



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월29일
 (11) 등록번호 10-1843640
 (24) 등록일자 2018년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01H 9/54 (2006.01) H02H 3/087 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 H01H 9/541 (2013.01)
 H02H 3/087 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0075202
 (22) 출원일자 2016년06월16일
 심사청구일자 2016년06월16일
 (65) 공개번호 10-2017-0142020
 (43) 공개일자 2017년12월27일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020150019416 A*
 KR1020150046529 A*
 JP2003123569 A
 JP2679997 B2
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
명지대학교 산학협력단
 경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)
 (72) 발명자
한명문
 서울특별시 서초구 서리폴4길 8 (서초동, 상지리치빌 B동202호)
김도현
 경기도 수원시 영통구 센트럴파크로127번길 159 , 301호 (이의동)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
송인호, 최관락

전체 청구항 수 : 총 6 항

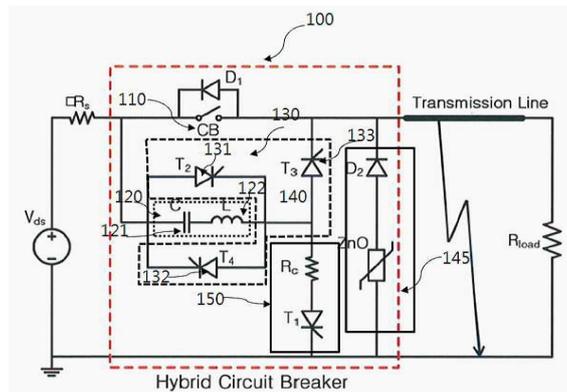
심사관 : 방인환

(54) 발명의 명칭 **하이브리드 DC 차단기 및 이의 동작 방법**

(57) 요약

하이브리드 DC 차단기가 개시된다. DC 차단기는, 기계식 차단기(CB); 상기 기계식 차단기와 병렬로 연결된 충전 소자; 및 정상동작시 상기 충전 소자의 극성을 반전시켜서 상기 DC 차단기 고장시 상기 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 반전 회로를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자
김재혁
경기도 용인시 처인구 명지로 137-3 , 301호 (남동)

김교민
경기도 용인시 처인구 명지로 154-13 , 302호 (남동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015R1A2A2A01004102
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원
연구과제명 마이크로그리드에 적용 가능한 고효율 인버터 개발
기여율 1/1
주관기관 명지대학교 산학협력단
연구기간 2015.05.01 ~ 2018.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

DC 차단기에 있어서,

기계식 차단기(CB);

상기 기계식 차단기와 병렬로 연결된 충전 소자;

전원전압의 전류를 도통시켜 상기 충전 소자를 충전시키는 충전회로;

정상동작시 상기 충전 소자의 극성을 반전시켜서 상기 DC 차단기 고장시 상기 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 반전 회로; 및

상기 충전 소자의 충전전압이 전원전압보다 상승하는 경우, 상기 전류를 프리 휠링하는 방전 회로를 포함하되,

상기 반전 회로는,

상기 충전 소자와 병렬로 연결되며, 상기 충전 소자의 극성을 반전시키는 제1 반전 소자; 및

상기 충전 소자와 병렬로 연결되며, 상기 제1 반전 소자에 의해 반전된 상기 충전 소자의 극성을 재반전시키는 제2 반전소자를 포함하되,

상기 제2 반전 소자는 상기 충전 소자의 누설 전류에 의해 감소되는 충전전압을 재충전하도록 상기 충전 소자의 전압이 최저 제한값 이하인 경우 동작되며, 상기 제2 반전 소자가 동작되면, LC 공진 회로의 공진 전류가 상기 제2 반전소자로 도통되어 상기 충전 소자의 반전전압이 재반전되고, 상기 충전 회로가 동작되어 상기 충전 소자가 다시 충전되며,

상기 충전 소자의 충전전압이 상기 전원전압보다 상승하는 경우, 상기 반전 회로는 오프(Off)되되, 상기 반전 회로의 오프(Off)에 따라 상기 방전 회로가 동작되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 DC 차단기.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 충전회로는 상기 충전 소자의 양단 전압이 상기 전원전압과 동일하게 되는 경우, 자동으로 동작 오프(Off)되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 DC 차단기.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 반전 회로는,

상기 기계식 차단기와 병렬로 연결되며, 직류선로상의 고장 발생 감지시 상기 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시키도록 상기 충전 소자의 극성이 반전된 충전전류를 상기 기계식 차단기로 도통시키는 보상 회로를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 하이브리드 DC 차단기.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 기계식 차단기 개방 후 상기 보상회로를 통해 LC 공진 회로의 공진 전류가 도통되어 상기 충전 소자가 재 충전되는 것을 특징으로 하는 하이브리드 DC 차단기.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

제1항에 따른 하이브리드 DC 차단기를 직류선로상의 송전단과 수신단에 각각 포함하는 차단 시스템.

청구항 11

하이브리드 DC 차단기의 동작 방법에 있어서,

충전회로를 동작시켜 충전소자를 충전하는 단계;

상기 충전소자의 충전이 완료됨에 따라 상기 충전회로의 동작을 오프(Off)시키고, 반전회로를 동작시켜 상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 반전시키는 단계;

상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 반전시키는 단계 이후에, 상기 극성이 반전된 충전소자의 충전전압이 최저 제한값 이하가 되면, 상기 반전회로를 통해 상기 극성이 반전된 상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 재반전시키는 단계;

상기 충전회로를 동작시켜 충전소자를 충전하는 단계;

선로상의 고장 발생 감지시, 상기 극성이 반전된 충전소자의 방전전류를 기계식 차단기로 도통시켜 상기 기계식 차단기로 흐르는 고장전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 단계;

상기 방전전류로 상기 고장전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 단계 이후에, 상기 방전전류로 상기 충전소자를 재 충전시키는 단계; 및

상기 충전소자의 충전전압이 전원전압보다 상승하면, 상기 반전회로의 동작을 오프시키고 방전 회로를 동작시켜 전류를 프리 휠링시키는 단계를 포함하는 하이브리드 DC 차단기의 동작 방법.

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 DC 차단기 및 이의 동작 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0003] 직류차단기는 지하철에서 직류배전이 급속히 증가하면서 최근에는 기계식 차단기를 중심으로 많은 연구가 진행되었다. 그 후 대용량 Diode와 Thyristor가 개발되면서 LC 공진회로를 이용하여 인위적으로 직류전류를 '0'점에 도달하도록 하여 차단하는 방식이 제안되었으나 차단 속도가 느린 단점이 있다.
- [0004] 대한민국 공개특허 제10-2005-0083067호(LC공진을 활용한 전압구동형 전력 스위칭 소자의 게이트 차단회로)에는, 스위칭 소자, 게이트에 인덕터, 트랜지스터 및 커패시터를 직렬로 연결하여 트랜지스터 동작시 LC 공진회로를 구성하는 기술이 개시되어 있으나, 정상동작시 도통손실이 너무 큰 단점이 있다.
- [0005] 한편, 국내외에서 지하철 급전선로용으로 GTO(Gate Turn-Off Thyristor)를 사용한 반도체 차단기가 개발되어 고장전류가 일정 값에 도달하여 고장이 인식되는 즉시 고속 차단이 가능한 장점을 갖고 있으나, 정상동작시 도통손실이 너무 큰 단점 때문에 상용화되지 못한바 있다.
- [0006] 최근 개발된 대용량 반도체 스위칭인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 또는 IGCT(Insulated Gate-Commutated Thyristor)를 사용한다 해도 도통손실이 너무 커 경제성이 없는 실정이다.
- [0007] 이 때문에 최근에는 반도체 스위치와 기계식 차단기를 결합한 하이브리드 차단기가 제안되어 있다. 하이브리드 차단기는 정상시에는 기계식 차단기로 전류가 흐르고 고장시에는 기계식 차단기로 흐르는 고장전류를 병렬로 연결된 반도체 스위치로 전환시켜 차단한다.
- [0008] 최근 ABB사는 반도체 스위치로 IGBT를 사용하는 송전용 하이브리드 DC 차단기를 개발 중에 있는데 차단속도는 설계치인 4ms를 달성한 것으로 발표하고 있으나 손실과 비용에 대한 정보는 공개하고 있지 않다.
- [0009] Alstom사는 고속 기계식 차단기에 신속한 Arc 소호를 위해 Diode, Thyristor, LC 공진회로로 구성된 보조회로를 결합한 직류송전용 하이브리드 DC 차단기를 제안하고 있으나, 구체적인 개발현황은 공개되어 있지 않다.
- [0010] Siemens사 역시 독일 Bundeswher대학의 Marquart 교수와 공동으로 고속 기계식 차단기에 Diode, Thyristor, LC 공진회로로 구성된 보조회로를 결합한 직류송전용 하이브리드 DC 차단기를 연구하고 있는 것으로 알려져 있으나 구체적인 개발현황은 공개되어 있지 않다.
- [0011] 국내에서도 한국전기연구원과 효성(주)에서 고속 기계식 차단기에 Diode, Thyristor, LC 공진회로로 구성된 보조회로를 결합한 직류송전용 하이브리드 DC 차단기에 관한 기초연구를 수행하고 있는 것으로 알려져 있다.
- [0012] 정리하면, 현재까지 직류송전용 차단기로 다양한 회로구성이 제안되어 왔으나, 모두 차단용량, 차단속도, 도통손실, 경제성에 있어 만족할 만큼 타당성을 갖는 기술은 개시된 바 없는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 기계식 차단기, 사이리스터 스위치, 다이오드 및 LC 공진 회로로 구성되어 정상작동시 도통손실이 적고, 고장 시 차단 손실이 적은 하이브리드 DC 차단기 및 이의 동작 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [0015] 또한, 본 발명은 충전된 커패시터를 이용하여 고장전류와 역방향으로 방전전류를 주입하여 고장전류를 감소시켜 기계식 차단기의 차단 속도를 향상시킬 수 있는 하이브리드 DC 차단기 및 이의 동작 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명의 일 측면에 따르면, 충전된 커패시터를 이용하여 고장전류와 역방향으로 방전전류를 주입하여 고장전류를 감소시켜 기계식 차단기의 차단 속도를 향상시킬 수 있는 하이브리드 DC 차단기가 제공된다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, DC 차단기에 있어서, 기계식 차단기(CB); 상기 기계식 차단기와 병렬로 연결된 충전 소자; 및 정상동작시 상기 충전 소자의 극성을 반전시켜서 상기 DC 차단기 고장시 상기 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 반전 회로를 포함하는 하이브리드 DC 차단기가 제공될 수 있다.

- [0019] 전원전압의 전류를 도통시켜 상기 충전 소자를 충전시키는 충전회로를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 상기 충전회로는 상기 충전 소자의 양단 전압이 상기 전원전압과 동일하게 되는 경우, 자동으로 동작 오프(Off)될 수 있다.
- [0021] 상기 반전 회로는, 상기 충전 소자와 병렬로 연결되며, 상기 충전 소자의 극성을 반전시키는 제1 반전 소자; 및 상기 충전 소자와 병렬로 연결되며, 상기 제1 반전 소자에 의해 반전된 상기 충전 소자의 극성을 재반전시키는 제2 반전소자를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 반전 회로는, 상기 기계식 차단기와 병렬로 연결되며, 직류선로상의 고장 발생 감지시 상기 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시키도록 상기 충전 소자의 극성이 반전된 충전전류를 상기 기계식 차단기로 도통시키는 보상 회로를 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 기계식 차단기 개방 후 상기 보상회로를 통해 LC 공진 회로의 공진 전류가 도통되어 상기 충전 소자가 재충전될 수 있다.
- [0024] 상기 충전 소자의 충전전압이 전원전압보다 상승하는 경우, 상기 전류를 프리 휠링하는 방전 회로를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 상기 충전 소자의 충전전압이 상기 전원전압보다 상승하는 경우, 상기 반전 회로는 오프(Off)되되, 상기 반전 회로의 오프(Off)에 따라 상기 방전 회로가 동작될 수 있다.
- [0026] 상기 제2 반전 소자는 상기 충전 소자의 전압이 최저 제한값 이하인 경우 동작될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 충전된 커패시터를 이용하여 고장전류와 역방향으로 방전전류를 주입하여 고장전류를 감소시켜 기계식 차단기의 차단 속도를 향상시킬 수 있는 하이브리드 DC 차단기의 동작 방법이 제공된다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하이브리드 DC 차단기의 동작 방법에 있어서, 충전회로를 동작시켜 충전소자를 충전하는 단계; 상기 충전소자의 충전이 완료됨에 따라 상기 충전회로의 동작을 오프(Off)시키고, 반전회로를 동작시켜 상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 반전시키는 단계; 및 선로상의 고장 발생 감지시, 상기 극성이 반전된 충전소자의 방전전류를 기계식 차단기로 도통시켜 상기 기계식 차단기로 흐르는 고장전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 단계를 포함하는 하이브리드 DC 차단기의 동작 방법이 제공될 수 있다.
- [0030] 상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 반전시키는 단계 이후에, 상기 극성이 반전된 충전소자의 충전전압이 최저 제한값 이하가 되면, 상기 반전회로를 통해 상기 극성이 반전된 상기 충전소자의 양단 전압의 극성을 재반전시키는 단계; 및 상기 충전회로를 동작시켜 충전소자를 충전하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 방전전류로 상기 고장전류의 적어도 일부를 상쇄시키는 단계 이후에, 상기 방전전류로 상기 충전소자를 재충전시키는 단계; 및 상기 충전소자의 충전전압이 전원전압보다 상승하면, 상기 반전회로의 동작을 오프시키고 방전 회로를 동작시켜 전류를 프리 휠링시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계식 차단기, 사이리스터 스위치, 다이오드 및 LC 공진 회로로 구성된 하이브리드 DC 차단기를 제공함으로써, 정상작동시 도통손실이 적고, 고장 시 차단 손실이 적은 이점이 있다.
- [0034] 또한, 본 발명은 충전된 커패시터를 이용하여 고장전류와 역방향으로 방전전류를 주입하여 고장전류를 감소시켜 기계식 차단기의 차단 속도를 향상시킬 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 회로도.
- 도 2 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 동작 원리를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 구성한 시뮬레이션 회로도들을 도시한 도면.
- 도 9는 도 8의 시뮬레이션에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작 확인을 위해 전체 시뮬레이션 구간의 주요

전압 및 전류 파형을 나타낸 도면.

도 10 내지 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 전체 시뮬레이션 파형에서 각 구간별 동작 특성을 파악하기 위해 확대한 파형을 나타낸 도면.

도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 직류송전에서 양방향 차단을 위한 회로 구성을 도시한 도면.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 구동 방법을 나타낸 순서도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0037] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0038] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0040] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 회로도이고, 도 2 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 동작 원리를 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- [0041] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)는 기계식 차단기(CB)(110)와 보조회로를 포함하여 구성된다.
- [0042] 직류의 경우 교류와 달리 고장전류가 '0'점을 지나지 않아 기계식 차단기(CB)(110)는 직접차단이 불가능하다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전된 커패시터를 이용하여 고장전류와 역방향으로 방전전류를 주입하여 고장전류를 감소시킬 수 있는 보조회로로 구성된다.
- [0043] 여기서, 보조회로는 LC 공진 회로(120)와 반전 회로(130), 방전회로(140) 및 충전회로(150)로 구성될 수 있다.
- [0044] LC 공진 회로(120)는 기계식 차단기(CB)와 병렬로 연결된다.
- [0045] 또한, LC 공진 회로(120)는 충전 소자(C)(121)와 인덕터(L)(122)를 포함한다.
- [0046] 반전 회로(130)는 정상 동작시 충전 소자의 극성을 반전시켜 직류선로상의 고장 발생 감지시 기계식 차단기로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시킨다.
- [0047] 반전 회로(130)는 LC 공진 회로(120)와 병렬로 연결되는 제1 반전 소자(131), 제2 반전소자(132) 및 보상회로(133)를 포함하여 구성된다.
- [0048] 제1 반전 소자(131)는 충전 소자(C)(121)와 병렬로 연결되며, 충전 소자(C)(121)의 양단 전압의 극성을 반전시킨다.
- [0049] 제1 반전 소자(131)는 충전 소자(C)(121)의 충전 전압의 양단 전압을 반전시키기 위해 LC 공진 회로(120)에 병렬로 연결된다.
- [0050] 제1 반전 소자(131)는 LC 공진 회로에 의한 공진 전류가 C-T₂-L로 흐르도록 도통시켜, 충전 소자(C)(121)에 충전된 충전전압의 극성을 반전시킨다.
- [0051] 이때, 공진주기는 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 이고, 공진시 피크전류는 $I_p = V_c\sqrt{C/L}$ 가 된다. 여기서, 피크 전류는 고장전류의 최대치의 약 1.3 내지 1.5배가 되도록 설정된다.
- [0052] 도 3에는 제1 반전 소자(131)에 의해 충전 소자(121)의 충전전압의 극성이 반전되는 전류 경로가 예시되어 있다.
- [0053] 제2 반전 소자(132)는 극성이 반전된 충전 소자(C)(121)의 양단 전압을 재반전시키기 위한 수단이다.
- [0054] 제2 반전소자(132)는 충전 소자(C)(121)의 전압이 최저 제한값에 도달시 동작될 수 있다.
- [0055] 제1 반전소자(132)에 의해 충전 소자(C)(121)의 양단 전압의 극성이 반전된 상태가 장시간 지속되면, 충전 소자

(C)(121) 전압이 누설 전류에 의해 감소하게 된다.

- [0056] 누설 전류에 의해 충전 소자(C)(121)의 충전전압이 감소되면, 이후 선로상에 고장이 발생해도 충전 소자(C)(121)의 충전전류를 이용하여 고장 전류를 억제하는 것이 불가능하게 된다.
- [0057] 따라서, 충전 소자(C)(121)의 전압이 누설 전류에 의해 감소되어 일정 임계치 이하가 되면, 제2 반전소자(132)를 동작시켜 충전 소자(C)(121)의 양단 전압을 재반전시킨다.
- [0058] 제2 반전소자(132)가 동작되면, LC 공진 회로(120)의 전류가 제2 반전소자(132)로 도통하게 된다. 즉, LC 공진 회로(120)의 공진전류는 C-L-T₄로 도통하게 되며, 이로 인해 충전 소자(C)(121)의 반전전압이 재반전되게 된다 (도 4 참조).
- [0059] 이와 같이, 충전 소자(C)(121)의 반전전압이 재반전된 충전회로(150)에 의해 충전 소자(C)(121)는 다시 충전될 수 있다.
- [0060] 여기서, 제1 반전소자(131), 제2 반전소자(132)는 사이리스터일 수 있다.
- [0061] 반전 회로(130)에는 보상 회로(133)를 더 포함하고 있다.
- [0062] 보상 회로(133)는 직류선로에서의 고장 발생이 감지되면, 극성이 반전된 충전 소자(121)의 충전전압에 의한 전류를 기계식 차단기(110)로 도통하도록 하여 고장 전류의 적어도 일부를 상쇄시키도록 할 수 있다.
- [0063] 이러한 보상 회로(133)는 LC 공진 회로(120)와 기계식 차단기(110) 사이에 직렬로 연결될 수 있다.
- [0064] 보다 상세히 설명하면, 보상 회로(133)는 직류선로에서의 고장 발생이 감지되면, 충전 소자(121)의 극성이 반전되어 충전된 충전전압의 전류(편의상 방전 전류라 칭하기로 함)를 기계식 차단기(110)로 도통시킨다. 이때의 전류 경로는 C-L-T₃-CB가 된다. 이로 인해, 직류선로상의 고장 발생에 따른 고장 전류의 적어도 일부가 충전 소자(121)의 방전전류에 의해 상쇄될 수 있다. 따라서, 기계식 차단기(110)가 쉽게 개방될 수 있다.
- [0065] 기계식 차단기(110)의 개방에 따라 방전전류는 기계식 차단기(110)와 병렬로 연결된 제1 다이오드(D₁)로 도통되며, Arc의 소호가 용이하게 된다.
- [0066] 기계식 차단기(110)가 개방된 후 LC 공진 회로(120)의 공진전류는 보상 회로(133)를 통해 충전 소자(121)의 충전에 이용된다.
- [0067] 즉, 기계식 차단기(110)가 개방된 후 LC 공진 회로(120)의 공진전류는 보상회로(133)에 의해 L-T₃-Line-Vds-Rs-C 경로로 도통되며, 이로 인해, 충전 소자(121)가 충전된다.
- [0068] 충전 소자(121) 재충전시 LC 공진 회로(120)의 양단 전압이 입력전압과 같은 경우, 인덕터(122)에 있는 에너지가 방출되며 LC 공진에 의해 충전 소자(121)의 충전전압이 공급전압(즉, 전원전압)보다 상승하게 된다.
- [0069] 즉, 충전 소자(121)의 전압은 전원전압에 인덕터(122)와 선로 인덕턴스에 저장된 자계에너지가 더해져 전원전압보다 더 높아지게 된다.
- [0070] 따라서, LC 공진 회로(120)의 양단 전압이 전원전압보다 더 높아지게 되면, 하이브리드 DC 차단기(100)는 보상 회로(133)의 동작을 오프(Off)시키며, 방전 회로(140)에 의해 프리휠링 동작이 수행된다. 도 7에는 방전 회로(140)에 따른 동작 회로가 예시되어 있다.
- [0071] 방전 회로(140)는 충전 소자(121)의 양단 전압이 기준치 이상이되면, 프리 휠링 동작을 수행하여 전류를 감쇄시킨다.
- [0072] 충전 소자(121)의 충전전압이 전원전압보다 상승하게 되면, 방전 회로(140) 양단의 전압차 발생으로 인해, 보상 회로(133)의 동작이 오프된다. 이로 인해, 방전 회로(140)가 동작되어 프리휠링 동작이 수행되게 된다.
- [0073] 충전 회로(150)는 LC 공진 회로(120)와 직렬 연결되며, 충전 소자(121)를 충전한다. 충전 회로(150)에 포함된 저항은 LC 공진 회로(120)의 인덕터(122)와 직렬로 연결되며, 코일 저항을 나타낸다.
- [0074] 충전 회로(150)는 기계식 차단기(110)와 병렬로 연결되는 LC 공진 회로(120)에 직렬 연결된다.
- [0075] 충전 회로(150)는 충전 소자(121)에 전원전압을 충전하도록 전류를 도통시킬 수 있다. 이때의 전류 경로는 V_{ds}-R_s-C-L-R_c-T₁으로 도통된다. 충전 소자(121)에 충전되는 전류는 R_s와 R_c의 크기에 따라 서서히 증가된다.

- [0076] 충전 소자(121)가 완전히 충전되어 충전 소자(121) 양단 전압이 공급전압과 동일하게 되면, 충전회로(150)은 자동으로 오프(Off)될 수 있다.
- [0077] 도 2에는 충전 회로(150)의 충전 모드에 따른 경로가 예시되어 있다.
- [0079] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 구성된 시뮬레이션 회로도를 도시한 도면이다. 입력 전압은 직류 200kV, 전원저항은 2.0Ω , 부하는 100Ω , 용량은 400MW로 설정하였다. 선로는 200km로 가정하고 이를 4개로 등분하여 각 부분의 선로 저항을 0.872Ω , 선로 인덕턴스를 31.5mH로 설정하였다. 또한, 선로고장을 다양하게 모의할 수 있도록 각 부분 끝단에 병렬로 차단기 BRK1, BRK3를 연결하여 지락사고를 모의하였다.
- [0080] 도 9는 도 8의 시뮬레이션에 따른 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작 확인을 위해 전체 시뮬레이션 구간의 주요 전압 및 전류 파형을 나타낸 도면이다. 시뮬레이션 시나리오는 0.1초에서의 초기 충전, 0.4초에서의 재충전, 0.5초에서의 고장 발생시 동작으로 구성된다.
- [0081] 도 9의 (a)는 주요 부분의 전압 파형으로 기계식 차단기(CB)(110)에 걸리는 전압, 충전 소자(121)에 걸리는 전압, 그리고 공진 인덕터(L)(122)에 걸리는 전압을 각각 나타낸다.
- [0082] 도 9의 (b)는 주요 부분의 전류 파형으로 기계식 차단기(CB)(110)에 흐르는 전류, 충전 소자(121)를 통해 흐르는 공진전류, 고장전류를 차단하기 위해 동작하는 보상 회로(133)에 흐르는 전류, 기계식 차단기와 병렬로 연결된 제1 다이오드(D₁)에 흐르는 전류를 나타낸다.
- [0083] 도 9의 (c)는 직류단에서 흐르는 전류와 고장선로를 통해 흐르는 전류를 나타낸다.
- [0085] 도 10 내지 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 전체 시뮬레이션 파형에서 각 구간별 동작 특성을 파악하기 위해 확대한 파형을 나타낸 도면이다.
- [0086] 도 10은 초기 충전 구간의 확대 파형으로 충전 소자(121) 전압과 공진 전류를 나타내며, 0.1초에 충전 회로(150)을 턴온하여 커패시터를 완전히 충전하면 충전 회로(150)가 턴오프되고, 0.11초에 제1 반전소자(131)를 턴온하여 커패시터의 극성을 반전시킨 경우 파형을 도시한 것이다.
- [0087] 도 11은 재충전 구간의 확대 파형으로 충전 소자(121) 전압과 공진 전류를 나타낸다. 0.4초에 반전된 충전 소자(121) 전압이 최저 제한값에 도달할 경우, 제2 반전소자(132)를 턴온하여 공진전류를 통해 반전전압을 다시 반전시키고, 0.405초에 충전 회로(150)을 턴온하여 충전 소자(121)에 전원전압을 충전하고, 0.41초에 제1 반전소자(131)를 턴온하여 충전 소자(121)의 극성을 반전시켰다.
- [0088] 도 12는 고장 발생시 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작을 나타내고 있는 시뮬레이션 파형을 도시한 도면이다.
- [0089] 도 12의 (a)는 기계식 차단기(CB)(110)에 걸리는 전압파형으로 기계식 차단기(CB)(110)가 개방되면 양단에 나타나는 전압은 공급전압과 같아지게 된다.
- [0090] 도 12의 (b)는 충전 소자(121)에 형성되는 전압 파형으로, 반전되어 충전된 전압에 의해 고정전류를 억제하고 기계식 차단기(CB)(110)가 개방된 후 공급전압보다 높게 형성되는 것을 알 수 있다.
- [0091] 도 12의 (c)는 인덕터(L)(122)에 형성되는 전압 파형을 도시한 것으로, 인덕터(L)(122)에 흐르는 전류에 의해 전압이 형성되는 것을 알 수 있다.
- [0092] 도 12의 (d)는 기계식 차단기(CB)(110)에 흐르는 전류파형을 도시한 것으로, 정상시에는 정격전류가 흐르고 고장이 발생하여 기계식 차단기(CB)(110)가 개방되기 전에는 고장전류가 흐르며, 기계식 차단기(CB)(110)가 개방된 이후에는 기계식 차단기(CB)(110)에 흐르는 전류가 '제로(0)'가 되는 것을 알 수 있다.
- [0093] 도 12의 (e)는 보상 회로(133)에 흐르는 전류 파형을 나타낸 것으로, 0.5초에 고장이 발생되어 고정전류가 4kA에 도달한 후 고장 검출시 보상 회로(133)가 동작하는 것을 알 수 있다.
- [0094] 도 12의 (f)는 제1 다이오드(D₁)에 흐르는 전류 파형을 도시한 것으로, 기계식 차단기(CB)(110)가 개방된 이후 충전 소자(121)의 방전전압이 제1 다이오드(D₁)를 통해 흐르는 것을 알 수 있다.
- [0095] 도 12의 (g)는 방전 회로(140)(예를 들어, 제2 다이오드(D₂)와 서지 어레스터(ZnO))에 흐르는 전류 파형을 나타

낸 것으로, 기계식 차단기(CB)(110)가 개방된 이후 송전선로의 인덕턴스에 저장된 자기에너지가 송전선로, 방전 회로(140)를 통해 프리휠링하면서 서서히 감소되는 것을 알 수 있다.

- [0096] 도 12의 (h)는 고장선로에 흐르는 전류파형을 나타낸 것으로, 0.5초에 고장이 발생되면, 고정전류는 급격하게 증가하게 된다. 그러나, 하이브리드 DC 차단기(100)의 동작을 통해 설정된 제한값을 초과하지 않는 것을 알 수 있다.
- [0098] 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 직류송전에서 양방향 차단을 위한 회로 구성을 도시한 도면이다.
- [0099] 전원과 부하로만 이루어진 송전선로에서는 하나의 차단기로 고장 발생시 차단이 가능하다. 그러나 2개의 직류전원이 선로에 연결된 일반적인 직류송전의 경우, 선로에 고장이 발생하면 양단에서 차단이 요구되어 송전단과 수전단 각각에 차단기가 설치되어야 한다. 만일 선로 중앙에서 고장이 발생하면 좌측과 우측의 차단기에서 도 1을 참조하여 설명한 바와 동일하게 동작하여 양방향에서의 고장전류를 차단할 수 있다.
- [0101] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 하이브리드 DC 차단기의 구동 방법을 나타낸 순서도이다.
- [0102] 단계 1410에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전 회로(150)를 동작시킨다.
- [0103] 단계 1415에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전 회로(150)의 동작에 따라 충전 소자(121)에 전원전압을 충전한다. 이때의 전류 경로를 도 2를 참조하여 설명한 바와 동일하다.
- [0104] 단계 1420에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전 소자(121)의 충전이 완료되면, 방전 회로(130)를 동작시켜 충전 소자(121)의 양단 전압의 극성을 반전시킨다.
- [0105] 이미 전술한 바와 같이, 충전 소자(121)의 양단 전압이 전원전압과 동일하게 되면, 충전회로(150)은 오프(Off)된다. 이어, 충전 소자(121)의 전압의 극성을 변경하기 위해, 방전 회로(130)가 동작된다.
- [0106] 보다 상세하게, 방전 회로(130)의 제1 방전 소자(131)가 동작되며, LC 공진 회로(120)의 공진 전류가 C-T₂-L로 도통하도록 하여 충전 소자(121)의 충전전압의 극성을 반전시킨다.
- [0107] 단계 1425에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 직류선로에 고장이 발생했는지 여부를 판단한다.
- [0108] 만일 고장이 발생한 경우, 단계 1430에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 기계식 차단기(110)로 흐르는 전류의 적어도 일부를 상쇄시킨다.
- [0109] 보다 상세하게, 하이브리드 DC 차단기(100)는 보상 회로(133)를 동작시킴으로써, 극성이 반전된 충전 소자(121)의 충전전압에 따른 전류를 기계식 차단기(110)로 도통시켜 고장 전류를 상쇄시킬 수 있다.
- [0110] 이로 인해, 기계식 차단기(CB)(110)가 손쉽게 개방되게 된다.
- [0111] 기계식 차단기(CB)(110)가 개방됨에 따라 단계 1435에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 공진 전류로 충전 소자(121)를 재충전시킨다.
- [0112] 이때, 충전 소자(121)는 L-T₃-Line-Vds-Rs-C 경로로 도통되는 공진 전류에 의해 재충전될 수 있다.
- [0113] 충전 소자(121)의 재충전시, 이미 전술한 바와 같이, 충전 소자(121)의 양단 전압은 전원전압보다 상승하게 된다.
- [0114] 따라서, 충전 소자(121)의 전압이 전원전압보다 상승하게 되면, 단계 1440에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 방전 회로(140)를 동작시켜 전류를 감쇄시킨다.
- [0115] 이미 전술한 바와 같이, 충전 소자(121)의 재충전시, 충전 소자(121)의 양단 전압이 전원전압보다 상승하게 되면, 보상 회로(133)는 동작 오프(Off)된다. 이어, 방전 회로(140)의 양단에는 전압 차가 발생하게 되며, 이로 인해 프리 휠링 동작이 시작된다.
- [0116] 즉, 기계식 차단기(CB)(110)가 개방되면, 송전선로의 인덕턴스에 저장된 자기에너지는 전류형태로, 송전선로, 방전 회로(140)(즉, 서지 어레스터(ZnO)와 제2 다이오드(D₂))를 통해 프리휠링 하면서 서서히 감소하게 된다.
- [0117] 그러나 만일 충전 소자(121)의 충전전압의 극성을 반전시킨 이후 일정 시간이 경과하도록 고장이 발생하지 않은 경우, 단계 1445에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전 소자(121)의 극성이 반전된 충전전압이 최저 제한값에 도달했는지 여부를 판단한다.

- [0118] 만일 최저 제한값이 도달하지 않은 경우, 단계 1425로 진행한다.
- [0119] 그러나 만일 최저 제한값에 도달한 경우, 단계 1450에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 제2 반전소자(132)를 동작시켜, 충전 소자(121)의 반전된 극성을 재반전시킨다.
- [0120] 이어, 단계 1455에서 하이브리드 DC 차단기(100)는 충전 회로(150)를 동작시켜, 충전 소자(121)에 전원전압을 다시 충전한다.
- [0122] 한편, 전술된 실시예의 구성 요소는 프로세스적인 관점에서 용이하게 파악될 수 있다. 즉, 각각의 구성 요소는 각각의 프로세스로 파악될 수 있다. 또한 전술된 실시예의 프로세스는 장치의 구성 요소 관점에서 용이하게 파악될 수 있다.
- [0123] 또한 앞서 설명한 기술적 내용들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예들을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 하드웨어 장치는 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

산업상 이용가능성

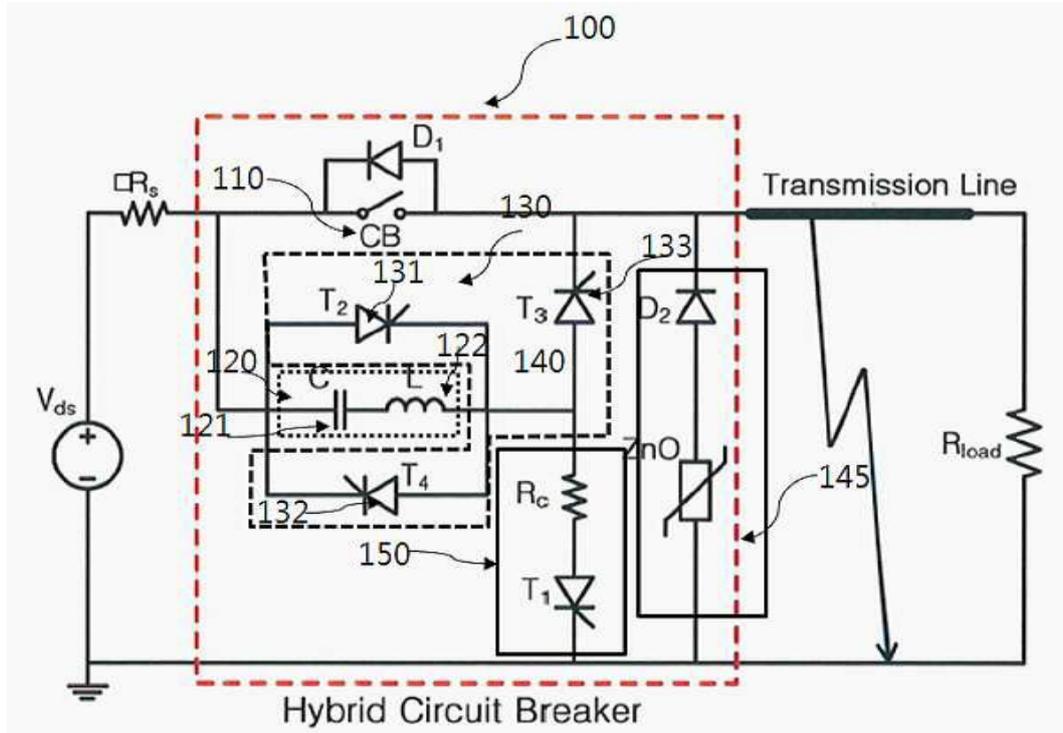
- [0125] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

부호의 설명

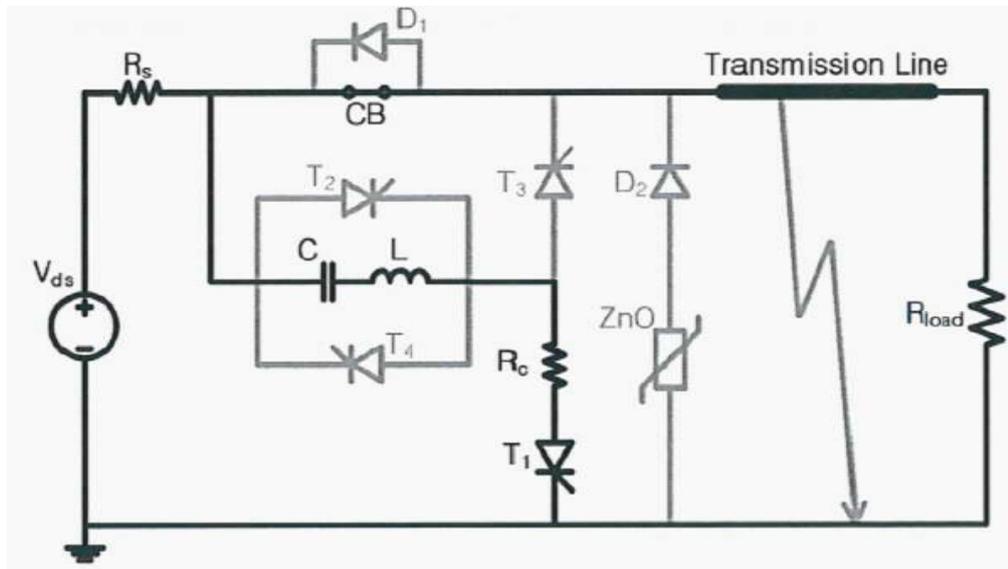
- [0127] 100: 하이브리드 DC 차단기
- 120: LC 공진 회로
- 130: 반전 회로
- 140: 방전 회로
- 150: 충전 회로

도면

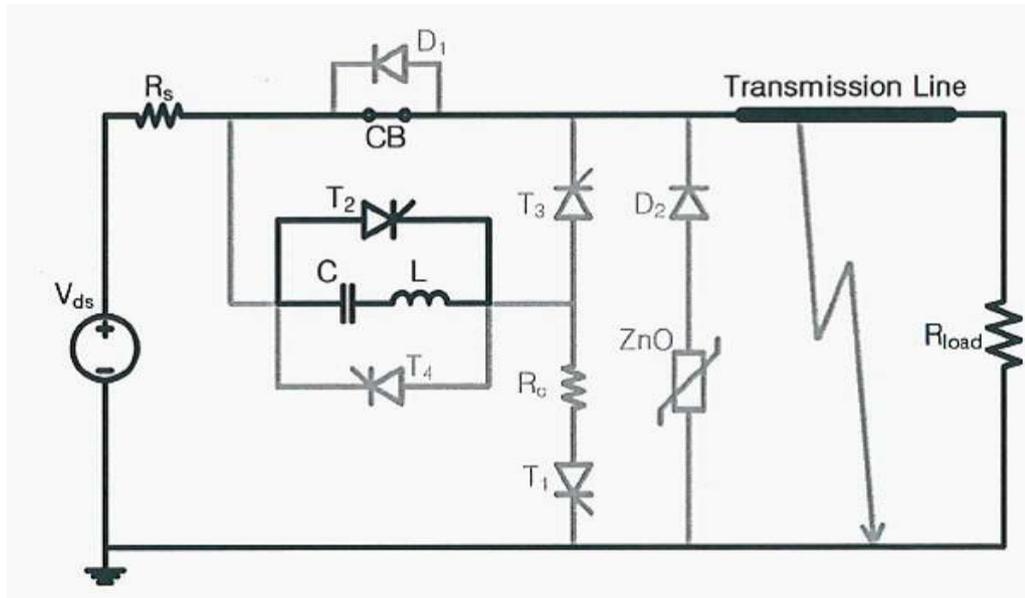
도면1



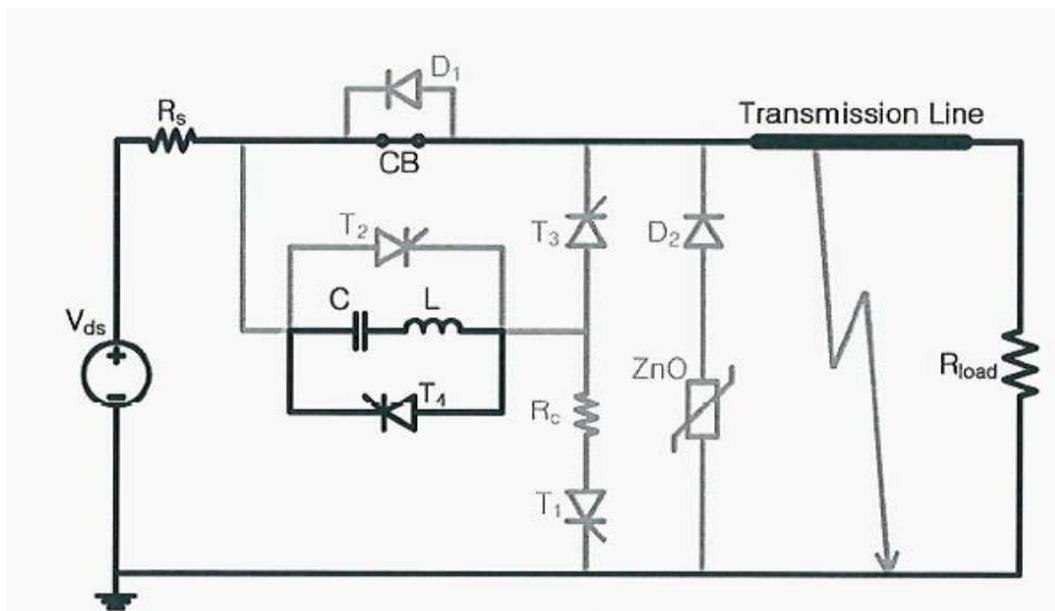
도면2



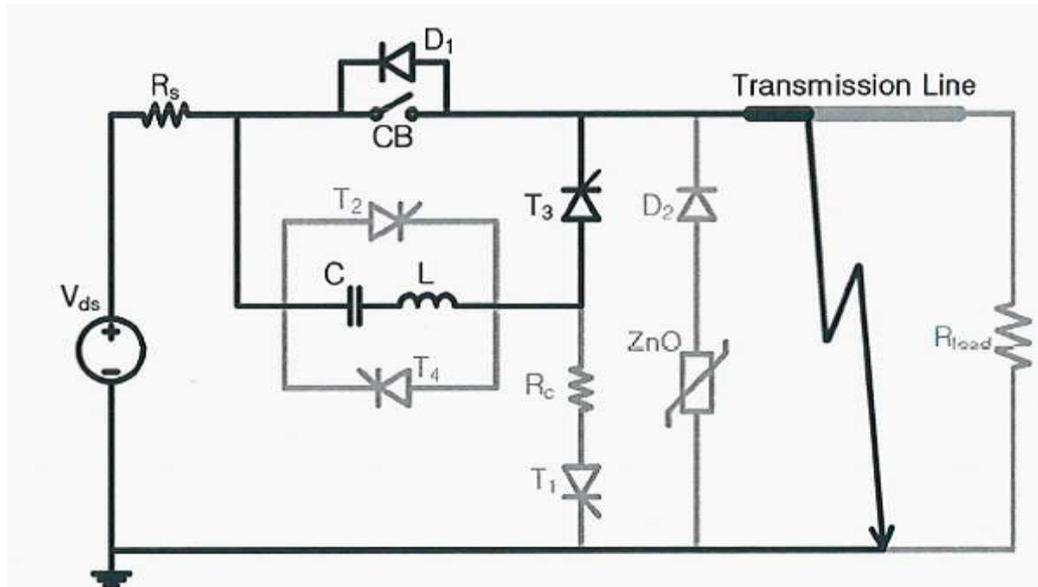
도면3



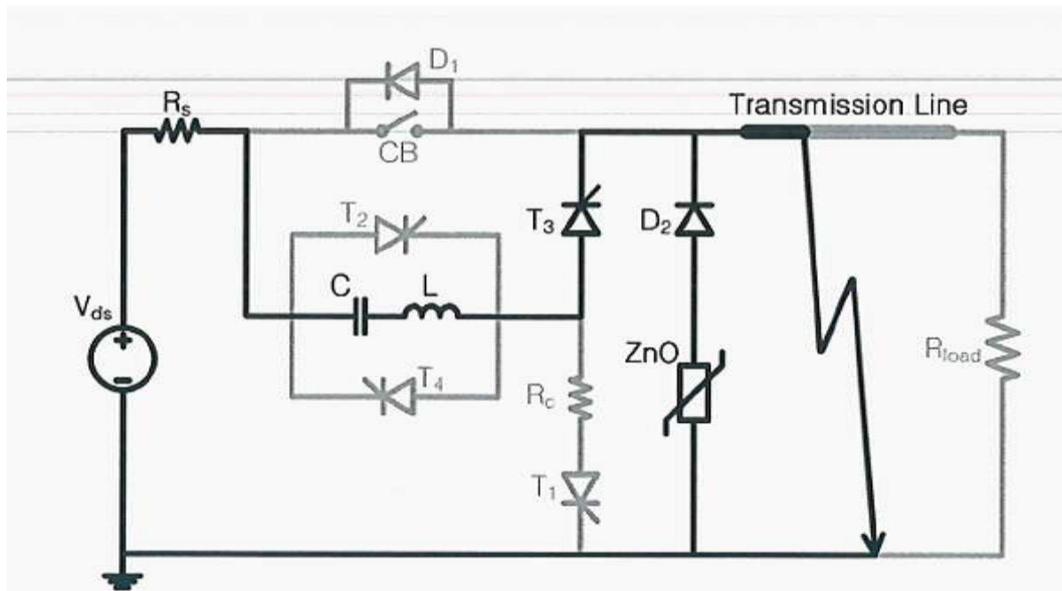
도면4



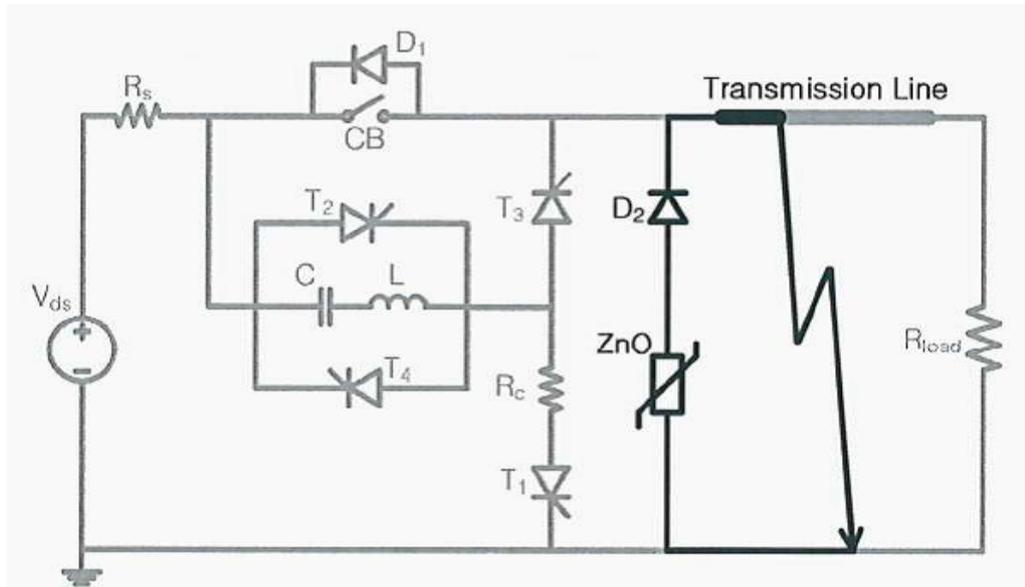
도면5



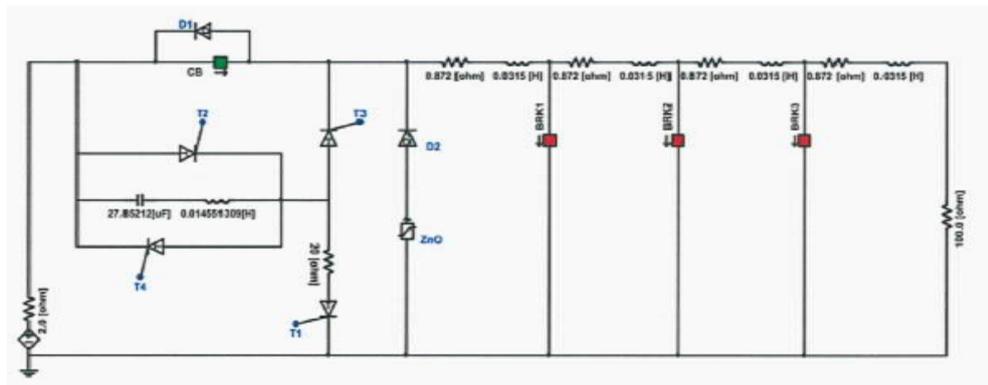
도면6



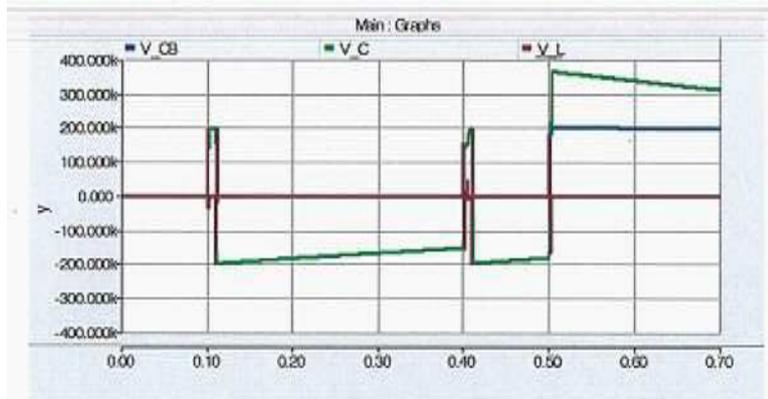
도면7



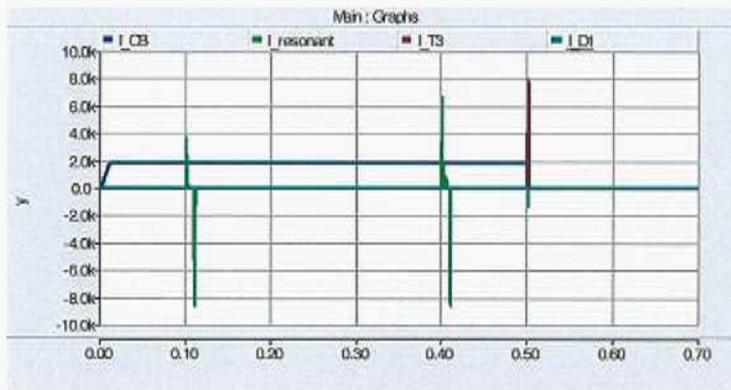
도면8



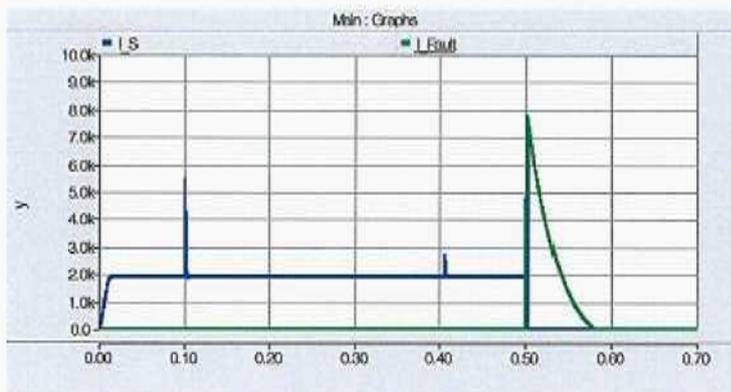
도면9



(a) 주요 부분의 전압파형

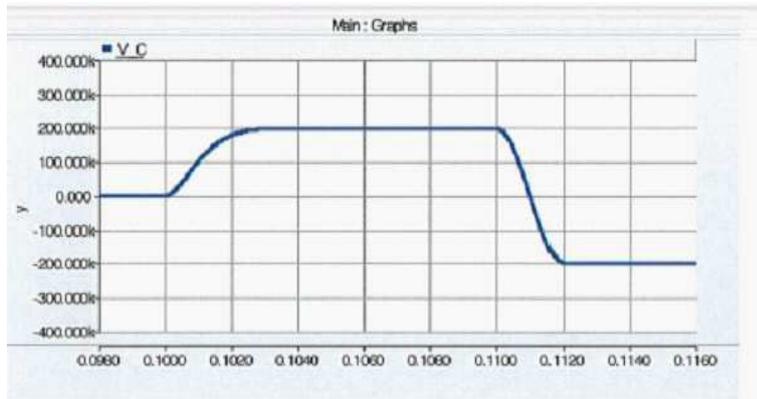


(b) 주요 부분의 전류파형

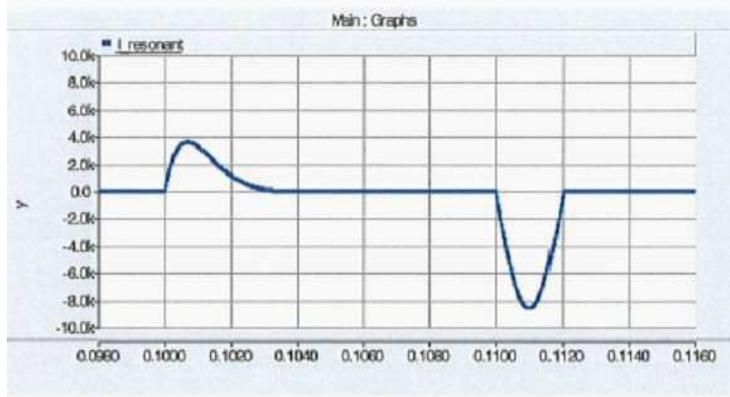


(c) 직류단 전류 및 고장 전류파형

도면10

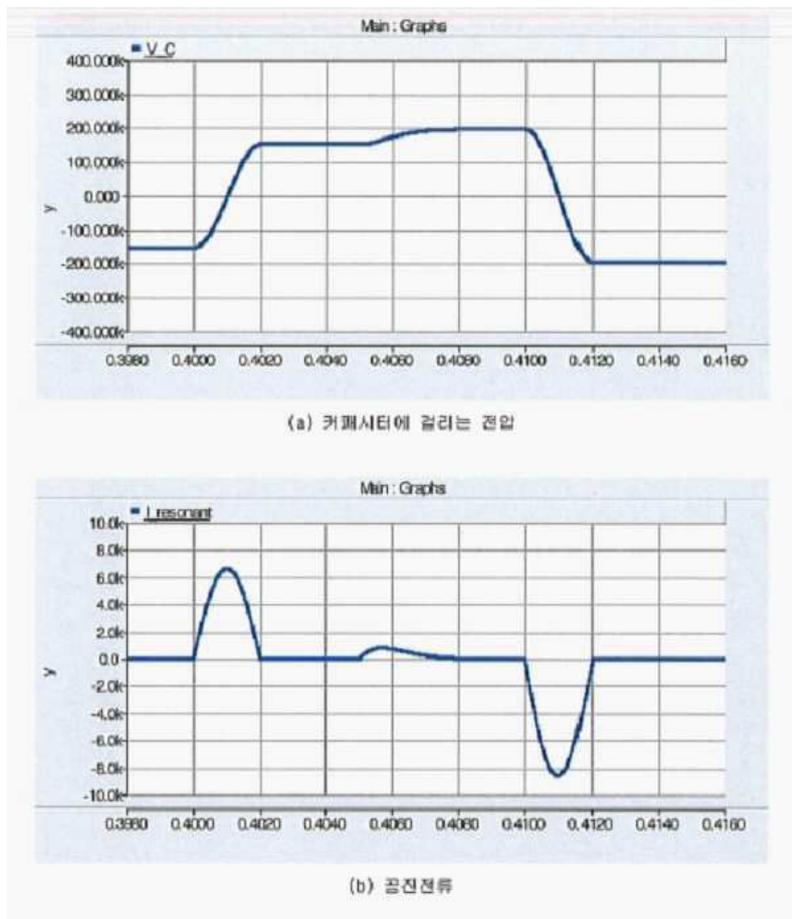


(a) 커패시터에 걸리는 전압



(b) 공진전류

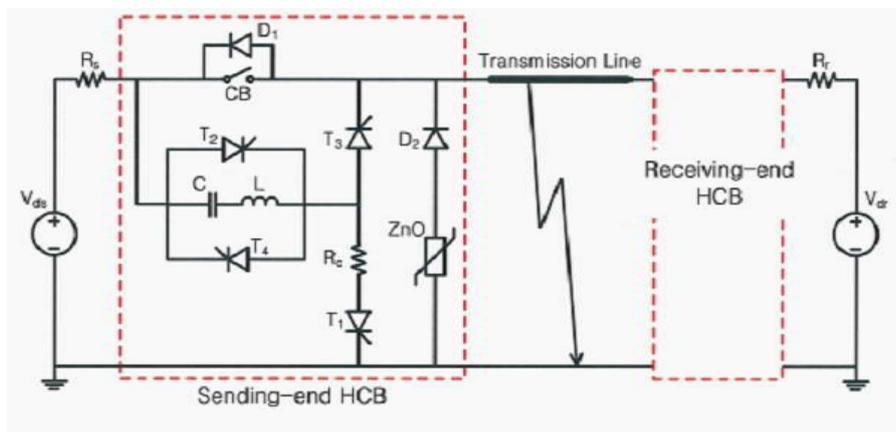
도면11



도면12



도면13



도면14

