



등록특허 10-2715761



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월11일
(11) 등록번호 10-2715761
(24) 등록일자 2024년10월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 9/04 (2006.01) H02H 7/18 (2006.01)
H02J 3/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 9/04 (2013.01)
H02H 7/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0046906
(22) 출원일자 2023년04월10일
심사청구일자 2023년04월10일
(56) 선행기술조사문헌
JP2018179633 A
KR1020010015726 A
KR1020210103679 A
KR1020100098720 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)
(74) 대리인
김민태

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 전정환

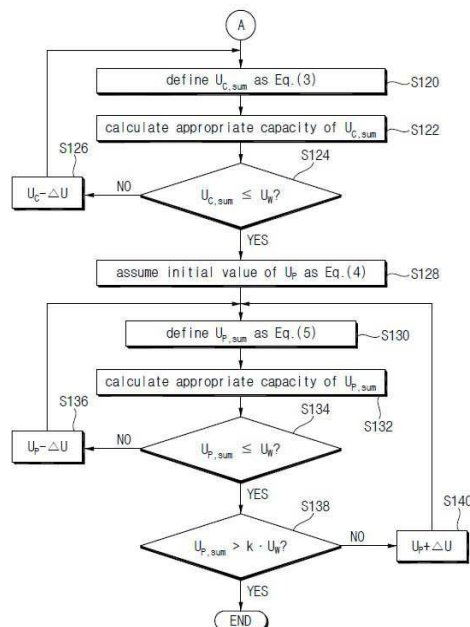
(54) 발명의 명칭 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법

(57) 요약

에너지저장장치(energy storage system, ESS)의 전기적 위해요인 중의 하나인 서지에 대하여 배터리를 안정적으로 보호하기 위한 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법이 개시된다. 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법은, (i) DC측 데이터를 상정하는 단계; (ii) 서지보호장치(SPD)의 결선 방식에

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6b



대하여, 정극성의 공통모드전압(CMV) 크기와 부극성의 CMV 크기를 고려하여 공칭전압(Un)을 산정하는 단계;
 (iii) 결선방식에 따른 공통모드 및 차동모드 각각에 대응하는 최대연속사용전압의 초기값을 산정하는 단계;
 (iv) SPD의 결선방식을 고려하여 SPD의 최대연속사용전압의 합(Uc,sum)을 산정하는 단계; (v) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 보다 크면, 최대연속사용전압을 감소시킨 후 단계(iv)로 피드백하는 단계; (vi) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 이하이면, SPD의 전압 보호레벨의 초기값을 산정하는 단계; (vii) SPD의 전압 보호레벨의 합을 산정하는 단계; (viii) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 내에 존재하지 않은 경우, 상기 전압 보호레벨의 합을 조정 한 후 단계(vii)로 피드백하는 단계; 및 (ix) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 외에 존재하는 경우 종료하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

H02J 3/32 (2023.08)

(72) 발명자

김지명

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1636, 명품
에덴빌 201호

최성문

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

이민행

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1634-13,
별밭하우스 1동 301호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415180915

과제번호 20213030160080

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 신재생에너지핵심기술개발(전력)

연구과제명 에너지 소비대체율 50% 달성을 위한 신재생에너지기반 융복합형 마을단위마이크로그

리드 실증 기술개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 (주)유에너지

연구기간 2022.05.01 ~ 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

Y-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A), 제2 서지보호장치(SPD B) 및 제3 서지보호장치(SPD C)가 설치되고, U-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A) 및 제2 서지보호장치(SPD B)가 설치되고, 델타-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A), 제2 서지보호장치(SPD B) 및 제4 서지보호장치(SPD D)가 설치되어 운용되는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법에서,

- (i) DC전로의 전압, 계통측 절연내력(U_w)을 포함하는 DC측 데이터를 상정하는 단계;
- (ii) 서지보호장치(SPD)의 결선 방식에 대하여, 정극성의 공통모드전압(common mode voltage, CMV) 크기와 부극성의 CMV 크기를 고려하여 공칭전압(U_n)을 산정하는 단계;
- (iii) 공칭전압(U_n)과 여유율을 고려하여 결선방식에 따른 공통모드 및 차동모드 각각에 대응하는 최대연속사용전압의 초기값을 산정하는 단계;
- (iv) SPD의 결선방식을 고려하여 SPD의 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)을 산정하는 단계;
- (v) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 보다 크면, 최대연속사용전압을 감소시킨 후 단계(iv)로 피드백하는 단계;
- (vi) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 이하이면, 적절한 최대연속사용전압이 산정되었다고 판단하고, SPD의 전압 보호레벨의 초기값을 산정하는 단계;
- (vii) SPD의 전압 보호레벨의 합을 산정하는 단계;
- (viii) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 내에 존재하지 않은 경우, 상기 전압 보호레벨의 합을 조정 후 단계(vii)로 피드백하는 단계; 및
- (ix) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 외에 존재하는 경우 종료하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 공칭전압(U_n)은 $U_n = \max |U_{CMV(+)}, U_{CMV(-)}|$ (여기서, U_n : 공칭전압, $U_{CMV(+)}$: (+)극의 CMV, $U_{CMV(-)}$: (-)극의 CMV)의 수식을 통해 산정되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 SPD의 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)은 $U_{c,sum} = U_{C,A}(\text{or } U_{C,B}) + U_{C,C}$ (여기서, $U_{c,sum}$: Y-결선에서 SPD의 최대연속사용전압, $U_{C,A}$: SPD A의 최대연속사용전압, $U_{C,B}$: SPD B의 최대연속사용전압, $U_{C,C}$: SPD C의 최대연속사용전압)의 수식을 통해 산정되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 SPD의 전압 보호레벨의 초기값은 $U_p = W_f \times R_s \times U_c$ (여기서, W_f : 시뮬레이션 및 시험에 의해 산정된 가중 계수, R_s : 전압 보호레벨의 여유율)의 수식을 통해 산정되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 전압 보호레벨의 합은,

$U_{P, sum} = U_{P,A}(\text{or } U_{P,B}) + U_{P,C}$ (여기서, $U_{P, sum}$: Y-결선에서 SPD의 전압 보호레벨, $U_{P,A}$: SPD A의 전압 보호레벨, $U_{P,B}$: SPD B의 전압 보호레벨, $U_{P,C}$: SPD C의 전압 보호레벨)의 수식을 통해 산정되는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 단계(viii)에서 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력보다 크면 상기 전압 보호레벨의 크기를 감소시킨 후 단계(vii)로 피드백하는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 단계(viii)에서 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력에 여유율을 곱한 값보다 작거나 같으면 상기 전압 보호레벨의 크기를 증가시킨 후 단계(vii)로 피드백하는 것을 특징으로 하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 에너지저장장치(energy storage system, ESS)의 전기적 위해요인 중의 하나인 서지에 대하여 배터리를 안정적으로 보호하기 위한 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 신재생에너지원의 출력 안정화, 수요관리 및 주파수 조정 등 다양한 기능을 가지고 있는 에너지저장장치(energy storage system, ESS)가 활발하게 설치되어 운용되고 있다. 그러나, ESS의 화재사고가 지속적으로 발생함에 따라 ESS 사고원인과 안전강화 대책방안을 제시하고 있으며, 이 방안의 하나로 ESS 설치현장에 서지보호장치(surge protect device, SPD)와 같은 전기적 보호장치를 설치하도록 권고하고 있다.

[0003] 하지만, DC측에 적용되는 SPD의 경우, 설정치에 대한 명확한 기준이 없으며, 이로 인해 적절한 SPD를 선정하지 않고 사용함으로써, 서지가 유입될 경우 ESS에 대한 보호가 충분하지 못해 문제점이 발생할 가능성이 있다. 특히, ESS 현장의 작업자는 SPD를 선정할 때 전압 보호레벨의 의미를 혼동하여, 높은 최대연속사용전압과 전압 보호레벨의 SPD를 현장에 설치하는 경우가 종종 발생하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1332304호(2013. 11. 22., 공고)(에너지 저장장치의 서지보호 시스템 및 방법)
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2022-0102813호(2022. 07. 21., 공개)(에너지저장장치 최적용량 산정 장치 및 방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 이에 본 발명의 기술적 과제는 이러한 점에 착안한 것으로, 본 발명의 목적은 ESS를 보호하기 위한 적절한 SPD를 설치하기 위하여, SPD의 3가지 결선방식에 대하여 최대연속사용전압과 전압 보호레벨을 선정하는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기한 본 발명의 목적을 실현하기 위하여 일 실시예에 따르면 Y-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A), 제2 서지보호장치(SPD B) 및 제3 서지보호장치(SPD C)가 설치되고, U-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A) 및 제2 서지보호장치(SPD B)가 설치되고, 델타-결선방식으로 제1 서지보호장치(SPD A), 제2 서지보호장치(SPD B) 및 제4 서지보호장치(SPD D)가 설치되어 운용되는 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법은, (i) DC전로의 전압, 계통측 절연내력(U_w)을 포함하는 DC측 데이터를 상정하는 단계; (ii) 서지보호장치(SPD)의 결선 방식에 대하여, 정극성의 공통모드전압(common mode voltage, CMV) 크기와 부극성의 CMV 크기를 고려하여 공칭전압(U_n)을 산정하는 단계; (iii) 공칭전압(U_n)과 여유율을 고려하여 결선방식에 따른 공통모드 및 차동모드 각각에 대응하는 최대연속사용전압의 초기값을 산정하는 단계; (iv) SPD의 결선방식을 고려하여 SPD의 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)을 산정하는 단계; (v) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 보다 크면, 최대연속사용전압을 감소시킨 후 단계(iv)로 피드백하는 단계; (vi) 최대연속사용전압의 합이 절연내력 이하이면, 적정한 최대연속사용전압이 산정되었다고 판단하고, SPD의 전압 보호레벨의 초기값을 산정하는 단계; (vii) SPD의 전압 보호레벨의 합을 산정하는 단계; (viii) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 내에 존재하지 않은 경우, 상기 전압 보호레벨의 합을 조정하여 단계(vii)로 피드백하는 단계; 및 (ix) 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력의 범위 내에 존재하는 경우 종료하는 단계를 포함한다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 공칭전압(U_n)은 $U_n = \max|U_{CMV(+)}, U_{CMV(-)}|$ (여기서, U_n : 공칭전압, $U_{CMV(+)}$: (+)극의 CMV, $U_{CMV(-)}$: (-)극의 CMV)의 수식을 통해 산정될 수 있다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 SPD의 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)은 $U_{c,sum} = U_{C,A}(\text{or } U_{C,B}) + U_{C,C}$ (여기서, $U_{c,sum}$: Y-결선에서 SPD의 최대연속사용전압, $U_{C,A}$: SPD A의 최대연속사용전압, $U_{C,B}$: SPD B의 최대연속사용전압, $U_{C,C}$: SPD C의 최대연속사용전압)의 수식을 통해 산정될 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 SPD의 전압 보호레벨의 초기값은 $U_v = W_f \times R_s \times U_c$ (여기서, W_f : 시물레이션 및 시험에 의해 산정된 가중 계수, R_s : 전압 보호레벨의 여유율)의 수식을 통해 산정될 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에서, 상기 전압 보호레벨의 합은, $U_{P,sum} = U_{P,A}(\text{or } U_{P,B}) + U_{P,C}$ (여기서, $U_{P,sum}$: Y-결선에서 SPD의 전압 보호레벨, $U_{P,A}$: SPD A의 전압 보호레벨, $U_{P,B}$: SPD B의 전압 보호레벨, $U_{P,C}$: SPD C의 전압 보호레벨)의 수식을 통해 산정될 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에서, 단계(viii)에서 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력보다 크면 상기 전압 보호레벨의 크기를 감소시킨 후 단계(vii)로 피드백할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에서, 단계(viii)에서 상기 전압 보호레벨의 합이 상기 절연내력에 여유율을 곱한 값보다 작거나 같으면 상기 전압 보호레벨의 크기를 증가시킨 후 단계(vii)로 피드백할 수 있다.

발명의 효과

[0013] 이러한 에너지저장장치용 서지보호장치의 적정용량 산정 방법에 의하면, ESS를 보호하기 위한 적절한 SPD를 설치하기 위하여, SPD의 3가지 결선방식에 대하여 최대연속사용전압과 전압 보호레벨을 산정함으로써, 계통에서 발생한 서지에 대한 보호성능을 충분히 유지시킬 수 있어 배터리측에 절연내력을 초과하는 서지가 전달되는 것을 차단할 수 있고 화재사고를 예방할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 서지보호장치(SPD)의 보호 메커니즘을 설명하기 위한 회로도이다.

도 2a, 도 2b 및 도 2c는 동작 방식별 서지보호장치(SPD)의 특성을 설명하기 위한 도면들이다.

도 3은 에너지저장장치(ESS)에서 뇌서지 및 개폐서지에 의한 사고 개념도이다.

도 4는 결선방식에 따른 서지보호장치(SPD)의 보호모드를 설명하기 위한 도면들이다.

도 5는 서지보호장치(SPD)별 출력전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 6a 및 도 6b는 서지보호장치(SPD)의 적정용량 산정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 7은 서지발생장치를 모델링한 도면이다.

도 8은 SPD를 모델링한 도면이다.

도 9는 전체 시스템을 모델링한 도면이다.

도 10은 서지 발생장치의 구성을 나타낸다.

도 11은 전압 제한형 SPD의 동작 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 전체 시험장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 13a 및 도 13b는 표 3의 조건에 따라 PSCAD/EMTDC의 모델링에 III등급 조합과 서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 14a 및 도 14b는 표 3의 조건에 따라 시험장치에 III등급 조합과 서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 15a 및 도 15b는 표 3의 조건에 따라 PSCAD/EMTDC의 모델링에 개폐서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 16a 및 도 16b는 표 3의 조건에 따라 시험장치에 개폐서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 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.
- [0016] 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.
- [0017] 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. 예를 들어, 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.
- [0018] 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.
- [0019] 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.
- [0020] 통상적으로, 서지보호장치(surge protect device, SPD)는 서지로부터 각종 장비들을 보호하는 장치이며, 내부구

조, 동작방식, 등급시험 등에 따라 분류될 수 있다. 즉, 어떠한 이유로 인해 계통에 서지가 들어올 때, 도 1과 같이 서지 전류가 부하를 통하지 않고 SPD를 통해 흐르도록 하여 부하를 보호하는 장치이다.

[0021] 도 1은 서지보호장치(SPD)의 보호 메커니즘을 설명하기 위한 회로도이다.

[0022] 도 1을 참조하면, SPD에 주로 사용되는 MOV(metal oxide varistor)는 정상상태에서 매우 큰 임피던스를 가지며, 여기에 전압 서지가 걸리면 MOV의 임피던스가 급격히 낮아지면서 서지를 부하가 아닌 다른 통로로 흘려 보내는 저임피던스 통로가 되므로, SPD를 통해 전류를 방출하여 전압이 크게 상승하지 않는다.

[0023] 한편, SPD를 동작 방식별로 나누면, 도 2a, 도 2b 및 도 2c와 같이, 전압 스위칭형, 전압 제한형, 복합형으로 구분된다.

[0024] 도 2a, 도 2b 및 도 2c는 동작 방식별 서지보호장치(SPD)의 특성을 설명하기 위한 도면들이다. 도 2(a)에 도시된 전압 스위칭형의 경우 에어 갭을 이용하고, 스위치 동작 시에만 서지전압에 대해 급격하게 낮은 임피던스값으로 변화하는 특성을 가진다. 도 2(b)에 도시된 전압 제한형 SPD의 경우 바리스타를 이용하며, 서지전압에 대해 연속적으로 낮은 임피던스값으로 변화하는 특성을 갖는다. 도 2(c)에 도시된 복합형 SPD의 경우 전압 스위칭형 및 제한형의 특성을 모두 가진다.

[0025] 본 발명에서는 ESS 설치사이트에서 가장 많이 사용되고 있는 전압 제한형 SPD에 대하여, 뇌서지 및 개폐서지로부터 ESS를 보호하기 위한 적절한 SPD의 용량을 산정하는 방안을 제시한다.

[0026] 도 3은 에너지저장장치(energy storage system, ESS)에서 뇌서지 및 개폐서지에 의한 사고 개념도이다.

[0027] 도 3을 참조하면, 일반적인 ESS는 병렬연결된 다수의 배터리 랙과 충/방전을 수행하는 PCS, 연계용변압기 및 보호기기를 포함한다. 이러한 구성에서 뇌격에 의해 서지가 발생할 경우(도 3의 ①), 전원선과 각종 신호선 및 통신선 등 다양한 경로를 통해 유입되어, 각종 전기설비 및 제어설비의 파손과 기기의 오동작을 야기시킬 수 있다.

[0028] 또한, 배터리 랙측 또는 PCS측에서 사고가 발생하는 경우, 퓨즈 또는 차단기가 동작하여(도 3의 ②), 순간적으로 매우 큰 개폐서지가 발생하고, 절연강도가 약한 부분에서 절연이 파괴되어, 2차 사고를 유발하여 ESS의 화재로 진행될 가능성이 있다.

[0029] 따라서, ESS 설치현장에서는 서지로부터 배터리를 보호하기 위하여 SPD를 사용하고 있지만, DC측에 설치되는 SPD에 대한 명확한 기준이 제시되지 않아, 표 1과 같이 유사한 PCS의 용량과 DC측 전압을 가진 사이트에서도 서로 다른 용량(U_c , U_p)의 SPD가 설치되고 있는 실정이다.

[0030] [표 1]

installation site	PCS capacity	DC voltage	SPD capacity		
			U_n	U_C	U_P
A site	100[kW]	728.6[V]	1,000[V]	1,170[V]	3,700[V]
B site	100[kW]	741.2[V]	1,000[V]	1,200[V]	3,900[V]
C site	1[MW]	925[V]	1,000[V]	1,300[V]	3,900[V]
D site	1[MW]	956.5[V]	1,000[V]	1,500[V]	4,500[V]
E site	2[MW]	975.7[V]	1,500[V]	1,500[V]	4,500[V]

[0031]

[0032] 여기서, KS C IEC 60099-7의 용어 정의에 따라, 전로의 공칭전압(U_n)은 SPD를 적용할 계통의 공칭선과 중성선 사이의 전압을 뜻하고, 절연내력(U_w)은 과전압에 대한 기기 또는 전로의 절연내력을 의미한다. 또한, 최대연속사용전압(U_c)은 SPD에 연속적으로 가할 수 있는 최대 실효 전압값을 나타낸다. 일반적으로 최대연속사용전압(U_c) 미만에서 SPD의 방전전류는 1mA 미만이다. 한편, 전압 보호레벨(U_p)은 뇌서지로 인해 SPD에 명시된 공칭 방전전류(I_n , 10~40kA)가 흐를 때, SPD 양단에서 측정되는 최대전압(제한전압)을 의미한다.

- [0033] 이러한, SPD의 용량은 SPD의 보호모드(결선방식)와 설치방법(공통/차동모드)에 따라 적정하게 선정되어야 하지만, 현장에서는 이를 충분히 고려하지 못하여 부적합한 SPD가 설치되고 있다.
- [0034] 따라서, 계통에서 발생한 서지에 대한 보호능력이 충분하지 않아, 배터리측에 절연내력을 초과하는 서지가 전달되어 화재사고의 원인이 될 가능성이 있다.
- [0035] 그러면, 이하에서 ESS용 SPD의 적정용량 산정에 대해서 설명한다.
- [0036] ESS가 설치된 현장마다 서로 다른 용량의 SPD가 운용되어, 일부 사이트에서는 서지로부터 ESS(특히, 배터리)를 보호하지 못하는 상황이 발생하고 있다.
- [0037] 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명에서는 서지가 발생하더라도 배터리에 영향을 최소화할 수 있는 SPD의 적정용량 산정 방안을 제안한다. 즉, DC측 전로의 절연내력은 전기설비기술기준에 따라 3배 이상으로 유지해야 하므로 서지가 발생하더라도 2차측 전압을 절연내력 미만으로 감소시킬 수 있는 적정한 부하의 절연내력(U_n)을 선정한다. 또한, SPD의 공칭전압(U_n)은 SPD의 결선방식(Y, U, Δ 결선방식)에 따라 결정된다.
- [0038] 도 4는 결선방식에 따른 서지보호장치(SPD)의 보호모드를 설명하기 위한 도면들이다.
- [0039] 도 4의 (a)에는 제1 서지보호장치(이하, SPD A), 제2 서지보호장치(이하, SPD B) 및 제3 서지보호장치(이하, SPD C)가 Y-자 형상으로 연결된 Y-결선방식을 나타내고, 도 4의 (b)에는 SPD A 및 SPD B가 U-자 형상으로 연결된 U-결선방식을 나타내고, 도 4의 (c)에는 SPD A, SPD B 및 제4 서지보호장치(이하, SPD D)가 델타(Δ) 형상으로 연결된 Δ -결선방식을 나타낸다.
- [0040] SPD의 공칭전압(U_n)은 도 4의 SPD의 결선방식(Y, U, Δ -결선방식)에 따라 결정되며, 수식 (1)과 같이 (+)극과 (-)극의 공통모드전압(common mode voltage, CMV) 중에서 높은 값을 기준으로 산정된다.
- [0041] [수식 1]
- [0042]
$$U_n = \max |U_{CMV(+)}, U_{CMV(-)}|$$
- [0043] 여기서, U_n : 공칭전압, $U_{CMV(+)}$: (+)극의 CMV, $U_{CMV(-)}$: (-)극의 CMV
- [0044] 도 4의 (a), (b)와 같이 Y-결선과 U-결선으로 SPD를 설치하는 경우, SPD A, SPD B의 최대연속사용전압($U_{C,Y}$, $U_{C,U}$)은 산정된 공칭전압(U_n)을 기준으로 IEC 60364-5-53에서 규정된 여유율(120%)을 고려하여 결정한다. 단, 도 4의 (a)의 SPD C에서는 평형인 경우 낮은 전압이 양단에 인가되어 별도로 고려할 필요가 없으므로, SPD A 및 SPD B와 동일한 최대연속사용전압으로 산정한다.
- [0045] 한편, 도 4의 (c)와 같이 Δ -결선으로 SPD를 설치한 경우, 공통모드인 SPD A 및 SPD B 뿐만 아니라 차동모드인 SPD D도 고려해야 하므로, 공통모드의 최대연속사용전압($U_{C,Y}$, $U_{C,U}$, $U_{C,\Delta}$)은 공칭전압(U_n)을 고려하여 산정한다. 예를 들어, 차동모드의 최대연속사용전압($U_{C,\Delta d}$)은 DC측 계통전압을 고려하여 수식 (2)와 같이 산정한다.
- [0046] [수식 2]
- [0047]
$$U_{C,\Delta d} = 1.2 \times (|U_{CMV(+)}| + |U_{CMV(-)}|)$$
- [0048] 여기서, 도 4의 (b)와 같이 DC 전로의 한 극과 접지사이에 SPD가 1대만 설치된 경우 SPD에 고장이 발생하면 단락될 가능성이 있으므로, 도 4의 (a)와 같이 DC 전로의 한 극과 접지 사이에 직렬로 2대의 SPD를 설치하는 Y-결선 방식이 일반적으로 채택되고 있다. 이 결선방식에서는 SPD A(또는 SPD B)와 SPD C에 전압이 분배되어 인가되기 때문에, SPD의 최대연속사용전압의 합($U_{C,sum}$)은 수식 (3)과 같이, SPD A와 SPD B의 최대연속사용전압($U_{C,A}$, $U_{C,B}$)을 바탕으로 SPD C의 최대연속사용전압($U_{C,C}$)을 적절하게 조합하여 산정한다.
- [0049] [수식 3]
- [0050]
$$U_{C,sum} = U_{C,A}(\text{or } U_{C,B}) + U_{C,C}$$

- [0051] 여기서, $U_{C,sum}$: Y-결선에서 SPD의 최대연속사용전압, $U_{C,A}$: SPD A의 최대연속사용전압, $U_{C,B}$: SPD B의 최대연속사용전압, $U_{C,C}$: SPD C의 최대연속사용전압
- [0052] 한편, SPD의 전압 보호레벨(U_p)은 SPD의 최대연속사용전압(U_c)과 2차측 출력전압 특성에 의하여 결정된다. 본 발명에서 수행한 다양한 시나리오에 의한 시험결과에 의하면, SPD의 2차측 출력전압을 최대연속사용전압(U_c)으로 나눈 값은 일정한 한계치(W_f) 이내로 제한되는 특성을 가지고 있다. 예를 들어, 6개 제조사의 SPD에 대하여 50V~1,500V의 전압을 인가하면, SPD의 출력전압을 최대연속사용전압(U_c)으로 나눈 값은 도 5와 같이 산정된다.
- [0053] 도 5는 서지보호장치(SPD)별 출력전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0054] 도 5에서, 가로축은 SPD의 인가전압(V_{in})을, 그리고 세로축은 SPD의 2차측 출력전압(V_{out})을 최대연속사용전압(U_c)으로 나눈 값을 나타낸다. 즉, 어떠한 인가전압에 대해서도 SPD의 2차측 출력전압은 일정한 한계치(W_f) 이내로 제한됨을 알 수 있다.
- [0055] 따라서, SPD의 전압 보호레벨(U_p)은 최대연속사용전압(U_c)과 가중 계수(W_f), 여유율(R_s)을 고려하면 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.
- [0056] [수식 4]
- [0057]
$$U_p = W_f \times R_s \times U_c$$
- [0058] 여기서, W_f : 시뮬레이션 및 시험에 의해 산정된 가중 계수, R_s : 전압 보호레벨의 여유율
- [0059] 한편, SPD의 Y-결선에서는 SPD A(또는 SPD B)와 SPD C에 전압이 분배되어 인가되므로, SPD의 전압 보호레벨의 합($U_{P,sum}$)은 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.
- [0060] [수식 5]
- [0061]
$$U_{P,sum} = U_{P,A}(\text{or } U_{P,B}) + U_{P,C}$$
- [0062] 여기서, $U_{P,sum}$: Y-결선에서 SPD의 전압 보호레벨, $U_{P,A}$: SPD A의 전압 보호레벨, $U_{P,B}$: SPD B의 전압 보호레벨, $U_{P,C}$: SPD C의 전압 보호레벨
- [0063] 또한, $U_{P,sum}$ 의 적정용량은 $U_{P,sum}$ 을 너무 낮은 값으로 설정하여 SPD의 수명에 악영향을 주거나, 너무 높은 값으로 설정하여 서지로부터 배터리를 충분히 보호하지 못하는 경우를 방지하기 위하여, 계통측 절연내력(U_w)과 여유율(k)을 고려하여 $U_{P,sum}$ 의 적정용량을 수식 (6)과 같이 산정한다.
- [0064] [수식 6]
- [0065]
$$k \times U_w < U_{P,sum} \leq U_u$$
- [0066] 여기서, k : 여유율
- [0067] 도 6a 및 도 6b는 서지보호장치(SPD)의 적정용량 산정 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0068] 도 6a 및 도 6b를 참조하면, DC전로의 전압, 계통측 절연내력(U_w)을 포함하는 ESS의 DC측 데이터를 상정한다(단계 S102).
- [0069] SPD 결선 방법을 선택한다(단계 S104). Y-결선 방식, U-결선 방식, 델타 결선 방식 중 어느 하나가 SPD 결선 방법으로 선택될 수 있다.
- [0070] 선택된 SPD의 결선 방식에 대하여, (+)극과 (-)극의 공통모드전압(common mode voltage, CMV) 크기를 고려하여, 공칭전압(U_n)을 수식 (1)과 같이 산정한다(단계 S106).

- [0071] 각 결선 방법에서 최대연속사용전압(U_c)의 초기값을 계산한다(단계 S108).
- [0072] Y-결선 또는 U-결선인지의 여부를 체크한다(단계 S110).
- [0073] 단계 S110에서 Y-결선 또는 U-결선인 것으로 체크되면 최대연속사용전압(U_c)의 초기값을 가정한다(단계 S112).
- [0074] 단계 S110에서 Y-결선이나 U-결선이 아닌 것으로 체크되면 델타-결선으로 판단하고(단계 S114), 차동모드의 최대연속사용전압($U_{C\Delta d}$)의 초기값을 가정한다(단계 S116).
- [0075] 이어, 공통모드의 최대연속사용전압($U_{C\Delta c}$)의 초기값을 가정한다(단계 S118).
- [0076] 이어, 상술된 수식 (3)과 같이 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)을 정의하고(단계 S120), 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)의 근사 용량을 계산한다(단계 S122).
- [0077] 이어, 최대연속사용전압의 합($U_{c,sum}$)과 절연내력(U_w)을 비교한다(단계 S124).
- [0078] 최대연속사용전압(U_p)을 감소시킨 후(단계 S126), 단계 S120으로 피드백한다.
- [0079] 상술된 수식 (4)를 이용하여 전압 보호레벨(U_p)의 초기값을 산정한다(단계 S128).
- [0080] 상술된 수식 (5)를 이용하여 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)을 정의하고(단계 S130), 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)의 근사 용량을 계산한다(단계 S132).
- [0081] 절연내력(U_w)이 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)보다 크거나 같은지의 여부를 체크한다(단계 S134).
- [0082] 단계 S134에서 절연내력(U_w)이 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)보다 작은 것으로 체크되면 전압 보호레벨(U_p)을 감소시킨 후(단계 S136), 단계 S130으로 피드백한다.
- [0083] 단계 S134에서 절연내력(U_w)이 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)보다 크거나 같은 것으로 체크되면 전압 보호레벨의 합($U_{p,sum}$)과 수식 (6)을 비교한다(단계 S138).
- [0084] 전압 보호레벨(U_p)을 증가시킨 후(단계 S140), 단계 S130으로 피드백한다.
- [0085] 이하에서 PSCAD/EMTDC를 이용하여 ESS용 SPD의 시험장치를 모델링한 실험예에 대해서 설명한다.
- [0086] III등급 조합파(3rd combination wave) 및 개폐서지를 모의하기 위하여, 전력계통 상용해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 서지발생장치부를 모델링하면 도 7과 같다.
- [0087] 도 7은 서지발생장치를 모델링한 도면이다.
- [0088] 도 7을 참조하면, 서지발생장치부는 III 등급 조합파 발생장치, III등급 조합파 모의용 RLC, 개폐서지발생장치, 파형 제어장치 등으로 구성된다. 먼저, III등급 조합파를 모의하기 위하여, 조합파 발생장치는 IEC 61643-11에 따라 개방상태에서 1.2/50 μ s 임펄스전압을 출력한다. 또한, III등급 조합파 모의용 RLC의 파라미터를 적절히 조합하여, 단락시에는 8/20 μ s 임펄스전류 파형이 출력되도록 모의한다. 한편, 개폐서지 발생장치는 IEC 60060-1에 따라, 개방상태에서 250/2500 μ s의 임펄스전압을 모의하며, 각 파형은 파형 제어장치를 이용하여 선택한다. 한편, 상기의 임펄스 파형은 수식 (7)과 같이 지수함수를 이용하여 나타내며, 각 임펄스 파형의 상세한 파라미터는 표 2와 같다.
- [0089] [수식 7]
- [0090]
$$I(t) = k(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$
- [0091] 여기서, I: 임펄스 파형, α , β , k : 상수, t: 시간[us]

[0092] [표 2]

items		standard reference	parameters of waveform		
			α	β	k
combination wave[μ s]	1.2/50	IEC 61643-11	0.0145	2.8353	1.0328
switching surge[μ s]	250/2,500	IEC 60060-1	0.00035239	0.0080519	1.2068

[0093]

[0094] 도 8은 SPD를 모델링한 도면이다.

[0095] 도 8을 참조하면, SPD는 비선형 저항과 리액터 및 커패시터로 구성되며, 과도 서지전압으로부터 ESS를 보호할 수 있다. 즉, SPD는 정상적인 동작전압 범위에서 높은 임피던스를 가지므로 정상상태에서는 시스템에 영향을 미치지 않는다. 하지만, 과도 서지전압이 발생하는 경우, SPD의 임피던스는 감소하여 서지 전류를 접지를 통해 방류함으로써, 발생하는 서지의 크기를 제한할 수 있다. 한편, 과도 서지전압이 제거되면 SPD는 높은 임피던스 상태로 복귀하게 된다.

[0096] 상기의 모델링을 바탕으로, 서지발생장치부, SPD부, 배터리부로 구성된 전체시스템은 도 9와 같이 나타낼 수 있다.

[0097] 도 9는 전체 시스템을 모델링한 도면이다.

[0098] 도 9를 참조하면, 서지발생장치는 III등급 조합과 및 개폐서지의 출력을 모의하며, SPD는 배터리부 전단에 설치되고, SPD와 DC전로 사이의 연결선의 길이를 조절할 수 있다. 또한, 배터리부는 ESS 사고사례의 대다수인 만충 후 대기상태로 상정한다.

[0099] 이하에서, ESS용 SPD의 시험장치를 구현한 예에 대해서 설명한다.

[0100] 도 10은 서지 발생장치의 구성을 나타낸다.

[0101] 도 10을 참조하면, III등급 조합과 및 개폐서지를 모의하기 위한 서지발생장치부는 고전압 발생원(U)과 충전용 저항(Rc), 충전용 커패시터(Cc), 펄스 지속시간용 저항(Rs), 임피던스 정합용 저항(Rm), 상승 시간용 인덕터(Lr)로 등가화된다. 본 명세서에서는 각 소자의 적절한 값을 선정하여, III등급 조합과 및 개폐서지를 발생시킬 수 있도록 회로를 구성한다.

[0102] SPD는 전압 스위치형, 전압 제한형, 복합형으로 분류되며, 본 시험장치에서는 전압 제한형 SPD를 대상으로 한다.

[0103] 도 11은 전압 제한형 SPD의 동작 특성을 설명하기 위한 도면이다.

[0104] 도 11을 참조하면, 전압 제한형 SPD는 연속 동작전압 이하에서 소자의 저항이 매우 높아 전류가 거의 흐르지 않는 절연체로 동작한다. 하지만 연속 동작 전압 이상에서 SPD는 저항이 매우 낮아지며, 바리스터를 통해 에너지를 접지로 방류한다.

[0105] 도 12는 전체 시험장치를 설명하기 위한 도면이다.

[0106] 도 12를 참조하면, 전체 시험장치는 KS C IEC 61643-11의 '8.3.3 제한전압측정' 시험 항목과 IEC 60060-1을 바탕으로 서지 발생장치부와 SPD부, 배터리부, 측정부 등으로 구성된다. 여기서, 서지 발생장치부는 컨트롤러를 통해 III등급 조합과 또는 개폐서지 시험파형을 생성시키고, SPD부는 연결선(L1, L2)의 길이를 다르게 하여 DC 전로에 SPD를 연결한다. 또한, 측정부는 고전압 프로브(High Voltage Probe)를 이용하여 입력 및 출력단의 전압을 측정하고, 로그스키 코일(Rogowski Coil)을 사용하여 입력단의 전류를 측정한다.

[0107] 본 명세서에서 제시한 ESS용 SPD의 적정용량 산정 알고리즘의 유효성을 확인하기 위하여, 제안한 모델링과 시험장치를 이용하여 6종류의 SPD를 대상으로 시뮬레이션 및 시험을 수행하였다.

[0108] 표 3은 SPD의 사양을 나타낸다.

[0109] [표 3]

items	contents					
nominal voltage(U_n)[V]	1,000	1,500	-	-	-	-
maximum continuous operating voltage(U_c)[V]	1,200	1,500	600	800	600	800
voltage protection level(U_p)[V]	3,900	4,500	2,500	3,800	1,400	1,800
maker	A		B		C	

[0110]

[0111] 표 3과 같이, SPD는 U_c 600V ~ 1,500V, U_p 1,400V ~ 4,500V의 용량을 갖는 3사의 6종류로 구성하며, 특성시험은 SPD에 III등급 조합파와 개폐서지를 인가하여 수행하였다.

[0112]

먼저, III등급 조합파에 의한 SPD의 특성시험은 IEC 61643-11 시험에 부합하는 조합파 모의장치를 이용하여, SPD에 III등급 조합파(1kV/0.5kA, 1.5kV/0.75kA, 개방전압 파형(1.2/50 μ s), 단락전류 파형(8/20 μ s))를 인가하고, HFIX 2.5SQ 연결선을 이용하여 30cm, 50cm로 나누어 시험하였다.

[0113]

한편, 개폐서지에 의한 SPD의 특성시험은 IEC 60060-1 시험에 부합하는 개폐서지 모의장치를 이용하여 SPD에 개폐서지(1kV, 1.5kV, 개방전압 파형(250/2500 μ s))를 인가하고, HFIX 2.5SQ 연결선을 이용하여 30cm, 50cm로 나누어 시험하였다.

[0114]

상술된 PSCAD/EMTDC의 모델링 및 표 3의 조건에 따라 제조사별 SPD에 III등급 조합파 서지가 유입되는 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내면 도 13a 및 도 13b와 같다.

[0115]

도 13a 및 도 13b는 표 3의 조건에 따라 PSCAD/EMTDC의 모델링에 III등급 조합파 서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 13a는 A사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 13b는 C사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

[0116]

도 13a를 참조하면, A사 SPD(U_c 1,500V, U_p 4,500V)에 대하여 50cm 연결선을 이용하여 조합파 서지전압(1.5kV, 0.75kA)을 인가한 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내며, 최대전압은 1,321.9V로 산정되었다. 즉, 인가된 조합파 서지전압(1.5kV)이 SPD의 U_c 값(1,500V)과 유사하여, 서지보호 효과가 거의 나타나지 않고 서지전압이 그대로 배터리에 전달되는 문제점이 발생할 가능성이 있다.

[0117]

한편, 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 선정된 C사 SPD(U_c 600V, U_p 1,400V)를 적용하는 경우, 조합파 서지(1.5kV, 0.75kA)에 대하여 SPD의 2차측 전압은 도 13b와 같이 776.6V로 산정되었다. 따라서, C사 SPD에 비하여 약 48.2%의 서지전압 저감효과가 발생하여, 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 알 수 있다.

[0118]

제조사별 SPD에 III등급 조합파 서지가 유입되는 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내면 도 14a 및 도 14b와 같다.

[0119]

도 14a 및 도 14b는 표 3의 조건에 따라 시험장치에 III등급 조합파 서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 14a는 A사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 14b는 C사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

[0120]

도 14a를 참조하면, A사 SPD(U_c 1,500V, U_p 4,500V)에 대하여, 50cm 연결선을 이용하여 조합파 서지(1.5kV, 0.75kA)를 인가한 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내며, 최대전압은 시뮬레이션 결과와 유사하게 1,323.6V로 산정되었다. 즉, 인가된 조합파 서지전압(1.5kV)이 SPD의 U_c 값(1,500V)과 유사하여, 서지보호 효과가 거의 나타나지 않고 서지전압이 그대로 배터리에 전달되는 문제점이 발생함을 알 수 있다.

[0121]

한편, 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 선정된 C사 SPD(U_c 600V, U_p 1,400V)를 적용하는 경우, 조합파 서지(1.5kV, 0.75kA)에 대하여 SPD의 2차측 전압은 도 14b와 같이 779.2V로 산정되었다. 따라서, A사 SPD에 비하여 약 48.1%의 서지 저감효과가 발생하여, 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 알 수 있다.

[0122]

상술된 PSCAD/EMTDC의 모델링 및 표 3의 조건에 따라 제조사별 SPD에 250/2500 μ s의 개폐서지(1.5kV)가 유입되는 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내면 도 15a 및 도 15b와 같다.

- [0123] 도 15a 및 도 15b는 표 3의 조건에 따라 PSCAD/EMTDC의 모델링에 개폐서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 15a는 A사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 15b는 C사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0124] 도 15a를 참조하면, A사 SPD(U_c 1,500V, U_p 4,500V)에 대하여 50cm 연결선을 이용하여 개폐서지(1.5kV)를 인가한 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내며, 최대전압은 1,489.9V로 산정되었다.
- [0125] 즉, 인가된 개폐서지 전압(1.5kV)이 SPD의 U_c 값(1,500V)과 유사하여, 서지보호 효과가 거의 나타나지 않고 서지전압이 그대로 배터리에 전달되는 문제점이 발생할 가능성이 있다.
- [0126] 한편, 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 선정된 C사 SPD(U_c 600V, U_p 1,400V)를 적용하는 경우, 개폐서지(1.5kV)에 대하여 SPD의 2차측 전압은 도 15b와 같이 822.5V로 산정되었다. 따라서, A사 SPD에 비하여 약 45.16%의 서지 저감효과가 발생하여, 개폐서지로부터 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 알 수 있다.
- [0127] 상술된 시험장치 및 표 3의 조건에 따라 제조사별 SPD에 250/2500us의 개폐서지(1.5kV)가 유입되는 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내면 도 16a 및 도 16b와 같다.
- [0128] 도 16a 및 도 16b는 표 3의 조건에 따라 시험장치에 개폐서지 전압이 인가되는 경우 SPD의 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 특히, 도 16a는 A사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이고, 도 16b는 C사 SPD 설치시 2차측 전압 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0129] 도 16a를 참조하면, A사 SPD(U_c 1,500V, U_p 4,500V)에 대하여 50cm 연결선을 이용하여 개폐서지(1.5kV)를 인가한 경우, SPD의 2차측 전압 특성을 나타내며, 최대전압은 시뮬레이션 결과와 유사하게 1,488.3V로 산정되었다.
- [0130] 즉, 인가된 개폐서지 전압(1.5kV)이 SPD의 U_c 값(1,500V)과 유사하여, 서지보호 효과가 거의 나타나지 않고 서지전압이 그대로 배터리에 전달되는 문제점이 발생할 가능성이 있다.
- [0131] 한편, 상기의 문제점을 해결하기 위하여, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 선정된 C사 SPD(U_c 600V, U_p 1,400V)를 적용하는 경우, 개폐서지(1.5kV)에 대하여 SPD의 2차측 전압은 도 16b와 같이 820.2V로 산정되었다.
- [0132] 따라서, A사 SPD에 비하여 약 45.32%의 서지 저감효과가 발생하여, 개폐서지로부터 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 알 수 있다.
- [0133] III등급 조합과 서지에 대하여, DC 전로와 SPD 사이의 연결선의 길이를 각각 30cm, 50cm로 상정하여 시뮬레이션 및 시험장치에 의한 특성을 나타내면 표 4a, 표 4b, 표 5a 및 표 5b와 같다.
- [0134] 표 4a 및 표 4b는 III등급 조합과 서지에 대하여 DC 전로와 SPD 사이에 연결된 30센티미터 연결선에 대한 SPD의 운용 특성을 나타낸다. 특히, 표 4a는 시뮬레이션에 의한 운용 특성을 나타내고, 표 4b는 시험장치에 의한 SPD 운용 특성을 나타낸다.

[0135] [표 4a]

maker	SPD capacity[V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	932.77	6.32	1,299.98	13.25
	1,500	4,500	956.34	4.28	1,320.97	11.76
B	600	2,500	842.38	15.76	930.68	37.95
	800	3,800	859.61	14.04	967.79	35.48
C	600	1,400	650.78	35.07	768.56	49.61
	800	1,800	658.05	34.20	776.96	48.20

[0136]

[0137] [표 4b]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	932.77	6.32	1,299.98	13.25
	1,500	4,500	956.34	4.28	1,320.97	11.76
B	600	2,500	838.30	16.17	931.62	37.89
	800	3,800	862.57	13.74	963.76	35.75
C	600	1,400	647.78	35.22	766.37	48.91
	800	1,800	658.05	34.20	776.96	48.20

[0138]

[0139] 표 4a와 표 4b를 참조하면, SPD에 의한 전압 저감율은 시뮬레이션에서 4.28% ~49.61%, 시험장치에서 4.28% ~ 48.91%로 산정되었다.

[0140] 표 5a 및 표 5b는 III등급 조합과 서지에 대하여 DC 전로와 SPD 사이에 연결된 50센티미터 연결선에 대한 SPD의 운용 특성을 나타낸다. 특히, 표 5a는 시뮬레이션에 의한 운용 특성을 나타내고, 표 5b는 시험장치에 의한 SPD 운용 특성을 나타낸다.

[0141] [표 5a]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	943.22	5.68	1,303.98	13.07
	1,500	4,500	958.71	4.13	1,321.93	11.87
B	600	2,500	850.66	14.93	953.68	36.42
	800	3,800	863.96	13.60	972.59	35.16
C	600	1,400	661.30	33.87	776.67	48.22
	800	1,800	666.22	33.38	797.90	46.81

[0142]

[0143] [표 5b]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	936.84	6.32	1,301.25	13.25
	1,500	4,500	957.23	4.2	1,323.60	11.76
B	600	2,500	853.29	14.67	950.80	36.61
	800	3,800	866.80	13.32	969.34	35.38
C	600	1,400	658.37	34.16	779.27	48.05
	800	1,800	662.92	33.71	801.42	46.57

[0144]

[0145] 표 5a와 표 5b를 참조하면, SPD에 의한 전압 저감율은 시뮬레이션에서 4.13% ~ 48.22%, 시험장치에서 4.2% ~ 48.05%로 산정됨을 알 수 있다.

[0146] 여기서, SPD의 서지보호 효과는 연결선의 길이가 짧고 SPD의 용량이 작아질수록 높게 나타남을 확인할 수 있다.

즉, 연결선의 길이에 의한 SPD의 서지저감효과는 연결선의 길이가 짧아질수록 서지로부터 기기와 병렬로 연결된 SPD까지의 저항이 작아지기 때문이고, SPD의 용량에 의한 SPD의 서지저감 효과는 SPD의 용량이 작을수록 같은 서지 전압에 대하여 SPD 내부 MOV의 저항이 낮아지기 때문이다.

[0147] 따라서, 현장에서 설치되어 운용중인 A사의 SPD는 서지로부터 배터리를 보호하기에 적정하지 않지만, 본 명세서에서 제안한 SPD의 적정용량 산정 알고리즘에 따라 선정된 C사의 SPD(U_c 600V, U_p 1,400V)를 설치할 경우, III 등급 조합과 서지로부터 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 알 수 있다.

[0148] 한편, 개폐서지에 대하여, DC 전로와 SPD 사이의 연결선의 길이를 각각 30cm, 50cm로 상정하여 시뮬레이션 및 시험장치에 의한 특성을 나타내면 표 6a, 표 6b, 표 7a 및 표 7b와 같다.

[0149] 표 6a 및 표 6b는 개폐서지에 대하여 DC 전로와 SPD 사이에 연결된 30센티미터 연결선에 대한 SPD의 운용 특성을 나타낸다. 특히, 표 6a는 시뮬레이션에 의한 운용 특성을 나타내고, 표 6b는 시험장치에 의한 SPD 운용 특성을 나타낸다.

[0150] [표 6a]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	935.52	6.25	1,301.74	13.2
	1,500	4,500	958.27	4.23	1,321.55	11.71
B	600	2,500	953.99	4.60	1,031.28	31.25
	800	3,800	992.76	0.72	1,371.84	8.54
C	600	1,400	777.07	22.29	819.48	45.37
	800	1,800	813.73	18.63	855.53	42.96

[0151]

[0152] [표 6b]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	935.68	6.22	1,300.98	13.25
	1,500	4,500	958.2	4.11	1,321.17	11.72
B	600	2,500	955.26	4.47	1,028.73	31.42
	800	3,800	996.01	0.40	1,365.56	8.96
C	600	1,400	773.34	22.67	819.87	45.34
	800	1,800	815.38	18.46	855.82	42.95

[0153]

[0154] 표 6a와 표 6b를 참조하면, SPD에 의한 전압 저감율은 시뮬레이션에서 0.72% ~ 45.37%, 시험장치에서 0.4% ~ 45.34%로 산정되었다.

[0155] 표 7a 및 표 7b는 개폐서지에 대하여 DC 전로와 SPD 사이에 연결된 50센티미터 연결선에 대한 SPD의 운용 특성을 나타낸다. 특히, 표 7a는 시뮬레이션에 의한 운용 특성을 나타내고, 표 7b는 시험장치에 의한 SPD 운용 특성을 나타낸다.

[0156] [표 7a]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	996.77	0.32	1,481.25	1.25
	1,500	4,500	999.71	0.03	1,489.95	0.67
B	600	2,500	956.57	4.34	1,030.60	31.29
	800	3,800	985.76	1.43	1,371.42	8.57
C	600	1,400	780.12	21.99	822.59	45.16
	800	1,800	819.47	18.05	860.53	42.63

[0157]

[0158] [표 7b]

maker	SPD capacity [V]		input voltage of 1,000[V]		input voltage of 1,500[V]	
	U_C	U_P	output voltage[V]	reduction rate[%]	output voltage[V]	reduction rate[%]
A	1,200	3,900	997.65	0.24	1,483.05	1.13
	1,500	4,500	999.93	0.01	1,488.34	0.78
B	600	2,500	959.61	4.04	1,033.71	31.09
	800	3,800	979.43	2.06	1,367.32	8.85
C	600	1,400	776.54	22.35	820.22	45.32
	800	1,800	815.97	18.40	856.71	42.89

[0159]

[0160] 표 7a와 표 7b를 참조하면, 전압 저감율은 시뮬레이션에서 0.03% ~ 45.16%, 시험장치에서 0.01% ~ 45.32%로 산정됨을 알 수 있다.

[0161] 따라서, SPD의 보호효과와 수명을 고려하여, 본 명세서에서 제안한 SPD의 적정용량 산정 알고리즘에 따라 C사의 SPD(U_C 600V, U_P 1,400V)를 설치하면, 개폐서지로부터도 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0162] 이상에서 설명된 바와 같이, 본 명세서에서는 ESS의 전기적 위해요인 중의 하나인 서지에 대하여 배터리를 안정적으로 보호하기 위한 ESS용 SPD의 적정 용량 산정 알고리즘을 제안하고, III등급 조합과 및 개폐서지에 대한 SPD의 운용특성을 제시한다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

[0163] ESS 설치사이트에서 가장 많이 사용되고 있는 전압 제한형 SPD에 대한 동작 메커니즘을 제시하고, SPD의 운용사례 분석을 통해 보호모드(결선방식)와 설치방법(공통/차동모드)에 대한 문제점을 제시하였다.

[0164] 또한 III등급 조합과 시험조건에 따라 SPD(U_C 1,500V, U_P 4,500V)에 1.5kV의 조합과 서지를 인가할 경우, 서지보호 효과는 약 4.3%로 낮게 산정되지만, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 산정된 적정용량의 SPD(U_C 600V, U_P 1,400V)를 사용하는 경우, 서지보호 효과는 약 45%로 나타나며, 뇌서지로부터 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 확인하였다.

[0165] 또한 개폐서지 시험조건에 따라 SPD(U_C 1,500V, U_P 4,500V)에 1.5kV의 개폐서지를 인가할 경우, 서지보호 효과는 약 0.7%로 낮게 산정되지만, 본 명세서에서 제안한 알고리즘에 의해 산정된 적정용량의 SPD(U_C 600V, U_P 1,400V)를 사용하는 경우, 서지보호 효과는 약 45%로 나타나며, 개폐서지로부터도 배터리를 안전하게 보호할 수 있음을 확인하였다.

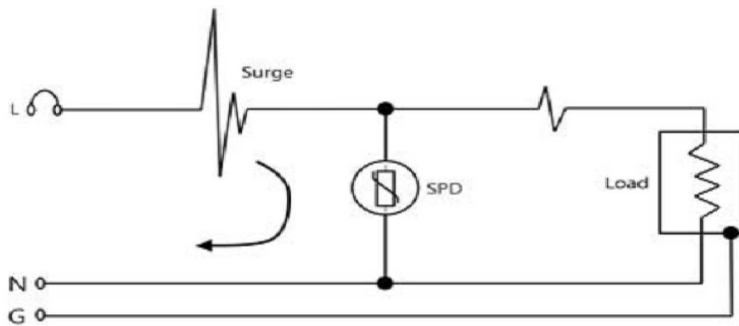
[0166] 또한 제안한 SPD의 적정용량 산정 알고리즘을 바탕으로 서지에 대한 SPD의 운용특성을 분석한 결과, DC측에 적정용량의 SPD를 설치할 경우, 뇌서지 및 개폐서지로부터 배터리를 보호할 수 있음을 알 수 있어, 유용성을 확인하였다.

[0167] 이상에서 설명된 바와 같이, 본 발명에 따르면, ESS를 보호하기 위한 적절한 SPD를 설치하기 위하여, SPD의 3가지 결선방식에 대하여 최대연속사용전압과 전압 보호레벨을 산정함으로써, 계통에서 발생한 서지에 대한 보호 성능을 충분히 유지시킬 수 있어 배터리측에 절연내력을 초과하는 서지가 전달되는 것을 차단할 수 있고 화재사고를 예방할 수 있다.

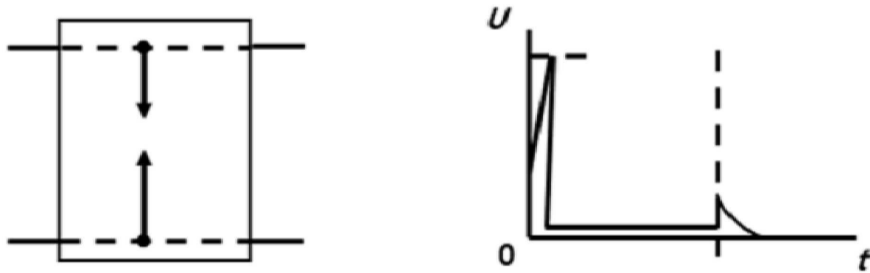
[0168] 이상에서는 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

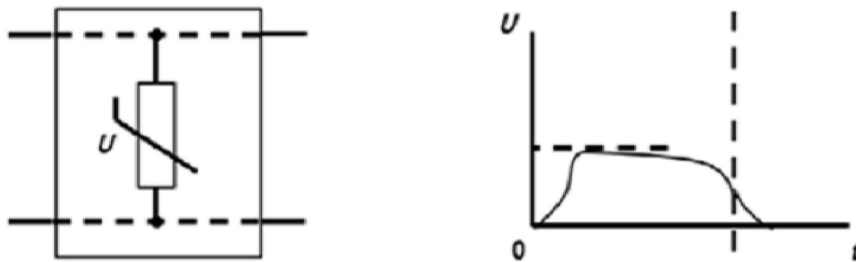
도면1



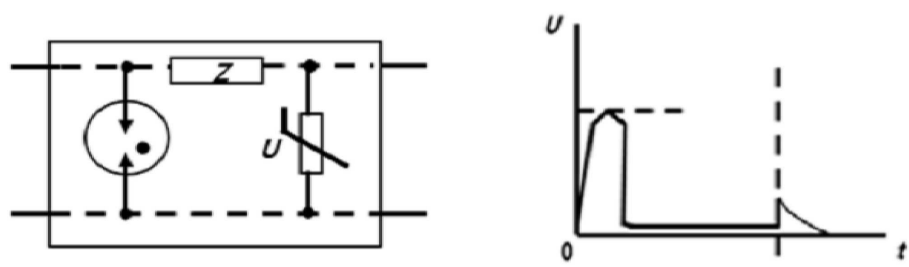
도면2a



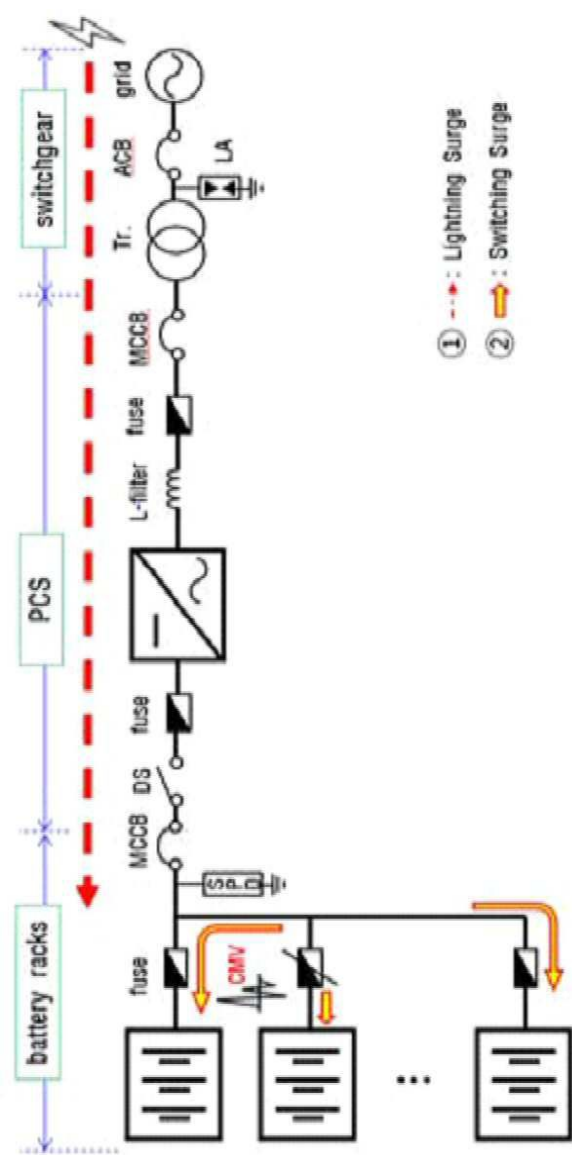
도면2b



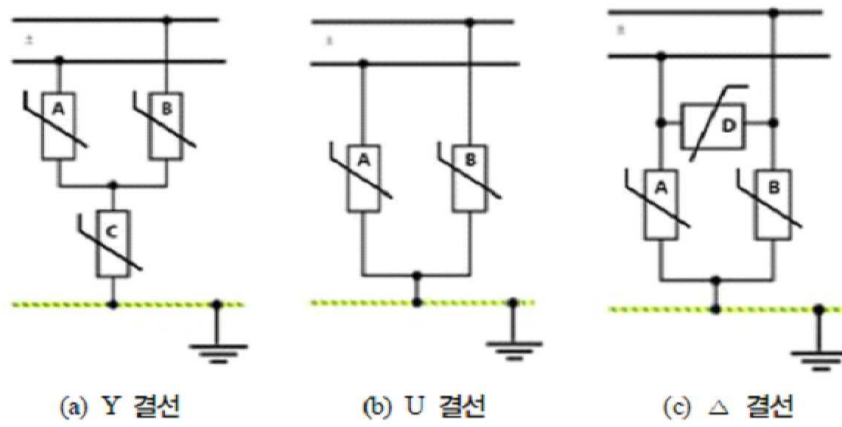
도면2c



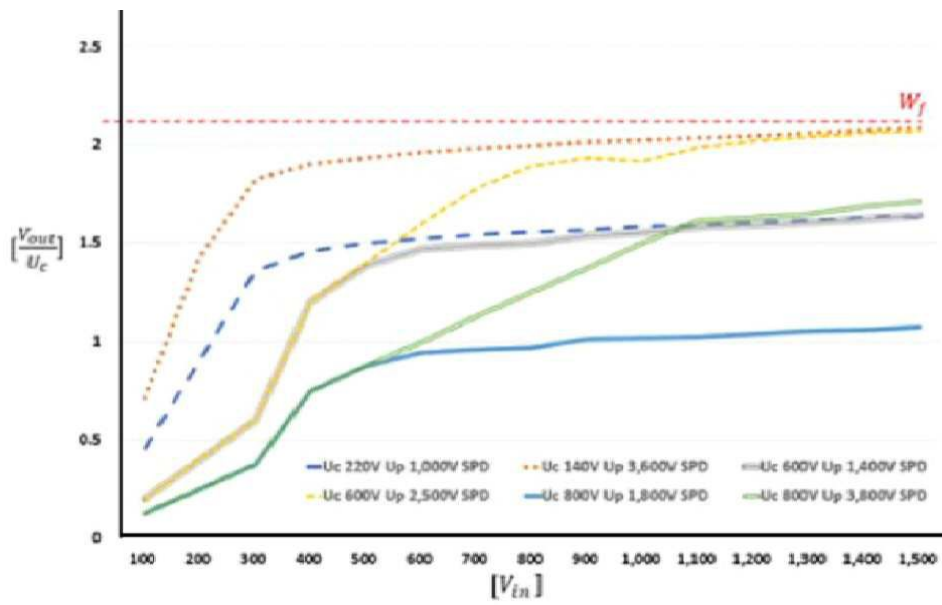
도면3



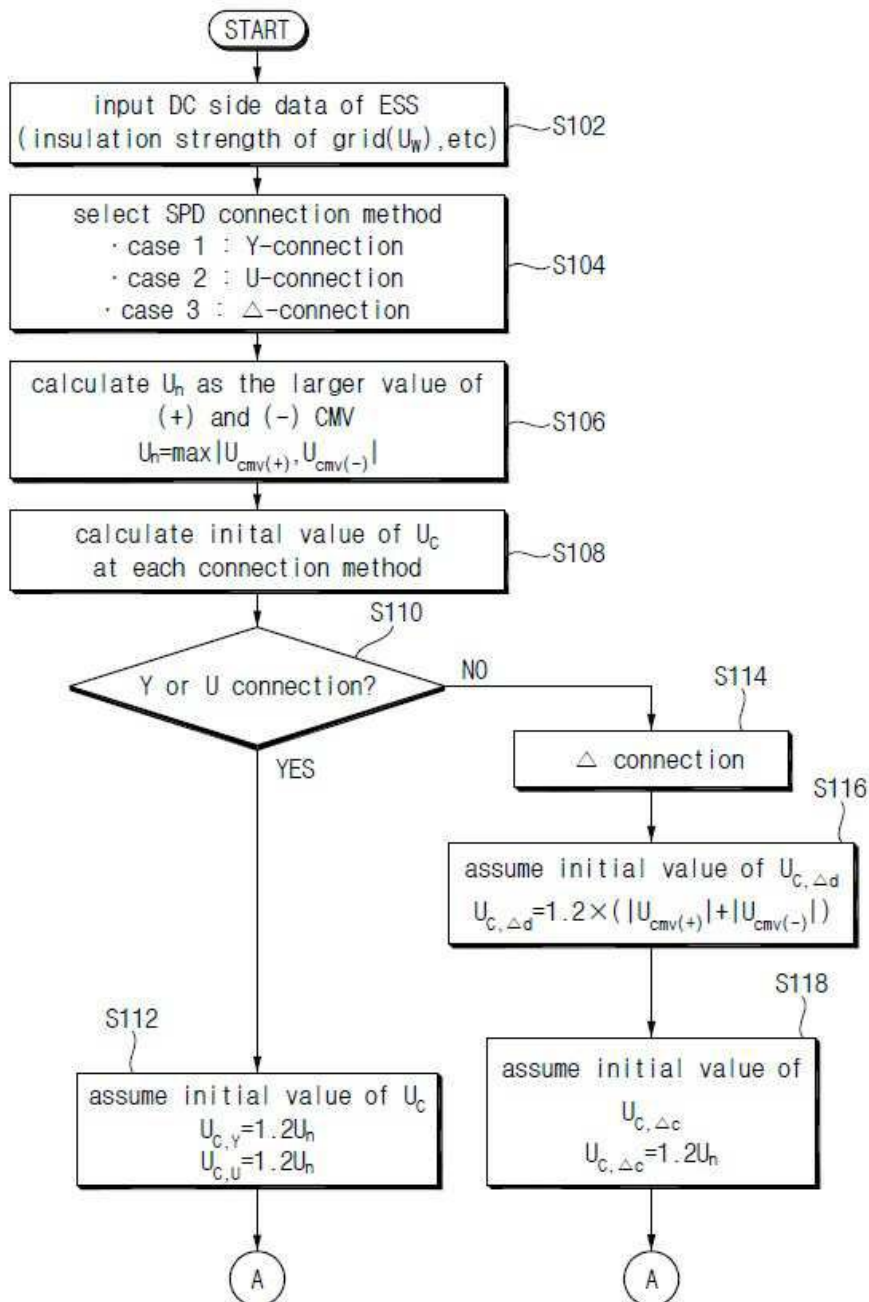
도면4



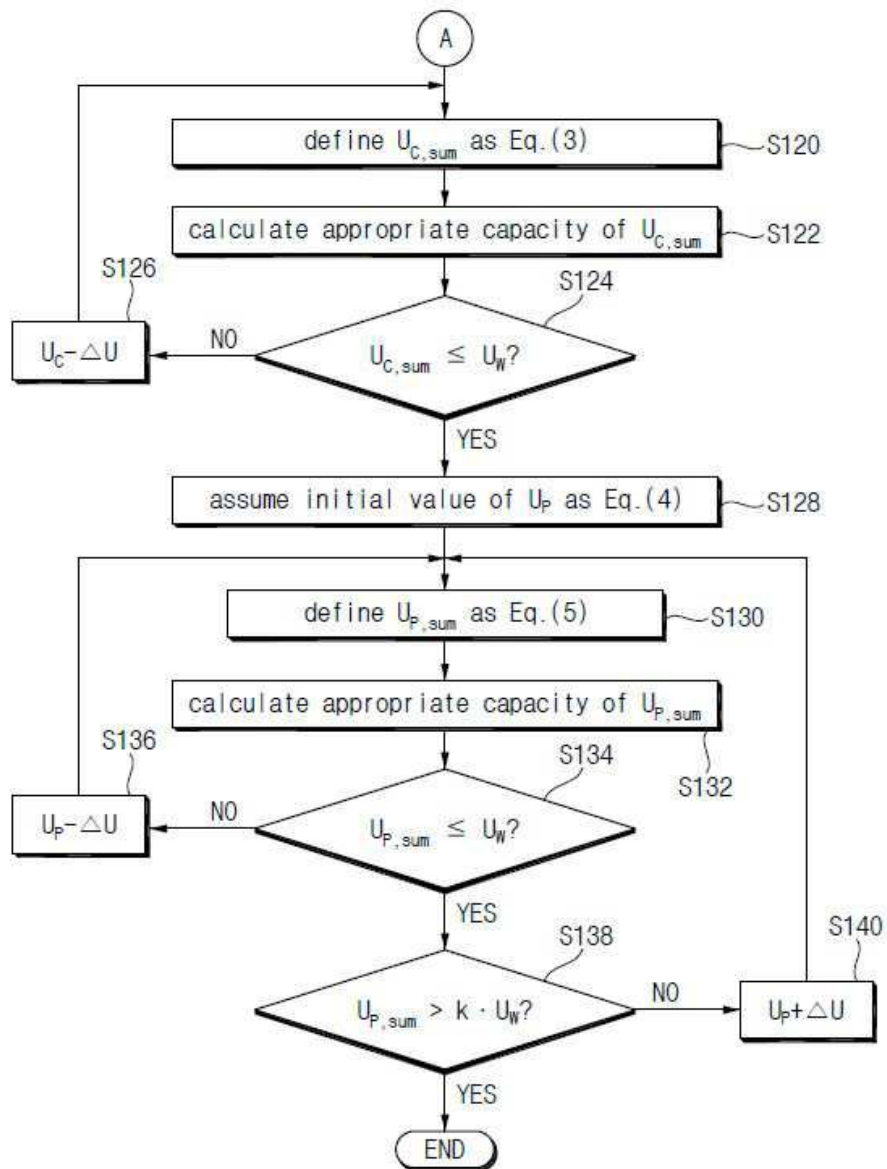
도면5



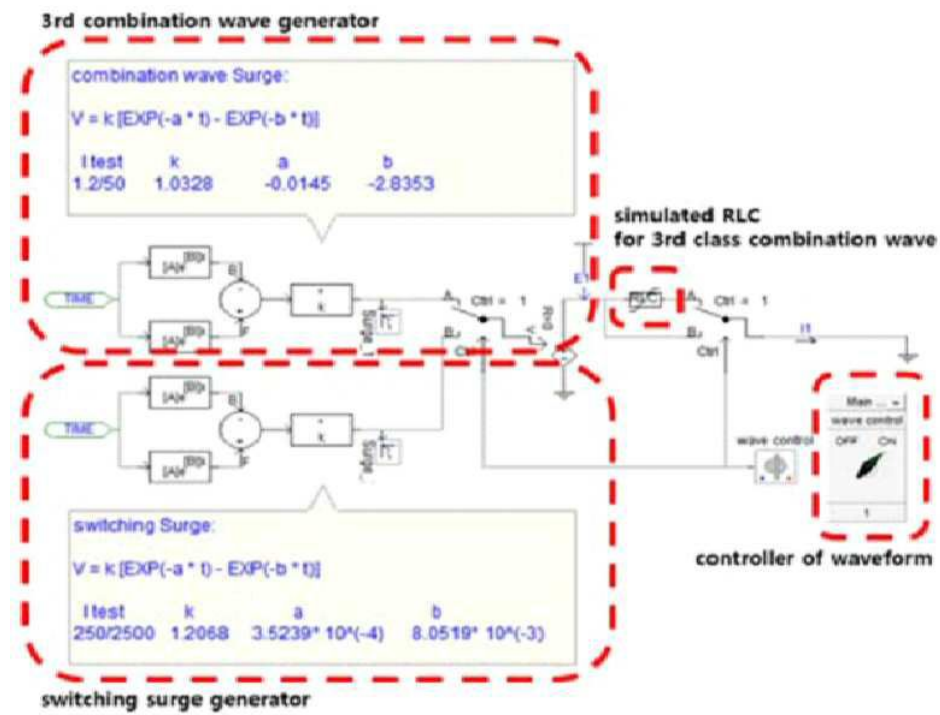
도면6a



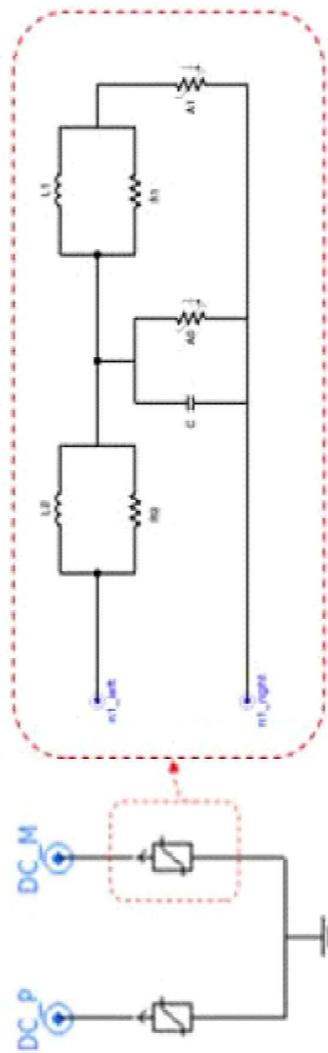
도면6b



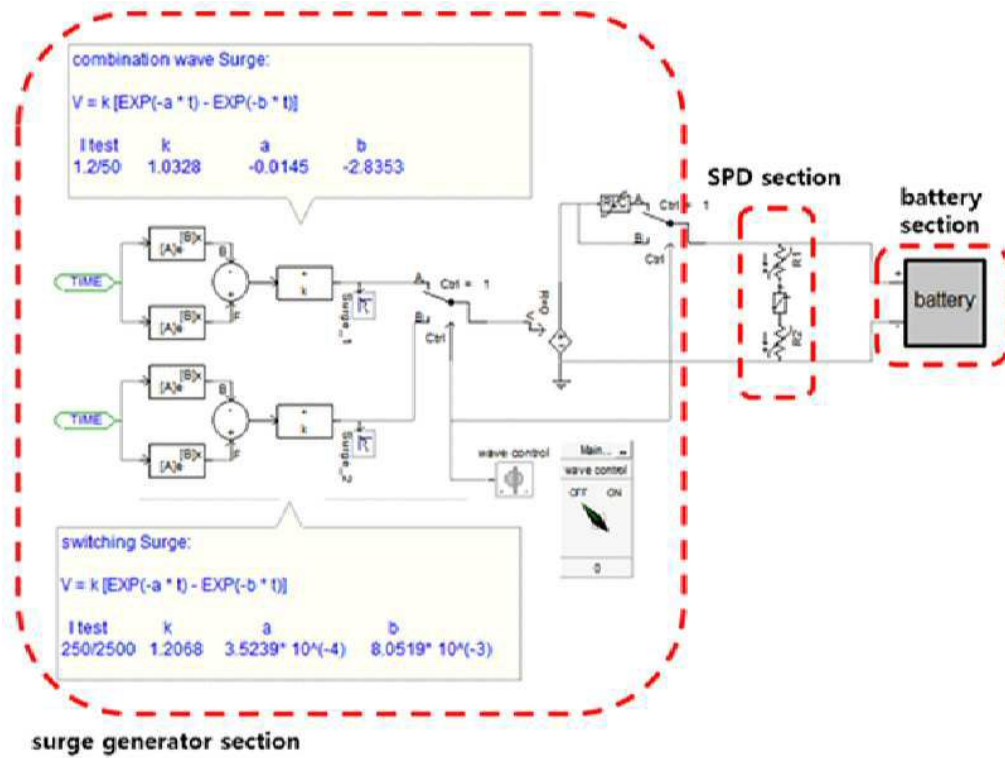
도면7



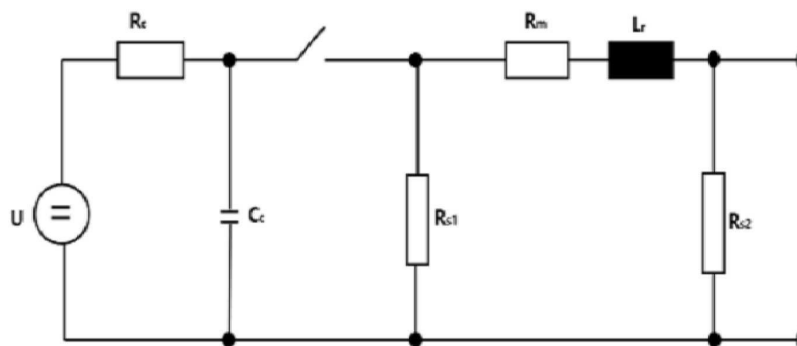
도면8



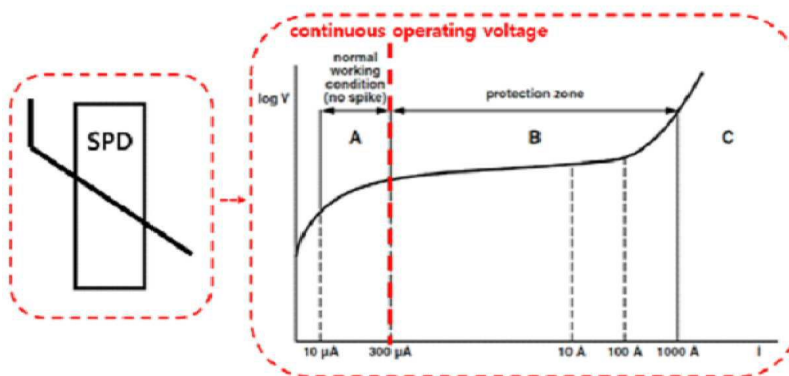
도면9



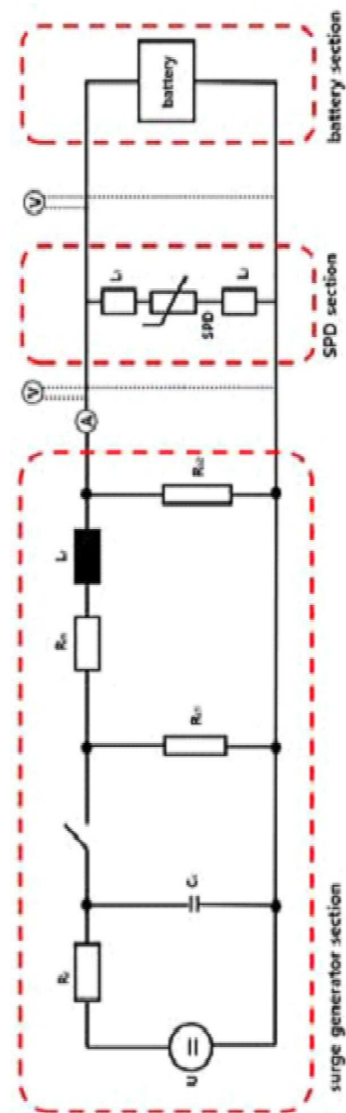
도면10



도면11



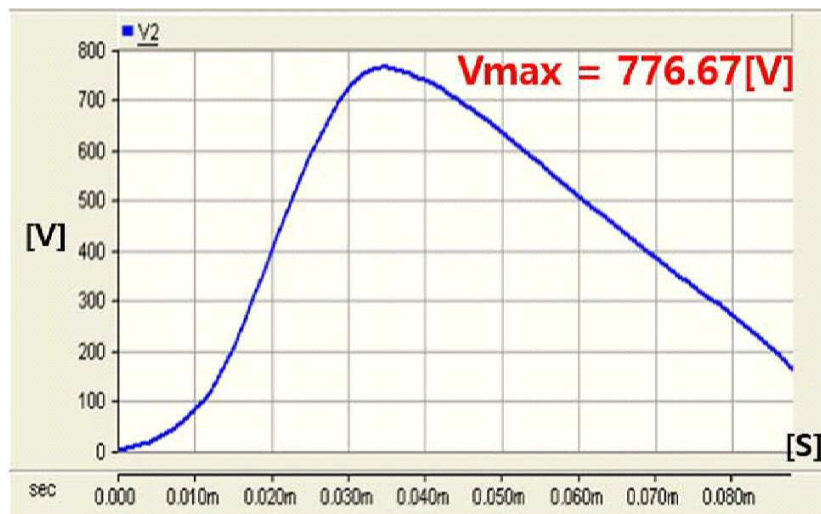
도면12



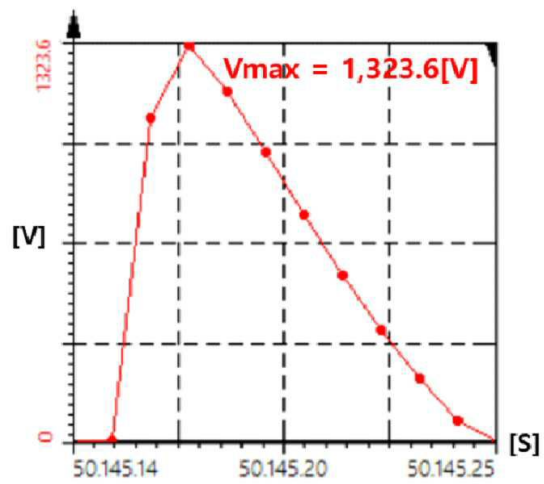
도면13a



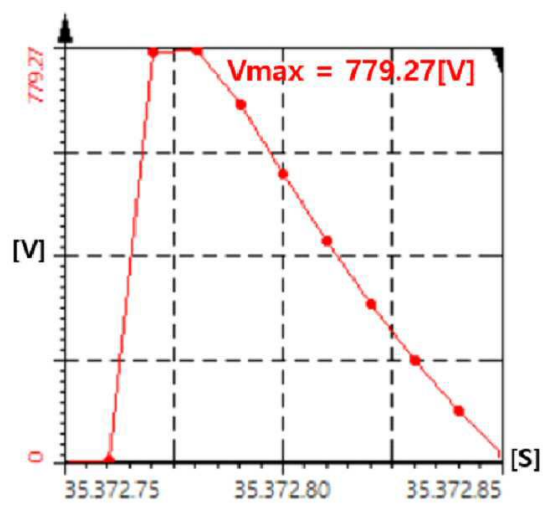
도면13b



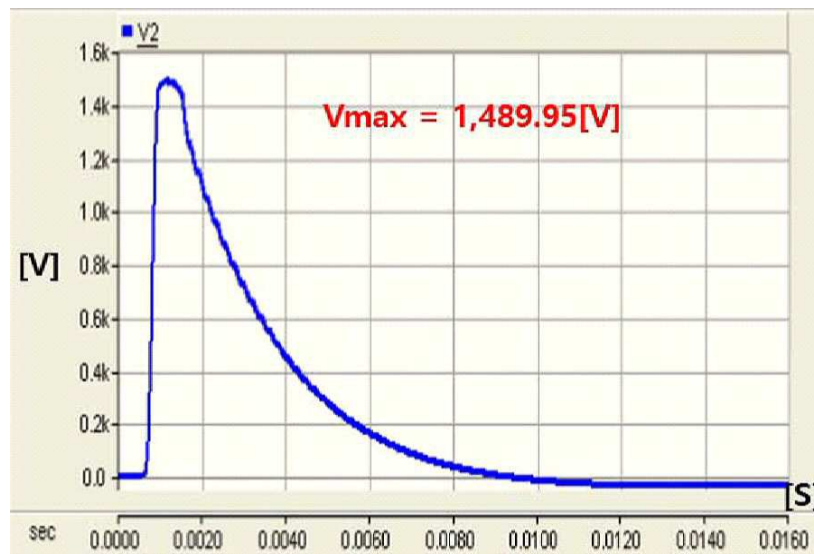
도면14a



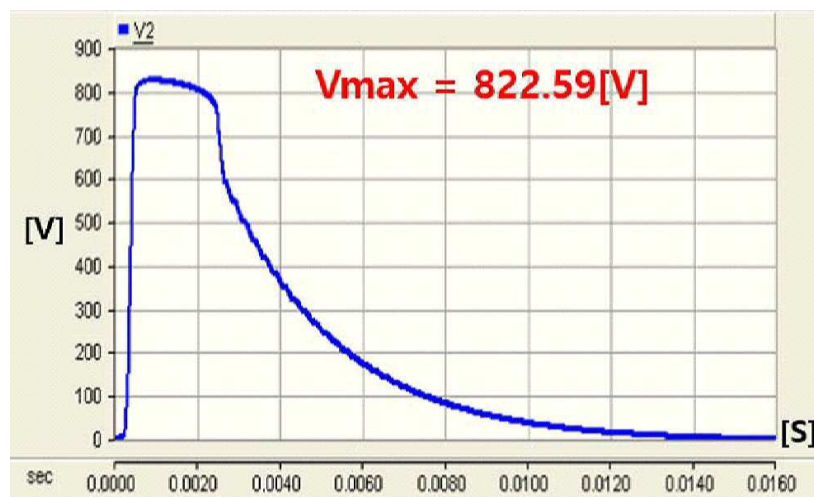
도면14b



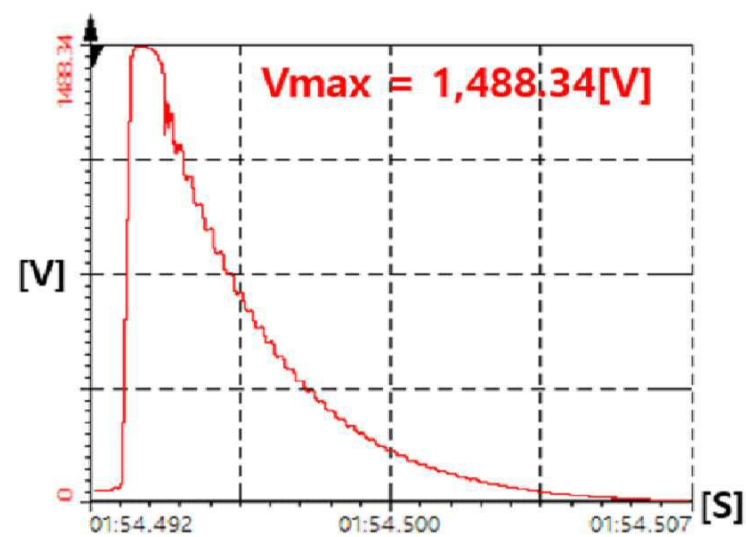
도면15a



도면15b



도면16a



도면16b

