



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0065450
(43) 공개일자 2019년06월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 9/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02H 9/021 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7014732
(22) 출원일자(국제) 2017년09월11일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2019년05월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2017/050899
(87) 국제공개번호 WO 2018/080645
국제공개일자 2018년05월03일
(30) 우선권주장
15/339,211 2016년10월31일 미국(US)

(71) 출원인
베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.
미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35
(72) 발명자
윌슨, 앤드리안
영국, 엔이31큐이 뉴캐슬 어폰 타인, 로우스 테라스 4
코들러, 산카르
인도, 560030 벵갈로어, 라카산드라, 3알디 크로
서, 13티에이치 메인, #23/1
(74) 대리인
특허법인에이아이피

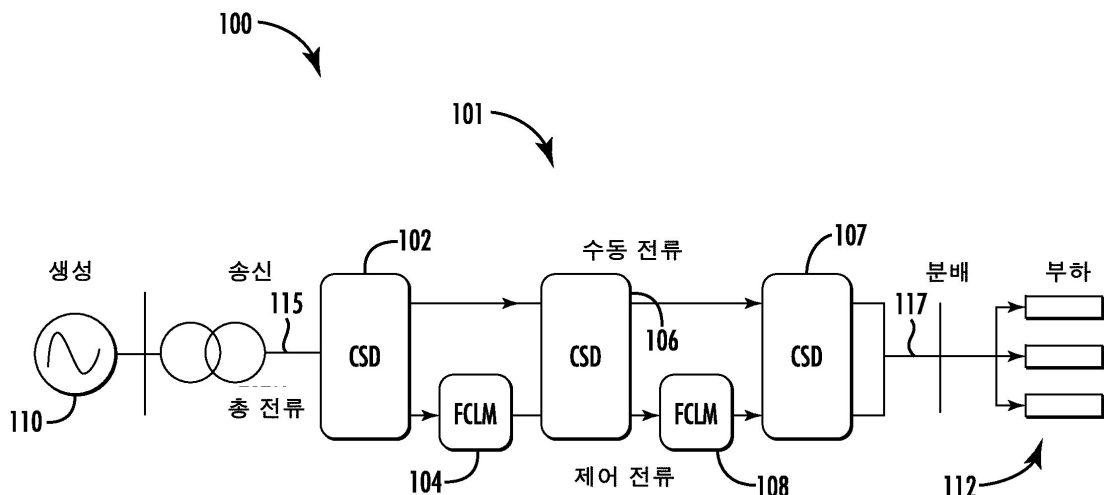
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 모듈식 상호 리액터를 갖는 고장 전류 제한기

(57) 요약

본 개시의 실시예들은, 제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스, 및 제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스를 갖는 고장 전류 제한기를 포함한다. 고장 전류 제한기는, 제 1 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈(예를 들어, 스위칭 모듈)을 더 포함할 수 있다. 고장 전류 제한기는 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함할 수 있다. 고장 전류 제한기를, 권선들 사이에 산재된 고장 전류 제한기 모듈들을 갖는 부분들로 분할함으로써, 고장 전류 제한기는 권선들 사이에 더 적은 절연을 가지고 만들어지게 될 수 있다.

대표도



(72) 발명자

자제비, 사이드

미국, 01960 메사추세츠, 피바디, 매그놀리아 웨이
9, 아파트 929

루비키, 피요트르

미국, 01960 메사추세츠, 피바디, 그레스트우드 레
인 7

명세서

청구범위

청구항 1

고장 전류 제한기로서,

제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스;

제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스; 및

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈을 포함하는, 고장 전류 제한기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선은 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는, 고장 전류 제한기.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 고장 전류 제한기는, 상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 다수의 고장 전류 제한기 모듈들을 더 포함하는, 고장 전류 제한기.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 고장 전류 제한기는,

제 3 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 3 전류 분할 디바이스; 및

상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 3 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함하는, 고장 전류 제한기.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선 및 상기 2차 권선은 상이한 수의 턴(turn)들을 가지며, 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선 및 상기 2차 권선은 상이한 수의 턴들을 갖는, 고장 전류 제한기.

청구항 6

전력 시스템으로서,

전력 소스;

상기 전력 소스에 전기적으로 연결된 부하;

고장 상태 동안 전류의 양을 제한하기 위하여 상기 부하 및 상기 전력 소스에 전기적으로 결합되는 고장 전류 제한기를 포함하며,

상기 고장 전류 제한기는,

제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스;

제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스; 및

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈을 포함하는, 전력 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선은 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는, 전력 시스템.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 전력 시스템은, 상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 다수의 고장 전류 제한기 모듈들을 더 포함하는, 전력 시스템.

청구항 9

청구항 6에 있어서,

상기 전력 시스템은,

제 3 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 3 전류 분할 디바이스; 및

상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 3 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함하는, 전력 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 고장 전류 제한기 모듈 및 상기 제 2 고장 전류 제한기 모듈은 전기적으로 직렬로 연결되는, 전력 시스템.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선은 상기 제 2 고장 전류 제한기 모듈과 전기적으로 병렬로 연결되는, 전력 시스템.

청구항 12

청구항 6에 있어서,

상기 고장 전류 제한기 모듈은 전압 보호 디바이스, 전압 제어 디바이스, 및 고체 상태 스위치를 포함하며, 상기 전압 보호 디바이스, 상기 전압 제어 디바이스, 및 상기 고체 상태 스위치는 서로 병렬로 배열되는, 전력 시스템.

청구항 13

청구항 6에 있어서,

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선 및 상기 2차 권선은 상이한 수의 턴들을 가지며, 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 1차 권선 및 상기 2차 권선은 상이한 수의 턴들을 갖는, 전력 시스템.

청구항 14

고장 전류 제한기로서,

제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스;

제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스;

상기 제 1 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 제 1 고장 전류 제한기 모듈; 및

상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 포함하는, 고장 전류 제한기.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 고장 전류 제한기는 제 3 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 3 전류 분할 디바이스를 더 포함하며, 상기 제 2 고장 전류 제한기 모듈은 상기 제 2 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선과 상기 제 3 전류 분할 디바이스의 상기 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는, 고장 전류 제한기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 고장 전류 제한기들에 관한 것으로서, 더 구체적으로는, 권선들 사이에 산재된(interspersed) 고장 전류 제한기 스위칭 모듈을 갖는 고장 전류 제한기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 고장 전류 제한기(fault current limiter; FCL)는, 예컨대 전력 시스템 내에서 고장 전류들을 제한하기 위한 디바이스이다. 지난 수십 년간 다양한 유형들의 FCL들이 개발되었으며, 이들은 초전도 고장 전류 제한기(superconducting fault current limiter; SCFCL)들, 고체-상태 고장 전류 제한기(solid-state fault current limiter; SSFCL)들, 유도성 고장 전류 제한기들뿐만 아니라, 당업계에서 알려진 다른 변형물들을 포함한다. FCL은, 전력을 다양한 산업용, 상업용, 및/또는 주거용 전기 부하들에 전달하기 위한 생성, 송신 및 분배 네트워크들을 갖는 시스템 내에 구현될 수 있다.

[0003] 고장 전류는, 단락 회로와 같은 시스템 내의 고장으로로부터 기인하는 전기 시스템 내의 비정상 전류이다. 고장 전류는, 기상 악화(예를 들어, 낙뢰들)에 의해 손상되는 전력 라인들 또는 다른 시스템 컴포넌트들과 같은, 임의의 수의 이벤트들 또는 고장들에 기인하여 시스템 내에서 일어날 수 있다. 고장이 발생할 때, 전류가 더 이상 부하에 의해 제한되지 않음에 따라 큰 전류(고장 전류)가 빠르게 회로에서 나타날 수 있다. 네트워크 자체를 포

함하여, 부하 또는 네트워크에 연결된 장비에 대한 잠재적인 손상 때문에, 이러한 전류의 서지는 바람직하지 않다.

[0004] 일부 종래 기술의 고장 전류 제한기는 인터리빙된(interleaved) 권선들을 갖는 전류 분할 리액터(reactor)를 포함하며, 여기에서 전류 분할 리액터는, 코어, 코어 둘레에 감긴 제 1 권선, 및 고장 전류 제한기의 삽입 임피던스를 감소시키기 위하여 제 1 권선과 인터리빙되며 코어 둘레에 감긴 제 2 권선을 포함한다. 1차 권선 및 2차 권선을 인터리빙함으로써 더 적은 손실이 달성될 수 있다. 결합된 리액터로서 만들어지는 종래 기술의 고장 전류 제한기들은 권선-간(inter-winding) 전압의 증강(build-up)으로 어려움을 겪을 수 있다. 전압이 증가함에 따라, 인터리빙의 지점들에서 필요한 절연이 그에 따라 증가하며, 그에 따라서 고장 전류 제한기의 부피를 커지게 만들고 플럭스(flux) 상쇄를 달성하는 것을 더 어렵게 만든다.

[0005] 이러한 그리고 다른 고려사항들에 관하여, 본 개시가 제공된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0006] 본 개시의 일 실시예에 따른 고장 전류 제한기는, 제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스, 제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스를 포함한다. 고장 전류 제한기는, 제 1 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함한다.

[0007] 본 개시의 일 실시예에 따른 전력 시스템은, 전력 소스, 전력 소스에 전기적으로 연결되는 부하, 고장 상태 동안 전류의 양을 제한하기 위하여 전력 소스 및 부하에 전기적으로 연결되는 고장 전류 제한기를 포함한다. 고장 전류 제한기는, 제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 갖는 제 1 전류 분할 디바이스, 제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스를 포함한다. 고장 전류 제한기는, 제 1 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함한다.

[0008] 본 개시의 일 실시예에 따른 고장 전류 제한기는, 제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 갖는 제 1 전류 분할 디바이스, 및 제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스를 포함한다. 고장 전류 제한기는, 제 1 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 제 1 고장 전류 제한기 모듈, 및 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 첨부된 도면들은, 그 원리들의 실제적인 애플리케이션을 포함하는 본 개시의 예시적인 접근 방식을 예시한다.

도 1은 본 개시의 실시예들에 따른 전력 시스템을 도시한다.

도 2는 본 개시의 실시예들에 따른 예시적인 고장 전류 제한기를 도시한다.

도 3은 본 개시의 실시예들에 따른 도 2의 고장 전류 제한기의 예시적인 고장 전류 제한기 모듈을 도시한다.

도 4는 본 개시의 실시예들에 따른 폐쇄된 단부들을 갖는 도 2의 예시적인 고장 전류 제한기를 도시한다.

도 5는 본 개시의 실시예들에 따른 권선들 사이에 배치되는 다수의 고장 전류 제한기 스위칭 모듈들을 포함하는 예시적인 고장 전류 제한기를 도시한다.

도면들이 반드시 축적이 맞추어져야 하는 것은 아니다. 도면들은 단지 표현들이며, 본 개시의 특정 파라미터들을 표현하도록 의도되지 않는다. 도면들은 본 개시의 예시적인 실시예들을 묘사하도록 의도되며, 따라서 범위를 제한하는 것으로서 간주되지 않아야 한다. 도면들 내에서, 유사한 번호들이 유사한 엘리먼트들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 이제 이하에서 본 실시예들이, 일부 실시예들이 도시된 첨부된 도면들을 참조하여 더 완전하게 설명될 것이다. 본 개시의 내용이 다수의 상이한 형태들로 구현될 수 있으며, 본원에서 기술되는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 이러한 실시예들은 본 개시가 완전하고 철저해질 수 있도록 제공되며, 본원의 범위를 당업자들에게 완전하게 전달할 것이다. 도면들에서, 유사한 도면번호들이 전체에 걸쳐 유사한 엘리먼트들을 지칭한다.
- [0011] 본원에서 사용될 때, 단수로 언급되고 및 단어 "일" 또는 "하나"가 선행되는 엘리먼트 또는 동작은 달리 표시되는 것을 제외하고는 아마도 복수의 엘리먼트들 또는 동작들을 포함하는 것으로 이해되어야만 한다. 또한, "본 개시의 '일 실시예' 또는 '일부 실시예'에 대한 언급들은, 언급된 특징들을 또한 통합하는 추가적인 실시예를 포함하는 것으로서 해석될 수 있다.
- [0012] 본 실시예들은 개선된 고장 전류 보호를 위한 접근 방식들과 관련된다. 더 구체적으로, 다양한 실시예들은 전류 분할 디바이스 내에서 권선들에 걸친 증가된 전압 강하, 및 권선들 사이의 대응하는 증가된 절연에 관한 문제들을 해결한다. 예를 들어, 고장 전류 제한기(fault current limiter; FCL)를 전류 분할 디바이스의 권선들 사이에 산재되는 FCL 스위칭 모듈들을 갖는 부분들로 분할함으로써, 고장 전류 제한기는 권선들 사이에 더 적은 절연을 가지고 만들어질 수 있으며, 따라서 플렉스 및 그에 따른 임피던스를 소거하는 임무를 더 용이하게 만들 수 있다.
- [0013] 일부 실시예들에 있어서, 고장 전류 제한기는, 제 1 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 1 전류 분할 디바이스, 및 제 2 코어 둘레에 감긴 1차 권선 및 2차 권선을 포함하는 제 2 전류 분할 디바이스를 갖는다. 고장 전류 제한기는, 제 1 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 고장 전류 제한기 모듈(예를 들어, 스위칭 모듈)을 더 포함할 수 있다. 고장 전류 제한기는 제 2 전류 분할 디바이스의 2차 권선과 전기적으로 직렬로 연결되는 제 2 고장 전류 제한기 모듈을 더 포함할 수 있다. 고장 전류 제한기를 권선들 사이에 산재된 고장 전류 제한기 모듈들을 갖는 부분들로 분할함으로써, 고장 전류 제한기는 유익하게는 권선들 사이에 더 적은 절연을 가지고 만들어지게 될 수 있다.
- [0014] 이제 도 1을 참조하여, 본 개시의 실시예들에 따른 예시적인 전력 시스템이 설명될 것이다. 도시된 바와 같이, 고장 전류 제한기(FCL)(101)를 포함하는 전력 시스템(100)은, 전력을 생성하고 이를 다양한 산업용, 상업용, 및/또는 주거용 전기 부하들에 전달하는 생성, 송신 및 분배 네트워크들을 포함하도록 구현된다. FCL(101)은, 제 1 고장 전류 제한기 모듈(fault current limiter module; FCLM)(104)과 전기적으로 결합되는 제 1 전류 분할 디바이스(current splitting device; CSD)(102), 및 CSD(102)와 전기적으로 결합되는 제 2 전류 분할 디바이스(CSD)(106)를 포함할 수 있다. FCL(101)은, 일부 실시예들에 있어서, 제 3 CSD(107)를 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 제 2 CSD(106)는 제 1 FCLM(104) 및 제 3 CSD(107)에 더 결합되며, 그리고 제 2 FCLM(108)과 더 결합된다. 일부 실시예들에 있어서, 제 1 및 제 2 CSD들(102, 106)의 각각은, 이하에서 더 상세하게 설명되는 바와 같이 인터리빙된 권선들을 갖는 모듈식 전류 분할 리액터이다.
- [0015] 추가로 도시된 바와 같이, 전력 시스템(100)은 전도체들(115 및 117)을 통해 AC 전력 소스(101) 및 하나 이상의 전기적 부하들(112) 중간에 전기적으로 직렬로 연결될 수 있다. 당업자는, FCL(101)이 고장 전류 제한이 희망되는 다양한 다른 애플리케이션들 및 전력 시스템 구성들에서 구현될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 따라서 도 1에 도시된 특정 전력 시스템(100)은 예로서 도시되며 제한적으로 의도되지 않는다.
- [0016] 제 1, 제 2 및 제 3 CSD들(102, 106, 107)의 각각은 개방 코어 설계를 가질 수 있다. 각기 인터리빙된 권선들을 갖는 전류 분할 디바이스들(102, 106, 및 107)을 포함하는 FCL(101)은 유익하게는 낮은 삽입 임피던스를 제공한다. 일 예로서, 본원에서 설명되는 FCL(101)은, 완전한 부하 전류를 운반할 때, 정상 동작 상태 동안 전체 시스템 전압의 1% 미만인, 임피던스에 걸쳐 강해지는 전압을 야기하는 삽입 임피던스를 가질 수 있다.
- [0017] 본원에서 설명되는 FCL(101)은, 예를 들어, 송신, 분배 및 생성 시스템들과 같은 임의의 전기적 시스템에서 고장 전류들을 제한하도록 구현될 수 있다. 추가로, 일부 경우들에 있어서, 인터리빙된 권선들을 갖는 CSD들(102, 106, 107)은 초전도 FCL, 고체 상태 FCL, 고속 스위치 FCL, 또는 일반적으로, 정상 동작 동안 낮은 삽입 임피던스가 의도되는 고장 전류들로부터 시스템을 보호하도록 구성된 임의의 고장 전류 제한 회로 내에 구현될 수 있다. 일부 예들에 있어, FCL(101)은 포화된(saturated) 철 코어들 또는 차폐된 코어들을 통합할 수 있다. 비제한적이고 예시적인 일 예에 있어, 본원에서 설명되는 인터리빙된 권선들을 갖는 제 1 및 제 2 CSD들(102, 106, 107)을 갖는 FCL(101)은, 높은 삽입 임피던스를 갖는 포화된 철 코어 FCL의 삽입 임피던스를 낮추기 위해 제공될 수 있다. 또한, 본원에서 제공되는 다양한 예들이 고 주파수 또는 저 주파수 시스템들에 대하여 FCL 디바이

스들 내에서 구현될 수 있다.

- [0018] 이제 도 1 내지 도 2를 참조하여, FCL(101)이 더 상세하게 설명될 것이다. 도시된 바와 같이, FCL(101)의 제 1 전류 분할 디바이스(102)는, 철 또는 공기 코어와 같은 제 1 코어(118) 둘레에 감긴 1차 권선(114) 및 2차 권선(116)을 포함할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 1차 권선(114) 및 2차 권선(116)은, 입력(라인) 전압을 기준으로 하여 철 코어 둘레에 동심적으로 감길 수 있으며, 접지(earth) 및/또는 다른 CSD 코어들로부터 플로팅(float)되거나 또는 절연된다. 제 2 CSD(106)는 제 2 코어(125) 둘레에 감긴 1차 권선(120) 및 2차 권선(122)을 포함한다. FCL(101)은, 제 1 CSD(102)의 2차 권선(116)과 제 2 CSD(106)의 2차 권선(122) 사이에 전기적으로 직렬로 연결되는 제 1 FCLM(104)을 더 포함한다. 도시된 바와 같이, 제 1 및 제 2 CSD들(102, 106)의 각각의 권선들은 서로 병렬로 배열된다. 추가로, 제 1 CSD(102)의 1차 권선(114)은, 예를 들어, 경로(124)를 따라서 제 2 CSD(106)의 1차 권선(120)과 전기적으로 직렬로 연결되며, 제 1 CSD(102)의 1차 권선(114)은 제 1 FCLM(104)과 전기적으로 병렬로 연결된다. 일부 실시예들에 있어서, 제 1 코어(118) 둘레에 감긴 1차 권선(114) 및 2차 권선(116)은 동일하거나 또는 상이한 수의 턴(turn)들을 갖는다. 유사하게, 제 2 코어(125) 둘레에 감긴 1차 권선(120) 및 2차 권선(122)은 동일하거나 또는 상이한 수의 턴들을 갖는다.
- [0019] FCL(101)은 제 3 코어(140) 둘레에 감긴 1차 권선(136) 및 2차 권선(138)을 갖는 제 3 CSD(107)를 더 포함할 수 있다. 제 2 FCLM(108)은 제 2 CSD(106)의 2차 권선(122)과 제 3 CSD(107)의 2차 권선(138) 사이에 전기적으로 직렬로 연결된다. 배열된 바와 같이, 제 1 FCLM(104) 및 제 2 FCLM(108)은 경로(126)를 따라 전기적으로 직렬로 연결된다. 또한, 제 2 CSD(106)의 1차 권선(120)은, 예를 들어, 경로(124)를 따라서 제 1 CSD(106)의 1차 권선(114) 및 제 3 CSD(107)의 1차 권선(136)과 전기적으로 직렬로 연결된다. 제 2 CSD(106)의 1차 권선(120)은 또한 제 1 FCLM(104) 및 제 2 FCLM(108)과 전기적으로 병렬로 연결된다. 제 1, 제 2, 및 제 3 CSD들(102, 106, 107)의 권선들의 각각은 정상 상태 동작 동안 최소 임피던스를 나타내고, 2차 권선들이 개방 회로화될(circuited) 때, 예컨대 고장 상태 동안, 고장 전류를 유효하게 제한하기 위하여, 직렬로 1차 권선들로부터 비교적 큰 임피던스를 나타내도록 구성될 수 있다.
- [0020] 일부 실시예들에 있어서, FCL(101)은 일련의 스위치들, 예컨대 임의의 고속 개방 기술품, 예를 들어, 전압 보호 디바이스 및 전압 제어 디바이스를 갖는 초전도체 기반, 가포화(saturable) 철 코어, 기계적 또는 고체 상태 스위치들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 제 1 및 제 2 FCLM들(104, 108)의 각각은, 각각이 서로 병렬로 배열되는 금속 산화물 바리스터(metal oxide varistor; MOV)(150), 스너버(snubber)(151), 및 고체 상태 스위치(152)를 포함할 수 있다.
- [0021] 이제 도 2 및 도 4를 참조하여, FCL(101)의 동작이 더 상세하게 설명될 것이다. 예시적인 실시예에 있어서, 정상 상태 동작 동안, CSD(102)의 1차 권선(114) 및 2차 권선(116)은 정상 상태 전류를 미리 정의된 방식으로 병렬 경로들(124 및 126)을 따라 분배하도록 설정될 수 있다. 예를 들어, 정상 상태 전류의 x%가 경로(124)를 따라 흐르는 경우, 정상 상태 전류의 나머지 (100-x)%가 경로(126)를 따라 흐른다. 일 실시예에 있어서, 전류는, 경로(124)를 따라 50%가 흐르고 경로(126)를 따라 50%가 흐르도록 분배될 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 비율은, 40%가 경로(124)를 따라 흐르고 60%가 경로(126)를 따라 흐르도록; 30%가 경로(124)를 따라 흐르고 70%가 경로(126)를 따라 흐르도록, 등으로 설정될 수 있다.
- [0022] 고장 전류 상태 동안, 정상 전류보다 더 높은 고장 전류가 1차 권선(114) 및 2차 권선(116) 내로 흐른다. 고장 전류가 미리 정의된 트리거(trigger) 전류를 초과할 때, 2차 권선(116)을 통해 흐르는 전류의 양이 감소된다. 이와 같이, 1차 권선(114) 및 2차 권선(116)을 통해 흐르는 암페어-권선수(amper-turns)의 양이 더 이상 동일하지 않으며, 코어(118) 내의 자기장들이 더 이상 상쇄되지 않을 것이고, 따라서 제 1 CSD(102)의 리액턴스(reactance)를 증가시킨다. 이는 결과적으로 FCL(101)의 삽입 임피던스가 증가되게끔 하며, 따라서 고장 전류를 제한한다. 유사한 결과들이 제 2 CSD(106) 및 제 3 CSD(107)의 각각에 의해 달성될 수 있다.
- [0023] 이해될 바와 같이, 결합된 리액터로서 만들어지는 통상적인 고장 전류 제한기들과 관련된 하나의 단점은 권선-간 전압의 증강이다. 예를 들어, 예시적인 FCL이 2차 전류를 제어하기 위한 75% 제한 및 5:1 트랜스포머 비율을 갖는 33kV 제한기(접지에 대해 19.0kV(19.0kV to earth))를 포함하는 경우, 1차 권선은 접지에 대해 19.0kV를 볼 것이며 제한될 때 14.3kV로 강하될 것이다. 2차 권선이 또한 FCL 스위칭 모듈들이 폐쇄될 때 접지에 대해 19kV를 볼 것이지만, 스위칭 모듈이 개방될 때 71.5kV(14.3kVx5)를 볼 것이다. 리액터들이 접지로부터 개별적으로 절연되고 FCL이 상호 리액터인 경우에, 부하 측 상의 고체 고장(solid fault) 동안의 최대 권선-간 전압은 $14.3\text{kV} + 71\text{kV} = 85.8\text{kV}$ 일 것이다. 따라서, 적어도 플럭스의 99%가 상쇄되는 85.8kV에 근접하는 절연 레벨을 갖는 인터리빙된 권선을 만드는 것은 상당한 공학적 난제이다.

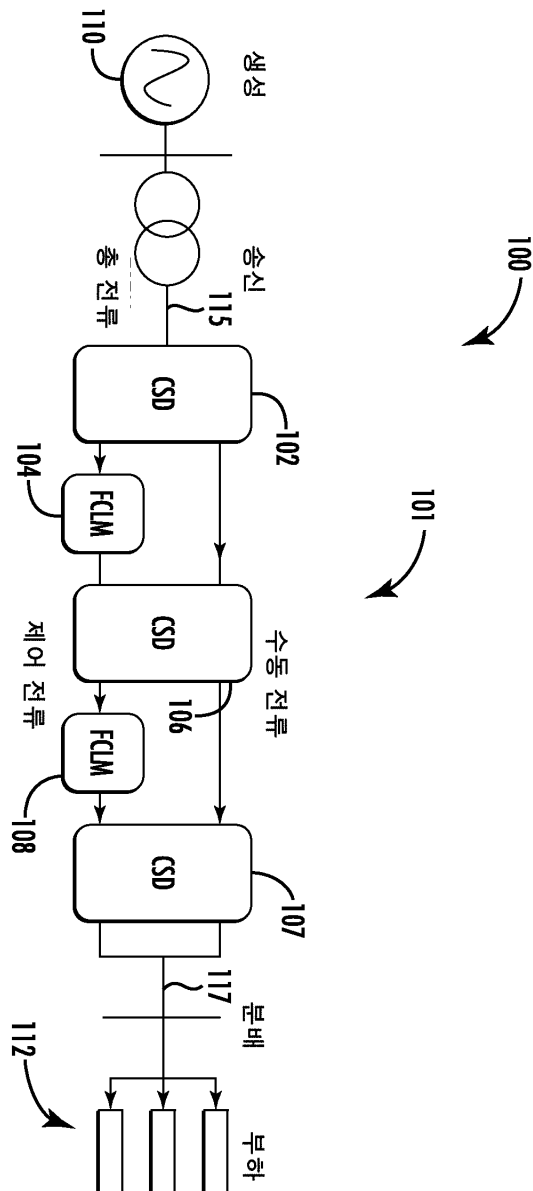
- [0024] 플럭스 상쇄 문제를 일반화하면, 전압 강하 V 를 갖는 1차 권선, 및 1차 권선에 대하여 권선수 비율 $1:w$ 를 갖는 2차 권선에 대하여, 권선들 사이에서 발생하는 전압은 최대 $(1+w)V$ 이다. 2차 권선이 2차 권선에 부착된 2개의 FCLM들을 갖는 경우, 각각의 모듈에 걸친 전압(V_s)은 다음의 방정식을 푸는 것에 의해 계산될 수 있다:
- [0025] $V = -wV + 2V_s \Rightarrow (1+w)V/2 = V_s$.
- [0026] 공학적 난제를 해결하기 위하여, 이하에서 더 상세하게 설명되는 바와 같이, 본 개시의 실시예들은 FCL(101)을 다수의 부분들 또는 모듈들, 예컨대, 제 1, 제 2 및 제 3 CSD들(102, 106, 107)로 분할할 수 있으며, 권선들 사이에 산재되는 FCLM들(104 및 108)을 제공할 수 있다. 이는 각각의 CSD가 1차 권선과 2차 권선 사이에 더 적은 절연을 가지고 만들어지는 것을 가능하게 하며, 따라서 플럭스 및 그에 따른 임피던스를 상쇄하는 임무를 더 용이하게 만든다.
- [0027] 더 구체적으로, 도시된 바와 같이, FCL(101)은 'n개의' 부분들(예를 들어, 'n개의' CSD들)로 분할되며, 각각의 부분은 전압 강하 V 를 갖는 1차 권선 및 1차 권선에 대하여 $1:w$ 의 권선수 비율을 갖는 2차 권선을 포함한다. 따라서, 권선들 사이에서 발생하는 전압은 최대 $(1+w)V/n$ 이다. 예를 들어, 도 4에 도시된 바와 같이, 리액터 장치의 단부들을 폐쇄함으로써, 각각의 FCLM(104, 108)의 전압들이 다음과 같이 계산될 수 있다:
- [0028] $V = -wV/n + V_s - wV/n + V_s - wV/n \Rightarrow V = -3wV/n + 2V_s$
- [0029] 이러한 예에서 $n = 3$ 이기 때문에, 전압들이 다음과 같이 계산될 수 있다:
- [0030] $V = -wV + 2V_s \Rightarrow (1+w)V/2 = V_s$.
- [0031] 결과적으로, 모든 모듈들에 걸쳐 보여지는 총 전압은 $(1+w)V$ 이다. 이러한 경우에 있어서, 리액터를 27개의 세그먼트들로 분할하고, 26개의 스위치들(예를 들어, 각기 적어도 3.3kV 등급)을 설치함으로써, 리액터 세그먼트들 내의 권선-간 전압은 1.65kV가 될 것이며, 이는 FCL(101)에 대한 절연 요구들을 훨씬 더 달성이 가능하게 만들 것이다.
- [0032] 이제 도 5를 참조하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 FCL(201)이 설명될 것이다. 도시된 바와 같이, 이러한 실시예에 있어서, FCL(201)은 제 1 CSD(202)의 2차 권선(216)과 제 2 CSD(206)의 2차 권선(222) 사이에 전기적으로 직렬로 연결된 다수의 FCLM들(256, 258)을 포함한다. FCL(201)은 제 2 CSD(206)의 2차 권선(222)과 제 3 CSD(207)의 2차 권선(238) 사이에 직렬로 연결된 다수의 FCLM들(260, 262)을 더 포함할 수 있다. 배열된 바와 같이, FCL(201)은 n_x 개의 세그먼트들로 분할되며, 여기에서 $x = \text{FCLM들의 수}$ 이다. 따라서, 최대 권선-간 스탠드-오프(stand-off) 전압은 $(1+w)xV/n$ 일 것이다.
- [0033] 이상에서 설명된 실시예들과 유사하게, FCL(201)의 제 1 CSD(202)는 제 1 코어(218) 둘레에 감긴 1차 권선(214) 및 2차 권선(216)을 포함할 수 있다. 제 2 CSD(206)는 제 2 코어(225) 둘레에 감긴 1차 권선(220) 및 2차 권선(222)을 포함한다. FCL(201)의 FCLM들(256 및 258)은, 제 1 CSD(202)의 2차 권선(216)과 제 2 CSD(206)의 2차 권선(222) 사이에 전기적으로 직렬로 연결된다. 도시된 바와 같이, 제 1 CSD(202)의 1차 권선(214)은, 예를 들어, 경로(224)를 따라서 제 2 CSD(206)의 1차 권선(220)과 전기적으로 직렬로 연결되며, 제 1 CSD(202)의 1차 권선(214)은 FCLM들(256 및 258)과 전기적으로 병렬로 연결된다. 일부 실시예들에 있어서, 제 1 코어(218) 둘레에 감긴 1차 권선(214) 및 2차 권선(216)은 동일하거나 또는 상이한 수의 턴들을 가질 수 있다. 유사하게, 제 2 코어(225) 둘레에 감긴 1차 권선(220) 및 2차 권선(222)은 동일하거나 또는 상이한 수의 턴들을 가질 수 있다.
- [0034] FCL(201)은 제 3 코어(240) 둘레에 감긴 1차 권선(236) 및 2차 권선(238)을 갖는 제 3 CSD(207)를 더 포함할 수 있다. FCLM들(260, 262)은 제 2 CSD(206)의 2차 권선(222)과 제 3 CSD(207)의 2차 권선(238) 사이에 전기적으로 직렬로 연결된다. 배열되는 바와 같이, FCLM들(256, 258, 260, 및 262)은 경로(226)를 따라 전기적으로 직렬로 연결된다. 또한, 제 2 CSD(206)의 1차 권선(220)은, 예를 들어, 경로(224)를 따라서 제 1 CSD(206)의 1차 권선(214) 및 제 3 CSD(207)의 1차 권선(236)과 전기적으로 직렬로 연결된다. 제 2 CSD(206)의 1차 권선(220) 및 제 3 CSD(207)의 1차 권선(236)이 또한 FCLM들(256, 258, 260, 및 262)과 전기적으로 병렬로 연결된다. 제 1, 제 2, 및 제 3 CSD들(202, 206, 207)의 제 1 및 제 2 권선들의 각각은, 정상 상태 동작 동안 최소 임피던스를 나타내며 고장 전류를 효과적으로 제한하기 위하여 도시된 바와 같이 고장 상태 동안 비교적 큰 임피던스를 나타내도록 구성될 수 있다.
- [0035] 정리하면, CSD의 권선들 사이의 FCLM들을 설명하는 본원의 다양한 실시예들은, 각각의 CSD의 병렬 권선들 사이의 감소된 절연 양들을 포함하는 제 1 이점, 및 1차 및 2차 권선들에 에너지가 공급될 때 CSD들 내의 1차 및 2차 권선들 사이의 플럭스의 개선된 상쇄를 포함하는 제 2 이점을 제공한다.

[0036]

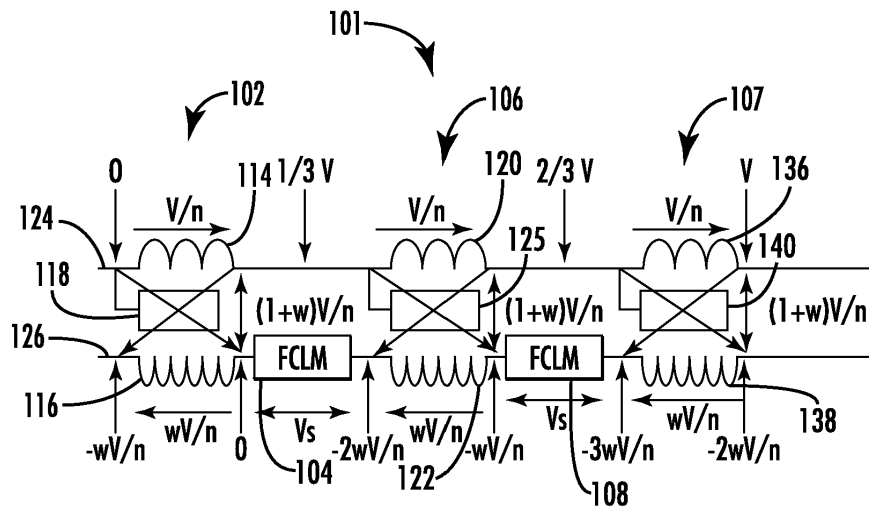
본 개시는 본원에서 설명된 특정 실시예에 의해 범위가 제한되지 않는다. 오히려, 본원에서 설명된 실시예들에 더하여, 본 개시의 다른 다양한 실시예들 및 이에 대한 수정예들이 이상의 설명 및 첨부된 도면들로부터 당업자들에게 자명해질 것이다. 따라서, 이러한 다른 실시예들 및 수정예들이 본 개시의 범위 내에 속하도록 의도된다. 추가로, 본 개시는 본원에서 특정 목적을 위한 특정 환경에서의 특정 구현예의 맥락에서 설명되었다. 당업자들은 그 유용함이 이에 한정되지 않으며, 본 개시가 임의의 수의 목적들을 위한 임의의 수의 환경들에서 유익하게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 이하에서 기술되는 청구항들은 본원에서 설명된 바와 같은 본 개시의 완전한 폭과 사상의 관점에서 해석되어야만 한다.

도면

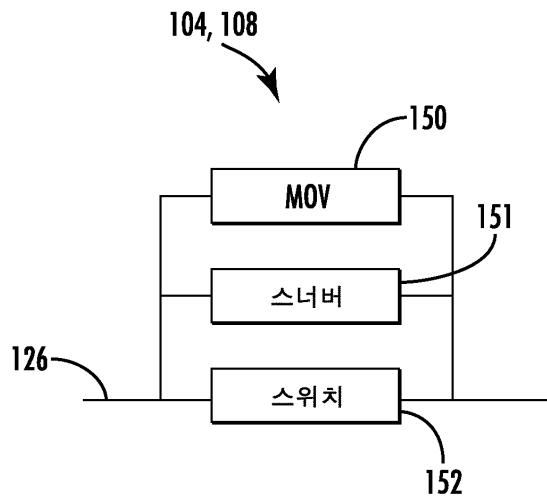
도면1



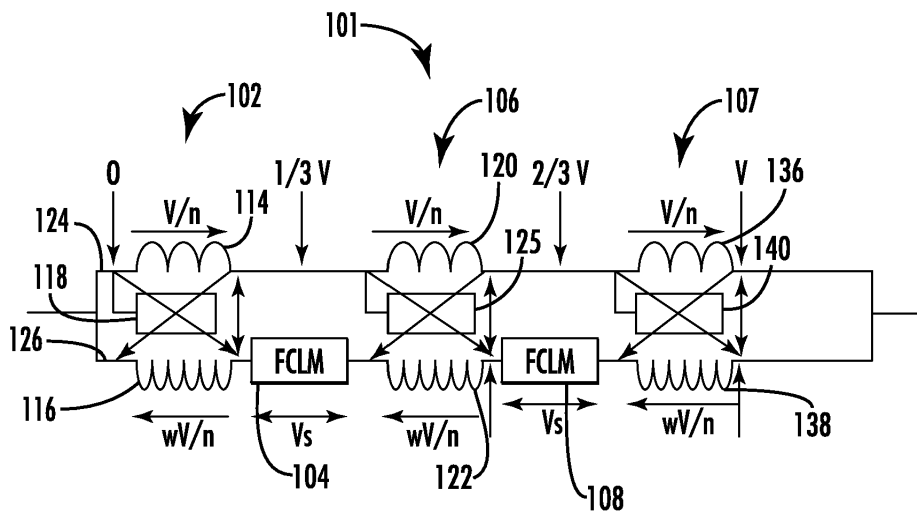
도면2



도면3



도면4



도면5

