(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0135632
(43) 공개일자 2023년09월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01H 13/705* (2006.01) *G01R 33/383* (2006.01)
*H01F 13/00* (2006.01) *H01F 27/42* (2006.01)
*H01F 36/00* (2006.01) *H02M 1/00* (2007.01)
*H02M 3/338* (2006.01) *H02M 5/293* (2006.01)
*H02M 7/00* (2006.01) *H10N 60/355* (2023.01)
*H10N 60/84* (2023.01)
(52) CPC특허분류
*H01H 13/705* (2013.01)
*G01R 33/383* (2021.05)
(21) 출원번호 10-2023-7028577
(22) 출원일자(국제) 2022년01월26일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년08월22일
(86) 국제출원번호 PCT/NZ2022/050009
(87) 국제공개번호 WO 2022/164330
국제공개일자 2022년08월04일
(30) 우선권주장
2021900162 2021년01월26일 오스트레일리아(AU)
2021903414 2021년10월26일 오스트레일리아(AU)

(71) 출원인
**빅토리아 링크 엘티디**
뉴질랜드, 6012, 웰링톤, 캘번, 켈번 퍼레이드, 랭킨 브라운 빌딩, 알비905
(72) 발명자
**배드콕 로드니 알란**
뉴질랜드 웰링턴 5010 로워 허트 그레이스필드 로드 69 빅토리아 유니버시티 오브 웰링턴 로빈슨 리서치 인스티튜트 내
**범비 크리스토퍼 윌리엄**
뉴질랜드 웰링턴 5010 로워 허트 그레이스필드 로드 69 빅토리아 유니버시티 오브 웰링턴 로빈슨 리서치 인스티튜트 내
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**김태홍, 김진희**

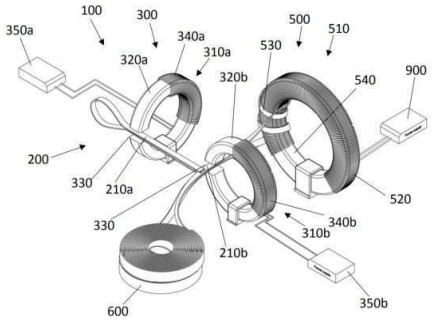
전체 청구항 수 : 총 36 항

(54) 발명의 명칭 **고온 초전도 스위치 및 정류기**

## (57) 요 약

다음을 포함할 수 있는 교류 입력 전류의 정류기가 제공된다: 교류 스위치 전류를 전달하기 위한 HTS 재료의 길이(length of HTS material)를 포함하는 전기 스위치로서, HTS 재료는 임계 전류를 갖는 전기 스위치; 자기장을 HTS 재료에 가하기 위한 자기장 발생기; 자기장 발생기를 제어하여 자기장의 크기가 상대적으로 작은 경우 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 큰 경우 고-저항 상태 사이에서 스위치를 전환하고, 상대적으로 큰 크기는 임계 전류를 감소시키기에 충분하여, 교류 스위치 전류 사이클의 일부에 대해 전류가 임계 전류에 근접하거나 임계 전류와 실질적으로 같거나 임계 전류보다 크도록 하는 제어 메커니즘. 바이파일러 배열(bifilar arrangement)로 배열된 두 가닥의 초전도 물질을 갖는 전기 스위치가 추가로 제공된다.

## 대 표 도



(52) CPC특허분류
*H01F 13/00* (2013.01)
*H01F 27/42* (2013.01)
*H01F 36/00* (2013.01)
*H02M 1/0003* (2021.05)
*H02M 3/338* (2013.01)
*H02M 5/293* (2013.01)
*H02M 7/003* (2021.05)
*H10N 60/355* (2023.02)
*H10N 60/84* (2023.02)

(72) 발명자
**젱 지안자오**
뉴질랜드 웰링턴 5010 로워 허트 그레이스필드 로드 69 빅토리아 유니버시티 오브 웰링턴 로빈슨 리서치 인스티튜트 내

**라이스 제임스 해밀턴 파머**
뉴질랜드 웰링턴 5010 로워 허트 그레이스필드 로드 69 빅토리아 유니버시티 오브 웰링턴 로빈슨 리서치 인스티튜트 내

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

전기 스위치로서,

초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥으로서, 각각이 수송 전류를 전달하고 임계 전류를 갖도록 구성되는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥; 및

상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥에 자기장을 가하도록 구성 및 배치된 자기장 발생기로서, 고투과성 자기 코어를 포함하는 자기장 발생기가 있는, 전기 스위치로서,

상기 자기장 발생기는, 상기 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 상기 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 선택적으로 제어되도록 구성되고, 상기 저-저항 상태에서는 상기 수송 전류가 상기 임계 전류보다 실질적으로 작고, 상기 고-저항 상태에서는 상기 수송 전류가 상기 임계 전류에 근접하거나, 상기 임계 전류와 실질적으로 같거나 또는 상기 임계 전류보다 크고,

상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 자기장 영역 내에서 서로 실질적으로 평행하게 공간적으로 배열되고, 상기 수송 전류가 상기 자기장 영역 내에서 상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥을 통해 서로 반대 방향으로 흐르도록 전기적으로 연결되는, 전기 스위치.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 고투과성 자기 코어는 갭으로 분리된 제1 단부와 제2 단부를 포함하고, 상기 초전도 물질의 제1 및 제2 가닥은 상기 갭 내에 위치하는, 전기 스위치.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 각각 두 개의 반대면을 갖는 테이프 형태인, 전기 스위치.

### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 테이프는 상기 초전도 물질의 제1 가닥의 반대면이 상기 초전도 물질의 제2 가닥의 반대면과 평행하도록 배열되는, 전기 스위치.

### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 테이프는 상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥에 인가되는 자기장이 두 개의 반대면 각각에 실질적으로 수직이 되도록 배향되는, 전기 스위치.

### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 스위치는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥이 단-대-단(end-to-end) 일체형으로 결합된 단일 길이의 초전도 물질을 포함하는, 전기 스위치.

### 청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 제1 가닥의 면을 제2 가닥의 면에 연결하여 전기적으로 연결되는, 전기 스위치.

### 청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 초전도 재료는 고온 초전도(high temperature superconducting, HTS) 재료인, 전기 스위치.

### 청구항 9

교류 입력 전류를 정류하도록 구성된 정류기로서,

교류 스위치 전류를 전달하도록 구성된 고온 초전도(HTS) 물질의 길이(length of high temperature superconducting (HTS) material)를 포함하는 전기 스위치로서, 상기 HTS 물질의 길이는 임계 전류를 갖는, 전기 스위치;

자기장을 HTS 재료에 적용하도록 구성 및 배열된 자기장 발생기; 및

자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 자기장 발생기를 제어하는 제어 메커니즘으로서, 상기 상대적으로 큰 크기는, 교류 스위치 전류의 사이클의 일부에 대해, 교류 스위치 전류가 임계 전류에 접근하거나, 임계 전류와 실질적으로 동일하거나, 임계 전류보다 크도록, HTS 재료의 길이의 임계 전류를 감소시키기에 충분한 크기인, 제어 매커니즘을 포함하고,

상기 전기 스위치는 직류 출력을 생성하기 위해 교류 입력 전류를 정류하도록 배열되는, 정류기.

**청구항 10**

제9항에 있어서, 상기 전기 스위치는 교류 입력 전류를 반파 정류하도록 배치되고, 직류 출력은 상기 전기 스위치를 가로질러 병렬로 연결된 부하에 전달되는, 정류기.

**청구항 11**

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 제어 메커니즘은 자기장의 크기가 교류 입력 전류의 위상에 기초하도록 자기장 발생기를 제어하도록 구성되는, 정류기.

**청구항 12**

제11항에 있어서, 상기 제어 메커니즘은 자기장의 크기가 교류 스위치 전류의 위상에 따라 위상이 변하도록 교류 발전기 전류를 자기장 발생기에 공급하는, 정류기.

**청구항 13**

제12항에 있어서, 상기 정류기는 교류 스위치 전류를 제어하는 전류 제어 메커니즘으로서, 교류 스위치 전류가 제1 방향으로 흐를 때 교류 스위치 전류의 제1 피크 전류는 자기장 발생기에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 HTS 재료 길이의 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 동일하거나, 임계 전류보다 크도록 하고, 교류 스위치 전류가 제2 방향으로 흐르는 제2 피크 전류는 자기장 발생기에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때, 제2 방향이 제1 방향과 반대일 때, HTS 재료 길이의 임계 전류보다 작도록 하는, 교류 스위치 전류를 제어하는 전류 제어 메커니즘을 포함하는, 정류기.

**청구항 14**

제11항 또는 제12항에 있어서, 상기 자기장 발생기는:

갭을 형성하는 자기 코어; 및

코일에서 자기 코어의 일부에 권취된 도체로서, 교류 발전기 전류를 전달하는 도체를 포함하고,

상기 HTS 재료의 길이는 갭에 위치하는, 정류기.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 교류 입력 전류는 교류 발전기 전류로서 도체에 직접 공급되고, 상기 교류 스위치 전류는 교류 입력 전류에 기초하는, 정류기.

**청구항 16**

제14항에 있어서, 상기 정류기는 변압기를 포함하고, 상기 변압기는 1차 측 및 2차 측을 포함하며, 상기 1차 측은 교류 입력 전류를 수신하고 상기 2차 측은 전기 스위치에 연결되는, 정류기.

**청구항 17**

제16항에 있어서, 상기 도체는 변압기의 1차 측에 연결되는, 정류기.

**청구항 18**

제16항에 있어서, 상기 도체는 변압기의 2차 측에 연결되는, 정류기.

**청구항 19**

제16항에 있어서, 상기 변압기는 갭을 형성하는 자기 코어를 포함하는, 정류기.

**청구항 20**

제14항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제어 메커니즘은 자기장 발생기를 통해 교류 발전기 전류를 제어하도록 구성된 전류 흐름 제어 장치를 포함하는, 정류기.

**청구항 21**

제20항에 있어서, 상기 전류 흐름 제어 장치는 교류 발전기 전류가 제1 방향으로 흐를 때 자기장 발생기가 활성화되고 교류 발전기 전류가 제2 방향으로 흐를 때 자기장 발생기가 비활성화되도록 자기장 발생기에 병렬로 연결된 다이오드를 포함하고, 상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 반대 방향인, 정류기.

**청구항 22**

제20항에 있어서, 상기 전류 흐름 제어 장치가 자기장 발생기에 병렬로 연결된 발전기 제어 스위치를 포함하고, 상기 발전기 제어 스위치가 개방될 때 자기장 발생기가 활성화되고, 상기 발전기 제어 스위치가 폐쇄될 때 자기장 발생기가 비활성화되도록 구성되고, 상기 제어 메커니즘은 상기 발전기 제어 스위치의 개폐를 제어하도록 구성된 제어기를 포함하는, 정류기.

**청구항 23**

제9항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 정류기는,

추가 교류 스위치 전류를 전달하도록 구성된 고온 초전도(HTS) 재료의 추가 길이를 포함하고, 상기 HTS 재료의 길이는 임계 전류를 갖는, 적어도 하나의 추가 전기 스위치; 및

적어도 하나의 추가 전기 스위치 각각에 대해, 추가 길이의 HTS 재료에 추가 자기장을 적용하도록 구성 및 배치되는, 추가 자기장 발생기를 포함하고,

상기 제어 메커니즘은, 상기 추가 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 상기 추가 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 각각의 추가 전기 스위치를 전환하도록 상기 추가 자기장 발생기를 제어하도록 구성되고, 상기 상대적으로 큰 크기는, 교류 스위치 전류의 사이클의 일부 동안, 교류 스위치 전류가 임계 전류에 근접하고, 임계 전류와 실질적으로 동일하거나 임계 전류보다 크도록 상기 추가 자기장 발생기를 제어하도록 구성되고,

상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 직류 출력을 생성하기 위해 및 교류 입력 전류를 정류하기 위해 전기 스위치와 함께 작동하도록 배열되는, 정류기.

**청구항 24**

제23항에 있어서, 상기 제어 메커니즘은 각각의 자기장 발생기가 비활성화될 때 저-저항 상태와 각각의 자기장 발생기가 활성화될 때 고-저항 상태 사이에서 각각의 전기 스위치를 전환하도록 각각의 자기장 발생기를 각각 활성화 및 비활성화하도록 구성되는, 정류기.

**청구항 25**

제24항에 있어서, 상기 추가 자기장 발생기는 제2 자기장 발생기를 더 포함하고, 상기 제어 메커니즘은 상기 제2 자기장 발생기가 비활성화될 때 상기 자기장 발생기가 활성화되고, 상기 제2 자기장 발생기가 활성화될 때 상기 자기장 발생기가 비활성화되도록 구성되는, 정류기.

**청구항 26**

제23항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2 전기 스위치를 포함하고, 상기 전기 스위치 및 상기 제2 전기 스위치는 직렬로 연결되고 직류 출력은 상기 스위치 중 하나에 병렬로 연결된 부하에 전달되는, 정류기.

**청구항 27**

제23항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2 전기 스위치를 포함하고, 상기 전기 스위치 및 상기 제2 전기 스위치는 교류 입력 전류를 전파 정류하도록 배치되는, 정류기.

**청구항 28**

제26항에 있어서, 상기 제1 전기 스위치 및 상기 제2 전기 스위치는 직렬로 연결되고, 직류 출력이 두 전기 스위치 사이에 병렬로 연결된 부하로 전달되는, 정류기.

**청구항 29**

제23항 내지 제28항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2, 제3 및 제4 전기 스위치를 포함하며, 상기 제1 전기 스위치 쌍은 상기 제2 전기 스위치에 직렬로 연결된 전기 스위치를 포함하고, 상기 제2 전기 스위치 쌍은 상기 제4 전기 스위치에 직렬로 연결된 상기 제3 전기 스위치를 포함하고, 상기 제1 전기 스위치 쌍은 상기 제2 전기 스위치 쌍에 병렬로 연결되고, 상기 직류 출력은 제1 단자와 제2 단자 사이에 연결된 부하에 전달되며, 상기 제1 단자는 상기 전기 스위치와 상기 제2 전기 스위치 사이에 있고, 상기 제2 단자는 상기 제3 전기 스위치와 상기 제4 전기 스위치 사이에 있는, 전기 스위치.

**청구항 30**

제14항에 있어서, 상기 자기 코어는 제1 코어 부분 및 제2 코어 부분을 포함하고, 상기 제1 코어 부분 및 상기 제2 코어 부분은 열 차단부에 의해 분리되는, 정류기.

**청구항 31**

제16항에 있어서, 상기 변압기는 제1 코어 부분과 제2 코어 부분을 포함하는 자기 코어를 포함하고, 상기 제1 코어 부분은 제1 코어를 포함하고 상기 제2 코어 부분은 제2 코어 부분을 포함하며, 상기 제1 코어 부분과 상기 제2 코어 부분은 열 차단부에 의해 분리되는, 정류기.

**청구항 32**

제30항 또는 제31항에 있어서, 상기 제1 코어 부분은 저온 조절기 외부에 위치하며, 상기 제2 코어 부분은 저온 조절기 내부에 위치하는, 정류기.

**청구항 33**

제14항에 있어서, 상기 자기장 발생기는 상기 자기 코어와 상기 도체 사이의 열 차단부를 포함하는, 정류기.

**청구항 34**

제16항에 있어서, 상기 변압기는 자기 코어 및 자기 코어와 1차 측 및/또는 2차 측을 형성하는 하나 이상의 도체 사이의 열 차단부를 포함하는, 정류기.

**청구항 35**

제33항 또는 제34항에 있어서, 상기 열 차단부는 단열재를 포함하는, 정류기.

**청구항 36**

제9항 내지 제35항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 전기 스위치는 제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따른 전기 스위치인, 정류기.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 기술은 초전도 전기 스위치 및 정류기에 관한 것이다. 본 기술은 특히 초전도 재료, 특히 고온 초전도 재료로부터 형성된 구성요소를 포함하는 전기 스위치 및 정류기에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0002] 초전도 회로는 광범위한 응용 분야를 가지고 있다. 초전도 회로를 포함한 시스템의 응용 분야의 예에는 초전도 자석; 플럭스 펌프; 고장 전류 제한기(fault current limiters); 자기 에너지 저장 시스템; 공간 추진(space propulsion); 핵융합; 핵자기 공명(NMR); 자기 공명 영상(MRI); 부양(levitation); 정수 및 유도 가열 등이 포함되며, 이에 국한되지 않는다.

[0003] 초전도 회로의 많은 응용 분야는 전류를 정류하는 것, 즉 교류(AC, 주기적으로 방향이 바뀌는 전류)를 직류(DC, 한 방향으로만 흐르는 전류)로 변환하는 것을 필요로 하거나 이로부터 이익을 얻는다.

[0004] 초전도 회로를 위한 정류기들이 알려져 있지만, 손실을 줄이고 기존 정류기에 비해 더 높은 효율을 제공하고/하거나 다른 이익을 제공하기 위해 초전도 정류기 및/또는 스위치와 같은 정류기 부품을 개선할 필요가 있다.

[0005] 고온 초전도체(High-temperature superconductors, HTS)는 상기 열거한 바를 포함하여 다양한 용도를 갖는다. HTS 코팅된 전도체(Coated conductors, CC)의 제조 공정이 발전함에 따라 높은 자기장에서 높은 전류 밀도를 전달할 수 있는 전선이 개발되었다. 이러한 CC로 권취된 코일은 고자기장 자석/인서트로서 우수한 성능을 보여주었다. CC 코일은 또한 모터/발전기, DC 유도 가열기 및 자기 분리기와 같은 다른 많은 응용에서도 가능성을 보여준다.

[0006] 고전류 HTS 코일이 바람직하고 그 제조가 어렵지 않지만, 일반적으로 이 코일에 전원을 공급하려면 크고 복잡한 전자 전류 공급 장치와 실온과 극저온 환경 사이를 물리적으로 전환하여야 하는 두꺼운 전류 리드가 요구된다. 이를 위해서는 정교한 열 설계(thermal design)가 필요하며, 저온 조절기 및 냉각 시스템에 상당한 열 페널티(heat penalty)가 부과된다. 또한 일반 전도 회로 구성요소에 상당한 전압 강하가 발생하므로 초전도 코일에 전원을 공급하기 위해 요구되는 것보다 훨씬 더 높은 전력이 공급되어야 한다.

[0007] 자석 시스템에서 유해한 금속 전류 리드를 제거하는 한 가지 방법은, 폐쇄회로 HTS 코일에 DC 전류를 무선으로 주입하는 것이다. 이는 변류기의 HTS 2차 권선에 유도된 AC 전류를 정류하여 달성할 수 있다. 이러한 '유도된 DC 전류'는 HTS 플럭스 펌프로 알려진 유형의 장치를 사용하여 달성할 수 있으며, 훨씬 더 컴팩트하고 유연한 미래의 HTS 자석 시스템을 가능하게 한다.

[0008] 기존 HTS 플럭스 펌프는 고주파 전자기 스위치를 주기적으로 활성화하는 방식을 사용한다. 그러나 이러한 스위치는 별도의 독립적인 전원 공급 장치와 피드스루(feedthrough)를 요구하고, 이는 복잡성을 증가시킨다. 또한 스위치가 저온 조절기(cryostat) 내부에 위치하여 추운 환경에서 열이 발산되어 효율성에 악영향을 미친다.

[0009] 정류기 플럭스 펌프를 포함하여, 저온 초전도체(LTS)를 사용하는 플럭스 펌프가 알려져 있다. 그러나 HTS와 LTS 간에는 상당한 차이가 있기 때문에, HTS는 LTS용으로 설계된 시스템에서 사용하기에 적합하지 않을 수 있다. 예를 들어, LTS 재료는 일반적으로 임계 자기장이 낮지만(1T 미만), HTS는 수십 테슬라의 임계 자기장을 갖는다. 기존의 일부 플럭스 펌프는 온도 또는 자기장의 적용을 통해 초전도 상태에서 벗어나는 데 의존한다. HTS를 초전도 상태에서 전환하는 데 필요한 자기장의 세기를 적용하거나 충분히 빠른 열 펄스를 적용하는 것은 대부분의 응용에서 현실적으로 불가능하다.

[0010] 따라서 손실을 줄이고 기존 정류기에 비해 높은 효율을 제공하거나 기타 이점을 제공하기 위해, HTS와 함께 사용하기에 적합한 정류기(예를 들어, 플럭스 펌프) 및/또는 스위치와 같은 정류기 부품을 포함한 정류기의 개선이 특히 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0011] 본 기술의 목적은, 초전도 재료로 형성된 적어도 하나의 구성요소를 포함하는 전기 스위치를 제공하고/하거나 초전도 재료로 형성된 적어도 하나의 구성요소를 포함하는 전기 스위치를 포함하는 정류기를 제공함으로써 전술한 이점/요구 사항 중 하나 이상을 충족시키는 것이다. 대안적으로, 본 기술의 목적은 적어도 대중에게 유용한 선택권을 제공하는 것이다.

## 과제의 해결 수단

[0012] 본 기술의 일 측면에 따르면, 초전도 물질의 길이(length of superconducting material)를 포함하는 전기 스위치가 제공된다. 일부 형태에서, 전기 스위치는 초전도 물질의 길이에 자기장을 선택적으로 적용함으로써 저-저항 초전도 상태와 고-저항 초전도 상태 사이에서 제어되도록 구성되어, 고-저항 상태에서 초전도 물질의 길이를 통해 흐르는 전류가 초전도 물질의 길이의 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 같거나, 임계 전류보다 크도록 한다. 일부 형태에서 초전도 재료의 길이는 고온 초전도 재료의 길이이다.

[0013] 본 기술의 다른 측면에 따르면, 교류 입력 전류를 정류하도록 구성된 정류기가 제공된다. 정류기는 교류 스위치 전류를 전달하도록 구성된 고온 초전도(HTS) 재료의 길이를 포함하는 전기 스위치를 포함할 수 있으며, 여기서 HTS 재료의 길이는 임계 전류를 갖는다. 정류기는 HTS 재료에 자기장을 인가하도록 구성 및 배치된 자기장 발생기를 더 포함할 수 있다. 정류기는, 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 자기장 발생기를 제어하는 제어 메커니즘을 더 포함할 수 있으며, 상대적으로 높은 자기장의 크기는 HTS 재료 길이의 임계 전류를 감소시키기에 충분하여, 교류 스위치 전류의 사이클의 일부 동안 교류 스위치 전류가 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 같거나, 임계 전류보다 크도록 할 수 있다. 전기 스위치는 직류 출력을 생성하기 위해 교류 입력 전류를 정류하도록 배치될 수 있다.

[0014] 예를 들어:

[0015] a) 전기 스위치는 교류 입력 전류를 반파 정류하도록 배치될 수 있으며, 직류 출력은 전기 스위치를 통해 병렬로 연결된 부하에 전달되고;

[0016] b) 상기 제어 메커니즘은 상기 자기장의 크기가 교류 입력 전류의 위상에 기초하도록 상기 자기장 발생기를 제어하도록 구성될 수 있고;

[0017] c) 제어 메커니즘은 교류 발전기 전류를 자기장 발생기에 공급하여, 상기 자기장의 크기가 교류 스위치 전류의 위상에 따라 위상이 변하도록 할 수 있고;

[0018] d) 상기 정류기는, 상기 자기장 발생기에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 상기 교류 스위치 전류가 제1 방향으로 흐르는 시점에 상기 교류 스위치 전류의 제1 피크 전류가 상기 HTS 재료 길이의 임계 전류에 근접하거나, 실질적으로 같거나, 또는 더 크도록, 상기 자기장 발생기에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 상기 교류 스위치 전류가 제2 방향으로 흐르는 시점에 제2 피크 전류는 HTS 재료 길이의 임계 전류보다 작도록, 그리고 상기 제2 방향은 상기 제1 방향과 반대되도록 상기 교류 스위치 전류를 제어하는 전류 제어 메커니즘을 더 포함하고;

[0019] e) 자기장 발생기는 갭을 형성하는 자기 코어를 포함할 수 있고, 상기 자기장 발생기는 코일에서 상기 자기 코어의 일부 둘레에 권취된 도체를 포함할 수 있으며, 상기 도체는 상기 교류 발전기 전류를 전달하고, 상기 HTS 재료의 길이는 상기 갭 내에 위치하고;

[0020] f) 교류 입력 전류는 교류 발전기 전류로서 도체에 직접 공급될 수 있고, 상기 교류 스위치 전류는 교류 입력 전류에 기초하고;

[0021] g) 정류기는 변압기를 포함할 수 있고, 상기 변압기는 1차 측 및 2차 측을 포함하고, 상기 1차 측은 교류 입력 전류를 수신하고, 상기 2차 측은 전기 스위치에 연결되고;

[0022] h) 상기 도체는 상기 변압기의 1차 측에 연결될 수 있고;

[0023] i) 상기 도체는 상기 변압기의 2차 측에 연결될 수 있고;

[0024] j) 상기 변압기는 갭을 형성하는 자기 코어를 포함할 수 있고;

[0025] k) 상기 제어 메커니즘은 자기장 발생기를 통해 교류 발전기 전류를 제어하도록 구성된 전류 흐름 제어 장치를 포함할 수 있고;

[0026] l) 상기 전류 흐름 제어 장치는 교류 발전기 전류가 제1 방향으로 흐를 때 자기장 발생기가 활성화되고, 교류 발전기 전류가 제2 방향으로 흐를 때 자기장 발생기가 비활성화되도록 자기장 발생기를 가로질러 병렬로 연결된 다이오드를 포함할 수 있으며, 상기 제2 방향은 상기 제1 방향에 반대되는 방향이고;

[0027] m) 상기 전류 흐름 제어 장치는, 발전기 제어 스위치가 개방될 때 자기장 발생기가 활성화되고, 발전기 제어 스

위치가 폐쇄될 때 자기장 발생기가 비활성화되도록 자기장 발생기를 가로질러 병렬로 연결된 발전기 제어 스위치를 포함할 수 있으며, 상기 제어 메커니즘은 상기 발전기 제어 스위치의 개폐를 제어하도록 구성된 제어기를 포함하고;

[0028] n) 상기 정류기는, 추가 교류 스위치 전류를 전달하도록 구성된 고온 초전도(HTS) 재료의 추가 길이를 포함하는 적어도 하나의 추가 전기 스위치를 더 포함할 수 있으며, 상기 HTS 재료의 길이는 임계 전류를 갖고;

[0029] o) 상기 정류기는, 적어도 하나의 추가 전기 스위치 각각에 대해, 추가 자기장 발생기를 더 포함할 수 있으며, 상기 자기장 발생기는, 상기 추가 길이의 HTS 재료에 추가 자기장을 적용하도록 구성 및 배치될 수 있고;

[0030] p) 상기 제어 메커니즘은, 상기 자기장 발생기가 상기 추가 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 상기 추가 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 각각의 추가 전기 스위치를 전환하도록 상기 추가 자기장 발생기를 제어하도록 구성될 수 있고, 상기 상대적으로 큰 크기는, 교류 스위치 전류의 사이클의 일부 동안, 교류 스위치 전류가 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 동일하거나 또는 임계 전류보다 크도록 추가 HTS 재료의 길이의 임계 전류를 감소시키기에 충분하고;

[0031] q) 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 전기 스위치와 함께 작동하여 교류 입력 전류를 정류하여 직류 출력을 생성하도록 배치될 수 있고;

[0032] r) 상기 제어 메커니즘은, 각각의 자기장 발생기가 비활성화될 때 저-저항 상태와 각각의 자기장 발생기가 활성화될 때 고-저항 상태 사이에서 각각의 전기 스위치를 전환하기 위해 각각의 자기장 발생기들을 활성화 및 비활성화하도록 구성될 수 있고;

[0033] s) 상기 추가 자기장 발생기는 제2 자기장 발생기를 포함할 수 있고, 상기 제어 메커니즘은 상기 제2 자기장 발생기가 비활성화될 때 상기 자기장 발생기가 활성화되고, 상기 제2 자기장 발생기가 활성화될 때 상기 자기장 발생기가 비활성화되도록 구성될 수 있고;

[0034] t) 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2 전기 스위치를 포함할 수 있고, 상기 전기 스위치와 상기 제2 전기 스위치는 직렬로 연결될 수 있고 직류 출력은 스위치들 중 하나에 걸쳐 병렬로 연결된 부하에 전달될 수 있고;

[0035] u) 상기 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2 전기 스위치를 포함할 수 있고, 상기 전기 스위치 및 제2 전기 스위치는 교류 입력 전류를 전파 정류하도록 배치될 수 있고;

[0036] v) 상기 전기 스위치 및 상기 제2 전기 스위치는 직렬로 연결될 수 있고, 직류 출력은 두 전기 스위치 사이에 병렬로 연결된 부하에 전달될 수 있고;

[0037] w) 적어도 하나의 추가 전기 스위치는 제2, 제3, 및 제4 전기 스위치를 포함할 수 있고, 상기 제1 전기 스위치 쌍은 상기 제2 전기 스위치에 직렬로 연결된 전기 스위치를 포함할 수 있고, 상기 제2 전기 스위치 쌍은 상기 제4 전기 스위치에 직렬로 연결된 제3 전기 스위치, 상기 제2 전기 스위치 쌍에 병렬로 연결된 상기 제1 전기 스위치 쌍, 상기 제4 전기 스위치에 직렬로 연결된 상기 제2 전기 스위치 쌍을 포함할 수 있고, 상기 직류 출력은 제1 단자와 제2 단자 사이에 연결된 부하로 전달될 수 있고, 상기 제1 단자는 상기 전기 스위치와 제2 전기 스위치 사이에 있고, 제2 단자는 제3 전기 스위치와 제4 전기 스위치 사이에 있을 수 있고;

[0038] x) 상기 자기 코어는 제1 코어 부분 및 제2 코어 부분을 포함할 수 있고, 상기 제1 코어 부분 및 제2 코어 부분은 열 차단부에 의해 분리될 수 있고;

[0039] y) 상기 변압기는 제1 코어 부분 및 제2 코어 부분을 포함하는 자기 코어를 포함할 수 있으며, 상기 1차 측은 제1 코어를 포함할 수 있고 상기 2차 측은 제2 코어 부분을 포함할 수 있으며, 상기 제1 코어 부분 및 제2 코어 부분은 열 차단부에 의해 분리될 수 있고;

[0040] z) 상기 제1 코어 부분은 저온 조절기 외부에 위치할 수 있고, 상기 제2 코어 부분은 저온 조절기 내부에 위치할 수 있고;

[0041] aa) 상기 자기장 발생기는 자기 코어와 도체 사이의 열 차단부를 포함할 수 있고;

[0042] bb) 상기 변압기는 상기 자기 코어 및 상기 자기 코어와 1차 측 및/또는 2차 측을 형성하는 하나 이상의 도체 사이의 열 차단부를 포함할 수 있고; 및

[0043] cc) 상기 열 차단부는 열 절연 재료를 포함할 수 있다.

[0044] 본 기술의 또 다른 측면에 따르면, 수송 전류를 전달하도록 구성되고 임계 전류를 갖는 초전도 물질의 길이(Length of superconducting material)를 포함하는 전기 스위치가 제공된다. 전기 스위치는 초전도 물질의 길이에 자기장을 인가하도록 구성 및 배치된 자기장 발생기를 더 포함할 수 있다. 초전도 물질의 길이는 바이파일러 배열(bifilar arrangement)로 배열될 수 있다. 자기장 발생기는 고투과성 자기 코어를 포함할 수 있다. 자기장 발생기는 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 선택적으로 제어되도록 구성될 수 있다. 저-저항 상태에서는 전송 전류가 임계 전류보다 상당히 낮을 수 있다. 고-저항 상태에서 전송 전류는 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 같거나, 임계 전류보다 클 수 있다.

[0045] 본 기술의 또 다른 측면에 따르면, 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥을 포함하는 전기 스위치가 제공되며, 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥 각각은 수송 전류를 전달하고 임계 전류를 갖도록 구성된다. 전기 스위치는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥에 자기장을 인가하도록 구성 및 배치된 자기장 발생기를 더 포함할 수 있다. 자기장 발생기는 고투과성 자기 코어를 포함할 수 있다. 자기장 발생기는 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 선택적으로 제어되도록 구성될 수 있다. 저-저항 상태에서는 전송 전류가 임계 전류보다 상당히 낮을 수 있다. 고-저항 상태에서 전송 전류는 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 같거나, 임계 전류보다 클 수 있다. 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 자기장의 영역 내에서 서로 실질적으로 평행하게 공간적으로 배열될 수 있으며, 수송 전류가 자기장의 영역 내에서 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥을 통해 서로 반대 방향으로 흐르도록 전기적으로 연결될 수 있다.

[0046] 예를 들어:

[0047] a) 고투과성 자기 코어는 갭으로 분리된 제1 단부 및 제2 단부를 포함할 수 있으며, 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 갭에 위치할 수 있고;

[0048] b) 상기 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 각각 두 개의 반대면을 갖는 테이프 형태일 수 있고;

[0049] c) 상기 테이프는 초전도 물질의 제1 가닥의 반대면이 초전도 물질의 제2 가닥의 반대면과 평행하도록 배열될 수 있고;

[0050] d) 상기 테이프는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥에 가해지는 자기장이 두 개의 반대면 각각에 실질적으로 수직이 되도록 배향될 수 있고;

[0051] e) 상기 전기 스위치는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥을 포함하는 초전도 물질의 길이를 포함할 수 있거나, 또는 초전도 물질의 제1 가닥 및 제2 가닥은 제1 가닥의 면을 제2 가닥의 면에 연결하여 전기적으로 연결될 수 있고; 및

[0052] f) 상기 초전도 재료는 고온 초전도(HTS) 재료이다.

[0053] 본 기술의 또 다른 측면에 따르면, 수송 전류를 전달하도록 구성되고 임계 전류를 갖는 초전도 물질의 길이를 포함하는 전기 스위치가 제공된다. 전기 스위치는 초전도 물질의 길이에 자기장을 인가하도록 구성 및 배치된 자기장 발생기를 더 포함할 수 있다. 자기장 발생기는 고투과성 자기 코어를 포함할 수 있다. 자기장 발생기는 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 저-저항 상태와 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 고-저항 상태 사이에서 전기 스위치를 전환하도록 선택적으로 제어되도록 구성될 수 있다. 저-저항 상태에서는 전송 전류가 임계 전류보다 상당히 낮을 수 있다. 고-저항 상태에서 전송 전류는 임계 전류에 근접하거나, 임계 전류와 실질적으로 같거나, 임계 전류보다 클 수 있다. 초전도 물질의 길이는 고투과성 자기 코어에 근접할 때 초전도 물질의 길이를 통해 흐르는 수송 전류에 의해 생성된 자기 자기장을 실질적으로 상쇄하도록 배열될 수 있다.

[0054] 본 기술의 다른 측면에 따르면, 본 기술의 일 측면에 따른 정류기가 제공되며, 여기서 전기 스위치는 본 기술의 일 측면에 따른 전기 스위치이다. 본 발명의 또 다른 측면에서는, 본 기술의 임의의 일 측면에 따른 정류기에서 본 기술의 임의의 일 측면에 따른 전기 스위치를 사용하는 것이 제공된다.

[0055] 본 발명의 모든 새로운 측면들에서 고려되어야 하는 본 발명의 추가 측면들은, 본 발명의 실제 적용의 적어도 하나의 예를 제공하는 다음의 설명을 읽으면 당업자에게 명백해질 것이다.

## *도면의 간단한 설명*

[0056] 이하에서는 본 기술의 하나 이상의 실시예를 예시적으로만, 그리고 제한하려는 의도 없이, 다음 도면을 참조하

여 설명할 것이며, 그 도면은 다음과 같다:

도 1은 고온 초전도체에 대한 예시적인 전기장 대 전류 그래프를 나타내고;

도 2는 서로 다른 세 가지 크기의 외부 자기장을 가했을 때 초전도 물질에 대한 전류 대 전기장 그래프이고;

도 3은 본 기술의 한 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 4는 도 3에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 4a는 도 3 및 도 4에 도시된 정류기의 형태와 관련된 파라미터를 나타내는 세 개의 그래프를 나타낸 도이고;

도 5는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 6은 도 5에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 7은 도 5 및 도 6에 표시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 매개 변수의 크기를 나타내는 도이고;

도 8은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 9는 도 8에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 10은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의  개략도이고 ;

도 11은 도 10에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 12는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 13은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 14는 본 기술의 다른 형태에 따른  정류기의 개략도이고;

도 15는 도 14에 표시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 파라미터의 크기를 보여주는 도이고;

도 16은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 17은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 18은 도 17에 표시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 파라미터의 크기를 보여주는 도이고;

도 19는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 20은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 21은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 22는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 23은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 24는 도 23에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 25는 도 23 및 도 24에 도시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 파라미터의 측정된 크기를 보여주는 도이고;

도 26은 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 27은 도 26에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 28은 도 26 및 도 27에 표시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 매개 변수의 크기를 나타내는 도이고;

도 29는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 개략도이고;

도 30은 도 29에 표시된 정류기의 투시도이고;

도 31은 도 29 및 도 30에 표시된 정류기를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 매개 변수의 크기를 나타내는 도이고;

도 32는 본 기술의 다른 형태에 따른 변압기의 개략도이고;

도 33은 본 기술의 다른 형태에 따른 변압기의 개략도이고;

도 34는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 투시도이고;

도 35는 본 기술의 다른 형태에 따른 정류기의 투시도이고;

도 36a는 본 기술의 일 형태에 따른 전기 스위치의 개략도이고;

도 36b는 본 기술의 다른 형태에 따른 전기 스위치의 개략도이고;

도 37은 다양한 인가 필드에서 본 기술의 형태에 따른 전기 스위치에서 초전도 물질 길이의 임계 전류와 초전도 물질 길이가 바이파일러 배열과 유니파일러 배열로 배열된 경우의 관계를 나타내는 그래프이고;

도 38a는 본 기술의 한 형태에 따른 전기 스위치의 자기장 프로파일을 나타내고; 및

도 38b는 본 기술의 다른 형태에 따른 전기 스위치의 자기장 프로파일을 나타낸다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0057] *초전도체에 관한 논의*

[0058] 본 기술에 대한 이해를 돕기 위해 독자는 초전도체 임계 온도 및 초전도체 임계 전류와 같은 초전도 용어에 익숙해야 한다. 그럼에도 불구하고 독자의 이해를 돕기 위해 이하에서는 이러한 개념에 대해 간략하게 설명한다.

[0059] 초전도체 임계 온도는 일반적으로 초전도체 저항이 0 또는 0에 가깝게 떨어지는 온도로 정의된다. 즉, 초전도체 온도가 임계 온도보다 낮으면 초전도 상태, 임계 온도보다 높으면 비초전도 상태라고 한다. 많은 초전도체는 절대 영도에 가까운 임계 온도를 가지고 있으며, 예를 들어, 수은의 임계 온도는 4.1K로 알려져 있다. 그러나 일부 물질의 임계 온도는 30K 내지 125K로 훨씬 더 높을 수 있으며, 예를 들어, 이붕화 마그네슘의 임계 온도는 약 39K, 이트륨 바륨 구리 산화물(YBCO)의 임계 온도는 약 92K로 알려져 있다. 이러한 초전도체는 일반적으로 고온 초전도체라고도 한다.

[0060] 고온 초전도 전선 또는 테이프의 임계 전류는 일반적으로 초전도 전선/테이프에 흐르는 전류로 정의되며, 이로 인해 전선을 따라 전계 강하가 100 μV/m(=1 μV/cm)로 발생한다. 임계 전류는 사용되는 초전도 재료와 초전도 재료의 물리적 배열의 함수라는 점을 이해해야 한다. 예를 들어, 더 넓은 테이프/와이어는 동일한 재료로 구성된 더 얇은 테이프/와이어보다 임계 전류가 더 높을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 본 명세서 전체에서 초전도체/초전도 재료의 임계 전류에 대한 언급은 논의를 단순화하기 위한 것임을 이해해야 한다.

[0061] 초전도체/초전도 물질에서 전류($I$)가 임계 전류($I_c$)와 거의 같으면 초전도체 저항은 0이 아니지만 작다. 그러나 $I$가 임계 전류($I_c$)보다 훨씬 크면 초전도체 저항이 충분히 커져 열 방출이 일어나 초전도체가 임계 온도 이상의 온도로 가열되어 더 이상 초전도체가 되지 않게 된다. 이 상태를 "퀜치(quench)"라고도 하며 초전도체 자체에 손상을 줄 수 있다.

[0062] 도 1은 고온 초전도체에 대한 내부 전기장 대 전류 곡선을 나타내는 예시적인 플롯을 보여준다. 이 그래프에 표시된 전기장은 다음 방정식을 통해 저항과 관련이 있다는 것을 알 수 있다:

[0063] $$E = \frac{IR}{L}$$

[0064] 여기서:

[0065] • $E$는 전기장이고;

[0066] • $I$는 초전도체에 흐르는 전류이고;

[0067] • $R$은 전선의 저항이고;

[0068] • $L$은 전선의 길이이다.

[0069] 따라서 도 1의 플롯은 초전도체에 대한 단위 길이당 저항과 관련이 있으며, 표시된 곡선이 비선형이기 때문에

초전도체에 대한 결과 저항은 전류에 따라 비선형이다.

[0070] 본 도에서 초전도체 내의 전기장 세기는 초전도체 임계 전류($I_c$)보다 실질적으로 0에 가깝다는 것을 알 수 있다. 초전도체 내의 전류가 임계 전류에 가까워지면 초전도체 내의 전기장이 증가하기 시작한다. 임계 전류에서 초전도체 내의 전기장은 100μV/m이다. 임계 전류 이상으로 초전도체 내 전류를 더 증가시키면 도체의 전기장 강도가 급격히 증가한다.

[0071] 본 명세서 전체에서 초전도 물질 및 초전도 물질을 구성하는 구성요소의 상대 저항을 참조할 것이다. 보다 구체적으로, 본 명세서는 초전도 재료가 저-저항 또는 고-저항 상태에 있는 것을 지칭한다. 초전도 상태에 있을 때, 초전도 재료는 0 또는 실질적으로 0인 저항을 가질 수 있으며, 따라서 이러한 저항은 종종 주어진 전류에 대해 초전도 재료에 존재하는 전기장의 관점에서 표현된다는 것이 이해될 것이다. 그럼에도 불구하고, 본 명세서 전체에서, 전술한 논의를 단순화하기 위해 초전도 물질의 저-저항 및 고-저항 상태와 같은 상대 저항을 참조한다.

[0072] '저-저항 상태(low-resistance state)'라는 용어는 초전도 물질이 초전도 상태에서 거의 또는 실질적으로 0에 가까운 저항을 갖는 경우 또는 물질이 부분적으로 초전도 상태에서 낮은 저항을 갖는 경우를 지칭할 수 있다. '고-저항(higher-resistance)' 상태라는 용어는 초전도 물질이 저-저항 상태의 저항보다 실질적으로 더 큰 저항을 갖는 상태, 예를 들어, 실질적으로 0이 아닌 저항 또는 0에 가깝지만 저-저항 상태의 저항보다 실질적으로 더 큰 저항을 갖는 상태를 말한다. 의심의 여지를 없애기 위해 본 명세서에서 언급된 고-저항 상태는 문맥에 달리 명시되지 않는 한 초전도 상태를 포함할 수 있다.

[0073] 마찬가지로, 본 명세서에서 초전도체가 임계 전류를 초과하는 전류의 결과로 초전도체가 더 고-저항 상태에 있다고 언급되는 경우, 문맥에 달리 명시되지 않는 한, 초전도체가 전달하는 전류가 임계 전류에 근접하거나 실질적으로 동일한 경우에도 더 고-저항 상태에 도달할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0074] 본 명세서에서 기술을 설명할 때, 재료를 구성하는 재료 및 구성요소를 "초전도(superconducting)"라고 한다. 이 용어는 이러한 재료에 대해 당업에서 일반적으로 사용되며 관련 재료가 항상 초전도 상태에 있다는 의미로 받아들여서는 안 된다. 특정 조건 하에서 재료 및 재료를 구성하는 구성요소는 초전도 상태가 아닐 수 있다. 즉, 해당 재료는 초전도성이 있지만 초전도 상태가 아닌 것으로 설명될 수 있다.

[0075] *초전도 재료*

[0076] 본 기술의 특정 형태는 다양한 유형의 초전도 물질로 구성될 수 있다. 예를 들어, 본 기술의 형태는 고온 초전도(HTS) 물질을 포함할 수 있다. 기술된 기술의 형태에 사용하기 적합한 예시적인 HTS 재료에는 구리 산화물 초전도체, 예를 들어, 이트륨 바륨 구리 산화물, 가돌리늄 바륨 구리 산화물 또는 비스무트 스트론튬 칼슘 구리 산화물(BSCCO) 초전도체와 같은 희토류 바륨 구리 산화물(ReBCO), 철 기반 초전도체가 포함된다. BSCCO 초전도체는 일반적으로 임계 전류와 인가 자기장 사이에 강한 상호 의존성을 가지며, 이는 현재 기술의 일부 형태에 특히 적합할 수 있다. 다른 유형의 초전도체는 다른 형태의 기술에 사용될 수 있다.

[0077] 고온 초전도체와 관련하여 기술의 형태가 설명되지만, 다른 형태의 기술에서는 저온 초전도체와 같은 다른 유형의 초전도체가 대신 사용될 수 있다는 점을 이해해야 한다.

[0078] 특정 형태에서는 초전도 재료가 테이프 형태로 제공될 수 있다.

[0079] *자기장이 초전도체에 미치는 영향*

[0080] 초전도체에서 임계 전류는 초전도체에 가해지는 외부 자기장에 따라 달라진다. 특히, 초전도체에 더 높은 외부 자기장이 임계 자기장 값까지 인가될수록 임계 전류는 감소하며, 그 이상에서는 초전도체가 더 이상 초전도(저-저항) 상태에 있지 않게 된다. 도 2는 서로 다른 세 가지 크기의 외부 자기장을 인가했을 때 초전도 물질의 전류에 대한 전기장 그래프를 나타낸 것이다. 외부 자기장($B_{app1}$)의 크기가 가장 클수록, 임계 전류($I_{c1}$)가 가장 낮다.

[0081] *전기 스위치*

[0082] 본 기술의 형태는 초전도 물질의 임계 전류가 물질에 더 높은 외부 자기장이 인가될 때 감소하는 원리를 활용하는 전기 스위치와 관련된다. 예시적인 전기 스위치(210)가 도 3 및 도 4에 도시되어 있다. 이들 도면에 예시된 기술의 형태는 이하에서 보다 상세하게 설명될 것이나, 여기서는 스위치(210)를 설명한다.

[0083] 전기 스위치(210)는 고온 초전도(HTS) 재료, 예를 들어, 전술한 임의의 유형의 HTS 재료의 길이를 포함한다.

HTS 재료는 임계 전류($I_c$) 및 임계 온도($T_c$)를 갖는다. HTS 재료는 임계 온도($T_c$)보다 낮은 온도에서 HTS 재료를 유지하도록 구성된 저온 조절기(710)(도시되지 않음) 내부에 배치된다.

[0084] 도 2와 같이 외부 자기장($B_{app}$)을 HTS 재료의 길이에 적용하면 임계 전류가 감소한다. 따라서 자기장($B_{app}$)의 적용은 HTS 재료의 길이가 스위치 역할을 하도록 하는 데 사용될 수 있다. 자기장($B_{app}$)의 크기가 특정 값을 가질 때 HTS 재료가 임계 전류보다 작은 스위치 전류(즉, 전기 스위치(210)를 통해 흐르는 전류)를 전달하는 경우, HTS 재료는 저-저항 상태가 될 것이다. 자기장($B_{app}$)의 크기가 해당 값에서 임계 전류가 HTS 재료가 전달하는 전류의 크기에 가깝거나 그 이하의 값으로 감소할 정도로 충분히 높은, 상대적으로 큰 크기로 증가하면, HTS 재료는 고-저항 상태에 있게 된다.

[0085] HTS 재료의 저-저항 상태는 스위치(210)의 폐쇄 상태와 동등한 것으로 간주될 수 있고, 고-저항 상태는 스위치(210)의 개방 상태와 유사하다. 그러나, 고-저항 상태는 기계식 스위치에서 흔히 볼 수 있는 전기적 개방 회로가 아니라, 오히려 더 높은 저항의 전도성 상태를 나타낸다는 점을 이해해야 한다. 이 높은 저항 전도성 상태에서 HTS 소재는 초전도 상태를 유지하지만 더 높은 수준의 저항을 가질 수도 있고, 비초전도 상태에 있을 수도 있다.

[0086] 스위치의 저-저항 상태와 고-저항 상태 사이의 자기장($B_{app}$)의 크기 차이는 연속적으로 가변적인 크기 및 두 크기 사이에서 변화하는 것을 포함하는 복수의 크기로 변화될 수 있다. 저-저항 상태에서 자기장($B_{app}$)의 크기는 0이거나 0이 아닐 수 있다.

[0087] HTS 재료에 적용되는 자기장($B_{app}$)의 크기는 임계 자기장의 크기보다 작아야 하며, 여기서 임계 자기장은 HTS 재료에 가해지는 외부 자기장의 크기로서 HTS 재료를 더 고-저항 상태로 이동하게 하는 크기이다.

[0088] 초전도 스위치의 에너지 손실은 스위칭 중 스위치의 임계 전류에 거의 비례한다. 전기 스위치(210)는 스위칭 중 임계 전류의 값을 감소시켜 작동하기 때문에, 전기 스위치(210) 및 전기 스위치(210)를 구성하는 디바이스는 종래의 초전도 스위치보다 손실이 적고 따라서 효율이 높다.

[0089] *정류기*

[0090] 특정 형태의 기술은 전기 스위치(210)를 사용하고, 특정 형태에서는 스위칭 어셈블리(200)의 형태로 다수의 전기 스위치(210)를 사용하여 교류 입력 전류를 정류한다. 다른 형태의 기술은 정류 효과를 생성하기 위해 임의의 구성에서 하나 이상의 전기 스위치(210)를 활용할 수 있다. 다음 설명에서는 전기 스위치의 적합한 구성의 예가 설명되지만, 다른 형태의 기술에서는 다른 구성이 사용될 수 있음을 이해해야 한다.

[0091] 본 기술의 형태에 따른 정류기(100)는 스위칭 어셈블리(200), 자기장 발생기 어셈블리(300), 제어 메커니즘(400) 및 전류 공급 어셈블리(500)와 같은 기능 부품을 포함한다. 이러한 기능 부품들은 각 기능 부품의 예시적인 형태에 대한 설명과 함께 아래에서 보다 상세하게 설명될 것이다. 각 기능 부품의 예시적인 형태의 조합을 포함하는 정류기(100)의 일부 구체적인 예들도 설명될 것이다. 각 기능 부품의 예시적인 형태의 다른 조합도 본 기술의 일부 형태에서 제공되며, 본 기술은 예시 및/또는 설명된 특정 실시예에 한정되지 않는다는 것을 이해해야 한다.

[0092] 특정 형태에서, 전류 공급 어셈블리(500)는 스위칭 어셈블리(200)에 교류 전류를 공급하도록 구성된다. 스위칭 어셈블리(200)는 하나 이상의 전기 스위치(210)의 배열을 포함하며, 교류를 정류하여 직류 출력을 생성하도록 구성된다. 직류 출력은 부하(600)로 전달될 수 있다. 자기장 발생기 어셈블리(300)는 하나 이상의 자기장 발생기(310)를 포함하며, 각 자기장 발생기는 하나 이상의 전기 스위치(210)에 자기장을 인가하도록 구성된다. 제어 메커니즘(400)은 스위칭 어셈블리(200)의 전기 스위치(210)를 스위칭하기 위해 자기장 발생기 어셈블리(300)를 제어한다.

[0093] 초전도 물질을 포함하는 정류기(100)의 임의의 부분은, 초전도 물질을 각 초전도 물질의 임계 온도($T_c$)보다 낮은 온도에서 유지하도록 구성된 하나 이상의 저온 조절기(710)에 수용된다.

[0094] *스위칭 어셈블리*

[0095] 특정 형태의 기술에서, 스위칭 어셈블리(200)는 하나 이상의 전기 스위치(210)의 배열을 포함하며, 교류를 정류하여 직류 출력을 생성하도록 구성된다. 스위칭 어셈블리(200) 내의 전기 스위치(210)의 배열에 따라 정류기

(100)에 의해 수행되는 정류 유형이 결정되며, 이는 아래에서 실시예를 통해 설명될 것이다.

[0096] 특정 형태의 기술에서 정류기(100)는 반파 정류기이다. 반파 정류기는 한 방향으로 흐르는 전류는 통과시키지만 다른 방향으로 흐르는 전류는 차단한다. 일부 형태의 반파 정류기에서, 스위칭 어셈블리는 한 개의 전기 스위치(210)를 포함한다. 다른 형태의 반파 정류기에서, 스위칭 어셈블리는 두 개의 전기 스위치(210)를 포함한다.

[0097] 단일 스위치(210)를 포함하는 반파 정류기(100)를 위한 스위칭 어셈블리(200)의 예시적인 형태가 도 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 19에 도시되어 있다. 이러한 형태에서, 부하(600)는 전기 스위치(210)를 가로질러 병렬로 연결된다. 스위치(210)가 '닫힘' 구성에 있을 때, 부하(600)에 전압이 없고 부하 전류($i_L$)가 부하(600)에 전달된다. 스위치(210)가 '개방' 구성에 있을 때, 부하(600)를 가로질러 전압($V_{out}$)이 발생하고 부하 전류($i_L$)가 부하(600)로 전달된다. 스위치(210)가 개방될 때 부하 전류($i_L$)가 증가하거나 감소하는지 여부는 스위치(210)를 통해 흐르는 스위치 전류($i_{s1}$)의 방향에 따라 달라지며, 이는 교류 입력 전류($i_1$)의 위상과 비교하여 스위치(210)의 개방 타이밍에 따라 달라진다. 일부 형태에서, 제어 메커니즘(400)은 교류 입력 전류($i_1$)가 한 방향으로 흐를 때 스위치(210)가 개방되고 교류 입력 전류($i_1$)가 반대 방향으로 흐를 때 스위치(210)가 폐쇄되도록 스위치(210)의 개폐를 제어할 수 있으며, 즉 제어 메커니즘(400)은 교류 입력 전류($i_1$)의 위상에 기초하여 각 스위치(210)의 상태를 시간적으로 제어할 수 있다. 이러한 방식으로, 전압 $V_{out}$는 부하(600)를 가로질러 한 방향(또는 극성)으로만 발전될 수 있으며, 따라서 반파 정류기를 제공할 수 있다. 다른 형태에서, 제어 메커니즘(400)은 스위치(210)의 개폐가 전류 사이클에서 상이한 시간에 발생하도록 제어할 수 있다. 제어 메커니즘(400)은 교류 입력 전류($i_1$)의 위상에서 선택된 시간에 스위치(210)를 개방 및 폐쇄하여, 부하(600)를 가로지르는 전압($V_{out}$)이 부하 전류($i_L$)를 다른 시간에 증가 및 감소시키는 것을 포함하여 원하는 방식으로 부하 전류($i_L$)를 변화시키도록 하는 데 사용될 수 있다. 이러한 방식으로 부하(600)의 부하 전류($i_L$)를 계단식으로 변경하는 것은 "펌핑"으로 설명될 수 있다.

[0098] 두 개의 스위치(210a, 210b)를 포함하는 반파 정류기(100)를 위한 스위칭 어셈블리(200)의 예시적인 형태가 도 14, 도 20 및 도 23에 도시되어 있다. 이러한 형태에서, 두 개의 스위치(210a, 210b)는 직렬로 연결되고, 부하(600)는 스위치(210) 중 하나에 걸쳐 병렬로 연결된다. 스위칭 어셈블리(200)에 교류 전류($i_2$)가 제공된다. 스위칭 어셈블리(200)는 교류 전류($i_2$)를 정류하기 위해 각 스위치(210)의 상태를 제어하도록 구성된 제어 메커니즘(400)에 의해 제어된다. 예를 들어, 제어 메커니즘(400)은 각 스위치(210)의 상태가 교류 전류($i_2$)의 흐름 방향에 기초하도록 각 스위치를 제어한다. 교류 전류($i_2$)의 흐름 방향은 전류의 위상에 따라 달라지므로, 이러한 형태에서 제어 메커니즘(400)은 교류 전류($i_2$)의 위상에 따라 각 스위치(210)의 상태를 시간적으로 제어한다. 예를 들어, 교류 전류($i_2$)가 제1 방향으로 흐르면(즉, 전류 흐름이 양인 경우), 제1 스위치(210a)는 저-저항 상태에 배치되고 제2 스위치(210b)는 고-저항 상태에 배치된다. 따라서, 스위치(210a)를 통해 루프 외부와 부하(600)를 가로지르는 저-저항 경로가 형성된다. 전류의 극성이 변화함에 따라(예를 들어, 양극에서 음극으로), 제어 메커니즘(400)은 스위치(210a)를 고-저항 상태로 전환하고 스위치(210b)를 저-저항 상태로 전환하게 할 수 있다. 고-저항 상태(210a)는 변압기로부터의 전류 흐름을 방해하여, 음극성 전류 흐름에 대한 차단 수단을 제공한다. 동시에 210b의 저-저항 상태는 부하의 전류 흐름이 시간 상수 $L/R$에 따라 기하급수적으로 감소하지만(즉, 부하가 초전도인 경우 부하 전류가 일정하게 유지됨을 의미함) 부하의 전류 흐름이 계속될 수 있는 경로를 제공한다. 따라서, 부하(600)를 통한 전류 흐름은 반파 정류될 수 있다. 다시 말하자면, 제어 메커니즘(400)은 원하는 대로 부하(600)의 전류를 증가 및 감소시키기 위해 적절한 시간에 스위치(210a 및 210b)를 개방 및 폐쇄할 수 있다.

[0099] 일부 형태의 기술에서, 제어 메커니즘(400)은 스위치(210a)와 스위치(210b)가 교류 사이클에서 일정 기간 동안 동시에 저-저항 상태에 있도록 제어할 수 있다. 즉, 스위치(210b)는 $i_2$가 양인 일부 시간 동안만 고-저항 상태에 있고, 스위치(210a)는 $i_2$가 음인 일부 시간 동안만 고-저항 상태에 있을 수 있으며, 나머지 시간 동안에는 $i_2$가 양이든 음이든 두 스위치가 모두 저-저항 상태에 있을 수 있다. 이는 스위치를 통과하는 전류가 원하는 방향일 때 스위치가 개방 구성(즉, 더 고-저항 상태)에 있도록 하기 위한 실용적인 제어 전략으로 사용될 수 있다. 제어 메커니즘(400)은 명시적으로 언급되지 않더라도, 본원에 설명된 기술 형태 중 임의의 형태의 정류기의 스위치를 이러한 방식으로 제어할 수 있다.

[0100] 두 개의 스위치(210a, 210b)를 포함하는 전파 정류기(100)를 위한 스위칭 어셈블리(200)의 예시적인 형태가 도 17, 도 22 및 도 26에 도시되어 있다. 두 개의 스위치(210a, 210b)는 직렬로 연결되고, 부하(600)는 두 개의 스위치(210a, 210b) 사이에 병렬로 연결된다. 스위칭 어셈블리(200)에 교류 전류가 공급된다. 스위칭 어셈블리(200)는 교류를 정류하기 위해 각 스위치(210)의 상태를 제어하도록 구성된 제어 메커니즘(400)에 의해 제어된다. 예를 들어, 제어 메커니즘(400)은 각 스위치(210)의 상태가 교류의 흐름 방향에 기초하도록 각 스위치를 제어할 수 있다. 교류의 흐름 방향은 전류의 위상에 따라 달라지므로, 이러한 형태에서 제어 메커니즘(400)은 교류의 위상에 따라 각 스위치(210)의 상태를 시간적으로 제어한다. 전류가 제1 방향으로 흐르고 있을 때(예를 들어, 전류가 양인 경우), 제1 스위치(210a)는 저-저항 상태로 배치되고, 제2 스위치(210b)는 고-저항 상태로 배치된다. 이로 인해 스위치(210a)를 통해 회로의 상반부 주변의 임피던스 경로가 낮아지고, 부하(600)를 통해 전류가 제1 방향으로 흐르게 된다. 교류가 제2 방향으로 흐르면(예를 들어, 전류가 음수인 경우) 제1 스위치(210a)는 고-저항 상태가 되고, 제2 스위치(210b)는 저-저항 상태로 배치된다. 이로 인해 스위치(210b)를 통해 회로의 하반부 주변의 임피던스 경로가 낮아지고, 부하(600)를 통해 제1 방향으로 전류가 흐르게 된다. 이러한 방식으로 스위치의 개폐가 제어되면, 교류의 방향에 관계없이 전류는 항상 단일 방향(예를 들어, 양극 단자에서 음극 단자)으로 부하를 통해 흐른다. 따라서, 전압 $V_{out}$는 부하(600)를 가로질러 한 방향(또는 극성)으로만 발전될 수 있고 교류는 부하(600)를 통해 직류로 전파 정류된다. 반파 정류기의 앞선 예와 마찬가지로, 제어 메커니즘(400)은 부하에 걸친 전압이 원하는 극성으로 발전되고 그에 따라 부하(600)를 통과하는 전류가 증가 또는 감소하도록 스위치(210)의 개폐 타이밍을 제어할 수 있다.

[0101] 4개의 스위치(210a, 210b, 210c 및 210d)를 포함하는 전파 정류기(100)를 위한 스위칭 어셈블리(200)의 예시적인 형태가 도 16, 도 21, 도 29 및 도 30에 도시되어 있다. 두 개의 스위치(210a 및 210b)는 제1 스위치 쌍을 형성하고 서로 직렬로 연결된다. 다른 두 개의 스위치(210c 및 210d)는 제2 스위치 쌍을 형성하고 서로 직렬로 연결된다. 두 쌍의 스위치는 서로 병렬로 연결되며, 각각 교류 소스와 병렬로 연결된다. 부하(600)는 제1 스위치 쌍의 스위치(210a, 210b) 사이의 단자로부터 제2 스위치 쌍의 스위치(210c, 210d) 사이의 단자로 연결된다. 스위칭 어셈블리(200)는 교류를 정류하기 위해 각 스위치(210)의 상태를 제어하도록 구성된 제어 메커니즘(400)에 의해 제어된다. 예를 들어, 제어 메커니즘(400)은 각 스위치(210)의 상태가 교류의 흐름 방향에 기초하도록 각 스위치를 제어할 수 있다. 교류의 흐름 방향은 전류의 위상에 따라 달라지므로, 이러한 형태에서 제어 메커니즘(400)은 교류의 위상에 따라 각 스위치(210)의 상태를 시간적으로 제어한다. 전류가 제1 방향으로 흐르고 있을 때(예를 들어, 전류가 양인 경우), 제1 및 제4 스위치(210a, 210d)는 저-저항 상태로 배치되고, 제2 및 제3 스위치(210b, 210c)는 고-저항 상태로 배치된다. 그 결과, 제1 및 제4 스위치(210a, 210d)를 통과하는 낮은 임피던스 경로가 생성되고, 부하(600)를 통해 제1 방향으로 전류가 흐르게 된다. 교류가 제2 방향으로 흐르면(예를 들어, 전류가 음인 경우), 제1 및 제4 스위치(210a, 210d)는 고-저항 상태로 배치되고, 제2 및 제3 스위치(210b, 210c)는 제3 저-저항 상태로 배치된다. 그 결과, 제2 및 제3 스위치(210b 및 210c)를 통과하는 임피던스 경로가 낮아지고, 부하(600)를 통해 전류가 제1 방향으로 흐르게 된다. 이러한 방식으로 스위치의 개폐가 제어되면, 교류의 방향에 관계없이 전류는 항상 단일 방향(예를 들어, 양극 단자에서 음극 단자)으로 부하를 통해 흐른다. 따라서, 전압 $V_{out}$는 부하(600)를 가로질러 한 방향(또는 극성)으로만 발전될 수 있고 교류는 부하(600)를 통해 직류로 전파 정류된다. 반파 정류기의 앞선 예와 마찬가지로, 제어 메커니즘(400)은 부하에 걸친 전압이 원하는 극성으로 발전되고 그에 따라 부하(600)를 통과하는 전류가 증가 또는 감소하도록 스위치(210)의 개폐 타이밍을 제어할 수 있다.

[0102] 스위칭 어셈블리(200) 내의 스위치(210)의 특정 예시적인 배열이 설명되었지만, 다른 형태의 기술에서 다른 스위칭 어셈블리(200)는 교류를 정류하기 위한 스위치(210)의 다른 배열을 갖는다는 것을 이해해야 한다. 다른 형태의 기술의 스위칭 어셈블리(200)는 다른 수의 스위치(210)를 가질 수 있다.

[0103] *자기장 발생기 어셈블리*

[0104] 특정 형태의 기술에서, 자기장 발생기 어셈블리(300)는 하나 이상의 자기장 발생기(310)를 포함하며, 각 자기장 발생기(310)는 스위칭 어셈블리(200)의 전기 스위치(210) 중 하나 이상에 자기장을 인가하도록 구성된다.

[0105] 자기장 발생기 어셈블리(300)의 예시적인 형태는 도 3 내지 6, 8 내지 14, 16, 17, 19 내지 24, 26, 27, 29, 30, 34, 및 35에 도시되어 있다. 이러한 형태들에서, 자기장 발생기 어셈블리(300)는 하나 이상의 자기장 발생기(310)를 포함한다. 각각의 자기장 발생기(310)는 자기 코어(320)를 포함할 수 있다. 코어(320)는 페라이트 코어(예컨대, 철 코어) 또는 적층된 강철/철 코어와 같은 고투과성 자기 코어일 수 있다. 다른 형태에서는, 작동 주파수에서 다른 유형의 높은 상대 투자율이 사용될 수도 있고, 또는 비자기 코어 또는 공기 코어가 사용될 수

도 있다. 공기 코어는 전기 스위치(210)의 크기, 중량 및 비용을 유리하게 감소시킬 수 있으며, 코어를 포화시키지 않고 더 높은 전류를 구동할 수 있는 능력을 제공할 수도 있다. 도시된 형태에서, 자기 코어(320)는 실질적으로 링 형태의 고체 코어, 예를 들어, 둥근 모서리를 갖는 사각형 모양의 링이다.

[0106] 예시적인 형태에서, 자기 코어(320)는 갭(330)을 형성한다. 갭(330)은 고체 자기 코어(320)의 공간, 예를 들어, 정사각형 모양의 링 코어의 일측에 있는 공간일 수 있다. 에어 코어의 임의의 부분은 갭(330)으로 간주될 수 있다.

[0107] 예시적인 형태들에서, 도체는 코일(340)에서 자기 코어(320)의 일부에 권취되어 있다. 예를 들어, 도체에 의해 형성된 코일(340)은 정사각형 모양의 링 코어의 측면, 예를 들어, 갭(330)이 형성되는 측면의 반대편 측면에 권취될 수 있다. 에어 코어에서, 코일(340)은 그 내부에 공간 영역을 정의하고, 그 공간 영역은 에어 코어로 간주될 수 있고 갭(330)을 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 사용 시, 도체는 발전기 전류를 전달할 수 있다. 코일(340)을 통한 발전기 전류의 흐름은 코어(320) 및 갭(330)을 가로질러 자기장을 생성한다. 특정 형태의 기술에서, 전기 스위치(210)를 포함하는 HTS 재료의 길이는 갭(330)에 위치하여, 갭(330)을 가로질러 자기장 발생기(310)에 의해 생성된 자기장이 스위치(210)에 적용되는 외부 자기장($B_{app}$)이 되도록 한다.

[0108] 특정 형태에서, 도체에 의해 전달되는 발전기 전류는 전류 소스, 예를 들어, 교류 전류 소스에 의해 공급될 수 있으므로, 그 발전기 전류는 교류 발전기 전류가 된다. 후술하는 바와 같이, 특정 형태에서, 도체에 전류를 공급하는 교류 전류원은 정류기(100)의 전류 공급 어셈블리(500)에 의해 수신되는 것과 동일한 교류 입력 전류이거나, 교류 입력 전류 및/또는 갭(330)에 배치된 스위치(210)를 통해 흐르는 교류 스위치 전류와 위상이 다른 크기를 갖는 교류 전류 공급원일 수 있다. 다른 형태들에서, 자기장 발생기(310)의 도체에 발전기 전류를 공급하는 전류 소스는 별도의 전류 소스(350)일 수 있다. 이러한 형태에서, 전류 소스(350)는 직류 소스일 수 있다.

[0109] 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기는 지속적으로 변화할 수 있다. 또는, 자기장 발생기(들)(310)에 의해 생성된 자기장의 크기는 두 개의 상수 값 사이에서 변화할 수 있다. 특정 형태에서는, 상수 값 중 하나가 0일 수 있다.

[0110] 특정 형태에서, 자기장 발생기(310)는 복수의 전기 스위치들(210)에 자기장($B_{app}$)을 인가하도록 구성될 수 있다.

예를 들어, 도 16, 도 21, 도 29 및 도 30에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 자기장 발생기(310a)는 전기 스위치(210a 및 210d)에 자기장을 인가하도록 구성되고, 자기장 발생기(310b)는 전기 스위치(210b 및 210c)에 자기장을 인가하도록 구성될 수 있다. 각각의 자기장 발생기(310a 및 310b)는 단일 자기 코어(320)와 하나 이상의 갭(330)을 포함할 수 있으며, 그 내에 각각의 전기 스위치의 HTS 재료가 위치한다. 대안적으로, 도 30에 도시된 예에서와 같이, 각 자기장 발생기(310a 및 310b)는 복수의 구성요소 자기장 발생기를 포함할 수 있으며, 각 구성요소 자기장 발생기는 자기 코어(320)를 포함하고 도체가 권취되어 코일(340)을 형성하며, 각 구성요소 자기장 발생기의 코일(340)은 구성요소 자기장 발생기를 동시에 활성화하기 위해 전기적으로 연결될 수 있다.

[0111] 자기장 발생기 어셈블리(300) 내의 자기장 발생기(300)의 특정 예시적인 배열이 기술되었지만, 다른 형태의 자기장 발생기(310)는 다른 형태를 취할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0112] *제어 메커니즘*

[0113] 특정 형태의 기술에 따른 정류기(100)는 스위칭 어셈블리(200)의 전기 스위치(210)를 스위칭하기 위해 자기장 발생기 어셈블리(300)를 제어하도록 구성된 제어 메커니즘(400)을 포함한다.

[0114] 특정 형태의 기술에서, 제어 메커니즘(400)은 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기가 전류 공급 어셈블리(500)에 의해 수신되는 교류 입력 전류의 위상에 기초하도록 자기장 발생기 어셈블리(300)의 자기장 발생기(310)를 제어하도록 구성된다. 예를 들어, 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기는, 교류 입력 전류의 위상과 고정 위상 차가 있는 위상에 따라 달라질 수 있다. 일 실시예에서, 고정 위상 차는 0일 수 있으며, 이 경우 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장은 교류 입력 전류와 위상이 달라진다. 특정 예들에서, 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기는 교류 입력 전류의 각 사이클의 일부에 대한 제1 값일 수 있고, 교류 입력 전류의 각 사이클의 다른 일부에 대한 제2 값일 수 있다. 제1 값 또는 제2 값 중 하나는 0일 수 있다.

[0115] 또한, 특정 형태에서, 제어 메커니즘(400)은 자기장 발생기(310)가 자기장(즉, 교류 스위치 전류)을 공급하는 전기 스위치(210)를 통해 교류 전류의 위상에 기초한 위상을 갖는 교류 전류(즉, 교류 발전기 전류)를 자기장 발생기(310)에 공급하도록 구성된다. 따라서, 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기는 교류 스위

치 전류의 크기에 따라 위상이 달라진다. 예를 들어, 교류 발전기 전류의 크기는 교류 스위치 전류의 위상과 고정 위상 차이인 위상에 따라 달라질 수 있다. 일 실시예에서, 고정 위상 차는 0일 수 있으며, 이 경우, 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성된 자기장은 교류 스위치 전류와 위상이 달라진다. 특정 예들에서, 각 자기장 발생기(310)에 의해 생성되는 자기장의 크기는 교류 스위치 전류의 각 사이클의 일부에 대한 제1 값일 수 있고, 교류 스위치 전류의 각 사이클의 다른 일부에 대한 제2 값일 수 있다. 제1 값 또는 제2 값 중 하나는 0일 수 있다.

[0116] 특정 형태의 기술에서, 교류 입력 전류는 교류 발전기 전류로서 자기장 발생기(310)에 직접 공급될 수 있다. 자기장 발생기(310)가 코일(340)에 권취된 도체를 포함하는 실시예들에서, 교류 입력 전류는 도체/코일(340)에 직접 공급될 수 있다.

[0117] 전술한 기술의 특정 형태에서, 교류 입력 전류 또는 교류 입력 전류에 기초한 교류 전류(예를 들어, 전류 분배기에서 교류 입력 전류로부터 분할된 교류 전류; 또는 변압기의 1차 측의 교류 입력 전류로부터 변압기의 2차 측에서 생성된 교류 전류 포함)가 자기장 발생기(310)에 공급되며, 여기서 자기장 발생기(310)는 다음과 같이 구성된다: 1) 자기장 발생기(310)는 전기 스위치(210)에 자기장을 인가하고; 및

[0118] 2) 전기 스위치(210)는 교류 입력 전류(예를 들어, 전류 분배기에서 교류 입력 전류로부터 분할된 교류 전류; 또는 변압기의 1차 측의 교류 입력 전류로부터 변압기의 2차 측에서 생성된 교류 전류)에 기초하여 교류 스위치 전류를 전달한다. 이러한 형태의 기술은 전기 스위치들(210)에 적용되는 외부 자기장($B_{app}$)의 크기 변화의 타이밍이 전류들 사이의 관계에 의해 교류 입력 전류의 위상에 자동으로 동기화되기 때문에, 하나 이상의 "자동 동기(auto-synchronous)" 전기 스위치들(210)을 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 이러한 형태에서, 제어 메커니즘(400)은 교류 입력 전류와 교류 발전기 및 교류 스위치 전류 사이의 명시된 관계를 용이하게 하는 전기 부품 및/또는 연결로 간주될 수 있다.

[0119] 특정 형태에서, 전기 스위치들(210)에 적용되는 외부 자기장($B_{app}$)의 일부는 기술된 방식으로 교류 입력 전류의 위상에 자동으로 동기화될 수 있고, 자기장 발생기(310)는 다른 수단에 의해 외부 자기장($B_{app}$)의 다른 부분을 생성하도록 구성된 제너레이터부를 포함할 수 있다.

[0120] 이제, 기술의 형태에 따라 정류기(100)에 제공되는 자동 동기 전기 스위치(210)의 특정 실시예들이 설명될 것이다.

[0121] 도 3 및 도 4에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 자기장 발생기(310)는 교류 입력 전류($i_1$)를 교류 소스(900)로부터 공급받는다. 이 자기장 발생기(310)는 자기장($B_{app}$)을 생성하고 그 자기장을 전기 스위치(210)에 적용하도록 구성된다. 도 4에 도시된 바와 같이, 자기장 발생기는 자기 코어(320) 주위로 감긴 코일(340)을 포함하며, 코일(340)은 교류 입력 전류($i_1$)를 전달한다. 코일(340)은 전기 스위치(210)의 일부로 구성된 HTS 재료의 길이에 전기적으로 연결되고 자기 코어(320)의 갭(330)에 배치된다. 결과적으로 교류 입력 전류($i_1$)의 변화는 인가 자기장($B_{app}$)의 변화를 초래하고 이 둘은 동기화된다.

[0122] 도 5, 도 6, 도 12 및 도 19에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 교류 전류 소스(900)는 교류 입력 전류($i_1$)를 자기장 발생기(310)에 공급하는데, 자기장 발생기(310)는 자기장($B_{app}$)을 생성하고 그 자기장을 전기 스위치(210)에 적용하도록 구성된다. 도 6에 도시된 바와 같이, 자기장 발생기는 자기 코어(320) 주위로 감긴 코일(340)을 포함하며, 코일(340)은 교류 입력 전류($i_1$)를 전달한다. 코일(340)은 변압기(510)의 1차 측에 있는 1차 코일(520)에 전기적으로 연결된다. 변압기(510)는 변압기(510)의 2차 측에 있는 2차 코일(530)에서 교류 전류($i_2$)를 발생시킨다. 2차 코일(530)은 전기 스위치(210)의 일부로 구성된 HTS 재료의 길이에 전기적으로 연결되고, 자기 코어(320)의 갭(330)에 위치한다. 2차 코일(530)의 교류 전류($i_2$)는 1차 코일(520)의 교류 입력 전류($i_1$)와 동기화되어, 즉 위상이 동일하므로, 교류 입력 전류($i_1$)의 변화는 인가 자기장($B_{app}$)의 변화를 초래하고, 이 둘은 동기화된다.

[0123] 도 14, 도 16, 도 17, 도 20, 도 21 및 도 22에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 자기장 발생기 조립체(300)는 도 5, 도 6, 도 12 및 도 19에 도시된 형태와 유사하게 변압기(510)의 1차 측에 위치한다. 도 14, 도 16, 도 17, 도 20, 도 21 및 도 22에 도시된 형태의 경우, 자기장 발생기 어셈블리(300)는 복수의 자기장 발생기(310), 예를 들어, 전기 스위치(210a 및 210b)(또는 도 16 및 도 21에 도시된 형태의 경우 전기 스위치(210a 및 210d,

210b 및 210c))에 각각 자기장($B_{app1}$) 및 자기장($B_{app2}$)을 적용하도록 구성되는 2개의 자기장 발생기(310a 및 310b)를 포함한다.

[0124] 도 8, 도 9 및 도 13에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 교류 전류원(900)은 변압기(510)의 1차 측에 있는 1차 코일(520)에 교류 입력 전류($i_1$)를 공급한다. 변압기(510)는 변압기(510)의 2차 측에 있는 2차 코일(530)에서 교류 전류($i_2$)를 발생시킨다. 2차 코일(530)은 자기장 발생기(310)에 전기적으로 연결되며, 자기장 발생기(310)는 자기장($B_{app}$)을 생성하고 그 자기장을 전기 스위치(210)에 인가하도록 구성된다. 도 9에 도시된 바와 같이, 자기장 발생기는 자기 코어(320) 주위로 감긴 코일(340)을 포함하며, 코일(340)은 2차 코일(530)로부터 제공되는 교류($i_2$)를 전달한다. 코일(340)은 전기 스위치(210)의 일부로 구성된 HTS 재료의 길이에 전기적으로 연결되고 자기 코어(320)의 갭(330)에 배치된다. 2차 코일(530)의 교류 전류($i_2$)는 1차 코일(520)의 교류 입력 전류($i_1$)와 동기화되어, 즉 위상이 동일하므로, 교류 입력 전류($i_1$)의 변화는 인가 자기장($B_{app}$)의 변화를 초래하고, 이 둘은 동기화된다.

[0125] 도 10 및 도 11에 도시된 정류기(100)의 형태에서, 교류 전류 소스(900)는 변압기(510)의 1차 측에 있는 1차 코일(520)에 교류 입력 전류($i_1$)를 공급한다. 변압기(510)는 변압기(510)의 2차 측에 있는 2차 코일(530)에서 교류 전류($i_2$)를 발생시킨다. 이러한 형태에서, 변압기(510)와 자기장 발생기(310)는 동일한 구성요소로 구성되며, 즉 자기장 발생기(310)의 자기 코어(320)는 변압기(510)의 자기 코어(540) 역할도 수행한다. 이 자기 코어(320/540)는 전기 스위치(210)의 일부로 구성된 길이의 HTS 재료가 배치되는 갭(330)을 포함하며, 이 길이의 HTS 재료는 변압기(510)의 2차 코일(530)에 전기적으로 연결된다. 2차 코일(530)의 교류 전류($i_2$)는 1차 코일(520)의 교류 입력 전류($i_1$)와 동기화되어, 즉 위상이 동일하므로, 교류 입력 전류($i_1$)의 변화는 인가 자기장($B_{app}$)의 변화를 초래하고, 이 둘은 동기화된다. 이러한 형태의 기술에서 정류기(100)는 단일 자기 코어(320/540)만 사용되기 때문에 도 5, 6, 8 및 9에 도시된 정류기보다 더 콤팩트할 수 있다.

[0126] 일부 형태의 기술에서, 제어 메커니즘(400)은 하나 이상의 자기장 발생기(310) 중 어느 하나 이상을 통해 교류 발전기 전류를 제어하도록 구성된 하나 이상의 전류 흐름 제어 장치를 포함한다.

[0127] 특정 형태의 기술에서, 각 전류 흐름 제어 장치는 자기장 발생기(310) 중 하나에 병렬로 연결된 다이오드(410)를 포함한다. 특정 형태에서, 다이오드(410)는 다이오드(410)를 통해 한 방향으로 전류가 흐르도록 허용하지만, 다이오드(410)를 통해 다른 반대 방향으로의 전류 흐름을 차단하도록 구성된 다이오드의 유형일 수 있다. 이러한 유형의 다이오드를 포함하는 정류기(100)의 형태가 도 12, 13, 14, 16 및 17에 도시되어 있다. 이러한 형태에서, 다이오드(410)가 전류가 흐르도록 허용하는 방향으로 전류가 흐르면, 자기장 발생기(310)가 단락되어 결과적으로 비활성화된다. 다이오드(410)가 전류를 차단하는 방향으로 전류가 흐르면, 자기장 발생기(310)를 통해 전류가 흐르면서 자기장 발생기(310)가 활성화된다. 즉, 자기장 발생기(310)에 의해 인가된 자기장($B_{app}$)에 의해 제어되는 전기 스위치(210)는 교류 주기의 절반 동안에만 활성화(즉, 고-저항 상태에 놓이거나 개방)될 수 있다. 본 명세서에 설명된 다른 유형의 정류기(100)에 비해 다이오드(410)를 포함하는 정류기(100) 형태의 한 가지 이점은, 자기장 발생기(310)가 코일(340)의 권선을 통해 전류가 흐를 때 에너지의 저항 손실을 초래하기 때문에, 다이오드(410)가 전류의 흐름을 허용하고 자기장 발생기(310)를 통해 전류가 흐르지 않는 사이클의 절반 동안 저항 손실이 실질적으로 발생하지 않는다는 것이다.

[0128] 도 14, 도 16 및 도 17에 도시된 기술의 형태에서, 정류기(100)는 복수의 전류 흐름 제어 장치들을 포함하며, 이러한 형태에서, 각각은 다이오드를 포함하므로, 정류기(100)는 복수의 다이오드(410a, 410b)를 포함하게 된다. 각 다이오드(410a, 410b)는 자기장 발생기(310a, 310b) 중 각각의 하나에 걸쳐 병렬로 연결된다. 다이오드(410a) 및 다이오드(410b)는 서로 반대 방향으로 배향되어, 교류 입력 전류($i_1$)가 한 방향으로 흐를 때, 다이오드(410a)는 전류의 흐름을 허용하고 다이오드(410b)는 전류의 흐름을 차단하며, 교류 입력 전류($i_1$)가 다른 반대 방향으로 흐를 때, 다이오드(410a)는 전류 흐름을 차단하고 다이오드(410b)는 전류의 흐름을 허용하도록 되어 있다. 이러한 배열의 결과로, 교류 입력 전류($i_1$)가 한 방향으로 흐르면 자기장 발생기(310b)가 활성화되고 자기장 발생기(310a)는 활성화되지 않으며, 교류 입력 전류($i_1$)가 다른 반대 방향으로 흐르면 자기장 발생기(310a)가 활성화되고 자기장 발생기(310b)는 활성화되지 않는다. 즉, 교류 입력 전류($i_1$)가 양방향으로 흐를 때, 전기 스위치(310a) 및 전기 스위치(310b)가 (자기장 발생기(310a) 및 자기장 발생기(310b)가 각각 자기장을

인가하여) 전환될 수 있다.

[0129] 도 15는 기술의 일 형태에 따라 도 14의 예시적인 반파 정류기(100)를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 교류 입력 전류($i_1$), 2차 전류($i_2$), 자기장 발생기(310a)에 의해 생성되는 자기장($B_{app1}$), 자기장 발생기(310b)에 의해 생성되는 자기장($B_{app2}$) 및 부하(600)에 걸친 출력 전압의 예시적인 크기를 예시적으로 도시한다. 교류 입력 전류($i_1$)의 크기는 전류 공급 어셈블리(500)(도시되지 않음)에 의해 제어될 수 있으며, 이는 2차 전류($i_2$)의 크기의 프로파일에 반영되는 도시된 파형 프로파일을 가질 수 있다. 다이오드(410a)는 자기장 발생기(310a)에 의해 생성된 자기장($B_{app1}$)이 교류 입력 전류($i_1$)의 사이클의 양의 부분에 대해 활성화되도록 하고, 그렇지 않으면 비활성화되도록 한다. 다이오드(410b)는 자기장 발생기(310b)에 의해 생성된 자기장($B_{app2}$)이 2차 전류($i_2$)의 사이클의 양의 부분에 대해 활성화되도록 하고, 그렇지 않으면 비활성화되도록 한다. 정류기(100)의 효과는 교류 입력 전류($i_1$)의 사이클의 양의 부분 동안에만 부하(600)에 전압이 발생하여 교류 입력 전류($i_1$)를 반파 정류하는 것이다.

[0130] 도 18은 도 16 및 도 17의 예시적인 전파 정류기(100)를 기술의 형태에 따라 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 교류 입력 전류($i_1$), 자기장 발생기(310a)에 의해 생성되는 자기장($B_{app1}$), 자기장 발생기(310b)에 의해 생성되는 자기장($B_{app2}$) 및 부하(600)에 걸친 출력 전압의 예시적인 크기를 예시한다. 교류 입력 전류($i_1$)의 크기는 도면화된 파형 프로파일을 갖도록 전류 공급 어셈블리(500)에 의해 제어될 수 있다. 이 프로파일은 2차 코일(530)의 2차 전류의 크기에 반영된다(도시되지 않음). 다이오드(410a)는 자기장 발생기(310a)에 의해 생성된 자기장($B_{app1}$)이 교류 입력 전류($i_1$)의 사이클의 양의 부분에 대해 활성화되도록 하고, 그렇지 않으면 비활성화되도록 한다. 다이오드(410b)는 자기장 발생기(310b)에 의해 생성된 자기장($B_{app2}$)이 2차 전류($i_2$)의 사이클의 양의 부분에 대해 활성화되도록 하고, 그렇지 않으면 비활성화되도록 한다. 정류기(100)의 효과는 교류 입력 전류($i_1$)가 0이 아닐 때마다(음이든 양이든) 부하(600)에 양의 전압이 생성되어 교류 입력 전류($i_1$)를 전파 정류하는 것이다.

[0131] 도 14, 도 16 및 도 17에 도시된 정류기(100)의 형태는 복수의 다이오드(410) 및 복수의 전기 스위치(210)를 포함한다. 이러한 정류기는 단 하나의 전류 공급(900)으로만 작동할 수 있으며, 제어 메커니즘(400)은 교류 입력 전류($i_1$)에 의해 구동되므로, 외부 제어 메커니즘이 필요하지 않을 수 있다. 일부 형태들에서, 이들은 도 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 및/또는 13에 도시된 정류기(100)의 형태들보다 더 효율적이고 극저온 손실을 더 적게 겪을 수 있다. 또한, 도 14, 16 및 17에 도시된 정류기(100)의 형태들은 대칭 교류 입력 전류($i1$)로 동작할 수 있고, (즉, 하기 기술되는 바에 따라, 도 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 및/또는 13에 도시된 정류기(100)의 형태들에 요구될 수 있는 바와 같이 비대칭 파형 프로파일을 갖도록 입력 전류를 제어할 필요는 없다) 따라서 사이클의 상당한 비율 동안 부하(600) 양단에 출력 전압을 생성할 수 있으므로 다른 형태의 정류기에 비해 출력 전압 및 파워를 증가시킬 수도 있다. 그러나, 일부 형태에서, 도 14, 16 및 17의 정류기(100)는 단일 전기 스위치(210)만을 포함하는 본원에 개시된 정류기(100)보다 물리적으로 더 클 수 있고, 스위치(210)의 활성화/비활성화 타이밍은 스위치의 활성화/비활성화 타이밍을 제어하는 제어 메커니즘(400)이 정류기의 별도의 부분인 정류기 형태(즉, 비-자동-동기 형태)와 비교할 때 효율적이지 않을 수 있다.

[0132] 특정 형태의 기술에서, 제어 메커니즘(400)은 자기장 발생기(310)에 병렬로 연결된 제너레이터 제어 스위치(420) 형태의 하나 이상의 전류 흐름 제어 장치를 포함한다. 특정 형태에서, 제너레이터 제어 스위치(420)는 트랜지스터 형태의 스위치(예컨대, MOSFET 또는 IGBT)일 수 있다. 제너레이터 제어 스위치(420)를 포함하는 정류기(100)의 형태가 도 19 내지 22에 도시되어 있다. 이러한 형태들에서, 제어 메커니즘(400)은 각각의 발전기 제어 스위치(420)에 병렬로 연결된 자기장 발생기(310)를 활성화/비활성화하기 위해 발전기 제어 스위치(420)를 선택적으로 개방 및 폐쇄하도록 구성되는 스위치 제어 메커니즘(도시되지 않음)을 포함하고, 전류가 통과하도록 허용하거나 자기장 발생기(310)를 단락시킴으로써 각각 활성화/비활성화할 수 있다. 이러한 스위치 제어 메커니즘은 전류 흐름 제어 장치가 하나 이상의 다이오드를 포함하는 정류기에 비해 정류기(100)에 추가적인 복잡성을 도입하지만, 스위치 제어 메커니즘은 전기 스위치(210)의 능동 제어를 가능하게 하여, 더 많은 유연성을 제공할 수 있고, 일부 형태의 기술에서 더 큰 효율을 달성할 수 있게 할 수 있다. 또한, 단 하나의 전류 공급 장치(900)만 필요할 수도 있다.

[0133] 도 19 및 도 20에 도시된 예시적인 정류기(100)는 반파 정류기이다. 도 19에 도시된 정류기(100)의 형태는 자기

장 발생기(310)에 병렬로 연결된 단일 발전기 제어 스위치(420)를 포함한다. 제어 메커니즘(400)은 상술한 바와 유사한 방식으로 전류를 반파 정류하기 위해 교류 입력 전류($i_1$)의 위상에 따라 스위치(420)를 선택적으로 개폐하도록 구성된다. 도 20에 도시된 반파 정류기(100)의 형태 및 도 21 및 도 22에 도시된 예시적인 전파 정류기(100)의 형태에서, 제어 메커니즘(400)은 하나의 자기장 발생기(310a)에 병렬로 연결된 제1 스위치(420a) 및 다른 자기장 발생기(310b)에 병렬로 연결된 제2 스위치(420b)를 포함한다. 제어 메커니즘(400)은 전류를 정류하기 위해 교류 입력 전류($i_1$)의 위상에 따라 스위치(420a 및 420b)를 선택적으로 개방 및 폐쇄하도록 구성된다.

[0134] 상술한 정류기의 예시적인 형태는 교류 입력 전류 또는 교류 입력 전류에 기초한 전류(예를 들어, 전류 분배기에서 교류 입력 전류로부터 분할된 교류 전류, 또는 변압기의 1차 측에서 교류 입력 전류로부터 변압기의 2차 측에서 생성된 교류 전류 포함)에 의해 자기장 발생기 조립체(300)가 통전되는 형태이다. 다른 형태의 기술에서, 자기장 발생기 어셈블리(300)는 하나 이상의 개별 전류/전원 소스(350)를 포함한다. 이러한 기술의 예시적인 형태가 도 23, 24, 26, 27, 29 및 30에 도시되어 있다.

[0135] 도 23 및 도 24에 도시된 정류기(100)의 예시적인 형태에서, 전기 스위치(210)에 인가되는 자기장($B_{app1}$) 및 자기장($B_{app2}$)은 각각 자기장 발생기(310a 및 310b)에 의해 생성되고, 코일(340a 및 340b)은 각각 전류원(350a 및 350b)에 의해 공급되는 전류를 전달한다. 제어 메커니즘(400)(도시되지 않음)은 전류 소스(350a 및 350b)로부터 코일(340a 및 340b)로의 전류 공급을 제어하여 자기장 발생기(310a 및 310b)를 원하는 방식으로 활성화 및 비활성화하도록 구성된다.

[0136] 도 25는 변압기(510)의 1차 코일(520) 내의 교류 입력 전류($i_1$), 변압기(510)의 2차 코일(530) 내의 교류 전류($i2$), 자기장 발생기(310b)에 의해 생성된 자기장($B_{app2}$), 자기장 발생기(310a)에 의해 생성된 자기장($B_{app1}$), 부하(600)의 출력 전압 및 도 23 및 도 24의 예시적인 반파 정류기(100)를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 부하(600) 내의 전류의 측정 크기를 일 형태의 기술에 따라 설명한 것이다. 교류 입력 전류($i_1$)의 크기는 전류 공급 어셈블리(500)(도시되지 않음)에 의해 제어되어 예시된 파형, 즉 전류 피크에서의 연장된 기간의 정전압, 교류 입력 전류($i_1$)가 제로인 제로 크로싱(zero crossing)에서의 연장된 기간의 데드 타임 및 전류 레벨들 사이의 일정한 구배 전이를 갖도록 제어될 수 있다. 제어 메커니즘(400)은 전류($i_1$)가 양일 때 전기 스위치(210b)에 일정한 0이 아닌 자기장(non-zero magnetic field)을 적용하고, 전류($i_1$)가 음일 때 제로 자기장을 적용하도록 자기장 발생기(310b)를 제어하도록 구성될 수 있다. 제어 메커니즘(400)은 전류($i_1$)가 음수일 때 전기 스위치(210a)에 일정하고 0이 아닌 자기장을 적용하고 전류($i_1$)가 양수일 때, 즉 자기장 발생기(310b)의 활성화/비활성화에 대한 반대 위상일 때 0인 자기장을 적용하도록 자기장 발생기(310a)를 제어하도록 더 구성될 수 있다. 이러한 입력을 통해, 부하(600)를 가로지르는 출력 전압은 도 25에 도시된 바와 같이, 즉 2차 코일(530)의 교류 전류($i_2$)가 임계 전류를 초과할 때 부하(600)를 가로지르는 0이 아닌 전압이 될 수 있다. 부하(600)가 초전도 상태(예를 들어, 임계 온도 이하의 저온 상태)로 유지되는 초전도 물질의 길이를 포함하는 경우, 부하(600)의 전류는 도 25에 도시된 바와 같이, 부하(600)를 가로지르는 출력 전압의 각 펄스에 대해 계단형 방식으로 증가("펌핑"으로 설명될 수 있음)할 수 있다.

[0137] 상술한 다른 형태의 기술과 관련하여 설명한 것과 유사한 방식으로, 제어 메커니즘(400)은 스위치를 통과하는 전류가 원하는 방향일 때 스위치가 개방 구성(즉, 고-저항 상태)이 되도록 하기 위해 교류 사이클에서 일정 기간 동안 스위치(210a) 및 스위치(210b)가 동시에 저-저항 상태에 있도록 제어할 수 있다.

[0138] 도 28 및 도 31은 특정 형태의 기술에 따라 도 26 및 도 27(도 28의 경우) 및 도 29 및 도 30(도 31의 경우)의 예시적인 전파 정류기(100)를 모의 사용하는 동안 도 25에 도시된 것과 동일한 변수(변압기(510)의 2차 코일(530)의 교류($i_2$) 제외)의 예시적인 크기를 나타낸다. 예시적인 전파 정류기(100)의 효과는 도 23 및 도 24의 반파 정류기와 관련하여 위에서 설명한 것과 유사하며, 사이클의 두 단계, 즉 2차 코일(530)의 교류($i_2$)가 임계 전류를 초과하는 경우에만 부하(600)에 걸쳐 0이 아닌 전압이 발생한다. 결과적으로 초전도 부하(600)의 전류는 사이클당 두 번 펌핑된다. 다시 제어 메커니즘(400)은 스위치를 통과하는 전류가 원하는 방향일 때 스위치가 개방 구성(즉, 고-저항 상태)에 있도록 하기 위해 교류 사이클에서 일정 기간 동안 두 세트의 스위치가 동시에 저-저항 상태에 있도록 제어할 수 있다.

[0139] 앞의 도면에 도시된 정류기와 비교하여, 도 23, 24, 26, 27, 29 및 30에 도시된 정류기(100)는 스위치의 스위칭

타이밍을 제어하여 효율을 증가시킬 수 있기 때문에 보다 효율적으로 동작할 수 있을 수 있다. 이는 정류기가 초전도 물질을 냉각하거나 출력 전력을 증가시키기 위해 더 낮은 극저온 부하로 작동할 수 있도록 할 수 있다. 다른 목적을 달성하기 위해 스위칭 타이밍을 제어할 수도 있다. 반면에 추가 전원 공급 장치가 필요하고 제어 메커니즘이 더 복잡해지기 때문에 앞서 설명한 정류기에 비해 비용이 증가하고 물리적 크기가 커질 수 있다.

[0140] *전류 공급 어셈블리*

[0141] 특정 형태의 기술에 따른 정류기(100)는 스위칭 어셈블리(200) 내의 HTS 재료의 길이에 교류를 공급하도록 구성된 전류 공급 어셈블리(500)를 포함한다. 전류 공급 어셈블리(500)는 교류 소스(900)를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 전류 공급 어셈블리(500)는 외부 전류 소스로부터 교류 전류를 공급받을 수 있다.

[0142] 도 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 및 13에 도시된 기술의 형태에서, 정류기(100)는 하나 이상의 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료의 길이를 통해 흐르는 교류 전류(즉, 교류 스위치 전류)를 제어하도록 구성된 전류 제어 메커니즘을 포함하고(교류 스위치 전류), 전류의 각 사이클에서, 전류가 한 방향(예를 들어, 양의 방향)으로 흐를 때 전류의 제1 피크 및 전류가 다른 반대 방향(예를 들어, 음의 방향)으로 흐를 때 전류의 제2 피크가 있고, 제1 피크에서의 전류의 크기가 제2 피크에서의 전류의 크기보다 큰 경우, 전류의 제1 피크가 존재하도록 구성된다. 즉, 교류 스위치 전류는 주기를 통해 비대칭이 되도록 제어된다. 또한, 전류 제어 메커니즘은 자기장 발생기(310)에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 클 때 제1 피크에서의 전류의 크기가 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)보다 크고, 자기장 발생기(310)에 의해 인가되는 자기장의 크기가 상대적으로 작을 때 제2 피크에서의 전류의 크기가 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)보다 작도록 구성된다.

[0143] 특정 형태의 기술에서, 전류 공급 어셈블리(500)(도면에서는 교류 전류 소스(900)로 표시되지만, 전술한 바와 같이, 다른 형태에서는 전류 공급 어셈블리(500)가 전류 소스를 포함하지 않는다)는 전류 제어 메커니즘을 포함하고, 전술한 바와 같이 스위치(210)를 통해 흐르는 교류 전류가 비대칭이 되도록 교류 입력 전류($i_1$)를 제어하도록 구성된다. 다른 형태의 기술에서, 전류 공급 어셈블리(500)는 대칭 교류 입력 전류($i_1$)를 공급할 수 있고, 전류 제어 메커니즘은 대칭 교류 입력 전류($i_1$)를 수신하여 전술한 비대칭 전류를 스위치들(210)에 제공할 수 있다.

[0144] 도 4a는 도 3 및 도 4에 도시된 정류기(100)의 형태와 관련된 세 개의 그래프를 나타낸 도이다:

[0145] 1) 시간에 따른 교류 입력 전류($i1$)의 변화 및 자기장 발생기(310)에 의해 스위치(210) 내의 HTS 재료의 길이에 적용되는 자기장($B_{app}$)의 변화;

[0146] 2) 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료의 길이의 임계 전류($I_c$)가 자기장 발생기(310)에 의해 스위치(210) 내의 HTS 재료의 길이에 적용되는 자기장($B_{app}$)에 따라 어떻게 변화하는지; 및

[0147] 3) 교류 입력 전류($i1$)가 공급될 때 시간에 따른 부하(600)를 가로지르는 전압의 변화.

[0148] 전류 사이클 동안, 자기장 발생기(310)를 통과하는 전류(및 스위치(210)를 통과하는 전류)가 증가함에 따라, 스위치(210)에 적용되는 자기장($B_{app}$)의 크기도 증가한다. 자기장의 증가는 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)를 감소시킨다. 전기 스위치(210)는 스위치 전류가 전기 스위치(210) 내 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)를 초과하면 고-저항 상태가 된다. 전기 스위치의 전류가 임계 전류($I_c$)와 같으면 도 4a에서 $i_{th}$로 표시된다. 따라서, 스위치 내의 전류가 $i_{th}$를 초과할 때 부하(600)를 가로지르는 전압은 0이 아니며, 도 4a의 예에서 이것은 양의 피크가 임계 전류 $i_{th}$를 초과하도록 교류 입력 전류($i_1$)가 제어되기 때문에 사이클의 양의 부분에서 발생한다. 도 4a에서, 이 전류는 스위치가 '닫힌' 상태, 즉 저-저항 상태일 때 모든 입력 전류가 전기 스위치(210)를 통해 흐르는 것으로 가정되므로 교류 입력 전류($i_1$)로 표시되어 있다.

[0149] 전류가 $i_{th}$ 이하인 경우, HTS 재료의 길이는 저-저항 상태에 있으므로 부하(600)를 통해 전류가 흐르지 않는다. 또한, 교류 입력 전류($i_1$)는 음의 피크가 임계 전류($i_{th}$)(크기 단위)를 초과하지 않도록 제어되므로, 사이클의 모든 음의 부분에 대해 HTS 재료의 길이는 저-저항 상태로 유지되며, 이는 부하(600)를 통해 무시할 만한 전류가 흐른다는 것을 의미한다. 여러 사이클에 걸쳐 반복되면 주기적인 양의 전압이 부하(600)에 걸쳐 생성되어 교

류 입력 전류($i_1$)를 반파 정류한다.

[0150] 도 7은 도 5 및 도 6에 도시된 정류기(100)를 사용하는 동안 시간에 따라 변화하는 다음 파라미터의 크기를 나타내는 4개의 그래프를 도시한 도면이다:

[0151] 1) 자기장 발생기(310) 및 변압기(510)의 1차 코일(520)에 공급되는 교류 입력 전류($i_1$);

[0152] 2) 변압기(510)의 2차 코일(530)에서 생성된 교류 전류($i_2$);

[0153] 3) 부하(600) 양단의 전압; 및

[0154] 4) 부하(600)의 전류(여기서, 부하(600)는 초전도 상태로 유지되는 초전도 물질의 길이를 포함함(예: 임계 온도 이하의 극저온 상태)).

[0155] 이 예에서, 외부 자기장이 인가되지 않은 상태에서 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)는 200A이다. 전기 스위치(210)에 의해 전달되는 교류 전류($i_2$)는 사이클의 어느 시점에서도 200A를 초과하지 않으므로 스위치(210)를 고-저항 상태로 전환하기에 충분하지 않다. 자기장 발생기(310)에 의해 생성된 0.25T의 자기장을 적용하면, 전기 스위치(210) 내의 HTS 재료 길이의 임계 전류($I_c$)는 약 50A로 감소한다. 이 경우, 전기 스위치(210)에 의해 전달되는 교류 전류($i_2$)가 50A를 초과하게 되면, 스위치(210)는 고-저항 상태로 전환되고 부하(600)에 전압이 발생하게 된다. 교류 입력 전류($i_1$) 및 그에 따라 교류 전류($i_2$)는 비대칭이기 때문에, 스위치(210)는 전류 사이클의 양의 부분 동안에만 더 고-저항 상태로 전환되고 전류는 반파 정류된다. 그 결과 부하(600)에 흐르는 전류가 펌핑된다.

[0156] 도 3 내지 6에 도시된 기술 형태의 정류기(100)의 한 가지 이점은 정류기의 스위치(210)를 스위칭하는 데 필요한 전류가 스위치(210)에 외부 자기장이 인가되지 않은 상태에서 요구되는 전류보다 상당히 낮다는 것이다. 이는 입력 전류 수요를 감소시키고 정류기(100)의 손실을 감소시켜, 부하(600)에서 동일한 수준의 전류 및 전압을 생성할 때 효율을 증가시킨다. 예를 들어, 도 7에 도시된 파라미터의 경우, 손실 감소는 75%이다.

[0157] 전술한 바와 같이, 특정 형태의 기술에서, 전류 제어 메커니즘은 하나 이상의 전기 스위치(210)를 통해 흐르는 교류 전류를 비대칭으로 제어하고, HTS 재료 길이의 임계 전류에 대해 필요한 피크 크기를 갖도록 구성된다. 전류 제어 메커니즘은 임의의 적절한 방식으로 전류의 이러한 제어를 달성할 수 있다. 특정 형태에서 전류 제어 메커니즘은 원하는 파형을 나타내는 디지털 신호가 적절한 비대칭 파형을 갖는 아날로그 전압 신호를 생성하기 위해 디지털-아날로그 컨버터에 제공되는 프로그래밍 가능한 신호 발생기를 포함할 수 있다. 이 아날로그 전압 신호는 비대칭 교류 입력 전류를 생성하기 위해 전력 증폭기에 제공될 수 있다.

[0158] 본 기술의 특정 형태에서, 전류 공급 어셈블리(500)는 이미 많은 예들에 대해 설명된 바와 같이 변압기(510)를 포함할 수 있다. 변압기는 전류 소스(900)에 연결된 1차 코일(520) 및 스위칭 어셈블리(200)에 연결된 2차 코일(530)을 포함할 수 있다. 변압기(510)는 1차 코일(520) 및 2차 코일(530)이 권취된 자기 코어(540)를 포함할 수 있다. 도 23, 24, 26, 27, 29 및 30의 정류기(100)에서, 교류 입력 전류($i_1$)는 변압기(510)의 1차 코일(520)에 공급되고, 2차 코일(530)은 스위칭 어셈블리(200)에 연결된다. 도 5, 6, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 21 및 22의 정류기들(100)에서, 자기장 발생기(들)(특히 도체 형성 코일(340))는 변압기(510)의 1차 코일(520)에 연결된다. 도 8, 9 및 13의 정류기(100)에서, 자기장 발생기(310)(특히, 도체 형성 코일(340))는 변압기(510)의 2차 코일(530)에 연결된다. 도 10 및 도 11의 정류기(100)에서, 변압기(510) 및 자기장 발생기(310)는 위에서 보다 상세히 설명한 바와 같이 동일한 부품들로 구성된다. 특정 형태에서, 1차 코일(520)은 일반 도체 재료로 형성될 수 있고, 2차 코일(530)은 초전도 재료(예컨대, HTS 재료)로 형성될 수 있다.

[0159] 특정 형태의 기술에 따른 변압기(510)를 포함하는 정류기(100)는, 예를 들어, 초전도 자석, 초전도 모터/발전기, 우주 추진 시스템, 핵융합 원자로, 연구용 자석, NMR, MRI, 공중 부양, 정수 및 유도 가열을 포함하는 다양한 애플리케이션에 사용하기에 적합할 수 있다. 정류기에 변압기(510)를 사용하면 정류기의 두 부분을 물리적으로 분리할 수 있으므로, 이러한 정류기는 플럭스 펌프로서 또는 플럭스 펌프 내에서 사용될 수 있다. 응용에 적합한 정류기 형태는 물리적 크기 제약, 극저온 열 부하, 출력 전력, 효율, 비용 및 제어 가능성을 포함한 다양한 요인에 따라 달라진다. 특정 형태에서, 도 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 및 13의 정류기(100)는 효율, 극저온 열 부하 및 출력 전력과 같은 요인들에 대한 요건이 특별히 까다롭지 않을 수 있는 소형, 단순 및/또는 저비용 애플리케이션, 예를 들어, 일부 초전도 모터/발전기 또는 실험실 초전도 전원 공급 응용에 적합하다고

간주될 수 있다. 특정 형태에서, 도 23, 24, 26, 27, 29 및 30의 정류기(100)는 고효율, 낮은 극저온 열 부하 및/또는 고출력을 필요로 하는 애플리케이션, 예를 들어, 우주 추진 또는 고속 램핑 대형 자석에 적합한 것으로 간주될 수 있다. 다른 도의 정류기는, 예를 들어, 다른 응용에 적합할 수 있다.

[0160] *열 차단부*

[0161] 특정 형태의 기술에서 전기 스위치(210) 및 정류기(100)는 초전도 재료, 예를 들어, HTS 재료로 만들어진 부품으로 구성된다. 초전도 재료는 초전도 재료가 저-저항("초전도") 상태를 채택하기 위해 초전도 재료의 임계 온도보다 낮은 온도를 갖는 환경에서 유지되어야 한다. 본 기술의 형태에 따른 정류기(100)는 정류기(100) 내의 하나 이상의 초전도 재료의 임계 온도보다 낮은 온도를 갖는 적절히 차가운 환경에서 정류기(100) 또는 그 일부를 유지하도록 구성된 저온 조절기(700)를 포함할 수 있다.

[0162] 정류기(100)의 동작에 필요하지 않은 경우, 정류기(100)의 특정 부분을 저온으로 유지하는 것은 에너지 측면에서 비용이 많이 들 수 있다. 그러나, 정류기(100)의 일부 부품을 저온으로 유지하고 다른 부품은 더 따뜻한 온도로 유지하면, 저온 조절기(700)으로부터 열 손실이 발생하여 에너지 비용이 증가할 수 있다. 따라서, 특정 형태의 기술은 서로 다른 부품을 서로 다른 온도로 유지하는 것이 바람직한 경우 열 에너지의 흐름을 감소시키기 위해 정류기(100)의 하나 이상의 부품을 정류기(100)의 하나 이상의 다른 부품으로부터 열 절연하기 위한 하나 이상의 열 차단부(710)를 포함한다.

[0163] 본 기술의 형태는 열 차단부(710)의 형태 또는 구성에 의해 제한되지 않는다. 특정 형태에서 열 차단부(710)는 열 절연 재료로 형성된 하나 이상의 요소를 포함하다. 또한, 또는 대안적으로, 열 차단부(710)는 진공 영역을 포함할 수 있다. 또한, 또는 대안적으로, 열 차단부(710)는 하나 이상의 방사선 차폐를 포함할 수 있다.

[0164] 도 32는 특정 형태의 기술에 따른 변압기(510)의 개략적인 도면이다. 변압기(510)는 다음과 같은 상이한 유형의 열 차단부(710) 중 하나 이상을 포함할 수 있다:

[0165] 1) 열 차단부(710a)는 1차 코일(520)과 자기 코어(540) 사이에 위치할 수 있다;

[0166] 2) 열 차단부(710b)는 자기 코어(540a)의 제1 부분과 자기 코어(540b)의 제2 부분 사이에 위치할 수 있다. 특정 형태에서, 제1 코일(520)은 제1 코어 부분(540a) 주위에 감겨질 수 있고, 제2 코일(530)은 제2 코어 부분(540b) 주위에 감겨질 수 있다; 그리고

[0167] 3) 열 차단부(710c)는 이차 코일(530)과 자기 코어(540) 사이에 위치할 수 있다.

[0168] 도 33은 변압기(510)가 동축 기하학적 구조를 가지며, 1차 코일(520)과 2차 코일(530)이 공동으로 권선되고, 코일 중 하나가 다른 코일보다 축에 더 가깝게 권선되는, 특정 형태의 기술에 따른 변압기(510)의 개략도이다. 이러한 변압기(510)는 1차 코일(520)과 2차 코일(530) 사이에 열 차단부(710d)를 포함할 수 있다.

[0169] 유사하게, 정류기(100)의 자기장 발생기(310) 중 임의의 하나 이상의 열 차단부(710)는, 예를 들어, 자기 코어(320a)의 제1 부분과 자기 코어(320b)의 제2 부분 사이의 열 차단부; 및 자기 코어(320)와 자기 코어(320)에 감긴 도체의 코일(340) 사이의 열 차단부 등을 포함할 수 있다.

[0170] 이 기술의 형태는 정류기(100)가 초전도 동작을 가능하게 하는 '차가운' 환경과 '따뜻한' 환경 사이에 열 절연을 제공하기 위해 필요한 임의의 위치에 열 차단부(710)를 포함하도록 구성될 수 있다고 상정한다.

[0171] 열 차단부(710)를 포함하는 정류기(100)의 일 실시예가 도 34에 도시되어 있다. 도 34에서, 변압기(510) 및 제1 및 제2 자기장 발생기(310)의 각각의 자기 코어는 두 개의 코어 부분으로 분할되며, 각 자기 코어는 코어 부분 중 하나가 저온 조절기(700) 내부에 위치하며 다른 코어 부분은 저온 조절기(700) 외부에 위치한다. 각 자기 코어의 두 부분은 서로 자기적으로 결합되어 있다. 저온 조절기(700)의 내부는 전기 스위치(210)를 형성하는 것을 포함하여 저온 조절기(700) 내부에 배치된 초전도 물질의 길이가 저-저항 또는 초전도 상태에서 작동할 수 있도록 충분히 낮은 온도에서 유지된다. 따라서, 저온 조절기(700)의 벽은 열 차단부(710)를 형성한다. 도 34의 정류기(100)의 레이아웃은 그 외에는 도 26 및 도 27에 도시된 정류기(100)의 레이아웃과 유사하다.

[0172] 열 차단부(710)를 포함하는 정류기(100)의 또 다른 예가 도 35에 도시되어 있다. 이 형태는 다시 도 26 및 도 27에 도시된 정류기(100)의 레이아웃과 유사한 레이아웃을 갖는 정류기(100)를 예시하였다. 이 형태에서, 자기장 발생기(310) 및 변압기(510)의 모든 자기 코어(320 및 540)는 저온 차단기(700) 내부에 위치한다. 변압기(510) 및 제1 및 제2 자기장 발생기(310)의 각각의 자기 코어는 두 개의 코어 부분으로 분할되고, 각 자기 코어의 두 코어 부분은 열 차단부(710)에 의해 분리된다. 각 자기 코어의 두 부분은 서로 자기적으로 결합되어

있다. 변압기의 1차 코일(520)과 자기장 발생기(310)의 코일(340)에 연결되는 도체는 저온 조절기(700)의 벽을 통과한다.

[0173] 바이파일러 *배열*

[0174] 초전도 물질의 임계 전류가 물질에 더 높은 외부 자기장이 인가될 때 감소하는 원리를 활용하는 전기 스위치(210)와 관련된 기술의 형태가 설명되었다. 하나의 예시적인 전기 스위치(210a)가 도 24에 도시되어 있다. 도 24의 전기 스위치(210a)는 바이파일러 배열로 배열된 길이의 초전도 물질로 구성된다. 바이파일러 배열로 배열된 초전도 재료의 길이를 포함하는 또 다른 전기 스위치(210)가 도 36에 도시되어 있다. 이제 본 기술의 이러한 측면이 보다 상세히 설명된다.

[0175] 초전도 물질 길이의 바이파일러 배열이 도 24, 36a 및 36b에 도시된 전기 스위치(210)의 형태와 관련하여 설명되었지만, 바이파일러 배열은 다른 형태의 기술에도 적용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 특히, 본 명세서에 설명된 전기 스위치(210) 중 임의의 전기 스위치는, 기술의 다른 형태에서, 바이파일러 배열로 배열된 초전도 물질의 길이를 포함할 수 있다. 또한, 본 기술의 형태에 따라 임의의 정류기(100)에 통합된 임의의 전기 스위치(210)는 바이파일러 배열로 배열된 길이의 초전도 물질을 포함할 수 있다.

[0176] 본 명세서의 맥락에서, 달리 명시되지 않는 한, "바이파일러 배열(bifilar arrangement)"은 도체의 두 가닥이 실질적으로 평행하고 전기적으로 연결되어 전류가 가닥을 통해 반대 방향으로 흐르도록 하는 도체 두 가닥의 배열을 의미하는 것으로 이해해야 한다. 가닥은 서로 밀접하게 인접할 수 있다. 가닥은 길이가 두 배로 늘어난 초전도 물질의 두 부분일 수 있다. 또는 두 가닥은 납땜, 확산 조인트 또는 기타 적절한 형태의 전기 연결을 통해 서로 전기적으로 연결된 별도의 길이의 초전도 물질일 수 있다.

[0177] 또한 특정 형태의 기술에서는 여러 개의 바이파일러 가닥이 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 따라서 문맥상 명확하게 달리 요구하지 않는 한, 바이파일러 가닥 배열이 설명된 경우 다른 형태의 기술에는 다중 바이파일러 가닥을 사용하는 유사한 배열이 포함될 수 있다.

[0178] 보다 구체적으로, 예를 들어, 도 36a에 도시된 기술의 형태를 참조하여, 바이파일러 배열의 일 형태에서, 전기 스위치(210)는 초전도 물질의 길이(800)를 포함한다. 초전도 물질의 길이(800)는 초전도 물질의 두 가닥(즉, 서브 길이)인 초전도 물질(810a 및 810b)을 포함한다. 두 가닥(810a 및 810b)은 서로 직렬로 연결된다. 초전도 물질의 길이(800)는 그 자체로 다시 두 배가 되도록 배열되고, 두 가닥(810a 및 810b)은 공간적으로 서로 실질적으로 평행하게 배열된다. 이러한 배열에서, 초전도 물질의 길이(800)가 수송 전류를 전달할 때, 제1 가닥(810a)의 전류는 제2 가닥(810b)의 전류와 반대 방향으로 흐른다. 초전도 물질의 길이(800)의 접힘 영역(820)(루프의 형태를 취할 수 있음)은 초전도 물질의 길이(800)의 길이를 따라 두 가닥(810a 및 801b)을 분리할 수 있다.

[0179] 도 36b에 도시된 기술의 대안적인 형태에서, 전기 스위치(210)는 초전도 물질의 두 개의 개별 가닥(810a 및 810b)을 포함한다. 두 가닥(810a 및 810b)의 각 한쪽 끝은 전기 연결부(820b)에서 전기적으로 함께 연결되고, 두 가닥은 바이파일러 배열로 되어 있다. 다시 말하자면, 이러한 배열에서, 초전도 물질의 길이(800)가 수송 전류를 전달할 때, 제1 가닥(810a)의 전류는 제2 가닥(810b)의 전류와 반대 방향으로 흐른다. 전기 연결부(820b)는 솔더 조인트, 확산 조인트, 또는 임의의 적절한 전기 조인트일 수 있다.

[0180] 도 36a 및 도 36b에 도시된 기술의 형태에서, 두 개의 가닥(810a 및 810b)은 또한 서로 밀접하게 인접하여 배열될 수 있다. 절연 코팅이 가닥(810a 및 810b) 중 하나 또는 둘 모두에 적용될 수 있고, 가닥의 절연 코팅은 서로 접촉할 수 있다. 대안적으로, 절연 층은 두 개의 가닥(810a 및 810b) 사이에 배치되어 하나 또는 양쪽 가닥과 접촉할 수 있다. 절연 층은 절연 테이프, 예를 들어, 카프톤(Kapton) 또는 노멕스(Nomex) 테이프로 형성될 수 있다.

[0181] 특정 형태의 기술에서, 초전도 물질의 길이(800)는 테이프의 형태, 즉 길이가 폭 및 깊이보다 상당히 크고, 폭이 깊이보다 상당히 큰 물질의 길이를 가질 수 있다. 테이프는 실질적으로 평행한 두 개의 반대면을 가질 수 있으며, 여기서 면은 테이프의 깊이에 의해 분리된다. 가닥은 하나의 가닥(810a)의 반대면이 다른 가닥(810b)의 반대면과 평행하도록 배열될 수 있다. 도 36b에 도시된 기술의 형태에서, 두 가닥(810a 및 810b)의 각각은 테이프의 형태를 취할 수 있다. 두 개의 분리된 가닥은 전기적으로 연속적인 조인트(820b)를 형성하기 위해 한쪽 끝에서 대면하여 전기적으로 연결(예: 납땜)될 수 있다. 이러한 배열은 전기 스위치(210)의 인덕턴스를 감소시킬 수 있지만, 이러한 이점은 저-저항 상태의 저항을 약간 증가시키는 대신에 달성될 수 있다. 대안적으로, 단일 길이의 초전도 물질(예: 테이프)은 두 가닥(10a 및 810b)이 종단 간 결합된 길이의 인접한 영역으로서 배열될 수 있다.

[0182] 특정 형태의 기술에서, 초전도 재료의 길이(800)는 앞서 설명한 바와 같이 고온 초전도(HTS) 재료의 길이일 수 있다.

[0183] 도 24, 도 36a 및 도 36b에 도시된 바와 같이, 특정 형태의 기술의 전기 스위치(210)는 자기장 발생기(310)가 초전도 물질의 두 가닥(810a 및 801b)에 자기장을 인가하도록 활성화될 수 있도록 배치될 수 있다. 자기장 발생기(310)는 본 명세서의 앞부분에서 설명한 자기장 발생기 중 임의의 형태를 취할 수 있다. 자기장 발생기(310)는 전기 스위치(210)가 앞서 설명한 방식으로 저-저항 상태와 고-저항 상태 사이를 이동하도록 자기장을 선택적으로 생성하도록 선택적으로 제어될 수 있다.

[0184] 특정 형태에서, 자기장 발생기(310)는 자기 코어(320)를 포함한다. 코어(320)는 강자기 코어, 예를 들어, 페라이트 코어(예: 철 코어) 또는 적층된 강철/철 코어와 같은 고투과성 자기 코어일 수 있다. 도 24에 도시된 예시적인 형태에서, 자기 코어(320a)는 실질적으로 링 형태의 고체 코어, 예를 들어, 원형 링이다. 다른 형태에서, 코어는 다른 형상, 예를 들어, 둥근 모서리를 갖는 사각형 모양의 링을 가질 수 있다. 예시적인 형태들에서, 자기 코어(320)는 갭(330)에 의해 분리된 제1 단부 및 제2 단부를 포함한다. 갭(330)은 고체 자기 코어(320)의 공간, 예를 들어, 링 코어의 일측에 있는 공간일 수 있다.

[0185] 특정 형태에서, 전기 스위치(210)는 자기장 발생기(310)에 의해 생성된 자기장이 가닥(810a 및 801b)의 대향된 면에 실질적으로 수직이 되도록 배열된다. 즉, 자기장의 자속 라인은 자속 라인이 가닥과 교차하는 가닥(810a 및 801b)의 면에 실질적으로 수직이다.

[0186] 특정 형태의 기술에서, 갭(330)의 폭은 두 가닥(810a 및 810b)의 결합된 깊이와 유사하며, 즉 가닥에 가장 가까운 코어(330)의 각 단부로부터 각 가닥(810a 및 810b)을 분리하는 공기 갭이 상대적으로 적다.

[0187] 초전도 물질 길이의 바이파일러 배열을 포함하는 전기 스위치(210)의 한 가지 이점은, 스위치의 인덕턴스가 단일 길이의 초전도 물질을 갖는 유사한 스위치에 비해 감소된다는 것이다. 이것의 한 가지 실용적인 이점은, 전기 스위치(210)에 자기장을 인가하는 자기장 발생기(310)의 코일(340)이 다른 경우에 필요한 것보다 더 적은 회전을 가질 수 있다는 점일 수 있다.

[0188] 초전도 물질 길이의 바이파일러 배열을 포함하는 전기 스위치(210)의 또 다른 이점은 초전도 물질의 길이에 가해지는 자기장이 낮을 때(예: 0) 초전도 물질의 길이의 임계 전류의 억제를 줄이는 데 도움이 된다는 것이다. 이는 스위치(210)의 저-저항 상태에 대한 더 높은 임계 전류로 이어진다. 이제 이 효과에 대해 더 자세히 설명한다.

[0189] 전술한 기술의 형태는 초전도 물질의 길이에 자기장을 인가하여 초전도 물질의 길이에서 임계 전류를 억제하는 전기 스위치(210)를 포함한다. 이러한 효과는 초전도 물질의 길이를 저-저항 상태와 고-저항 상태로 전환하기 위해 일부 형태의 기술에서 사용된다. 자기장을 생성하는 자기장 발생기(310)는 자기장을 초전도 물질의 길이에 집중시키는 데 사용될 수 있는 강자기 코어와 같은 고-투과성 코어(320)를 포함할 수 있다.

[0190] 수송 전류를 전달하는 단일 길이의 초전도 물질을 강자기 코어 근처에 배치하면 자기장의 세기가 0을 포함하여 낮은 경우에도 임계 전류가 추가로 억제되는 것으로 관찰되었다. 실제로 이 효과로 인한 임계 전류의 상대적인 추가 억제 효과는 적용된 자기장 강도가 낮을 때 더 크다. 이는 전류가 흐를 때 코어(320) 내의 강자성 물질이 초전도 물질에 근접하여 발생하는 자기장 확대 효과에 기인한다. 특히, 실험 및 유한 요소 해석을 통해 강자기 코어(320)를 통과하는 저반사율 리턴 경로의 존재로 인해 유니파일러 길이의 초전도 물질의 자기장이 증폭되고, 유니파일러 길이의 초전도 물질이 테이프 형태인 경우 테이프에 수직으로 배향되어 그 폭에 걸쳐 확산되는 것이 확인되었다. 이로 인해 테이프 폭에 걸쳐 각 지점의 임계 전류 밀도가 억제되어 강자기 코어가 없을 때와 비교하여 총 임계 전류가 억제된다.

[0191] 초전도 물질의 길이가 바이파일러 배열로 배열된 전기 스위치(210)는 이러한 효과에 대해 상당히 완화되는 것으로, 즉 설명된 임계 전류의 억제를 감소시키는 것으로 확인되었다. 다시 말해, 바이파일러 배열은 강자기 코어(320)에 근접할 때 초전도 물질의 길이를 통해 흐르는 전류에 의해 생성되는 자기장을 실질적으로 상쇄한다. 도 37은 다양한 적용 필드에서 본 기술의 형태에 따른 전기 스위치(210)에서 초전도 물질의 길이가 바이파일러 배열(파란색, 상단선)과 유니파일러 배열(주황색, 하단선), 즉 초전도 물질의 단일 층으로 배열된 경우의 초전도 물질 길이의 임계 전류를 나타낸다. 이러한 실험 결과는 데이터베이스의 초전도 물질에 대한 참조 값(녹색, 점선, 가운데 선)과 비교된다. 이는 낮은 인가 필드에서 임계 전류의 억제가 유니파일러 배열에 비해 바이파일러 배열의 경우 매우 낮다는 것을 보여준다. 인가 자기장이 자기장 효과보다 훨씬 큰 더 높은 인가 자기장에서는 그 차이가 크지 않다. 더 높은 인가 필드에서 임계 전류의 상대적으로 작은 차이는 단일 층 유니파일러 배열에

비해 2층 바이파일러 배열의 차폐 능력이 증가했기 때문일 수 있다. 초전도 물질의 길이는 특정 형태의 기술에서 항상 초전도 상태로 유지될 수 있다는 점을 인식해야 한다.

[0192] 높은 인가 자기장에 비해 낮은 인가 자기장에 대한 임계 전류 사이의 차이가 크다는 것은, 바이파일러 배열의 초전도 물질의 길이를 포함하는 전기 스위치(210)가, 예를 들어, 유니파일러 배열의 스위치에 비해 향상된 스위칭 성능을 가질 수 있다는 것을 의미한다. 스위칭 성능은 스위칭 계수 $k$에 의해 주어질 수 있으며, 이는 자기장이 0일 때의 임계 전류와 자기장이 인가될 때의 임계 전류의 비율, 즉 $I_c(0)$ / $I_{c,b}(B_a)$로 계산할 수 있다. 도 37에서 바이파일러 배열이 유니파일러 배열보다 $k$가 더 크다는 것을 알 수 있다. 전송 전류가 $I_c(0)$보다 낮다면 스위칭 계수 $k$가 높을수록 스위치가 더 효율적이라는 것을 의미한다. 또한, 저-저항 상태에서 임계 전류가 높으면 전기 스위치(210)가 더 높은 최대 전류를 출력할 수 있다.

[0193] 도 38a 및 도 38b는 특정 형태의 기술에 따른 전기 스위치(210)의 강자기 코어(320)의 단부들 사이의 갭 내의 자기장 프로파일을 도시한다. 전기 스위치(210)는 강자기 코어(320)의 양 단부 사이에 배치된 테이프 형태의 초전도 재료의 길이(810)를 포함한다. 자기장 프로파일은 유한 요소 해석에 의해 생성된다. 도 38a에서, 테이프는 코어(320)의 단부들 사이의 갭(330)에 균일하게 배열되어 있으며, 즉 단일 길이의 테이프가 갭(330)을 통과한다. 도 38a에서, 테이프는 195A의 전류를 전달하는 것으로 모델링되고, 테이프에 가해지는 자기장은 250mT의 자기장 세기를 갖는 것으로 모델링된다. 도 38b에서, 테이프는 코어(320)의 단부들 사이의 갭(330)에 바이파일러 배열로 배열되어 있으며, 즉 테이프의 두 가닥이 갭(330)에 서로 평행하고 밀접하게 인접하여 배열되어 있다. 도 38b에서, 테이프는 375A의 전류를 전달하는 것으로 모델링되고, 테이프에 적용되는 자기장은 70mT의 자기장 강도를 갖는 것으로 모델링된다.

[0194] 도 38a와 38b는 초전도 물질의 길이가 유니파일러 배열로 배열된 기술(도 38a)의 평균 자기장 크기가 초전도 물질의 길이가 바이파일러 배열로 배열된 기술(도 38b)의 평균 자기장 크기보다 훨씬 더 크다는 것을 보여준다. 실제로 바이파일러 배열은 테이프의 자기 인덕턴스를 거의 제거하며 테이프에 남아 있는 자기장은 대부분 테이프의 표면과 평행한 방향에 있다. 이는 제로 인가 필드에서 바이파일러 배열의 임계 전류가 유니파일러 테이프보다 훨씬 큰 이유를 설명한다(도 37 참조).

[0195] 또한, 코어(320)의 단부 사이의 갭(330)이 클수록 인가된 자기장의 자기장 세기가 낮아지는 것으로 확인되었다. 즉, 갭(330)이 증가하면, 동일한 자기장 강도를 유지하기 위해 자기장 발생기에 더 큰 전류 공급이 필요할 수 있다. 이는 추가적인 구동 전력이 필요하고 추가적인 열을 방출하므로 바람직하지 않을 수 있다. 결과적으로, 특정 형태의 기술에서, 갭(330)의 크기는 실질적으로 가능한 한 작을 수 있는데, 예를 들어, 갭(330)의 폭은 초전도 물질의 길이(810)의 두 가닥의 결합된 깊이와 유사하다.

[0196] *기타 비고*

[0197] 문맥에서 명확하게 달리 요구하지 않는 한, 명세서 및 청구범위 전체에서 "포함하다(comprise)", "포함하는(comprising)" 등의 단어는 배타적 또는 배타적 의미가 아닌 포괄적 의미, 즉 "포함하되 이에 국한되지 않는(incLuding, but not limited to)"의 의미로 해석되어야 한다.

[0198] 위와 아래에 인용된 모든 출원, 특허 및 출판물(있는 경우)의 전체 공개는 본원에 참조로 통합되어 있다.

[0199] 본 명세서에서 선행 기술에 대한 언급은 해당 선행 기술이 전 세계 어느 국가에서든 해당 분야의 일반적인 일반 지식의 일부를 형성한다는 것을 인정하거나 제안하는 것이 아니며, 그렇게 받아들여져서는 안 된다.

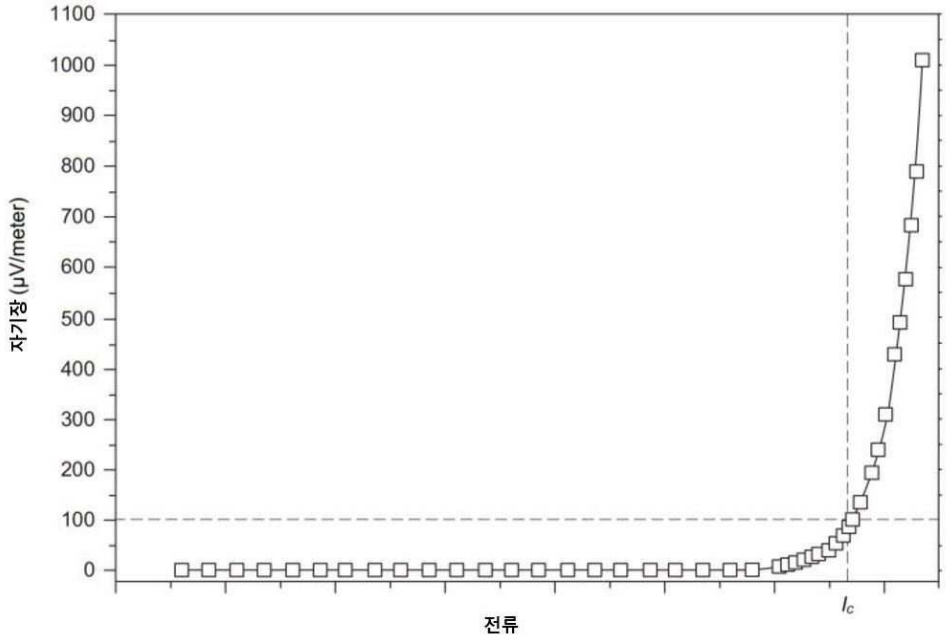
[0200] 또한 이 기술은 출원 명세서에 언급되거나 표시된 부품, 요소 및 특징을 개별적으로 또는 집합적으로, 상기 부품, 요소 또는 특징 중 둘 이상의 일부 또는 전부의 조합으로 구성되는 것으로 광범위하게 말할 수 있다.

[0201] 전술한 설명에서 정수 또는 이에 상응하는 공지된 구성요소를 참조한 경우, 해당 정수는 본 명세서에 개별적으로 명시된 것처럼 통합된다.

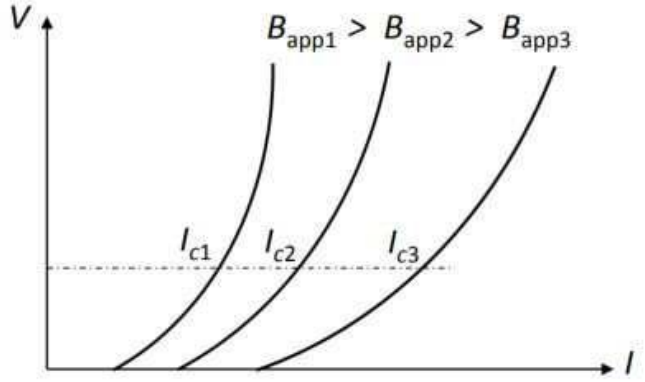
[0202] 본 명세서에 설명된 현재 바람직한 실시예에 대한 다양한 변경 및 수정이 당업자에게 명백할 것임에 유의해야 한다. 이러한 변경 및 수정은 본 기술의 정신 및 범위에서 벗어나지 않고, 그리고 그에 수반되는 이점을 감소시키지 않고 이루어질 수 있다. 따라서 이러한 변경 및 수정은 본 기술 내에 포함되도록 의도되었다.

## 도면

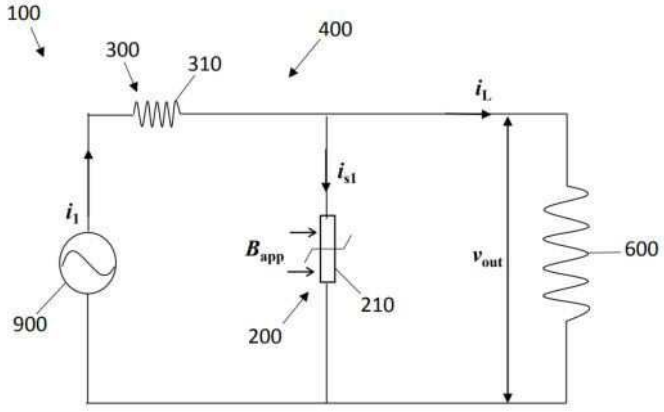
### 도면1



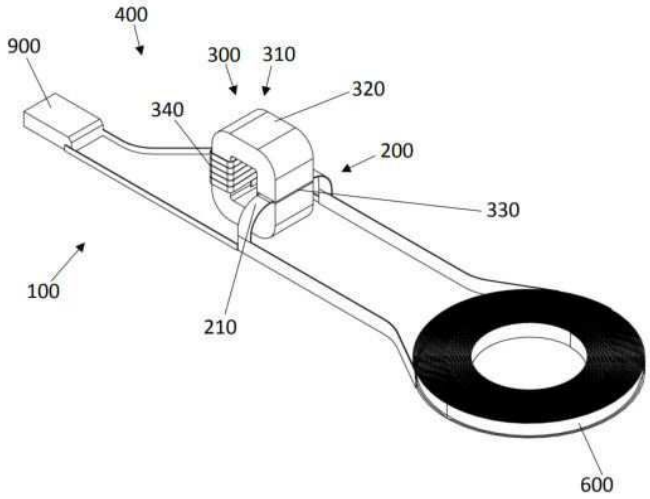

### 도면2



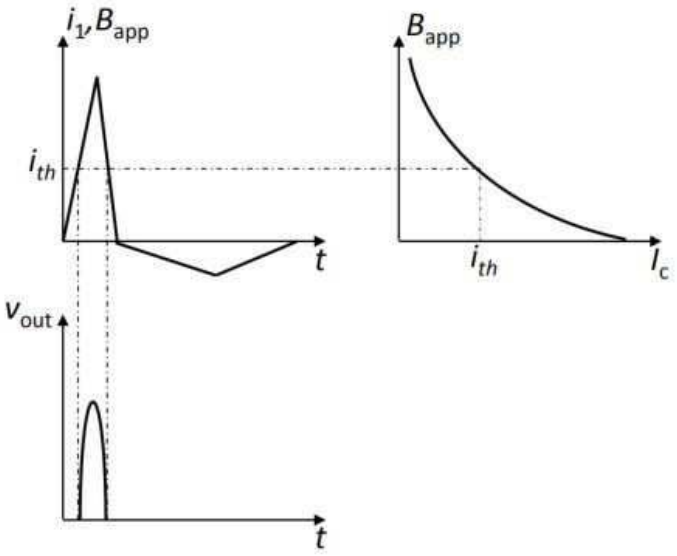

### 도면3



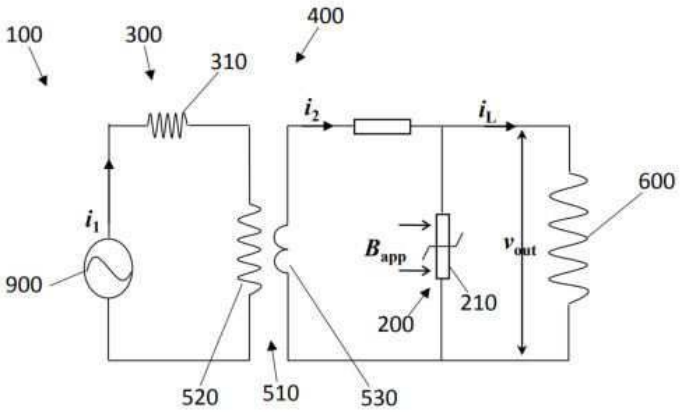
도면4


400
900
300
310
320
340
200
330
100
210
600

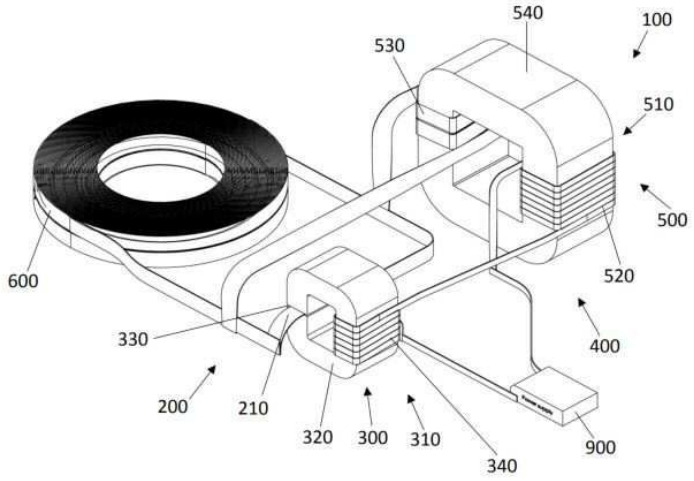
도면4a


$i_1, B_{app}$
$i_{th}$
t
$B_{app}$
$i_{th}$
$I_c$
$v_{out}$
t

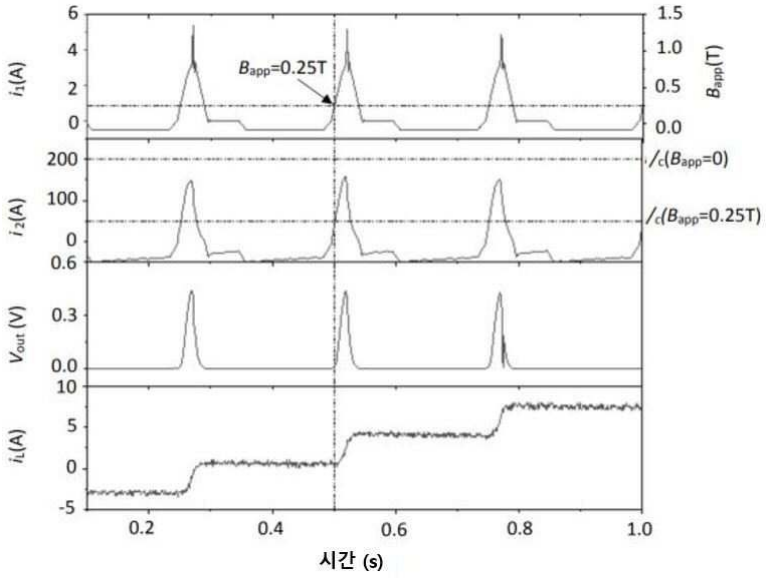
도면5


100
300
400
310
$i_2$
$i_L$
600
$i_1$
$B_{app}$
$v_{out}$
900
210
200
520
510
530

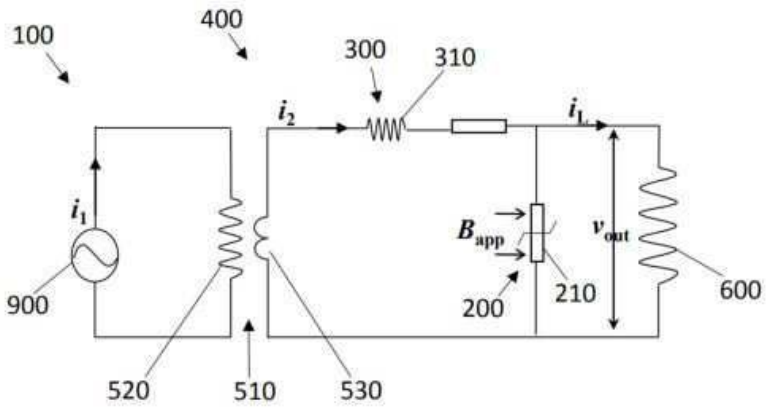
도면6


540
100
530
510
500
600
520
330
400
200
210
320
300
310
340
900

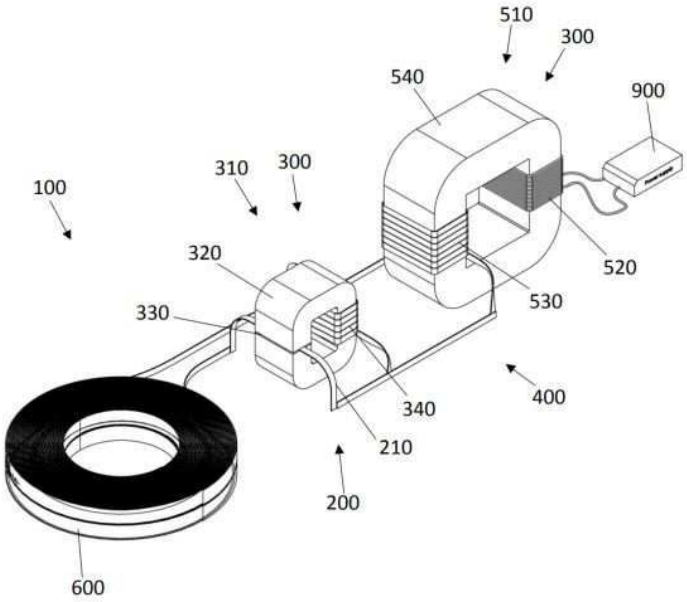
도면7


$i_1$(A)
$B_{app}$=0.25T
$B_{app}$(T)
$I_c(B_{app}=0)$
$i_2$(A)
$I_c(B_{app}=0.25T)$
$V_{out}$ (V)
$i_L$(A)
시간 (s)

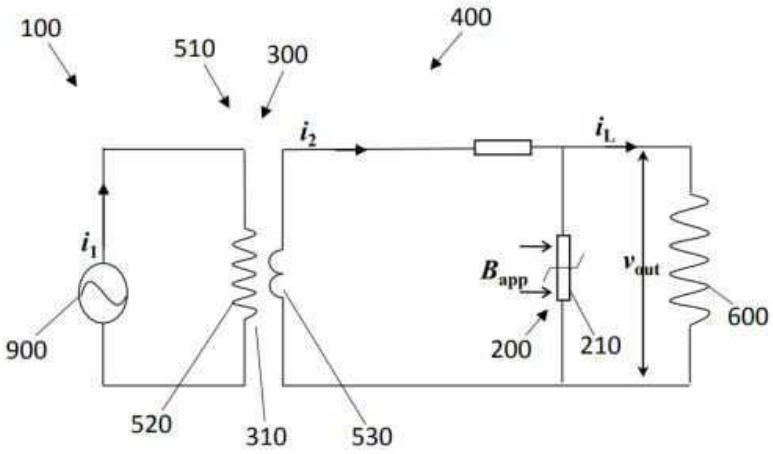
도면8


100
400
300
310
$i_2$
$i_L$
$i_1$
$B_{app}$
$v_{out}$
900
200
210
600
520
510
530

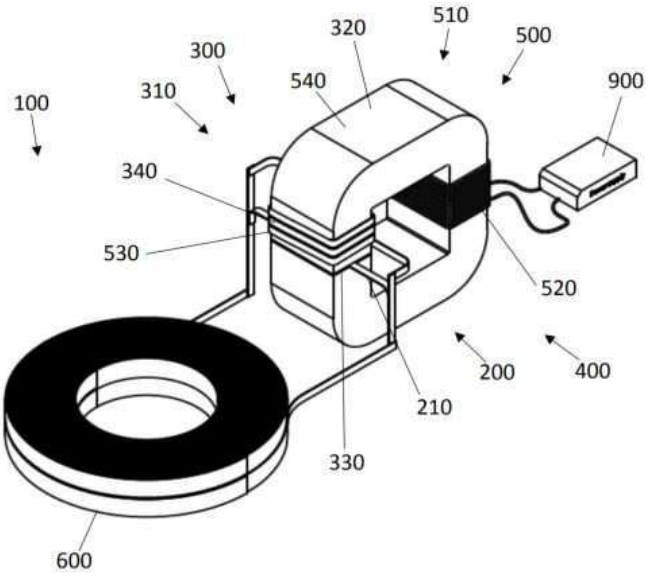
도면9


510
300
540
900
310
300
100
320
520
330
530
400
340
210
200
600

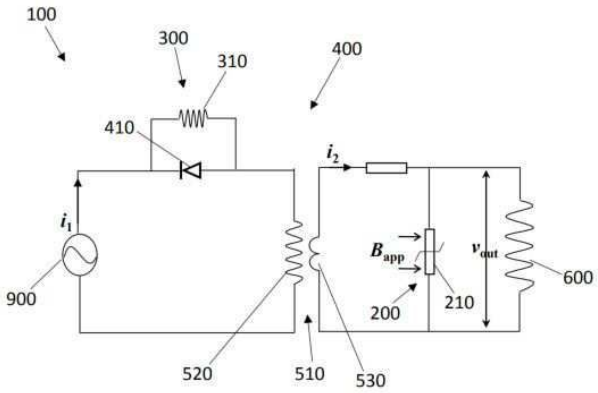
도면10


100
510
300
400
$i_2$
$i_L$
$i_1$
$B_{app}$
$v_{out}$
600
900
200
210
520
310
530

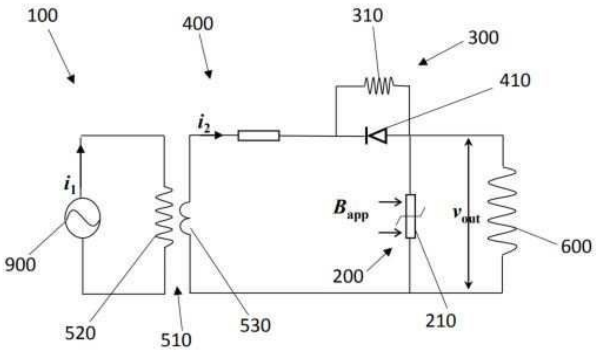
도면11



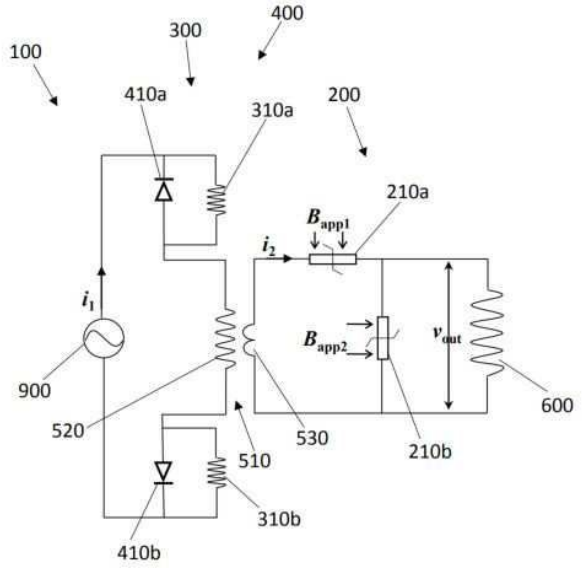

도면12



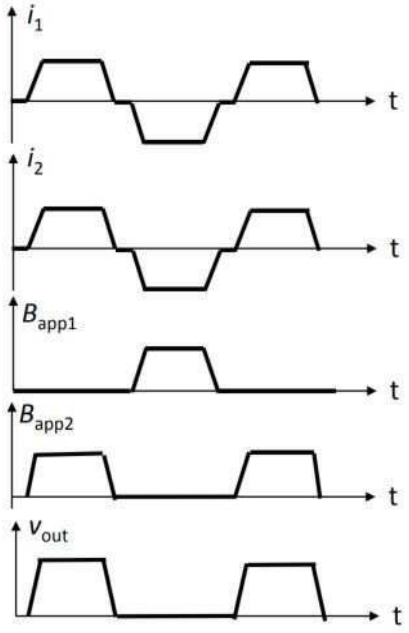

도면13



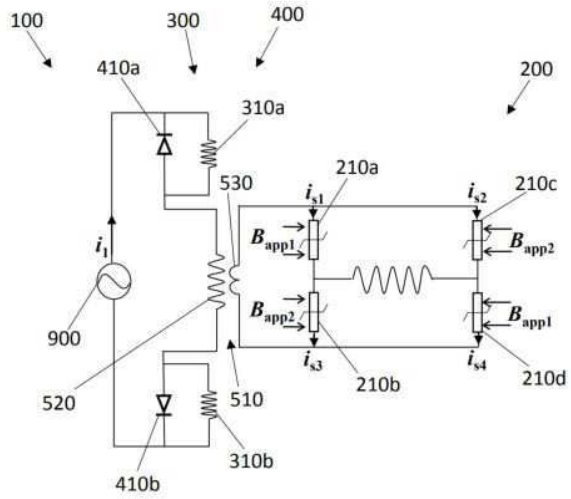
도면14


100
300
400
410a
310a
200
210a
$B_{app1}$
$i_2$
$i_1$
$B_{app2}$
$v_{out}$
900
520
530
510
210b
600
310b
410b

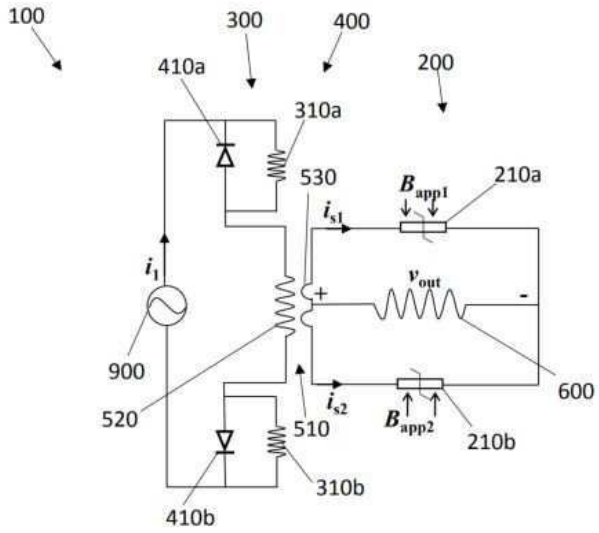
도면15


$i_1$
t
$i_2$
t
$B_{app1}$
t
$B_{app2}$
t
$v_{out}$
t

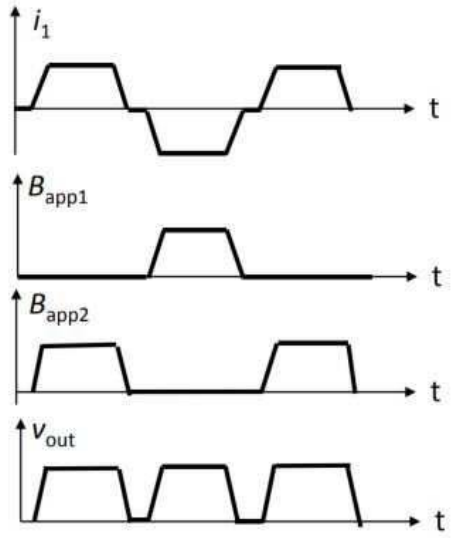
도면16


100
300
400
410a
200
310a
210a
530
$i_{s1}$
$i_{s2}$
210c
$B_{app1}$
$B_{app2}$
$i_1$
900
520
510
$i_{s3}$
$i_{s4}$
210b
210d
310b
410b

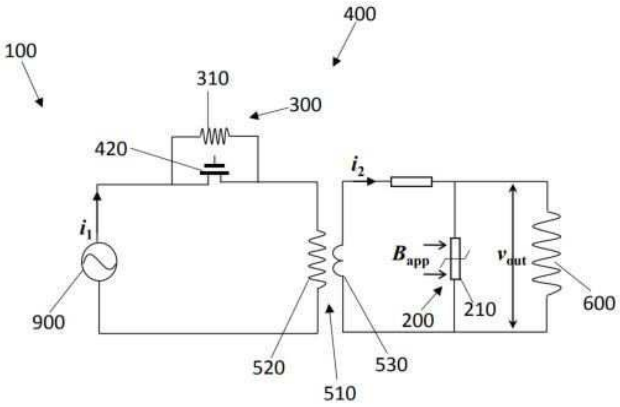
도면17


100
300
400
410a
200
310a
530
$B_{app1}$
210a
$i_{s1}$
$i_1$
$v_{out}$
+
-
900
600
520
$i_{s2}$
$B_{app2}$
510
210b
310b
410b

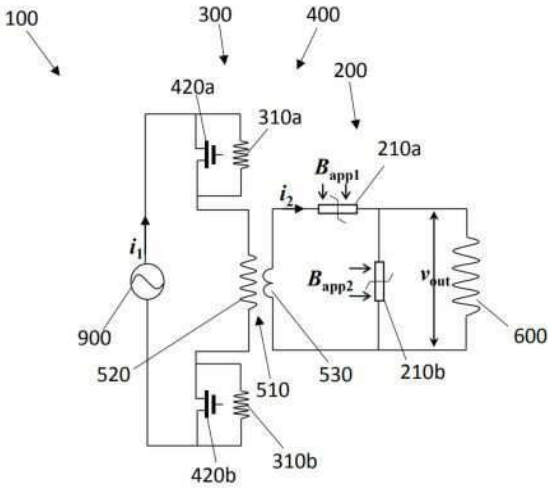
도면18



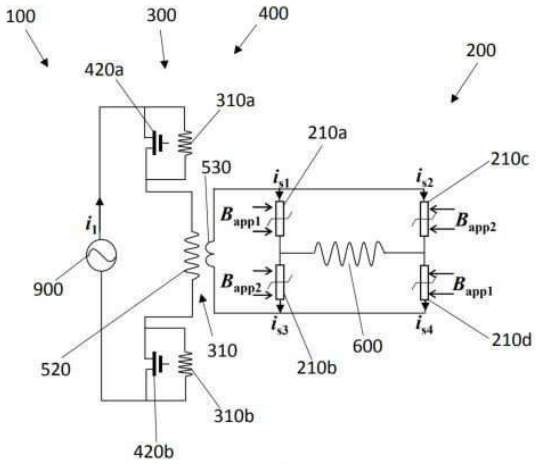

도면19



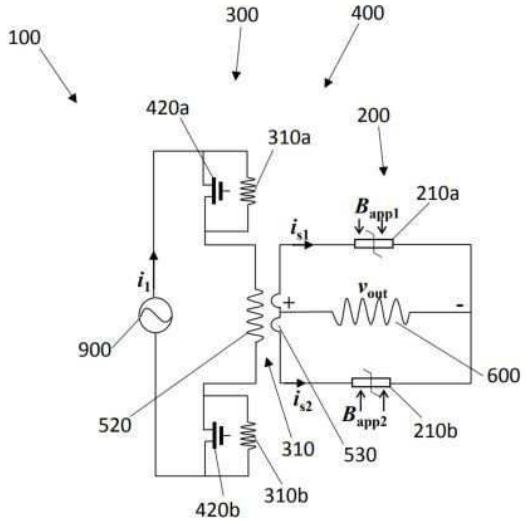

도면20



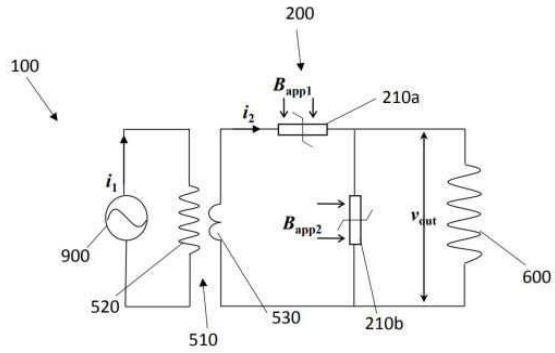
도면21



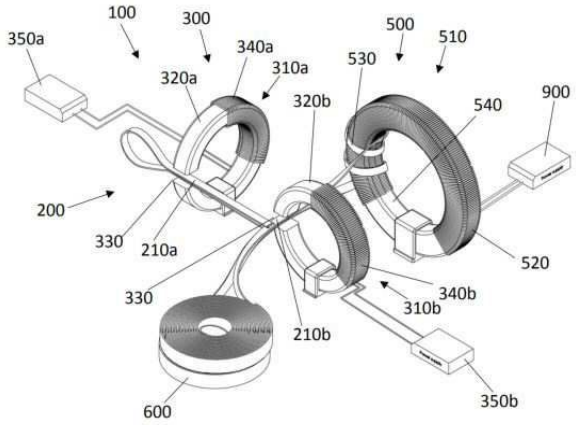

도면22



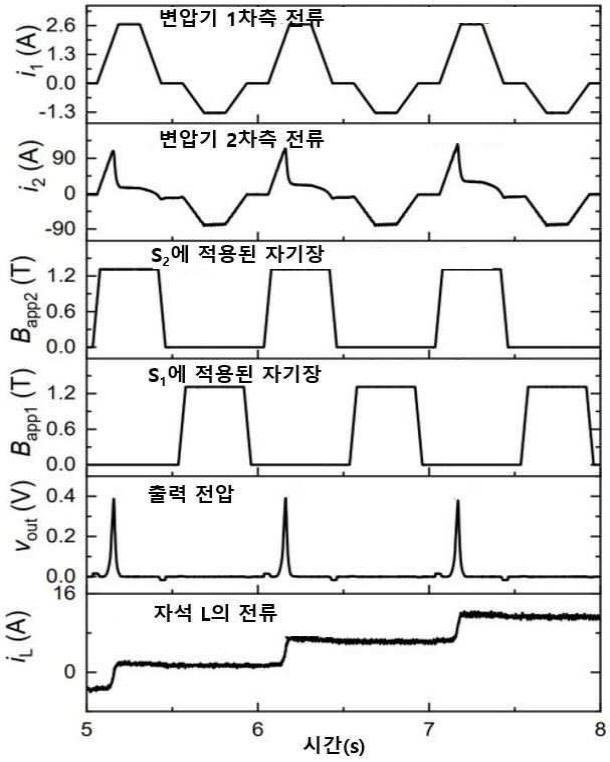

도면23



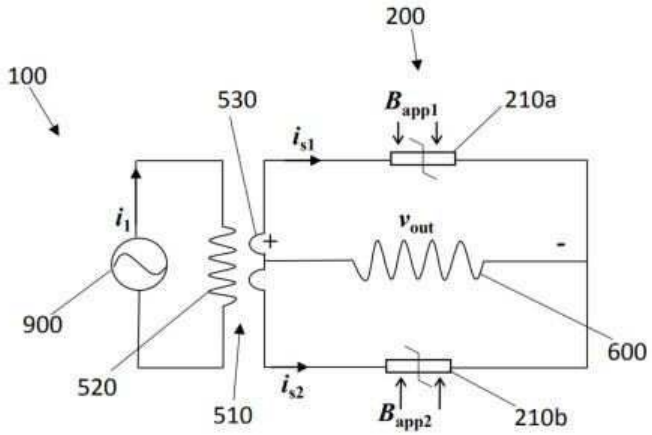
도면24


100
300
350a
340a
320a
310a
530
500
510
320b
540
900
200
330
210a
520
330
340b
310b
210b
600
350b

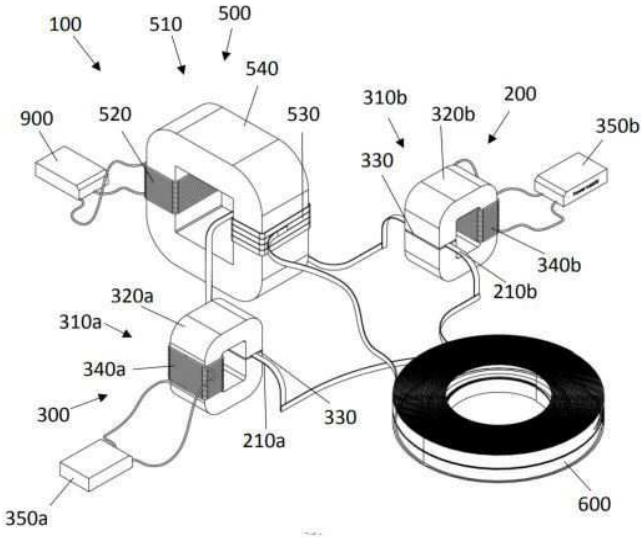
도면25


변압기 1차측 전류
$i_1$ (A)
2.6
1.3
0.0
-1.3
변압기 2차측 전류
$i_2$ (A)
90
0
-90
$S_2$에 적용된 자기장
$B_{app2}$ (T)
1.2
0.6
0.0
$S_1$에 적용된 자기장
$B_{app1}$ (T)
1.2
0.6
0.0
출력 전압
$v_{out}$ (V)
0.4
0.2
0.0
자석 L의 전류
$i_L$ (A)
16
0
5
6
7
8
시간(s)

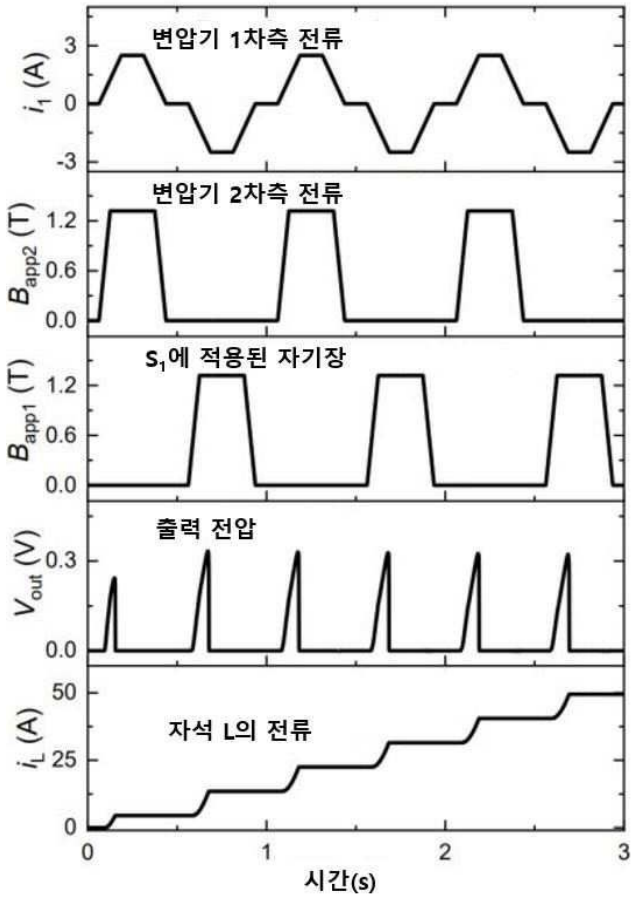
도면26


200
100
530
$B_{app1}$
210a
$i_{s1}$
$i_1$
$v_{out}$
+
-
900
600
520
510
$i_{s2}$
$B_{app2}$
210b

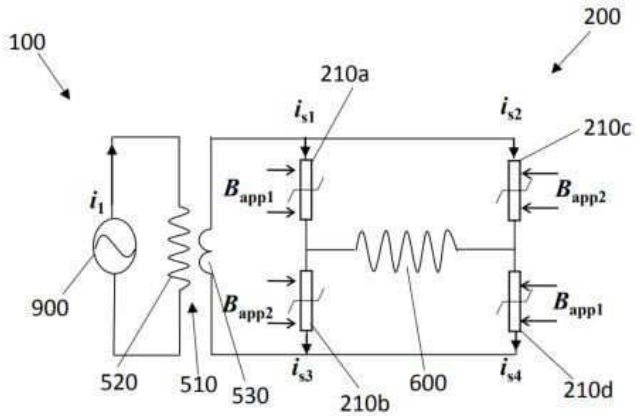
도면27


100
510
500
540
900
520
530
310b
320b
200
350b
330
340b
210b
320a
310a
340a
300
330
210a
350a
600

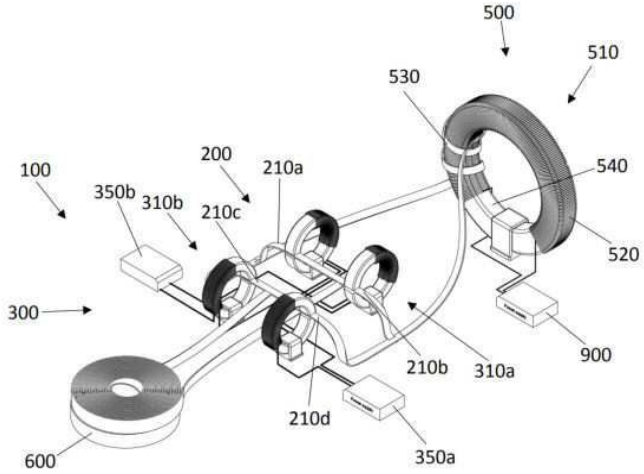
도면28


변압기 1차측 전류
$i_1$ (A)
3
0
-3
변압기 2차측 전류
$B_{app2}$ (T)
1.2
0.6
0.0
$S_1$에 적용된 자기장
$B_{app1}$ (T)
1.2
0.6
0.0
출력 전압
$V_{out}$ (V)
0.3
0.0
자석 L의 전류
$i_L$ (A)
50
25
0
0
1
2
3
시간(s)

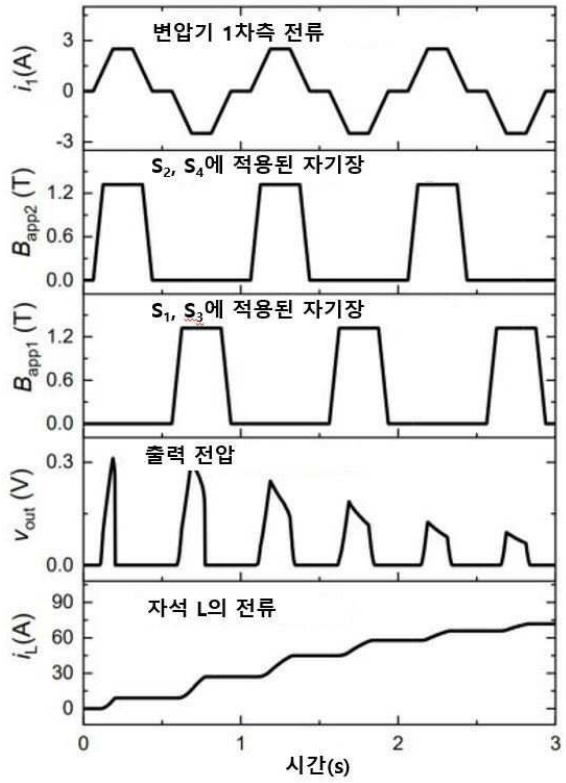
도면29


100
200
210a
$i_{s1}$
$i_{s2}$
210c
$B_{app1}$
$B_{app2}$
$i_1$
$B_{app2}$
$B_{app1}$
900
520
510
530
$i_{s3}$
210b
600
$i_{s4}$
210d

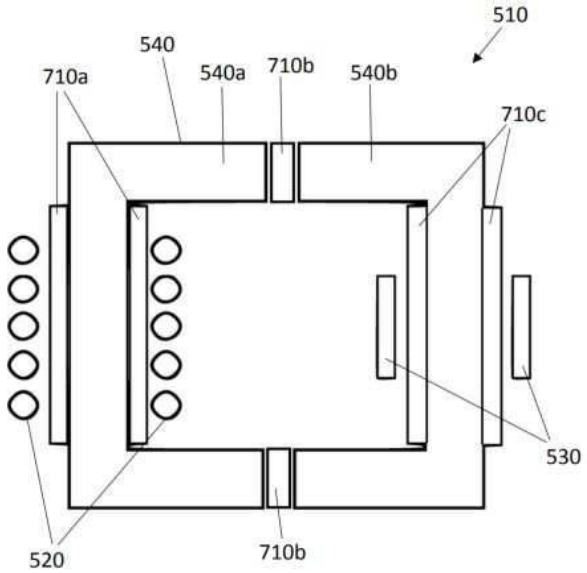
도면30


500
510
530
540
520
900
100
350b
310b
200
210a
210c
300
210b
310a
210d
350a
600

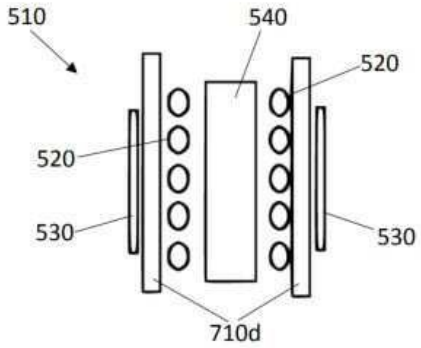
도면31


변압기 1차측 전류
$i_1$(A)
3
0
-3
$S_2$, $S_4$에 적용된 자기장
$B_{app2}$ (T)
1.2
0.6
0.0
$S_1$, $S_3$에 적용된 자기장
$B_{app1}$ (T)
1.2
0.6
0.0
출력 전압
$v_{out}$ (V)
0.3
0.0
자석 L의 전류
$i_L$(A)
90
60
30
0
0
1
2
3
시간(s)

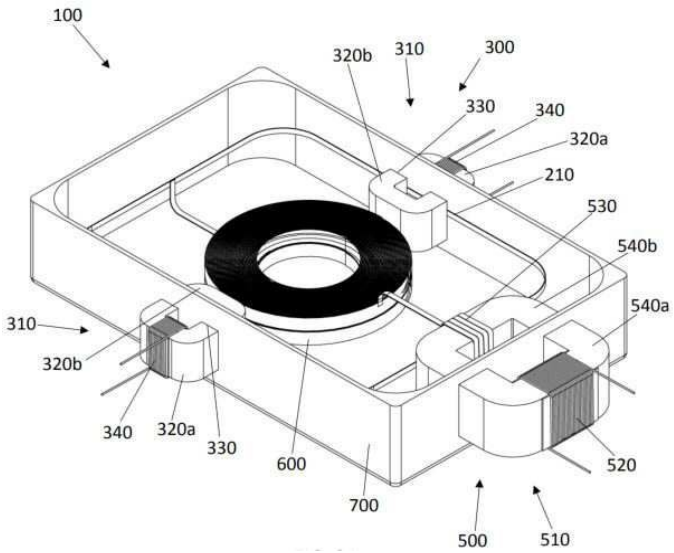
도면32



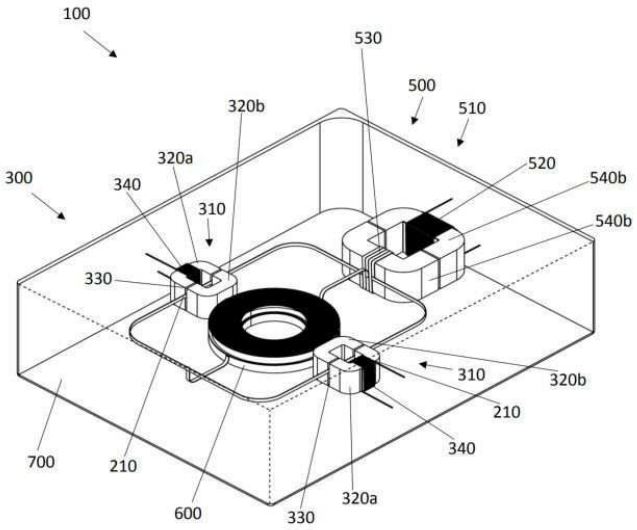

도면33



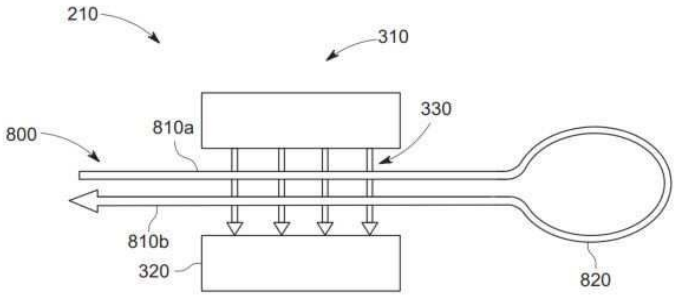

도면34



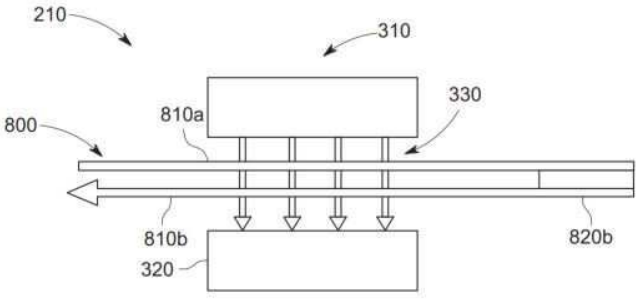
도면35



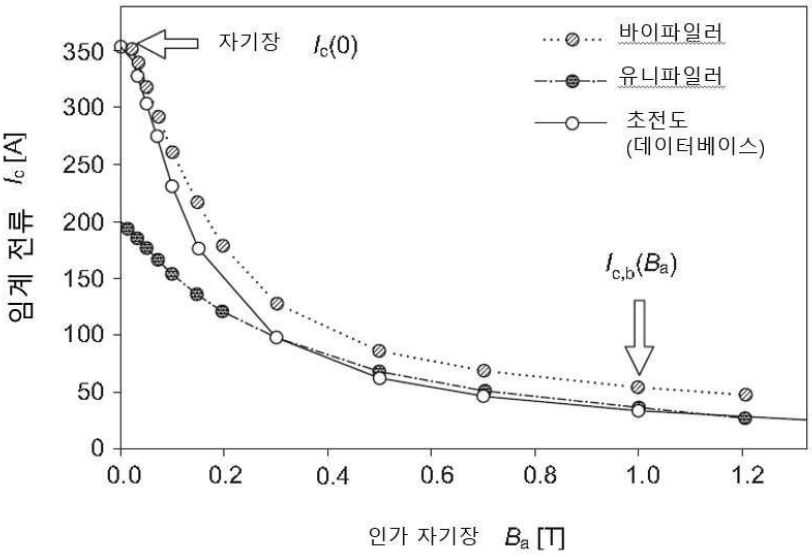

도면36a



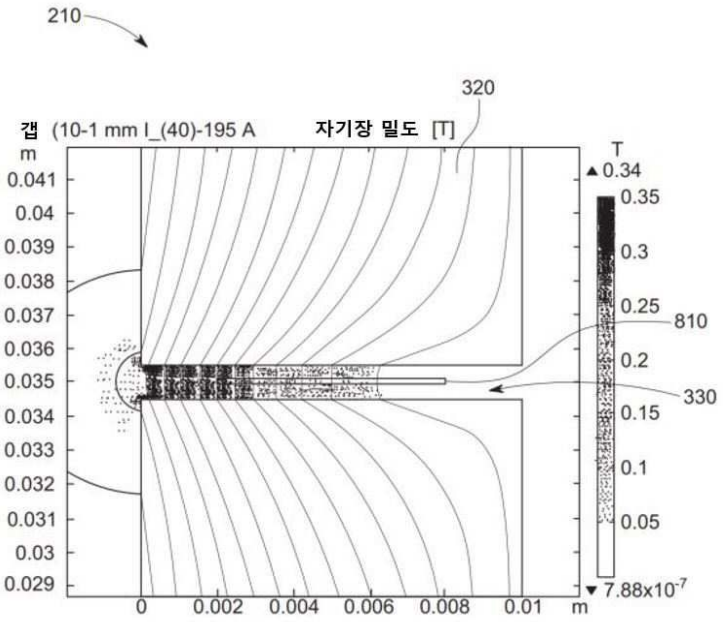

도면36b



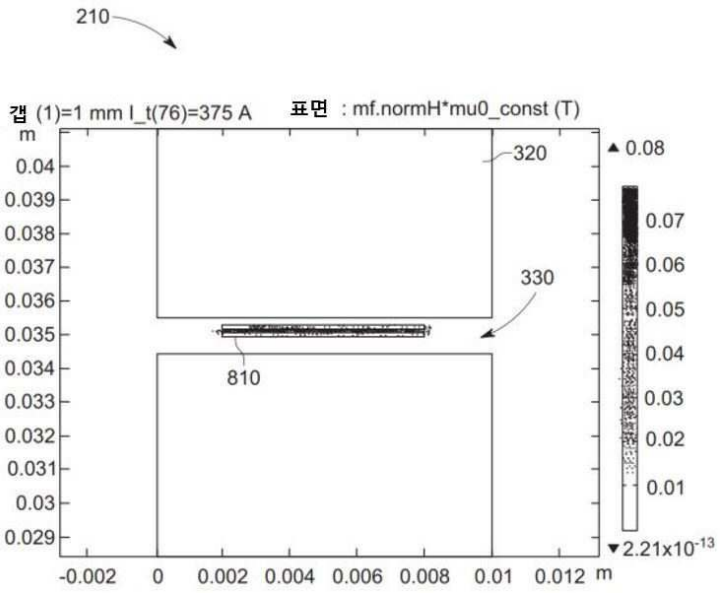
도면37


자기장 $I_c(0)$
바이파일러
유니파일러
초전도
(데이터베이스)
$I_{c,b}(B_a)$
임계 전류 $I_c$ [A]
350
300
250
200
150
100
50
0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
인가 자기장 $B_a$ [T]

도면38a


210
320
갭 (10-1 mm I_(40)-195 A
자기장 밀도 [T]
m
0.041
0.04
0.039
0.038
0.037
0.036
0.035
0.034
0.033
0.032
0.031
0.03
0.029
0
0.002
0.004
0.006
0.008
0.01
m
T
▲0.34
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
▼7.88x10-7
810
330

도면38b


210
캡 (1)=1 mm I_t(76)=375 A
표면 : mf.normH*mu0_const (T)
m
0.04
0.039
0.038
0.037
0.036
0.035
0.034
0.033
0.032
0.031
0.03
0.029
320
330
810
▲0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
▼2.21x10-13
-0.002
0
0.002
0.004
0.006
0.008
0.01
0.012
m