



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0036091
(43) 공개일자 2022년03월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 9/02 (2006.01) H01F 6/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 9/023 (2018.01)
H01F 6/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0118254
(22) 출원일자 2020년09월15일
심사청구일자 2020년09월15일

(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

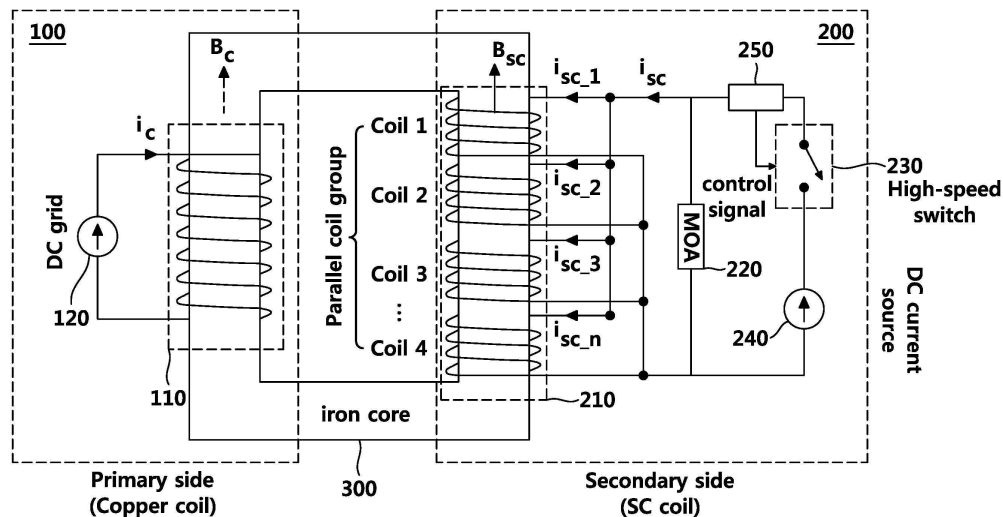
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 보호장치

(57) 요약

본 발명은 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기(SI-SFCL)의 보호 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 철심 코어; 상기 철심 코어에 권선되며, 1차측 전원에 직렬 연결되는 1차측 코일; 상기 철심 코어에 복수개 단위 코일이 이격되어 권선되며, 2차측 전원에 상기 복수개 단위 코일이 병렬 연결되는 2차측 코일; 상기 2차측 전원을 상기 2차측 코일과 연결 또는 분리하는 스위칭 소자; 및 상기 스위칭 소자에 의해 상기 2차측 전원이 분리되는 경우, 상기 2차측 코일을 보호하는 MOA 소자를 포함하며, 고장 발생 시 2차측 바이어스를 위한 DC 전원장치를 즉시 격리 및 보호하고 높은 유도 전압 및 전류로부터 초전도 코일을 보호할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

Y02E 40/60 (2020.08)

Y02E 60/60 (2020.08)

Y10S 505/85 (2013.01)

(72) 발명자

다어반권

경상남도 창원시 의창구 퇴촌로9번길 9 (사림동)

이재인

대전광역시 대덕구 대청로250번길 35 (용호동)

레딘브영

경상남도 창원시 의창구 용지로285번길 43 (사림동)

명세서

청구범위

청구항 1

철심 코어;

상기 철심 코어에 권선되며, 1차측 전원에 직렬 연결되는 1차측 코일;

상기 철심 코어에 복수개 단위 코일이 이격되어 권선되며, 2차측 전원에 상기 복수개 단위 코일이 병렬 연결되는 2차측 코일;

상기 2차측 전원을 상기 2차측 코일과 연결 또는 분리하는 스위칭 소자; 및

상기 스위칭 소자에 의해 상기 2차측 전원이 분리되는 경우, 상기 2차측 코일을 보호하는 MOA 소자를 포함하는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

전류 센서를 더 포함하는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 스위칭 소자는, 상기 전류 센서에 의해 측정된 전류가 미리 설정된 값을 초과하는 경우, 상기 2차측 전원을 상기 2차측 코일과 분리하는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 스위칭 소자는, 상기 2차측 전원에 직렬 연결되며, 상기 MOA 소자 및 상기 2차측 코일에 병렬 연결되는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 MOA 소자는, 상기 2차측 코일의 잔여 에너지를 방출시키고, 상기 2차측 코일의 과전압을 억제시키는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 MOA 소자는, 상기 2차측 코일 및 상기 2차측 전원에 병렬 연결되는, SI-SFCL의 보호 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 철심코어는 라미네이션 구조로 구성되며,

상기 철심코어의 림(limb)은 홈 또는 바를 이용한 간격을 형성하여 상기 1차측 코일 및 상기 2차측 코일을 권선하는, SI-SFCL의 보호 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기에 대한 보호 방식에 관한 것으로, 보다 상세하게는 DC 전원 시스템에서 적용되는 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기에 대한 보호 체계에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 전력 수요의 급증에 따라, 고압 교류 송전(HVAC, High Voltage Alternating Current) 방식 대비 고압 직류 송전(HVDC, High Voltage Direct Current)방식은 대용량의 에너지를 통한 장거리 송전에 유리하기 때문에 차세대 전력계통의 기술분야에서 각광받고 있다.

[0003] 그 중 전압 소스 컨버터(VSC, Voltage source converter) 기반의 고압 직류 송전(HVDC, High Voltage Direct Current)은 자체적으로 턴-온/턴오프 기능이 있는 IGBT 소자를 사용하여 고속으로 교류를 직류로 변환할 수 있는 전송기술로, 유효/무효 전력을 각각 제어할 수 있으며 멀티 터미널(multi terminal) 방식으로 연결할 수 있다.

[0004] 그러나 VSC-HVDC 송전 방식의 DC 시스템에서 단락 오류가 발생되면, DC 링크 캐패시터의 방전으로 인해 매우 빠른 속도로 높은 서지 전류를 발생하게 되어 고장 발생의 문제점을 초래한다. 여기서 캐패시터의 전압이 모두 방전될 때, 전류의 연속성에 의해 프리휠 다이오드를 통해 고장전류가 흐르게 된다. 즉, VSC의 컨버터 장치가 손상될 수 있기 때문에 VSC-HVDC 시스템을 현실적으로 광범위하게 적용하기에는 어렵다.

[0005] 근래에 이러한 VSC-HVDC 시스템의 고장 전류를 제한하기 위해 유도형(Inductive), 저항성(Resistive), 포화 철심형(SI, Saturated Iron-core) 초전도 고장 전류 제한기(SFCL, Superconducting Fault Current Limiter)(초전도 한류기) 등 여러 종류의 초전도 고장 전류 제한기가 도입된다. 그 중 포화 철심형 초전도 고장 전류기 제한기(SI-SFCL)는 고장 전류를 비교적 낮은 수준으로 제한할 수 있기 때문에 VSC-HVDC 시스템에서 적합하다.

[0006] 이와 같은 고장 전류 제한기 중 포화 철심형 초전도 고장 전류기 제한기(SI-SFCL)의 구조는 하나의 철심, DC 그리드(DC grid)와 직렬 연결된 상전도체의 1차측 코일, DC 전류원에 의해 공급되는 초전도체의 2차 초전도 코일을 포함하여 구성된다.

[0007] 이러한 구성을 가지는 SI-SFCL를 실제 전압원 컨버터를 사용하는 DC 시스템에 적용하게 되면 오류가 발생하는 경우에 DC 링크 캐패시터의 방전으로 인해 몇 밀리초 내에 매우 높은 서지 전류가 발생하는 문제가 있다.

[0008] DC 링크 캐패시터 내 모든 전압이 방전되면 전류의 연속성에 의해 프리휠 다이오드(Free Wheel Diode)를 통해 고장전류가 흐르게 되며 이때 컨버터 장치에서 손상이 발생할 수 있으므로 DC 고장전류로부터 회로를 보호해야 한다.

[0009] 그러나, DC 전원 시스템은 AC 전원 시스템에서 발생하는 고장 전류와는 달리 전류의 제로 크로싱 포인트(Zero Crossing Point)가 없으므로 고장전류를 차단하고 회로 차단기에서 아크를 소호하는 것이 어려운 문제가 있다.

[0010] 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 대두된 것이 SFCL로서 고장 전류를 상대적으로 낮은 레벨로 줄이기 위해 도입되었으며, 이는 고유한 물리적 특성으로 인해 신속하게 고장전류를 제한할 수 있어 HVDC 시스템의 DC 차단기에 대한 스트레스를 줄이는데 효과적으로 이용되고 있다.

[0011] 그러나, 기존 SI-SFCL의 경우 초전도체에서 ?치(quench) 현상을 활용하지 않기 때문에 과도 고장 전류 하에서 초전도 코일의 특성을 보호하는데 한계가 있어 SI-SFCL에 설치되는 초전도 코일은 DC 고장전류로 발생할 수 있는 높은 유도 전류 및 전압을 견딜 수 있도록 설계된다. 이 때문에 SI-SFCL을 생산하는데 비용이 매우 많이 들며, 고용량 DC 전원 시스템에서는 구현하기에 어려운 문제가 발생한다.

[0012] 따라서, DC 그리드(전원 시스템)에서 SI-SFCL에 대한 보호를 위하여 과도 고장 전류 하에서 고장 전류를 비교적 낮은 수준으로 제한하기 위한 SI-SFCL의 보호장치가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1785838호 (2017년09월29일 등록)

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 제10-2011-0002749 호 (2011년01월10일 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 DC 전원 시스템용 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기에 대한 보호체계를 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0015] 또한, 본 발명은 고장 발생 시 2차 측 바이어스를 위한 DC 전원 장치를 즉시 격리 및 보호하고 높은 유도전압 및 전류로부터 초전도 코일을 보호하는 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에서의 SI-SFCL의 보호장치는 철심 코어; 상기 철심 코어에 권선되며, 1차 측 전원에 직렬 연결되는 1차측 코일; 상기 철심 코어에 복수개 단위 코일이 이격되어 권선되며, 2차측 전원에 상기 복수개 단위 코일이 병렬 연결되는 2차측 코일; 상기 2차측 전원을 상기 2차측 코일과 연결 또는 분리하는 스위칭 소자; 상기 스위칭 소자에 의해 상기 2차측 전원이 분리되는 경우, 상기 2차측 코일을 보호하는 MOA 소자를 포함할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 SI-SFCL의 보호장치는 전류 센서를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 스위칭 소자는, 상기 전류 센서에 의해 측정된 전류가 미리 설정된 값을 초과하는 경우, 상기 2차측 전원을 상기 2차측 코일과 분리할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 스위칭 소자는, 상기 2차측 전원에 직렬 연결되며, 상기 MOA 소자 및 상기 2차측 코일에 병렬 연결할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 MOA 소자는, 상기 2차측 코일의 잔여 에너지를 방출시키고, 상기 2차측 코일의 과전압을 억제할 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 MOA 소자는, 상기 2차측 코일 및 상기 2차측 전원에 병렬 연결할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 철심코어는 라미네이션 구조로 구성되며, 상기 철심코어의 림(limb)은 홈 또는 바를 이용한 간격을 형성하여 상기 1차측 코일 및 상기 2차측 코일을 권선할 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 상기와 같은 본 발명의 SI-SFCL의 보호장치는 고장 발생 시 2차측 바이어스를 위한 DC 전원 장치를 즉시 격리 및 보호하고 높은 유도전압 및 전류로부터 초전도 코일을 보호할 수 있다.
- [0024] 또한, 2차측 바이어스용 DC 전류 장치 차단으로 인해 철심코어는 불포화 상태로 빠르게 진입하여 DC 전원 시스템에서 SI-SFCL의 고장 제한 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0025] 또한, 초전도 코일의 유도 전압을 감소시켜 권선간 절연 및 초전도 선재의 비용을 절감할 수 있다.
- [0026] 또한, SI-SFCL 작동 시 신뢰도 및 안전성을 향상시킬 수 있으며, 고용량 DC 전원 시스템에도 적용할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 이하에서 설명할 내용으로부터 통상의 기술자에게 자명한 범위 내에서 다양한 효과들이 포함될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전원 시스템용 SI-SFCL의 구조 및 보호체계를 나타내는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 철심코어의 다양한 형태를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 2차측 코일이 병렬로 연결된 SI-SFCL의 등가회로 및 보호회로를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 2차측 코일이 직렬로 연결된 SI-SFCL의 등가회로 및 보호회로를 나타내는

도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전원 시스템용 SI-SFCL의 동작 순서를 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명의 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0030] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0031] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0032] 공간적으로 상대적인 용어인 아래(below, beneath, lower), 위(above, upper) 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 구성 요소들과 다른 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 구성 요소의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 구성 요소를 뒤집을 경우, 다른 구성 요소의 아래(below, beneath)로 기술된 구성 요소는 다른 구성 요소의 위(above, upper)에 놓일 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 아래는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 구성 요소는 다른 방향으로도 배향될 수 있고, 이에 따라 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.
- [0033] 본 발명에서 사용되는 “부” 또는 “부분” 등의 일부분을 나타내는 표현은 해당 구성요소가 특정 기능을 포함할 수 있는 장치, 특정 기능을 포함할 수 있는 소프트웨어, 또는 특정 기능을 포함할 수 있는 장치 및 소프트웨어의 결합을 나타낼 수 있음을 의미하나, 꼭 표현된 기능에 한정된다고 할 수는 없으며, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0034] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.
- [0035] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른, 식당 정보 제공 시스템에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0036] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전원 시스템용 SI-SFCL의 구조 및 보호체계를 나타내는 도면이다.
- [0037] 본 발명의 초전도 고장 전류 제한기(SFCL)는 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기(SI-SFCL, Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter) 구조 일 수 있으나, 반드시 이러한 구조에 국한되지 않는다.
- [0038] 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기는 철심코어(300)의 중심을 기준으로 마주보는 방향으로 1차측(100)과 2차측(200)으로 구성될 수 있다.
- [0039] 1차측(100)은 1차측 코일(110) 및 DC 그리드(DC grid)(120)로 구성될 수 있다.
- [0040] 2차측(200)은 2차측 코일(210), 금속 산화물 피뢰기(MOA, Metal oxide arrester)(220), 고속 스위칭 소자(230) 및 DC 전류원 소스(current source)(240)로 구성될 수 있다.
- [0041] 철심코어(300)는 평행한 변에 복수의 코일이 권선될 수 있다.
- [0042] 도 1에 도시된 바와 같이, 철심(10)은 "□" 자형 철심코어로 구성될 수 있으며, 1차측 코일(110) 및 2차측 코일(210)이 "□" 자형 철심코어(300)의 평행하여 마주보는 양 변에 권선될 수 있다.

- [0043] 1차측 코일(110) 및 2차측 코일(210)은 기설정된 권선비에 의해 권선되는 횟수가 달라질 수 있다.
- [0044] 1차측 코일(110)은 상온에서 일반적인 전기 전도를 가지는 상전도체의 도선이며, 2차측 코일(210)은 매우 낮은 온도에서 전기 저항이 0[Ω]에 가까워지는 초전도 현상이 나타나는 초전도체의 도선으로 구성될 수 있다.
- [0045] 1차측 코일(110)은 DC 그리드(DC grid)(120)와 직렬로 연결되고, 2차측 코일(220)은 DC 전류원 소스(240)과 연결될 수 있다.
- [0046] 2차측 코일(210)은 철심코어(300)를 기준으로 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)이 이격되어 권선될 수 있으며, 복수개 단위 코일로 구성된 코일 그룹은 병렬로 연결될 수 있다. 다만, 복수의 코일 그룹의 병렬 연결은 하나의 일 실시예에 해당하며, 2차측 코일(210)은 직렬 형태로 하나의 코일 그룹으로도 구성될 수도 있다.
- [0047] 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측 코일(210) 및 2차측 전원인 DC 전류원 소스(current source)(240)에 병렬로 연결될 수 있다.
- [0048] 금속 산화물 피뢰기(220)는 자기장 에너지를 빠르게 방출하여 초전도 코일로 구성되는 2차측 코일(210)의 과전압을 억제할 수 있다. 다시 말하면, 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측 코일(210)의 잔여 에너지를 방출하여 2차측 코일(210)을 포함하는 2차측(200) 전원 시스템의 과전압을 보호할 수 있다.
- [0049] 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측 코일(210)의 잔여 에너지를 방출시켜 2차측 코일(210)의 과전압을 억제시키는 역할을 수행할 수 있다.
- [0050] 고속 스위칭 소자(230)는 2차측 코일(210) 및 2차측 전원인 DC 전류원 소스(current source)(240)에 직렬로 연결될 수 있다. 고속 스위칭 소자(230)는 높은 유도 전압 또는 전류 발생 등의 고장이 발생하는 경우, DC 전류원 소스(240) 또는 초전도 코일로 구성되는 2차측 코일(210)을 보호하기 위하여 전원의 흐름을 차단하는 역할을 수행할 수 있다.
- [0051] 고속 스위칭 소자(230)는 감지장치(250)의 감지 신호를 기반으로 제어될 수 있다. 감지장치(250)는 2차측 코일(210)과 DC 전류원 소스(240) 사이에 직렬로 연결될 수 있으며, 감지장치(250)는 전류센서를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0052] 감지장치(250)는 2차측 코일(210)과 DC 전류원 소스(240) 사이에 흐르는 전류를 감지하여 임계값 이상일 경우 고장이 발생하였다고 판단하여 고속 스위칭 소자(230)에 스위칭을 지시하는 제어 신호를 제공할 수 있다.
- [0053] 감지장치(250)와 고속 스위칭 소자(230)는 고장 발생 시 DC 전류원 소스(240)이 즉시 격리되도록 짧은 응답 시간을 갖도록 설계되어야 한다. 그에 따라 고속 스위칭 소자(230)는 FET(Field Effective Transistor), TR(Transistor), 다이오드 등 제어 신호에 따라 빠르게 스위칭 동작을 수행할 수 있는 소자라면 소자에 대한 제한을 두지 않는다.
- [0054] 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기에서 결함이 발생하면 1차측(100)이 불포화 상태로 변환되어야 한다. 그러나, 2차측 코일(210)의 높은 유도 전류를 통해 불포화 상태로 변환되는 것을 방지함으로써 인해 초전도 고장 전류 제한기의 제한 능력에 영향을 줄 수 있다.
- [0055] 결함 발생으로 인하여 높은 유도 전류가 인가된 2차측(200)의 2차측 코일(210)은 병렬로 연결되어 높은 유도 전류를 감소하는 한편, 감지장치(250)는 고속 스위칭 소자(240)를 동작시켜 DC 전류원 소스(240)의 유입을 차단함으로써 유도 전류가 흐르는 것을 방지할 수 있다. 고속 스위칭 소자(240)가 동작하면 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측(200)에 잔류한 에너지를 회로 밖으로 방출할 수 있다.
- [0056] 또는, 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 동작을 정지하기 위하여 전원을 차단하면, 1차측(100)에 순간적으로 높은 유도 전압이 발생하게 된다. 이러한 높은 유도 전압은 2차측(200)에 유도되어 DC 전류원 소스(240)에 영향을 미쳐 손상이 발생할 우려가 있다. 2차측(200)에 높은 유도 전압이 발생하는 경우 감지장치(250)는 높은 유도 전압을 감지하여 고속 스위칭 소자(240)에 스위칭 제어 신호를 인가하여 고속 스위칭 소자(240)를 오픈 상태로 변경함으로써 DC 전류원 소스(240)의 손상을 방지할 수 있다.
- [0057] 유도전류는 철심코어(300)의 자화에 영향을 미치지 않으며 철심코어(300)의 1차측이 불포화 상태로 더 빨리 들어가므로 SI-SFCL은 고장전류 제한 성능이 향상되는 효과를 볼 수 있다.
- [0058] 고속 스위칭 소자(230)가 오픈되어 2차측 코일(210)과 DC 전류원 소스(240) 사이에 흐르는 전류가 차단되면 2차측(200)은 2차측 코일(210)과 금속 산화물 피뢰기(220)로 구성되는 폐쇄 루프 회로가 형성될 수 있다.

- [0059] 2차측(200)에 폐쇄 루프 회로가 형성되면 금속 산화물 피뢰기(220)의 보호 전압은 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 고장 전류 제한 성능에 영향을 줄 수 있다.
- [0060] 금속 산화물 피뢰기(220)의 보호 전압을 증가시키면 고장 전류는 더 많이 감소하지만 유도 전압 또한 증가하므로 2차측 코일(210)을 보호하기 위해서는 더 높은 수준의 절연이 필요하므로 높은 비용이 발생하며, 금속 산화물 피뢰기(220)의 보호 전압을 감소시키면 유도 전압이 감소하여 2차측 코일(210)을 보호하기 위해 상대적으로 낮은 수준의 절연이 필요하므로 상대적으로 낮은 비용으로 제작을 할 수 있으나 고장 전류가 증가하여 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 고장 전류 제한 성능이 감소하는 문제가 발생할 수 있다.
- [0061] 그러므로, 금속 산화물 피뢰기(220)의 보호 전압 레벨은 복수의 실험을 통해 제한된 비용 이내에서 최적의 고장 전류 제한 성능이 발현될 수 있도록 분석을 통해 설계 단계에서 조절하여 설정할 수 있다.
- [0062] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 철심코어(300)의 다양한 형태를 나타내는 도면이다.
- [0063] 도 2의 (a)를 참조하면, 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 철심코어(300)는 우측 림(limb)(제1 철심)(310), 좌측 림(제2 철심)(320), 상단 요크(yoke)(제3 철심)(330) 및 하단 요크(제4 철심)(340)로 구성되며, 제1 철심 내지 제4 철심(310 ~ 340)은 각각 단위 철심이 적층구조(라미네이션 구조)로 구성될 수 있다.
- [0064] 제1 철심 내지 제4 철심(310 ~ 340)은 서로 같거나 다른 너비 및 높이를 가질 수 있다.
- [0065] 상기 적층 구조는 제1 철심 내지 제4 철심(310 ~ 340)의 각각의 너비에 대비하여 맞물려지는 너비만큼 짧은 철심을 교차하며 적층할 수 있다.
- [0066] 예를 들어, 제1 철심(310)의 경우 철심코어(300)를 형성하는 데 있어서 제3 철심(330) 및 제4 철심(340)과 연결되게 되며, 이때 제1 철심(310)을 구성하는 철심은 제3 철심 및 제4 철심(330, 340)의 너비만큼 짧은 철심을 이용하여 교차함으로써 이후 철심코어(300)를 구성하는 데 있어 길이가 정확하게 맞물리도록 제작할 수 있다.
- [0067] 다만, 이러한 철심의 길이는 고정적인 것이 아니며 사용자의 설계에 따라 철심의 길이 및 형태를 변화할 수 있다.
- [0068] 또한, 제1 철심 내지 제4 철심(310 ~ 340)은 단면이 사각형일 수 있으나, 원형 또는 다각형으로 형성이 가능하다.
- [0069] 도 2의 (b), (c)는 상기 도 2의 (a) 중 제1 철심(310)의 모양을 변경한 도면이다.
- [0070] 제1 철심(310)은 기본적으로 직육면체의 형태로 예시되어 설명을 실시하고 있으나, 철심코어(300)에 코일을 권선하게 되면 정확한 위치에 권선하는데 어려움이 발생할 수 있다.
- [0071] 상기와 같은 어려움을 해결하기 위하여 제1 철심(310)과 제2 철심(320)의 형태를 변형할 수 있다.
- [0072] 도 2의 (b)를 참조하면, 제1 철심(310)은 복수의 홈(311-1 ~ 311-n)을 포함할 수 있다.
- [0073] 복수의 홈(311-1 ~ 311-n)은 상기 도 1에서와 같이 철심코어(300)에 병렬 연결되는 2차측 코일(210)의 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수와 동일하게 설계할 수 있으며, 이러한 복수의 홈(311-1 ~ 311-n)에 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)을 각각 권선하여 권선의 편의성을 도모하는 한편 생산 효율을 증대시킬 수 있다.
- [0074] 예를 들어, 제1 홈(311-1)에는 제1 단위 코일(Coil 1)이 권선되고, 제2 홈(311-2)에는 제2 단위 코일(Coil 2)이 권선되는 형태로 권선될 수 있다.
- [0075] 다만, 이러한 실시 예는 단편적인 예시에 해당하며, 제1 홈(311-1)에 제1 단위 코일(Coil 1) 및 제2 단위 코일(Coil 2)이 함께 권선되거나, 제1 철심(310)에 하나의 홈을 형성하여 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)을 모두 권선하는 방식으로 하나의 간격에 복수의 단위 코일을 권선할 수 있다.
- [0076] 또한, 복수의 홈(311-1 ~ 311-n)과 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수가 동일하도록 설계하는 것이 기본이나, 필요에 따라 차후 설계 변경이 가능하도록 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수에 대비하여 더 많은 수의 홈을 포함시킬 수도 있다.
- [0077] 복수의 홈(311-1 ~ 311-n)은 권선되는 코일의 길이에 따라 깊이를 조절할 수 있으며, 필요에 따라 홈의 형태가 아닌 볼록한 요철(凸)형태로도 구성될 수 있다.
- [0078] 또한, 도면상에 도시하지는 않았으나, 제2 철심(320) 또한 제1 철심(310)과 동일하게 1차측 코일(110)이 권선되

는 위치에 홈 또는 요철 형태를 포함할 수 있다.

- [0079] 도 2의 (c)를 참조하면, 제1 철심(310)은 복수의 바(312-1 ~ 312-m)를 포함할 수 있다.
- [0080] 복수의 바(312-1 ~ 312-m)는 철심코어(300)와 동일 재질로 구성되거나 절연체를 이용하여 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n) 사이에서 발생할 수 있는 이상 전류를 차단할 수 있다.
- [0081] 복수의 바(312-1 ~ 312-m)는 상기 도 1에서와 같이 철심코어(300)에 병렬 연결되는 2차측 코일(210)의 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수와 동일한 수의 간격(313-1 ~ 313-n)을 형성하도록 설계할 수 있으며, 이러한 간격(313-1 ~ 313-n)에 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)을 각각 권선하여 권선의 편의성을 도모하는 한편 생산 효율을 증대시킬 수 있다.
- [0082] 예를 들어, 제1 간격(313-1)에는 제1 단위 코일(Coil 1)이 권선되고, 제2 간격(313-2)에는 제2 단위 코일(Coil 2)이 권선되는 형태로 권선될 수 있다.
- [0083] 다만, 이러한 실시 예는 단편적인 예시에 해당하며, 제1 간격(313-1)에 제1 단위 코일(Coil 1) 및 제2 단위 코일(Coil 2)이 함께 권선되거나, 제1 철심(310)에 하나의 간격을 형성하여 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)을 모두 권선하는 방식으로 하나의 간격에 복수의 단위 코일을 권선할 수 있다.
- [0084] 또한, 도면상에 도시하지는 않았으나, 제2 철심(320) 또한 제1 철심(310)과 동일하게 1차측 코일(110)이 권선되는 위치에 바를 이용하여 간격을 형성할 수 있다.
- [0085] 또한, 복수 개의 간격(313-1 ~ 313-n)과 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수가 동일하도록 설계하는 것이 기본이나, 필요에 따라 차후 설계 변경이 가능하도록 복수개 단위 코일(Coil 1 ~ Coil n)의 수에 대비하여 더 많은 수의 간격을 포함시킬 수도 있다.
- [0086] 본 발명의 철심코어(300)는 초전도 고장 전류 제한기의 고장 제한 성능을 유지 또는 증가시키는 한편 와전류 손실 감소를 통해 철심의 손실을 최소화할 수 있는 구조라면 상기 라미네이션 구조를 포함한 다양한 구조로 구성될 수 있다.
- [0087] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 2차측 코일이 병렬로 연결된 SI-SFCL의 등가회로 및 보호회로를 나타내는 도면이다.
- [0088] 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명의 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기(SI-SFCL, Saturated Iron-core Superconducting Fault Current Limiter)는 철심코어(300)의 중심을 기준으로 마주보는 방향으로 1차측(100)과 2차측(200)으로 구성될 수 있다.
- [0089] 1차측(100)은 R_c 와 L_c 성분을 포함하는 1차측 코일(110) 및 V_{DC} 값을 갖는 DC 그리드(grid)(120)로 구성될 수 있다.
- [0090] 2차측(200)은 복수의 단위 코일이 병렬로 연결되어 있는 2차측 코일(210), 기설정된 저항(R_{MOA})값을 가지는 금속 산화물 피뢰기(220), 고속 스위칭 소자(230), DC 전류원 소스(current source)(240) 및 전류 센서(250)으로 구성될 수 있다.
- [0091] 1차측 코일(110)은 상온에서 일반적인 전기 전도를 가지는 상전도체의 도선이며, 2차측 코일(210)은 매우 낮은 온도에서 전기 저항이 0[Ω]에 가까워지는 초전도 현상이 나타나는 초전도체의 도선으로 구성될 수 있다.
- [0092] 1차측 코일(110)은 DC 그리드(DC grid)(120)와 직렬로 연결되고, 2차측 코일(220)은 DC 전류원(240)과 연결될 수 있다.
- [0093] 2차측 코일(210)의 복수의 단위 코일은 저항 성분($R_{sc_1} \sim R_{sc_n}$)과 리액턴스 성분($L_{sc_1} \sim L_{sc_n}$)을 포함하며 DC 전류원 소스(240)(i_{sc})를 그룹의 수로 나눈 값을 전류 값($i_{sc_1} \sim i_{sc_n}$)으로 가질 수 있다.
- [0094] 감지장치(250)는 전류 센서로 구성될 수 있으며, 2차측(200)의 2차측 코일(210)과 DC 전류원 소스(240) 사이에 흐르는 전류를 감지할 수 있다.
- [0095] 2차측 코일(210)과 DC 전류원 소스(240) 사이에 흐르는 전류가 기 설정된 임계값 이상이 되는 경우에 감지장치(250)는 고속 스위칭 소자(240)에 제어 신호를 인가하며, 고속 스위칭 소자(230)는 제어 신호가 인가되면 스위치를 오픈 상태로 변경하여 DC 전류원 소스(240)의 전류가 2차측(200)에 인가되는 것을 중지할 수 있다.

- [0096] 고속 스위칭 소자(240)가 오픈 상태로 변경되면 2차측(200)은 금속 산화물 피뢰기(220)와 2차측 코일(210)로 구성되는 폐쇄 루프가 형성되며, 폐쇄 루프가 형성되면 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측(200)의 잔여 에너지를 방출시켜 2차측 코일(210)의 과전압을 억제시키는 역할을 수행할 수 있다.
- [0097] 도 4는 도 3의 구성에 대비하여 2차측 코일(210)이 병렬연결에서 직렬연결로 연결 방법만을 변경한 SI-SFCL의 등가회로 및 보호회로를 나타내는 도면이다.
- [0098] 병렬 및 직렬로 연결된 두 가지 형태의 코일은 DC 전류원 소스(240)에서 공급되는 전원을 제외하고 코일의 권선 수, 동작 전류, 자기장의 크기 등이 모두 동일하다고 가정하면, 코일을 병렬 연결하는 경우에 직렬 연결하는 경우에 대비하여 병렬 코일의 개수(n 개)에 대해 n 배 높은 DC 전류를 공급해야 한다. n 배 높은 값의 전류는 각 코일로 분산되어 실제 코일에서 발생시키는 자기장은 직렬로 연결된 값과 동일한 값으로 전류 값이 설정될 수 있으며, 이로 인하여 유도 전압이 $1/n$ 배로 감소되는 효과가 있다.
- [0099] 예시하면, 1차측(100)에 고장이 발생하여 1차측 코일(110)에 높은 전압이 걸리면 2차측(200)의 2차측 코일(210)에 매우 높은 전류가 유도되어 절연 문제로 인해 2차측 코일(210)이 파손될 위험이 있다. 이러한 경우에 2차측 코일(210)이 직렬로 연결되어 있으면 높은 유도 전류가 2차측 코일(210)에 직접 인가되어 2차측 코일(210)이 파손될 위험이 있으나, 2차측 코일(210)이 병렬로 연결되면 $1/n$ 으로 유도 전류가 분할되는 효과를 가져올 수 있어 파손의 위험성을 낮출 수 있다.
- [0100] 상기와 같은 이유로 도 1과 같이 코일을 복수 개의 단위 코일로 구성하여 병렬 연결한 형태를 실시 예로 하여 설명을 하고 있으나, 도 4와 같이 상황에 따라 직렬 연결하여 사용할 수도 있다.
- [0101] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 DC 전원 시스템용 SI-SFCL의 동작 순서를 나타내는 순서도이다.
- [0102] 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기(SI-SFCL)에 결함이 발생하면(S100), 1차측(100)이 불포화 상태로 변환되어야 하나 2차측(200)의 2차측 코일(210)에 높은 유도 전류가 인가되어 불포화 상태를 방지하고 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 고장 제한 능력에 영향을 줄 수 있다(S200).
- [0103] 2차측 코일(210)에 높은 유도 전류가 인가되면 감지장치(250)는 2차측(200)에 흐르는 유도 전류가 기 설정된 값 이상인지 감지하여 고속 스위칭 소자(240)에 제어 신호를 인가할 수 있다(S300).
- [0104] 고속 스위칭 소자(230)는 감지장치(250)에서 인가한 제어 신호를 받아 스위치를 개방(open)상태로 변경하여 유도 전류가 2차측(200)에 흘러 DC 전류원 소스(240)에 유입됨으로 인하여 고장이 발생하는 것을 방지할 수 있다(S400).
- [0105] 고속 스위칭 소자(230)가 개방됨으로 인해 DC 전류원 소스(240)를 제외한 2차측(200)은 2차측 코일(210)과 금속 산화물 피뢰기(220)로 구성되는 폐쇄회로가 형성되며, 금속 산화물 피뢰기(220)는 2차측(200)의 2차측 코일(210)에 잔류하고 있는 높은 유도 전류를 방출하여 고장 전류를 제한할 수 있다(S500).
- [0106] 이와 같은 동작을 통하여 본 발명의 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기는 고장 발생 시 2차측 바이어스를 위한 2차측 전류원 소스를 즉시 격리 및 보호할 수 있어 높은 유도전압 및 전류로부터 초전도 코일을 보호할 수 있다.
- [0107] 또한, 2차측 전류원 소스를 보호함으로 인하여 철심코어는 불포화 상태로 빠르게 진입할 수 있어 DC 전원 시스템에서 포화 철심형 초전도 고장 전류 제한기의 고장 제한 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0108] 또한, 초전도 코일의 유도 전압을 빠르게 외부로 방출시킬 수 있어 권선간 절연 및 초전도 선재의 제조 비용을 절감할 수 있다.
- [0109] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

- [0110] 100: 1차측

110: 1차측 코일

120: DC 그리드

200: 2차측

210: 2차측 코일

220: MOA

230: 고속 스위칭 소자

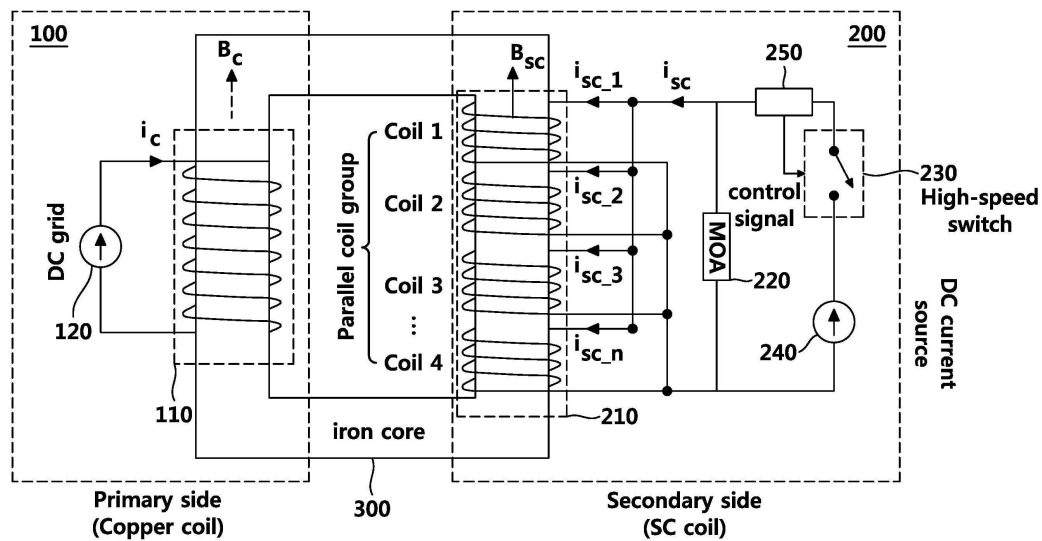
240: DC 전류원 소스

250: 감지장치

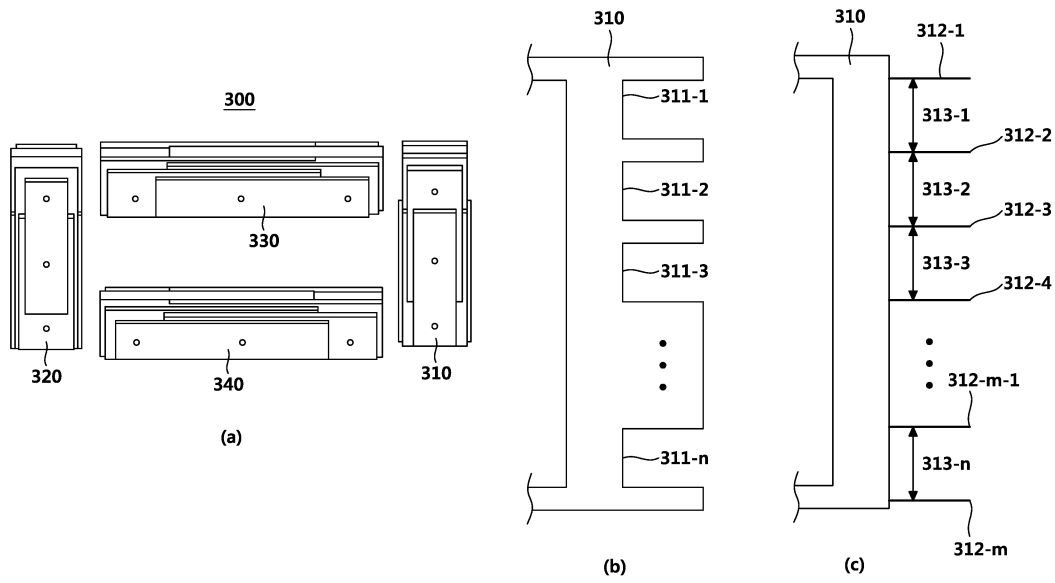
300: 철심코어

도면

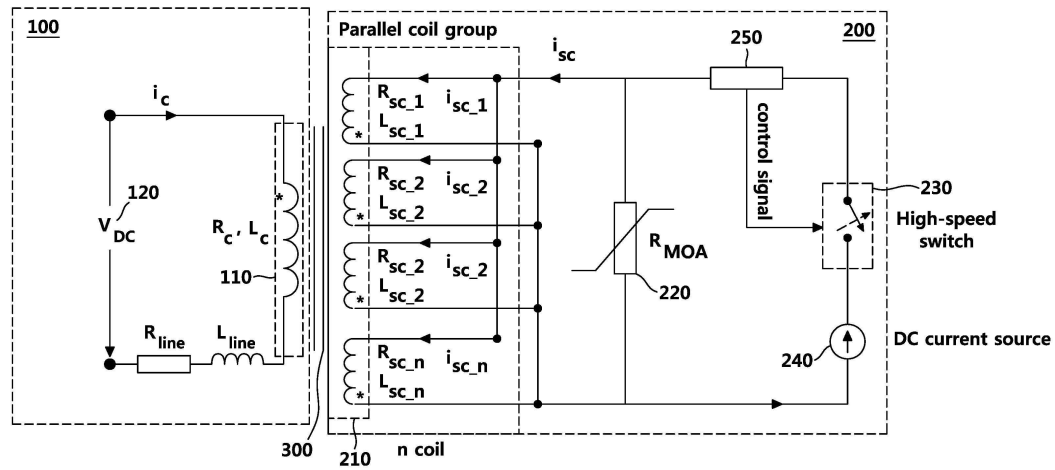
도면1



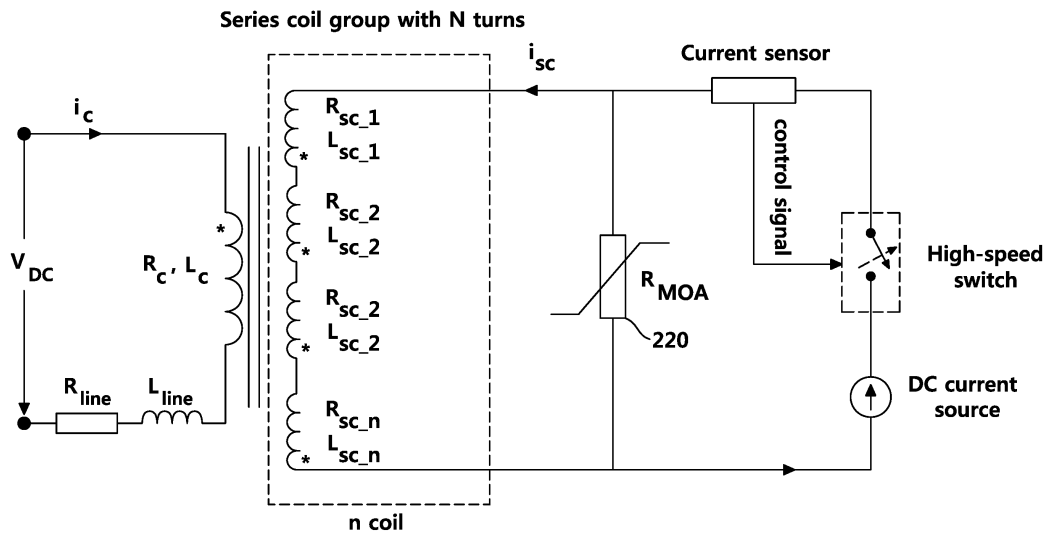
도면2



도면3



도면4



도면5

