



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0131183
(43) 공개일자 2015년11월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 9/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H02H 9/023 (2013.01)
Y02E 40/69 (2013.01)

(21) 출원번호 **10-2015-7028553**

(22) 출원일자(국제) **2014년03월10일**
 심사청구일자 **없음**

(85) 변역문제출일자 **2015년10월12일**

(86) 국제출원번호 **PCT/US2014/022406**

(87) 국제공개번호 **WO 2014/150152**
 국제공개일자 **2014년09월25일**

(30) 우선권주장
 13/835,434 2013년03월15일 미국(US)

(71) 출원인
베리안 세미콘더터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.
미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35

(72) 발명자
테클레트사티, 카세인 디.
미국, 01923 매사추세츠, 미들턴, 넬슨 서클 7
스탠리, 찰스 웰.
미국 01918 매사추세츠 아메스버리 우드리지 레인
5

(74) 대리인
특허법인에이아이피

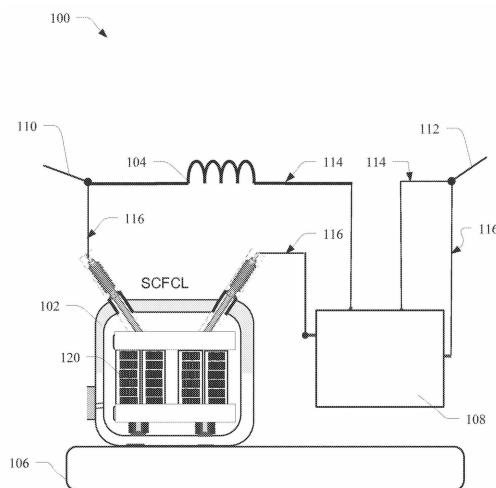
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 초전도 고장 전류 제한기 시스템

(57) 요약

전류 제한기 시스템은, 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL)가 초전도 상태에 있는 정상 동작 상태 동안 부하 전류를 전도하도록 동작하는 초전도 고장 전류 제한기를 포함한다. 전류 제한기 시스템은 또한, SCFCL에 전기적으로 병렬 방식으로 연결되며 정상 동작 상태에서 SCFCL보다 더 적은 전류를 전도하도록 구성된 션트 리액터(shunt reactor), 및 SCFCL 및 션트 리액터와 전기적으로 직렬로 연결되며 고장 상태 동안 고장 전류가 임계 전류 값을 초과한 후에 SCFCL을 미리 결정된 시간 동안 부하 전류 경로로부터 분리하도록 구성된 보호 스위치를 포함한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

전류 제한기 시스템으로서,

초전도 고장 전류 제한기(superconducting fault current limiter: SCFCL)가 초전도 상태에 있는 정상 동작 상태 동안 부하 전류를 전도하도록 구성된 상기 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL);

상기 SCFCL에 전기적으로 병렬 방식으로 연결되며, 상기 정상 동작 상태에서 상기 SCFCL보다 더 적은 전류를 전도하도록 구성된 션트 리액터(shunt reactor); 및

상기 SCFCL 및 션트 리액터에 연결되며, 고장 상태 동안 고장 전류가 임계 전류 값을 초과한 후 부하 전류 경로로부터 상기 SCFCL을 미리 결정된 시간 동안 분리하도록 구성된 보호 스위치를 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 정상 동작 상태 동안 상기 SCFCL은 부하 전류의 약 80 퍼센트 이상을 전도하도록 구성되며, 상기 션트 리액터는 부하 전류의 약 20 퍼센트 이하를 전도하도록 구성되는, 전류 제한기 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

초기 고장 구간 동안 고장 전류가 임계 전류 값을 초과한 때 그리고 상기 SCFCL이 상기 부하 전류 경로로부터 분리되기 전에, 상기 SCFCL은 고장 전류의 20 퍼센트 미만을 전도하도록 구성되며, 상기 션트 리액터는 고장 전류의 80 퍼센트 이상을 전도하도록 구성되는, 전류 제한기 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

복구 기간 동안 상기 SCFCL이 상기 부하 전류로부터 분리된 후 그리고 상기 부하 전류가 상기 임계 전류 값을 밀로 떨어진 후, 상기 SCFCL은 부하 전류의 0 퍼센트를 전도하도록 구성되며, 상기 션트 리액터는 부하 전류의 100 퍼센트를 전도하도록 구성되는, 전류 제한기 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 보호 스위치는:

상기 SCFCL을 포함하는 제 1 전기 경로를 제 1 위치에서 완성하도록 구성되는 중심 자기 컴포넌트; 및

상기 중심 자기 컴포넌트 둘레에 배치되며, 상기 고장 전류가 상기 임계 전류를 초과할 때 상기 중심 자기 컴포넌트를 상기 제 1 위치로부터 상기 제 1 전기 경로가 개방 회로를 형성하는 제 2 위치로 움직이기에 유효한 힘을 가하도록 구성된 전자기 코일들의 세트를 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 전자기 코일들의 세트는 상기 SCFCL에 직렬로 연결된 제 1 코일 및 상기 션트 리액터에 직렬로 연결된 제 2 코일을 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 중심 자기 컴포넌트에 연결되며, 상기 고장 상태 다음에 고장 전류가 상기 전류 임계 밑으로 떨어진 후 1 내지 20 초로 구성되는 복귀 기간 내에 상기 중심 자기 컴포넌트를 상기 제 2 위치로부터 상기 제 1 위치로 이동시키도록 구성된 스프링 시간 상수를 갖는 스프링을 더 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 8

청구항 5에 있어서,

상기 중심 자기 컴포넌트에 연결되며, 상기 고장 상태 다음에 고장 전류가 상기 전류 임계 밑으로 떨어진 후 1 내지 20 초로 구성되는 복귀 기간 내에 상기 중심 자기 컴포넌트를 상기 제 2 위치로부터 상기 제 1 위치로 이동시키도록 구성된 복구 시간 지연 상수를 갖는, 공기 실린더, 스프링 및 로킹(lock) 메커니즘을 더 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 9

청구항 5에 있어서,

상기 중심 자기 컴포넌트에 연결되며, 고장 상태가 시작된 후 4 내지 100 밀리초로 구성된 구동 시간 내에 상기 중심 자기 컴포넌트를 상기 제 1 위치로부터 상기 제 2 위치로 이동시키도록 구성된 개방 속도 시간을 갖는 레버 앰(lever arm)을 더 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 10

청구항 5에 있어서,

상기 제 2 코일은 상기 중심 자기 컴포넌트가 상기 제 2 위치에 있을 때 상기 부하 전류를 전달하도록 구성되는, 전류 제한기 시스템.

청구항 11

청구항 6에 있어서,

상기 제 1 및/또는 제 2 코일을 통해 드로우(draw)되는 전류로부터 전력을 수신하도록 구성된 모니터링 시스템을 더 포함하는, 전류 제한기 시스템.

청구항 12

전기 회로 내에 배열된 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL) 시스템으로서,

SCFCL이 초전도 상태에 있는 정상 동작 상태 동안 부하 전류를 전도하도록 구성된 상기 SCFCL을 포함하는 제 1

전기 경로;

상기 제 1 전기 경로에 전기적으로 병렬로 연결되며, 상기 정상 동작 상태에서 상기 SCFCL보다 더 적은 전류를 전도하도록 구성된 선트 리액터를 포함하는 제 2 전기 경로; 및

상기 SCFCL을 포함하는 상기 제 1 전기 경로 및 상기 선트 리액터를 포함하는 상기 제 2 전기 경로와 직렬 연결을 형성하도록 구성된 보호 컴포넌트를 포함하며,

상기 보호 스위치는 고장 상태 동안 고장 전류가 임계 전류 값을 초과할 때 상기 SCFCL을 포함하는 상기 제 1 전기 경로를 따라, 전류가 상기 SCFCL을 통해 전도되지 않는 개방 회로를 생성하도록 더 구성되는, SCFCL 시스템.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 보호 컴포넌트는:

상기 제 1 전기 경로를 제 1 위치에서 완성하도록 구성되는 중심 자기 컴포넌트; 및

상기 중심 자기 컴포넌트 둘레에 배치되며, 상기 고장 전류가 상기 임계 전류를 초과할 때 상기 중심 자기 컴포넌트를 상기 제 1 위치로부터 상기 제 1 전기 경로가 개방 회로를 형성하는 제 2 위치로 움직이기에 유효한 힘을 가하도록 구성된 전자기 코일들의 세트를 포함하며,

상기 전자기 코일들의 세트는 상기 SCFCL에 직렬로 연결된 제 1 코일 및 상기 선트 리액터에 직렬로 연결된 제 2 코일을 포함하는, SCFCL 시스템.

청구항 14

청구항 12에 있어서,

상기 정상 동작 상태 동안 총 부하 전류가 2000 A미만일 때, 상기 SCFCL은 부하 전류의 약 100 퍼센트를 전도하도록 구성되고, 상기 선트 리액터는 부하 전류의 약 0 퍼센트를 전도하도록 구성되는, SCFCL 시스템.

청구항 15

청구항 12에 있어서,

초기 고장 구간 동안 부하 전류가 5kA를 초과할 때 그리고 상기 SCFCL이 상기 부하 전류 경로로부터 분리되기 전에, 상기 SCFCL은 고장 전류의 20 퍼센트 미만을 전도하도록 구성되고, 상기 선트 리액터는 고장 전류의 80 퍼센트 이상을 전도하도록 구성되는, SCFCL 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 전류 제어 디바이스들에 관한 것으로서, 더 구체적으로, 고장 전류 제한을 위한 장치에 관한 것이다.

배경 기술

고장 전류 제한기들은, 예를 들어 전력 송신 네트워크들에서 전류 서지(surge)들에 대한 보호를 제공하기 위해 사용된다. 초전도 고장 전류 제한기(Superconducting Fault Current Limiter: SCFCL)들은 초저온 온도에서 동작하며 고 전압 및 고 전류를 겪는 전기적 송신 또는 분배 라인들에 전형적으로 사용되는 클래스의 디바이스들이다. 저항성 SCFCL에 있어, 높은 고장 전류가 시작할 때 초전도체가 퀼칭(quench)하도록, 전류가 SCFCL의 초전도체 컴포넌트들을 통과한다. 다시 말해서, 초전도체는 저항이 급격히 그리고 빠르게 상승하는 경우 정상 전도체가 된다.

[0003]

SCFCL 디바이스의 코어는, 전력을 소산시키고 초저온 열 부하를 증가시킬 수 있는 비-초전도 커넥터들을 사용하여 직렬 및 병렬로 상호연결된 몇몇 초전도 엘리먼트들로 구성될 수 있다. 정상 동작 모드에서, SCFCL 디바이스는 테이프들과 같은 초전도 엘리먼트들을 초전도 상태에 진입시키기 위하여 초저온 온도까지 냉각된다. 전류 서자가 송신 라인을 따라 발생할 때, 전류가 초전도 엘리먼트들을 통해 이동하는 지점에서 전류가 SCFCL에 진입할 수 있다. 전류 서자가 초전도 테이프들 내의 전류 밀도의 임계 값을 초과하는 경우, 초전도 재료가 정상 전도체로 변환(즉, 웨칭)될 수 있다. 정상 전도 상태가 되면, 초전도체 재료가 전류에 대한 유한 저항을 획득하고, 이는 SCFCL을 통해 전도되는 전류를 용인가능한 레벨로 제한할 수 있으며, 그럼으로써 송신 라인들을 따라 전도되는 전류를 조절한다.

[0004]

종래의 SCFCL 시스템들에 있어, SCFCL은 정상 동작 동안 전류 부하에 대해 거의 0의 임피던스를 나타내며, 예를 들어, 단락 회로와 같은 고장 상태의 이벤트에서 고장 전류를 감소시키기 위해 큰 제한 임피던스를 삽입한다. SCFCL의 적절한 동작을 위한 추가적인 요건은, 고장 상태가 해결된 후, 발생할 수 있는 다른 고장 이벤트들에서 전류를 제한하기 위하여 SCFCL이 그 이전의 초전도 상태로 몇 초 내에 빠르게 복구된다는 것이다.

[0005]

현재, 남아 있는 주요한 도전은, 복구 기간 동안 부하 전류가 SCFCL을 통해 전달될 때 복구하기 위한 SCFCL의 능력이다. 활발하게 개발 중인 SCFCL들은, 그 중에서도, 마그네슘 다이보라이드 와이어, 이트륨 바륨 구리 옥사이드(YBCO) 테이프, 또는 비스무트 스트론튬 칼슘 구리 옥사이드(BSSCO) 재료들을 사용하는 시스템들을 포함하며, 이들은 설계된 대로 기능하기 위하여 그들 각각의 초전도 전이 온도(T_c) 밑으로 냉각된다. 전형적인 상업적 재료들의 T_c 가 $90^\circ - 105^\circ$ K의 범위 내이기 때문에 YBCO 및 BSSCO-기반 디바이스들이 매력적이며, 이는 SCFCL 디바이스들이 상대적으로 값이싼 액체 질소 또는 끓는(boiling) 질소 냉각을 사용하여 동작하는 것을 가능하게 한다. 그러나, YBCO 또는 BSSCO 시스템과 같은 SCFCL이 고장 동안 웨칭하고 유한 저항의 상태에 진입할 때, 이러한 SCFCL을 통해 드로우(draw)되는 부하 전류의 지속성이 문제가 될 수 있다. 특히, 유한 저항을 갖는 YBCO 또는 BSSCO(또는 다른) 엘리먼트들을 통해 드로우되는 부하 전류가 초전도체 엘리먼트들의 원치 않는 가열을 야기할 수 있다. 심지어 SCFCL을 통해 드로우되는 크지 않은 전류도 그 초전도 상태로의 초전도체 재료의 복귀를 지연시킬 수 있으며, 그럼으로써 고장 제한 시스템의 성능을 손상시킨다. 최악의 경우에 있어, SCFCL 시스템이 전혀 복구되지 않을 수 있으며, SCFCL의 초전도 엘리먼트들이 정상 상태 전도체들로서 남아 있을 수 있다. 따라서 공지된 SCFCL 시스템들을 뛰어 넘는 개선들이 바람직하다는 것이 자명할 것이다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0006]

본 요약은 아래의 상세한 설명에서 추가로 설명되는 간략화된 형태로 개념들의 선택을 소개하기 위해 제공된다. 본 요약은 청구되는 내용의 핵심 특징들 또는 본질적인 특징들을 식별하도록 의도되지 않으며, 청구되는 내용의 범위를 결정하는데 도움을 주는 것으로서 의도되지도 않는다.

[0007]

일 실시예에 있어, 전류 제한기 시스템은, 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL)가 초전도 상태에 있는 정상 동작 상태 동안 부하 전류를 전도하도록 동작하는 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL)를 포함한다. 전류 제한기 시스템은 또한, SCFCL에 전기적으로 병렬 방식으로 연결되며 정상 동작 상태에서 SCFCL보다 더 적은 전류를 전도하도록 구성된 션트 리액터(shunt reactor), 및 SCFCL 및 션트 리액터와 전기적으로 직렬로 연결되며 고장 상태 동안 고장 전류가 임계 전류 값을 초과한 후에 SCFCL을 미리 결정된 시간 동안 부하 전류 경로로부터 분리하도록 구성된 보호 스위치를 포함한다.

[0008]

추가적인 실시예에 있어, 전기 회로 내에 배열된 초전도 고장 전류 제한기(SCFCL) 시스템은, SCFCL이 초전도 상태에 있는 정상 동작 상태 동안 부하 전류를 전도하도록 구성된 SCFCL을 포함하는 제 1 전기 경로, 제 1 전기 경로에 대해 전기적으로 병렬이며 정상 동작 상태에서 SCFCL보다 더 적은 전류를 전도하도록 구성된 션트 리액터를 포함하는 제 2 전기 경로, 및 SCFCL을 포함하는 제 1 전기 경로 및 션트 리액터를 포함하는 제 2 전기 경로와의 직렬 연결을 형성하도록 구성된 보호 컴포넌트를 포함하며, 보호 스위치는 전류가 임계 전류 값을 초과할 때 미리 결정된 시간 동안 SCFCL을 포함하는 제 1 전기 경로를 따라 개방 회로를 생성하도록 더 구성되고, 여기에서 어떠한 부하 전류도 SCFCL을 통해 전도되지 않는다.

도면의 간단한 설명

도 1은 일 실시예에 따른 전류 제한 시스템을 도시한다.

도 2는 다른 실시예에 따른 전류 제한 시스템을 도시한다.

도 3a는 전류 제한 시스템 내에서 사용하기 위한 예시적인 보호 스위치를 도시한다.

도 3b는 도 3a의 보호 스위치의 동작의 추가적인 상세내용들을 도시한다.

도 4a는 추가적인 실시예에 부합하는 전류 제한 시스템의 사용의 일 예를 도시한다.

도 4b는 도 4a의 전류 제한 시스템의 사용의 다른 예를 도시한다.

도 4c는 도 4a의 전류 제한 시스템의 사용의 추가적인 예를 도시한다.

도 4d는 도 4a의 전류 제한 시스템의 사용의 또 다른 예를 도시한다.

도 5는 추가적인 실시예에 부합하는 추가적인 전류 제한 시스템을 도시한다.

도 6은 추가적인 실시예에 부합하는 또 다른 추가적인 전류 제한 시스템을 도시한다.

도 7은 본 실시예들에 따른 SCFCL 시스템에 대한 예시적인 전류 커브들을 도시한다.

도 8은 복구 전자기 스위치의 상세화된 메커니즘들을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이제 이하에서 본 발명이 본 발명의 실시예들이 도시된 첨부된 도면들을 참조하여 더 완전하게 설명될 것이다. 그러나, 본 발명이 다수의 상이한 형태들로 구현될 수 있으며, 본원에서 기술되는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 오히려, 이러한 실시예들은 본 발명이 완전하고 철저해질 수 있도록 제공되며, 본 발명의 범위를 당업자들에게 완전하게 전달할 것이다. 도면들에서, 유사한 도면번호들이 전체에 걸쳐 유사한 엘리먼트를 지칭한다.

[0011] 전술한 SCFCL들의 결점들 중 일부를 처리하기 위하여, 개선된 SCFCL 아키텍처 및 성능을 제공하는 실시예들에 본원에서 설명된다. 이상에서 언급된 바와 같이, 종래의 SCFCL 시스템들에 있어, SCFCL은 정상 동작 동안 전류 부하에 대해 거의 0의 임피던스를 나타내며, SCFCL이 더 이상 초전도 상태가 아닐 때인 고장 상태 동안 전류에 대해 훨씬 큰 임피던스를 나타낸다. 그러나, 고장 이벤트가 해결된 후의 고장 복구 기간 동안, 종래의 SCFCL 시스템에 있어 SCFCL을 통과하는 지속적인 부하 전류가 SCFCL의 초전도 상태로의 복귀를 방해할 수 있다.

[0012] 이러한 상황을 처리하기 위하여, 본 실시예는 복구 기간 동안 SCFCL을 부하 전류로부터 분리하기 위해 SCFCL에 직렬로 연결된 보호 스위치 또는 회로 차단기와 같은 보호 시스템을 제공한다. 바람직하게, 이는 유한 저항 상태에 있는 SCFCL의 초전도 엘리먼트들이 다시 초전도 상태로의 더 빠른 전이를 겪는 것을 가능하게 한다. 용어들 "유한 저항 상태" 및 "유한 저항성 상태" 둘 모두가 초전도 재료가 비-초전도 상태에 있는 초전도 재료의 상태를 지칭하며, 이는 금속성, 반-금속성, 또는 반도체성 저항 속성들에 의해 특징지어질 수 있다. 초전도 재료가 초전도성에 대한 임계 온도 T_c 를 초과하는 온도를 가질 때, 및/또는 초전도 재료를 통과하는 전류가 임계 전류를 초과할 때, 초전도 재료가 유한 저항 상태를 이탈한다.

[0013] 더 바람직하게, 보호 시스템이 보호 회로에 전력을 공급하기 위해 부하 또는 고장 전류를 이용할 수 있다. 더 구체적으로, 보호 시스템은 부하 또는 고장 전류에 의해 활성화되도록 구성될 수 있으며, 그럼으로써 복잡한 회로부(circuitry)에 대한 필요를 회피한다. 이러한 배열에 의해 제공되는 다른 이점들은 전체 SCFCL 시스템에 대한 감소된 설계 복잡도 및 SCFCL 엘리먼트들에 대해 요구되는 초전도체 재료의 감소된 양이다.

[0014] 도 1은 본 발명의 실시예들에 부합하는 SCFCL 시스템(100)의 전반적인 아키텍처를 도시한다. SCFCL 시스템(100)은, 다음의 설명과 관련하여 본원에서 달리 언급되는 바를 제외하면 종래의 SCFCL일 수 있는, SCFCL(102)을 포함한다. SCFCL 시스템은, 종래의 센트 리액터일 수 있는 센트 리액터(104), 절연 시스템(106), 및 보호 엘리먼트(108)를 더 포함한다.

[0015] 동작 시, SCFCL 시스템(100)은 입구 지점(100)과 출구 지점(112)(도 1에서 "출구 지점"와 대조적으로 "입구 지점"의 지정이 임의적이다) 사이를 통과하는 고장 전류(별도로 도시되지 않음)를 제한함으로써 고장 전류 보호를 제공한다. 정상 동작 모드 하에서, 부하 전류가 주기적으로, 간헐적으로, 또는 연속적으로 SCFCL 시스템을 통과한다. 정상 동작 모드의 부하 전류는, 초전도체 엘리먼트들(120)이 초전도 상태로 남아 있으며, 그에 따라 부하 전류가 SCFCL(102)을 통과할 때 0 저항을 가지고 초전도체 엘리먼트들(120)을 통해 부하 전류를 전달할 수 있도록 하는, 전류 레벨을 나타낸다. 따라서, 부하 전류가 상대적으로 더 낮은 저항으로 SCFCL을 통해 전달되며, 이

는 정상 상태 금속들 및 연결 지점들을 포함하는 저항성 지점들을 포함한다. 과도 고장 전류가 빠르게 생성될 수 있는 고장 상태 동안, 초전도체 엘리먼트들(120)이 초전도 상태로부터 유한한 고유저항 상태로 변환함으로써 과도 고장 전류에 반응하며, 이는 과도 고장 전류에 큰 전체 임피던스를 배치하여 고장 상태 동안 고장 전류를 제한한다. 이어서, 보호 엘리먼트(108)와 같은 보호 엘리먼트의 도움으로, 초전도체 엘리먼트들(120)이 장래의 고장 이벤트들에서 전류를 제한함으로써 전류를 조절하기 위해 초전도 상태로 복귀할 수 있다.

[0016] 도 1에 추가로 예시된 바와 같이, SCFCL 시스템(100)이 입구 지점(110)과 출구 지점(112) 사이에서 분기하는 2개의 병렬 전기 경로들(114, 116)을 형성한다. 따라서, SCFCL(102) 및 센트 리액터(104)가 개별적인 전기 경로들(114 및 116)을 따라 SCFCL 시스템 내에서 전기적으로 병렬 방식으로 배열된다. 정상 동작 모드 하에서, 전기 경로(116)는 부하 전류 경로를 나타내며, 그 결과 SCFCL 시스템(100)은 부하 전류의 대략 100 퍼센트를 SCFCL(102)을 통해 드로우하고 부하 전류의 대략 0 퍼센트를 센트 리액터(104)를 통해 드로우하도록 구성된다. 그러나, 고장 상태 또는 이벤트가 발생할 때, 센트 리액터가 고장 전류의 대다수를 드로우하도록 구성되며, 그럼으로써 SCFCL을 통과하는 전류를 제한한다.

[0017] 도 1에 추가로 예시된 바와 같이, 보호 엘리먼트(108)가 SCFCL(102) 및 센트 리액터(104) 둘 모두와 전기적으로 직렬로 배열된다. 종래의 SCFCL 시스템들에서 제공되는 SCFCL 복구 동작과 달리, 보호 엘리먼트(108)는 고장 상태로부터의 복구 동안 임의의 부하 전류가 SCFCL(102)을 통해 전도되는 것을 방지하도록 구성된다. 설사 종래의 센트 리액터가 고장에 의해 초래된 부하 전류의 서지 동안 SCFCL을 통과하는 전류를 감소시킬 수 있다고 하더라도, 복구 동안 완화된 전류가 계속해서 SCFCL을 통해 전도될 수 있기 때문이, 이러한 점이 종래기술의 SCFCL 시스템들을 뛰어 넘는 이점들이다. 특히, SCFCL(102)을 통과하는 전류가, 전형적인 고장 전류가 임계 전류를 초과하도록 설정될 수 있는 임계 전류를 초과하는 경우, 보호 엘리먼트(108)는 부하 전류 경로, 즉, 전기 경로(116)를 따라 "개방"을 생성하도록 구성될 수 있으며, 그 결과 모든 전류가 전기 경로(114)를 따라 센트 리액터를 통과한다. 이는 유한 저항 상태가 되었을 수 있는 초전도체 엘리먼트들(120)을 초전도 상태로 더 빠르게 복구되게끔 한다. 다양한 실시예들에 있어, 보호 엘리먼트(108)는 이하에서 상세화되는 바와 같이 활성화되는 전자기 스위치 또는 회로 차단기 유형의 디바이스이다.

[0018] 도 2는 보호 엘리먼트가 보호 스위치(202)인 SCFCL 시스템의 일 실시예를 도시한다. 보호 스위치(202)는 SCFCL 시스템(200)의 정상 동작 모드 동안 전기 경로(116)를 통해 전류를 통과시키도록 구성되며, 고장 상태 동안 전류 서지에 응답하여 SCFCL(102)을 통해 전류가 흐르지 않도록 전기 경로(116)를 개방하도록 더 구성된다. 도 2의 실시예에 있어, 보호 스위치(202)는 전자기 스위치이며, 여기에서 입구 및 출구 지점들(110, 112) 사이를 통과하는 전류가 도 3과 관련하여 추가로 논의되는 바와 같이 스위치 위치들을 제어하기 위하여 전자기 스위치 내의 전자기 코일들에 전력을 공급하기 위해 사용된다. SCFCL 시스템(200)이 또한 대안적인 실시예들에서 크라이오스탯(cryostat) 또는 액체 질소 탱크일 수 있는 냉각 시스템(204)을 포함한다. 냉각 시스템(204)은 초전도 엘리먼트들(120)을 초전도 엘리먼트들(120)에 대한 T_c 아래의 온도로 유지하기 위해 사용된다. SCFCL 시스템(200)은 SCFCL(102) 및 보호 스위치(202)를 접지(208)로부터 전기적으로 분리하기 위한 고 전압 절연부(206)를 더 포함한다.

[0019] 도 3a는, 인클로저(enclosure)(300), 중심 자기 컴포넌트(302), 접촉부(304), 및 전자기 코일들의 세트(308)를 포함하는 보호 스위치(202)의 상세내용을 도시한다. 도 3a의 실시예에 있어, 중심 자기 컴포넌트(302)는 전자기 코일들의 세트(308)에 의해 생성되는 자기장의 강도에 따라 방향(306)을 따라서 움직이도록 구성된 자기 플伦저(magnetic plunger)이다. 전자기 코일들의 세트(308)는 전기 경로(116)를 따라 SCFCL(102)과 직렬로 연결된 전자기 코일(310) 및 전기 경로(114)를 따라 센트 리액터(104)와 직렬로 연결된 전자기 코일(312)을 포함한다. 구체적으로, SCFCL(102)에 전기적으로 연결된 전자기 코일(312)은 중심 자기 컴포넌트(302)에 또한 전기적으로 연결된다. 접촉부들(302 및 304)이, 공기, 진공, 비활성 가스들, SF₆, 오일 또는 접촉부들의 개방 또는 닫음 동작들 동안 생성되는 아크에 의해 초래되는 접촉 재료 부식을 제거하거나 또는 최소화하는 것으로 공지된 임의의 매체와 같은 유전체 매체 내에 위치되거나 또는 봉입(enclose)된다.

[0020] 도 3b는 중심 자기 컴포넌트(302)의 동작을 예시한다. 예시된 바와 같이, 중심 자기 컴포넌트(302)는 위치 P1 및 위치 P2 사이에서 방향(306)을 따라 움직이도록 구성된다. 0의 부하 전류 또는 낮은 부하 전류가 전자기 코일들의 세트(308)를 통과할 때, 보호 스위치(202)는 중심 자기 컴포넌트(302)를, 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이에 전기적 접촉이 만들어지는 위치 P1의 닫힌(closed) 위치에 위치시키도록 구성된다. 이러한 닫힌 위치에서, 입구 지점(110)과 출구 지점(112) 사이의 전기 경로(116)가 닫히며, 전류가 SCFCL(102)를 통해 흐를 수 있다. 구체적으로, 전류가 입구 지점(110)으로부터 SCFCL(102)을 통해, 거기서부터 전자기 코일(310), 중

심 자기 컴포넌트(320), 접촉부(304) 및 출구 지점(112)을 통해 흐를 수 있다.

[0021] 정상 동작 모드 동안, 예를 들어, 부하 전류가 존재할 때, 거의 전체의 부하 전류가 전기 경로(116)을 따라 이동하며, 전기 경로(114)를 통해 이동하는 부하 전류가 거의 없다. 따라서, 전자기 코일들의 세트(308)를 통해 이동하는 거의 모든 전류가 전자기 코일(310)을 통과한다. 그러나, 보호 스위치(202)는, 이러한 부하 전류가 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이의 접촉을 파괴(break)하기 위한 자기력을 생성하는데 불충분하도록 구성된다. 정상 동작 상태들 하에서 SCFCL(102)이 경험할 수 있는 전형적인 부하 전류는 0 내지 2000A 사이에서 변화할 수 있으며, 반면 일 실시예에 있어 보호 스위치(202)의 스프링(314)은, 전자기 코일들의 세트(308)를 통해 최대 3 kA가 흐를 때 중심 자기 컴포넌트(302)를 접촉부(304)에 붙여(against) 유지하도록 구성될 수 있다.

[0022] 본 발명의 일부 실시예들에 있어, 모니터링 디바이스들을 포함하는 계측장비가 전자기 코일(310)에 의해 생성되는 전압으로부터 동작하도록 전자기 코일(310)에 연결될 수 있다.

[0023] 도 2를 또한 참조하면, 본 발명의 다양한 실시예들에 있어, 고장 이벤트의 개시시 SCFCL 시스템(200)은, 고장 전류의 80 퍼센트가 넘는 전류가 전기 경로(114)를 따라 센트리액터(104)로 전도되고, 반면 고장 전류의 20 퍼센트 미만이 전기 경로(116)를 따라 전도되도록 구성된다. 따라서, 초기 고장 구간(interval) 동안, 즉, 고장 이벤트의 초기 기간 동안, 대부분의 전류가 전자기 코일(312)를 통해 흐르며, 반면 더 작은 전류가 전자기 코일(310)을 통해 흐른다.

[0024] 언급된 바와 같이, 고장 이벤트 동안, 고장 전류가 임계 전류를 초과할 때, 보호 스위치(202)는, 입구 지점(110)과 출구 지점(112) 사이에서 전기 경로(116)를 따라 전류가 흐르지 않도록 전기 경로(116)를 따라 개방회로를 생성하도록 구성된다. 구체적으로, 전자기 코일들의 세트(308)는 고장 전류가 임계 전류를 초과할 때 중심 자기 컴포넌트(302)를 닫힌 위치로부터 개방 위치로 움직이기에 유효한 힘을 가하도록 구성된다. 이는, 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이의 전기 접촉이 깨질 수 있도록 중심 자기 컴포넌트(302)를 접촉부(304)로부터 멀어지도록 움직이기에 충분한 자기장을 생성함으로써 달성된다. 접촉부(304)로부터의 중심 자기 컴포넌트(302)의 분리는 전자기 코일들의 세트(308)를 통해 전달되는 고장 전류에 비례한다. 전자기 코일들의 세트(308)를 통해 더 많은 전류가 드로우됨에 따라 더 큰 자기장이 생성되고, 이러한 필드가 중심 자기 컴포넌트(302)를 접촉부(304)로부터 멀어지도록 강요하기 위한 자기력을 가하도록 중심 자기 컴포넌트(302) 상에 작용한다. 희망되는 임계 전류가 초과될 때까지 이러한 자기력이, 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이의 접촉을 유지하도록 설정될 수 있는 스프링(314)의 복원력에 의해 대항(oppose)된다. 전자기력의 크기가 접촉 분리의 속도를 변화시키기 위한 다른 역할을 수행한다. 더 큰 고장 전류로 전자기력이 증가함에 따라, 접촉 분리의 속도가 증가하고 그에 따라 스위치가 더 짧은 시간에 고장을 파괴한다. 이러한 더 짧은 "해결(clearing)" 시간이 초전도체 내로의 더 적은 에너지 흡수를 야기하며, 결과적으로 초전도체들의 과열을 감소시킨다. 이러한 메커니즘이 SCFCL 설계에 사용되는 초전도체들의 양을 감소시키는데 도움을 준다. 다양한 실시예들에 있어, 임계 전류의 값이 SCFCL의 애플리케이션에 따라 변화할 수 있지만, 일부 실시예들에서 2.5 kA 또는 그 이상일 수 있다.

[0025] 도 3b의 예에 있어, 중심 자기 컴포넌트(302)는 임계 전류를 초과하는 주어진 값을 갖는 고장 전류가 존재할 때 접촉부(304)로부터 멀어져 위치 P2로 드라이브(drive)될 수 있다. 그 다음, 고장 이벤트가 해결되고 부하 전류가 진정됨에 따라, 전자기 코일(312)을 통과하는 전류가, 스프링(314)이 중심 자기 컴포넌트(302)를 다시 위치 P1로 이동시키고 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이의 접촉이 복원될 정도까지 감소한다. 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 스프링(314)에 대한 스프링 응답은, 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이의 접촉을 복원하는데 요구되는 소요시간이 1 내지 20 초 사이가 되도록 설정될 수 있다. 특정 실시예들에 있어, 이러한 소요시간이 1 내지 6 초 사이로 설정될 수 있다. 스프링 응답은, 전류가 SCFCL(102)를 통과하기 전에 초전도 엘리먼트들(120)을 초전도 상태로 복구하기에 충분한 시간을 허용하도록 설정될 수 있다. 이는, 고장 상태가 해결된 이후, 초전도체 엘리먼트들이 유한 저항 상태에 있을 때 전류가 초전도 엘리먼트들(120)을 통해 드로우되었다면 달리 일어날 수 있는 초전도 엘리먼트들(120)의 복구 지연을 회피하는데 도움을 줄 수 있다. 이러한 환경들에서, 초전도체 엘리먼트들(120)을 통해 드로우된 임의의 부하 전류가 저항성 가열 또는 초전도체 엘리먼트들이 초전도 상태로 전이하는 것을 지연시키거나 또는 방해하는 다른 유해한 영향들을 유도할 수 있다.

[0026] 도 4a 내지 도 4d는 본 발명의 실시예들에 부합하는 SCFCL 시스템(200)의 동작의 다른 단계들을 추가로 예시한다. 더 구체적으로, 도 4a는 소위 정상 동작 모드 동안의 SCFCL 시스템(200)의 사용의 일 예를 도시한다. 예시된 바와 같이, 부하 전류(402)가 SCFCL(102) 및 전자기 코일(310)을 통해 전기 경로(116)를 따라 이동한다. 부하 전류가 중심 자기 컴포넌트(302)를 접촉부(304)로부터 멀어지도록 드라이브하기에 충분하지 않으며, 따라서 전기 경로(116)가 손상되지 않은 상태로 남아 있다. 동시에, 전기 경로(114)를 통해 드로우되는 전류가 거의

없도록 션트 리액터(104) 및 SCFCL이 구성된다.

[0027] 도 4b는 과도 전류가 SCFCL 시스템(200)을 통해 드로우되는 고장 이벤트의 초기 단계 동안의 SCFCL 시스템(200)의 일 예를 도시한다. 언급된 바와 같이, SCFCL 시스템(200)은, 전기 경로(116)를 따른 전류에 대해 더 큰 임피던스를 생성하는 유한 저항 상태로 전이하는 초전도 엘리먼트들(120)의 사용에 의해 고장 이벤트 동안 전류를 제한하도록 구성된다. 동시에, SCFCL 시스템(200)은, 션트 리액터(104)를 통해 전기 경로(114)를 따라 드로우되는 고장 전류(414)가 SCFCL(102)을 통해 드로우되는 고장 전류(412)보다 더 크게 되도록 구성된다. 일부 실시예들에 있어, 고장 상태의 초기 기간 동안 고장 전류가 약 5 kA보다 더 클 때, SCFCL에 의해 드로우되는 고장 전류의 분율(fraction)은 총 고장 전류의 20% 미만이다. 일 예에 있어, SCFCL(102)은 정상 동작 하에서 1200 A의 부하 전류를 갖는 138 kV SCFCL로서 구성될 수 있으며, 고장 동안 SCFCL(102)을 통해 총 25 kA 중 약 5 KA의 고장 전류를 드로우할 수 있다.

[0028] 도 4b에 도시된 예에 있어, 고장 전류(414) 및 고장 전류(412)가, 중심 자기 컴포넌트(302)가 접촉부(304)로부터 멀어지도록 강요하는 힘을 방향(416)을 따라 가하는 자기장을 생성한다. 고장 전류들(414 및 412)이 함께 충분히 클 때, 즉, 이들이 임계 전류를 초과할 때, 보호 스위치(202)가 중심 자기 컴포넌트(320)로 하여금 접촉부(304)와의 접촉을 파괴하게 한다. 대안적인 실시예들에 있어, 고장 전류들(414 또는 412) 둘 모두가 아니라 그 중 하나가 접촉부(304)와의 중심 자기 컴포넌트(302)의 접촉을 파괴하기 위해 이용될 수 있다. 이러한 구성에서, 오직 하나의 코일만이 권취되고 사용될 수 있다.

[0029] 도 4c는, 일시적으로 과도 전류를 생성하는 고장 이벤트에 응답하여 중심 자기 컴포넌트(302)와 접촉부(304) 사이에서 접촉이 파괴된 도 4a 및 도 4b에 도시된 예들 다음의 시나리오를 추가로 도시한다. 따라서, 보호 스위치가 SCFCL(102)과 전기적으로 직렬이기 때문에, 전기 경로(116)를 통해 드로우되는 전류가 존재하지 않는다. 도 4c에 도시된 예에서, 고장 이벤트에 의해 생성되는 과도 전류가 감소하였으며, 그 결과 고장 전류의 초기 단계들에서 존재하는 고장 전류(412)에 비하여 전기 경로(116)를 통해 드로우되는 고장 전류(422)가 감소한다. 전자기 코일(312)을 통과하는 이러한 감소된 고장 전류(412) 때문에, 스프링(314)의 복원력이 전자기 코일들의 세트(308)에 의해 생성되는 자기장에 의해 생성되는 힘보다 더 크며, 이는 접촉부(304)를 향한 중심 자기 컴포넌트(302)의 움직임을 초래한다.

[0030] 다양한 실시예들에 있어, 이상에서 언급된 바와 같이, 스프링(314)의 스프링 상수는, 고장 상태가 해결된 후 전기 경로(116)를 통한 부하 전류가 작은 값 또는 0으로 떨어지는 시점 다음에 1 내지 20 초 후 중심 자기 컴포넌트(302)가 접촉부(304)에 붙어 인접하도록 복귀하게 하는 것이다. 도 4c의 시나리오 동안의 중간에, 초전도체 엘리먼트들(120)이 초전도 상태로 복귀하기 시작한다. 전류가 초전도체 엘리먼트들(120)을 가로지르지 않기 때문에, 유한 저항 상태로부터 초전도 상태로의 이러한 전이가 훨씬 더 빠르게 일어날 수 있다.

[0031] 도 4d는 도 4a 내지 도 4c에 도시된 예들 다음의 도 4c에 도시된 것 이후의 예를 도시한다. 이러한 예에서, SCFCL 시스템(200)이 고장 상태로부터 복구되었으며, 중심 자기 컴포넌트(302)가 접촉부(304)와 다시 접촉하게 되었다. 예시된 바와 같이, 작은 부하 전류(432)가 전기 경로(116)를 통과하며, 반면 전기 경로(114)를 통과하는 전류가 거의 없다.

[0032] 도 7은 본 실시예들에 따른 SCFCL 시스템의 동작 기능을 추가로 예시하는 예시적인 전류 커브들을 도시한다. 도 7에 있어, 전기 경로들(116 및 114)을 따라 드로우되는 전류에 대한 2개의 예시적인 전류 커브들(702 및 704)이 각기 도시된다. 초기 정상 동작 기간(706) 동안, SCFCL(102)(도 2 참조)을 통해 전도되는 전류의 전류 레벨이 수천 암페어 이하와 같이 상대적으로 낮다. 션트 리액터(104)를 통해 드로우되는 전류는 무시할 수 있거나 또는 0이다. 전류 커브(702)에 의해 예시된 바와 같이, 시간 T1에서, 고장 상태가 발생하며 이는 SCFCL(102)을 통해 드로우되는 전류의 급격한 증가를 야기한다. 그러나, 이는 동시에 전류 경로(116)를 따라 임피던스를 크게 증가시키는 유한 저항 상태로의 초전도체 엘리먼트들(120)의 전이를 야기하며, 이는 전류 커브(702)의 전류 레벨의 제한된 증가를 야기한다. 일부 경우들에 있어 몇 천 암페어의 최대 값으로 귀결된다. 동시에, 고장 기간(708) 동안, 션트 리액터(104)가 고장 전류를 드로우하도록 구성되며, 이는 전기 경로(114)를 따라 드로우되는 전류의 상대적으로 더 큰 전류 레벨을 야기한다.

[0033] 시간 T2에서, 전류 커브들(702 및 704)에 의해 표현되는 총 전류가 보호 스위치(202)를 개방하는 임계를 초과며, 이는 전류 커브(702)를 즉시 0으로 감소되게끔 한다. 이후의 복구 기간(710) 동안, 전류 커브(704)에 의해 예시되는 바와 같이, 전류가 전기 경로(116)를 통해 흐르지 않으며, 반면 고장 전류가 감쇠(decay)하고 한정된 전류가 전기 경로(114)에 지속된다. 몇 초 또는 이 이상 지속될 수 있는 복구 기간(710)에서, 초전도체 엘리먼트들(120)이 전류 드로우를 경험하지 않으며 이는 초전도 상태로의 그들의 복구를 용이하게 한다. 시간 T3

에서 스프링(314)이 보호 스위치(202)를 닫으며, 이는 이후의 SCFCL 시스템(200)의 정상 동작의 기간(712)에서 전기 경로(116)를 통한 재개된 전류 드로우를 야기한다. 일부 실시예들에 있어, 보호 스위치(202)는 초전도체 엘리먼트들(120)의 초전도 상태로의 완전한 복구를 위해 충분한 시간을 제공하도록 구성될 수 있다.

[0034] 보호 스위치가 시간 T2와 시간 T3 사이에서 개방된 채로 남아 있는 소요시간이 SCFCL 시스템의 성능을 최적화하도록 설정될 수 있다는 것이 주목되어야 한다. 예를 들어, 전기 경로(116)이 개방되어 있는 SCFCL(102)이 "오프-라인"인 시간이 최소화되는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 경우에 있어, 예를 들어, 모든 초전도체 엘리먼트들(120)의 완전 복구가 평균적으로 전류 부하의 부재시 4 초를 필요로 할 것으로 예상되는 경우에도, 보호 스위치(202)가 단지 3 초 동안만 개방된 채로 남아 있도록 설계될 수 있다.

[0035] 도 5는 본 발명의 추가적인 실시예들에 부합하는 추가적인 전류 제한 시스템을 도시한다. 이러한 실시예에 있어, SCFCL 시스템(500)은 전반적으로, 이하에서 언급되는 차이점들을 제외하면, SCFCL 시스템(200)에 대하여 이상에서 상세화된 것과 동일한 컴포넌트들을 포함한다. 구체적으로, SCFCL 시스템(500)은 고 전압 절연부(206)를 포함하지 않는 소위 "데드 탱크(dead tank)" 구성으로 배열된다. 테드 탱크 구성은, 고 전압 절연부가 크라이오스탯 내부에 존재하는, 접지된 크라이오스탯(502) 또는 다른 냉각 시스템을 갖는 SCFCL 디바이스를 지칭한다. 도 1 내지 도 4의 실시예들의 특성인 라이브(live) 탱크 SCFCL 설계에 있어, 냉각 시스템(204)이 접지되지 않으며(플로팅(floating)하며), 이는 주변 공기 내의 고 전압 절연부(206) 및 지지 구조체들을 필요로 한다. 유사하게, 다양한 실시예들에 있어, 전자기 스위치 보호 스위치 또는 회로 차단기 디바이스와 같은 보호 컴포넌트가 라이브 탱크 또는 테드 탱크 구성으로 배열될 수 있다(라이브 탱크 구성은 도 2 내지 도 4d의 보호 스위치(202)에 대해 예시된다).

[0036] 도 6은 추가적인 실시예에 부합하는 또 다른 추가적인 전류 제한 시스템을 도시한다. SCFCL 시스템(600)은, 회로 차단기(602)가 전자기 스위치 대신에 제공된다는 것을 제외하면, SCFCL 시스템(200)에 대하여 이상에서 설명된 것과 동일한 컴포넌트들을 포함한다. 따라서, 고장 상태 동안 입구 지점(110)과 출구 지점(112) 사이에 과도 전류가 처음으로 드로우될 때, 초전도체 엘리먼트들(120)이 전류를 제한하기 위하여 유한 저항 상태로 전이한다. 전기 경로(116) 내에 계속해서 존재하는 전류(604)가 임계 값을 초과하는 경우, 회로 차단기(602)는 전기 경로(116)를 개방하도록 구성된다. 이어서, 복구 기간 동안, 임의의 부하 전류(606)가 센트 리액터(104)를 통해 전기 경로(114)를 따라 전도된다. 이러한 시간 동안, 초전도체 엘리먼트들(120)이 회로 차단기(602)가 리셋될 때까지 어떤 전류가 존재하지 않는 상태에서 초전도 상태로 복구될 수 있다.

[0037] 도 8은 접촉 분리의 속도 및 복구 시간을 제어하기 위하여 조절형(regulated) 공기 실린더 및 스프링을 포함하는 상세화된 메커니즘을 보여주는 또 다른 추가적인 전자기 스위치 실시예를 도시한다. 사전-이동 조정부(pre-travel adjustment)(806)뿐만 아니라, 스프링(803), 로킹(locking) 메커니즘(802), 및 그 스프링(804)과 함께 접촉부(807)의 분리의 속도 및 복구 시간을 결정하는 조절형 공기 실린더(801)를 포함하는 복구 스위치(800)가 제공된다. 레버 암(lever arm)(808)이 로킹 메커니즘(802) 및 진공 인터럽터(interrupter)(807)로의 그 연결에 의해 회로 복구를 제어한다. 레버 암은 P1과 P2 사이의 접촉 분리 거리(도 3 참조)를 제어하며, 여기에서 접촉 분리 거리가 보호 시스템의 동작 전압을 결정하는 주 메커니즘이다. 보호 시스템(800)은 또한 가변 코일 배열(809)을 포함할 수 있으며, 여기에서 코일 내의 복수의 턴(turn)들이 전자기력을 변화시키는데 사용된다.

[0038] 동작 시, 본원에 도시된 복구 스위치(800)가 전력 중단 없이 정상 전류가 스위치를 통과하게끔 허용한다. 고장이 발생했을 때, 전류가 증가할 것이며, 그 결과 솔레노이드(805)의 자기장이 플런저(810)를 끌어 당길 것이다. 이는 샤프트를 로킹 메커니즘(802) 내로 드라이브한다. 이는 진공 차단기(807)를 개방 회로 위치에 로킹하고, 이는 임의의 전류 부하 없이 초전도 재료가 복구되는 것을 가능하게 한다. 회로 리셋에 대한 시간 지연이 조절형 공기 실린더(801) 및 압축 스프링(803)에 의해 제어된다. 로킹 메커니즘(802)이 언로킹되면, 모든 컴포넌트들이 그들의 원래 위치로 리셋되며, 이는 전기 회로가 완성되게끔 한다.

[0039] 요약하면, 본 실시예들은, SCFCL 컴포넌트들의 복구를 가속하기 위한 메커니즘을 포함하여 종래의 시스템들에서와 같은 자동 전류 제한 기능을 제공하기 위해 종래에 초전도 전류 제한 시스템 내에서 전도되는 전류를 사용하는 보호 시스템을 제공한다. 이는 복잡한 회로부의 사용을 회피하며, 또한 고장 상태들로부터 빠르게 복구하는 더 큰 성능 때문에 SCFCL 시스템들에서 사용되는 초전도체 재료의 양을 감소시키는 능력을 제공한다.

[0040] 본 실시예들 및 보호 시스템의 사용 또는 애플리케이션이 일반적으로 SCFCL 보호에 한정되지 않는다. 예를 들어, 본 실시예들은, 고체 상태 FCL, 포화된(saturated) 철 FCL, 및 다른 것들과 같은 임의의 유형의 고장 전류 제한(FCL) 디바이스들에 대해 이용될 수 있다. 실시예들이 또한 고장 해결 동작들을 가속하기 위해 종래의 회로 차단기들에 대한 보조로서 사용될 수 있다. 복잡한 고장 해결부 또는 무 텔레이 조정 시스템이 요구되지

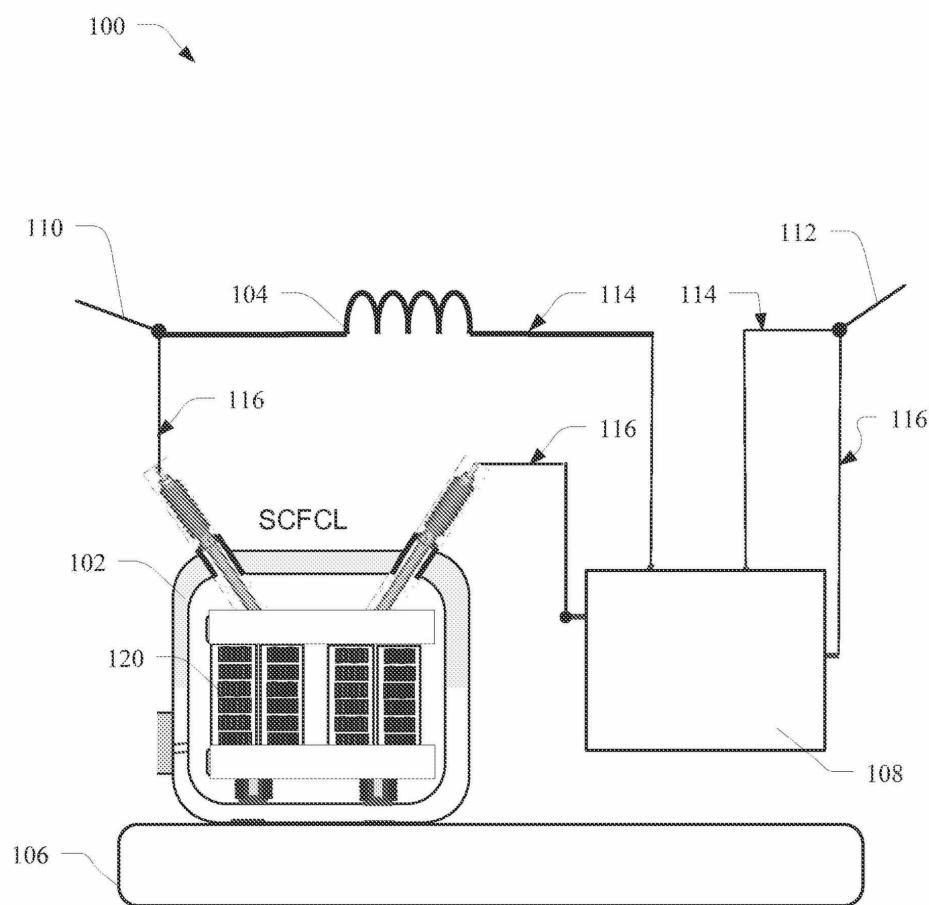
않는 일부 애플리케이션들에 있어, 본 실시예들에 의해 제공되는 이러한 단순한 보호 시스템이 자동-차단 및 자동-닫음 스위치 또는 접촉기로서 사용될 수 있다.

[0041]

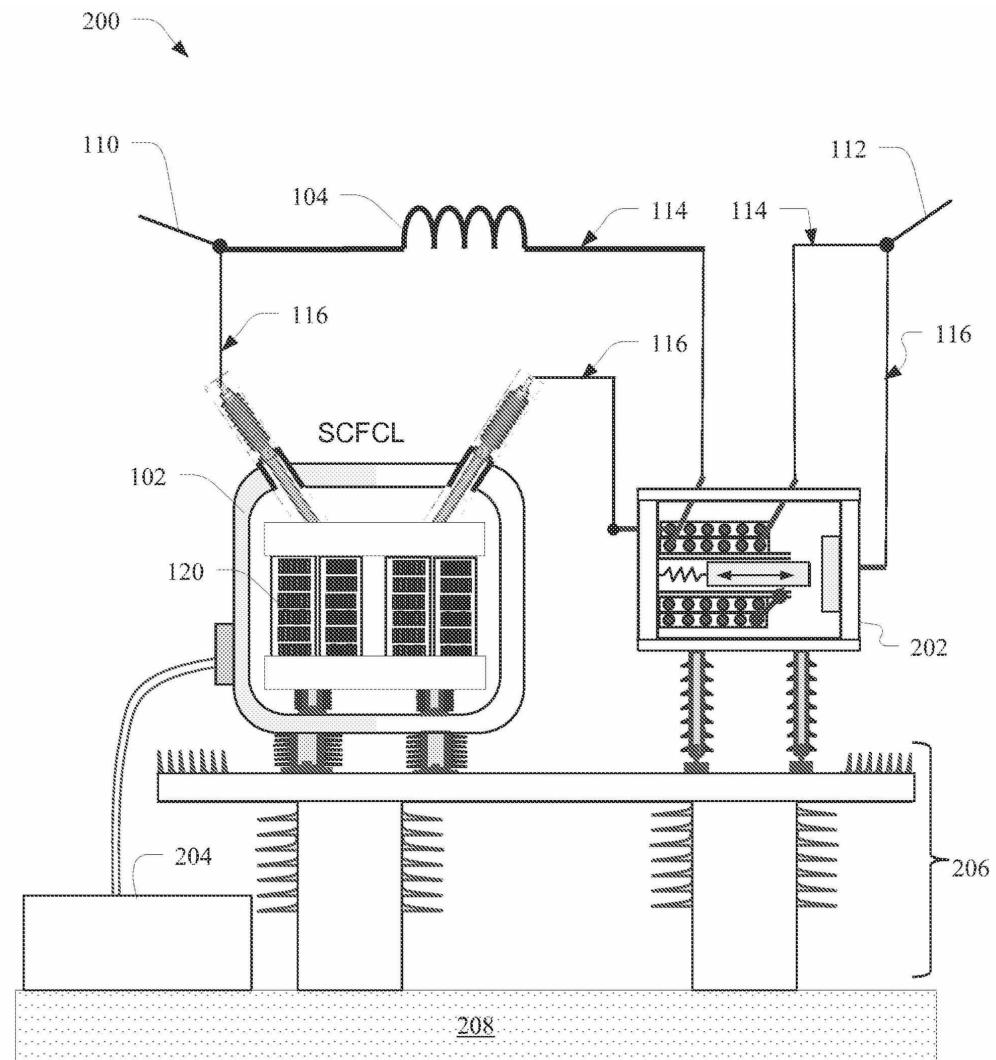
본 발명은 본원에서 설명된 특정 실시예에 의해 범위가 제한되지 않는다. 오히려, 본원에서 설명된 실시예들에 더하여, 본 발명의 다른 다양한 실시예들 및 이에 대한 수정예들이 이상의 설명 및 첨부된 도면들로부터 당업자들에게 자명해질 것이다. 따라서, 이러한 다른 실시예들 및 수정예들이 본 발명의 범위 내에 속하도록 의도된다. 추가로, 본 발명이 본원에서 특정 목적을 위한 특정 환경에서의 특정 구현예의 맥락에서 설명되었지만, 당업자들은 이의 유용함이 이에 한정되지 않으며, 본 발명이 임의의 수의 목적들을 위한 임의의 수의 환경들에서 유익하게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 이하에서 기술되는 청구항들은 본원에서 설명된 바와 같은 본 발명의 완전한 폭과 사상의 관점에서 해석되어야만 한다.

도면

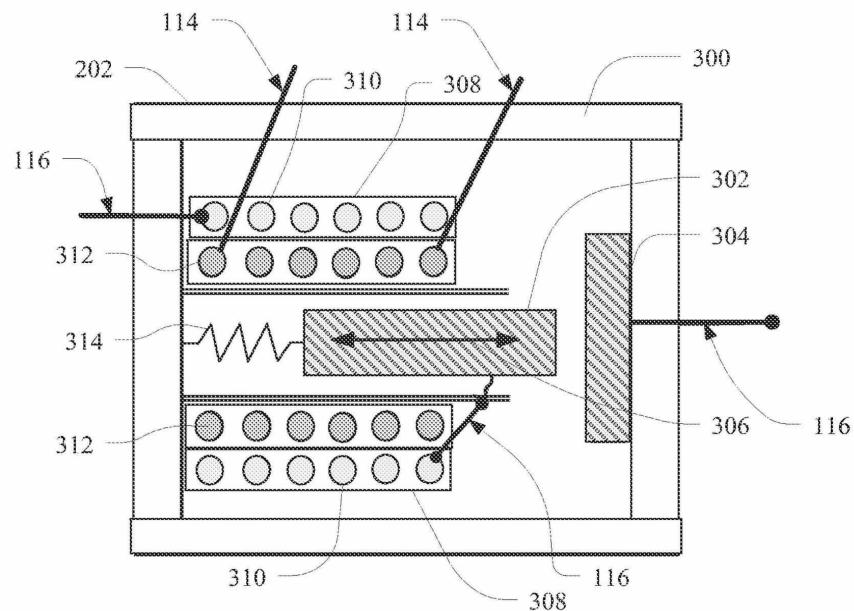
도면1



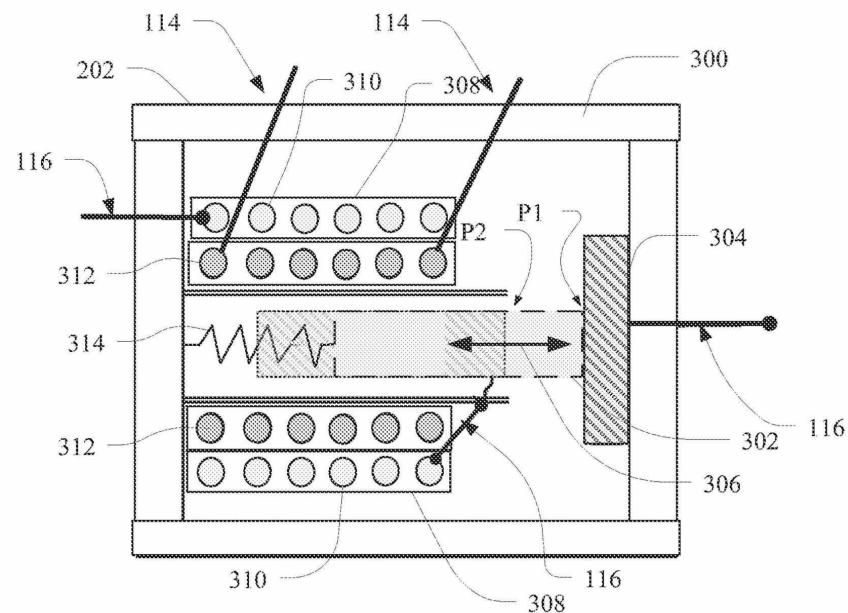
도면2



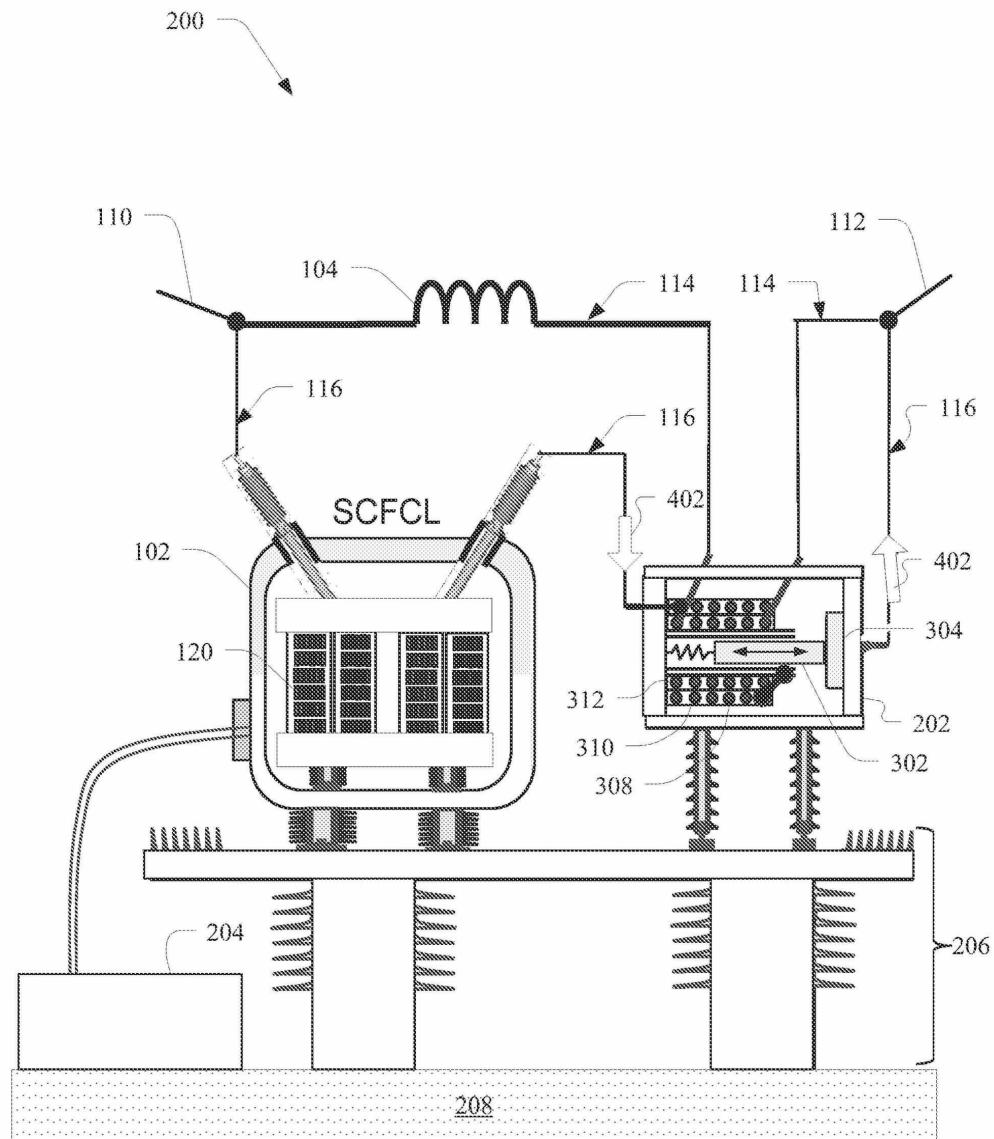
도면3a



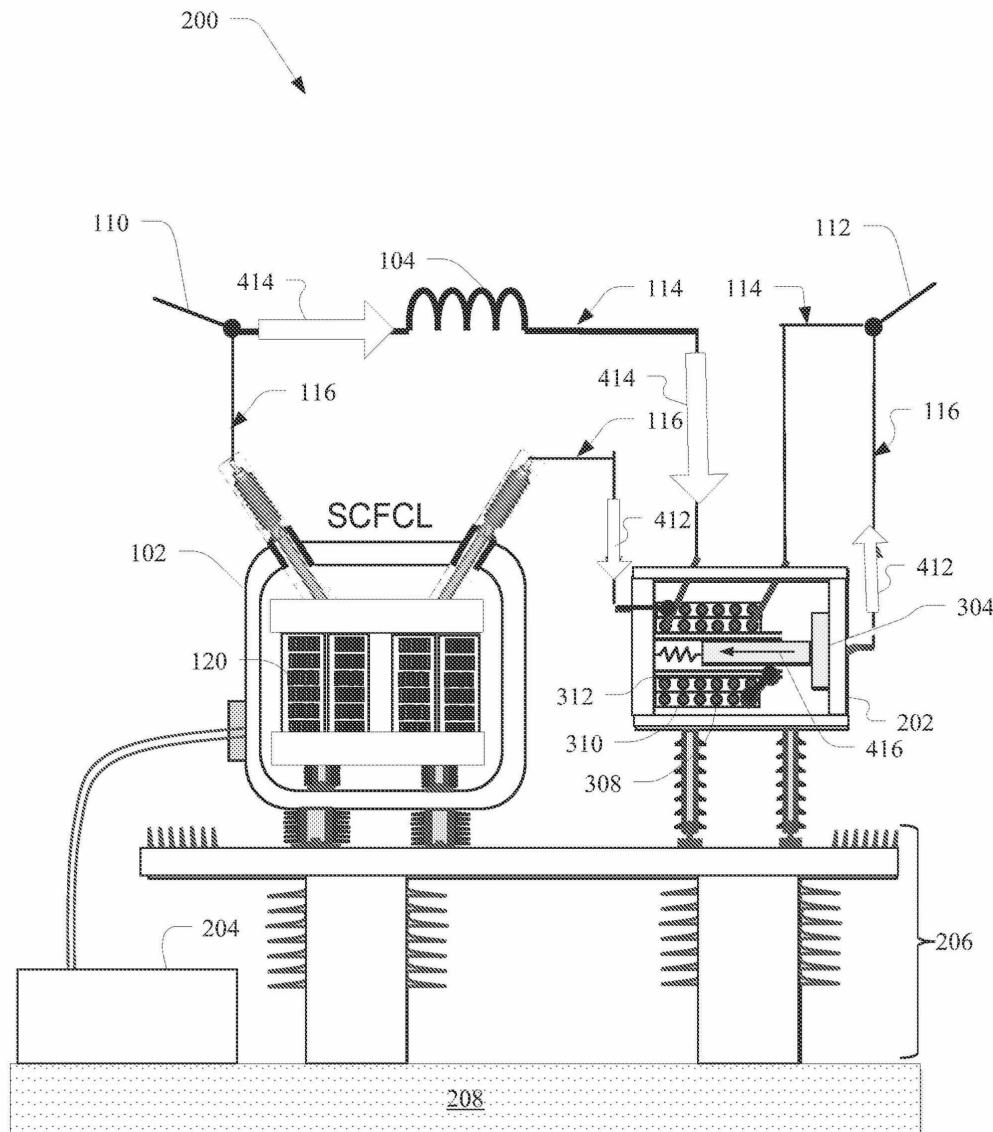
도면3b



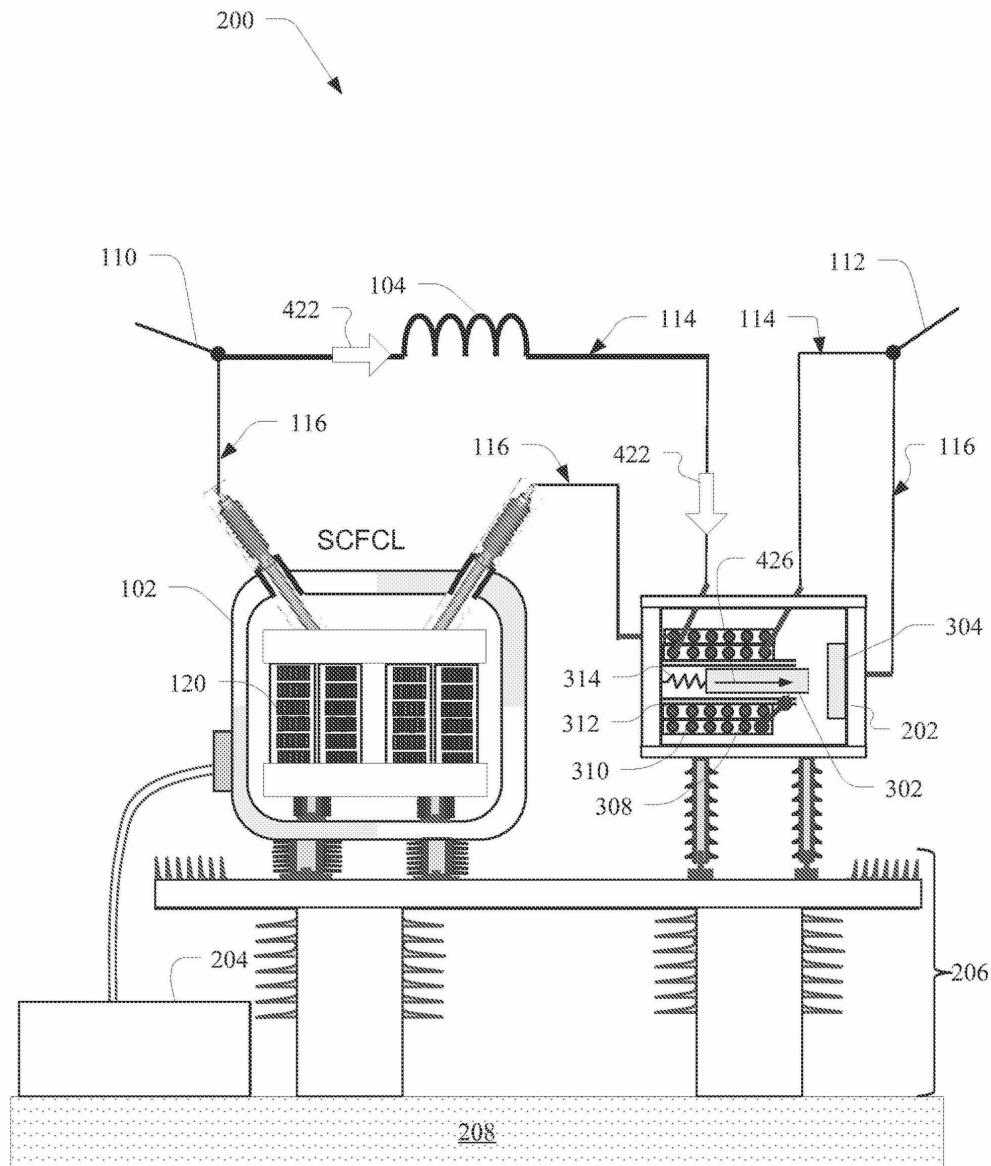
도면4a



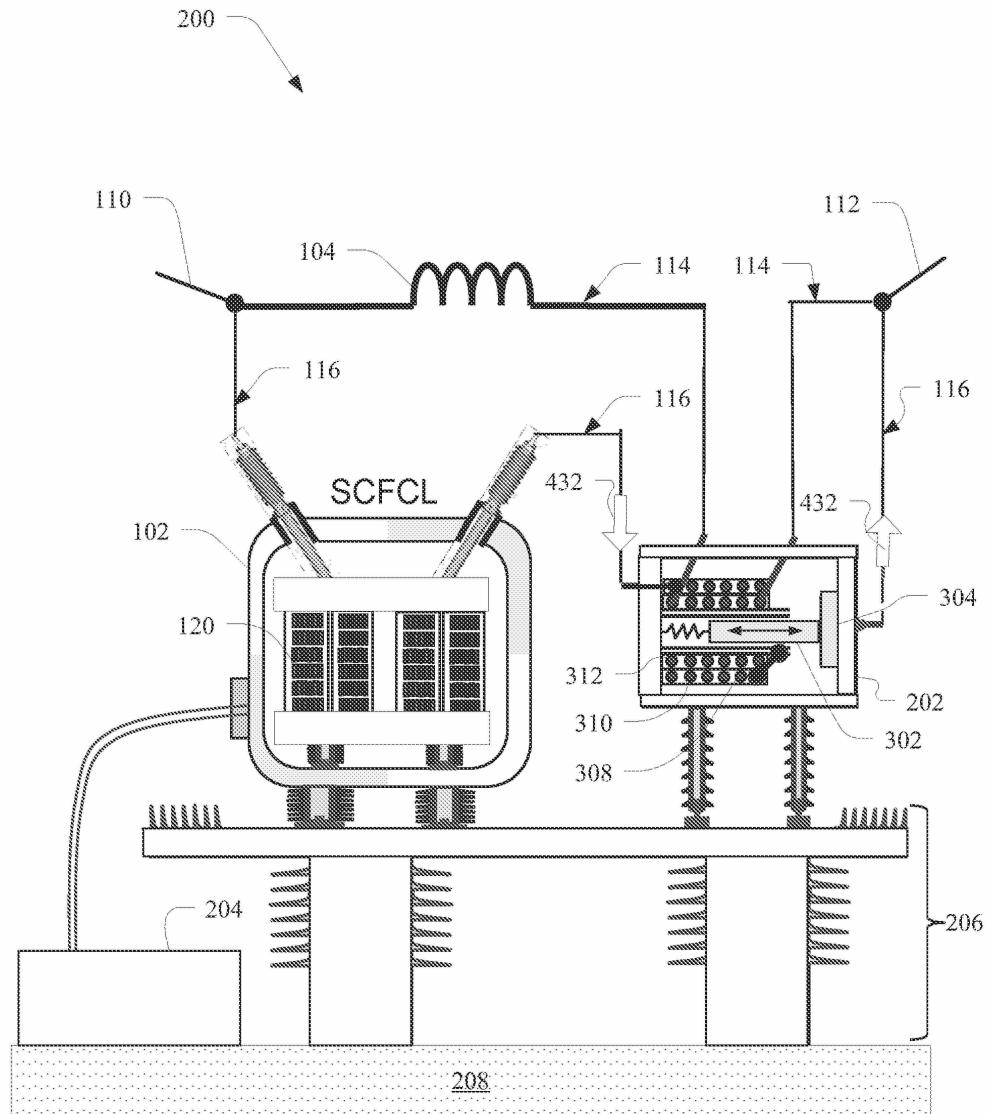
도면4b



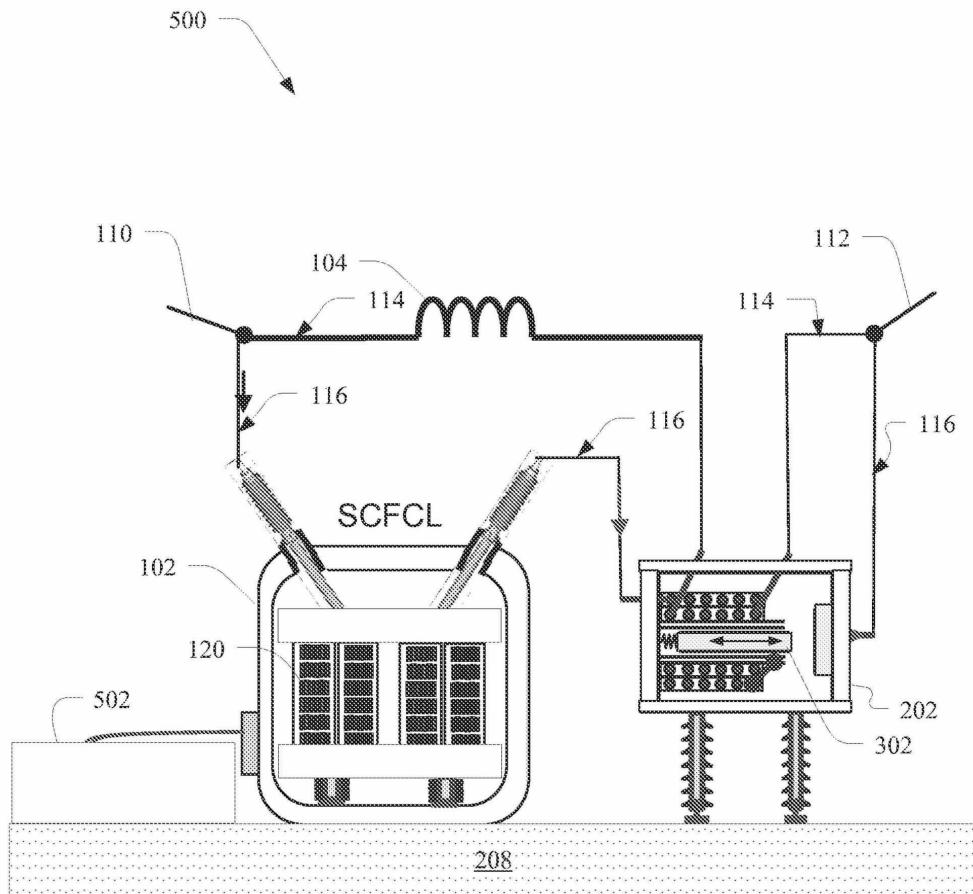
도면4c



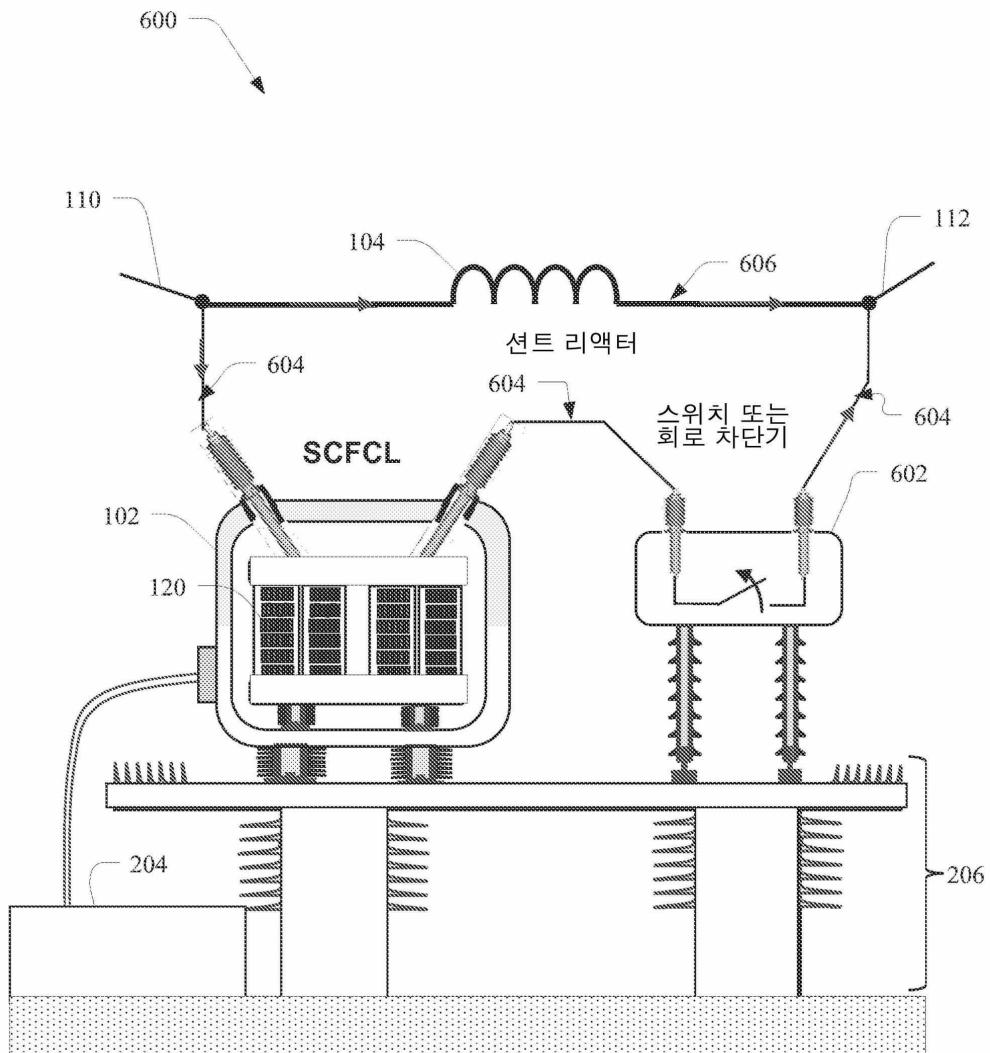
도면4d



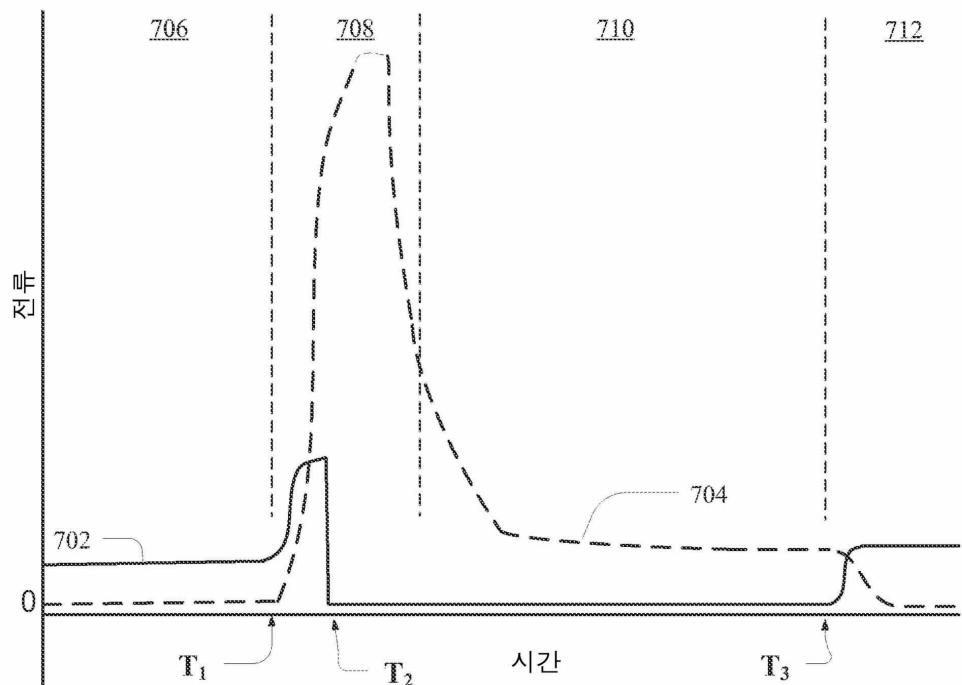
도면5



도면6



도면7



도면8

