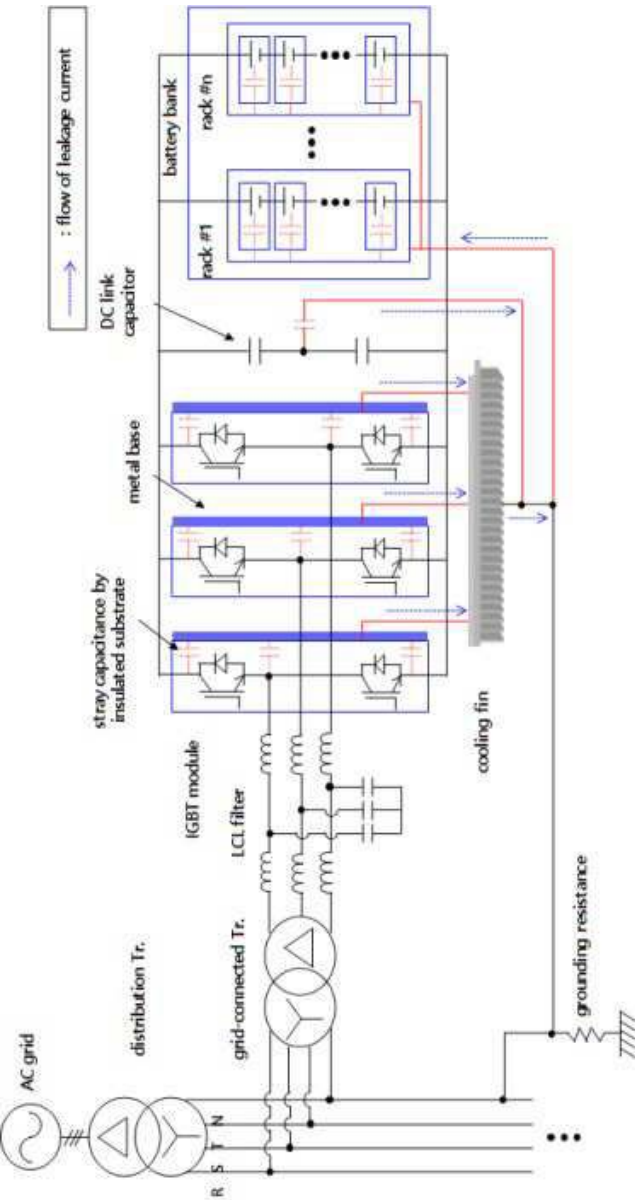
도면5



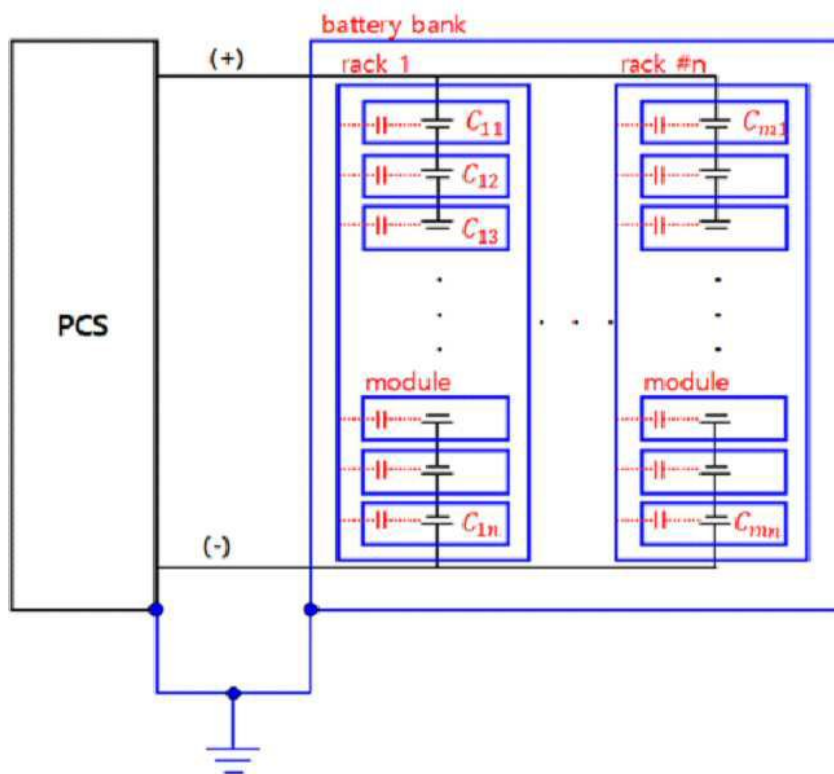
도면6



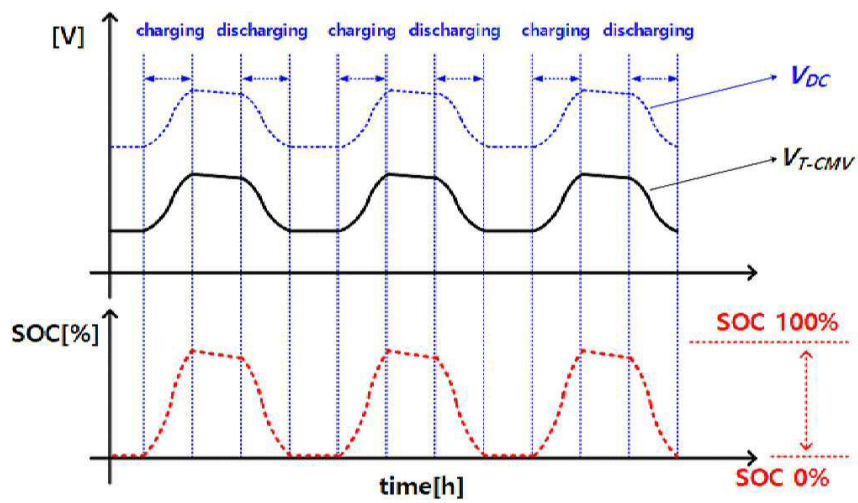
도면7



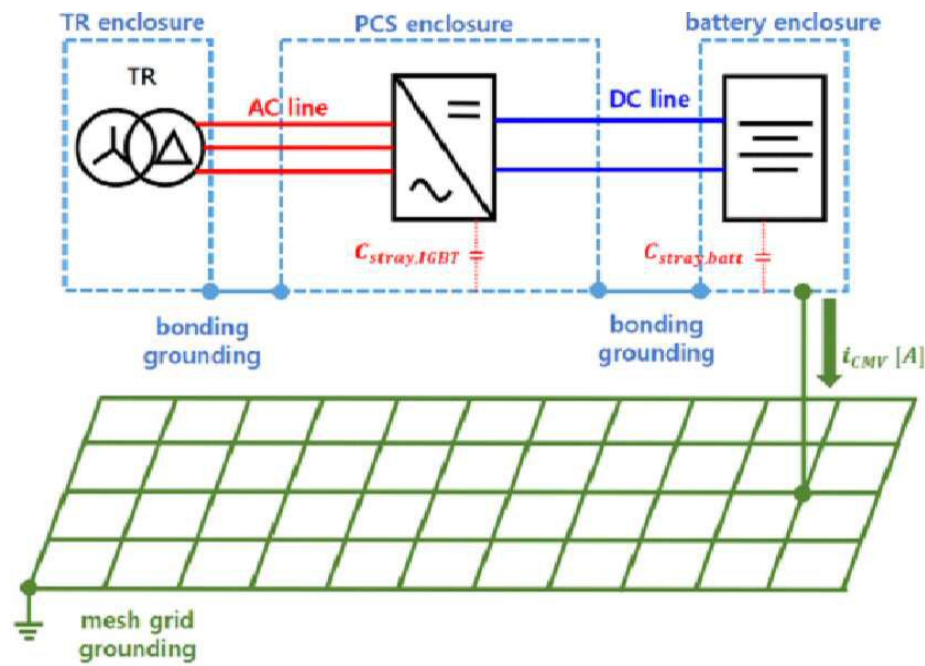
도면8



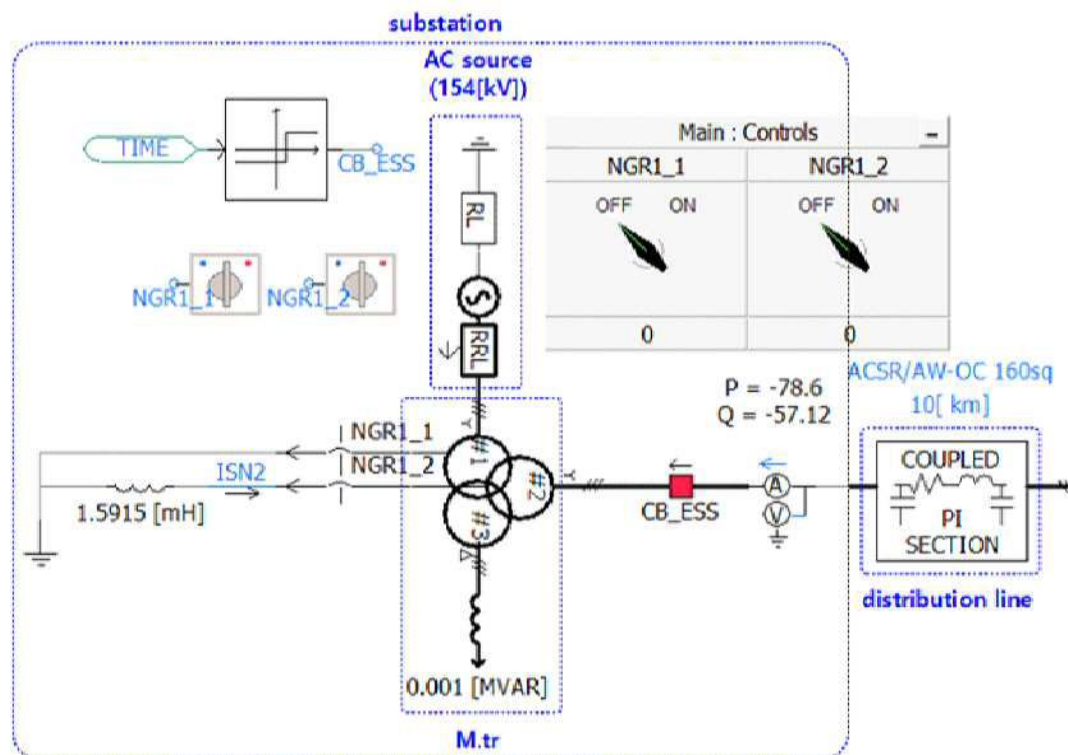
도면9



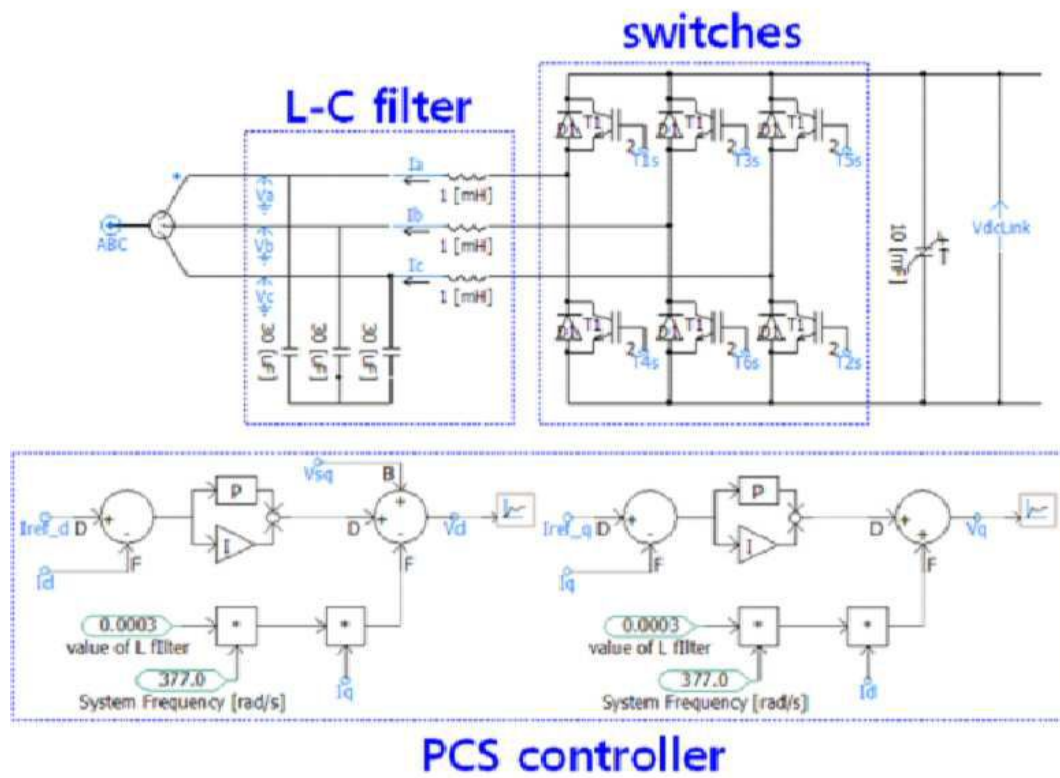
도면 10



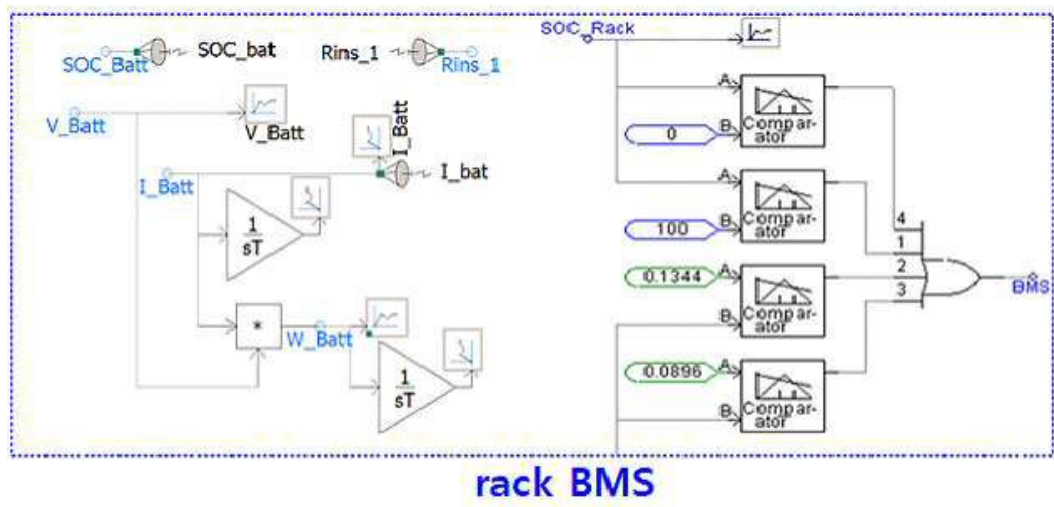
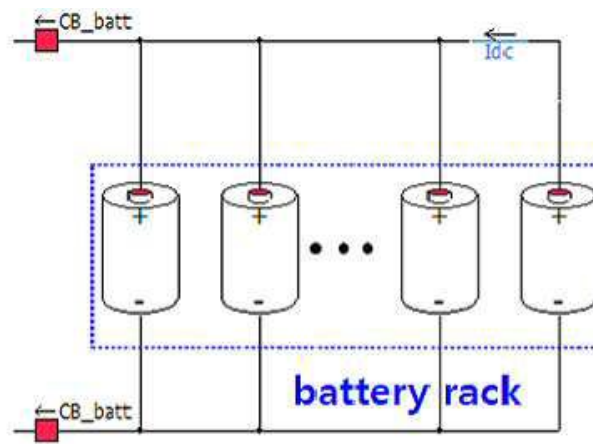
도면11



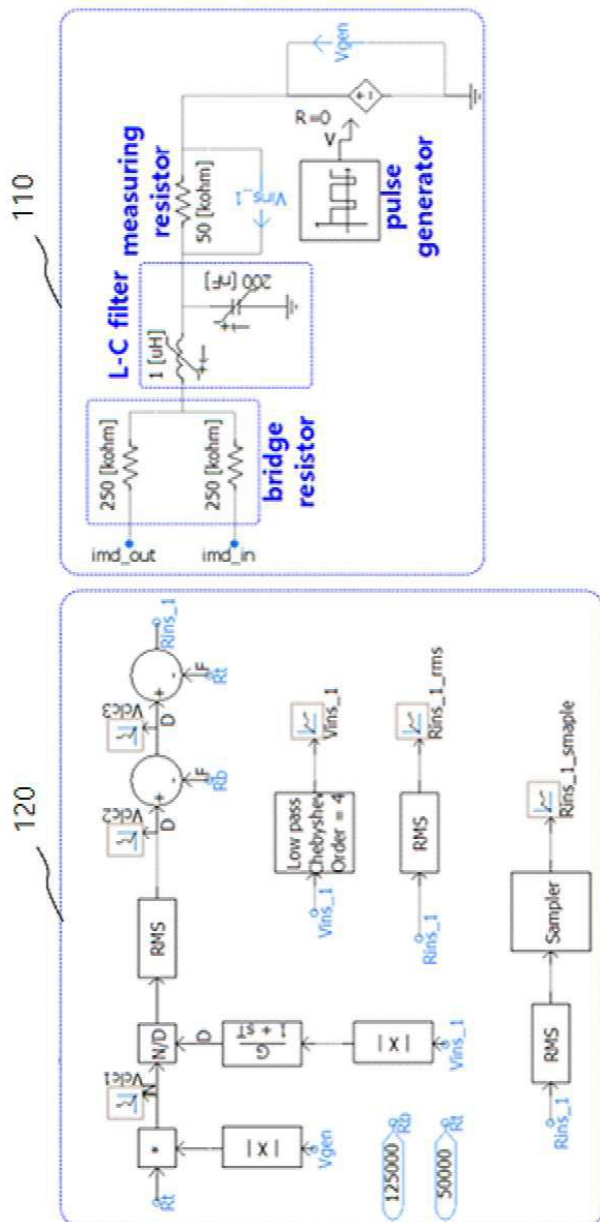
도면12



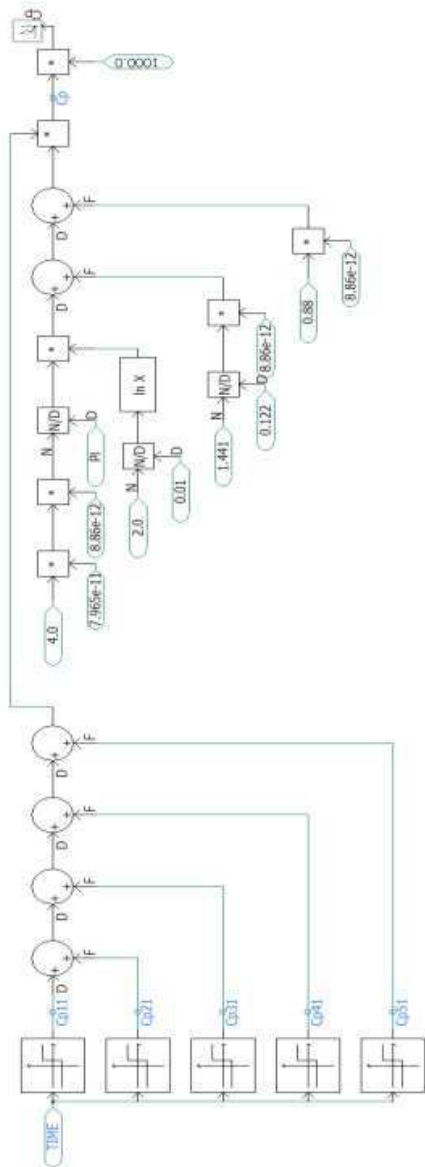
도면13



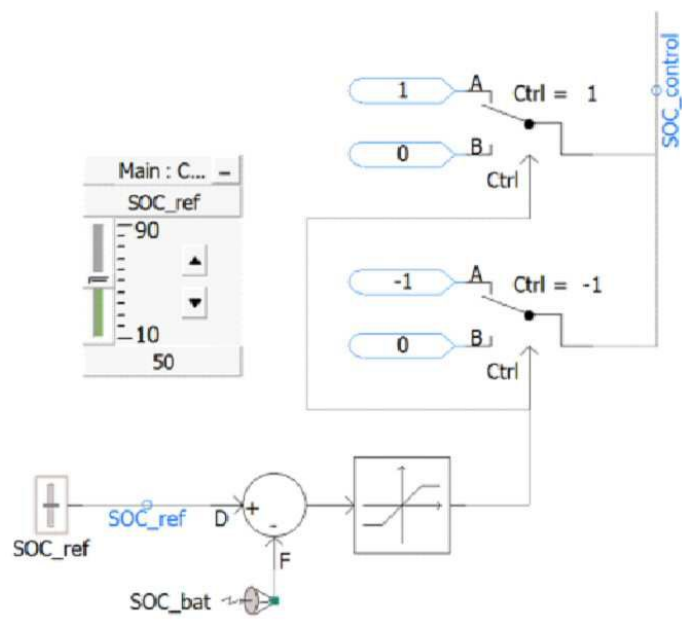
도면14



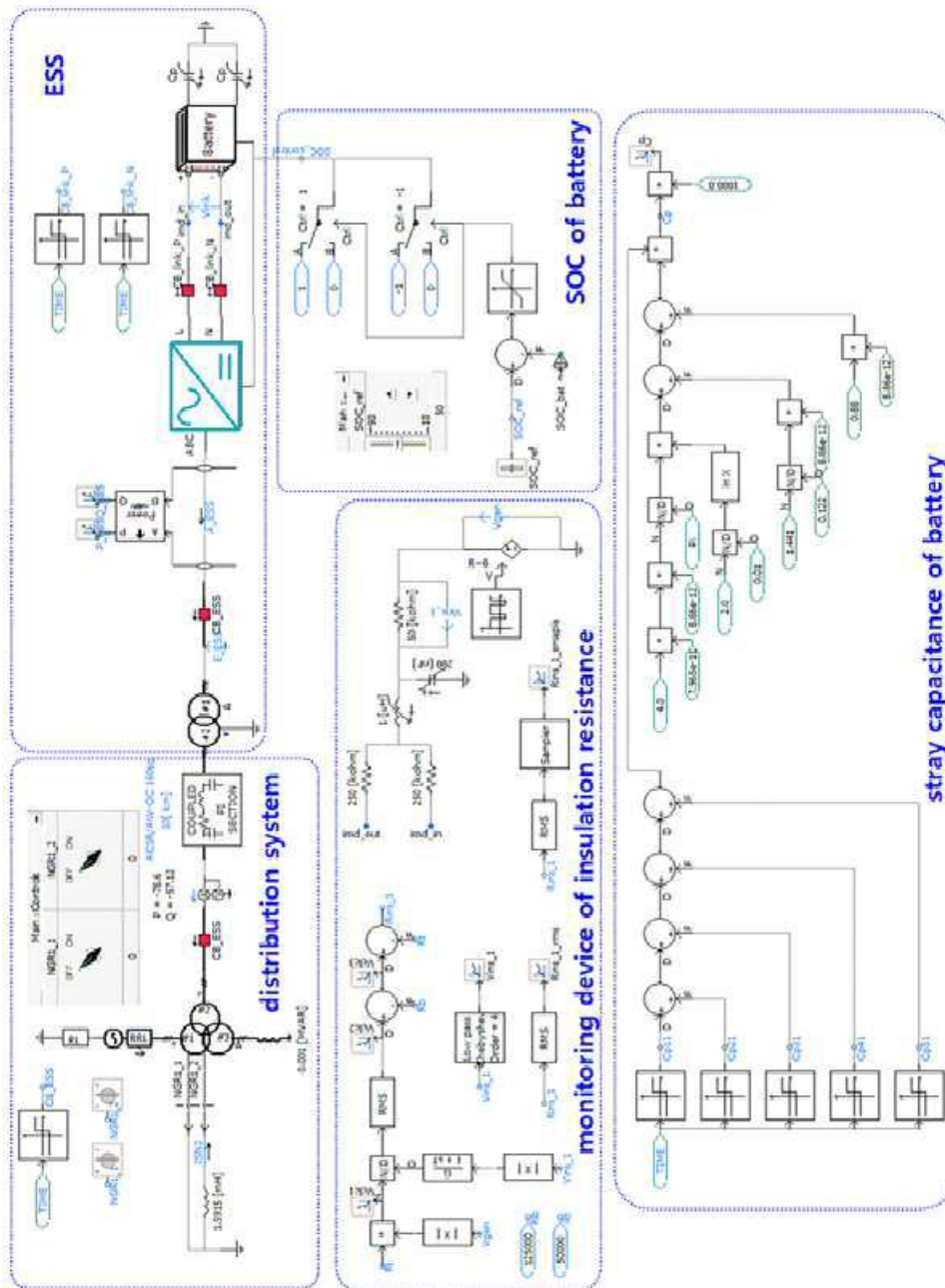
도면 15



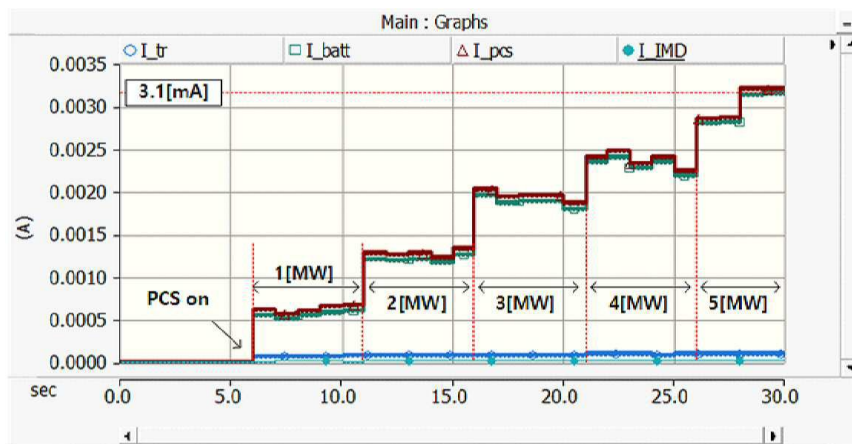
도면16



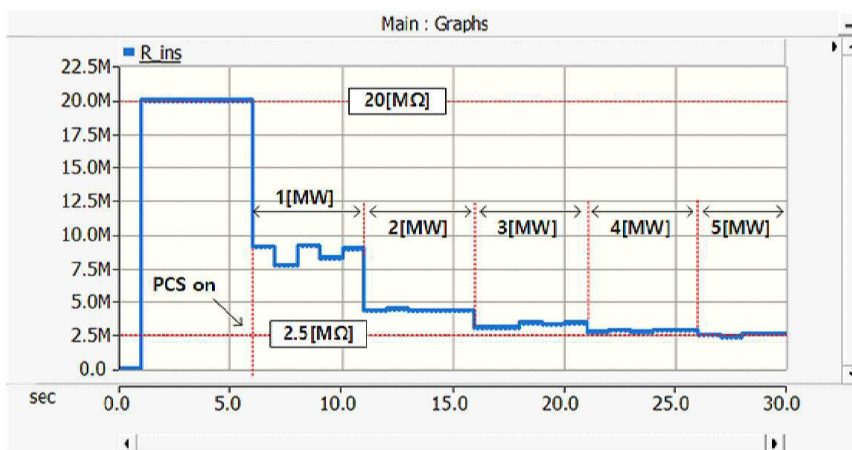
도면17



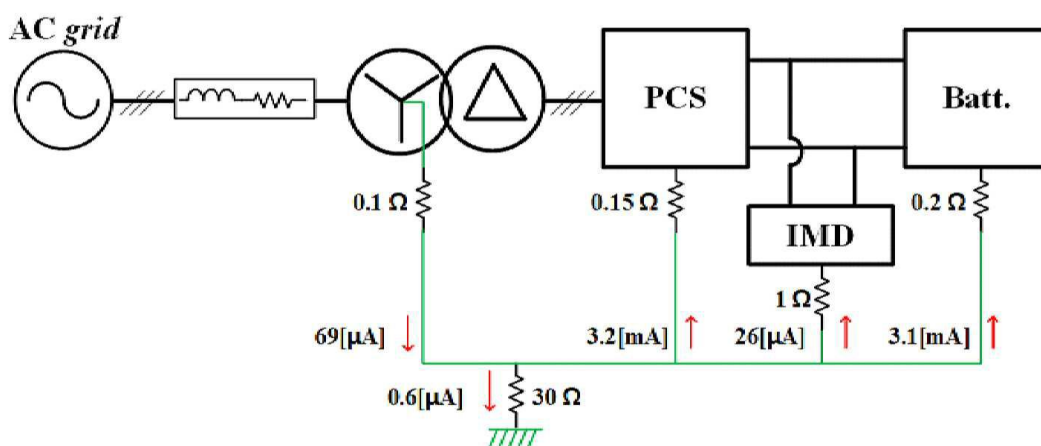
도면18a



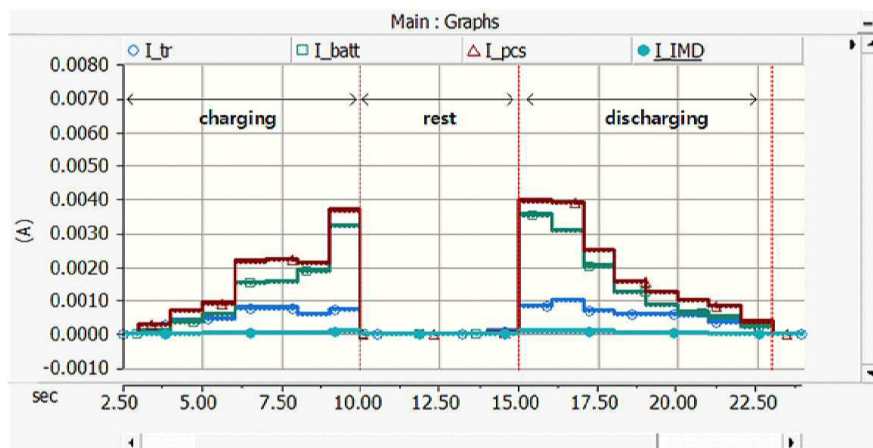
도면18b



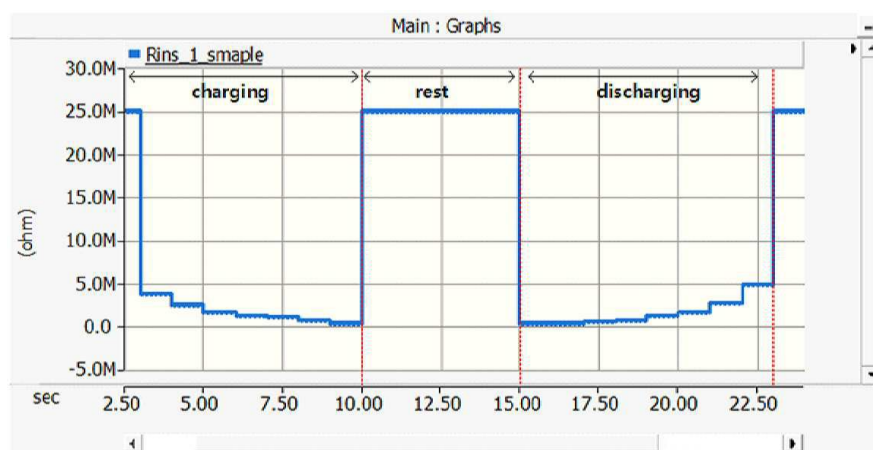
도면19



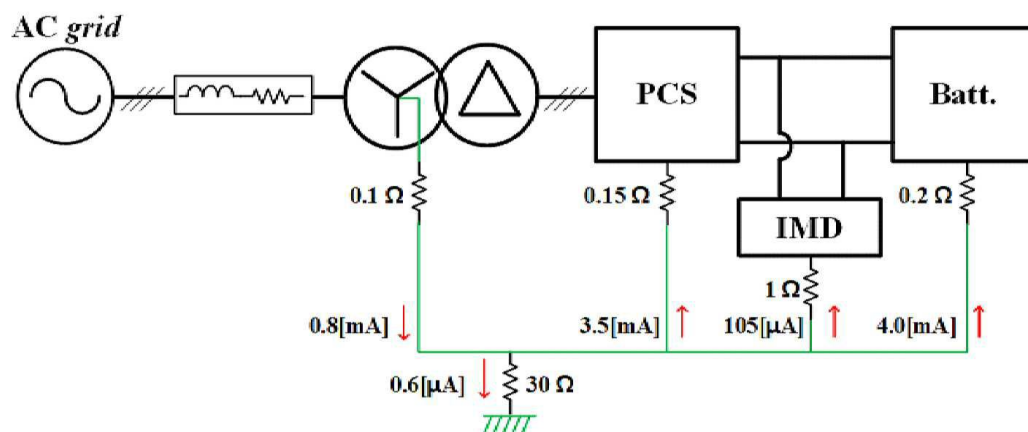
도면20a



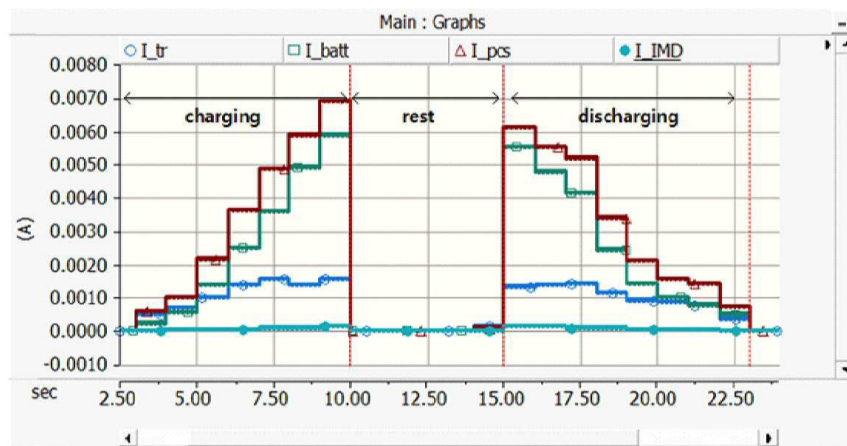
도면20b



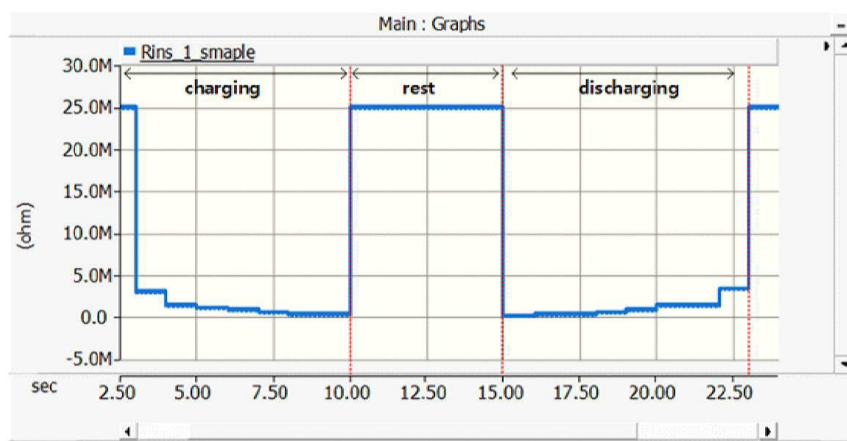
도면21



도면22a



도면22b



도면23

