



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년08월14일
(11) 등록번호 10-1297045
(24) 등록일자 2013년08월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01H 36/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0020659

(22) 출원일자 2007년02월28일

심사청구일자 2012년01월03일

(65) 공개번호 10-2007-0090785

(43) 공개일자 2007년09월06일

(30) 우선권주장

06 004 214.0 2006년03월02일

유럽특허청(EPO)(EP)

(56) 선행기술조사문헌

EP00444702 A2*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

데바 뮌쉬히트테크닉 게엠베하

독일 85737 이스마닝 로테-크로이츠-슈트라세 8

(72) 발명자

프루싸이트 베르너

독일 85737 이스마닝 로테-크로이츠-슈트라세 8

킨더 헬무트

독일 85354 프라이싱 호헨바헤른슈트라세 55

(74) 대리인

신정건, 김태홍

전체 청구항 수 : 총 14 항

심사관 : 두소영

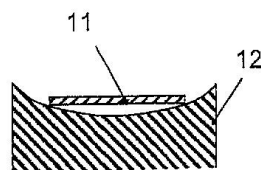
(54) 발명의 명칭 저항성 한류기

(57) 요약

본 발명의 제1 양태에 따르면, 본 발명은 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)에 의해 형성되고 적어도 하나의 장착 요소(12, 42, 52, 62, 72)를 포함하는 한류기에 관한 것으로, 장착 요소는 본질적으로 상기 테이프의 주요 표면이 장착 요소와 접촉할 수 없도록 하나 이상의 에지 영역에서만 상기 도체 테이프를 유지한다.

본 발명의 제2 양태에 따르면, 본 발명은 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프에 의해 형성되고 적어도 하나의 장착 요소(23, 24)를 포함하는 한류기에 관한 것으로, 장착 요소는 정상 전도 상태에서의 도체 테이프(21)가 접촉 영역에서 장착 요소(23)에 의해 전기적으로 분로되도록 전기 전도 방식으로 상기 테이프의 주요 표면의 한면 또는 양면에서 상기 도체 테이프와 접촉한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

- a. 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)와,
- b. 상기 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)를 유지하는 하나 이상의 장착 요소(12, 42, 52, 62, 72)로서, 상기 도체 테이프의 주요 표면이 상기 장착 요소와 접촉할 수 없도록, 하나 이상의 에지 영역에서만 상기 도체 테이프를 유지하는 것인 장착 요소
- 를 포함하는 한류기로서,
- c. 상기 장착 요소(12, 42, 52, 62, 72)는 오목 형태를 포함하고, 상기 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)가 상기 오목 형태 내측에서 연장되는 것인 한류기.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 장착 요소(12, 42, 52, 62, 72)의 오목 형태는 상기 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)에 대면하는 측면 상에 하나 이상의 오목형 단면부를 나타내는 것인 한류기.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 도체 테이프(11, 41, 51, 61, 71)는 폭 w 를 갖고, 상기 오목 형태는 평균 곡률 반경 r 을 가지며, 이들은 $0.5w \leq r \leq 10w$ 의 관계를 갖는 것인 한류기.

청구항 5

제1항, 제3항 및 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 장착 요소는 상기 도체 테이프의 하나 이상의 부분이 내부에서 연장되는 오목형 단면의 튜브(42) 또는 플레이트에 있는 어퍼처(62; aperture) 또는 컷-아웃(42)인 것인 한류기.

청구항 6

제1항, 제3항 및 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 도체 테이프는 상기 도체 테이프의 폭(w)의 5% 내지 50%의 간극을 부여하는 유극을 두고 상기 테이프의 에지 영역에서 유지되는 것인 한류기.

청구항 7

제1항, 제3항 및 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 장착 요소는 상기 도체 테이프용 스프링 장착 피트(spring loaded fit)를 나타내는 것인 한류기.

청구항 8

- a. 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프(21)와,
- b. 상기 도체 테이프의 주요 표면(전면 또는 후면) 중 한면 또는 양면에 전기적 및 열적 전도 방식으로 접촉하여, 정상 상태에서의 상기 도체 테이프가 전기적으로 바이패스되거나 분로되게 하는 하나 이상의 장착 요소(23, 24)
- 를 포함하는 한류기.

청구항 9

제8항에 있어서, 정상 상태에서의 상기 도체 테이프(21)의 분로 영역은 저항 R_t 를 나타내고, 상기 장착 요소(23, 24)는 분로 저항 R_b 를 나타내며, 이들은 $R_b \leq R_t$ 의 관계를 갖는 것인 한류기.

청구항 10

제1항에 있어서,

- a. 고온 초전도체로 피복되고, 2개 이상의 이웃하는 테이프 부분을 갖는 하나 이상의 영역을 나타내는 도체 테이프(21)를 포함하고,
- b. 상기 도체 테이프는 이 테이프의 상이한 부분들 사이 및 다른 장착부로의 최소 거리를 유지하는 구성을 나타내며,
- c. 상기 최소 거리는 상기 테이프의 폭의 10%인 것인 한류기.

청구항 11

- a. 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프의 하나 이상의 부분을 각각 구비하는 2개 이상의 한류기 구성 요소(85)와,
- b. 상기 2개 이상의 한류기 구성 요소(85) 사이의 하나 이상의 절연 격벽(86)을 포함하는 한류기.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 2개 이상의 한류기 구성 요소(85)는 냉각액(93)에 침지되고, 제한 상태에서 발생하는 가스 기포에 대한 별도의 안내 채널(87)을 포함하는 것인 한류기.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 2개 이상의 한류기 구성 요소(85)는 챔버 아래의 냉각액으로 충전된 공간에서 상호 연결되는 것인 한류기.

청구항 14

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 2개 이상의 한류기 구성 요소는, 바닥측에 냉각액의 유입을 위한 하나 이상의 개구를 각각 구비하는 챔버 내에 배치되며, 상기 개구는 기포가 상기 개구로부터 상기 개구 아래의 공간으로 빠져나가는 것을 방지하는 수단(89)을 포함하는 것인 한류기.

청구항 15

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 전류 제한 상태에서의 상기 도체 테이프는 100 ms의 시간 주기(time span) 동안 50 kW/m^2 이상의 실제 전력 밀도(real power density)를 손상 없이 발생시켜 유지하는 것인 한류기.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- [0026] 본 발명은 저항성 초전도 한류기(superconducting resistive fault current limiter)에 관한 것이다.
- [0027] 초전도 한류기(SFCL; Superconducting Fault Current Limiters)는 과부하로부터 전기 설비 및 전력망(power grid)을 보호하기 위해 사용될 수 있다. SFCL의 작동은 매우 간단하다. 정상 작동 동안, 도체는 초전도 상태에 있으므로, 거의 손실이 없다. 과전류가 발생하면, 초전도체는, 저항이 매우 높아 허용 가능한 수준으로 전류를 제한하는 정상 전도 상태로 매우 신속하게 전환된다.
- [0028] 종래의 기계적 스위치와 비교하여 SFCL의 장점은 스위칭 시간이 매우 짧은 것이다. 반면에, SFCL은 단지 수십 밀리초 동안 제한 거동을 유지할 수 있도록 하기 위해, 정상 상태에서 상당량의 열을 발생시킨다. 따라서, 직렬로 연결된 종래의 기계적 스위치가 항상 있어야 하는데, 이러한 기계적 스위치는 통상 50 내지 100 ms의 긴 스위칭 시간이 경과한 후에, 결국엔 회로를 차단한다. 그 후, 초전도체는 다시 냉각되고, 작동을 위해 새로이

준비된다. 이와 같은 설정은 예를 들어, DE 199 390 66에 공지되어 있다.

- [0029] 고온 초전도체(HTS; High Temperature Superconductor)는 세라믹 재료이며, 따라서 정상 상태에서 큰 저항을 갖는다. 따라서, 이들은 전력 용례에 특히 적합하며, 1986년 이들의 발견 이래로 전력 용례에서 이들을 SFCL로서 사용하여 수많은 작업이 실행되어 왔다. 현재의 기술 상태에서 2가지 유형의 SFCL, 즉 유도성 SFCL 및 저항성 SFCL이 있다. 저항성 SFCL은 실질적으로 보다 낮은 투자 및 작동 비용으로 인해 더 많은 이점을 갖고 있다. 저항성 SFCL은 예를 들어, DE 198 272 25에서 개시된 바와 같이 절연 기관상의 세라믹 벌크(ceramic bulk) 재료 또는 박막 중 어느 하나로부터 제조되어 왔다. 2가지 유형 모두에 있어서, 재료 문제 및 비용에 관한 이유로 상업적 사용이 제한되어 왔다. 그래서 상기 2가지 유형 중 어느 유형도 아직 시장에 선보이지 못하고 있다.
- [0030] 한편, 새로운 유형의 HTS 도체, 즉 때때로 "2세대 HTS 와이어"라고도 불리는 피복 도체(CC; Coated Conductors)가 부상하고 있다. CC는 일부 완충층을 제외하면, 전형적으로는 수 미크론의 두께를 갖지만 수십 미크론 정도의 두께를 가질 수도 있는 HTS 층에 대한 대체물로서 제공되는 얇은 금속 테이프이다. 박막의 형태에 있어서, 취성 세라믹 HTS 재료는 여전히 탄성 및 굽힘성을 가지며, 예외적으로 높은 전류 밀도를 유지할 수 있다. 또한, CC는 상대적으로 낮은 비용으로 생산될 수 있다. 이는 시장 및 상업적 사용에 진정으로 적합한 SFCL의 구조에 대한 새로운 가능성을 열어준다.
- [0031] 전술한 유형과 CC-SFCL 간의 주요 차이점은 전도성 금속 캐리어 또는 기관 테이프이다. 비록, 하스텔로이(Hastelloy; 등록 상표) 또는 콘스탄탄(constantan)과 같은 고 저항성 합금이 사용되더라도, 테이프의 전체 저항은 실질적으로 초전도체 하나의 저항보다 낮다. 따라서, 길이가 긴 테이프는 고압 스위칭(switching)을 위한 충분히 높은 저항을 얻도록 사용되어야 한다. 예를 들어, 20 kV의 전압은 통상적으로 100 m의 테이프 길이를 요구한다. 결과적으로, 테이프는 소형 회로 소자를 형성하기 위해 적절하게 배열 및 장착되어야 한다.
- [0032] 앞선 SFCL 실시예들과의 또 다른 차이점은 새로운 장착 기술을 요하는 테이프의 가요성이다. 가요성과 긴 길이 양자로 인해 CC-SFCL에 특유한 기술적 문제가 야기된다. 이러한 문제들 중 일부는 현재 기술로 해결되는 것으로 간주될 수 있다.
- [0033] - 기관의 전기적 파손:
- [0034] 초전도층은 일반적으로 기술적 원인으로 인해 하나 이상의 전기 절연 완충층에 의해 금속성 기관으로부터 분리된다. 제한 상태(limiting state) 동안, 큰 전압 강하가 국부적으로 발생하여, 매우 얇은 절연 완충층의 절연 파괴를 일으키는 기관과 초전도체 사이의 상당한 전위차를 야기할 수 있다. 따라서, HTS 층과 기관 테이프 사이에 적합한 전위 이퀄라이저(potential equalizer)가 제공되어야 한다. 스위칭 시에 기관으로의 전류 이행을 허용하기 위해, 연속된 지점 또는 이격된 지점의 다수의 접촉 배열체가 예를 들어, DE 198 368 60, EP 1 042 820 또는 DE 102 259 35에 개시되어 있다.
- [0035] - 열점(hot spots):
- [0036] 초전도체의 스위칭 레벨은 초전도체의 임계 전류에 따른다. 이는 통상 20% 내지 50%만큼 지점(spot)마다 다를 수 있는 재료 특성이다. 따라서, 스위칭 레벨은 도체의 다른 부분보다 낮은 임계 전류를 갖는 취약 지점 상에서 먼저 도달된다. 과전류의 발생 시, 이러한 지점은 먼저 정상으로 되고 저항을 얻게 된다. 그러나 이러한 취약 지점은 한정된 크기이기 때문에, 이들의 저항은 너무 낮아서 효율적으로 전류를 제한할 수 없다. 따라서, 이들은 주울 열(Joule heating)에 의해 가열되고, 도체의 나머지 부분이 정상으로 되기 전에 그들 자신을 파괴한다. 이러한 열점은 다른 유형의 SFCL에서도 발생할 수 있다. 그러나 CC-SFCL의 경우에 있어서는, DE 102 259 35에 개시된 바와 같이, 종래 기술에 따른 문제점에 대한 특별한 해결책이 있다.
- [0037] - 최대 변형:
- [0038] HTS는 취성 세라믹 재료이며, 따라서 쉽게 큰 변형을 가져올 수 있다. 아마도 미세 균열에 의한 최초 붕괴는 변형률이 $\varepsilon_{\max}=0.2\%$ 를 초과할 때 발생한다. 이는 $R_{\min}=d/(2\varepsilon_{\max})$ 에 따라 테이프 두께(d)에 종속하는 최소 곡률 반경을 의미한다. 예를 들어, 100 μm 의 테이프 두께에 있어, 최소 곡률 반경은 25 mm이며, 이는 모든 설계에 있어 고려되어야 한다. 초전도체는 인장 응력보다 압축 응력에 덜 민감하기 때문에, 초전도층은 바람직하게는 밴드 굴곡부의 내측면 상에 있다.
- [0039] 본 기술 분야의 현 상태에 따라 아직 미해결된 것은 테이프의 배열 및 장착과 관련된 문제이다. 이러한 문제는 다음과 같다.

- [0040] - 가스 확장(Gas development):
- [0041] 정상 전도 영역에서의 강한 열 발생은 예를 들어, 액화 질소 또는 그 밖의 다른 액체와 같은 극저온 유체(cryofluid)의 격렬한 비등(boiling)을 야기한다. 기포 형성으로 인해, 테이프에 작용하는 상당한 힘이 존재하게 되는데, 이러한 힘은 테이프를 구부릴 수 있고, 초전도체의 균열을 일으킬 수 있으며, 또는 상이한 테이프 부분 사이의 접촉을 유도하여 회로를 단락시킬 수 있다. EP 1 217 666에 개시된 바와 같은 초전도체 플레이트 사이의 진동 완화 요소는 긴 CC 테이프에는 적용될 수 없다.
- [0042] - 열 팽창
- [0043] CC를 가열함으로써, CC는 그 길이를 따라 팽창한다. 또한, 테이프의 전면측과 후면측 사이의 온도차로 인해 바이메탈(bimetal)과 유사한 만곡이 발생한다(열 변형). 이로써, 만약 테이프가 적절하게 장착되지 않은 경우 큰 힘이 발생하게 된다. 이러한 결과는 가스 확장의 결과, 즉 초전도체의 파손 및 상이한 테이프 부분 사이의 단락이라는 결과와 유사하다.
- [0044] - 자력:
- [0045] 테이프의 전류는 상이한 테이프 부분 사이에서 자력을 유발한다. 이러한 힘은 전류의 제공으로 증가한다. 전류는 교류이기 때문에, 테이프는 부적절하게 장착된 경우 진동을 일으킬 수 있다. 상기 힘은 과전류가 발생할 때 과도하게 된다. 이러한 결과로 발생하는 문제는 가스 확장 및 열 팽창의 경우와 동일하다.
- [0046] - 냉각제 접근의 방해로 인한 과열
- [0047] 심지어 테이프의 작은 얼룩이라도 장착 요소 또는 그 밖의 다른 부분에 의해 접촉된 경우에는 냉각제가 테이프에 접근하는 것은 방해를 받는다. 결과적으로, 이러한 영역은 나머지 영역보다 더 신속하게 가열된다. 이는, 상기 영역이 SFCL과 연속하는 기계적 스위치가 인계받기 전에 연소될 것이기 때문에, 수십 밀리초의 스케일에서의 장기간의 거동에 대해서는 해롭다. 이는 층상 권선부를 갖는 코일에도 동일하게 적용된다. 또한, 이러한 구성에 있어서, 냉각제의 접근이 방해를 받는다. EP 1 042 820에 개시된 바와 같이, 심지어 층들 사이의 요동 분리기는 접촉 지점에서 냉각제의 저지를 유도한다.
- [0048] - 냉각제의 절연 파괴(dielectric breakdown):
- [0049] SFCL이 고압 설비에 적용될 것이기 때문에, 방전, 불꽃 연락(sparkover) 및 부분적 방전은 확실하게 방지되어야 한다. 비록, 예를 들어, 액화 질소가 매우 높은 절연 강도(dielectric strength)를 갖지만, 가스 기포의 존재로 인해 현저하게 열화될 것이다. 따라서, 단지 제한 상태 동안만, 냉각제의 비등 시에, 상이한 전위 레벨에서 부분들 사이의 전기적 파손의 위험이 있게 된다.
- [0050] - 자체 장에서 임계 전류의 감소
- [0051] 초전도체의 임계 전류는 자장에서 감소한다. SFCL의 부적절한 설정에 따라, 제한되는 전류는 충분히 높은 장까지 생성되어, SFCL의 스위칭 레벨을 실질적으로 낮추고, 이에 따라 장치의 스위칭 파워를 감소시킨다. 이는 소위 BSCCO-도체에 대한 대응책으로서, 2가닥 권선을 사용하는 종래 기술(EP 1 042 820, DE 197 203 97 또는 EP 0 935 261)에 따라 제안되어 왔다. 그러나 권선 사이에 요구되는 공간으로 인해, 상황은 CC의 경우와 다르며, 그 밖의 다른 보정 조치가 실행되었다.
- [0052] - 기계적 안정성 결여:
- [0053] 테이프는 가요성이 있으며, 따라서 기계적 안정성을 갖지 못한다. 그럼에도, 상기 구성은 10년 이상 가능한 고장 없이 신뢰성을 갖고 작동할 수 있도록, 전술한 바와 같은 힘을 지탱해야 한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- [0054] 따라서, 본 발명의 근원적인 문제는 전술한 SFCL의 작동 상의 곤란한 점들 중 적어도 일부를 감소시키는 CC-SFCL에 대한 구성 규칙 및 배열을 찾는 것이다.

발명의 구성 및 작용

- [0055] 제1 양태에 따르면, 본 발명은 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프 및 적어도 하나의 장착 요소를 포함하는 한류기에 관한 것으로, 상기 장착 요소는 본질적으로 테이프의 주요 표면이 장착 요소와 접촉할 수 없도록 하나 이상의 에지 영역에서만 도체 테이프를 유지한다. 본 발명에 따른 한류기의 상기 적어도 하나의 장착 요소는

긴 테이프로부터 소형 구성 요소를 형성하기 위해 요구된다. 그러나 냉각제의 접근을 자유롭게 허용하기 위해서, 장착 요소는 본질적으로 상기 에지 상에서만 테이프와 접촉해야 한다.

[0056] 바람직하게는, 장착 요소는 CC가 내측에서 연장되는 오목부로 이루어진다. 테이프가 횡방향으로 충분한 강성을 갖기 때문에, 오목부는 CC의 주요 표면과 접촉할 수가 없고, 에지에만 접촉하게 된다. 바람직하게는, 상기 오목부는 테이프와 대면하는 측면 상에, 적어도 하나의 오목형 단면부를 나타낸다. 테이프의 폭을 w 로 한 경우, 오목부의 평균 곡률 반경(r)은 바람직하게는 $0.5w \leq r \leq 10w$, 특히 바람직하게는 $0.6w \leq r \leq 4w$ 을 나타낸다. 장착 요소의 바람직한 실시예는 적어도 하나의 내측으로 연장하는 테이프의 부분을 구비한 원형 또는 타원형 단면을 갖는 튜브 또는 어퍼처(aperture)이다.

[0057] 바람직하게는, 짧은 오목부만이 사용되며, 상기 오목부 사이에서 테이프가 자체 지지된다. 특히 바람직한 짧은 오목부는 적어도 하나의 내측으로 연장되는 테이프 부분을 구비한 오목 단면의 어퍼처 또는 컷-아웃을 갖고, 테이프를 가로질러 서 있는 박판 또는 포일이다. 따라서, 테이프는 상기 테이프를 파괴할 수 있는 균열 또는 비틀림이 없는 자장, 열 팽창 및 기포 형성의 힘을 회피할 수 있다.

[0058] 다른 실시예에서, CC는 바람직하게는 도체 테이프의 폭(w)의 5% 내지 50%, 특히 바람직하게는 10% 내지 30%의 간극을 부여하는 유극(play)을 두고 에지 영역에 유지된다. 이러한 방식에 있어서, 테이프는 제어된 이동 자유도를 갖는다. 또 다른 실시예에서, 장착 요소는 도체 테이프용 스프링 장착 피트(spring loaded fit)를 개시한다.

[0059] 문제가 되는, 테이프의 에지를 유지하는 장착 요소용 재료는 바람직하게는 단순한 플라스틱, 유리 섬유 강화 플라스틱(GPR; Glass-fibre Reinforced Plastic), 폴리이미드, 세라믹 또는 폴리에스테르와 같은 절연체이다. 그러나 짧은 장착 요소는 금속으로도 제조될 수 있는데, 이는 짧은 거리에서는 현저한 전압 강하가 없기 때문이다.

[0060] 다른 양태에 따르면, 본 발명은 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프와 적어도 하나의 장착 요소를 포함하는 한류기에 관한 것으로, 상기 장착 요소는 정상 상태에서 도체 테이프가 전기적으로 우회하거나 분로하게 되도록, 전기적 또는 열적 전도 방식으로 테이프의 주요 표면(정면 또는 후면) 중 하나 또는 양자에 도체 테이프를 접촉시킨다.

[0061] 유극 없이 테이프를 신뢰할 수 있도록 고정하는 데에는 주요 표면상의 부착물을 요구한다. 접촉 영역에서, 냉각제의 접근은 방해받을 수 있다. 도체 테이프가 과도하게 가열되지 않도록, 접촉 영역에서의 열 발생은 감소되어야 한다. 이는 접촉 영역에서 장착 요소 자체에 의해 도체 테이프를 전기적으로 분로시킴으로써 달성될 수 있다. 이러한 목적을 위해, 장착 요소는 접촉 영역에서 전기 전도성 재료로 구성되어야 하며, 테이프와의 우수한 전기적 접촉이 형성되어야 한다. 바이패스(bypass)로 인해, 정상 전도 테이프 내의 전류는 접촉 영역에서 감소한다. 결과적으로, 소산되는 전력은 감소하고 이에 따라 테이프 내의 열 발생도 감소한다. 잔열은 접촉부를 통해 장착 요소로 전도될 수 있다. 따라서, 장착 요소는 접촉 영역에서의 도체 테이프의 과열이 방지되도록, 바람직하게는 충분한 열용량 및 도체 테이프와의 충분한 열접촉을 나타내어야 한다.

[0062] 바이패스의 전기 저항(R_b)은 접촉 영역의 길이를 따른 테이프의 정상 상태 저항(R_t)과 관련되어야 하며, 바람직한 실시예에서, $R_b \leq R_t$ 이다. 따라서, 테이프 내의 전류는 적어도 반감되고, 열 발생은 적어도 4분의 1로 감소한다. 특히 바람직한 실시예에서는, $R_b \leq 0.5R_t$ 이다. 따라서, 전류의 3분의 1 미만은 테이프에 잔류하고, 열 발생은 9분의 1만큼 감소한다. 따라서, 테이프의 두께 범위의 금속성 전도 포일은 테이프와 접촉하는 장착 요소의 분로부로서 작용할 수 있다.

[0063] 또한, 테이프와 장착 요소 사이의 접촉 저항(R_c)을 최소화하는 것이 유리한데, 이는 상기 접촉 저항에 의해서도 역시 테이프가 직접 가열되기 때문이다. 바람직한 실시예에서, $R_c \leq 0.2R_t$ 이며, 특히 바람직한 실시예에서는 $R_c \leq 0.1R_t$ 이다. 하스텔로이(등록 상표) 기판을 갖는 테이프에 대해, 바람직한 특정 접촉 저항은 $R_c \leq 1 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 이다.

[0064] 열 저항은 비데만-프란츠-로렌츠 법칙(Wiedemann-Franz-Lorentz law)에 따라 전기 저항에 의해 제어되며, 따라서 항상 충분히 작을 것이다. 또한, 장착 요소의 분로부의 열용량(C_m)은 접촉 영역 내의 테이프의 열용량(C_t)과 관련되어야 한다. 바람직한 실시예에서는 $C_m \geq C_t$ 이다. 특히 바람직한 실시예에서는 $C_m \geq 2C_t$ 이다.

- [0065] 기계적 접촉이 견고하지만 그럼에도 초전도층이 과도하게 변형되거나 굽히지 않도록 테이프와 장착 요소 사이에 기계적 접촉을 생성하는 것도 또한 중요하다. 따라서, 바람직한 실시예에서, 장착 요소의 분로부는 적어도 도체 테이프 상에 적층되는 연성 금속 포일로 이루어진다. 바람직하게는, 예를 들어, 도체 테이프의 두께의 적어도 절반의 두께, 특히 바람직하게는 도체 테이프의 두께와 적어도 동일한 두께를 갖는 인듐, 납, 구리 또는 은으로 이루어진다. 바람직하게는, 연성 금속 포일은 양측 주요 표면 상에서 도체 테이프와 접촉한다. 또한, 상기 양측 사이에서 전기 접촉을 제공하는 것이 바람직하다. 따라서, 연성 금속 포일은 바람직하게는 테이프 둘레에 감싸지고, 절연 클램프 또는 전도성 클램프에 의해 고정된다.
- [0066] 이러한 접촉 장착 요소는 도체 테이프를 고정하기 위해서 뿐만 아니라 예를 들어, 전류 도입선으로서 또는 다른 전기 연결부를 위해 말단에서 도체 테이프와의 전기적 접촉을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 이는 한류기 구성 요소 내에서 2개 또는 그 이상의 테이프 또는 테이프 부분의 직렬 또는 병렬 연결을 위해 사용될 수 있다. 또한, 이러한 전도성 장착 요소는 바람직하게는, 테이프의 작은 결점, 즉 굽힘 또는 급격한 절곡을 바이패스하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 경우에, 기계적 지지 구조를 제공하는 것은 불필요하지만, 자체 지지책은 유리할 수 있다. 예를 들어, 결점은 저 용융 납땜, 도체 페이스트 또는 전도성 포일, 바람직하게는 구리, 은, 인듐 또는 납으로 덮일 수 있다.
- [0067] 장착 요소의 접촉 영역의 근처에서, 테이프는 허용치를 넘게 절곡될 위험이 있으며, 또는 심지어 제한 상태 동안 테이프가 이동할 때 비틀릴 위험도 있다. 따라서, 접촉 영역 외에, 장착 요소는 테이프를 따라 바람직하게는 도체 테이프의 최소 허용 굽힘 반경보다 작지 않은 굽힘 반경을 가지며, 테이프를 따라 테이프가 주요 표면과 접촉하는 것을 방지하는 오목 단면부를 갖는 적어도 하나의 영역을 나타낸다. 이와 달리, 접촉 장착 요소에 인접하여 위치되는 테이프의 에지를 유지하는 유형의 적어도 하나의 추가 장착 요소가 존재하여, 추가 장착 요소의 제어된 유극이 도체 테이프의 최소 허용 굽힘 반경보다 더 예리한 굽힘을 허용하지 않게 된다. 양 장착 요소 사이의 바람직한 거리는 테이프의 허용 굽힘 반경의 1/2 내지 3배이다.
- [0068] 도체 테이프의 일부의 분로는 전체 저항의 감소를 유발한다. 따라서, 이러한 장착 요소의 개수는 너무 많지 않아야 한다. 바람직하게는, 바이패스된 부분과 자유 부분 사이의 비율은 1:5, 특히 바람직하게는 1:10의 비율을 초과하지 않아야 한다.
- [0069] 추가적인 양태에 따라, 본 발명은 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프를 구비한 한류기에 관한 것으로, 도체 테이프는 테이프의 상이한 부분들 사이 및 다른 장착 부분으로의 최소 거리를 유지하는 구성을 가져, 언급한 힘의 작용 하에 테이프의 이동은 상이한 테이프 부분이 서로 접촉하거나 냉각제의 접근이 방해받도록 하는 주요 표면을 갖춘 지지 구조와의 접촉을 유발할 수 없게 된다. 또한, 최소 거리를 갖는 구조는 가스 기포가 자유롭게 외부로 이동할 수 있도록 요구된다. 반면, 상기 거리는 너무 크지 않아야 하는데, 너무 크게 되면 전체 시스템의 부피가 필요 이상으로 증가할 것이기 때문이다. 바람직한 최소 거리는 테이프 폭의 10%이며, 특히 바람직한 최소 거리는 테이프 폭의 40%이다.
- [0070] 가능한 구성은, 예를 들어 평행하게 배열된 직진 도체부, 사행형 루프, 상기 루프의 적층체, 단층 또는 다층의 원통형 솔레노이드, 팬케이크 코일, 상기 코일의 적층체, 감긴 통형상, 음양 또는 야구공형 코일 또는 불규칙한 실뭉치(clew)이다. 이러한 구성의 선택은 전체 시스템, 전위 분포, 기포 채널링 개념 및 자장의 최소화의 모듈 및 구성 요소의 공간적 배열에 따라 특정 용례에 종속한다.
- [0071] 제한 상태에서의 테이프의 이동 방향은 테이프가 초기 상태에서 코일 또는 나선과 같은 곡률 또는 굽힘부를 나타낼 때, 미리 결정될 수 있다. 그 후, 기포 발생, 열적 길이 팽창 및 자력은 필수적으로 외측 방향 이동을 유발하여, 상기 굽힘부가 약간 개방될 것이다. 또한, 열 변형은 상기 굽힘부가 어느 정도 개방되도록 하며, 제한 상태에서 보다 급속하게 테워지는 테이프의 정면측은 굽힘부의 내측면 상에 놓인다. 이는 어찌되었든 미세 균열 형성의 위험을 최소화하기 위해 바람직하다. 따라서, 이동은 항상 굽힘부의 외측면으로 향하며, 곡률 반경을 증가시킨다.
- [0072] 이웃하는 장착 요소 사이의 자체-지지된 직선 부분은 상대적으로 길게 제조될 수 있다. 이러한 자체-지지부의 바람직한 길이는 테이프 폭의 3배 내지 50배 사이이며, 특히 바람직한 길이는 테이프 폭의 5배 내지 30배 사이에 있다. 이러한 직선 부분은 비틀림에 의한 진동에 대해 안정될 수 있다.
- [0073] 선택된 구성은 바람직하게는 전술된 장착 요소를 사용함으로써 형성되어야 한다. 이러한 목적을 위해, 상기 장착 요소는 일부 기구 상에 부착되어야 한다. 이와 함께, 장착 요소 및 고정 기구는 테이프를 위한 지지 구조체를 형성한다. 고정 기구는 바람직하게는 예를 들어, 폴리이미드, PET, GRP, 폴리에스테르 또는 세라믹과 같은

절연 물질로 이루어져, 단락, 전기적 파손 및 불꽃 연락(sparkover)을 방지한다.

- [0074] 마지막으로 다른 양태에 따르면, 본 발명은 각각이 고온 초전도체로 피복되는 도체 테이프의 적어도 하나의 부분을 포함하는 적어도 2개의 한류기 구성 요소 및 적어도 2개의 상기 한류기 구성 요소 사이의 적어도 하나의 절연 격벽을 구비한 한류기에 관한 것이다. 격벽의 두께는 바람직하게는 전위차 및 절연 물질, 바람직하게는 폴리카보네이트, 폴리에스테르, 폴리이미드 또는 GRP의 절연 강도에 따라 치수가 정해진다. 이러한 격벽의 바람직한 형상은 테이프가 주요 표면과 접촉하는 것을 방지하는 오목부이다.
- [0075] 병렬 또는 직렬 접속 상태의 하나 이상의 한류기 구성 요소는 솔리드 프레임(solid frame)을 구비한 모듈에 결합될 수 있다. 모듈 내에 긴 길이의 테이프가 수용될 수 있다. 이는, 제한 상태에서, 한편으로는 큰 전압이 발생하고, 다른 한편으로는 대량의 가스 기포가 전체 모듈에서 발생한다는 것을 의미한다. 결과적으로, 냉각제의 절연 강도는 현저하게 감소하여, 상이한 한류기 구성 요소 사이에서 불꽃 연락의 위험성이 특히 크다.
- [0076] 원칙적으로, 이러한 문제는 항상 충분히 큰 안전 간극에 의해 해결될 수 있다. 그러나 이는 고압에서, 극도로 커지고, 대형 시스템 및 높은 비용을 초래한다. 이러한 경우에, 상기 구성 요소 사이의 절연 격벽(bulkhead) 또는 구획벽을 위치시키는 것이 바람직하다. 이러한 벽은 바람직하게는 높은 절연 강도를 갖는 절연 물질, 예를 들어 폴리이미드, 폴리카보네이트 또는 폴리에스테르로 이루어진다. 이들 물질은 어떠한 냉각제보다도 높은 절연 강도를 가지며, 동시에 상이한 구성 요소의 가스 기포를 분리시켜, 불꽃 연락에 대한 어떠한 연속적인 가스 터널도 발생하지 않게 된다.
- [0077] 바람직하게는, 적어도 2개의 한류기 구성 요소는 냉각액에 침지되고, 제한 상태에서 발생하는 가스 기포에 대한 별도의 안내 채널을 나타낸다. 상기 채널은 바람직하게는 그것의 길이를 따라 어떠한 불꽃 연락도 불가능하도록 충분히 길다. 그 후, 이들 채널 모두는 공통의 용기에 결합될 수 있는데, 예컨대 이러한 용기 내에서 가스는 다시 액화되고, 상기 구성 요소로 다시 모이게 된다.
- [0078] 상기 적어도 2개의 한류기 구성 요소는, 하부로부터 냉각액의 진입을 위하여 적어도 하나의 개구가 각각 마련되어 있는 바닥 측면을 갖는 챔버 내에 배치되는 것이 특히 바람직하다. 추가로, 상기 개구를 통해 구성 요소를 위한 전기 도입선을 공급하고, 챔버 아래에서 냉각액에 의해 충전되는 공간에 도입선을 상호 연결하는 것이 바람직하다. 그 이유는, 제한 상태에서 발생하는 가스 기포가 본질적으로 상향으로 이동하여, 챔버 아래의 공간은 본질적으로 기포 및 액체가 발생하지 않으며, 심지어 제한 상태에서도 여전히 상대적으로 높은 절연 강도를 갖기 때문이다. 이러한 공간을 더욱 기포가 없는 공간으로 유지하기 위해, 기포가 침지(dipping down)되는 것을 방지하는 동시에 본질적으로 냉각제가 관통할 수 있도록 하는 기포 장벽(barrier)으로 개구를 덮는 것이 바람직하다. 이러한 기포 장벽은 예를 들어, 미세 네트, 격자, 웹, 펠트 또는 바람직하게는 유리 섬유, 폴리이미드, 폴리아미드, 폴리에스테르 또는 그 밖의 다른 합성 물질과 같은 절연 물질로 이루어진 플리스(fleece)에 의해 구현될 수 있다.
- [0079] 결과적인 자장이 적어도 부분적으로 상호 보상되는 방식으로 도체 테이프의 부분이 배열되어 있는 것이 또한 특히 바람직하다. 개별 테이프 부분이 일정 거리를 두고 배치되어야 하기 때문에, 자장은 매우 강하게 오버랩될 수 없다. 그럼에도, 테이프 부분, 루프 또는 권선의 자장이 상호 보상되는 구성을 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 구성은 예를 들어, 인접 팬케이크에서 반대 전류를 갖는 팬케이크 코일의 적층체 또는 인접 층에서 반대 전류를 갖는 원통형 솔레노이드 또는 인접 층 및/또는 반전 루프에서 반대 전류를 갖는 사행의 적층체이다.
- [0080] 결국, 전류 제한 상태의 도체 테이프를 생성할 수 있고 100 ms의 시간 주기 동안 적어도 50 kW/m²의 면적 전력 밀도(areal power density)를 유지할 수 있는 것이 바람직하며, 도체 테이프를 생성할 수 있고, 손상 없이 100 ms의 시간 주기 동안 적어도 250 kW/m²의 면적 전력 밀도(areal power density)를 유지할 수 있는 것이 특히 바람직하다. 이로 인하여, 제한 상태에서 도체 테이프를 따른 전압 강하가 충분히 크다는 것은 명백하다.
- [0081] 이하에서 첨부 도면을 참고로 하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다.
- [0082] 이하의 설명에서는, 다음의 정의를 사용한다.
- [0083] HTS: 고온 초전도체, 본원에서는 박막의 형태임.
- [0084] CC: 피복된 도체, HTS 피복된 금속 테이프.
- [0085] SFCL: 초전도 한류기.
- [0086] 도체 테이프: 본원에서는 도체 테이프, 테이프 및 CC와 동일한 의미임.

- [0087] 주요 표면: 중요 표면 또는 주 표면; 초전도체로 피복된 CC의 표면 또는 그 반대면.
- [0088] 에지 영역: 에지를 포함하고, HTS 피복을 하지 않은 가능한 여백(margin)을 포함하는 테이프의 측면.
- [0089] 정면: (일측 HTS 피복의 경우에) HTS 피복을 한 주요 표면.
- [0090] 이면: (일측 HTS 코팅의 경우에) HTS 피복을 하지 않은 주요 표면.
- [0091] 테이프 부분: 서로 접촉할 수도 있고 간섭할 수도 있는 테이프의 상이한 부분.
- [0092] 열 변형: 테이프의 정면 측 및 이면 측의 상이한 열 팽창에 의해 야기되는 탄성 또는 소성 굽힘.
- [0093] 지지 구조체: 테이프를 고정 프레임 [예를 들어, 모듈 또는 저온 장치(cryostat), 이하 참조] 에 기계적으로 연결함.
- [0094] 장착 요소: 테이프를 유지하는 지지 구조체 부분.
- [0095] 고정 기기: 지지 구조체의 나머지 부분; 장착 요소를 고정 프레임(예를 들어, 모듈 또는 저온 장치, 이하 참조)에 연결함.
- [0096] 한류기 구성 요소: 고정 기기를 갖는 다수의 연결 테이프 또는 하나의 테이프의 최소 유닛.
- [0097] 모듈: 고정 프레임에 조립되는 하나 이상의 한류기 구성 요소.
- [0098] CC-SFCL: 피복된 도체에 기초한 한류기를 형성하는 저온 장치에 조립되는 하나 이상의 모듈.
- [0099] 전체 시스템: 냉장고를 포함하는 하나 이상의 저온 장치(예를 들어, 3상 기구)와, 측정, 제어 및 스위칭 설비.
- [0100] GRP: 유리-섬유 강화 플라스틱.
- [0101] 스위칭: 초전도로부터 (적어도 부분적으로) 정상 상태로의 도체 테이프의 전이.
- [0102] 제한 상태: 스위칭으로부터 종래의 일련의 스위치의 개방으로의 구간에서의 한류기의 상태.
- [0103] 본 발명의 중요한 특징은 에지에 도체 테이프를 유지하는 것과 도체를 전도성 금속 접촉부로 주요 표면에 부착하는 것 중 어느 하나의 원리에 기초한다. 첫 번째 경우에 있어서, 도체 테이프는 바람직하게는 장착 요소에서 제어된 유극을 가지며, 두 번째 경우에 있어서, 도체 테이프는 견고하게 장착되는 동시에, 분로되도록 전기적으로 접촉된다. 장착 요소 사이에서, 테이프는 바람직하게는 그 길이 대부분에 걸쳐 자체-지지되어 뻗어있다. 오목부를 갖는 에지 고정식 장착 요소의 경우에, 바람직하게는 오목한 요소가 사용되며, 이로써 도체 테이프의 주요 표면은 심지어 이동 시라도, 어떠한 이웃하는 구조와도 접촉할 수 없게 된다. 이러한 원리는 도 1에 개시된다. 따라서, 테이프(11)는 수직, 수평 또는 그 밖의 다른 위치에서 장착 요소(12)의 도움으로 고정될 수 있다.
- [0104] 분로(shunting)에 의해 고정하는 원리는 도 2에 도시되어 있다. 장착 요소는 바람직하게는 테이프에 인접하는 분로부(23)와 고정 기기(도시되지 않음)에 고정될 수 있는 지지부(24)로 구성된다. 그러나 고정 기기에 직접 장착되는 하나의 부분(24)만을 사용하는 것도 가능하다.
- [0105] 테이프는 팽창 중에, 특히 단단히 고정된 경우에, 버클링 또는 현저한 구부러짐 없이 이동될 수 있어야 한다. 이는 2개의 고정 지점 사이의 이동 자유도를 허용함으로써 얻어질 수 있다. 이는, 도체 테이프가 직선을 따르지 않고, 얇은 굽힘부를 나타내는 경우에 특히 바람직하다. 그 후, 길이 팽창은 탄성 곡률에 의해 보상될 수 있다. 이러한 원리는 도 3에 도시된다.
- [0106] 다음으로, 전술한 원리를 설명하는 도체 테이프의 조립체에 대한 해결책의 몇몇 예시가 있다.
- [0107] 테이프를 에지에 유지하는 장착 요소
- [0108] 테이프의 길이를 따라, 유리한 다양한 형태, 예를 들어 박판(도 4a), 직사각형 스테드(도 4b), 라운드형 예지(도 4c), 직선 관형 부재(도 4d), 또는 나팔 부착형 튜브(도 4e), 또는 라운드 포스트(도 4f)가 있다. 나팔 부착형의 경우 및 라운드 포스트의 경우에, 곡률의 길이 방향 반경은 바람직하게는 테이프의 허용 곡률 반경보다 작지 않다. 이러한 방식으로, 테이프는 과도한 구부러짐 또는 버클링에 대해 보호된다.
- [0109] 모든 요소는 양측면으로 이루어져 어느 한쪽이 테이프를 유지하게 할 수 있다. 이는 도 5에서 예를 들어, 관(52)으로 도시되어 있다. 이제까지 설명한 요소는 한쪽 측면에서만 테이프를 유지한다. 테이프를 양면에서 유

지하기 위해서는, 테이프의 양측 상에 상기 요소를 위치시켜야 한다. 교대 배열(도 6a) 또는 쌍을 이룬 배열(도 6b)이 바람직하며, 여기서 쌍은 눈형 부분(eye)을 이루기 위해 단일 구성 요소로 일체화될 수 있다. 상기 눈형 부분이 폐쇄되지 않고, 도 6d에서와 같은 개구를 가지며, 충분한 가요성을 갖는 재료로 이루어지는 것이 바람직하다. 그 후, 테이프는 측면으로부터 삽입될 수 있는데, 이로 인하여 조립이 용이하게 된다. 환형 장착 요소 또는 폐쇄형 눈형 부분의 경우에, 테이프를 도입시킬 수 있는 협소한 커트(narrow cut)를 또한 적용할 수 있다.

[0110] 예지 장착, 냉각제의 접근을 위한 개구, 및 테이프의 양면 상에서의 고정 등의 기본적인 원리에 따른 추가의 바람직한 형상은, 도 7에 도시된 바와 같이, 플라스틱으로 이루어진 탄성 나선형 튜브(72)이다. 나선형 튜브는 권취부를 위해 다용도로 사용될 수도 있고, 비틀림을 갖거나 비틀림을 갖지 않는 자체 지지형 테이프 부분에 대한 절연체로서 사용될 수도 있다. 팜플릿에 공지된 바와 같이 탄성 나선형 및 라운드형 소성 빗형상부(comb)에도 적용된다. 가소성 빗형상부는 테이프를 측면으로부터 용이하게 도입할 수 있기 때문에 특히 유리하다.

[0111] 유극을 둔 장착부 및 유극이 없는 장착부

[0112] 오목형 장착 구성 요소가 도 4 내지 도 7에서와 같이 느슨하게만 테이프를 유지하는 경우, 테이프는 소정의 유극을 두고 중방향으로 제한된 수준으로 자체적으로 변위될 수 있고, 테이프 상에 작용하는 힘을 부여하는 방향으로 변경된다. 이러한 방식으로, 도체 테이프에 손상을 줄 수 있는 강한 변형이 방지된다. 그러나 원칙적으로, 일부 실시예는 테이프의 비교적 경질의 장착부, 예를 들어 쌍 배열(pairwise arrangement) 또는 눈형 요소를 위해 사용됨으로써, 테이프가 클램핑되면서도 손상되지 않는 방식으로 테이프와 장착 요소 사이의 체결을 조절할 수 있다. 이는 바람직하게는 스프링 장착 피트에 의해 얻어질 수 있다.

[0113] 장착 요소와의 접촉

[0114] 도 2의 테이프(21)와 분로부(23) 사이의 접촉은 바람직하게는 클램핑에 의해, 예를 들어 인듐, 은, 비스무스 또는 주석을 기본으로 한 저융점납(low melting solder)에 의해, 가압 접촉에 의해, 은 페이스트 적용에 의해, 예를 들어 은으로 충전된 에폭시 수지를 기본으로 한 접착제 적용에 의해 실행될 수 있다. 연성 금속 포일의 인레이(inlay)를 갖춘 가압 접촉이 바람직하다. 연성 금속 포일은 바람직하게는 테이프 둘레에 권취되고, 인듐, 납, 은 또는 구리로 이루어진다. 예를 들어, 은으로 충전된 에폭시 수지를 기본으로 한 접착제를 적용하는 것이 더욱 바람직하다. 에폭시 수지 중에서, 저온 반응 2 성분 에폭시 수지가 특히 바람직한데, 이는 상기 수지가 바람직한 저온 특성을 나타내기 때문이다.

[0115] 통상적으로, 지지부(24)는 (예를 들어, 접착, 나사 결합, 리벳 결합, 납땜 또는 클램핑에 의해) 분로부(23)에 견고하게 연결된다. 그러나 유극이 있는 링크를 제공하는 것도 가능하다. 또한, 손상된 지점이 그다지 염려스럽지 않은 경우에는, 자체 지지 분로부도 가능하다.

[0116] 테이프 구조

[0117] 한류기 구성 요소용 테이프 구성의 바람직한 실시예는 도 8 내지 도 12에 예시된다. 모든 경우에 있어서, 전술한 바람직한 최소 반경은 유지되어야 한다.

[0118] 도 8은 고정 기기로서 절연 물질의 판 상에 개방 눈부형 장착 요소가 배치되는 팬케이크 코일을 도시한다. 동일한 방식으로, 모든 다른 장착 요소들을 고려할 수 있다. 본원에 도시된 팬케이크 코일은 원형 나선 형태를 갖는다. 다른 예들은 타원형 나선 또는 라운드형 모서리를 갖는 직사각형 나선이다. 팬케이크 코일은 서로 적층될 수 있다. 따라서, 이들은 바람직하게는 자장이 서로 보상할 수 있도록 인접 팬케이크에서 반대 전류를 나타내는 방식으로 연결된다.

[0119] 도 10a 및 도 10b는 그 만곡부가, 짧은 절반-튜브(half-tube)에 부착되는 박판에 의해 유지되는 단층 사행부를 도시한다. 도 10b에서, 테이프의 자체 지지 직선 부분(200)이 각각 180° 만큼 비틀린다. 이는 테이프의 정면 측이 항상 내측 굽힘부에 있으며, HTS-막이 압축 상태에 있기 때문에 유리하다. 또한, 이러한 비틀림은 테이프의 기계적 안정화, 특히 진동에 대한 안정화를 제공한다. 비틀림에 의해, 테이프의 예지는 신장되고, 테이프의 중앙 측은 압축된다. 따라서, 테이프의 최대 변형(ϵ_{max})을 초과하지 않아야 한다. 계산에 의하면 최대 허용 피치는 다음과 같이 산출된다.

$$p_{min} = \frac{\pi \cdot w / 2}{\sqrt{\epsilon_{max}}}$$

[0120]

[0121] 여기서 w 는 테이프의 폭을 나타낸다. 예를 들어, $w=10$ mm 이고, $\epsilon_{max}=0.2\%$ 인 경우, 최소 허용 피치는 180° 비틀림에 대한 175 mm의 자유 길이에 대응하여, 약 350 mm이다. 이러한 공식은 실제 시험을 거쳤다.

[0122]

사행부(meander)는 서로 적층될 수 있다. 도 10c는 2층의 사행부 적층을 도시한다. 포스트는 명료화를 위해 여기서는 도시하지 않는다. 2층 사이에는 비틀림 없는 반전 루프가 있다. 이러한 방식으로, 테이프의 정면은 항상 모든 만곡 부분의 내측면 상에 있을 수 있으며, 또한 전류는 역류한다. 후자는 반전 루프에 적용되지 않는다. 역류의 2개의 반전 루프를 얻기 위해, 적어도 4개의 사행부 적층이 요구된다. 도 10d는 이들을 배치하는 방법을 도시한다. 평탄하고 컴팩트한 배열의 경우에, 테이프는 2개의 포스트 주위를 추가로 에워쌀 수 있다. 그 결과는 도 11a에 도시된다. 이러한 비틀림에 의해, 상기 부분은 접촉 없이 중앙에서 횡단할 수 있고, 정면은 항상 내측면에 놓일 수 있다. 자장은 훨씬 우수하게 보상되고, 이러한 횡단(crossing)이 도 11b에 도시된 바와 같이 간헐적으로 이루어지는 경우 절연 거리는 더 커지게 된다. 그러나 횡단하는 테이프 부분은 정면이 내측면 상에 항상 놓여 있도록 하기 위해 (도면과는 달리) 다시 비틀려야 한다.

[0123]

작은 자체 자장을 갖는 추가 구성은 도 12에 도시된 바와 같은 소위 야구공형 코일 또는 음양 코일이라 불리는 것이다.

[0124]

도 8 내지 도 12와 관련한 실시예에서, 인접한 테이프 부분(100)은 항상 도체 테이프의 폭의 10% 이상, 바람직하게는 40% 이상의 최소 거리를 나타낸다. 이러한 방식으로, 제한 상태 동안 기포의 형성에 의해 도체 테이프의 과도한 변형을 유발하는 것이 방지된다. 최소 거리에 대한 전술한 제한으로 인하여, 본질적으로 기포는 확실히 자유롭게 탈출할 수 있다.

[0125]

가스 기포의 안내

[0126]

고압에서, 바람직하게는 전위차가 1kV를 초과하고, 특히 바람직하게는 2kV를 초과할 때, 넓은 안전 거리를 보다 컴팩트하고 저렴한 구성으로 대체하기 위해, 상이한 전위의 구성 요소를 분리하는 격벽을 사용하는 것이 유리하다. 도 13은 바람직한 실시예를 도시한다. 일 예로서, 팬케이크 코일로 설명된 3개의 한류기 구성 요소(85)가 있다. 각각의 구성 요소(85)는 격벽(86)에 의해 형성되는 별도의 챔버 내에 위치된다. 각각의 챔버는 바람직하게는 상부로 연장되고, 냉각 표면(88)을 갖는 공통의 가스 용기로 안내되는 기포 채널 또는 침니(87)로서 제공된다. 기포 채널은 가스 내의 방전이 안전하게 배제될 수 있도록 충분히 길게 선택되어야 한다. 바람직하게는 서지 탱크(surge tank; 도시되지 않음)가 가스 용기에 부착된다.

[0127]

챔버 각각의 바닥 측면에는 기포 장벽으로서 개구를 덮는 네트(89)가 있다. 이러한 방식으로, 구성 요소의 상호 연결부(90)는 챔버의 아래에 높은 절연 강도를 갖는 기포 없는 냉각액 내에 위치된다. 또한, 특히 분리된 챔버로 안내되고, 과도한 손실을 유발하지 않도록 냉각제의 범위 내에 HTS 재료로 구성될 수 있는 전류 도입선(91)이 있다. 전체 배치는 냉각액을 포함하는 저온 장치로서 도 13에 예시된 고정 프레임에 위치된다.

발명의 효과

[0128]

본 발명에 따르면, SFCL의 작동 상의 문제점 중 적어도 일부를 감소시킬 수 있는 CC-SFCL에 대한 구성 규칙 및 배열을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0001]

도 1은 오목부에 의해 도체 테이프의 에지에서 도체 테이프를 유지하는 원리를 도시한 도면이고,

[0002]

도 2는 주요 표면에 분로(分路)를 마련함으로써, 도체 테이프를 고정시키는 원리를 도시한 도면이고,

[0003]

도 3은 2개의 장착부 사이에 만곡부를 갖는 자체 지지형 레그에 대한 평면도이고,

[0004]

도 4a 내지 도 4f는 오목부의 예시를 도시한 도면이고,

[0005]

도 5는 양측면 장착 요소의 예시를 도시한 도면이고,

[0006]

도 6a 내지 도 6d는 장착 요소의 교차 배열 또는 쌍을 이룬 배열 또는 어퍼처(aperture)에 의한 도체 테이프의

쌍방 지지를 도시한 도면이고,

[0007] 도 7은 장착 요소로서의 나선형 튜브를 도시한 도면이고,

[0008] 도 8은 도체 테이프의 팬케이크 코일이고,

[0009] 도 9는 도체 테이프의 단층 솔레노이드이고,

[0010] 도 10a 내지 도 10d는 다양한 사행(蛇行) 배열로 형성되는 도체 테이프이고,

[0011] 도 11a 및 도 11b는 2개의 포스트 주위를 둘러싼 도체 테이프이고,

[0012] 도 12는 음양(yin-yang) 또는 야구공형 코일이고,

[0013] 도 13은 고압에서의 구성 요소의 격리를 도시하는 도면이다.

[0014] <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

[0015] 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71: 도체 테이프(CC)

[0016] 12, 32, 42, 52, 62, 72: 장착 요소

23: 분로부

[0017] 24: 지지부

85: 한류기 구성 요소

[0018] 86: 구획 벽

[0019] 87: 가스 기포를 구비한 기포 채널 또는 침니(chimney)

[0020] 88: 냉각 표면

[0021] 89: 기포 장벽으로서의 네트

90: 상호 연결부

[0022] 91: 고전압 공급 관통부를 갖춘 전류 도입선

[0023] 92: 저온 유지 장치 또는 모듈 벽

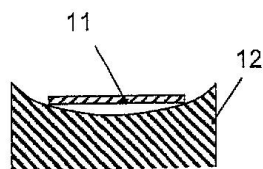
93: 냉각액의 높이

[0024] 100: 인접한 테이프 부분

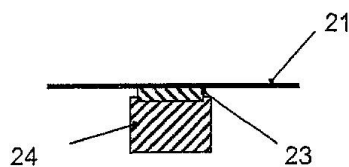
[0025] 200: 비틀림 부분을 갖는 직선 테이프 부분

도면

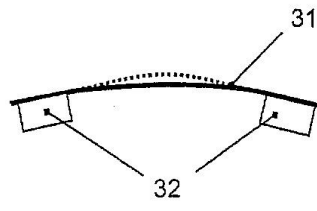
도면1



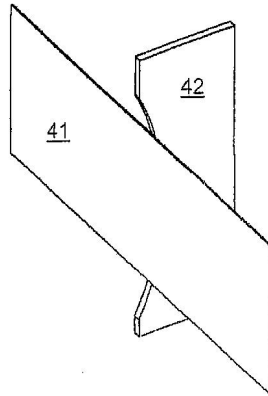
도면2



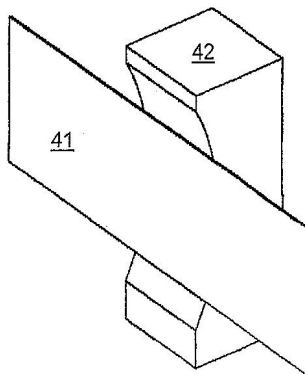
도면3



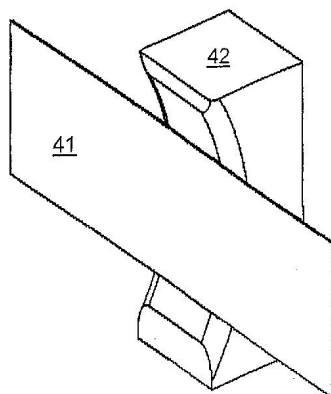
도면4a



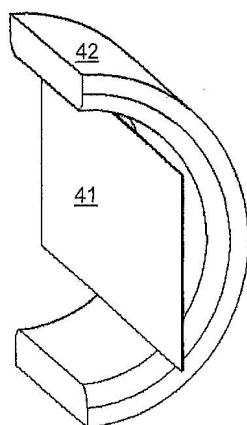
도면4b



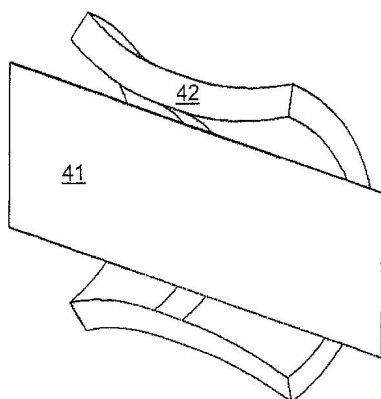
도면4c



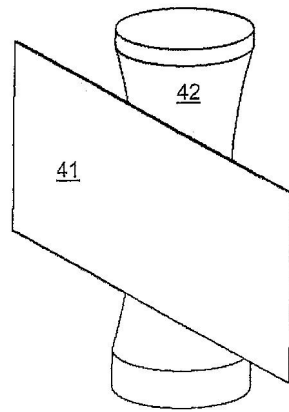
도면4d



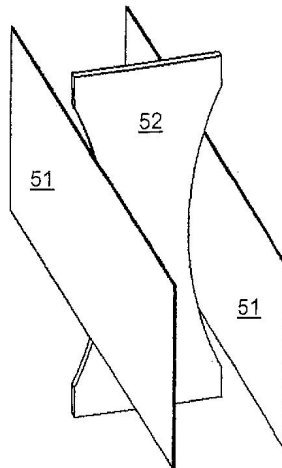
도면4e



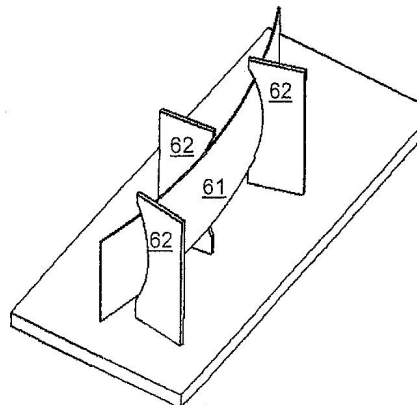
도면4f



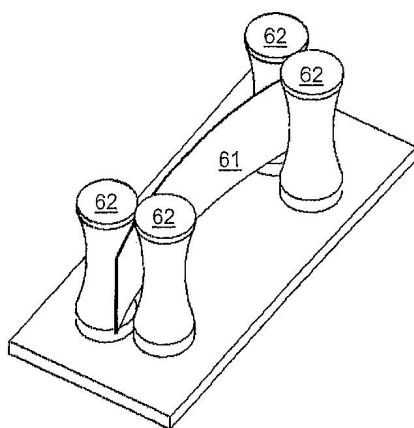
도면5



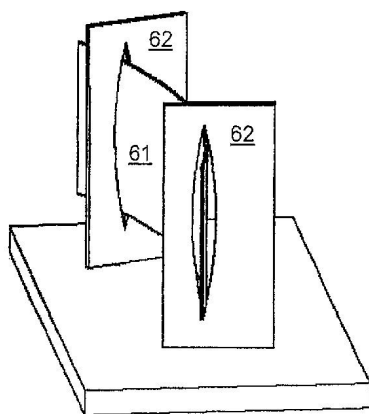
도면6a



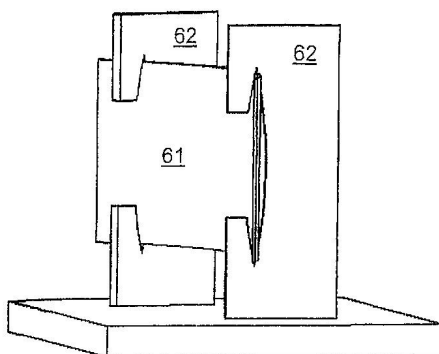
도면6b



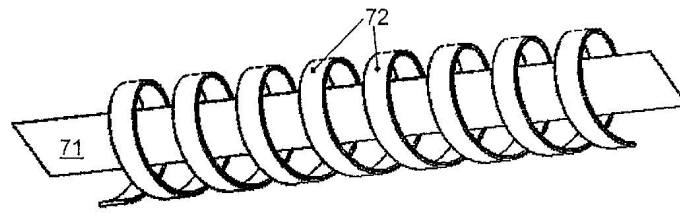
도면6c



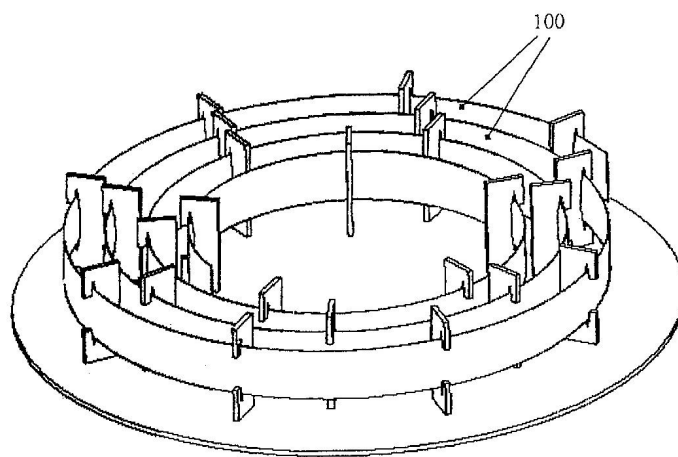
도면6d



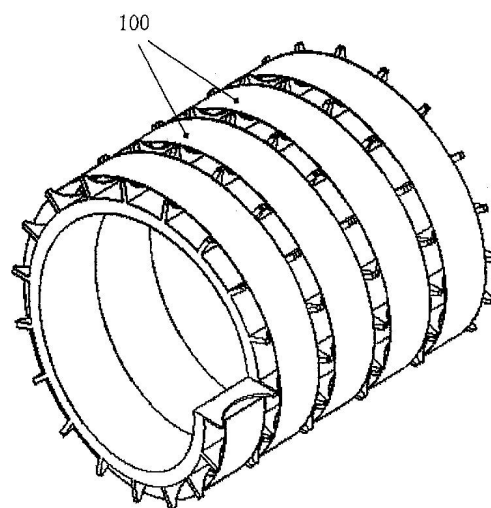
도면7



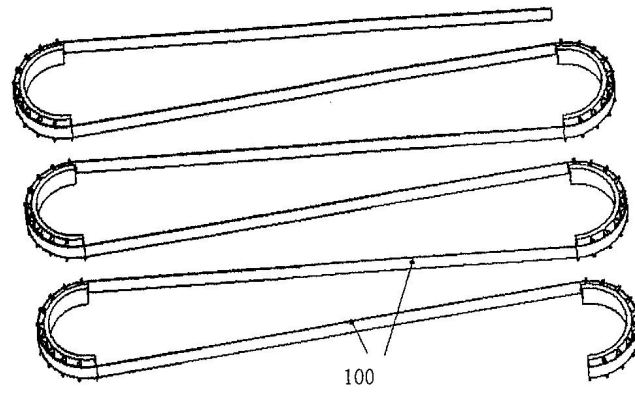
도면8



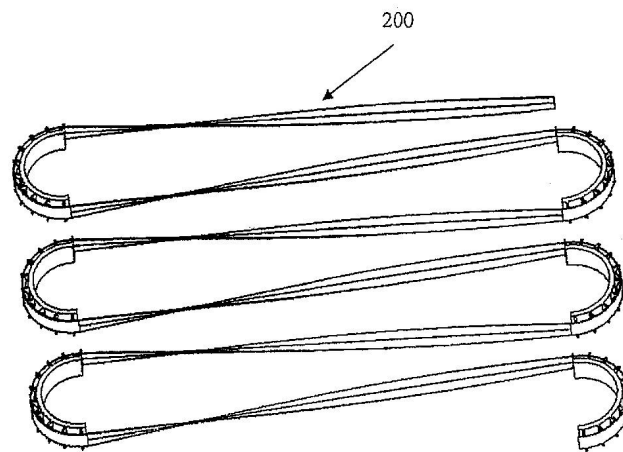
도면9



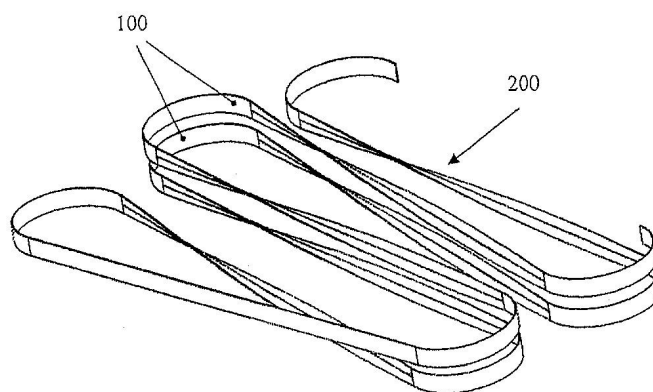
도면10a



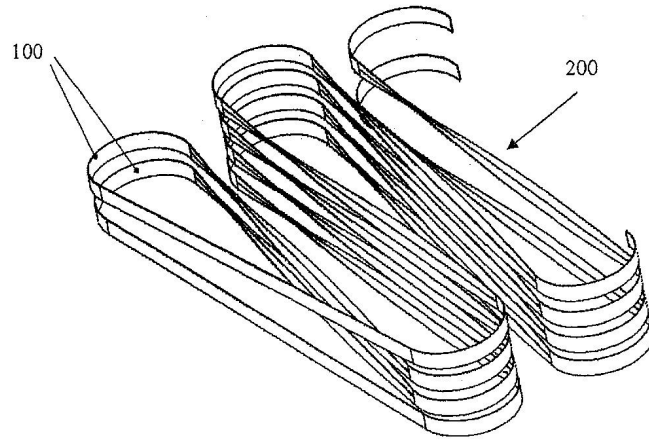
도면10b



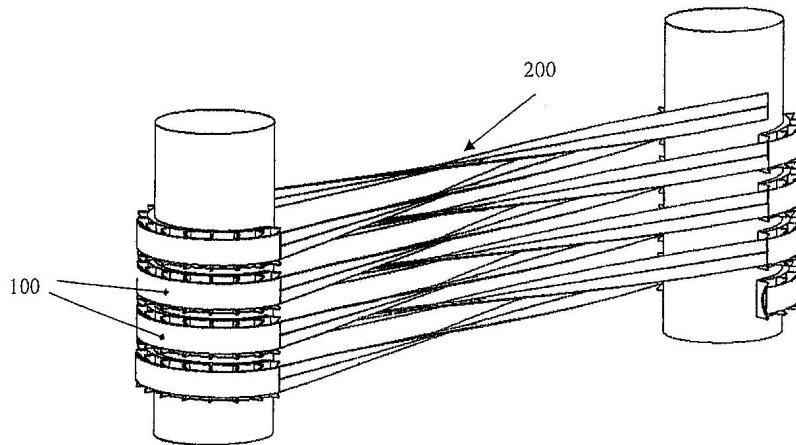
도면10c



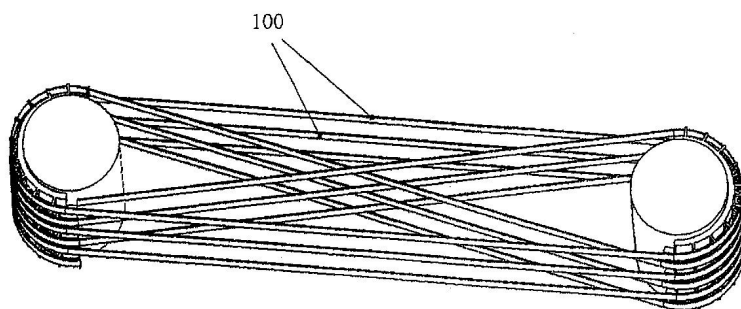
도면10d



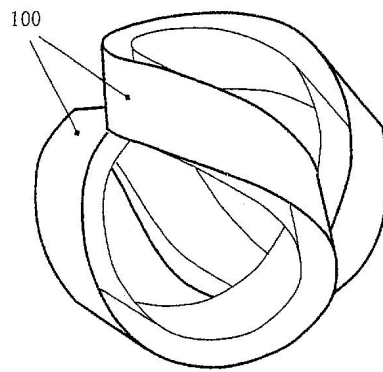
도면11a



도면11b



도면12



도면13

