



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0080609
(43) 공개일자 2025년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 3/05 (2006.01) H02H 3/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 3/05 (2013.01)
H02H 3/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0168549
(22) 출원일자 2023년11월28일
심사청구일자 2024년02월07일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
노대석
충청남도 천안시 서북구 봉서산1길 35, 111동 301호(쌍용동, 파크밸리동일하이빌)
김지명
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1636, 명품에덴빌 201호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김민태

전체 청구항 수 : 총 8 항

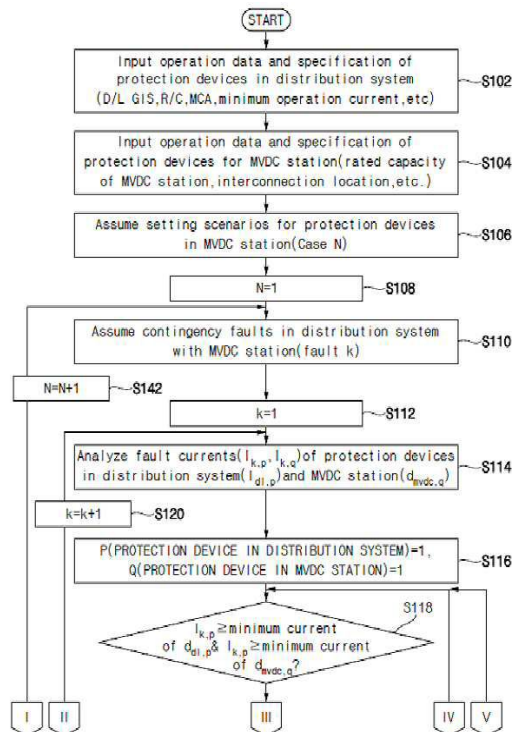
(54) 발명의 명칭 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법

(57) 요약

MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법은, (i) 배전시스템에 설치 및 운용되는 보호협조기기에 대하여, 운용데이터를 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로에 입력하는 단계; (ii) MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 연계위치 및 정격용량을 포함하는 운용데이터를 상기 모델링 회로에 상정하는 단계; (iii) MVDC 배전 스테이션

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2a



선용 보호협조기기에 대한 정정 시나리오를 산정하는 단계; (iv) 사고 종류를 상정하는 단계; (v) 단계(ii)의 모델링을 바탕으로 상정된 사고 종류별로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 나타나는 사고전류를 각각 분석하는 단계; (vi) 각 보호협조기기를 통과하는 사고전류가 설정된 최소동작전류 보다 큰 경우, 해당 사고에 대하여 상기 배전계통측 보호협조기기의 동작시간과 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간에 기초하여 협조시간차를 산정하고, 상기 협조시간차와 기준값을 비교하여 보호협조 운용의 적정성을 평가하는 단계; 및 (vii) 다른 정정 시나리오에 대해서도 단계(iv) 내지 단계(vi)에 의하여 보호협조 운용 적정성을 평가하여, 협조시간차가 가장 큰 시나리오를 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 최적 정정방식으로 선정하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

H02J 2203/20 (2023.08)

Y04S 40/20 (2020.08)

(72) 발명자

김경화

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1634-15,
3동 402호

김윤호

충청남도 천안시 동남구 병천면 가전8길 91, 다운
빌라 B동 304호

이민행

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

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	22131
과제번호	CPS22131
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	신통합 이지바로
연구과제명	VPL 플랫폼 운영기술 및 비즈니스 모델 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국기술교육대학교 산학협력단
연구기간	2022.12.01 ~ 2023.11.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415188415
과제번호	20224000000160
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지인력양성사업(에특)
연구과제명	DC 그리드 에너지 혁신연구센터
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한양대학교에리카산학협력단
연구기간	2023.04.01 ~ 2023.12.31

청구범위유예 : 있음

임시명세서출원 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

- (i) 배전계통에 설치 및 운용되는 보호협조기기에 대하여, 운용데이터를 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로에 입력하는 단계;
- (ii) MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 연계위치 및 정격용량을 포함하는 운용데이터를 상기 모델링 회로에 상정하는 단계;
- (iii) MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 정정 시나리오를 산정하는 단계;
- (iv) 사고 종류를 상정하는 단계;
- (v) 단계(ii)의 모델링을 바탕으로 상정된 사고 종류별로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 나타나는 사고전류를 각각 분석하는 단계;
- (vi) 각 보호협조기기를 통과하는 사고전류가 설정된 최소동작전류 보다 큰 경우, 해당 사고에 대하여 상기 배전계통측 보호협조기기의 동작시간과 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간에 기초하여 협조시간차를 산정하고, 상기 협조시간차와 기준값을 비교하여 보호협조 운용의 적정성을 평가하는 단계; 및
- (vii) 다른 정정 시나리오에 대해서도 단계(iv) 내지 단계(vi)에 의하여 보호협조 운용 적정성을 평가하여, 협조시간차가 가장 큰 시나리오를 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 최적 정정방식으로 선정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 보호협조기기는 배전계통에 설치 및 운용되는 배전선로 가스 절연 개폐장치, 리클로저, 및 다회로차단기를 포함하는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 운용데이터는 회선용량, CT비, 순시 탭, 한시 탭, 레버, 최소동작전류, 및 동작특성곡선을 포함하는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 모델링 회로는 상기 MVDC 실증 배전망의 사고 발생 시 보호협조기기의 동작특성을 분석하기 위하여, 계통해석 프로그램을 이용하여 배전용 변전소, 배전선로, MVDC 배전 스테이션, 분산전원으로 구성된 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로인 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 정정 시나리오는, 배전용 변전소 보호계전기 정정 방식, 리클로저 정정 방식, 및 고객계전기 정정 방식 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 사고 종류는, MVDC 배전선로 P-G 사고, MVDC 배전선로 P-P 사고, AC 배전선로 1선 지락 사고, AC 배전선로 3상 단락 사고, MVDC 배전 스테이션 내부 AC측 1선 지락 사고, MVDC 배전 스테이션 내부 AC측 3상 단락 사고, 및 MVDC 배전 스테이션 내부 밸브측 Arm 단락 사고를 포함하는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 협조시간차($T_{p,q}^{n,k}$)는,

$$T_{p,q}^{n,k} = T_p^{n,k} - T_q^{n,k}$$

(여기서, $T_p^{n,k}$: 상기 배전계통측 보호협조기기의 동작시간, $T_q^{n,k}$: MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간)에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 어떤 상정 사고에서도 상기 협조시간차가 기준값을 만족하지 않는 경우, 해당 시나리오는 보호 협조 운용이 불가능한 것으로 평가하는 것을 특징으로 하는 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증 배전망을 대상으로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션측 보호협조기기 간의 안정적인 보호협조 운용을 위한 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 신재생에너지전원의 급격한 도입으로 인해 발생하고 있는 계통접속 지연 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로, 기존의 AC 22.9kV 배전선로에 70kV($\pm 35\text{kV}$)급 MVDC(Medium-Voltage Direct Current)를 적용하여 선로 용량을 증대시키기 위한 실증 연구가 진행되고 있다.

[0003] 그러나, AC에서 DC로 전력을 변환하기 위한 주요설비인 MVDC 배전 스테이션은 운용 시 계통연계가 필수적이지만, 현재 보호협조에 대한 운용기준이 마련되어 있지 않아, 보호협조기기 정정에 대한 운영방안이 요구되고 있다.

[0004] 특히, MVDC 배전망의 보호협조에 대한 연구는 주로 일반적인 방사형 구조에 초점을 두어, DC 간선에 설치된 구간차단기를 통해 해당 고장구간만을 분리하거나, 분기선 저압측 사고가 MVDC 간선측까지 과급되지 않도록 사고 전류 클램핑 장치를 사용하는 방안 등이 제시되고 있다.

[0005] 그러나, AC 변전소측 보호협조기기와의 협조를 고려하지 않고 MVDC 배전 스테이션을 운용하는 경우, 사고 시 배전용 변전소측 보호협조기기가 먼저 동작하여, 정전구간이 확대되어 주변 수용가 또는 민간 발전사업자에게 설비 손상이나 재산적 피해를 줄 가능성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-2566804호(2023. 08. 16.)(중압 직류배전시스템용 사고전류 클램핑 장치)
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2022-0083367호(2022. 06. 20.)(교류-직류간 협조 연계 시스템 및 교류 전력 전송망과 직류 전력 전송망이 협조 연계된 전력 전송망 시스템)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이에 본 발명의 기술적 과제는 이러한 점에 착안한 것으로, 본 발명의 목적은 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증 배전망을 대상

으로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션측 보호협조기기 간의 안정적인 보호협조 운용을 위하여, MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 운용 방식을 평가하여 최적 정정방식으로 최적의 운영 방법으로 결정하기 위한 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 본 발명의 목적을 실현하기 위하여 일 실시예에 따른 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법은, (i) 배전계통에 설치 및 운용되는 보호협조기기에 대하여, 운용데이터를 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로에 입력하는 단계; (ii) MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 연계위치 및 정격용량을 포함하는 운용데이터를 상기 모델링 회로에 상정하는 단계; (iii) MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 정정 시나리오를 산정하는 단계; (iv) 사고 종류를 상정하는 단계; (v) 단계(ii)의 모델링을 바탕으로 상정된 사고 종류별로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에서 나타나는 사고전류를 각각 분석하는 단계; (vi) 각 보호협조기기를 통과하는 사고전류가 설정된 최소동작전류 보다 큰 경우, 해당 사고에 대하여 상기 배전계통측 보호협조기기의 동작시간과 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간에 기초하여 협조시간차를 산정하고, 상기 협조시간차와 기준값을 비교하여 보호협조 운용의 적정성을 평가하는 단계; 및 (vii) 다른 정정 시나리오에 대해서도 단계(iv) 내지 단계(vi)에 의하여 보호협조 운용 적정성을 평가하여, 협조시간차가 가장 큰 시나리오를 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 최적 정정방식으로 선정하는 단계를 포함한다.

[0010] 일 실시예에서, 상기 보호협조기기는 배전계통에 설치 및 운용되는 배전선로 가스 절연 개폐장치, 리클로저, 및 다회로차단기를 포함할 수 있다.

[0011] 일 실시예에서, 상기 운용데이터는 회선용량, CT비, 순시 탭, 한시 탭, 레버, 최소동작전류, 및 동작특성곡선을 포함할 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 모델링 회로는 상기 MVDC 실증 배전망의 사고 발생 시 보호협조기기의 동작특성을 분석하기 위하여, 계통해석 프로그램을 이용하여 배전용 변전소, 배전선로, MVDC 배전 스테이션, 분산전원으로 구성된 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로일 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 상기 정정 시나리오는, 배전용 변전소 보호계전기 정정 방식, 리클로저 정정 방식, 및 고객계전기 정정 방식 중 어느 하나일 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 상기 사고 종류는, MVDC 배전선로 P-G 사고, MVDC 배전선로 P-P 사고, AC 배전선로 1선 지락 사고, AC 배전선로 3상 단락 사고, 스테이션 내부 AC측 1선 지락 사고, 스테이션 내부 AC측 3상 단락 사고, 및 스테이션 내부 밸브측 Arm 단락 사고를 포함할 수 있다.

[0015] 일 실시예에서, 상기 협조시간차는,

[0016]
$$T_{p,q}^{n,k} = T_p^{n,k} - T_q^{n,k}$$
 (여기서, $T_p^{n,k}$: 배전계통측 보호협조기기의 동작시간, $T_q^{n,k}$: MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간, $T_{p,q}^{n,k}$: 협조시간차)에 의해 정의될 수 있다.

[0017] 일 실시예에서, 어떤 상정 사고에서도 상기 협조시간차가 기준값을 만족하지 않는 경우, 해당 시나리오는 보호협조 운용이 불가능한 것으로 평가할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 이러한 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법에 의하면, ±35kV MVDC 실증 배전망을 대상으로 배전계통측 보호협조기기와 MVDC 배전 스테이션측 보호협조기기 간의 안정적인 보호협조 운용을 위하여, 세 가지 정정 시나리오를 바탕으로 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 운용 방식을 평가하여 최적 정정방식으로 최적의 운영 방법으로 결정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 ±35kV MVDC 실증시스템의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2a 및 도 2b는 MVDC 배전 스테이션 내 보호협조기기의 운용 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 배전용 변전소의 모델링을 설명하기 위한 도면이다.

도 4a 및 도 4b는 MVDC 배전 스테이션의 모델링을 설명하기 위한 도면이다. 특히, 도 4a는 MMC의 AC 회로부 모델링을 나타내고, 도 4b는 MVDC 배전 스테이션 내부 MMC의 서브모듈부를 나타낸다.

도 5는 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증시스템의 전체 모델링을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증시스템의 고장상태를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 배전용 변전소 내 보호협조기기의 작동 특성을 나타낸 그래프이다.

도 8은 MVDC 배전 스테이션 내 보호협조기기의 작동 특성을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 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.
- [0021] 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.
- [0022] 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.
- [0023] 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.
- [0024] 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.
- [0025] 도 1은 $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증시스템의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, $\pm 35\text{kV}$ MVDC 실증시스템은 태양광전원(10), AC 배전선로(20), MVDC 배전 스테이션(30), 실증용 MVDC 선로(40), 배전용 변전소(50), 및 보호협조기기(60)를 포함하고, 배전용 변전소(50)의 변압기로부터 인출된 2개의 배전선로(Distribution Line, D/L), 즉 D/L #1 및 D/L #2에 MVDC 배전 스테이션(30)의 입력단과 출력단이 각각 연결된다.
- [0027] 또한, 태양광전원(10)이 연계되어 있는 배전선로(D/L #1)의 허용용량은 15[MW]로 MVDC 배전 스테이션(30)의 용량인 30[MW]보다 작기 때문에, 정격운전시험을 위해 MVDC 배전 스테이션(30) 내부에 순환선로를 설치하여, 30[MW]의 최대 정격운전시험이 가능하도록 구성된다.
- [0028] 이러한 MVDC 실증 배전망에서 MVDC 배전 스테이션(30) 내부에 사고가 발생할 경우, 배전용 변전소(50) 측의 보호협조기기(60)가 먼저 동작하게 되면 고장 구간이 과급되어 동일선로의 타 고객에게 악영향을 줄 수 있으므로, MVDC 배전 스테이션(30)과 배전용 변전소(50)와의 보호협조에 대한 운용 방안이 요구된다.
- [0029] 그러나, MVDC 배전 스테이션(30)에 대한 구체적인 보호협조 운용기준이 마련되어 있지 않은 실정이다.
- [0030] 본 발명에서는 세 가지 정정 시나리오를 바탕으로 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 운용 방식을 평가한다.

[0031] - 변전소계전기 정정 방식을 적용하는 경우(Case I)

[0032] 변전소계전기의 OCR(Over Current Relay)과 OCGR(Over Current Grounding Relay)은 한전의 보호 협조 정정지침에 따라 동작시간이 결정되는데, CT 비, 순시탭, 한시탭에 의하여 정정치가 산정된다.

[0033] 먼저, 변전소계전기의 CT비는 선로용량에 대한 정격전류에 1.5배를 하여 계산할 수 있는데, 이를 나타내면 아래의 수식 (1)과 같다.

[0034] [수식 1]

$$CTratio = \frac{P_{station}}{\sqrt{3} \times 22.9kV} \times 1.5$$

[0035]

[0036] 여기서, $P_{station}$: MVDC 배전 스테이션의 정격 용량

[0037] 또한, 상과 지락에 대한 순시탭은 전위 보호협조기기(리클로저) 설치점의 3상 단락전류의 1.5배 또는 1선 지락전류의 1.4배 이상으로 산정되며, 이를 나타내면 아래의 수식 (2)와 같다.

[0038] [수식 2]

$$Instantaneous\ tap = I_F \times K \times CTratio$$

[0039]

[0040] 여기서, I_F : 고장 전류(3상 단락 회로, 단선 접지 고장), K : 고장 유형별 순간 탭의 상수 값(단락: 1.5, 단선 접지: 1.4)

[0041] 한편, 상과 지락에 대한 한시탭은 회선당 운전전류의 1.5배 및 0.3배를 기준으로 산정하며, 이를 나타내면 아래의 수식 (3)과 같다.

[0042] [수식 3]

$$Time\ de\ lay\ tap = \frac{P_{station}}{\sqrt{3} \times 22.9kV} \times X \times CTratio$$

[0043]

[0044] 여기서, X : 고장 유형별 시간 지연 탭의 일정 값(단락: 1.5, 단선: 1.4)

[0045] - 리클로저 정정 방식을 적용하는 경우(Case II)

[0046] 순시동작과 지연동작 특성을 가지는 리클로저의 단락시, 최소동작전류는 아래의 수식 (4)와 같이 최대부하전류의 2.8배 이상 4.0배 이하로 산정된다.

[0047] [수식 4]

$$I_{OP}(P) = 2.8 \times I_{MAX} \leq I_{OP} \leq 4 \times I_{MAX}$$

[0048]

[0049] 또한, 지락에 대한 최소 동작전류는 아래의 수식 (5)와 같이 최대부하전류의 0.3배로 산정되지만, 선로의 부하 불평형 전류를 고려하여 정정치를 산정하고 있다.

[0050] [수식 5]

$$I_{OP}(G) = I_{MAX} \times 0.3$$

[0051]

[0052] 여기서, I_{OP} : 보호협조기기의 최소 작동전류, I_{MAX} : 최대전류

[0053] 한편, 리클로저의 순시와 한시곡선은 일반적으로 IEC-VI #1~#7 특성곡선을 사용한다.

[0054] - 고객계전기 정정 방식을 적용하는 경우(Case III)

[0055] 고객계전기의 정정은 단락과 지락에 대한 순시탭 및 한시탭을 산정해야 한다.

[0056] 먼저, 고객계전기의 CT비는 아래의 수식 (6)과 같이 계약전력을 기준으로 정격전류의 1.5배로 산정할 수 있다.

[0057] [수식 6]

$$CTratio = \frac{P_{station}}{\sqrt{3} \times 22.9kV} \times 1.5$$

[0058]

[0059] 또한, 단락에 대한 순시탭은 아래의 수식 (7)과 같이 수전변압기 2차측 3상 단락전류의 1.5배로 산정할 수 있고, 지락에 대한 순시탭은 보통 최소탭(10A)을 적용한다.

[0060] [수식 7]

$$Instantaneous\ tap = I_{3\phi} \times 1.5 \times CTratio$$

[0061]

[0062] 한편, 단락과 지락에 대한 한시탭은 최대부하전류의 1.5배 및 0.3배를 기준으로 정정하며, 이를 나타내면 아래의 수식 (8)과 같다.

[0063] [수식 8]

$$Time\ delay\ tap = \frac{P_{station}}{\sqrt{3} \times 22.9kV} \times X' \times CTratio$$

[0064]

[0065] 여기서 $I_{3\phi}$: 스테이션 트랜스포머의 2차측의 3상 단락 회로 전류, X' : 스테이션 트랜스포머에서 시간 지연 탭의 일정 값(단락 회로: 1.5, 단선 접지: 0.3)

[0066] 상기에서 제시한 보호협조기기 정정 방법을 바탕으로 MVDC 실증 배전망의 보호협조를 위한 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 운용 방법을 설명한다.

[0067] 도 2a 및 도 2b는 MVDC 배전 스테이션 내 보호협조기기의 운용 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0068] 도 2를 참조하면, 배전계통에 설치 및 운용되고 있는 배전선로 가스 절연 개폐장치(Distribution Line Gas Insulated Switchgear, D/L GIS), 리클로저(Recloser, R/C), 다회로차단기 등의 보호협조기기에 대하여, 회선 용량, CT비, 순시 탭, 한시 탭, 레버(Lever), 최소동작전류, 동작특성곡선 등의 운용데이터를 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로에 입력한다(단계 S102). 여기서, 모델링 회로는 MVDC 실증 배전망의 사고 발생 시 보호협조기기의 동작특성을 분석하기 위하여, 계통해석 프로그램을 이용하여 배전용 변전소, 배전선로, MVDC 배전 스테이션, 분산전원 등으로 구성된 실증 MVDC 배전망의 모델링 회로다.

[0069] 이어, MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 연계위치 및 정격용량 등의 운용데이터를 모델링 회로에 상정한다(단계 S104).

[0070] 이어, 배전용 변전소측 보호협조기기와의 보호협조 운용특성을 평가하기 위하여, MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기에 대한 정정 시나리오(Case N)를 산정한다(단계 S106). 여기서, Case I은 배전용 변전소 보호계전기 정정 방식을 의미하고, Case II는 리클로저 정정 방식을 의미하고, Case III는 고객계전기 정정 방식을 의미한다.

[0071] 이어, 초기 정정 시나리오로 N=1을 설정한다(단계 S108).

[0072] 이어, MVDC 실증 배전망에서 발생할 수 있는 다양한 사고에 대한 보호협조기기의 동작특성을 분석하기 위하여, 다양한 종류의 상정 사고($fault\ k$)를 상정한다(단계 S110). 여기서, fault 1은 MVDC 배전선로 P-G 사고를 의미하고, fault 2는 MVDC 배전선로 P-P 사고를 의미하고, fault 3은 AC 배전선로 1선 지락 사고를 의미한다. 또한 fault 4는 AC 배전선로 3상 단락 사고를 의미하고, fault 5는 MVDC 배전 스테이션 내부 AC측 1선 지락 사고를 의미한다. 또한 fault 6은 MVDC 배전 스테이션 내부 AC측 3상 단락 사고를 의미하고, fault 7은 MVDC 배전 스테이션 내부 밸브측 Arm 단락 사고를 의미한다.

[0073] 이어, k를 1로 설정하여 상정 사고($fault\ k$) 중 fault 1을 상정한다(단계 S112).

[0074] 이어, 모델링을 바탕으로 상정 사고별($fault\ k$)로 배전계통측 보호협조기기($d_{dl,p}$)와 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기($d_{mvd,c}$)에서 나타나는 사고전류($I_{k,p}$, $I_{k,q}$)를 각각 분석한다(단계 S114).

- [0075] 배전계통측 보호협조기기($d_{dl,p}$)에서 p를 1로 설정하고, MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기(d_{mvdq})에서 q를 1로 설정한다(단계 S116).
- [0076] 배전계통측 사고전류($I_{k,p}$)가 배전계통측 보호협조기기($d_{dl,p}$)의 최소전류보다 크고 MVDC 배전 스테이션측 사고전류($I_{k,q}$)가 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기(d_{mvdq})의 최소전류보다 큰 지의 여부를 체크한다(단계 S118).
- [0077] 단계 S118에서 배전계통측 사고전류($I_{k,p}$)가 배전계통측 보호협조기기($d_{dl,p}$)의 최소전류보다 크고 MVDC 배전 스테이션측 사고전류($I_{k,q}$)가 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기(d_{mvdq})의 최소전류보다 큰 것으로 체크되지 않으면, k를 1 증가시켜 상정 사고($fault\ k$)를 상정한 후(단계 S120) 단계 S114로 피드백한다.
- [0078] 각 보호협조기기($d_{dl,p}$, d_{mvdq})를 통과하는 사고전류($I_{k,p}$, $I_{k,q}$)가 설정된 최소동작전류 보다 큰 경우, 해당 사고에 대하여 아래의 수식 (9)와 같이 배전계통측 보호협조기기의 동작시간($T_p^{n,k}$)과 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간($T_q^{n,k}$)의 차를 구하여 협조시간차($T_{p,q}^{n,k}$)를 산정한다(단계 S122).
- [0079] [수식 9]
- [0080]
$$T_{p,q}^{n,k} = T_p^{n,k} - T_q^{n,k}$$
- [0081] 여기서, $T_p^{n,k}$: 배전계통측 보호협조기기의 동작시간, $T_q^{n,k}$: MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 동작시간, $T_{p,q}^{n,k}$: 협조시간차
- [0082] 단계 S122에서 산정된 협조시간차($T_{p,q}^{n,k}$)가 기준값보다 큰 지의 여부를 체크한다(단계 S124).
- [0083] 산정된 협조시간차($T_{p,q}^{n,k}$)가 기준값보다 크지 않은 것으로 체크되면 단계 S120으로 피드백하고, 산정된 협조시간차($T_{p,q}^{n,k}$)가 기준값보다 큰 것으로 체크되면 p가 최고치인지의 여부를 체크한다(단계 S126).
- [0084] 단계 S126에서 p가 최고치인 것으로 체크되지 않으면 p를 1 증가시킨 후(단계 S128), 단계 S118로 피드백한다.
- [0085] 단계 S126에서 p가 최고치인 것으로 체크되면 q가 최고치인지의 여부를 체크한다(단계 S130).
- [0086] 단계 S130에서 q가 최고치인 것으로 체크되지 않으면 q를 1 증가시킨 후(단계 S132), 단계 S118로 피드백한다.
- [0087] 단계 S130에서 q가 최고치인 것으로 체크되면, 사고에 대한 보호협조 운용의 적정성을 평가한다(단계 S134).
- [0088] 상정 사고($fault\ k$)의 k가 최대치인지의 여부를 체크한다(단계 S136).
- [0089] 단계 S136에서 k가 최대치인 것으로 체크되지 않으면 단계 S120으로 피드백하고, k가 최대치인 것으로 체크되면 정정 시나리오에 대한 보호협조 운용의 적정성을 평가한다(단계 S138).
- [0090] 단계 S138에 이어, 정정 시나리오(Case N)의 N이 최고치인지의 여부를 체크한다(단계 S140).
- [0091] 단계 S140에서 정정 시나리오(Case N)의 N이 최고치가 아닌 것으로 체크되면 정정 시나리오(Case N)의 N을 1 증가시킨 후(단계 S142), 단계 S110으로 피드백한다.
- [0092] 단계 S140에서 정정 시나리오(Case N)의 N이 최고치인 것으로 체크되면 협조시간차가 가장 큰 시나리오를 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기의 최적 정정방식으로 최적의 운영 방법으로 결정한다(단계 S144).
- [0093] 한편 별도로 도시하지는 않았지만, 어떤 상정 사고($fault\ k$)에서도 협조시간차가 기준값을 만족하지 않는

경우, 해당 시나리오(Case N)는 보호협조 운용이 불가능한 것으로 평가한다.

이하, 본 발명의 모델링에 따른 시뮬레이션 결과 및 분석에 대해서 설명한다.

±35kV MVDC 실증 배전망의 보호협조기기 운용특성을 평가하기 위한 30MW의 MVDC 배전 스테이션 및 15MW의 D/L 회선용량, D/L GIS 및 MMC CB에 대한 상정조건은 표 1과 같다.

표 1은 시뮬레이션 조건을 나타낸다.

[표 1]

items			contents
MVDC station	type		modular multi-level converter
	rated capacity		30[MW]
	rated current and votage	AC input	22.9[kV], 756[A]
		DC output	±35[kV], 429[A]
	number of multi-levels		28-level
	protection devices		MMC CB #1, MMC CB #2
distribution substaton	rated capacity		45/60[MVA]
	voltage ratio		154/22.9[kV]
	winding connection		Y-Δ-Yg
	capacity of distribution line		15[MW]
	protection devices		D/L GIS #1, D/L GIS #2

또한, 사고 발생 조건으로는 도 6과 같이 실증 배전망에서 사고 시 가장 큰 영향을 줄 수 있는 Pole to pole(P-P) 단락과 MVDC 배전 스테이션 내부 Arm 단락 및 내부 변압기 2차측 3상 단락 사고를 상정한다.

도 6은 ±35kV MVDC 실증시스템의 고장상태를 설명하기 위한 도면이다.

도 6을 참조하면, P-P 사고가 MVDC 배전선로측에서 발생하고, 3상 단락사고가 MVDC 배전 스테이션 내부에서 발생하며, Arm 단락사고가 MVDC 배전 스테이션 내부에서 발생하는 경우를 상정한다.

상기에서 제시한 사고 조건과는 다른 사고 조건에 대해서는 보호협조기기가 동작하기 위한 최소동작 요구치를 상회하지 않기 때문에 본 발명에서는 고려하지 않는다.

한편, ±35kV MVDC 실증 배전망의 보호협조기기 간 운용특성을 평가하기 위하여, 상기한 시뮬레이션 조건과 정정치 계산식에 따라, 배전용 변전소의 보호협조기기(D/L GIS #1, D/L GIS #2)와 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기(CB #1, CB #2)의 과전류계전기(OCR : Over Current Relay) 및 지락과전류계전기(OCGR : Over Current Ground Relay)에 대한 정정치를 산정하면 표 2과 같다.

표 2는 작동 시나리오가 있는 보호협조기기의 값 설정을 나타낸다.

[표 2]

items	CT ratio	OCR			OCGR		
		time delay tap	instantaneous tap	lever	time delay tap	instantaneous tap	lever
D/L GIS	600/5	4.7	46	3.7	0.9	30.8	4.5
Case I	1,200/5	4.7	23	2.3	0.9	15.4	4.4
Case II	1,000/5	10.6	15.1	F: 0.24 D: 0.26	1.2	-	F: 0.24 D: 0.26
Case III	1,200/5	4.7	27.8	1.4	0.9	9.5	1.7

한편, MVDC 실증 배전망의 상정 사고 모의조건을 바탕으로 PSCAD/EMTDC에 의한 사고특성을 나타내면 표 3과 같

다.

표 3은 사고 시나리오가 있는 사고 전류 특성을 나타낸다.

[표 3]

fault type	measurement point	voltage[kV]	fault current[kA]
pole to pole short circuit in MVDC line (A)	D/L #1	6.99	2.05
	D/L #2	7.00	1.54
	MMC #1	6.68	1.91
	MMC #2	5.41	1.54
	MVDC line	±0.69	±14.92
	PV system	6.96	0.44
3-phase short circuit in converter station transformer (B)	D/L #1	4.56	3.12
	D/L #2	4.53	1.89
	MMC #1	4.09	2.95
	MMC #2	2.61	1.88
	MVDC line	±34.38	±0.27
	PV system	4.48	0.46
Arm short circuit in MVDC station valves (C)	D/L #1	8.26	1.68
	D/L #2	8.17	1.32
	MMC #1	7.90	1.63
	MMC #2	6.84	1.31
	MVDC line	+1.04/-35.21	±0.53
	PV system	8.16	0.43

먼저, MVDC 배전선로측에서 P-P 사고가 발생할 경우, 배전용 변전소와 MVDC 배전 스테이션의 전압이 40.9% ~ 53.0%까지 큰 폭으로 감소하여, 동일 बैं크 타선로의 수용가에게 저전압의 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 이때, 사고가 발생한 MVDC 배전선로의 전압은 0%까지 감소하며, 사고전류는 정격의 약 35배 정도인 최대 ± 14.92[kA]가 발생하여, 사고전류를 제한하는 한류기 또는 충분한 단락용량을 가지는 보호협조기기가 필요함을 알 수 있다.

한편, MVDC 배전 스테이션 내부에서 3상 단락사고가 발생하는 경우, 배전용 변전소측의 공급전압이 최대 65.6%까지 감소하며, MVDC 배전 스테이션측은 최대 80.2%의 전압강하와 정격의 약 4배인 2.95[kA]의 사고전류가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

또한, MVDC 배전 스테이션 내부에서 Arm 단락사고가 발생할 경우, 배전용 변전소측의 공급전압이 최대 48.2%까지 감소되어 동일 बैं크 타선로의 수용가에게 저전압의 영향을 줄 수 있으며, 배전용 변전소측에서 공급되는 사고전류는 정격의 약 2.2배인 1.63[kA]가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 이때, MVDC 배전선로에서는 사고가 발생한 극의 전압이 거의 0%까지 감소하여 안정적인 전력공급이 어려움을 알 수 있다.

- Off-DAS에 의한 보호협조 특성(Case I)

본 발명에서는 상기한 상정 사고별 사고특성 해석결과를 바탕으로 한전의 보호협조 해석 프로그램인 Off-DAS를 이용하여, 해당 사고에 대한 보호협조기기 동작특성을 평가한다.

Case I 정정 시나리오에 대하여, MVDC 배전선로측에서 P-P 사고가 발생하는 경우, 배전용 변전소측과 MVDC 배전 스테이션용 보호협조기기 동작특성을 나타내면 도 7과 도 8과 같다.

도 7은 배전용 변전소 내 보호협조기기의 작동 특성을 나타낸 그래프이다. 특히, 도 7에서 (a)와 (b)는 각각 D/L #1과 D/L #2의 차단기(CB) 동작특성을 나타낸다.

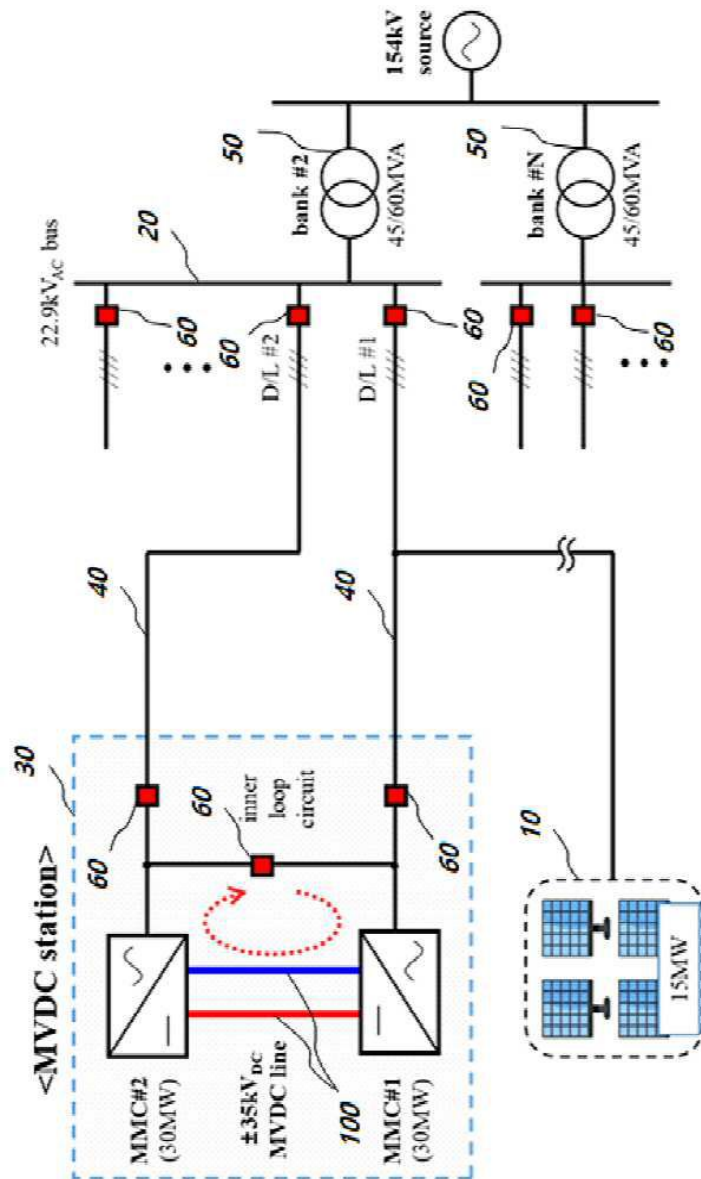
도 7을 참조하면, D/L #1 차단기에서는 2.07[kA]의 사고전류가 발생하여, 100.3 사이클의 동작시간이 산정되고, D/L #2 차단기에서는 1.54[kA]의 사고전류에 의하여, 168.9 사이클의 동작시간이 산정됨을 알 수 있다.

도 8은 MVDC 배전 스테이션 내 보호협조기기의 작동 특성을 나타낸 그래프이다. 특히, 도 8에서 (a)와 (b)는 각각 MMC #1과 MMC #2의 차단기(CB) 동작특성을 나타낸다.

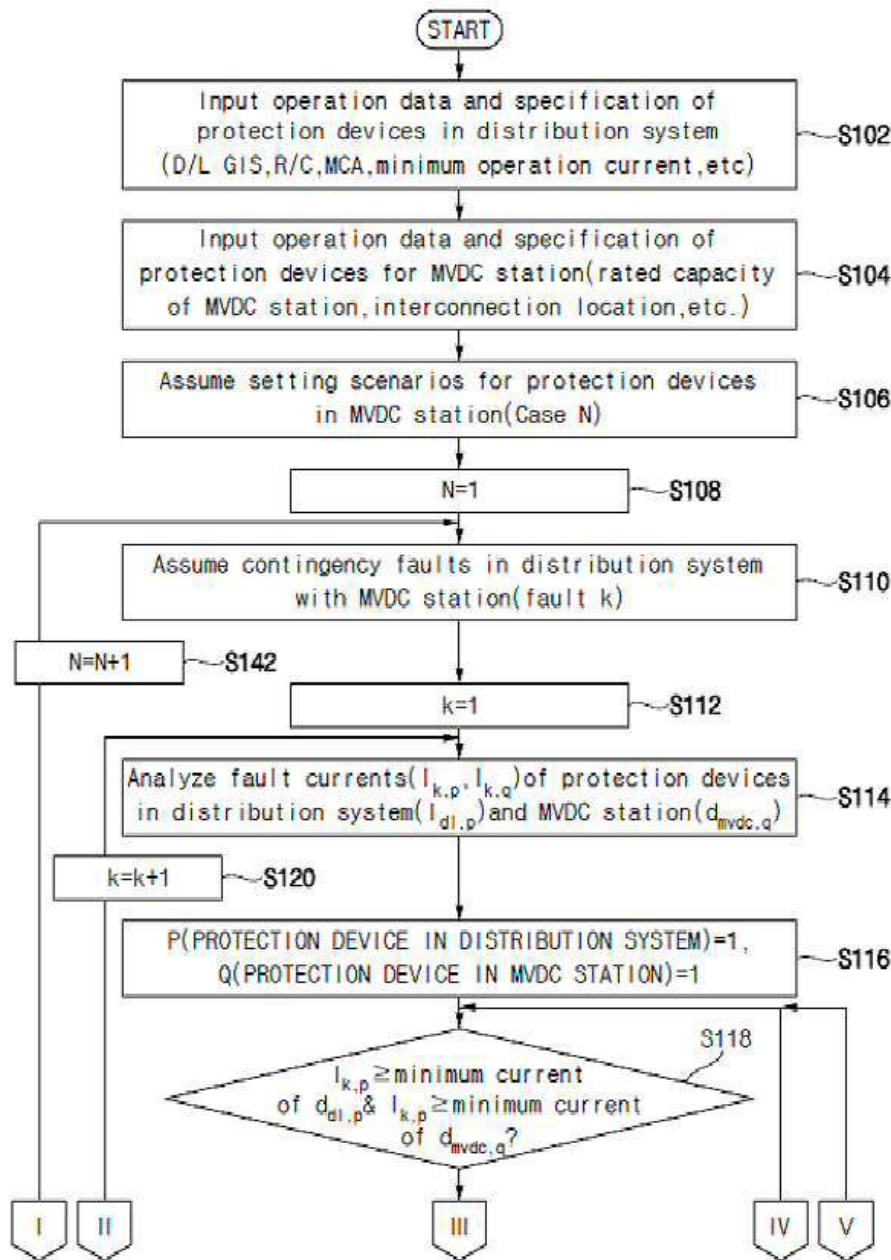
도 8을 참조하면, MMC #1 차단기에서는 1.92[kA]의 사고전류에 의하여 315.9 사이클의 동작시간이 산정되고,

도면

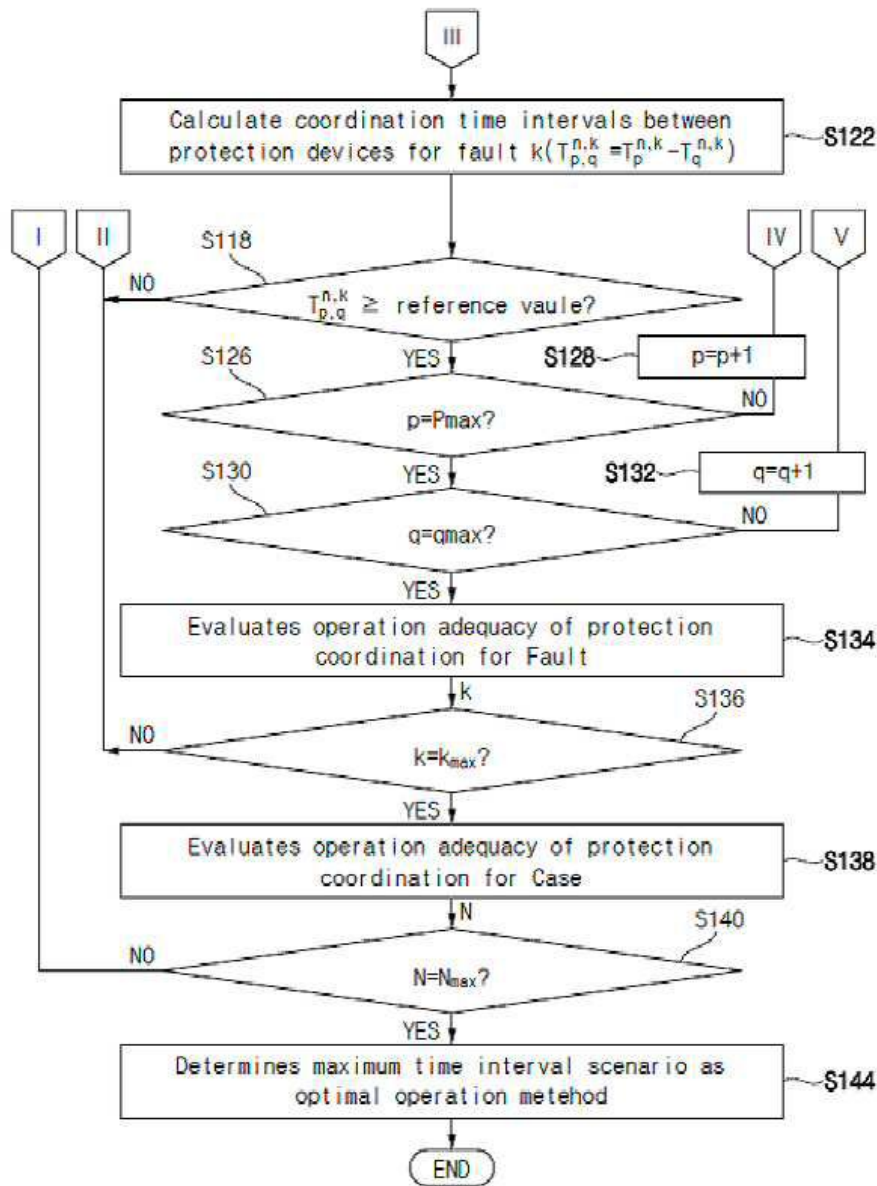
도면1



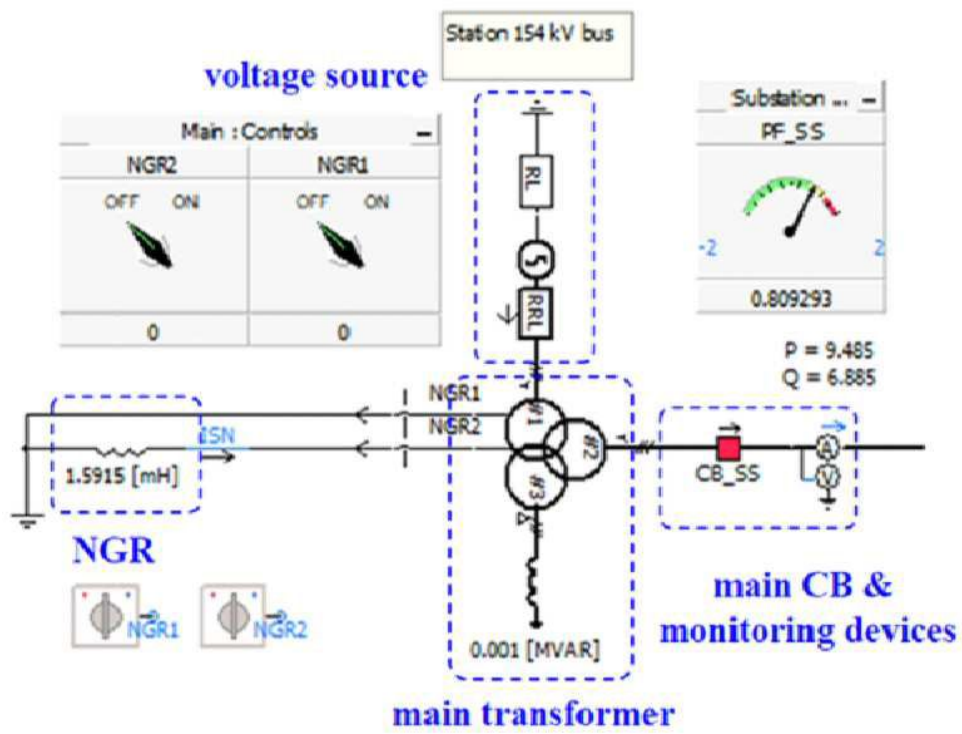
도면2a



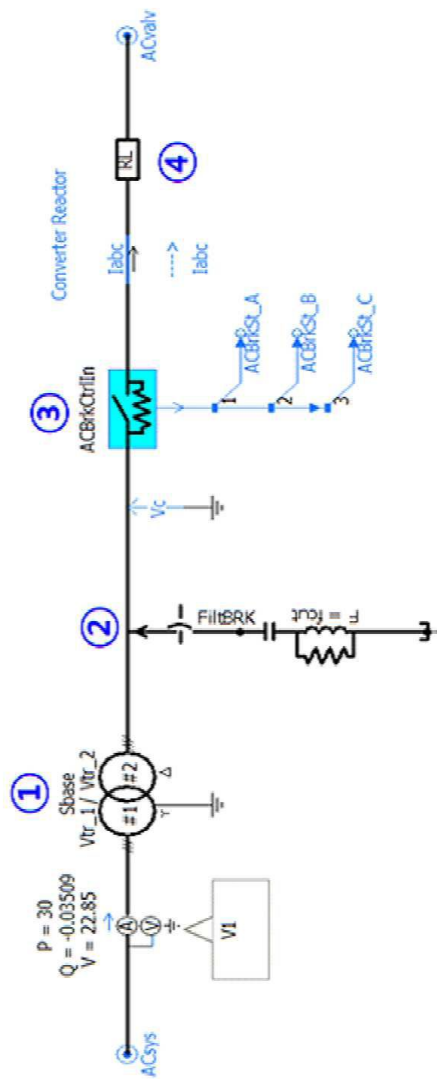
도면2b



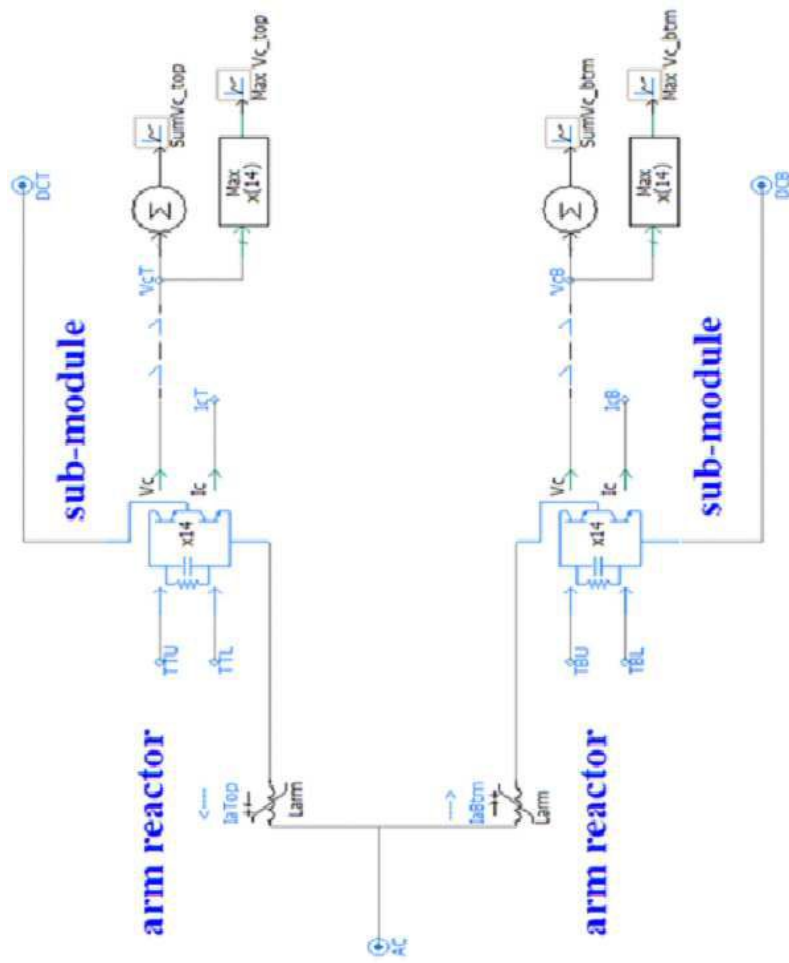
도면3



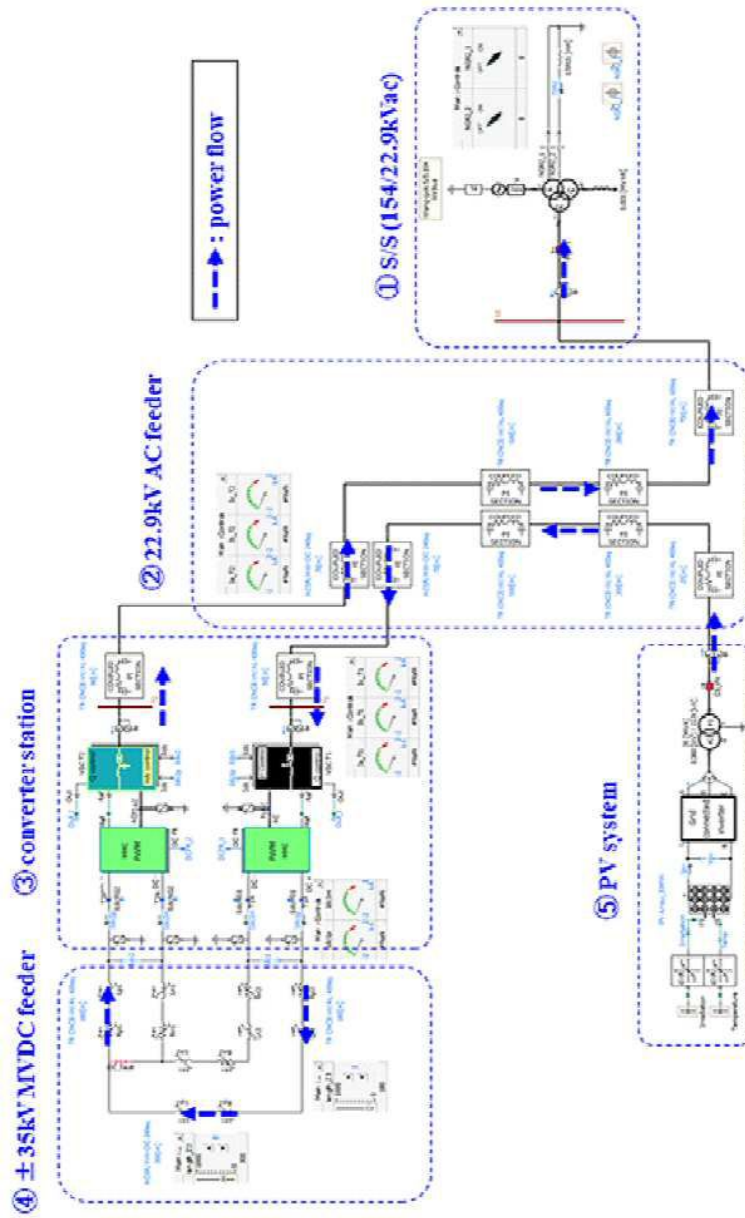
도면4a



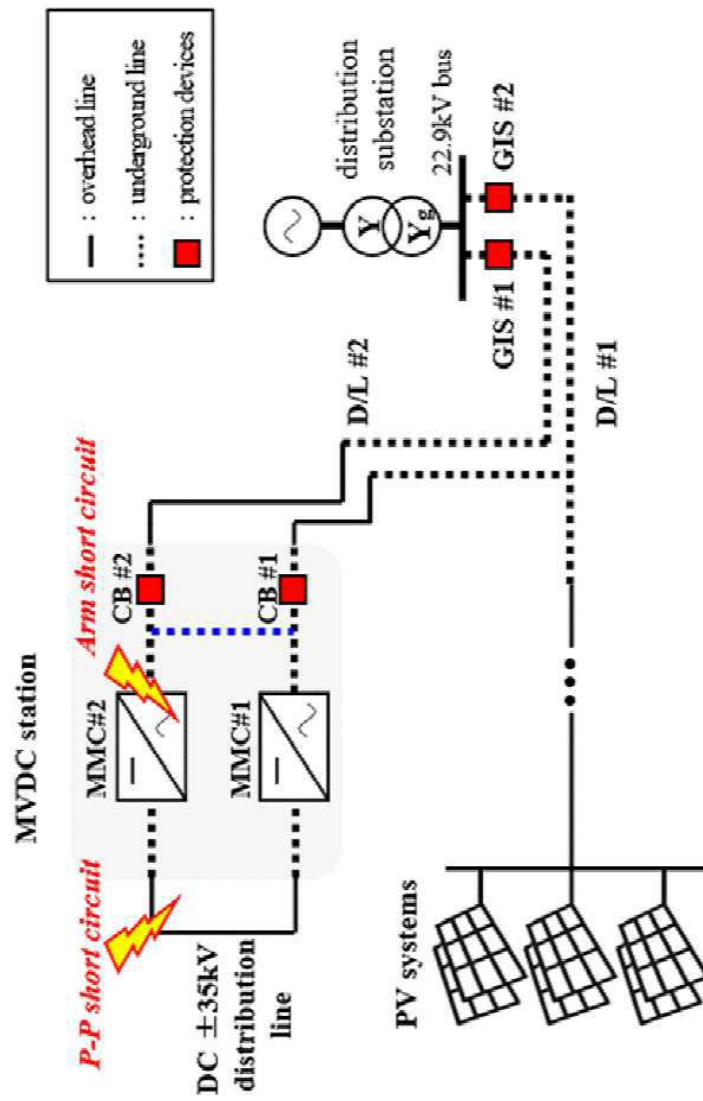
도면4b



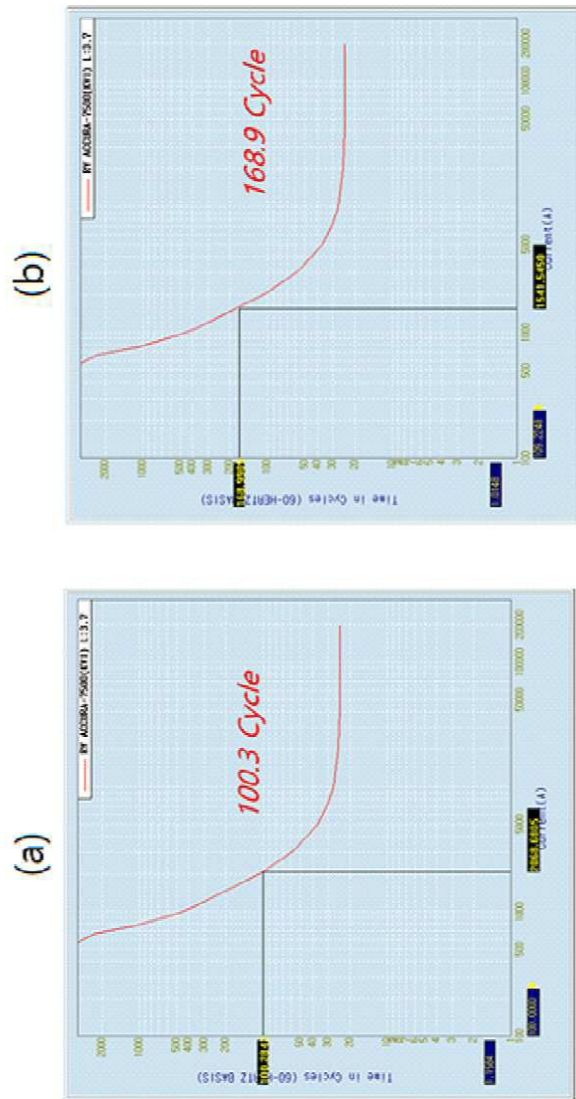
도면5



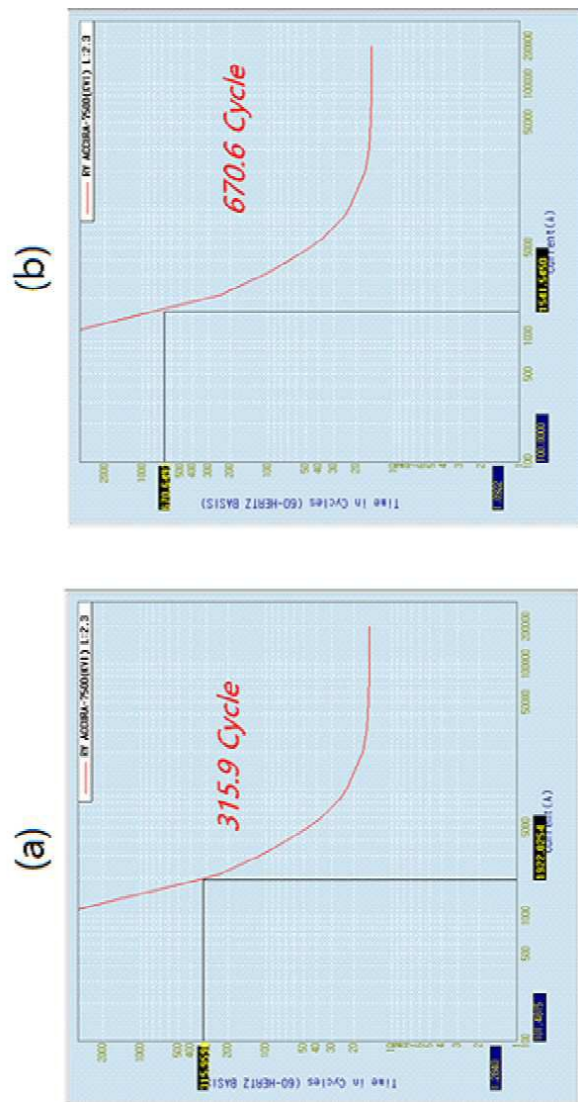
도면6



도면7



도면8



임시명세서(첨부)



아이콘을 더블 클릭하시면 임시명세서 파일이 열립니다.

본 공보 PDF는 첨부파일을 가지고 있습니다. Acrobat Reader PDF뷰어를 제공하지 않는 브라우저(크롬, 파이어폭스, 사파리 등)의 경우 첨부파일 열기가 제한되어 있으므로 Acrobat Reader PDF뷰어 설치 후 공보 PDF를 다운로드 받아 해당 뷰어에서 조회해주시기 바랍니다.