



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0001043
(43) 공개일자 2023년01월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02H 7/26 (2006.01) H02H 3/06 (2006.01)
H02H 3/087 (2006.01) H02H 9/02 (2006.01)
H02J 1/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H02H 7/26 (2013.01)
H02H 3/066 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0082958

(22) 출원일자 2021년06월25일

심사청구일자 2021년06월25일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

노대석

충청남도 천안시 서북구 봉서산1길 35, 111동 301호(쌍용동, 파크밸리동일하이빌)

이후동

대전광역시 대덕구 아리랑로113번안길 32, 203호(읍내동, 그린웰빙아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김민태

전체 청구항 수 : 총 5 항

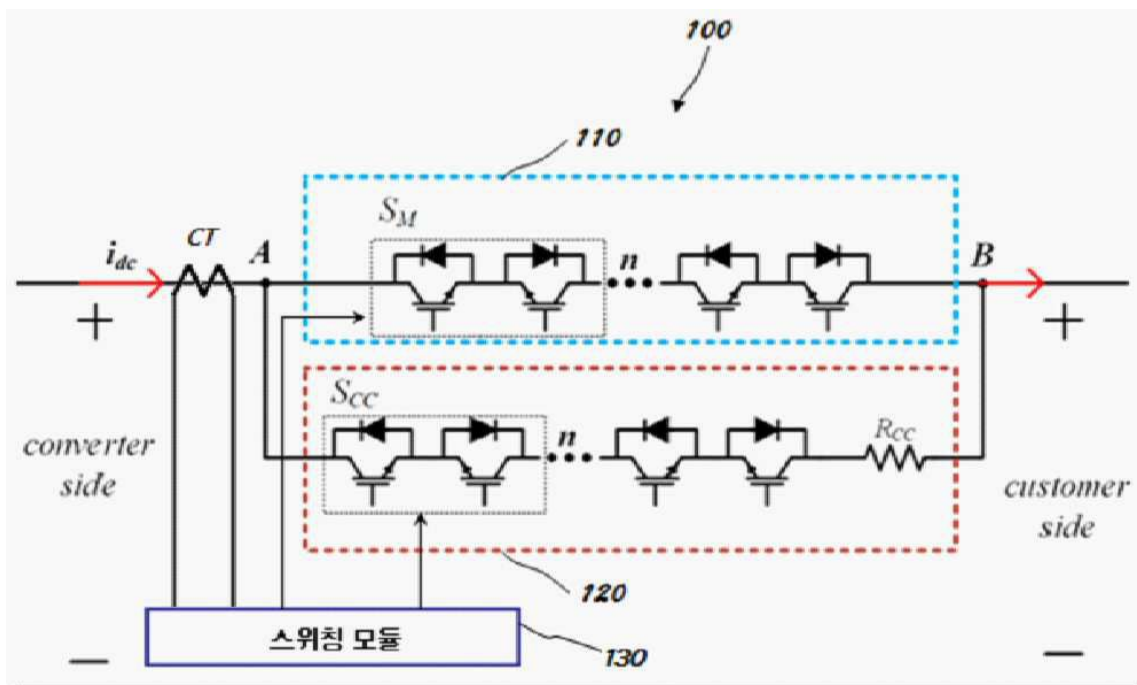
(54) 발명의 명칭 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치

(57) 요약

방사형 중압 직류송배전시스템(MVDC) 배전계통에 있어서 메인 컨버터의 탈락을 방지하기 위해 사고전류를 제한할 수 있는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치가 개시된다. 컨버터측에서 소비자측으로 인가되는 전류의 전송 경로를 제공하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치는, 메인 통전부, 전류 클램핑부 및 스

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



위칭 모듈을 포함한다. 상기 메인 통전부는 메인 컨버터와 메인 차단기 사이 또는 섹션 컨버터와 로컬 차단기 사이에 배치되고, 직렬 연결된 복수의 메인 스위치들을 포함한다. 상기 전류 클램핑부는 상기 메인 통전부에 병렬 연결되고, 직렬 연결된 복수의 전류 클램핑 스위치들과 마지막 전류 클램핑 스위치의 후단에 직렬 연결된 클램핑 저항을 포함한다. 상기 스위칭 모듈은 상기 메인 통전부에 인가되는 DC 전류가 급격히 증가하여 사고전류가 발생하는 것으로 체크되면, 상기 메인 통전부의 동작을 오프시키고 상기 전류 클램핑부의 동작을 온시켜 상기 사고전류가 상기 전류 클램핑부로 강제로 흐르게 하여 상기 사고전류를 제한한다.

(52) CPC특허분류

H02H 3/087 (2013.01)

H02H 9/02 (2013.01)

H02J 1/00 (2013.01)

신건

충청북도 음성군 원남면 마송일로 92-81

(72) 발명자

태동현

충청남도 천안시 서북구 쌍용11길 58, 303동 1107호(쌍용동, 주공7단지아파트)

한병길

경기도 성남시 분당구 서현로321번길 11 (서현동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169426
과제번호	20182410105070
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	ESS기술개발사업(R&D)
연구과제명	MW급 리튬이온전지용 ESS의 안전성 강화를 위한 설계 및 설치공정 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	세방전기(주)
연구기간	2018.10.01 ~ 2022.03.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425148541
과제번호	S2854105
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	중소기업기술혁신개발(R&D)
연구과제명	태양광 회로구성 및 리튬이온 전지를 이용한 태양광 전원 효율 향상장치 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국에너지서비스
연구기간	2020.07.23 ~ 2022.07.22

명세서

청구범위

청구항 1

컨버터측에서 소비자측으로 인가되는 전류의 전송 경로를 제공하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치에서,

메인 컨버터와 메인 차단기 사이 또는 섹션 컨버터와 로컬 차단기 사이에 배치되고, 직렬 연결된 복수의 메인 스위치들을 포함하는 메인 통전부;

상기 메인 통전부에 병렬 연결되고, 직렬 연결된 복수의 전류 클램핑 스위치들과 마지막 전류 클램핑 스위치의 후단에 직렬 연결된 클램핑 저항을 포함하는 전류 클램핑부; 및

상기 메인 통전부에 인가되는 DC 전류가 급격히 증가하여 사고전류가 발생하는 것으로 체크되면, 상기 메인 통전부의 동작을 오프시키고 상기 전류 클램핑부의 동작을 온시켜 상기 사고전류가 상기 전류 클램핑부로 강제로 흐르게 하여 상기 사고전류를 제한하는 스위칭 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 메인 스위치들 각각은,

상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제1 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터 (Insulated/Isolated Gate bi-polar Transistor, 이하 IGBT); 및

상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제2 IGBT를 포함하고,

상기 제1 IGBT 및 상기 제2 IGBT는 전류를 양방향으로 제어하기 위해 에미터가 공통 연결된 것을 특징으로 하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 전류 클램핑 스위치들 각각은,

상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제3 IGBT; 및

상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제4 IGBT를 포함하고,

상기 제3 IGBT 및 상기 제4 IGBT는 전류를 양방향으로 제어하기 위해 에미터가 공통 연결된 것을 특징으로 하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제1 내지 제4 IGBT들의 크기는 서로 동일한 것을 특징으로 하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

사고가 발생하기 전, 정상 상태의 DC 전류가 제1 전류의 값으로 흐르는 상태에서 상기 메인 스위치와 상기 전류 클램핑 스위치는 각각 턴-온 상태와 턴-오프 상태를 유지하는 초기 동작모드와,

사고가 발생하면, DC 전류는 급격하게 증가하기 시작하고 상기 메인 통전부로 흐르는 전류를 사고전류로 판단하면, 상기 전류 클램핑 스위치를 턴-온하는 보조 동작모드와,

상기 메인 스위치가 턴-오프하면, 상기 메인 통전부로 흐르는 사고전류를 상기 전류 클램핑부로 강제로 흐르게 하여 상기 사고전류를 제2 전류로 제한하는 주 동작모드와,

상기 사고전류가 감소하기 시작하여 상기 제1 전류에 근접하면, 상기 전류 클램핑 스위치를 턴-오프하고 정상상태로 복귀하는 회복 동작모드로 동작하는 것을 특징으로 하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 중압 직류송배전시스템(Medium Voltage Direct Current, 이하 MVDC)용 사고전류 클램핑 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 방사형 MVDC 배전계통에서 메인 컨버터의 탈락을 방지하기 위해 사고전류를 제한하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 중압 직류송배전시스템(Medium Voltage Direct Current, 이하 MVDC)의 배전계통은 방사형(radial), 환상형(loop), BTB(back-to-back), 다중터미널(multi-terminal) 등의 형태로 분류되며, 운영자의 필요와 목적에 따라 다양하게 구성될 수 있다. 여기서, 방사형 배전계통은 기존의 AC 배전계통과 유사하고 사고해석이 용이하여, MVDC 배전계통을 구성하는 측면에서 채택할 가능성이 높은 형태로 알려지고 있다.

[0003] 도 1은 일반적인 방사형 MVDC 배전계통의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

[0004] 도 1을 참조하면, 일반적인 방사형 MVDC 배전계통에서는 메인 컨버터(AC-DC, DC-DC)와 수 ms로 동작하는 보호기가 설치되어 운용된다. 지선에 사고가 발생하는 경우, 메인 컨버터에 흐르는 전류의 크기가 과부하 내량을 초과하여 메인 컨버터가 탈락할 가능성이 있다. 메인 컨버터에 내장된 보호기능, 즉, 하드웨어(H/W) 및 소프트웨어(S/W)은 반도체 소자들을 보호하기 위해, 센서로부터 측정된 파라미터가 보호 범위를 벗어나면 수 ms 이내에 순시적으로 동작하기 때문이다.

[0005] 따라서, MVDC 배전선로의 간선이나 지선에 설치된 보호기기들은 사고구간 판별과 보호 협조 동작을 수행할 시간적인 여유가 없게 되어, 정전구간이 확대될 가능성이 있다. 즉, MVDC 보호 협조 방식은 메인 컨버터의 민감한 동작특성으로 인해, 기존의 AC 배전계통에서 채용하고 있는 협조시간차와 T-C 곡선(반한시)을 이용한 협조방식을 동일하게 적용하기 어려운 실정이다.

[0006] 따라서, 사고전류로부터 메인 컨버터의 급격한 탈락을 방지하고, 보호기기의 협조시간차를 확보하기 위한 새로운 방식의 보호 협조 방안이 요구된다.

[0007] 도 2는 방사형 MVDC 배전계통에서의 선로사고 특성을 설명하기 위한 도면이다. 도 2에서, F1 지점의 선로사고는 메인 컨버터의 직하의 간선에서 발생한 것이고, F2는 간선의 말단에서 발생한 선로사고이고, F3와 F4는 지선의 직하와 말단에서 발생한 선로사고를 나타낸다.

[0008] 도 2를 참조하면, 방사형 MVDC 배전계통의 선로사고는 F1 지점이나 F2 지점의 간선사고와 F3 지점이나 F4 지점의 지선사고로 분류할 수 있으며, 사고지점의 위치에 따라 간선용 메인 컨버터와 지선용 섹션 컨버터, 보호기기 간의 보호 협조를 수행해야 한다.

[0009] 먼저, F1 지점에서 선로사고가 발생한 경우, 메인 컨버터가 즉시 탈락하거나 제1 메인 차단기(MVCB1) 등의 보호기기가 동작하여 MVDC 전체 계통에 정전이 발생하고, F2의 경우, 메인 컨버터가 탈락하기 전에 간선용 보호기기, 예를 들어, 제2 메인 차단기(MVCB2), 제3 메인 차단기(MVCB3) 등이 동작하여 사고구간을 분리하는 보호 협조 방안이 제시되고 있다.

[0010] 한편, F3와 F4 지점에 선로사고가 발생한 경우, 간선구간의 정전을 최소화하기 위해 메인 컨버터가 탈락하기 전에 지선용 보호기기(LVCB1)를 동작시키는 보호 협조 방안이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허 제10-1963348호(2019. 03. 22.)(DC 사고 전류 차단을 위한 선로 분산 스위칭 시스템)

(특허문헌 0002) 대한민국공개특허 제2016-0081067호(2016. 07. 08.)(저전압 직류 배전시스템 및 배전방법)

(특허문헌 0003) 대한민국등록특허 제10-1996510호(2019. 06. 28.)(DC 그리드용 고장 전류 제한기 및 그 제어방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 이에 본 발명의 기술적 과제는 이러한 점에 착안한 것으로, 본 발명의 목적은 지선에서 사고가 발생하는 경우 간선용 메인 컨버터의 급격한 탈락을 방지하기 위하여 사고전류를 제한할 수 있는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기한 본 발명의 목적을 실현하기 위하여 일실시예에 따르면, 컨버터측에서 소비자측으로 인가되는 전류의 전송 경로를 제공하는 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치는, 메인 컨버터와 메인 차단기 사이 또는 섹션 컨버터와 로컬 차단기 사이에 배치되고, 직렬 연결된 복수의 메인 스위치들을 포함하는 메인 통전부; 상기 메인 통전부에 병렬 연결되고, 직렬 연결된 복수의 전류 클램핑 스위치들과 마지막 전류 클램핑 스위치의 후단에 직렬 연결된 클램핑 저항을 포함하는 전류 클램핑부; 및 상기 메인 통전부에 인가되는 DC 전류가 급격히 증가하여 사고전류가 발생하는 것으로 체크되면, 상기 메인 통전부의 동작을 오프시키고 상기 전류 클램핑부의 동작을 온시켜 상기 사고전류가 상기 전류 클램핑부로 강제로 흐르게 하여 상기 사고전류를 제한하는 스위칭 모듈을 포함한다.

[0014] 일실시예에서, 상기 메인 스위치들 각각은, 상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제1 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(Insulated/Isolated Gate bi-polar Transistor, 이하 IGBT); 및 상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제2 IGBT를 포함하고, 상기 제1 IGBT 및 상기 제2 IGBT는 전류를 양방향으로 제어하기 위해 에미터가 공통 연결된 것을 특징으로 한다.

[0015] 일실시예에서, 상기 전류 클램핑 스위치들 각각은, 상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제3 IGBT; 및 상기 스위칭 모듈의 제어에 응답하여 턴-온 또는 턴-오프되는 제4 IGBT를 포함하고, 상기 제3 IGBT 및 상기 제4 IGBT는 전류를 양방향으로 제어하기 위해 에미터가 공통 연결된 것을 특징으로 한다.

[0016] 일실시예에서, 상기 제1 내지 제4 IGBT들의 크기는 서로 동일할 수 있다.

[0017] 일실시예에서, 상기 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치는, 사고가 발생하기 전, 정상 상태의 DC 전류가 제1 전류의 값으로 흐르는 상태에서 상기 메인 스위치와 상기 전류 클램핑 스위치는 각각 턴-온 상태와 턴-오프 상태를 유지하는 초기 동작모드와, 사고가 발생하면, DC 전류는 급격하게 증가하기 시작하고 상기 메인 통전부로 흐르는 전류를 사고전류로 판단하면, 상기 전류 클램핑 스위치를 턴-온하는 보조 동작모드와, 상기 메인 스위치가 턴-오프하면, 상기 메인 통전부로 흐르는 사고전류를 상기 전류 클램핑부로 강제로 흐르게 하여 상기 사고전류를 제2 전류로 제한하는 주 동작모드와, 상기 사고전류가 감소하기 시작하여 상기 제1 전류에 근접하면, 상기 전류 클램핑 스위치를 턴-오프하고 정상상태로 복귀하는 회복 동작모드로 동작한다.

발명의 효과

[0018] 이러한 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치에 의하면, 기기 내부의 CCR(current clamping resistor) 회로에 의해 사고전류를 제한하여 지선용 보호기기가 사고구간을 분리할 수 있는 보호 협조 시간을 확보하여, 메인 컨버터의 탈락을 방지하여 건전한 구간에 전력을 지속적으로 공급할 수 있도록 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 일반적인 방사형 MVDC 배전계통의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 방사형 MVDC 배전계통에서의 선로사고 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치를 설명하기 위한 회로도이다.

도 4는 도 3에 도시된 MVDC용 사고전류 클램핑 장치에 의한 사고전류의 제한을 설명하기 위한 그래프이다.

도 5는 도 3에 도시된 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 설치예를 설명하기 위한 구성도이다.

도 6은 MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 전압 및 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 7은 도 6에서 초기 동작 모드(모드-I)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다.

도 8은 도 6에서 보조 동작 모드(모드-II)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다.

도 9는 도 6에서 주 동작 모드(모드-III)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다.

도 10은 도 6에서 회복 동작 모드(모드-IV)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다.

도 11은 MVDC 배전선로의 간선용 메인 컨버터의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

도 12는 MVDC 배전선로의 지선용 섹션 컨버터의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

도 13은 MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

도 14는 전류 클램핑부의 전압 및 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 15는 사고전류 클램핑 장치를 포함하는 전체 계통 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

도 16은 MVDC 모델 계통을 설명하기 위한 도면이다.

도 17a, 도 17b, 도 17c 및 도 17d는 1차 피더의 메인 컨버터에서 사고전류 클램핑 장치의 특성을 설명하기 위한 그래프들이다.

도 18a, 도 18b, 도 18c 및 도 18d는 2차 피더의 섹션 컨버터에서 사고전류 클램핑 장치의 특성을 설명하기 위한 그래프들이다.

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 3은 본 발명의 일실시예에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)를 설명하기 위한 회로도이다.

[0026] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 메인 통전부(main path)(110), 전류 클램핑부(current clamping path)(120) 및 스위칭 모듈(130)을 포함하고, 컨버터측

(converter side)에서 소비자측(customer side)으로 인가되는 전류의 전송 경로를 제공한다.

- [0027] 메인 통전부(110)는 직렬 연결된 복수의 메인 스위치들(S_M)을 포함한다. 도 3에서 메인 스위치(S_M)의 수는 n 개이다. 메인 스위치들(S_M) 각각은 제1 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(Insulated/Isolated Gate bi-polar Transistor, 이하 IGBT) 및 제2 IGBT를 포함한다. 제1 IGBT 및 제2 IGBT는 높은 내압을 가지고 수 μs 이내에 빠르게 동작하는 소자인 반도체 스위치이다. 전류를 양방향으로 제어하기 위해, 제1 IGBT의 에미터 및 제2 IGBT의 에미터는 공통 연결된다.
- [0028] 전류 클램핑부(120)는 직렬 연결된 복수의 전류 클램핑 스위치들(S_{CC})와 마지막 전류 클램핑 스위치의 후단에 직렬 연결된 클램핑 저항(R_{CC})을 포함한다. 도 3에서 전류 클램핑 스위치들(S_{CC})의 수는 n 개이다. 전류 클램핑 스위치들(S_{CC}) 각각은 제3 IGBT 및 제4 IGBT를 포함한다. 제3 IGBT 및 제4 IGBT는 높은 내압을 가지고 수 μs 이내에 빠르게 동작하는 소자인 반도체 스위치이다. 전류를 양방향으로 제어하기 위해, 제3 IGBT의 에미터 및 제4 IGBT의 에미터는 공통 연결된다. 전류 클램핑 스위치들(S_{CC})은 메인 스위치들(S_M)과 동일한 형태를 갖는다. 본 실시예에서, 메인 스위치(S_M)에 구비되는 제1 IGBT 및 제2 IGBT 각각의 크기는 서로 동일하고, 전류 클램핑 스위치들(S_{CC})에 구비되는 제3 IGBT 및 제4 IGBT 각각의 크기는 서로 동일할 수 있다. 여기서, 제1 내지 제4 IGBT들의 크기는 채널폭 대 채널길이(W/L)에 의해 정의될 수 있다. 또한, 메인 스위치(S_M)에 구비되는 제1 IGBT의 크기와 전류 클램핑 스위치들(S_{CC})에 구비되는 제3 IGBT의 크기는 서로 동일할 수 있다.
- [0029] 스위칭 모듈(130)은 메인 통전부(110)에 인가되는 DC 전류가 급격히 증가하여 사고전류가 발생하는 것으로 체크되면, 메인 통전부(110)의 동작을 오프시키고 전류 클램핑부(120)의 동작을 온시킨다. 여기서, DC 전류의 변화는 변류기(CT)를 통해 감지된다.
- [0030] 도 4는 도 3에 도시된 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)에 의한 사고전류의 제한을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0031] 도 3 및 도 4를 참조하면, t_0 시간대에서 사고가 발생한 경우, MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 t_1 시간대에 동작하여 사고구간을 분리하는 t_2 시간대까지 사고전류(i_{dc})를 제한한다.
- [0032] 본 발명의 일실시예에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 방사형 MVDC 선로에서 다양한 부위에 설치되어 운용될 수 있다.
- [0033] 도 5는 도 3에 도시된 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 설치예를 설명하기 위한 구성도이다.
- [0034] 도 3 및 도 5를 참조하면, A 부분에 설치되는 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 MVDC 배전선로의 간선용으로 메인 컨버터의 직하에 적용된다. 사고가 발생하면 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 양단에 고압이 인가되기 때문에, 메인 통전부(110)와 전류 클램핑부(120)는 많은 스위치로 구성되지만, MVDC 전체 선로의 사고전류를 제한하는 기능을 가진다.
- [0035] 또한, B 부분에 설치되는 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 MVDC 배전선로의 지선(MV, LV)에 설치된 섹션 컨버터의 직하에 적용된다. 사고가 발생하면 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 양단에 상대적으로 낮은 전압이 인가되므로, 메인 통전부(110)와 전류 클램핑부(120)는 적은 개수의 스위치로 구성할 수 있지만, 섹션 컨버터의 직하마다 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)를 설치해야 한다.
- [0036] 따라서, 본 발명에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)는 방사형 MVDC 배전계통의 간선 및 지선 규모, 용량, 공급전압 등을 고려한 최적의 설계가 요구된다.
- [0037] 그러면, 이하에서, MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 동작 모드를 설명한다.
- [0038] 도 6은 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 전압 및 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이다. 도 7은 도 6에서 초기 동작 모드(모드-I)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다. 도 8은 도 6에서 보조 동작 모드(모드-II)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다. 도 9는 도 6에서 주 동작 모드(모드-III)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다. 도 10은 도 6에서 회복 동작 모드(모드-IV)의 동작을 설명하기 위한 회로도이다. 도 7 내지 도 10에서, 스위칭 모듈(130)에 대한 도시는 생략한다.
- [0039] 도 6 및 도 7을 참조하면, MVDC 배전계통에서 사고가 발생하기 전 상태인 사고전류 클램핑 장치의 초기 동작 모드(모드-I)에서 정상상태의 DC 전류는 제1 전류(i_1)의 값으로 흐른다. 이때, 메인 통전부(110)의 메인 스위치

(S_M)는 턴-온 상태이고 전류 클램핑부(120)의 전류 클램핑 스위치(S_{CC})는 턴-오프 상태이다.

[0040] 도 6 및 도 8을 참조하면, t_0 시간대에서 사고가 발생하는 상태인 사고전류 클램핑 장치의 보조 동작 모드(모드-II)에서 DC 전류는 급격하게 증가하기 시작한다. 이에 따라, 사고전류 클램핑 장치(100)가 메인 통전부(110)로 흐르는 전류를 사고전류로 판단하면, 전류 클램핑부(120)의 전류 클램핑 스위치(S_{CC})를 턴-온하게 된다.

[0041] 도 6 및 도 9를 참조하면, 메인 스위치(S_M)가 턴-오프하는 상태인 사고전류 클램핑 장치의 주 동작 모드(모드-III)에서, 메인 통전부(110)로 흐르는 사고전류는 전류 클램핑부(120)로 강제로 흐르게 된다. 즉, 도 9와 같이 메인 통전부(110)의 메인 스위치(S_M)는 턴-오프 상태이고, 전류 클램핑부(120)의 전류 클램핑 스위치(S_{CC})는 턴-온 상태가 되며, 사고전류는 사고전류 클램핑 장치(100)에 의해 제2 전류(i_2)로 제한된다. 또한, 이 모드에서는 사고전류 클램핑 장치(100)가 사고구간이 분리되는 t_2 시간대까지 동작을 유지해야 한다.

[0042] 도 6 및 도 10을 참조하면, 사고전류가 감소하기 시작하여 제1 전류(i_1)에 근접하는 상태인 사고전류 클램핑 장치의 회복 동작 모드(모드-IV)에서 전류 클램핑부(120)의 전류 클램핑 스위치(S_{CC})는 턴-오프하고 정상상태로 복귀한다.

[0043] 그러면, 이하에서, 전력계통해석 소프트웨어(PSCAD/EMTDC)를 이용한 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 모델링을 설명한다.

[0044] <간선용 메인 컨버터의 모델링>

[0045] 도 11은 MVDC 배전선로의 간선용 메인 컨버터의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다. 특히, $\pm 35\text{kV}$ 급 MVDC 배전선로의 간선용 메인 컨버터의 모델링이 도시된다.

[0046] 도 11을 참조하면, MVDC 배전선로의 간선용 메인 컨버터는 정류기용 변압기(3-winding transformer), SCR 정류기(SCR rectifier), L-C 필터(L-C filter) 등으로 구성된다.

[0047] 상기 정류기용 변압기는 3권선 Yg-Y- Δ 결선방식을 채용하여, Y측과 델타(Δ)측의 SCR 정류기의 입력은 30° 의 위상차를 갖는다. Y측과 델타(Δ)측의 SCR 정류기의 입력위상을 다르게 하므로써, AC측에 발생하는 고조파의 함유율을 저감시킬 수 있다.

[0048] 상기 SCR 정류기는 3상 AC전력을 DC전력으로 변환하기 위한 6-펄스 브리지(6-pulse bridge)의 사이리스터 소자들을 포함한다.

[0049] 상기 L-C 필터는 정류된 DC측 출력의 리플을 저감시키는 역할을 수행한다.

[0050] <지선용 섹션 컨버터의 모델링>

[0051] 도 12는 MVDC 배전선로의 지선용 섹션 컨버터의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다. 특히, $\pm 35\text{kV}$ 급 MVDC 배전계통의 지선용 섹션 컨버터의 모델링이 도시된다.

[0052] 도 12를 참조하면, $\pm 35\text{kV}$ 급 MVDC 배전계통에서 $\pm 750\text{V}$ 급 저압 직류송배전시스템(LVDC: Low Voltage Direct Current) 배전계통으로 전력을 공급하는 지선용 섹션 컨버터는 풀-브리지 형태의 IGBT 소자(full-bridge IGBT)와 전기적 절연과 강압을 위한 고주파 변압기(high frequency transformer), L-C 필터(L-C filter) 등으로 구성된다.

[0053] <MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 모델링>

[0054] 도 3의 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 구성도를 바탕으로 전력계통해석 소프트웨어(PSCAD/EMTDC)의 모델링을 수행하면 도 13과 같이 나타낼 수 있다.

[0055] 도 13은 MVDC용 사고전류 클램핑 장치(100)의 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

[0056] 도 13을 참조하면, 직렬로 연결한 반도체 스위치 모듈 개수(m)는 사고전류 클램핑 장치 전압에 스위치 내압(V_{CE})과 스위치 내압의 사용률(k)을 나눈 값으로 산정하며, 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

[0057]
$$m = \left\lceil \frac{V_{FCCD}}{2kV_{CE}} \right\rceil \quad (1)$$

[0058] (여기서, m : 반도체 스위치 모듈 개수, V_{FCC} : 사고전류 클램핑 장치 양단 전압[kV], I : IGBT 내압 사용률, V_{α} : IGBT의 컬렉터-에미터 내압[kV])

[0059] 한편, 클램핑 저항(R_{CC})의 용량을 산정하기 위한 제한전류(I_{CC})는 MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 1차측에 연결되는 컨버터(간선용, 지선용)의 과부하 내량에 전류 제한비(α)를 곱한 값보다 작아지도록 산정하며, 수식 (2)과 같이 나타낼 수 있다. 따라서, 클램핑 저항(R_{CC})의 용량은 컨버터의 제한전류에 사고전류 제한장치의 1차측 전압을 나눈 값으로 산정하며, 수식 (3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{CC} \leq \alpha I_{dcoc} = \alpha \frac{P_{con}}{V_{pri}} \quad (2)$$

$$R_{CC} = \frac{I_{CC}}{V_{pri}} \quad (3)$$

[0062] (여기서, I_{CC} : 제한 전류[A], α : 전류 제한비, I_{dcoc} : 간선용, 지선용 컨버터의 과부하 내량[A], P_{con} : 간선용, 지선용 컨버터의 용량[MW], V_{pri} : 사고전류 제한장치의 1차측 전압[kV])

[0063] 한편, 클램핑 저항(R_{CC})의 에너지를 산정하기 위하여 전류 클램핑부의 전압 및 전류 특성을 나타내면 도 14와 같다.

[0064] 도 14는 전류 클램핑부의 전압 및 전류 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

[0065] 도 14를 참조하면, 클램핑 저항(R_{CC})의 전압 $v_{ccs}(t)$ 는 선로 임피던스를 고려하고, 클램핑 저항(R_{CC})에 전압이 인가되는 지속시간(t_{FCC})은 간선 및 지선에 설치된 차단기(MVCB, LVCB)의 보호 협조시간(t_{CB})보다 큰 값이어야 하며, 수식 (4)과 같이 나타낼 수 있다. 따라서, 클램핑 저항(R_{CC})의 에너지는 수식 (4)의 지속시간 동안 클램핑 저항(R_{CC})의 전압과 전류의 곱을 적분하여 산정하며, 수식 (5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{FCC} = t_2 - t_1 \geq t_{CB} \quad (4)$$

$$E_{recmin} = \int_0^{t_{FCC}} v_{ccs}(t) \times i_{dc}(t) dt \quad (5)$$

[0068] (여기서, t_{FCC} : 클램핑 저항에 전압이 인가되는 시간[ms], t_{CB} : 차단기(MVCB, LVCB)간의 보호 협조시간[ms], E_{recmin} : 클램핑 저항의 에너지[J], $v_{ccs}(t)$: 클램핑부에 인가되는 전압[kV], $i_{dc}(t)$: 정상상태 DC 전류[A])

[0069] 예를 들어, 상기한 수식 (1) 내지 수식 (5)를 바탕으로 ± 35 kV급 MVDC 배전선로에서 사고전류 클램핑 장치의 구성은 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0070] 표 1은 설치조건에 따른 사고전류 클램핑 장치의 구성을 나타낸다.

[0071] [표 1]

items		contents
main converter	rated voltage	70[kV]
	No. of switch modules	9 units
	energy of CCR	2.2[MJ]
section converter	rated voltage	1.5[kV]
	No. of switch modules	1 units
	energy of CCR	87.4[kJ]

[0072]

[0073] 표 1에서와 같이, 사고전류 클램핑 장치가 간선용 메인 컨버터의 직하에 설치되는 경우, 9개의 스위치 모듈과 2.2[MJ]의 CCR(current clamping resistor) 에너지가 산정되고, 지선용 섹션 컨버터의 직하에 설치되는 경우, 1개의 스위치 모듈과 87.4[kJ]의 CCR 에너지가 산정됨을 확인할 수 있다.

[0074] 따라서, 방사형 MVDC 배전계통의 운용방안에 따라, 사고전류 클램핑 장치를 구성하는 스위치의 모듈의 개수와

CCR의 용량에 대한 최적 설계가 요구된다.

[0075] 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로, 사고전류 클램핑 장치의 성능을 평가하기 위한 전체 계통 모델링은 도 15와 같다.

[0076] 도 15는 사고전류 클램핑 장치를 포함하는 전체 계통 모델링을 설명하기 위한 개념도이다.

[0077] 도 15를 참조하면, 사고전류 클램핑 장치를 포함하는 전체 계통 모델링은 DC 전압원, 사고전류 클램핑 장치, 선로 임피던스 및 저항부하로 구성한다. 여기서, DC전압은 MVDC 배전계통의 전압을 양극성(bi-pole) 및 비접지 방식으로 고려하여 70kV(± 35 kV)로 상정한다.

[0078] 이하에서, 시뮬레이션 결과 및 분석을 설명한다.

[0079] 본 발명에 따른 MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 동작 특성을 분석하기 위한 시뮬레이션 조건은 도 16과 표 2와 같이 나타낼 수 있다.

[0080] 도 16은 MVDC 모델 계통을 설명하기 위한 도면이다.

[0081] 도 16을 참조하면, MVDC 배전선로의 구간은 각각 0~10[km], 10~20[km]로 상정하고, 지선용 섹션 컨버터가 각 구간의 중간지점에 설치되어 저압 직류송배전시스템(LVDC: Low Voltage Direct Current)으로 변환하고, 사고전류 클램핑 장치는 메인 컨버터의 직하인 A부분 또는 섹션 컨버터의 직하인 B부분 각각에 설치한다.

[0082] 표 2는 시뮬레이션 조건을 나타낸다.

[0083] [표 2]

items			contents
main converter	rated capacity (P_{main})		24[MW]
	rated voltage(V_{main}) and current(I_{main})		70[kV], 342[A]
	margin capacity ($I_{main.oc}$)		300% ($I_{main.oc}$: 1.026[A])
section converter	rated capacity (P_{sec})		1[MW]
	rated voltage(V_{sec}) and current(I_{sec})		1.5[kV], 667[A]
	margin capacity ($I_{sec.oc}$)		300% ($I_{sec.oc}$: 2,000[A])
semiconductor switch	type		IGBT
	insulation voltage		6.5[kV]
	load factor of insulation voltage(k)		60[%]
fault current clamping device	main converter	No. of switch modules	9 units
		current limit ratio (α_{main})	0.67
		CCR	48[Ω]
	section converter	No. of switch modules	1 unit
		current limit ratio (α_{sec})	0.67
		CCR	0.52[Ω]
protection devices	operation time interval		CB 1: 10ms
			CB 2: 10ms
line impedance	type		ACSR 160mm ² (R:0.182[Ω /km], L:1.04[mH/km])
	length		20[km]

[0084]

[0085] 표 2와 같이 간선용 메인 컨버터의 용량과 공급전압은 24[MW], 70[kV](± 35 [kV])이고, 지선용 섹션 컨버터의 용량과 전압은 1[MW], 1.5[kV](± 750 [V])로 상정하고, 메인 및 섹션 컨버터의 과부하내량은 300[%]로 상정한다.

[0086] 또한, 사고전류 클램핑 장치에 사용하는 IGBT의 내압과 사용률은 6.5[kV], 60[%]로 상정하며, 메인 및 섹션 컨버터의 직하용 CCR(current clamping resistor)은 각각 46[Ω], 0.56[Ω]이고, 보호기기의 차단동작 시간은

10ms로 설정한다.

- [0087] 한편, MVDC 배전선로의 총 공장(송배전선로의 길이)은 20[km]이고, 선종(선로의 종류)은 AC 배전선로와 동일한 ACSR 160mm²를 상정한다.
- [0088] <메인 컨버터용 사고전류 클램핑 장치의 운용특성>
- [0089] 표 2의 시뮬레이션 조건에 따라, 간선용 컨버터의 직하에 사고가 발생한 경우에 대하여, MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 동작 특성을 나타내면 도 17a, 도 17b, 도 17c 및 도 17d와 같다.
- [0090] 도 17a, 도 17b, 도 17c 및 도 17d는 1차 피더의 메인 컨버터에서 사고전류 클램핑 장치의 특성을 설명하기 위한 그래프들이다. 특히, 도 17a는 사고전류 클램핑 장치의 게이트 신호이고, 도 17b는 사고전류와 클램핑부의 전류이며, 도 17c는 사고전류 클램핑 장치 양단 및 수용가 측에 인가되는 전압이고, 도 17d는 클램핑 저항의 에너지 특성이다.
- [0091] 도 17b와 같이, 섹션 컨버터의 직하에서 P-N 사고가 발생하는 경우, 사고전류는 사고전류 클램핑 장치의 스위칭 동작에 의하여 673[A]로 제한되는 것을 확인할 수 있다. 여기서, P-N 사고는 R상, S상, T상 중 어느 하나의 선로와 N상의 선로가 접촉되어 발생하는 사고를 의미한다.
- [0092] 도 17d와 같이 사고전류 클램핑 장치가 동작하는 동안, CCR(current clamping resistor)에서 누적된 에너지는 약 2.2[MJ]로 산정된다.
- [0093] 따라서, 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치를 간선용 메인 컨버터의 직하에 설치하면, 해당 지선의 보호기기가 동작할 수 있는 시간을 확보할 수 있어, 메인 컨버터의 탈락을 방지할 수 있고, 사고구간을 분리할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0094] <구간컨버터용 사고전류 클램핑 장치의 운용특성>
- [0095] 표 2의 시뮬레이션 조건에 따라, 지선용 컨버터의 직하에 사고가 발생한 경우에 대하여, MVDC용 사고전류 클램핑 장치의 동작 특성을 나타내면 도 18a, 도 18b, 도 18c 및 도 18d와 같다.
- [0096] 도 18a, 도 18b, 도 18c 및 도 18d는 2차 피더의 섹션 컨버터에서 사고전류 클램핑 장치의 특성을 설명하기 위한 그래프들이다. 특히, 도 18a는 사고전류 클램핑 장치의 게이트 신호이고, 도 18b는 사고전류와 클램핑부의 전류이며, 도 18c는 사고전류 클램핑 장치 양단 및 수용가 측에 인가되는 전압이고, 도 18d는 클램핑 저항의 에너지 특성을 나타낸 것이다.
- [0097] 도 18b와 같이 섹션 컨버터의 직하에서 P-N 사고가 발생하는 경우, 사고전류는 사고전류 클램핑 장치의 스위칭 동작에 의하여 1,297[A]로 제한되는 것을 확인할 수 있다.
- [0098] 도 18d와 같이 사고전류 클램핑 장치가 동작하는 동안, CCR(current clamping resistor)에서 누적된 에너지는 약 87.4[kJ]로 산정된다.
- [0099] 따라서, 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치를 지선용 섹션 컨버터의 직하에 설치하면, 해당 지선에 사고가 발생하는 경우, 메인 컨버터의 탈락을 방지하여 건전구간에 전원을 공급할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0100] 이상에서 설명된 바와 같이, 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치의 모델링을 바탕으로 동작 특성을 분석한 결과, 메인 컨버터가 수 μ s 이내에 빠르게 동작하는 소자인 반도체 스위치로부터 과부하 내량을 초과하여 탈락하기 전에, 사고전류를 신속하게 제한하여 메인 컨버터의 탈락을 방지할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0101] 또한 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치가 간선용 메인 컨버터의 직하에 설치되어 운용되는 경우, 섹션 컨버터의 직하에서 P-N 사고가 발생하면, 사고전류 클램핑 장치의 스위칭 동작에 의하여 사고전류는 673[A]로 제한되고, CCR(current clamping resistor)에서 누적된 에너지는 약 2.2[MJ]로 산정된다. 따라서, 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치는 사고가 발생한 지선에서 보호기기의 동작할 수 있는 시간을 확보할 수 있어, 메인 컨버터의 탈락을 방지할 수 있고, 사고구간을 분리할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0102] 또한 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치가 지선용 섹션 컨버터의 직하에 설치되어 운용되는 경우, 해당 지선에 P-N 사고가 발생하면, 사고전류는 사고전류 클램핑 장치의 스위칭 동작에 의하여 1,297[A]로 제한되고, CCR(current clamping resistor)에서 누적된 에너지는 약 87.4[kJ]로 산정된다. 따라서, 본 발명에 따른 사고전류 클램핑 장치는 메인 컨버터의 탈락을 방지하여 건전구간에 전원을 공급할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0103] 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

[0104] 100 : 중압 직류송배전시스템용 사고전류 클램핑 장치

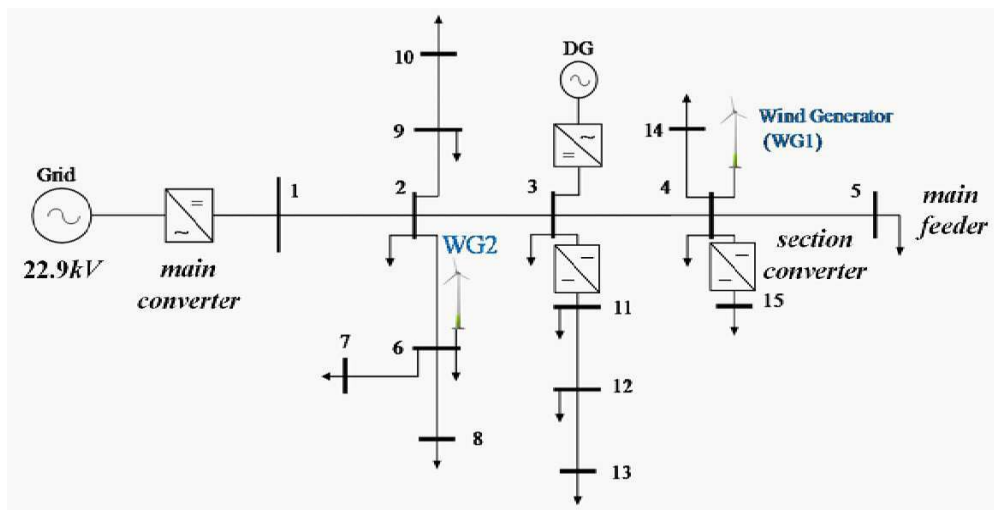
110 : 메인 통전부 120 : 전류 클램핑부

S_M : 메인 스위치들 S_{CC} : 전류 클램핑 스위치들

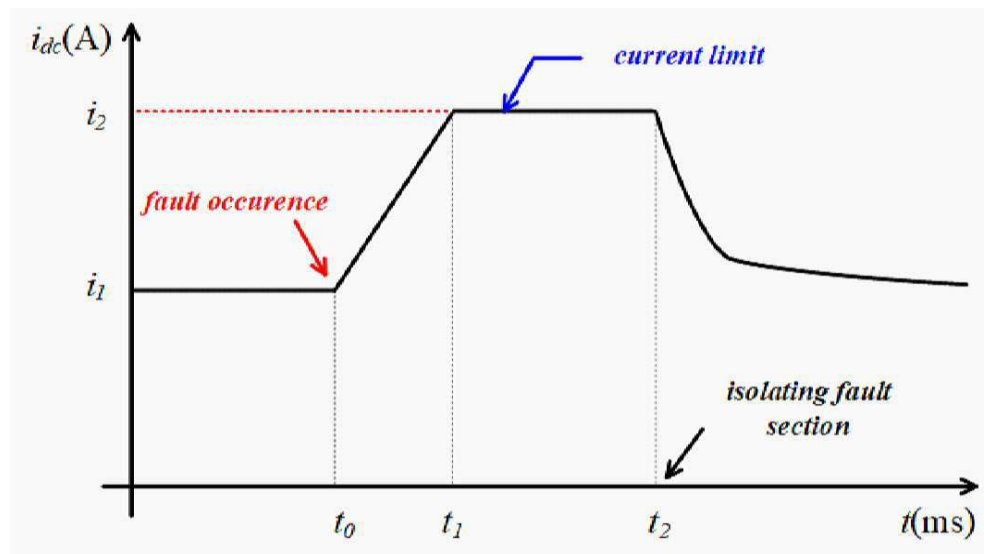
 R_{CC} : 클램핑 저항

도면

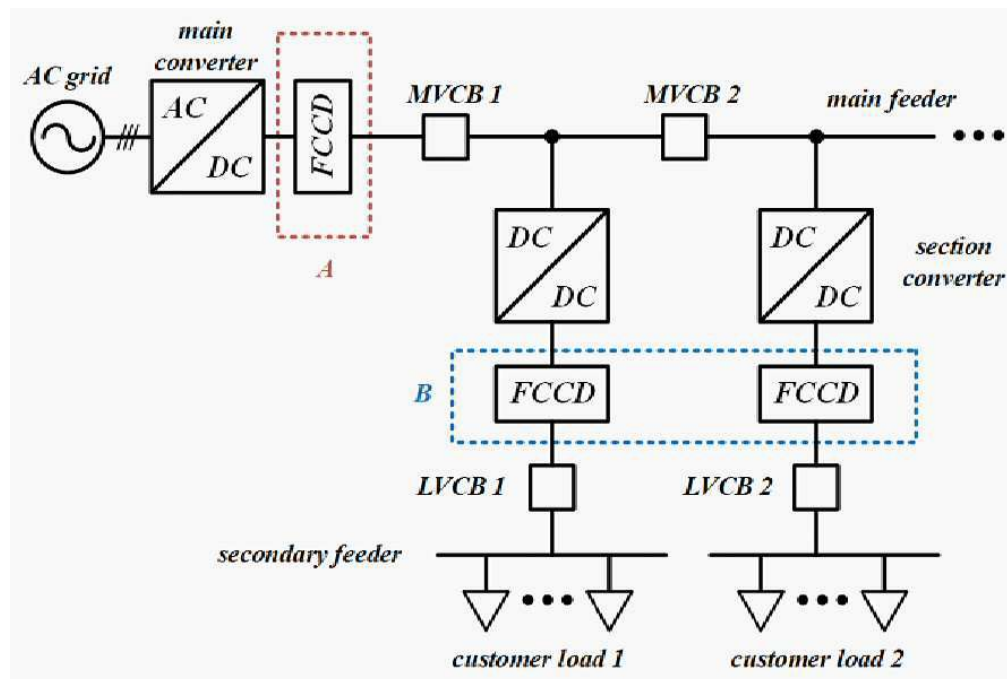
도면1



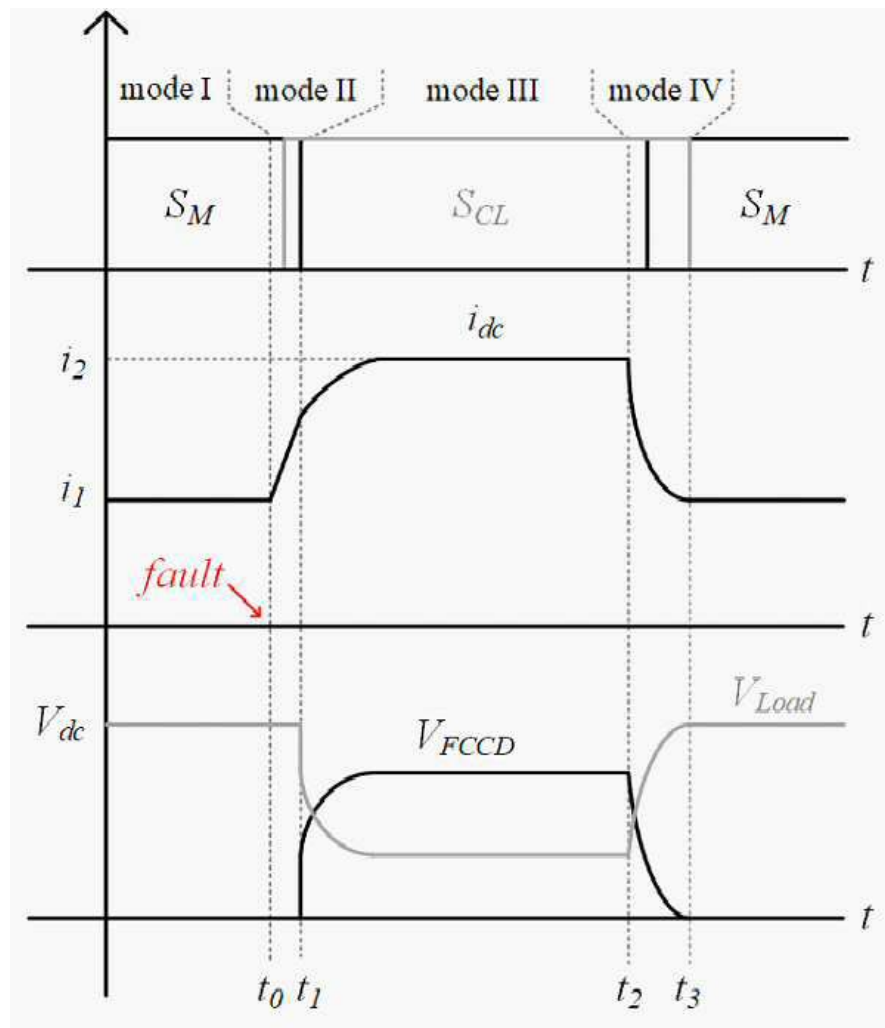
도면4



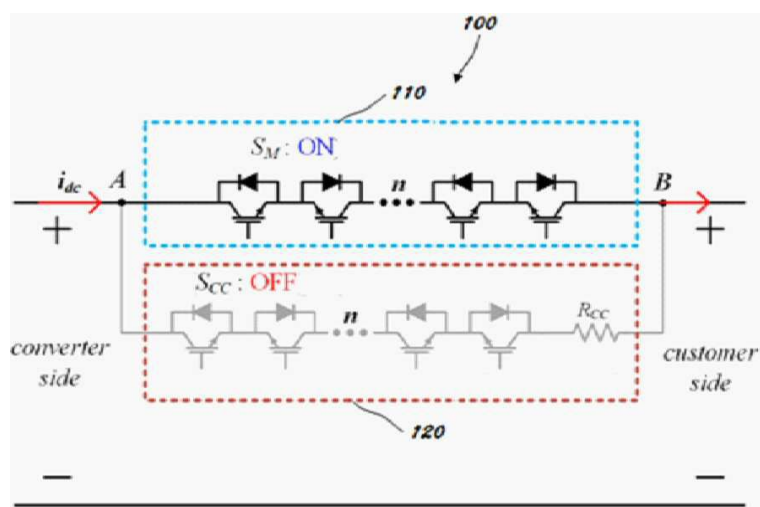
도면5



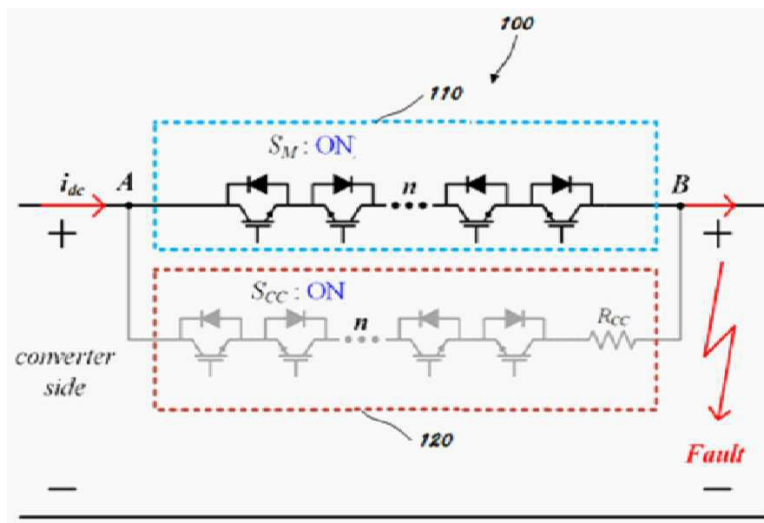
도면6



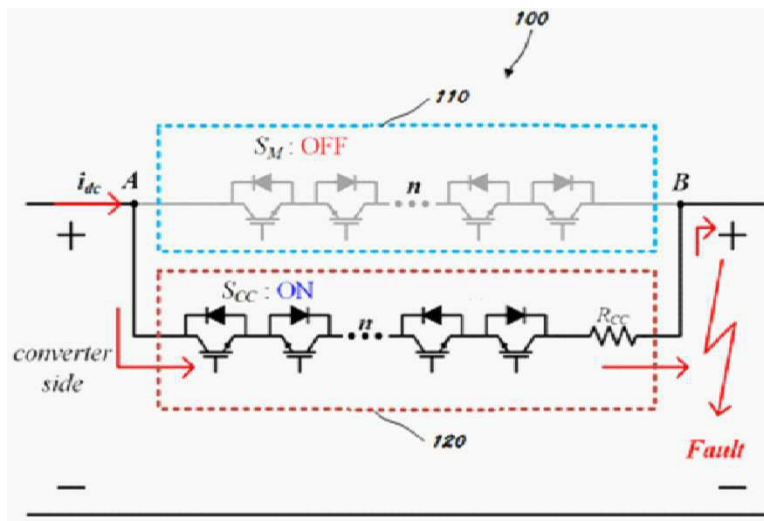
도면7



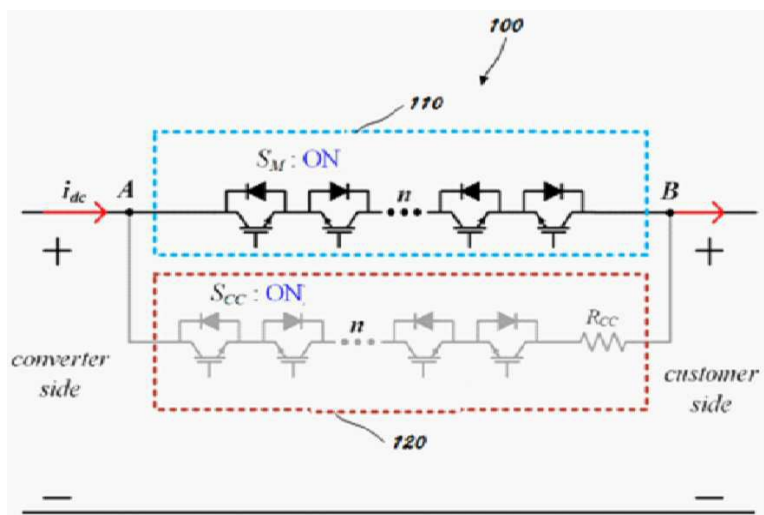
도면8



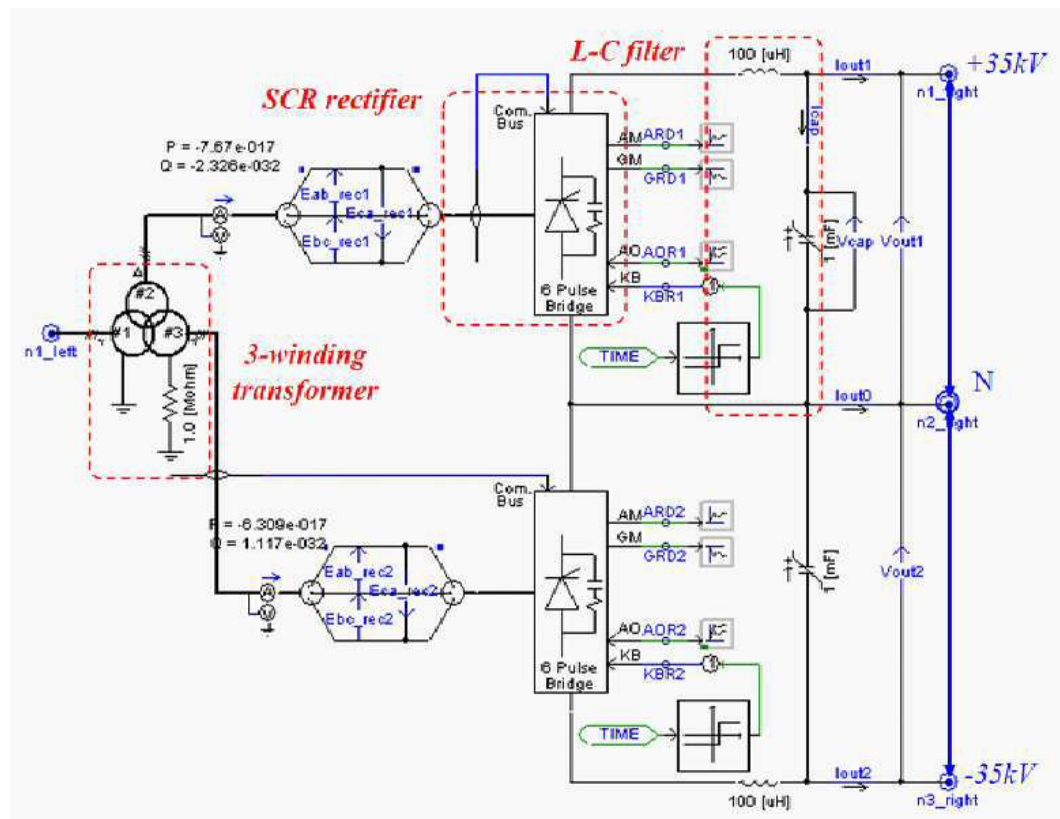
도면9



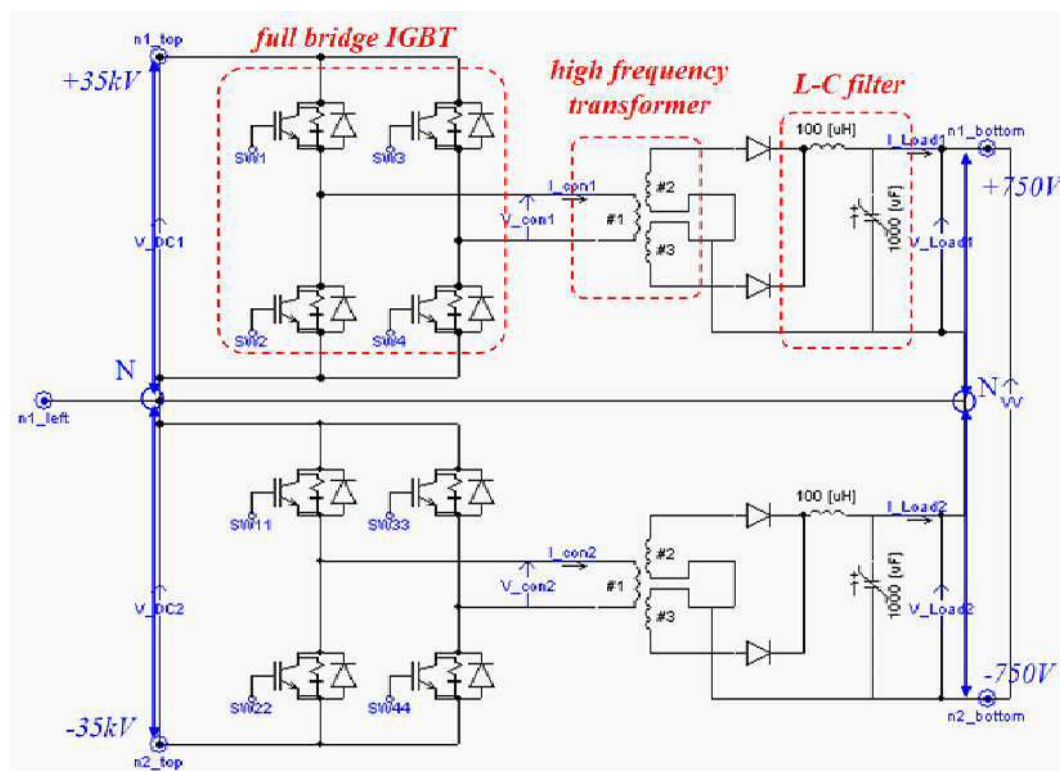
도면10



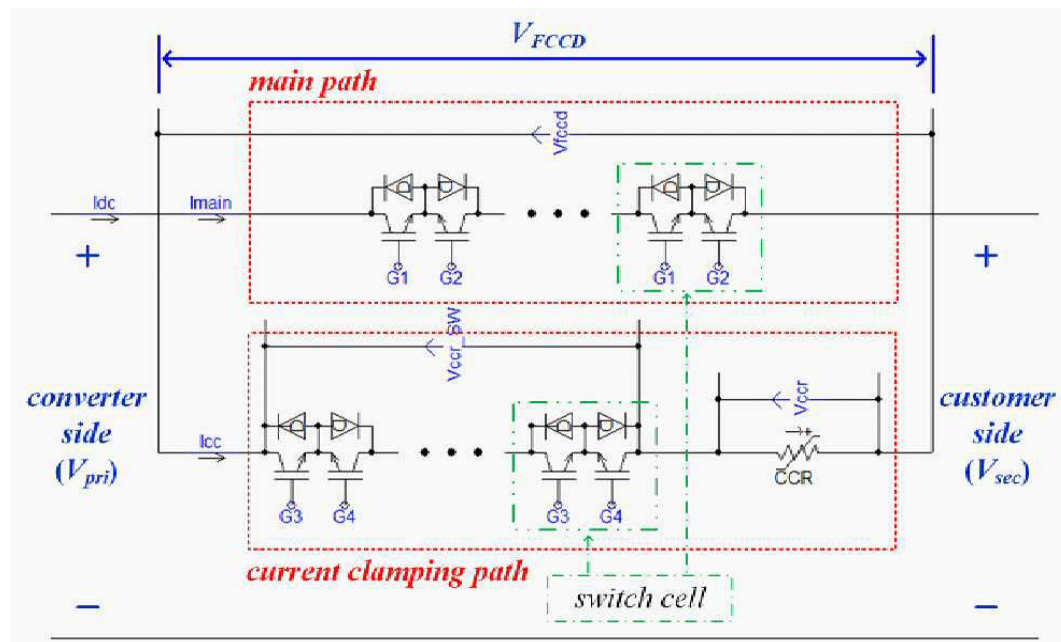
도면11



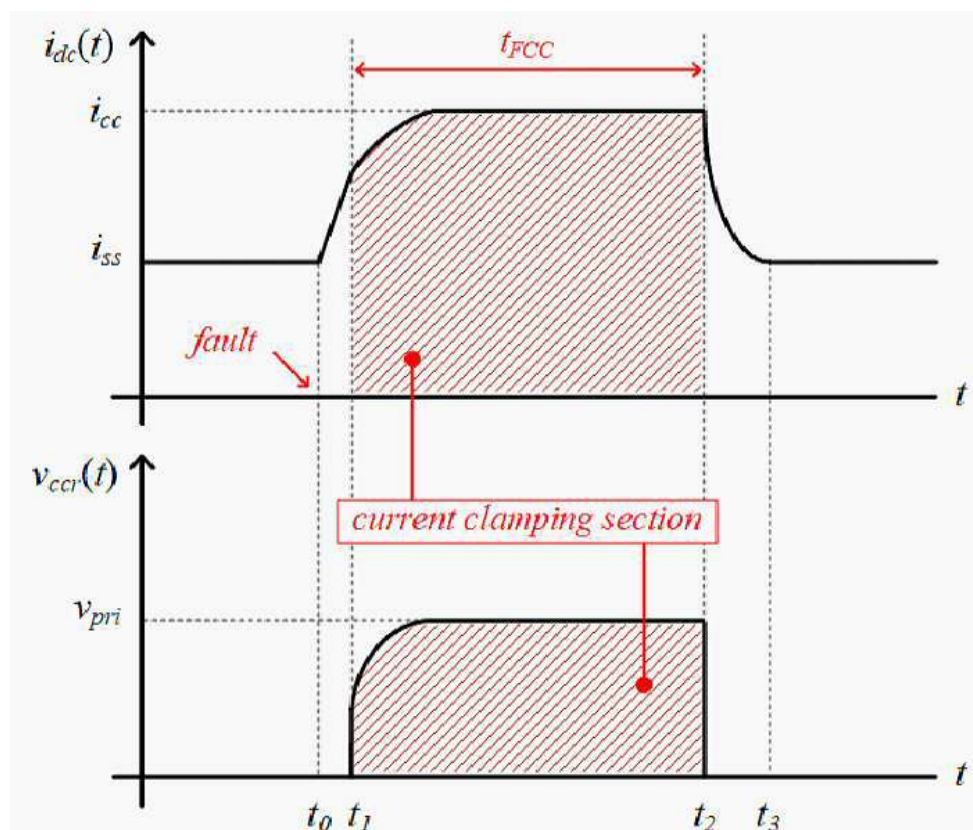
도면12



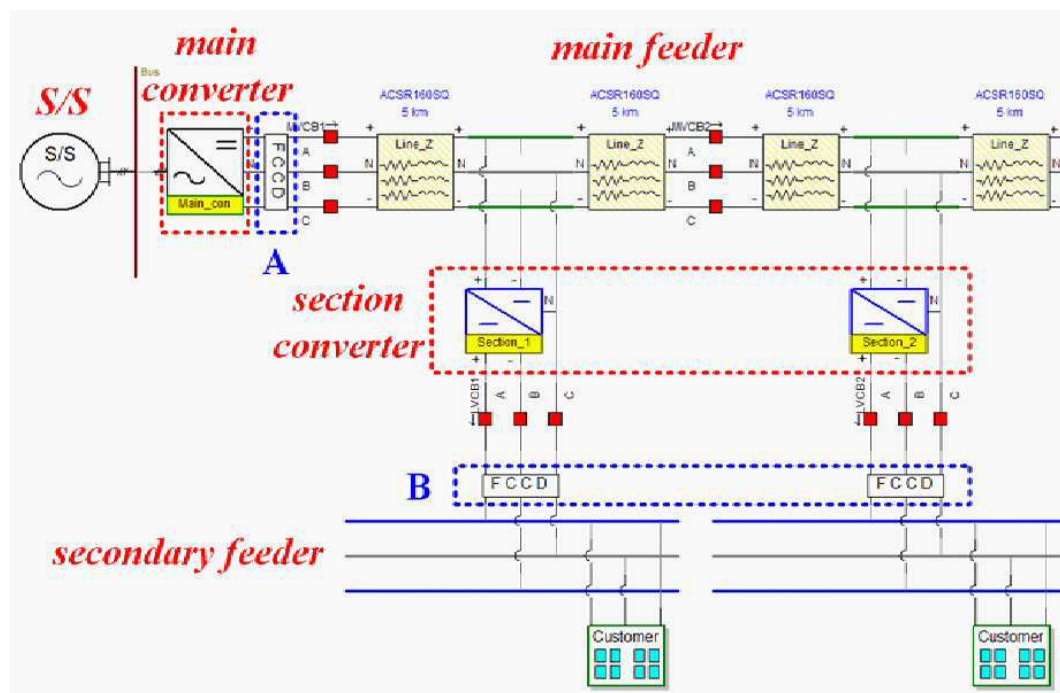
도면13



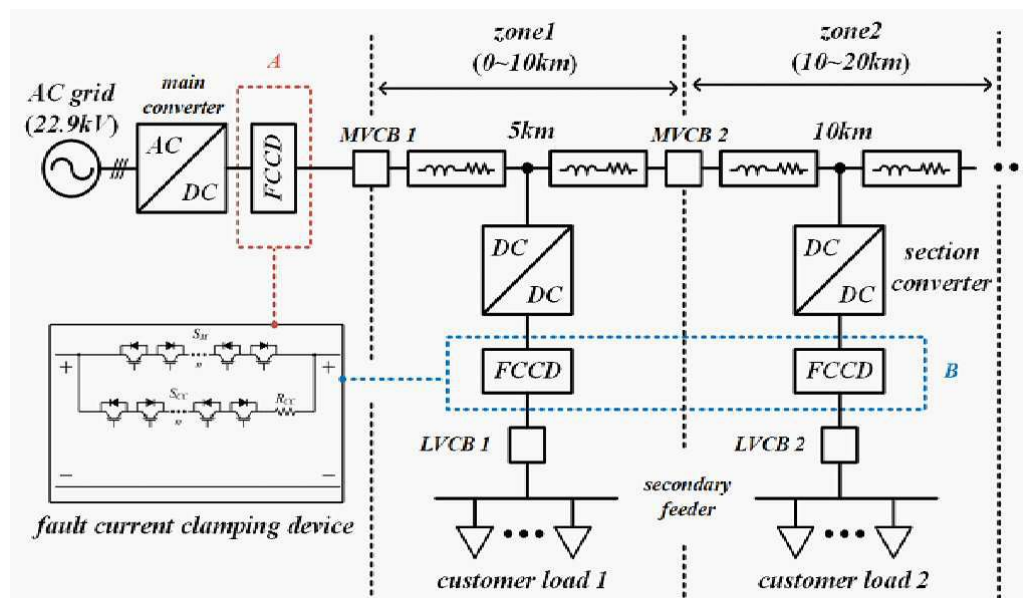
도면14



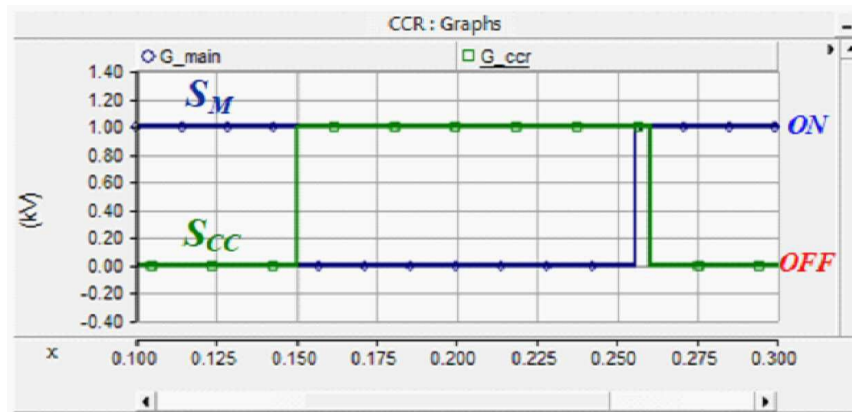
도면15



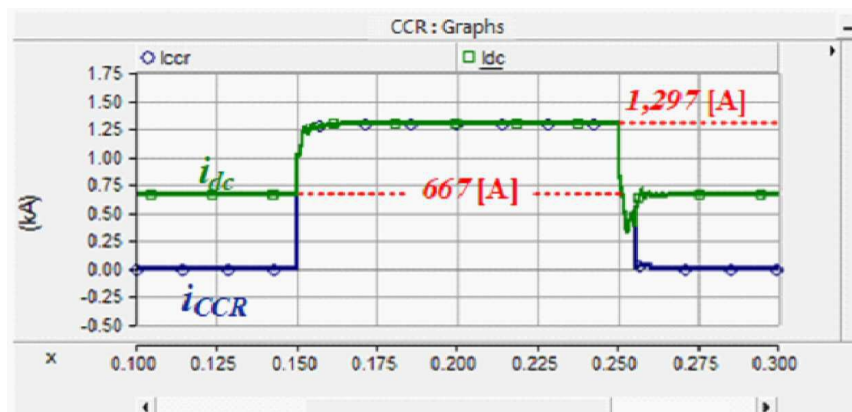
도면16



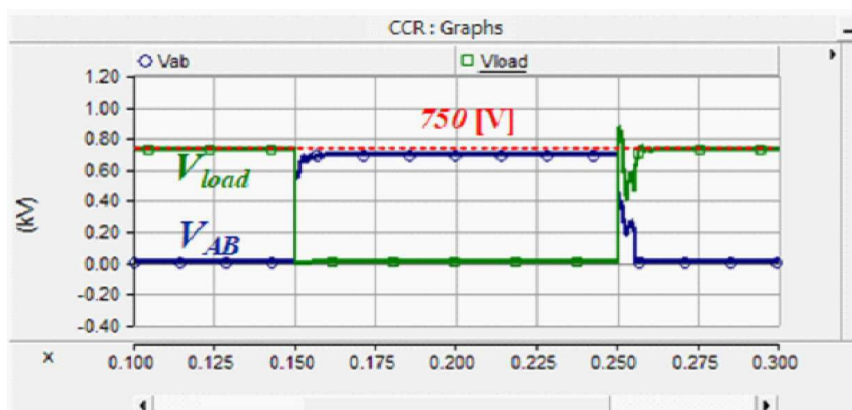
도면17a



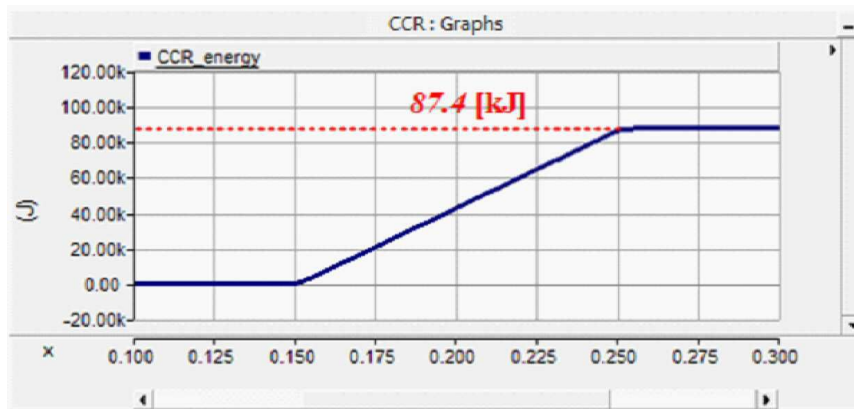
도면17b



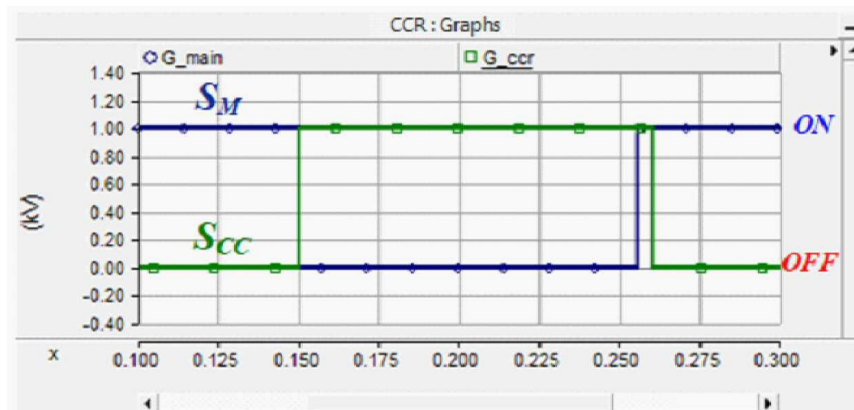
도면17c



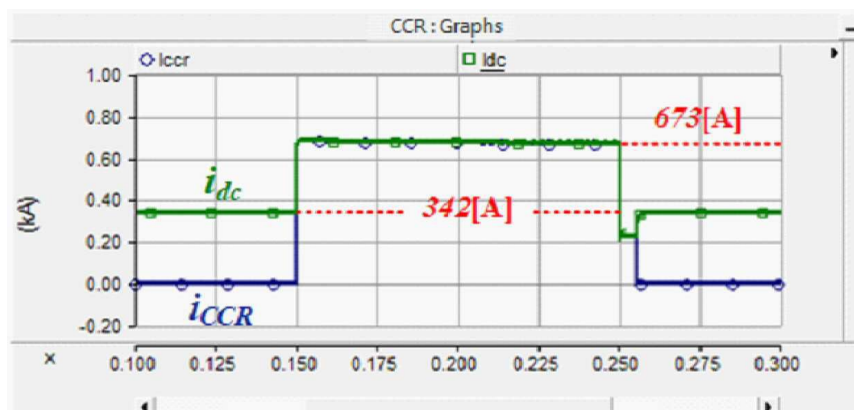
도면17d



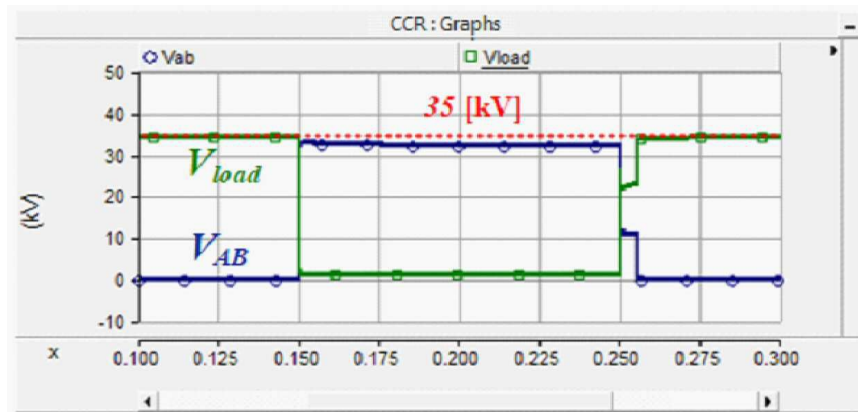
도면18a



도면18b



도면18c



도면18d

