



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0018198
(43) 공개일자 2022년02월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01F 6/00 (2006.01) H01F 17/06 (2006.01)
H01F 27/245 (2006.01) H02J 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01F 6/00 (2013.01)
H01F 17/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0098412
(22) 출원일자 2020년08월06일
심사청구일자 2020년08월06일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)
(72) 발명자
박민원
경상남도 김해시 덕정로12번길 24 (관동동)
김창순
경상북도 구미시 봉곡로24길 33-11, 116동 1504호
(봉곡동, 봉곡e편한세상)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김종선, 이형석

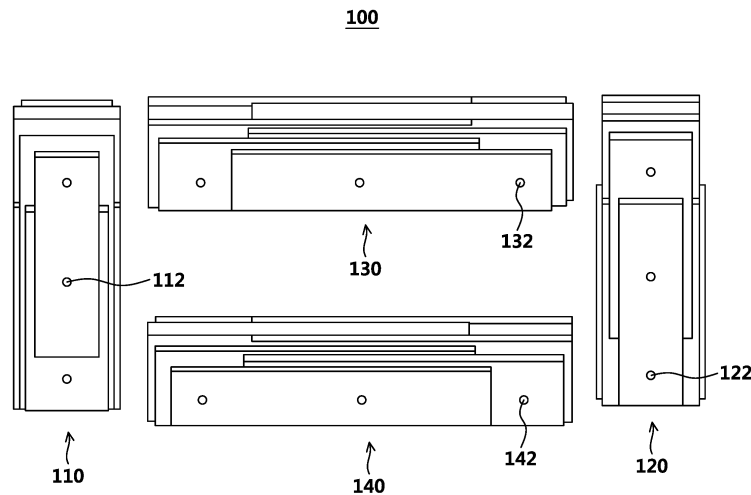
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 초전도 한류기용 철심구조체

(57) 요약

본 발명은 철심 손실을 최소화시키면서 조립이 쉽고 제조가 용이한 초전도 한류기에 적용되는 철심구조체를 제안한다. 본 발명의 철심 구조체는, DC 전력시스템에 사용되는 포화 철심 초전도 한류기(SI-SFCL)의 철심 구조체로서, 복수 개의 단위 철심이 적층 형성되는 제1 내지 제4 철심유닛이 제공되며, 제1 내지 제4 철심유닛들의 결합에 의해 폐심형(closed core type)으로 형성된다. 그리고 상기 제1 내지 제4 철심유닛의 단면은 원형이 되도록 설계된다. 상기 제1 내지 제4 철심유닛의 단면이 원형이 되도록 철심유닛을 구성하는 단위 철심들은, 중앙에 배치된 단위 철심의 길이가 가장 길고, 좌우측 방향으로 배치되는 단위 철심들의 길이는 점점 짧아지게 형성된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01F 27/245 (2013.01)

H02J 1/00 (2013.01)

H01F 2006/001 (2013.01)

Y02E 40/60 (2020.08)

(72) 발명자

다어반권

경상남도 창원시 의창구 퇴촌로9번길 9 (사림동)

이재인

대전광역시 대덕구 대청로250번길 35 (용호동)

레딘브영

경상남도 창원시 의창구 용지로285번길 43 (사림동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	R16XA01
과제번호	R16XA01
부처명	한국전력공사
과제관리(전문)기관명	한국전력공사
연구사업명	연구용역
연구과제명	DC 그리드 초전도 응용 기반기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교 산학협력단
연구기간	2016.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

DC 전력시스템에 사용되는 포화 철심 초전도 한류기(SI-SFCL)의 철심 구조체로서,
복수 개의 단위 철심이 적층 형성되는 제1 내지 제4 철심유닛과;
상기 제1 내지 제4 철심유닛들의 결합에 의해 폐심형(closed core type)을 이루며,
상기 제1 내지 제4 철심유닛의 단면은 원형이 되도록 설계되는 것을 특징으로 하는 초전도 한류기용 철심구조체.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 적층된 단위 철심들 사이에 구비된 절연부재를 더 포함하여 구성되는 초전도 한류기용 철심구조체.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 제1 내지 제4 철심유닛의 단면이 원형이 되도록 철심유닛을 구성하는 단위 철심들은, 중앙에 배치된 단위 철심의 길이가 가장 길고, 좌우측 방향으로 배치되는 단위 철심들의 길이는 점점 짧아지는 초전도 한류기용 철심구조체.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 제1 내지 제4 철심유닛에 적층된 단위 철심은 총 10개가 배치되는 초전도 한류기용 철심구조체.

청구항 5

제2항에 있어서,
상기 단위 철심들에는 비자화 성질의 체결수단이 체결되는 고정홀이 형성되며,
상기 체결수단에 의해 상기 제1 내지 제4 철심유닛들은 서로 결합 및 분리되는 초전도 한류기용 철심구조체.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 제1 내지 제4 철심유닛은,
DC 그리드가 직접 연결되는 제1 립과, 제1 립과 이격되며 DC 전류원이 연결되는 제2 립과, 상기 제1 립과 제2 립의 상부와 하부를 연결하는 제1 요크 및 제2 요크인 초전도 한류기용 철심구조체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초전도 한류기에 관한 것으로, 특히 철심 손실은 최소화되고, 사이즈는 작게하면서도 쉬운 조립으로 제조가 용이하도록 한 초전도 한류기에 적용되는 철심구조체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] VSC-HVDC(Voltage Source Converter) 기반의 고전압 직류 전송은 턴-오프 제어가 가능한 전력 전자 장치를 갖

준 새로운 유형의 DC 전송 기술로, 스마트 그리드의 연구 및 개발과 신재생 에너지 생성의 핵심 기술 중 하나이다. 그러나 상기 VSC-HVDC 기반 시스템은 고장 발생시 매우 크고 빠른 상승속도를 가지는 DC 고장전류가 발생한다. 이러한 DC 고장전류는 컨버터 구성 요소와 보호 장치에 각종 손상을 초래하지만 이를 제거하기가 어렵다.

[0003] 근래에 이러한 DC 고장전류를 억제하고 커패시터 전압 강하를 지연시키기 위해 초전도 고장 전류 제한기(초전도 한류기, SFCL)가 도입되었다. 상기 SFCL는 DC고장 전류의 크기를 감소시켜 DC 컨버터와 같은 설비를 효과적으로 보호하고 DC 회로 차단기의 차단시간과 용량에 마진을 줄 수 있어, 상기 VSC-HVDC 시스템의 보호 체계 설계의 어려움을 줄일 수 있다.

[0004] 상기 초전도 한류기는 여러 종류가 있으나 DC 전원 시스템에 적용 가능성이 확인된 타입은 저항형과 포화 철심형이 있다. 그 중 저항형 초전도 한류기는 저전압 DC 계통 시스템에 사용하는 것이 유리한 반면, 포화 철심형 초전도 한류기(SI-SFCL)는 초전도체의 재료적인 한계를 직접적으로 고려하지 않아도 되기 때문에 VSC-HVDC 시스템에 적합하다.

[0005] 이와 같은 상기 SI-SFCL에 대한 구조는 도 1에 나타내고 있다. 도시된 바와 같이 SI-SFCL(1)는 하나의 철심(10), DC 계통(DC grid)(22)과 직렬 연결된 1차 상전도 코일(20), DC 전류 소스(32)에 의해 공급되는 2차 초전도 코일(30)을 포함하여 구성된다.

[0006] 이러한 구성에 따르면 정상 상태에서 1차 코일(20)은 2차측에서 생성된 자기장에 의한 철심(10)의 포화로 인해 DC 계통(22)에 공심 인덕터로 나타난다. 그러나 고장이 발생하면 고장 전류가 크게 증가하여 철심(10)이 비포화 상태가 되므로, 1차 코일(20)의 인덕턴스가 매우 짧은 시간 동안 정상상태에 비해 훨씬 커지고 고장 전류를 제한할 수 있게 된다. 이처럼 철심(10)은 SI-SFCL(1) 설계를 하는데 핵심 구성요소 중 하나이며, 이는 정상 상태에서 1차 코일(20)의 공심화뿐만 아니라 고장전류의 제한성능을 결정하기 때문이다.

[0007] 그러나 고전압 환경에서 사용이 적합한 SI-SFCL(1)은 설계가 복잡하고 제작비용이 크다. 특히 상기 SI-SFCL(1)의 설계시 철심 구조가 중요하다. 철심을 어떻게 설계하는냐에 따라 히스테리시스 손실 및 와전류 손실을 포함한 철심 손실을 줄일 수 있고, 크기를 최소화하면서도 쉽게 제작할 수 있기 때문이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서 본 발명의 목적은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 고전압 환경에서 SI-SFCL 시스템에 적합하면서도 철심 손실은 최소화하고 종래보다 작은 사이즈면서 제조가 쉬운 초전도 한류기용 철심구조체에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, DC 전력시스템에 사용되는 포화 철심 초전도 한류기(SI-SFCL)의 철심 구조체로서, 복수 개의 단위 철심이 적층 형성되는 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛과; 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛들의 결합에 의해 폐심형(closed core type)을 이루며, 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛의 단면은 원형이 되도록 설계되는 것을 특징으로 하는 초전도 한류기용 철심구조체를 제공한다.

[0010] 상기 적층된 단위 철심들 사이에 구비된 절연부재를 더 포함하여 구성된다.

[0011] 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛의 단면이 원형이 되도록 철심유닛을 구성하는 단위 철심들은 중앙에 배치된 단위 철심의 길이가 가장 길고, 좌우측 방향으로 배치되는 단위 철심들의 길이는 점점 짧아진다.

[0012] 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛에 적층된 단위 철심은 10개 이상이다.

[0013] 상기 단위 철심들에는 비자화 성질의 체결수단이 체결되는 고정홀이 형성되며, 상기 체결수단에 의해 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛들은 서로 결합 및 분리된다.

[0014] 상기 제1 철심유닛 내지 제4 철심유닛은, DC 그리드가 직접 연결되는 제1 림(first limb)과, 제1 림(first limb)과 이격되며 DC 전류원이 연결되는 제2 림(second limb)과, 상기 제1 림(first limb)과 제2 림(second limb)의 상부와 하부를 연결하는 제1 요크(first yoke) 및 제2 요크(second yoke) 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0015] 이상과 같은 본 발명의 초전도 한류기용 철심구조체에 따르면, 2개의 림과 2개의 요크가 서로 결합하며, 림 및 요크는 각각 복수 개의 단위 철심이 적층되어 구성되고, 적층 사이에는 종이나 절연유가 구비된다. 또한 복수 개의 단위 철심이 적층 구성된 철심유닛들(즉 림과 요크)의 단면은 대략 원형에 가깝도록 설계되어 있다.
- [0016] 따라서 DC 전력 시스템에 이러한 철심 구조체가 채용된 SI-SFCL의 경우 고장 전류 제한 성능이 향상되며, 와전류 손실 감소로 인하여 철심의 손실을 최소화할 수 있다.
- [0017] 그리고 림과 요크를 체결수단으로 결합 및 분리가 용이하기 때문에 철심 설계가 용이하다.
- [0018] 또한 SI-SFCL의 제작 비용에서 큰 부분을 차지하는 초전도 선재의 사용량을 절감할 수 있으며, SI-SFCL가 채용된 전체 시스템의 사이즈도 감소되는 효과를 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 일반적인 SI-SFCL 시스템 구성도
- 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 초전도 한류기용 철심구조체의 분리도
- 도 3은 도 2의 각 림과 요크의 분리 사시도
- 도 4는 도 2의 결합된 예시도
- 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 실시 예에 따른 철심구조체의 원형 단면도
- 도 6a 및 도 6b는 철심구조체의 림과 요크의 치수를 나타낸 단면도
- 도 7은 본 발명 실시 예에 따라 SFCL의 고장 제한 성능을 보여준 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명의 목적 및 효과, 그리고 그것들을 달성하기 위한 기술적 구성들은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0021] 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다.
- [0022] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있다. 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0023] 포화 철심형 초전도 한류기(SI-SFCL)가 채용된 DC 전력 시스템에서 DC 선로에 단락 고장이 발생하면, 커패시터가 방전하며 축전된 에너지가 고장전류를 나타낸다. 그리고 이러한 고장전류는 상기 SI-SFCL의 1차측 코일을 통해 흐르며 자기장을 발생시켜 정상상태에서 포화되어 있는 철심을 불포화를 거쳐 역포화상태로 진행하게 된다. 이때 순간적으로 증가하는 인덕턴스로 인해 고장전류를 제한하게 된다. 이러한 고장전류 제한 과정에서 철심에서 발생하는 손실이 크면 상기 SI-SFCL의 고장제한 성능을 저하시키게 된다.
- [0024] 철심에서 발생하는 손실에 영향을 주는 요소는 재료, 크기 및 형상 등을 말할 수 있는데, 본 발명은 이러한 철심 구조체를 개선하여 DC 전력 시스템에서 SI-SFCL의 크기 및 제조비용을 줄이며, 아울러 고장전류제한 성능을 향상시키기 위한 것이라 할 것이며, 이하 철심 구조체에 대하여 도면에 도시한 실시 예에 기초하면서 본 발명에 대하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다.
- [0025] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 초전도 한류기용 철심구조체의 분리도, 도 3은 도 2의 각 림과 요크의 분리 사시도, 도 4는 도 2의 결합된 예시도이다.
- [0026] 본 발명의 철심 구조체(100)에 사용되는 철심은 재료의 포화 자기장 및 저항에 기초하여 히스테리시스 및 와전류 손실을 최소화할 수 있는 재질이 선택된다. 예를 들어 탄소강(S45C)일 수 있다. 아울러 철심 구조체(100)의 단면적 및 자기 경로의 길이는 DC 시스템의 정격 전력 및 코어 재료 특성에 기초하여 결정될 것이다.

[0027] 철심 구조체(100)는, 도면에서와 같이 세로방향의 2개의 림(Limb)(110, 120)과 가로방향의 2개의 요크(yoke)(130, 140)로 구성된다. 림은 좌측 림(제1 림)(110)과 우측 림(제2 림)(120)을 포함하며, 요크는 상단 요크(제1 요크)(130)와 하단 요크(제2 요크)(140)를 포함한다. 상기 좌측 림(110)과 우측 림(120)에 각각 1차 코일과 2차 코일(미도시)이 감기게 될 것이다. 그리고 상기 림보다 상기 요크가 더 길게 형성될 수 있다. 림과 요크의 기하학적인 치수는 아래에서 살펴볼 것이다.

[0028] 도 3에 도시한 바와 같이 상기 좌측 림(110), 우측 림(120), 상단 요크(130) 및 하단 요크(140)는 각각 단위 철심이 적층구조로 구성된다. 그리고 상기 단위 철심들이 적층된 구조를 철심 유닛이라 칭하여 설명하기도 한다. 그래서 상기 좌측 림(110), 우측 림(120), 상단 요크(130) 및 하단 요크(140)를 제1 내지 제4 철심 유닛이라 할 수 있다. 상기 단위 철심들이 적층된 구조는 아래에서 설명할 것이다.

[0029] 제1 내지 제4 철심 유닛(110 ~140)을 이루는 단위 철심을 적층으로 구성하는 이유는 와전류 손실을 감소시키기 위한 것이다. 이때 상기 와전류 손실은 상기 단위 철심이 가지는 두께의 제곱에 대하여 반비례하며, 따라서 적정 개수의 단위 철심으로 적층하는 것이 좋다.

[0030] 바람직하게, 본 발명에 따르면 단위 철심은 10개를 적층하여 와전류 손실을 약 1/100으로 감소하였다. 적층된 단위 철심의 개수가 너무 많으면 철심 구조체의 제조비용 및 조립 난이도가 올라가기 때문이다. 즉 단위 철심의 갯수를 10 이상으로 하는 이유는 도 7 및 하기 표 1를 참조하면 더 명확하게 알 수 있다. 도 7은 단위 철심의 갯수에 따른 SFCL의 고장 제한 성능을 나타낸 그래프이다.

[0031] 도 7과 하기 표 1을 보면, 단위 철심(코어 라미네이션)의 개수를 늘리면 SFCL의 성능은 향상될 수 있으며, 그리고 코어 라미네이션이 10개 이상인 경우에 SFCL의 고장전류 제한율을 70%까지 달성할 수 있기 때문이다.

표 1

[0032]

Items	Fault level	Limitation rate(%)
No SFCL	500A	0
Solid core	360A	28
2 laminations	321A	35.8
3 laminations	279A	44.2
4 laminations	240A	52
5 laminations	212A	57.6
6 laminations	189A	62.2
7 laminations	173A	65.4
8 laminations	162A	67.6
9 laminations	155A	69
10 laminations	148A	70.4
11 laminations	142A	71.6

[0033] 상기 단위 철심에는 고정홀(112, 122, 132, 142)이 형성된다. 고정홀(112, 122, 132, 142)에는 비자화 성질을 가지는 비철이나 스테인리스 재질로 제조된 볼트와 같은 체결수단(미도시)이 삽입된다. 체결수단에 의해 좌측 림(110), 상단 요크(130), 우측 림(120), 하단 요크(140)가 서로 연결되어, 도 4와 같이 하나의 철심 구조체를 완성하게 된다. 상기 체결수단에 의해 각각의 철심 유닛들이 결합되었기 때문에, 필요에 따라 체결수단을 해제하는 것으로 철심 구조체를 쉽게 분해할 수 있다.

[0034] 도 4의 철심 구조체는 사방이 막힌 폐심형 타입이며, 도시하지 않은 1차 코일과 2차 코일은 좌측 요크(110) 및 우측 요크(120)에 감기게 된다. 1차 코일은 DC 계통과 직렬로 연결되고, 2차 코일은 DC 전류 소스와 연결된다.

[0035] 본 발명에 따르면, 상기 림(110, 120) 및 요크(130, 140)를 구성하는 단위 철심들의 두께는 동일하나 길이는 다르게 형성된다. 그래서 제1 내지 제4 철심유닛(110 ~ 140)의 단면을 보면 대략 원형이 되도록 설계되는데, 도 5를 참조하여 살펴본다.

[0036] 도 5a는 제1 내지 제4 철심유닛(110 ~ 140)의 단면 모양을 나타낸 도면으로, 이를 보면 10개의 단위 철심(a ~ j)이 적층된 상태이고, 원형이 되도록 가운데 단위 철심(e, f)의 길이가 가장 길고, 가운데 단위 철심(e, f)을 기준으로 양 측면으로 갈수록 단위 철심의 길이가 짧아지게 되는 형상이다. 그리고 적층된 단위 철심이 10개이기 때문에 각각 대응하는 2개의 단위 철심의 길이는 같게 설계될 것이다. 예를 들어 도면의 좌측에서 우측방향으로 제1 단위 철심(a) 내지 제10 단위 철심(j)이라 하면, 제1 단위 철심(a)과 제10 단위 철심(j)의 길이가 가

장 짧고, 제5 단위 철심(e)과 제6 단위 철심(f)의 길이가 가장 길다.

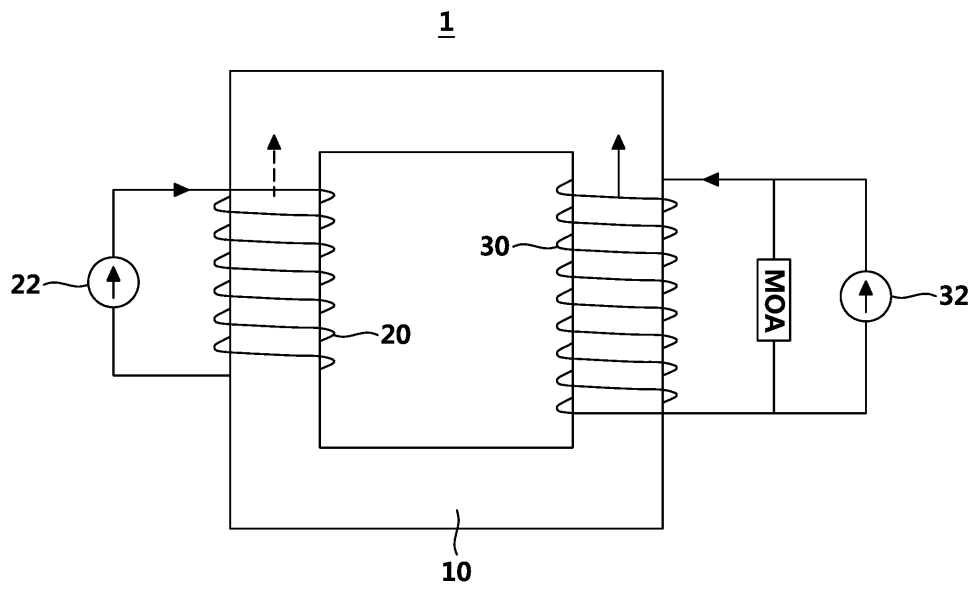
- [0037] 도 5a에서와 같이 각 철심 유닛의 단면 모양은 각 단위 철심의 모서리가 연결된 원형 형상이 되게 설계하면, 1차 코일 및 2차 코일의 사용량과 누설 자속을 줄일 수 있어, 전체 와이어의 사용량을 줄일 수 있음은 물론 코일의 크기와 전체 와이어 길이를 최소화할 수 있다.
- [0038] 그리고 각 철심 유닛은 가로방향의 폭(W)과 세로방향의 높이(H)를 갖는다. 철심 유닛의 폭(W)은 제1 단위 철심(a)에서 제10 단위 철심(j)까지의 거리가 되며, 철심 유닛의 높이(H)는 제5 단위 철심(e)이나 제6 단위 철심(f)의 높이가 된다. 여기서 상기 철심 유닛의 폭(W)은 제1 단위 철심(a) 내지 제10 단위철심(j)들 각각의 폭을 단순히 더한 값보다 더 크다. 즉 철심유닛의 적층된 단위 철심들 사이에는 와전류의 흐름을 제한하여 철심의 전체 저항을 증가시키기 위해 종이 또는 절연유가 구비되기 때문에 이러한 종이 또는 절연유의 두께까지 고려되어야 할 것이다.
- [0039] 도 5b는 본 실시 예에 따라 단위 철심 및 적층된 철심유닛의 사이즈를 수치로 예시한 도면이다. 위에서 설명한 바와 같이 각 단위철심의 두께(thickness of one sheet)는 13mm이고, 실시 예는 이러한 단위철심이 10개가 적층된 구조이기 때문에 철심유닛의 전체 두께는 130mm이다.
- [0040] 그리고 단위철심의 길이를 살펴보면, a 및 j는 80mm, b 및 i는 112mm, c 및 h는 132mm, d 및 g는 142mm, 중앙의 e 및 f는 150mm로 설계된다. 물론 이러한 수치는 일 실시 예에 불과하고, 얼마든지 변경 가능하다.
- [0041] 도 6a 및 도 6b는 철심구조체의 림과 요크의 치수를 나타낸 단면도이다. 도시된 바와 같이, 림과 요크 모두 단위 철심이 10개가 적층된 상태에서 두께는 130mm이다. 그리고 전체 길이(total length)를 살펴보면 림(110, 120)은 500mm 요크(130, 140)은 600mm로 설계되어 있다. 그러나 이 역시 길이를 다르게 하여 설계할 수 있음은 당연할 것이다.
- [0042] 이와 같이 본 발명에 따르면, 철심 구조체가 2개의 림과 2개의 요크가 서로 결합하는 구조이고, 각각은 단위 철심이 적층되어 구성된다. 또한 복수 개의 단위 철심이 적층 구성된 철심유닛들(즉 림과 요크)의 단면은 대략 원형에 가깝도록 설계됨을 알 수 있다.
- [0043] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

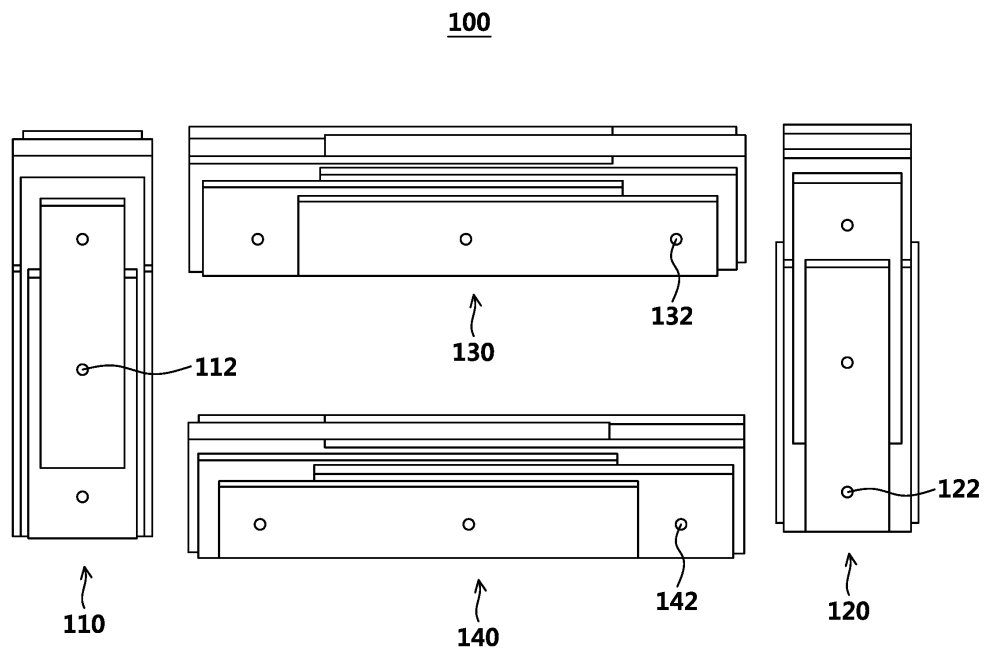
- [0044] 100: 철심 구조체
 110: 좌측 림(제1 림)
 120: 우측 림(제2 림)
 130: 상단 요크(제1 요크)
 140: 하단 요크(제2 요크)
 112, 122, 132, 142: 고정홀

도면

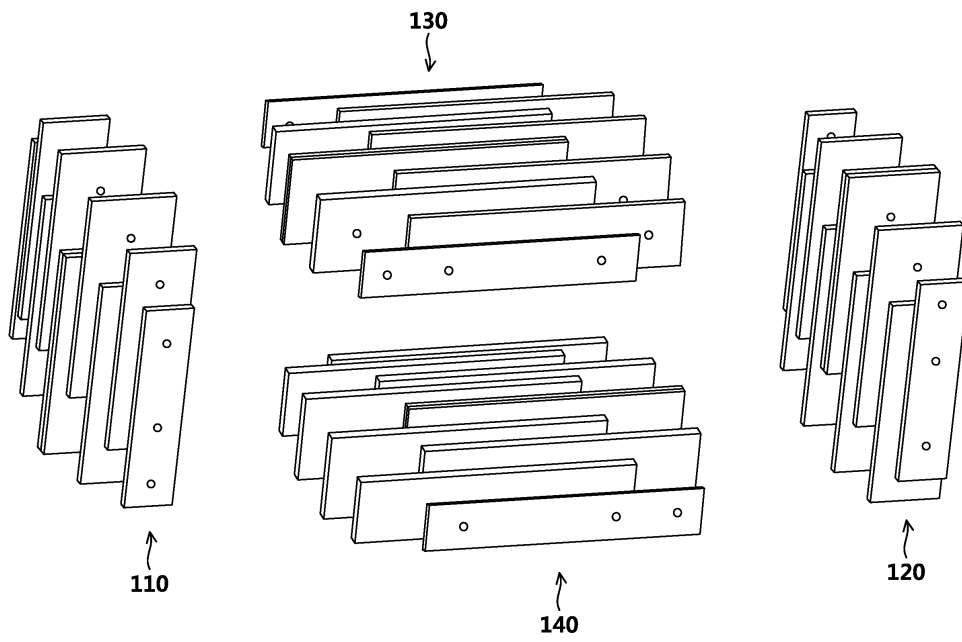
도면1



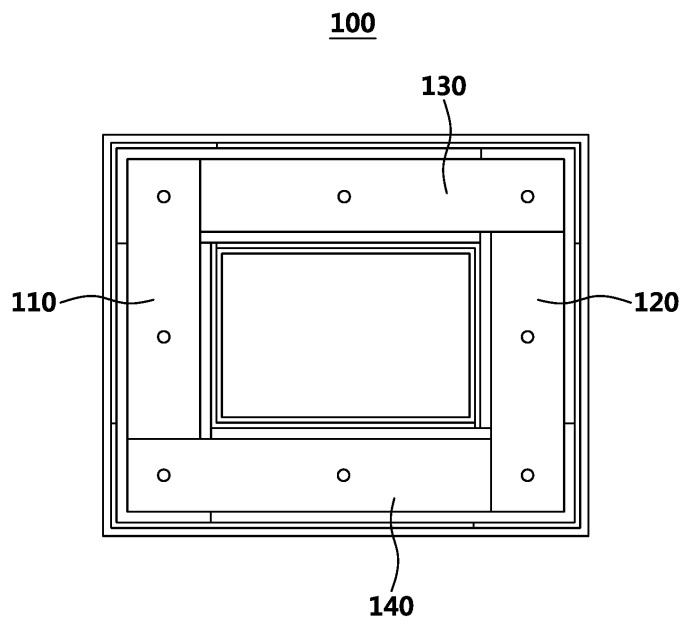
도면2



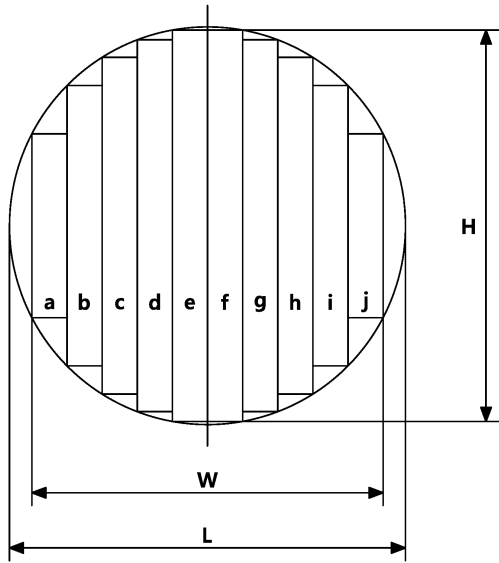
도면3



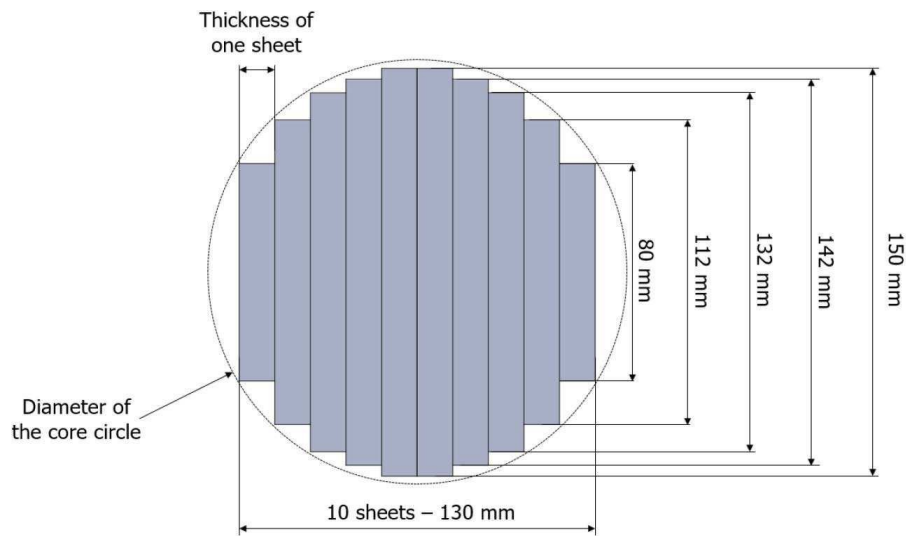
도면4



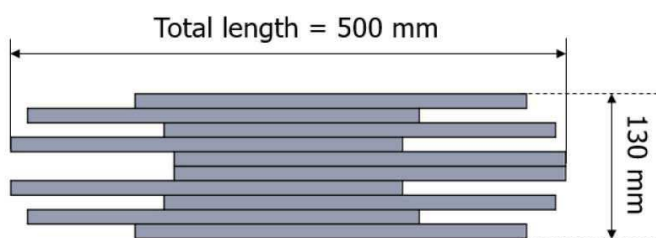
도면5a



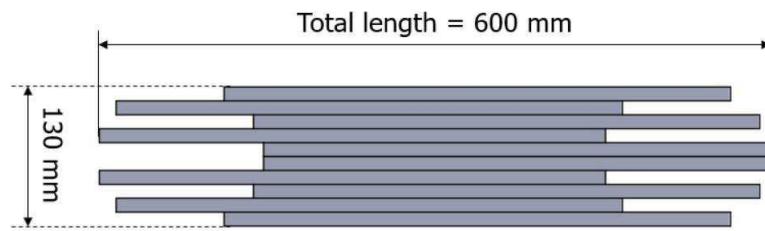
도면5b



도면6a



도면6b



도면7

