



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0069358
(43) 공개일자 2024년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 9/02 (2006.01) H01B 13/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 9/023 (2018.01)
H01B 13/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0150790
(22) 출원일자 2022년11월11일
심사청구일자 2023년01월31일

(71) 출원인
한국전력공사
전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 조선대길 126(서석동, 산학협력단)
(72) 발명자
김건웅
광주광역시 동구 조선대길 126 (서석동)
최효상
광주광역시 동구 조선대길 126 (서석동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
(유)한양특허법인

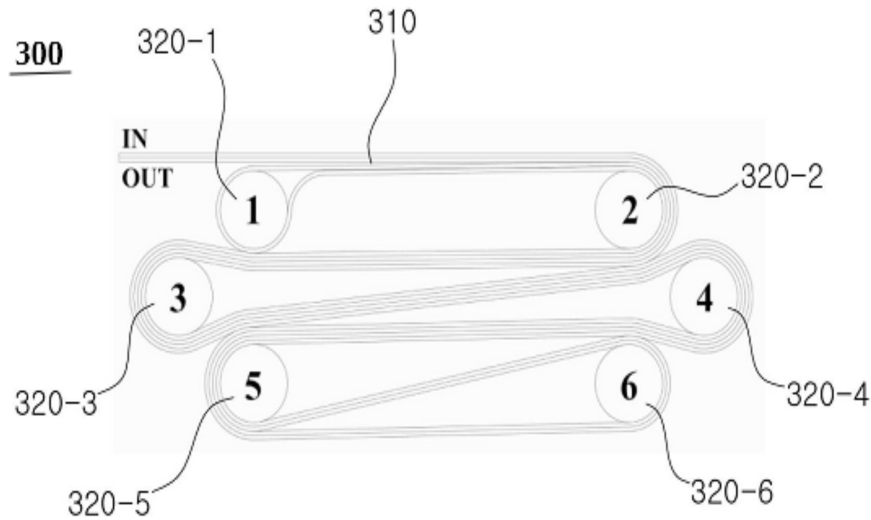
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기 및 이의 제조 방법

(57) 요약

초전도 테이프의 임계특성을 저하시키지 않는 최소 곡률반경을 유지하고 원통형 코어에 와인딩 되어 접속 단자를 생략할 수 있는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기가 개시된다. 상기 한류기는, 가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열되며, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열되는 다수개의 절연물, 및 다수개의 상기 절연물의 외주면 일부에 권선되어 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3a



(52) CPC특허분류

Y02E 40/60 (2020.08)

Y10S 505/85 (2013.01)

(72) 발명자

박상용

광주광역시 동구 조선대길 126 (서석동)

정지솔

광주광역시 동구 조선대길 126 (서석동)

김지혜

광주광역시 동구 조선대길 126 (서석동)

명세서

청구범위

청구항 1

가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열되며, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열되는 다수개의 절연물(320-1 내지 320-6); 및

다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6)의 외주면 일부에 권선되어 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프(310);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 간격은, 다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6) 중 제 1 절연물(320-1)과 제 2 절연물(320-2), 제 5 절연물(320-5)과 제 6 절연물(320-6)이 서로 이격 배치되는 제 1-1 간격과,

다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6) 중 제 3 절연물(320-3)과 제 4 절연물(320-4)이 서로 이격 배치되는 제 1-2 간격으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1-2 간격은 상기 제 1-1 간격보다 큰 것을 특징으로 하는 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6)은 원통형이며, 지름이 10mm인 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 간격, 상기 제 2 간격 및 상기 절연물(320-1 내지 320-6)의 수량은 한류기의 용량 및 냉각 설비의 환경에 따라 증가하거나 감소되는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 초전도 테이프(310)는, 기관(301), 상기 기관(301)의 표면에 형성되는 버퍼층(302), 상기 버퍼층(302)의 표면에 형성되는 제 1 금속층(303), 상기 제 1 금속층(303)의 표면에 형성되는 제 2 금속층(304), 상기 제 2 금

속층(304)의 표면에 형성되는 제 3 금속층(305), 및 상기 제 3 금속층(305)의 표면에 형성되는 코팅층(306)으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 기판(301)은 니켈 - 크롬 - 철 - 몰리브덴 합금(Hastelloy)으로, 50 μm 의 두께이고, 상기 버퍼층(302)는 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{MgO}/\text{LMO}$ 으로, 0.7 μm 의 두께이고, 상기 제 1 금속층(303)은 GdBCo으로, 1.3 μm 의 두께이고, 상기 제 2 금속층(304)은 은(silver)으로, 2.0 μm 의 두께이고, 상기 제 3 금속층(305)은 구리(copper)로, 15 μm 의 두께이고, 상기 코팅층(306)은 폴리아미드로, 50 μm 의 두께인 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

켄치시 기포 확산을 효과적으로 방지하고, 상기 제 1 간격 및 상기 제 2 간격을 조절하기 위한 지지대(1110);를 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 지지대(1110)의 표면에는 일정한 직선 길이를 갖는 제 1 홈(1210-1) 및 제 2 홈(1210-2)이 교대로 형성되며, 상기 제 2 홈(1210-2)의 길이가 상기 제 1 홈(1210-1)의 길이 보다 큰 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 초전도 테이프(310)는 하나로 이루어지거나 상단 초전도 테이프(1311) 및 상기 상단 초전도 테이프(1311)와 분리되며 나란히 배치되는 하단 초전도 테이프(1312)로 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6)의 외주면 일부에 상기 초전도 테이프(310)의 두께 간격을 유지하도록 보조 절연 부재(1410)가 설치되는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 12

가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열되며, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열되는 다수개의 절연물(320-1 내지 320-6);

다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6)의 외주면 일부에 권선되어 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프(310); 및

상기 제 1 간격 및 상기 제 2 간격을 조절하기 위한 지지대(1110);를 포함하는 레이어를 2개 내지 99개 중 어느 하나로 직결 또는 병렬 연결하는 것을 특징으로 하는 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기.

청구항 13

(a) 다수개의 절연물(320-1 내지 320-6)을 배치하는 단계;

(b) 다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6) 중 제 1 절연물(320-1)에 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프(310)의 총 길이의 절반(1/2)을 권선하는 단계;

(c) 다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6) 중 제 6 절연물(320-6)에 권선하여 상기 제 6 절연물(320-6)의 위치를 고정하는 단계; 및

(d) 상기 제 1 절연물(320-1)과 상기 제 6 절연물(320-6) 사이에 다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6) 중 제 5 절연물(320-5)부터 제 2 절연물(320-2)까지 순차적으로 삽입하여, 다수개의 상기 절연물(320-1 내지 320-6)을 가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열시키고, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열시켜 각 절연물의 위치를 고정시키는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초전도 테이프 권선 기술에 관한 것으로서, 더 상세하게는 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기에 대한 것이다.

[0002] 또한, 본 발명은 임계전류 저하 방지 및 공간 활용성을 높여 소형화가 가능한 저항형 초전도 한류기용 테이프 권선법에 대한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 전력계통의 지속적인 부하 증가에 따라 사고시, 예상되는 고장전류의 레벨이 높아지고 있다. 이에 따라 차단기의 빠르고 안정적인 차단동작을 보조하고 고장전류 저감을 위해 한류기의 개발이 요구되고 있다.

[0004] 현재 한류기는 초전도 한류기의 형태까지 개발이 되어 왔다. 초전도체는 임계온도, 임계자장, 임계전류밀도 내에서 초전도 상태이므로 전기 저항이 영(zero)인 특성을 보이다가, 임계값을 초과하게 되면 퀸치(quench)현상과 함께 큰 저항을 가지는 특성이 있다.

[0005] 이러한 특성으로 인해, 초전도 한류기를 계통에 직렬로 연결하게 되면, 계통의 정상상태에서 초전도 한류기는 영(zero) 저항을 유지하기 때문에 무손실로 통전할 수 있다.

[0006] 그러나, 계통의 과도 상태에서 사고전류가 초전도체의 임계전류를 초과하면 초전도체의 저항이 급격하게 증가하여 사고전류의 레벨을 낮출 수 있다.

[0007] 초전도 테이프에 전류가 흐르면 히스테리시스 손실(hysteresis loss)이 발생한다. 히스테리시스 손실은 자기자계 손실과 외부자계 손실로 나뉘게 되는데, 이러한 자계 손실은 계통에 인덕턴스를 추가하고, 초전도 물질의 임계자장특성에 악영향을 미치게 된다.

[0008] 이를 위해 일반적으로 저항형 초전도 한류기는 무유도 권선 방식이 채택된다. 이는 인접 테이프의 전류방향을 반대로 하여 자기장을 상쇄시켜 인덕턴스에 의한 손실을 최소화하는 방식이다.

[0009] 저항형 초전도 한류기는 초전도 테이프의 배치 또는 권선법에 따라 대표적으로 미엔더(meander)타입(도 1을 참조)과 바이-필라 팬케이크(bi-filar pancake)타입(도 2를 참조)이 있다.

[0010] 도 1에 도시된 바와 같이, 미엔더 타입에서 초전도 테이프는 높은 전도율을 갖는 단자를 통해 연결되어 전류가 지그재그 형태로 흐르게 된다. 인접한 테이프의 전류 방향은 반대이므로 자속이 상쇄되어 인덕턴스를 감소시킬 수 있다.

- [0011] 그러나 상대적으로 제작이 어려우며, 공간 활용도가 낮기 때문에 대용량 한류기에 적용될 시 부피가 커질 수 있다. 또한, 테이프와 단자대 사이의 접촉저항은 초전도 상태에서 열손실(IR^2)을 야기한다.
- [0012] 한편, 도 2에 도시된 바와 같이, 바이-필라 팬케이크 타입은 초전도 테이프가 이중 코일의 형태로 나선형으로 감기는 방식이다. 수직배열의 이중코일에서 인접한 테이프의 전류방향은 반대이므로 자속이 서로 상쇄되어 초전도 테이프의 전체적인 형상에서 기인되는 인덕턴스를 감소시킬 수 있다.
- [0013] 또한, 동일 부피의 타방식에 비해 사용되는 초전도 사용량이 많기 때문에 공간활용성이 높다. 그러나 인접 테이프 간 공간이 거의 없어 테이프와 LN_2 의 접촉면이 적고 켄치 시 열에 의한 기포확산이 어려워 회복특성이 저하될 수 있다. 따라서, 테이프와 LN_2 의 접촉면을 넓히기 위해 특수 재질의 스페이서를 사용해야 하는 단점이 있다.
- [0014] 언급된 문제점을 해결하기 위해 새로운 형태의 저항형 초전도 한류기를 개발하고, 언급한 문제점들을 개선할 필요성이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0015] (특허문헌 0001) 1. 한국등록특허번호 제10-2400643호(등록일자: 2022년05월17일)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 위 배경기술에 따른 문제점을 해소하기 위해 제안된 것으로서, 초전도 테이프의 임계특성을 저하시키지 않는 최소 곡률반경을 유지하고 원통형 코어에 와인딩되어 접속 단자를 생략할 수 있는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기 및 이의 제조 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0017] 또한, 본 발명은 과도 상태에서 효과적인 기포확산을 통해 회복특성을 개선할 수 있는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기 및 이의 제조 방법을 제공하는데 다른 목적이 있다.
- [0018] 또한, 본 발명은 공간 활용성을 높여 소형화가 가능한 저항형 초전도 한류기 및 이의 제조 방법을 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0019] 본 발명은 위에서 제시된 과제를 달성하기 위해, 초전도 테이프의 임계특성을 저하시키지 않는 최소 곡률반경을 유지하고 원통형 코어에 와인딩되어 접속 단자를 생략할 수 있는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기를 제공한다.
- [0020] 상기 한류기는,
- [0021] 가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열되며, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열되는 다수개의 절연물; 및
- [0022] 다수개의 상기 절연물의 외주면 일부에 권선되어 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 이때, 상기 제 1 간격은, 다수개의 상기 절연물 중 제 1 절연물과 제 2 절연물, 제 5 절연물과 제 6 절연물이 서로 이격 배치되는 제 1-1 간격과, 다수개의 상기 절연물 중 제 3 절연물과 제 4 절연물이 서로 이격 배치되는 제 1-2 간격으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0024] 또한, 상기 제 1-2 간격은 상기 제 1-1 간격보다 큰 것을 특징으로 한다.
- [0025] 또한, 다수개의 상기 절연물은 원통형이며, 지름이 10mm인 것을 특징으로 한다.
- [0026] 또한, 상기 제 1 간격, 상기 제 2 간격 및 상기 절연물의 수량은 한류기의 용량 및 냉각 설비의 환경에 따라 증가하거나 감소되는 것을 특징으로 한다.

- [0027] 또한, 상기 초전도 테이프는, 기관, 상기 기관의 표면에 형성되는 버퍼층, 상기 버퍼층의 표면에 형성되는 제 1 금속층, 상기 제 1 금속층의 표면에 형성되는 제 2 금속층, 상기 제 2 금속층의 표면에 형성되는 제 3 금속층, 및 상기 제 3 금속층의 표면에 형성되는 코팅층으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 또한, 상기 기관은 니켈 - 크롬 - 철 - 몰리브덴 합금(Hastelloy)으로, 50 μm 의 두께이고, 상기 버퍼층은 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Y}_2\text{O}_3/\text{MgO}/\text{LMO}$ 으로, 0.7 μm 의 두께이고, 상기 제 1 금속층은 GdBCO으로, 1.3 μm 의 두께이고, 상기 제 2 금속층은 은(silver)으로, 2.0 μm 의 두께이고, 상기 제 3 금속층은 구리(copper)로, 15 μm 의 두께이고, 상기 코팅층(306)은 폴리아미드로, 50 μm 의 두께인 것을 특징으로 한다.
- [0029] 또한, 상기 한류기는, 켄치시 기포 확산을 효과적으로 방지하고, 상기 제 1 간격 및 상기 제 2 간격을 조절하기 위한 지지대;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 또한, 상기 지지대의 표면에는 일정한 직선 길이를 갖는 제 1 홈 및 제 2 홈이 교대로 형성되며, 상기 제 2 홈의 길이가 상기 제 1 홈의 길이 보다 큰 것을 특징으로 한다.
- [0031] 또한, 상기 초전도 테이프는 하나로 이루어지거나 상단 초전도 테이프 및 상기 상단 초전도 테이프와 분리되며 나란히 배치되는 하단 초전도 테이프로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0032] 또한, 다수개의 상기 절연물의 외주면 일부에 상기 초전도 테이프의 두께 간격을 유지하도록 보조 절연 부재가 설치되는 것을 특징으로 한다.
- [0033] 다른 한편으로, 본 발명의 다른 일실시예는, 가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열되며, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열되는 다수개의 절연물; 다수개의 상기 절연물의 외주면 일부에 권선되어 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프; 및 상기 제 1 간격 및 상기 제 2 간격을 조절하기 위한 지지대;를 포함하는 레이어를 2개 내지 99개 중 어느 하나로 직결 또는 병렬 연결하는 것을 특징으로 하는 인덕터스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기를 제공한다.
- [0034] 또 다른 한편으로, 본 발명의 또 다른 일실시예는, (a) 다수개의 절연물을 배치하는 단계; (b) 다수개의 상기 절연물 중 제 1 절연물에 일단이 입력단(IN)이 되고 타단이 출력단(OUT)이 되는 초전도 테이프의 총 길이의 절반(1/2)을 권선하는 단계; (c) 다수개의 상기 절연물 중 제 6 절연물에 권선하여 상기 제 6 절연물의 위치를 고정하는 단계; 및 (d) 상기 제 1 절연물과 상기 제 6 절연물 사이에 다수개의 상기 절연물 중 제 5 절연물부터 제 2 절연물까지 순차적으로 삽입하여, 다수개의 상기 절연물을 가로 방향으로 서로 일정한 제 1 간격으로 배열시키고, 세로 방향으로 서로 일정한 제 2 간격으로 배열시켜 각 절연물의 위치를 고정시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기의 제조 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0035] 본 발명에 따르면, 초전도 테이프의 임계특성을 저하시키지 않는 최소 곡률반경 내에서 와인딩함으로써, 임계전류 저하 방지 및 공간 활용성을 높여 소형화가 가능한 저항형 초전도 한류기용 테이프 권선법을 제공할 수 있다.
- [0036] 또한, 본 발명의 다른 효과로서는 4개의 초전도 테이프를 각기 다른 방향으로 전류를 흐르게 하여 인덕터를 최소화하는 기술을 채택함으로써 열 손실을 최소화하며 공간 활용성을 개선한다는 점을 들 수 있다.
- [0037] 또한, 본 발명의 또 다른 효과로서는 초전도 테이프의 경로내에 접속단자가 없어 가공 및 제작이 용이하며, 정상상태에서 접촉저항을 최소화할 수 있다는 점을 들 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명의 또 다른 효과로서는 초전도 테이프간 충분한 이격이 확보되기 때문에 스페이서를 사용하지 않고도 회복 특성을 개선할 수 있어 열적 안정성이 높다는 점을 들 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0039] 도 1은 일반적인 미옌더 타입의 권선 개념도이다.
- 도 2는 일반적인 바이-필라 팬케이크(bi-filar pancake) 타입의 권선 개념도이다.
- 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 6개의 원통형 절연물을 활용하여 구성된 멀티-필라 미옌더(multi-filar meander)방식의 저항형 초전도 한류기의 개념도이다.

도 3b는 도 3a에 도시된 초전도 테이프의 구조도이다.

도 4 내지 도 7은 도 3에 도시된 멀티-필라 미엔더(multi-filar meander)방식의 저항형 초전도 한류기의 와인딩 공정도이다.

도 8은 평행배치의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 같을 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다.

도 9는 이중배열 테이프가 평행으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류 방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다.

도 10은 이중배열 테이프가 수직으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 4개의 초전도 테이프가 인접한 초전도 한류기의 사시도이다.

도 12는 도 11에 도시된 절연물의 간격을 조절하기 위한 지지대의 사시도이다.

도 13은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 2개의 테이프가 상하단으로 구성되는 초전도 한류기의 사시도이다.

도 14는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 원통형 절연물에 초전도 테이프의 두께 간격을 유지하며 보조 절연 부재(1410)를 수평으로 여러겹 추가한 초전도 한류기의 개념도이다.

도 15는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 다층 레이어 구조를 갖는 초전도 한류기이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0041] 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 동일한 도면 부호를 붙였다. 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "위에" 있다고 할 때, 이는 다른 부분 "바로 위에" 있는 경우뿐 아니라 그 중간에 다른 부분이 있는 경우도 포함한다.
- [0042] 반대로 어떤 부분이 다른 부분 "바로 위에" 있다고 할 때에는 중간에 다른 부분이 없는 것을 뜻한다. 또한 어떤 부분이 다른 부분 위에 "전체적"으로 형성되어 있다고 할 때에는 다른 부분의 전체 면(또는 전면)에 형성되어 있는 것뿐만 아니라 가장자리 일부에는 형성되지 않은 것을 뜻한다.
- [0043] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 따른 인덕턴스 저감을 위한 초전도 테이프 권선 구조를 갖는 한류기 및 이의 제조 방법을 상세하게 설명하기로 한다.
- [0044] 도 3a는 본 발명의 일실시예에 따른 6개의 절연물을 활용하여 구성된 멀티-필라 미엔더(multi-filar meander)방식의 저항형 초전도 한류기(300)의 개념도이다. 도 3a를 참조하면, 저항형 초전도 한류기(300)는, 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n) 및 이 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n)의 외주면 일부에 권선되는 초전도 테이프(310)로 구성된다.
- [0045] 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n)중 제 1 절연물(320-1)과 제 2 절연물(320-2), 제 5 절연물(320-5)과 제 6 절연물(320-6)은 가로방향으로 제 1-1 간격으로 서로 이격되게 배치된다.
- [0046] 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n)중 제 3 절연물(320-3)과 제 4 절연물(320-4)은 제 1-2 간격으로 서로 이격되게 배치된다. 이때, 제 1-2 간격은 제 1-1 간격 보다 크다.
- [0047] 또한, 제 3 절연물(320-3)과 제 4 절연물(320-4)은 제 1 절연물(320-1)과 제 2 절연물(320-2) 및 제 5 절연물(320-5)과 제 6 절연물(320-6)과 세로방향으로 일정한 제 2 간격으로 이격되게 배치된다.
- [0048] 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n)은 절연물질의 원통형이며, 지름이 약 10mm이다. 절연물질의 재료로는 엔지니어링 플라스틱, 목재, 종이, 압축 고무 등이 사용될 수 있다.
- [0049] 도 3a에서는 6개의 절연물을 사용하는 것으로 예시하였으나, 이에 한정되지 않으며, 초전도 한류기의 용량 및

냉각 설비의 환경에 따라 더 많은 원통형 절연물이 사용될 것이며 각 절연물의 간격이 증가하거나 감소할 수 있다.

- [0050] 도 3b는 도 3a에 도시된 초전도 테이프(310)의 구조도이다. 도 3b를 참조하면, 절연확보를 위해 초전도 테이프(310)의 최외각은 내열성 및/또는 전기 절연성이 우수한 물질로 코팅되어야 하며, 초전도 테이프는 수직 배열로 구성된다.
- [0051] 부연하면, 초전도 테이프(310)는, 기관(301), 기관(301)의 표면에 형성되는 버퍼층(302), 버퍼층(302)의 표면에 형성되는 제 1 금속층(303), 제 1 금속층(303)의 표면에 형성되는 제 2 금속층(304), 제 2 금속층(304)의 표면에 형성되는 제 3 금속층(305), 제 3 금속층(305)의 표면에 형성되는 코팅층(306)으로 형성된다.
- [0052] 기관(301)은 니켈 - 크롬 - 철 - 몰리브덴 합금(Hastelloy)으로, 약 $50\mu\text{m}$ 의 두께이다. 버퍼층(302)은 재질이 $Al_2O_3/Y_2O_3/MgO/LMO$ 이고, 약 $0.7\mu\text{m}$ 의 두께이다.
- [0053] 제 1 금속층(303)은 GdBCo이고, 약 $1.3\mu\text{m}$ 의 두께이고, 제 2 금속층(304)은 은(silver)이고, 약 $2.0\mu\text{m}$ 의 두께이고, 제 3 금속층(305)은 구리(copper)이고, 약 $15\mu\text{m}$ 의 두께이다. 코팅층(306)은 폴리아미드이고, 약 $50\mu\text{m}$ 의 두께이다.
- [0054] 도 4 내지 도 7은 도 3에 도시된 멀티-필라 미엔더(multi-filar meander)방식의 저항형 초전도 한류기의 와인딩 공정도이다. 먼저, 제 1 내지 제 6 절연물(320-1 내지 320-n)을 배치한다.
- [0055] 이후, 도 4에 도시된 바와 같이, 사용하고자 하는 초전도 테이프(310)의 총 길이의 절반(1/2)을 제 1 절연물(320-1)에 와인딩(권선)한다.
- [0056] 이후, 도 5에 도시된 바와 같이, 마지막 제 6 절연물(320-6)에 와인딩하여 제 6 절연물(320-6)의 위치에 고정시킨다.
- [0057] 이후, 도 6에 도시된 바와 같이, 제 1 절연물(320-1)의 위치를 이동시킨다. 부연하면, 제 6 절연물(320-6)을 기준으로 제 1 절연물(320-1)의 위치를 제 6 절연물(320-6)의 바깥쪽으로 회전시키면서 도면 기준으로 수평방향을 따라 좌측으로 이동시킨다.
- [0058] 이후, 도 7에 도시된 바와 같이, 제 1 절연물(320-1)과 제 6 절연물(320-6) 사이에 제 5 절연물(320-5)부터 제 2 절연물(320-2)까지 순차적으로 삽입하여 배치하고 도 3에 도시된 바와 같이 각 절연물의 위치를 고정시킨다.
- [0059] 초전도 한류기는 설계시 초전도 테이프의 종류 및 배치에 의해 인덕턴스의 발생량, 자장침투의 깊이, 회복특성 등에 영향을 받는다. 본 발명의 일실시예에서는 한 경로에 전류 방향이 각기 다른 4개의 초전도 테이프가 인접해 있다.
- [0060] 도 8 내지 도 10은 4개의 초전도 테이프 배치에 따른 각 경로의 자기인덕턴스, 상호인덕턴스, 자속을 보여준다.
- [0061] 특히, 도 8은 평행배치의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 같을 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다. 도 8을 참조하면, 평행배치의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 같을 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여준다.
- [0062] 모든 경로에서 전류 방향이 같기 때문에 자장이 상쇄되지 않으며 상대적으로 높은 인덕턴스와 자장을 발생시킨다. 이러한 배치로 수십 km의 초전도 테이프를 와인딩할시, 초전도 한류기는 높은 인덕턴스를 갖게 되며 강한 자속으로 인해 인접 초전도 테이프의 임계특성에 악영향을 미친다.
- [0063] 도 9는 이중배열 테이프가 평행으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류 방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다. 도 9를 참조하면, 이중배열 테이프가 평행으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류 방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여준다.
- [0064] 인접한 모든 초전도 테이프의 전류 방향이 반대이기 때문에 자속을 효과적으로 상쇄시킬 수 있다.
- [0065] 도 10은 이중배열 테이프가 수직으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여주는 그래프이다. 도 10을 참조하면, 이중배열 테이프가 수직으로 배치되어 4개의 인접한 초전도 테이프에 흐르는 전류방향이 반대일 경우에 인덕턴스 및 자속을 보여준다.
- [0066] 이 경우, 평행배치보다 더 낮은 인덕턴스와 자장을 가질 수 있다.
- [0067] 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 4개의 초전도 테이프(1130)가 인접한 초전도 한류기(1100)의 사시도이다.

도 11을 참조하면, 도 11의 (a)에 도시된 바와 같이 절연이 확보된 초전도 테이프(1130)를 이용하여 상기 예시와 같이 권선하면 한 경로에 최대 4개의 초전도 테이프가 인접하게 된다.

[0068] 이때 각 선재의 전류의 방향은 도 11의 b에 도시된 바와 같다. 인접한 4개의 테이프의 전류는 들어가는 방향과 나오는 방향이 교대로 생성된다. 따라서, 각각 반대방향으로 흐르게 되므로, 테이프의 형태에 기인되는 인덕턴스를 최소화할 수 있다.

[0069] 또한, 도 11에 도시된 바와 같이, 초전도 한류기(1100)에는 6개 이상의 절연물(1120)이 고정되는 지지대(1110)가 구성된다.

[0070] 도 12는 도 11에 도시된 절연물의 간격을 조절하기 위한 지지대(1110)의 사시도이다. 도 12를 참조하면, 퀸치(quench)(초전도체나 초전도 장치에서, 초전도 상태가 상전도 상태로 통제할 수 없이 비가역적으로 전이되는 것을 의미함)시 기포 확산을 효과적으로 방지하고, 원통형 절연물의 간격을 조절하기 위해 지지대(1110)의 표면에는 일정한 직선 길이를 갖는 제 1 홈(1210-1) 및 제 2 홈(1210-2)이 교대로 형성된다. 물론, 제 2 홈(1210-2)의 길이가 제 1 홈(1210-1)의 길이 보다 크다. 이 지지대(1110)의 구조는 도 3에 도시된 초전도 한류기에도 적용된다.

[0071] 실사용시 초전도 테이프의 임계전류 및 계통의 정격전류를 고려하여 초전도 한류기를 직렬 또는 병렬 형태로 연결할 수 있다. 초전도 테이프는 극저온 내에서 전기 저항이 거의 영(zero)인 상태로 존재할 수 있다.

[0072] 정상상태에서 전류는 초전도 테이프의 임계값 내에서 통전되기 때문에 초전도 한류기는 매우 낮은 인덕턴스 및 영(zero) 저항을 유지하여 손실 없이 통전시킬 수 있다. 사고시, 사고전류가 초전도 테이프의 임계전류를 초과하게 되면 초전도 테이프는 퀸치하여 저항을 발생시킨다.

[0073] 이 퀸치저항은 사고전류를 효과적으로 제한하여 전력기기 및 컨버터 등을 보호할 수 있다. 사고가 차단되고 계통 전류가 초전도 테이프의 임계전류보다 작아지면 초전도 테이프는 회복하여 다시 초전도 상태로 바뀌며 영(zero)저항을 유지하게 된다.

[0074] 도 13은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 2개의 초전도 테이프가 상하단으로 구성되는 초전도 한류기의 사시도이다. 도 13의 (a)에 도시된 바와 같이, 초전도 테이프는 상단 초전도 테이프(1311) 및 상기 상단 초전도 테이프(1311)와 분리되며 나란히 배치되는 하단 초전도 테이프(1312)로 구성된다. 2개의 테이프가 상하단 구성으로 배치될 수 있다. 이때 한 경로에 흐르는 전류 방향은 도 13의 (b)에 도시된 바와 같다.

[0075] 이와 같이 구성을 하였을 때 높이가 증가하나 수직배치로 구성되기 때문에 초전도 테이프 내에 자기장 침투가 개선되는 이점이 있다.

[0076] 도 14는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 원통형 절연물에 초전도 테이프의 두께 간격을 유지하며 보조 절연 부재(1410)를 수평으로 여러 겹 추가한 초전도 한류기의 개념도이다.

[0077] 도 14를 참조하면, 초전도 테이프가 와인딩되는 원통형 절연물의 외주면 일부에 초전도 테이프의 두께 간격을 유지하도록 보조 절연 부재(1410)를 수평으로 여러 겹 추가할 수 있다. 이러한 구조는 초전도 테이프를 절연물 질로 코팅하지 않아도 인접 테이프간 절연을 확보할 수 있어 안정성이 높다. 보조 절연 부재(1410)의 재질로는 압축 고무, 플라스틱, 종이 등이 될 수 있다.

[0078] 도 15는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 다층 레이어 구조를 갖는 초전도 한류기이다. 도 15를 참조하면, 초전도 한류기를 계통에 적용하기 위해 수 개(즉 2개)에서 수십 개(즉 99개)의 레이어를 직렬 또는 병렬로 연결할 수 있다.

[0079] 부연하면, 절연물, 이 절연물에 권선되는 초전도 테이프, 절연물을 고정 배치하는 지지대를 하나의 레이어로 하고, 이 레이어를 수개 ~ 수십개로 직렬 또는 병렬로 연결한다.

부호의 설명

[0080] 300, 1100: 초전도 한류기

310, 1130: 초전도 테이프

320-1 내지 320-6: 제 1 내지 제 6 절연물

1110: 지지대

1120: 절연물

1210-1: 제 1 홈

1210-2: 제 2 홈

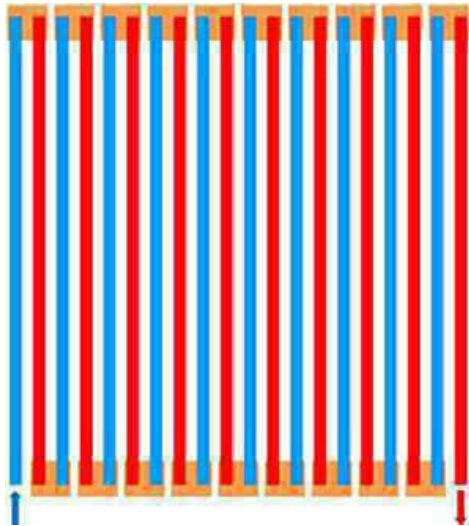
1311: 상단 초전도 테이프

1312: 하단 초전도 테이프

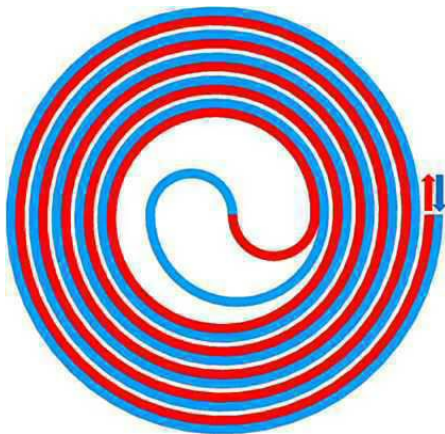
1410: 보조 절연 부재

도면

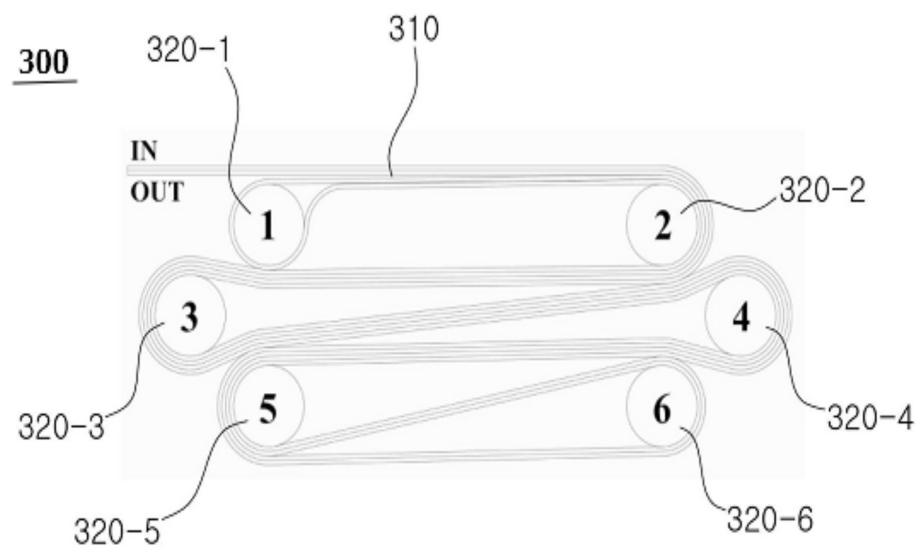
도면1



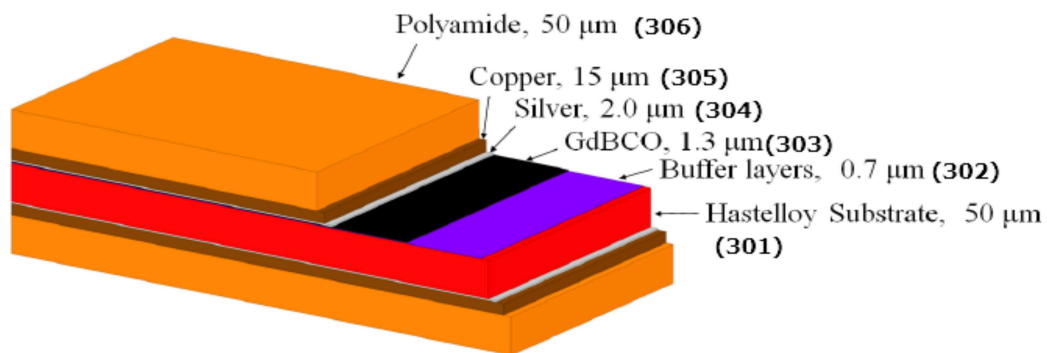
도면2



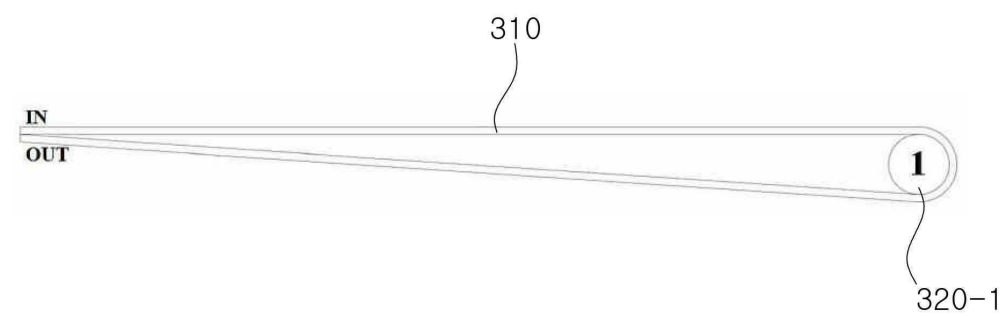
도면3a



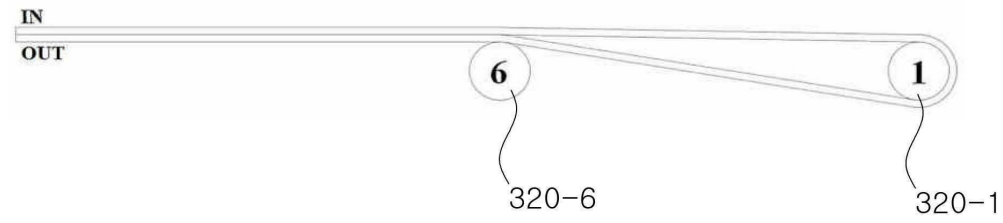
도면3b



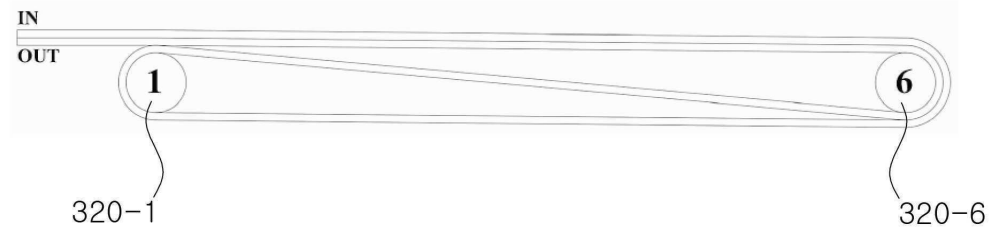
도면4



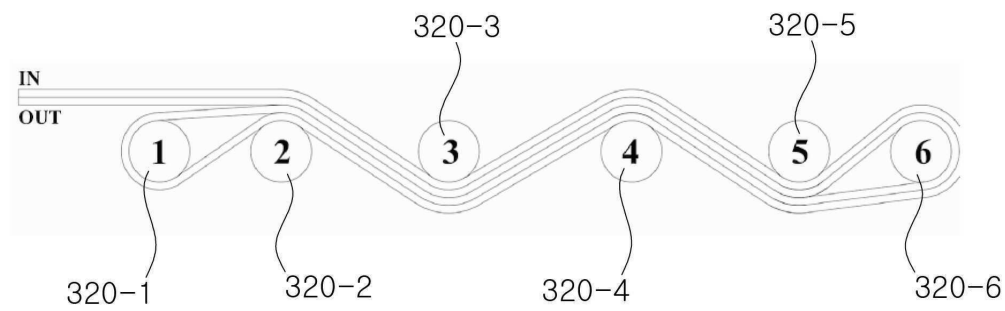
도면5



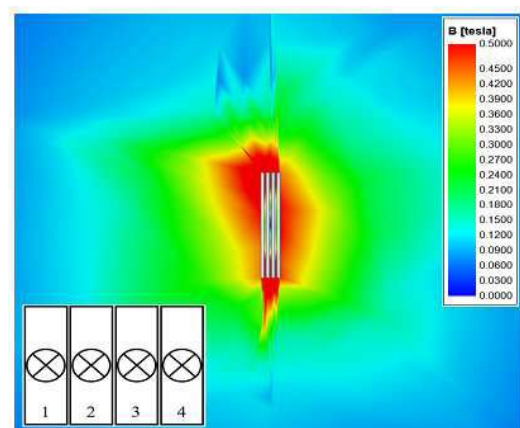
도면6



도면7

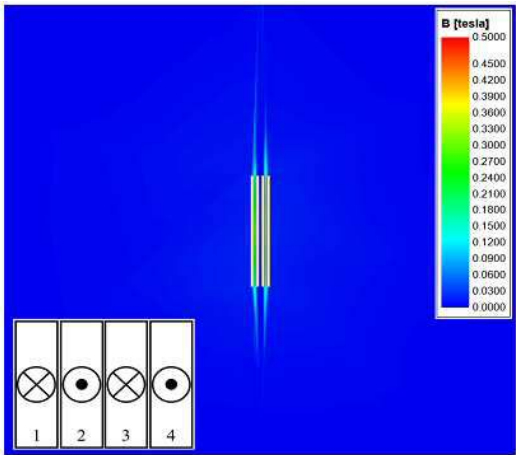


도면8



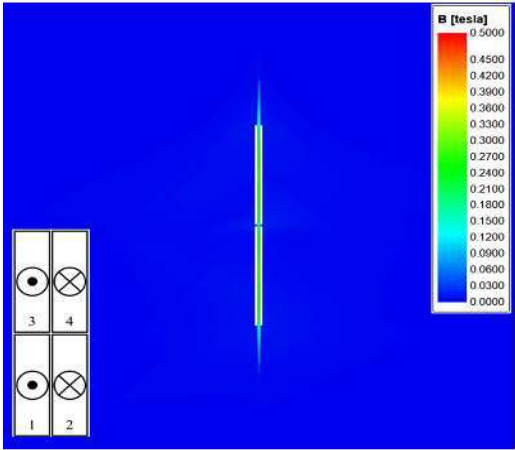
Flux linkage [Wb]	
1	2.6422×10^{-4}
2	2.6883×10^{-4}
3	2.6881×10^{-4}
4	2.6416×10^{-4}

도면9



Flux linkage [Wb]	
1	4.7844×10^{-6}
2	-3.0126×10^{-7}
3	-2.2988×10^{-7}
4	4.714×10^{-6}

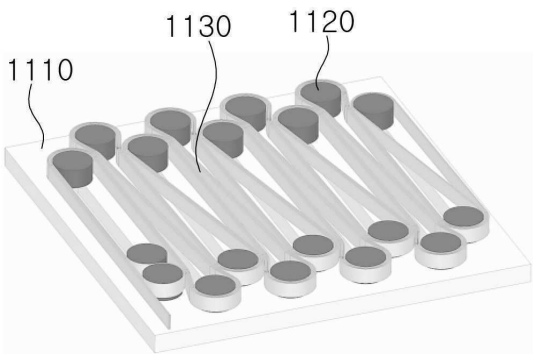
도면10



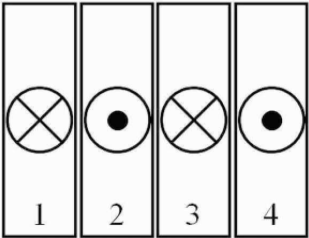
Flux linkage [Wb]	
1	2.3394×10^{-6}
2	2.3325×10^{-6}
3	2.3481×10^{-6}
4	2.3275×10^{-6}

도면11

1100

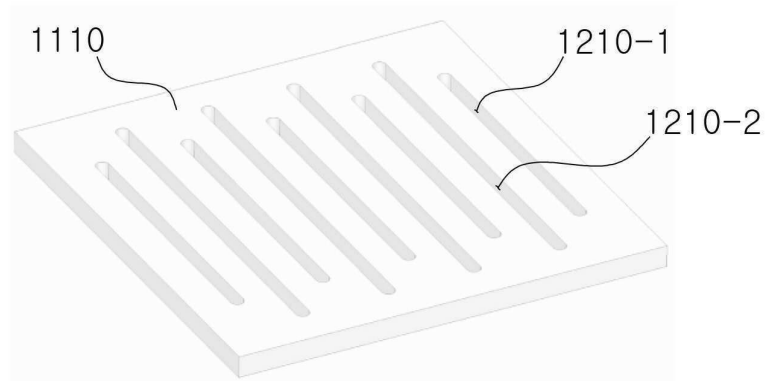


(a)

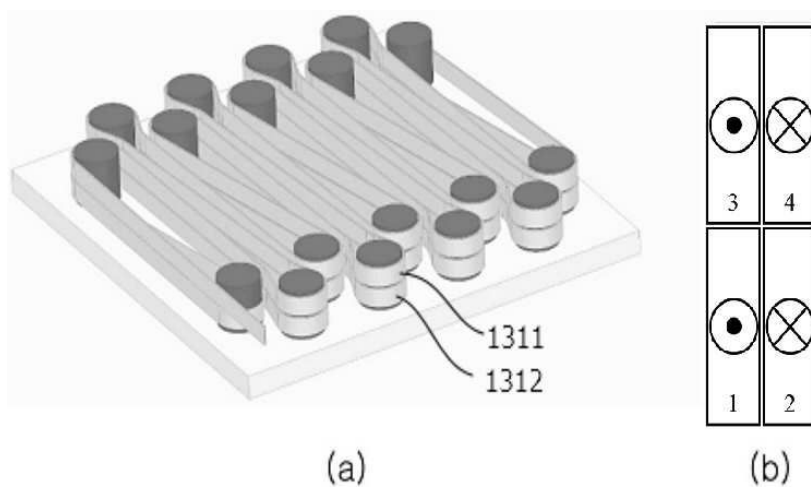


(b)

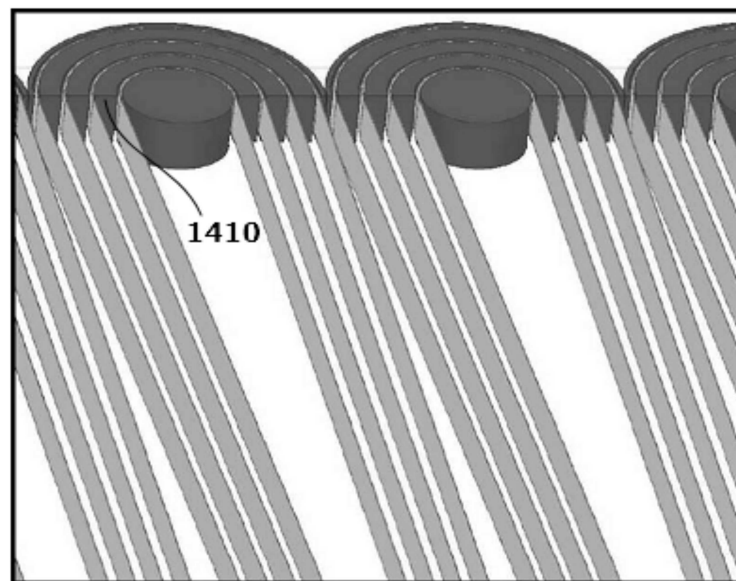
도면12



도면13



도면14



도면15

