



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0131977
(43) 공개일자 2014년11월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02H 7/26 (2006.01) H02J 3/36 (2006.01)
H02H 9/04 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7027004
- (22) 출원일자(국제) 2012년12월28일
심사청구일자 2014년09월25일
- (85) 번역문제출일자 2014년09월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/GB2012/053278
- (87) 국제공개번호 WO 2013/128148
국제공개일자 2013년09월06일
- (30) 우선권주장
PCT/EP2012/053571 2012년03월01일
유럽특허청(EPO)(EP)

- (71) 출원인
알스톰 테크놀로지 리미티드
스위스 5400 바덴 브라운 보베리 슈트라세 7
- (72) 발명자
데이빗슨 콜린 차르낙
영국 에스티17 4피에스 스태포드 레드포드 라이즈
윌릿 크로프트
다이크 케빈 제이
영국 에스티17 4와이에이 스태포드 메도우크로프트
트 파크 버지니아 애비뉴 8
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 18 항

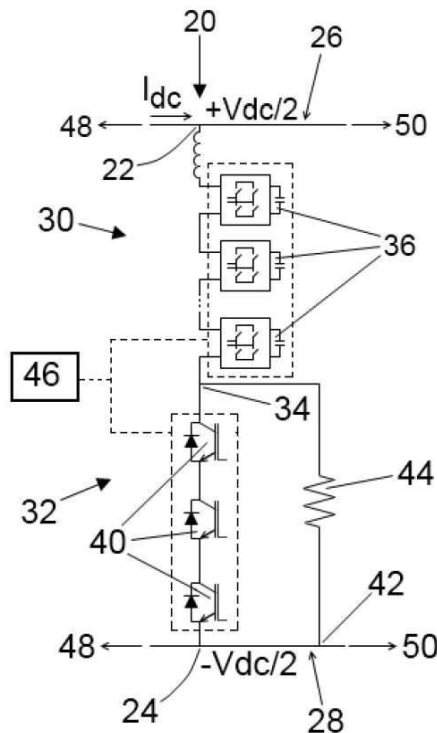
(54) 발명의 명칭 제어 회로

(57) 요약

제1 전력 전송 라인(26) 및 제2 전력 전송 라인(28)에 각각 연결하기 위한 제1 단자(22) 및 제2 단자(24);

제1 단자(22)와 제2 단자(24) 사이에서 연장하고 제3 단자(34)에 의해 분리되는 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)를 갖는 전류 전송 경로로서, 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 중 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



하나 또는 양자 모두는 하나 이상의 모듈(36)을 포함하고, 상기 모듈 또는 각각의 모듈(36)은 하나 이상의 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 전류 전송 경로;

접지 또는 제2 전력 전송 라인(28)에의 연결을 위한 보조 단자(42);

전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거하기 위한 에너지 변환 블록으로서, 이러한 에너지 변환 블록은, 제3 단자(34)와 보조 단자(42) 사이에서 연장하여 전류 전송 경로로부터 분기하고 하나 이상의 에너지 변환 요소(44)를 포함하는, 에너지 변환 블록; 및

에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스를 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하는 제어 유닛(46)을 포함하는 제어 회로(20).

(72) 발명자

마네이로 호세

영국 에스티17 4에프에이치 스탠포드 필드하우스
웨이 65

트레이너 데이비드 레지날드

영국 디이24 0에이큐 더비 알바스톤 블랙켄즈 레인
45

오케메 은남디

영국 엔12 7에프비 런던 우드사이드 파크 홀든 로드
47 미네르바 코트 플랫 3

특허청구의 범위

청구항 1

제1 전력 전송 라인 및 제2 전력 전송 라인에 각각 연결하기 위한 제1 단자 및 제2 단자;

상기 제1 단자와 상기 제2 단자 사이에서 연장하고 제3 단자에 의해 분리되는 제1 전류 전송 경로부 및 제2 전류 전송 경로부를 갖는 전류 전송 경로로서, 상기 제1 전류 전송 경로부 및 상기 제2 전류 전송 경로부 중 하나 또는 양자 모두는 하나 이상의 모듈을 포함하고, 상기 모듈 또는 각각의 모듈은 하나 이상의 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 전류 전송 경로;

접지 또는 상기 제2 전력 전송 라인에의 연결을 위한 보조 단자;

상기 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위한 에너지 변환 블록으로서, 상기 에너지 변환 블록은, 상기 제3 단자와 상기 보조 단자 사이에서 연장하여 상기 전류 전송 경로로부터 분기하고 하나 이상의 에너지 변환 요소를 포함하는, 에너지 변환 블록; 및

상기 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스를 상기 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하는 제어 유닛을 포함하는 제어 회로.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 유닛은, 상기 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스를 상기 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하여, 상기 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위해 전류가 상기 전력 전송 라인으로부터 상기 전류 전송 경로를 통하여 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 흐르도록 하는, 제어 회로.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제1 전류 전송 경로부는, 하나 이상의 제1 모듈을 포함하고, 상기 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 하나 이상의 제1 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 제어 회로.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 하나 이상의 제1 모듈은, 하나 이상의 주 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류가 상기 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하거나 또는 전류가 상기 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 하는, 제어 회로.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 제2 전류 전송 경로부는, 상기 제2 전류 전송 경로부에서의 전류 흐름을 선택적으로 허용 또는 억제하도록 스위칭 가능한 하나 이상의 주 스위칭 블록을 포함하는, 제어 회로.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 하나 이상의 주 스위칭 블록은 하나 이상의 부 스위칭 요소를 포함하는, 제어 회로.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 하나 이상의 주 스위칭 블록은 제2 모듈을 포함하고,

상기 제2 모듈은 하나 이상의 제2 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 제어 회로.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 하나 이상의 제2 모듈은, 하나 이상의 주 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류가 상기 제2 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 통하도록 하거나 또는 전류가 상기 제2 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 하는, 제어 회로.

청구항 9

제5항 내지 제8항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 제어 유닛은, 선택적으로 상기 주 스위칭 블록 또는 각각의 주 스위칭 블록을 스위칭하여 상기 제2 전류 전송 경로부에서의 전류를 차단 또는 최소화함으로써 전류가 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 하는, 제어 회로.

청구항 10

제9항에 있어서,

제6항에 따르는 경우, 상기 제어 유닛은, 상기 부 스위칭 요소 또는 각각의 부 스위칭 요소를 오프-상태로 선택적으로 스위칭하여 상기 제2 전류 전송 경로부에서의 전류를 차단함으로써 전류가 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 하는, 제어 회로.

청구항 11

제9항에 있어서,

제8항에 따르는 경우, 상기 제어 유닛은, 상기 제2 모듈 또는 각각의 제2 모듈의 상기 주 스위칭 요소 또는 각각의 주 스위칭 요소를 선택적으로 스위칭하여 상기 제2 전류 전송 경로부에서의 전류를 차단 또는 최소화함에 따라 전류가 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 하는, 제어 회로.

청구항 12

제7항 또는 제8항에 있어서,

제3항 또는 제4항에 따르는 경우, 상기 제어 유닛은, 상기 제1 전류 전송 경로부 및 상기 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거하여, 상기 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위해 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소 양단에 AC 전압 파형을 생성하는, 제어 회로.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제어 유닛은, 상기 제1 전류 전송 경로부 및 상기 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거하여, 상기 제1 전류 전송 경로부 및 상기 제2 전류 전송 경로부 각각의 양단에 사각 전압 파형을 생성함으로써 상기 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위해 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소 양단에 AC 전압 파형을 생성하는, 제어 회로.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 하나의 항에 있어서,

상기 에너지 변환 블록은, 상기 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소에서의 전류 흐름을 선택적으로 허용 또는 억제하도록 스위칭 가능한 하나 이상의 보조 스위칭 블록을 더 포함하는, 제어 회로.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 하나 이상의 보조 스위칭 블록은 하나 이상의 보조 스위칭 요소를 포함하는, 제어 회로.

청구항 16

제14항 또는 제15항에 있어서,

상기 하나 이상의 보조 스위칭 블록은 보조 모듈을 포함하고,

상기 보조 모듈은 하나 이상의 보조 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 제어 회로.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 하나 이상의 보조 모듈은, 하나 이상의 보조 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류가 상기 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하거나 또는 전류가 상기 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 하는, 제어 회로.

청구항 18

제14항 내지 제17항 중 어느 하나의 항에 있어서,

제7항 또는 제8항에 따르는 경우, 상기 제어 유닛은, 상기 제2 전류 전송 경로로부터 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거하여, 상기 보조 스위칭 블록 또는 각각의 보조 스위칭 블록이 스위칭되는 경우 상기 보조 스위칭 블록 또는 각각의 보조 스위칭 블록의 소프트-스위칭이 가능하도록 상기 제3 단자에서의 전압을 수정하는, 제어 회로.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 제어 회로에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 도 1a에 도시된 바와 같이, DC 전력 전송 방식에서, DC 전송 라인(10a, 10b)은 전송 전기 네트워크(12)와 수신 전기 네트워크(14)를 상호연결하는데 사용되어 두 개의 전기 네트워크(12, 14) 사이에 전력의 전달을 가능하게 한다. 수신 전기 네트워크(14)가 DC 전송 라인(10a, 10b)으로부터의 전력을 수신하지 못하게 하는 장애(fault)(16) 이벤트에서 전송 전기 네트워크(12)는 DC 전송 라인(10a, 10b)으로의 전력 전송을 중단할 수 없다. 이는 발전기, 예컨대 풍력 터빈(wind turbine)이 순간적으로 스위치 오프될 수 없으므로 에너지(18)를 DC 전송 라인(10a, 10b)으로 계속 공급할 것이기 때문이다. 또한, 수신 전기 네트워크(14)는 예컨대, 전압이 그것의 원래 값의 대략 15%까지 감소되는 공급 덩(dip)을 보상하고 장애(16) 제거시 전력 전송을 재개하도록 그리드 코드(Grid Code)에 의해 요구된다.

[0003] 전력을 DC 전송 라인(10a, 10b)로 계속 전송하는 것은 DC 전송 라인(10a, 10b)에 초과 전력의 축적을 초래하고 이러한 초과 전력의 축적은 각각의 전기 네트워크(12, 14)에 의한 전력의 전송 및 수신 사이의 균형을 악영향을 미칠 뿐만 아니라 특히 DC 전송 라인(10a, 10b)의 커패시턴스의 제어되지 않은 충전에 의해 야기되는 고전압 스트레스의 결과 DC 전력 전송 방식의 여러 컴포넌트를 손상시킬 수 있다.

[0004] 초과 전력의 축적을 방지하기 위한 하나의 해결책은 DC 링크 커패시터와 전송 전기 네트워크(12)의 부분을 형성하는 다른 커패시터에 초과 전력을 일시적으로 저장하는 것이다. 그러나 전송 전기 네트워크(12)의 유한한 에너지 저장 능력은 수신 전기 네트워크(14)가 작동 상태로 복귀할 때까지 일시적으로 저장될 수 있는 실제 전력의 양을 제한한다.

[0005] 초과 전력의 축적을 방지하기 위한 다른 해결책은 로드 덤프 초퍼 회로(load dump chopper circuit)(20)를 사용하여 DC 전송 라인(10a, 10b)으로부터 초과 전력을 다른 곳으로 돌리는 것이다. 도 1b는 DC 전송 라인(10a, 10b)에 걸쳐 스위치(24)와 직렬로 연결된 덤프 저항(22)을 도시한다. 스위치(24)를 닫으면 전류가 DC 전송 라인으로부터 덤프 저항(22)으로 흐르게 되고, 결국 전력이 덤프 저항(22)을 통해 소산되도록 한다. 이는 초과

에너지가 로드 덤프 초퍼 회로(20)를 통해 DC 전송 라인(10a, 10b)으로부터 제거되도록 한다.

[0006] 기존의 초퍼 회로는 초과 에너지를 흡수하기 위하여 단순한 반도체 스위치를 이용하여 저항을 DC 전송 라인 사이에 연결한다. 이러한 타입의 초퍼는 펄스폭 변조(PWM) 방식으로 작동되는 다수의 저전압 반도체 스위치의 동시 스위칭 및 직렬 연결에 의존하여 에너지 흡수를 정확하게 제어한다. 이러한 초퍼 회로 스위치의 디자인 및 작동은 개개의 반도체 스위치 사이에 인가되는 총 전압의 균등한 공유를 보장하기 위하여 대형 수동 소자 및 복잡한 제어 방법을 요구한다. 또한, PWM 동작은 초퍼 회로 및 DC 전송 라인 내의 전압 및 전류가 매우 높은 속도로 변하게 하는데 이는 바람직하지 않은 전기 스파이크 및 높은 레벨의 전자기 잡음 및 간섭으로 이어진다.

발명의 내용

[0007] 본 발명의 일 태양에 따르면, 제1 전력 전송 라인 및 제2 전력 전송 라인에 각각 연결하기 위한 제1 단자 및 제2 단자;

[0008] 제1 단자와 제2 단자 사이에서 연장하고 제3 단자에 의해 분리된 제1 전류 전송 경로부 및 제2 전류 전송 경로부를 갖는 전류 전송 경로로서, 제1 전류 전송 경로부 및 제2 전류 전송 경로부 중 하나 또는 양자 모두는 적어도 하나의 모듈을 포함하고, 모듈 또는 각각의 모듈은 적어도 하나의 에너지 저장 디바이스를 포함하는, 전류 전송 경로;

[0009] 접지 또는 제2 전력 전송 라인에의 연결을 위한 보조 단자;

[0010] 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위한 에너지 변환 블록으로서, 에너지 변환 블록은, 제3 단자와 보조 단자 사이에서 연장하여 전류 전송 경로로부터 분기하고 적어도 하나의 에너지 변환 요소를 포함하는, 에너지 변환 블록;

[0011] 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스를 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하는 제어 유닛을 포함하는 제어 회로가 제공된다.

[0012] 이러한 방식의 제어 회로의 구성은 예를 들어, 과전압으로부터 라인을 보호하고 필요한 경우 저전압 장애 보상을 보장하도록 전력 전송 라인으로부터 초과 에너지를 제거하기 위한 에너지 제거 디바이스로서 사용되는 것을 가능하게 한다. 이는 제어 회로에 모듈 또는 각각의 모듈을 포함하는 것이 전력 전송 라인으로부터 제거될 초과 에너지에 대응하기 위해 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소에 흐르는 전류의 능동적인 수정을 가능하게 하기 때문이다.

[0013] 전력 전송 라인에서의 에너지 레벨을 조절하기 위하여, 제어 회로는 정상 작동에서 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스가 전류 전송 경로로 삽입되는 대기 구성을 채용하도록 구성됨으로써 전력 전송 라인의 정상 상태 동안 전류 전송 경로에 전류가 흐르지 못하도록 하거나, 또는 하나 이상의 에너지 저장 디바이스를 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하여 초과 에너지가 DC 전송 라인으로부터 제거되고 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소를 통해 소산되는 것을 가능하게 하기 위해 전류가 전력 전송 라인으로부터 전류 전송 경로를 통해 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 흐르도록 할 수 있다.

[0014] 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스를 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하는 능력은 전력 전송 라인으로부터 제어 회로로의 에너지, 즉, 초과 전력의 빠른 전달을 가능하게 하고 이에 따라 전력 전송 라인에서의 에너지 레벨의 신속한 조절을 가능하게 하는 것으로 밝혀졌다. 이는 결국 연관된 전기 네트워크에서의 장애 이벤트 시에 전력 전송 라인에서의 에너지 레벨을 조절하기 위한 요구에 제어 회로가 신속하게 응답하는 것을 가능하게 한다.

[0015] 이러한 방식에서 제어 회로의 구성은, 즉 전류 전송 경로와 관련한 에너지 변환 블록의 구성은 제어 회로가 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하는데 필요하지 않은 경우 에너지 변환 블록에서의 전류가 차단 또는 최소화되는 것을 가능하게 한다. 제어 회로가 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하는데 필요한 경우, 제1 전류 전송 경로부 및 제2 전류 전송 경로부 중 하나 또는 양자 모두는 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거를 가능하게 하기 위하여 전류가 에너지 변환 블록을 통해 흐르게 하도록 구성될 수 있다.

[0016] 보조 단자를 제2 전력 전송 라인에 연결하는 제어 회로의 구성은 에너지 변환 블록이 접지가 아니라 제2 전력 전송 라인에 연결되는 것을 가능하게 하여 고전류가 전력 전송 라인의 부유 커패시턴스 대신에 전력 전송 라인을 통해 순환하는 것을 가능하게 한다.

- [0017] 본 발명에서 "전력 전송 라인"에 대한 참조는 AC 및 DC 전력 전송 라인 모두를 포함한다는 것이 이해될 것이다.
- [0018] 본 발명의 실시예에서, 제1 전류 전송 경로부는 하나 이상의 제1 모듈을 포함할 수 있고, 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 하나 이상의 제1 에너지 저장 디바이스를 포함한다.
- [0019] 하나 이상의 제1 모듈은 하나 이상의 주 스위칭 요소를 더 포함하여 선택적으로 전류가 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하거나 또는 전류가 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 할 수 있다. 이러한 방식에서 각각의 제1 모듈의 구성은 그것의 주 스위칭 요소가 외부 전력 공급원 대신에 그것의 에너지 저장 디바이스에 의해 전원을 공급받을 수 있도록 하고, 따라서 그 결과 제어 회로가 더욱 컴팩트해진다.
- [0020] 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 양방향 전류 능력을 갖도록, 즉, 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 전류를 두 방향으로 전도할 수 있도록 구성될 수 있다. 예로써, 하나 이상의 제1 모듈은 하프-브리지 구성으로 에너지 저장 디바이스와 병렬 연결된 주 스위칭 요소 쌍을 포함하여 영 또는 양 전압을 제공하고 전류를 두 방향으로 전도할 수 있는 2-상한 유니폴라 모듈을 형성할 수 있다. 다른 예로써, 하나 이상의 제1 모듈은 제1 에너지 저장 디바이스와 병렬 연결된 두 쌍의 주 스위칭 요소를 포함하여 영, 양 또는 음 전압을 제공하고 전류를 두 방향으로 전도할 수 있는 4-상한 바이폴라 모듈을 형성할 수 있다.
- [0021] 제어 회로에서 양방향 전압 능력을 갖는 모듈의 사용은 전송 전력의 방향이 바뀌는 경우 DC 전압의 극성이 변경되는 LCC HVDC 방식과 제어 회로의 결합을 가능하게 한다.
- [0022] 대안적으로 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 단방향 전류 능력을 갖도록, 즉, 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈은 전류를 단 하나의 방향으로 전도할 수 있도록 구성될 수 있다. 예로써, 하나 이상의 제1 모듈은 직렬-연결된 전류 흐름 제어 요소의 제1 세트 및 제2 세트를 포함할 수 있고, 전류 흐름 제어 요소의 각 세트는 선택적으로 전류가 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하기 위한 능동 스위칭 요소와 제1 모듈을 통하는 전류 흐름을 단일 방향으로 제한하기 위한 수동 전류 체크 요소를 포함하며, 직렬-연결된 전류 흐름 제어 요소의 제1 및 제2 세트와 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스는 풀-브리지 구성으로 배치되어 영, 양 또는 음 전압을 제공하면서 전류를 단일 방향으로 전도할 수 있는 합리화된 2-상한 바이폴라 모듈을 형성한다.
- [0023] 이러한 제1 모듈은 제1 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제1 에너지 저장 디바이스를 전류 전송 경로로부터 선택적으로 제거하는 안정적인 수단을 제공한다.
- [0024] 본 발명의 실시예에서, 제2 전류 전송 경로부는 제2 전류 전송 경로부에서의 전류 흐름을 선택적으로 허용 또는 억제하도록 스위칭 가능한 하나 이상의 주 스위칭 블록을 포함할 수 있다.
- [0025] 하나 이상의 주 스위칭 블록은 하나 이상의 부 스위칭 요소를 포함할 수 있다. 제2 전류 전송 경로부에서의 부 스위칭 요소의 개수는 제2 전류 전송 경로부의 필요한 전압 정격에 따라 가변할 수 있다.
- [0026] 하나 이상의 주 스위칭 블록은 제2 모듈을 포함할 수 있고, 제2 모듈은 하나 이상의 제2 에너지 저장 디바이스를 포함한다. 하나 이상의 제2 모듈은 하나 이상의 주 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류가 제2 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하거나 또는 전류가 제2 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 할 수 있다. 제1 모듈과 관련하여 앞서 명시된 바와 같이, 이러한 방식에서 제2 모듈 또는 각각의 제2 모듈의 구성은 그것의 스위칭 요소가 외부 전력 공급원 대신에 그것의 에너지 저장 디바이스에 의해 전원을 공급받도록 하고, 따라서 그 결과 제어 회로가 더욱 컴팩트해진다.
- [0027] 제2 모듈 또는 각각의 제2 모듈은 앞서 명시된 제1 모듈 또는 각각의 제1 모듈과 동일한 방식으로 양방향 또는 단방향 전류 능력을 갖도록 구성될 수 있다. 이러한 제2 모듈은 주 스위칭 블록 또는 각각의 주 스위칭 블록을 스위칭하기 위하여 제2 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 제2 전류 전송 경로부로부터 선택적으로 제거하는 안정적인 수단을 제공한다.
- [0028] 보조 단자가 제2 전력 전송 라인에 연결되는 본 발명의 실시예에서, 에너지 변환 블록을 통해 흐르는 전류를 증가시키고 이에 따라 DC 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거함에 있어서 제어 회로의 효율을 개선하기 위하여 제어 회로는 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거 동안 제2 전류 전송 경로부를 통해 흐르는 전류를 차단 또는 최소화하도록 구성될 수 있다. 특히, 제어 유닛은 주 스위칭 블록 또는 각각의 주 스위칭 블록을 선택적으로 스위칭하여 제2 전류 전송 경로부를 통해 흐르는 전류를 차단 또는 최소화하고 이에 따라 전류가 에너지 변

환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 할 수 있다.

- [0029] 하나 이상의 주 스위칭 블록이 하나 이상의 부 스위칭 요소를 포함하는 경우, 제어 유닛은 부 스위칭 요소 또는 각각의 부 스위칭 요소를 오프-상태로 선택적으로 스위칭하여 제2 전류 전송 경로부를 통해 흐르는 전류를 차단하고 이에 따라 전류가 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 할 수 있다.
- [0030] 하나 이상의 주 스위칭 블록이 제2 모듈을 포함하는 경우, 제어 유닛은 제2 전류 전송 경로부의 제2 모듈 또는 각각의 제2 모듈의 스위칭 요소 또는 각각의 스위칭 요소를 선택적으로 스위칭하여 제2 전류 전송 경로부를 통해 흐르는 전류를 차단 또는 최소화하고 이에 따라 전류가 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소로 향하도록 할 수 있다.
- [0031] 하나 이상의 제1 모듈 및 하나 이상의 주 스위칭 블록의 사용을 채용하는 실시예에 대하여, 전압 및 전류 양자 모두를 수정하는 제1 전류 전송 경로부의 능력은 영-전압 및 영-전류 상태 하에서 제2 전류 전송 경로부의 주 스위칭 블록 또는 각각의 주 스위칭 블록의 소프트-스위칭을 가능하게 한다.
- [0032] 보조 단자를 제2 전력 전송 라인에 연결하기 위한 제어 회로의 구성 및 그 작동의 결과 제2 전류 전송 경로부는 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거 동안 영 또는 거의 영인 전류를 전도한다. 이는 따라서 제2 전류 전송 경로부에서의 저전류, 고전압 반도체 디바이스의 사용을 가능하게 한다.
- [0033] 보조 단자가 접지에 연결되는 본 발명의 실시예에서, 제어 회로는 다음과 같이 전류가 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소 및 전류 전송 경로를 통해 흐르게 하도록 구성될 수 있다.
- [0034] 제1 전류 전송 경로부 및 제2 전류 전송 경로부가 각각 하나 이상의 모듈을 포함하는 경우, 제어 유닛은 제1 및 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거함으로써 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위해 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소 양단에 AC 전압(교류 전압) 파형을 생성한다.
- [0035] 선택적으로 제어 유닛은 제1 및 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거하여 제1 및 제2 전류 전송 경로부 각각의 양단에 사각 전압 파형, 예를 들어 180° 위상 변이된 사각 전압 파형을 생성하고 이에 따라 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하기 위해 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소 양단에 AC 전압 파형을 생성할 수 있다. 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거 동안 제1 및 제2 전류 전송 경로부 양단에 이러한 사각 전압 파형을 생성하는 것은 모듈을 통해 흐르는 전류의 피크 값을 감소시킬 뿐만 아니라, 각각의 전류 전송 경로부의 다수의 모듈 사이에 에너지를 균형을 가능하게 한다는 것이 밝혀졌다. 전력 전송 라인으로부터 에너지를 제거하는 동안 제1 및 제2 전류 전송 경로부 각각의 양단에 상이한 형상의 전압 파형을 생성하기 위하여 제어 유닛이 제1 및 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거할 수 있음이 이해될 수 있다.
- [0036] 에너지 변환 블록의 사용을 채용하는 본 발명의 실시예에서, 에너지 변환 블록은 에너지 변환 요소 또는 각각의 에너지 변환 요소에서의 전류 흐름을 선택적으로 허용 또는 억제하도록 스위칭 가능한 하나 이상의 보조 스위칭 블록을 더 포함할 수 있다.
- [0037] 이러한 제어 회로에서, 전류 전송 경로부로부터의 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 에너지 저장 디바이스의 선택적 제거는 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거를 제어하는데 필수적이지 않다. 대신에 보조 스위칭 블록 또는 각각의 보조 스위칭 블록의 스위칭이 에너지 변환 블록 또는 각각의 에너지 변환 블록에서의 전류 흐름 및 이에 따라 에너지 제거 모드에서 전력 전송 라인으로부터의 에너지 제거를 제어한다. 에너지 변환 블록에서 하나 이상의 보조 스위칭 블록의 사용은 그것의 사용과 관련하여 전류 전송 경로의 구조의 생략을 가능하게 하여 대기 구성에서의 전류를 차단하고, 따라서 하드웨어 풋프린트 및 비용 측면에서 절감 효과를 제공하고 제어 회로의 작동 효율 면에서 개선을 제공한다.
- [0038] 하나 이상의 보조 스위칭 블록은 하나 이상의 보조 스위칭 요소를 포함할 수 있다.
- [0039] 하나 이상의 보조 스위칭 블록은 보조 모듈을 포함할 수 있고, 보조 모듈은 하나 이상의 보조 에너지 저장 디바이스를 포함한다. 하나 이상의 보조 모듈은 하나 이상의 보조 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류가 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 통과하도록 하거나 또는 전류가 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 할 수 있다.
- [0040] 이러한 보조 모듈은 전력 전송 라인으로부터 제거되어야 할 초과 에너지에 대응하기 위해 에너지 변환 요소 또

는 각각의 에너지 변환 요소에 흐르는 전류를 능동적으로 수정하도록 제어될 수 있다.

[0041] 선택적으로 하나 이상의 보조 모듈은 앞서 명시된 바와 같이 제1 모듈 및 제2 모듈과 동일한 방식으로 양방향 또는 단방향 전류 능력을 갖도록 구성될 수 있다.

[0042] 하나 이상의 보조 스위칭 블록 및 하나 이상의 제2 에너지 저장 디바이스의 사용을 채용하는 본 발명의 실시예에서, 제어 유닛은 제2 전류 전송 경로로부터 각각의 제2 에너지 저장 디바이스를 선택적으로 제거함으로써 보조 스위칭 블록 또는 각각의 보조 스위칭 블록이 스위칭되는 경우 보조 스위칭 블록 또는 각각의 보조 스위칭 블록의 소프트-스위칭을 가능하게 하고 따라서 스위칭 손실을 최소화하기 위하여 제3 단자에서의 전압을 수정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0043] 첨부된 도면을 참조하여 비제한적인 예로써 본 발명의 바람직한 실시예가 이제 설명될 것이다:

- 도 1a 및 1b는 회로도 형태로 종래의 DC 전송 방식을 도시한다;
- 도 2는 회로도 형태로 본 발명의 제1 실시예에 따른 제어 회로를 도시한다;
- 도 3은 도 2의 제어 회로의 작동을 나타낸다;
- 도 4는 회로도 형태로 본 발명의 제2 실시예에 따른 제어 회로를 도시한다;
- 도 5는 회로도 형태로 본 발명의 제3 실시예에 따른 제어 회로를 도시한다;
- 도 6은 회로도 형태로 본 발명의 제4 실시예에 따른 제어 회로를 도시한다;
- 도 7은 도 6의 제어 회로의 작동을 나타낸다;
- 도 8은 회로도 형태로 Matlab-Simulink 시뮬레이션을 위한 도 6의 제어 회로의 시뮬레이션 모델을 도시한다;
- 도 9a 내지 9c는 그래프 형태로 도 8의 시뮬레이션 모델의 결과를 나타낸다; 그리고
- 도 10은 회로도 형태로 본 발명의 제5 실시예에 따른 제어 회로를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0044] 본 발명의 제1 실시예에 따른 제1 제어 회로(20)가 도 2에 도시된다.
- [0045] 제1 제어 회로(20)는 제1 단자(22) 및 제2 단자(24)를 포함한다. 사용 시에, 제1 단자(22) 및 제2 단자(24)는 각각 +Vdc/2 및 -Vdc/2의 전압을 전달하는 제1 DC 전력 전송 라인(26) 및 제2 전력 전송 라인(28)에 연결된다.
- [0046] 제1 제어 회로(20)는 제1 단자(22) 및 제2 단자(24) 사이에서 연장하는 전류 전송 경로를 더 포함한다. 전류 전송 경로는 제3 단자(34)에 의해 분리된 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)를 갖는다.
- [0047] 제1 전류 전송 경로부(30)는 제1 단자(22)와 제3 단자(34) 사이에서 연장하고, 복수의 직렬-연결된 제1 모듈(36)을 포함한다. 각각의 제1 모듈(36)은 제1 커패시터의 형태의 에너지 저장 디바이스와 병렬로 연결된 두 쌍의 주 스위칭 요소(primary switching elements)를 포함한다. 두 쌍의 주 스위칭 요소 및 제1 커패시터는 풀-브리지(full-bridge) 구성으로 연결되어 영(zero), 음(negative) 또는 양(positive) 전압을 제공할 수 있고 두 방향으로 전류를 전도할 수 있는 4-상한 바이폴라 모듈(4-quadrant bipolar module)을 형성한다.
- [0048] 제2 전류 전송 경로부(32)는 제2 단자(24) 및 제3 단자(34) 사이에서 연장하고 복수의 직렬-연결된 부 스위칭 요소(secondary switching element)(40)를 포함한다.
- [0049] 각각의 스위칭 요소는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 형태의 반도체 디바이스로 구성된다. 각각의 스위칭 요소는 또한 그것과 병렬로 연결된 역-평행 다이오드(anti-parallel diode)를 포함한다.
- [0050] 제1 제어 회로(20)는 보조 단자(42)와, 제3 단자(34)와 보조 단자(42) 사이에서 연장하여 전류 전송 경로로부터 분기(branch)하는 에너지 변환 블록을 더 포함한다. 에너지 변환 블록은 제3 단자(34)와 보조 단자(42) 사이에 직렬로 연결된 덤프 저항(44)을 포함한다. 본 발명의 다른 실시예에서, 덤프 저항(44)이 복수의 덤프 저항으로 대체될 수 있음이 예상된다.

- [0051] 사용 시에 보조 단자(42)는 DC 전력 전송 라인(28)에 연결된다.
- [0052] 제1 제어 회로(20)는 제어 유닛(46)을 더 포함하여 제1 전류 전송 경로부(30)로부터 각각의 제1 커패시터의 선택적 제거를 제어한다. 각각의 제1 커패시터는 다음과 같이 제1 전류 전송 경로부(30)로부터 선택적으로 제거된다.
- [0053] 각각의 4-상한 바이폴라 모듈의 제1 커패시터는 주 스위칭 요소의 상태를 변경함으로써 선택적으로 바이패스(bypass)되거나 전류 전송 경로에 삽입된다. 각각의 4-상한 바이폴라 모듈이 영, 음 또는 양 전압을 제공하도록, 이는 선택적으로 전류를 제1 커패시터를 통과하도록 하거나 전류가 제1 커패시터를 바이패스하도록 한다.
- [0054] 각각의 4-상한 바이폴라 모듈의 주 스위칭 요소 쌍이 4-상한 바이폴라 모듈에 단락 회로를 형성하도록 구성되는 경우 각각의 4-상한 바이폴라 모듈의 제1 커패시터는 바이패스된다. 이는 제1 전류 전송 경로부(30)의 전류가 단락 회로를 통과하고 제1 커패시터를 바이패스하도록 하고, 따라서 4-상한 바이폴라 모듈이 영 전압을 제공, 즉, 4-상한 바이폴라 모듈이 바이패스 모드로 구성되어 제1 전류 전송 경로부(30)로부터 제거된다.
- [0055] 각각의 4-상한 바이폴라 모듈의 주 스위칭 요소 쌍이 제1 전류 전송 경로부(30)의 전류가 제1 커패시터로 유입되고 제1 커패시터로부터 유출되게 하도록 구성되는 경우 각각의 4-상한 바이폴라 모듈의 제1 커패시터가 제1 전류 전송 경로부(30)로 삽입된다. 제1 커패시터는 그 다음 영이 아닌 전압을 제공하기 위하여, 즉, 4-상한 바이폴라 모듈이 비-바이패스 모드(non-bypassed mode)로 구성되고 따라서 제1 전류 전송 경로부(30)로부터 제거되지 않도록 그것의 충전된 에너지를 방전하거나 충전한다. 4-상한 바이폴라 모듈의 양방향 특성은, 양 또는 음 전압을 제공하기 위하여 제1 커패시터가 순방향 또는 역방향으로 제1 전류 전송 경로부(30)로 삽입될 수 있음을 의미한다.
- [0056] 각각 그 자신의 전압을 제공하는, 다수의 제1 모듈(36)의 제1 커패시터를 제1 전류 전송 경로부(30)에 삽입함으로써, 개개의 제1 모듈(36) 각각으로부터 이용가능한 전압보다 높은, 복수의 제1 모듈(36) 양단의 결합된 전압을 구축하는 것이 가능하다. 이러한 방식에서 각각의 제1 모듈(36)의 주 스위칭 요소의 스위칭은 복수의 제1 모듈(36)이 계단형(steped) 가변 전압원을 제공하도록 하며, 이는 단계적 근사(step-wise approximation)를 이용하여 복수의 제1 모듈(36)에 걸쳐 전압 파형의 생성을 가능하게 한다.
- [0057] 본 발명의 다른 실시예에서, 각각의 제1 모듈은 양방향 전류 능력을 갖는 다른 방식으로 구성될 수 있음이 예상된다. 예를 들어, 각각의 제1 모듈은 하프-브리지 구성의 제1 커패시터에 병렬로 연결된 주 스위칭 요소 쌍을 포함하여 영 또는 양 전압을 제공하고 두 방향으로 전류를 전도할 수 있는 2-상한 유니폴라 모듈(2-quadrant unipolar module)을 형성할 수 있다.
- [0058] 제어 유닛(46)은 또한 복수의 부 스위칭 요소(40)의 스위칭을 제어한다.
- [0059] DC 전력 전송 방식 내에서의 제1 제어 회로(20)의 작동은 도 3을 참조하여 다음과 같이 설명된다.
- [0060] 제1 DC 전력 전송 라인(26) 및 제2 DC 전력 전송 라인(28)은, 대응하는 제1 AC 네트워크 및 제2 AC 네트워크(도시되지 않음)의 각각의 상(phase)에 연결된 제1 전력 변환기(48) 및 제2 전력 변환기(50)를 상호연결한다. 전력은 대응하는 전력 변환기와 제1 및 제2 DC 전력 전송 라인(26, 28)을 통해 제1 AC 네트워크로부터 제2 AC 네트워크로 전송된다.
- [0061] 정상 작동 동안 제1 제어 회로(20)는 각각의 제1 모듈(36)의 제1 커패시터가 전류 전송 경로에 연결되는 대기 구성(standby configuration)을 채용한다. 한편 제어 유닛(46)은 각각의 부 스위칭 요소(40)를 온-상태로 스위칭하여 전류가 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흘러서 덤프 저항(44)을 바이패스하도록 한다. 즉, 제2 전류 전송 경로부(32)는 덤프 저항(44)을 회로의 밖으로 "단락"하도록 구성되고 제1 제어 회로(20)가 대기 구성에 있는 동안 그 상태로 유지된다. 이러한 방식으로 제2 전류 전송 경로부(32)를 구성하는 목적은 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 통해 전력 손실을 최소화하는 것이다.
- [0062] 제1 전류 전송 경로부(30) 양단의 총 전압은 DC 전력 전송 라인(26, 28) 양단의 전압인 V_{DC} 와 대략 동일하다. 대기 구성에서 영 또는 최소 전류가 전류 전송 경로를 통해 흐른다.
- [0063] 예를 들어 제2 AC 네트워크에서의 장애(fault)의 결과로 제2 전력 변환기(50)가 전송된 전력을 수신할 수 없는 이벤트에서, 제1 AC 네트워크는 전력 전달이 영으로 감소할 수 있을 때까지 일시적으로 DC 전송 라인으로 전력 전송을 계속해야 하는데, 풍력 발전 설비의 경우 통상적으로 1-2초가 걸린다. 이것은 DC 전력 전송 라인(26, 28)에서의 초과 에너지 축적으로 이어질 수 있다. DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터의 초과 에너지의 제거는

DC 전력 전송 라인(26, 28)을 과전압으로부터 보호하고 필요한 경우 저전압 장애 보상(ride-through)을 보장하기 위하여 필요하다.

- [0064] 제1 AC 네트워크가 제1 전력 변환기(48)를 통해 DC 전송 라인으로 전력을 계속하여 전송하도록 하기 위하여, 제어 유닛(46)은 각각의 부 스위칭 요소(40)를 오프-상태로 선택적으로 스위칭하여 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흐르는 전류를 차단하고 따라서 전류가 덤프 저항(44)으로 향하도록 한다. 한편, 제어 유닛(46)은 각각의 제1 커패시터를 제1 전류 전송 경로부(30)로부터 선택적으로 제거하여 제1 전류 전송 경로부(30) 양단에 전압 파형(V_1)을 생성하는데, 이러한 전압 파형은 유한한 전압 단계를 DC 전송 라인 양단의 전압(V_{DC})에 가산하거나 감산한다. 이것은 전류(I_{dump})가 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 제1 전류 전송 경로부(30)를 통해 덤프 저항(44)으로 흐르도록 하고, 따라서 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 초과 에너지를 제거하기 위해 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 가능하게 한다.
- [0065] 에너지 제거 모드에서, 제1 제어 회로(20)는 비교적 높은 전류(통상적으로 유닛당 1.0)를 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 인출하고 DC 전력 전송 라인(26, 28)과 실제 전력을 교환한다.
- [0066] 이러한 방식에서 제1 제어 회로(20)는 에너지 제거 디바이스로서 사용되어 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 초과 에너지를 제거할 수 있다.
- [0067] 제1 제어 회로(20)가 복수의 제1 모듈(36)을 포함함으로써 광범위한 전압 파형의 생성을 가능하게 하여, DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 제거될 초과 에너지에 대응하도록 덤프 저항(44)을 통해 흐르는 전류를 능동적으로 수정한다.
- [0068] 전류 전송 경로로부터 각각의 제1 커패시터를 선택적으로 제거하는 능력은 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 제1 제어 회로(20)로의 에너지, 즉, 초과 전력의 빠른 전달을 허용하여 DC 전력 전송 라인(26, 28)에서의 에너지 레벨의 신속한 조절을 가능하게 하는 것으로 밝혀졌다. 이것은 결국 연관된 전기 네트워크에서의 장애 이벤트 시에 DC 전력 전송 라인(26, 28)의 에너지 레벨을 조절하기 위한 요구에 제1 제어 회로(20)가 신속하게 응답할 수 있도록 한다.
- [0069] 또한, 보조 단자(42)의 제2 DC 전력 전송 라인(28)에 대한 연결은 결국 덤프 저항(44)이 접지가 아닌, 제2 DC 전력 전송 라인(28)에 연결되도록 하고 따라서 고전류가 DC 전력 전송 라인(26, 28)의 부유 커패시턴스(stray capacitance) 대신에 DC 전력 전송 라인(26, 28)을 통해 순환하도록 한다.
- [0070] 제2 전류 전송 경로부(32)는 대기 구성 및 에너지 제거 모드에서 영 또는 영이 아닌 전류를 전도하는 것이 이해될 것이다. 이것은 따라서 제2 전류 전송 경로부(32)에서의 저전류, 고전압 반도체 디바이스의 사용을 허용하고, 결국 손실, 비용 및 풋프린트(footprint)의 측면에서 감소를 제공한다.
- [0071] 본 발명의 제2 실시예에 따른 제2 제어 회로(120)가 도 4에 도시된다. 도 4에 도시된 제2 제어 회로(120)는 구조 및 작동에 있어서 도 1에 도시된 제1 제어 회로(20)와 유사하고, 유사한 구성은 동일한 도면부호를 공유한다.
- [0072] 제2 제어 회로(120)는, 제2 제어 회로(120)에서 복수의 직렬-연결된 부 스위칭 요소(40)가 복수의 직렬-연결된 제2 모듈(68)로 대체된다는 점에서 제1 제어 회로(20)와 상이하다. 각각의 제2 모듈(68)은 제2 커패시터 형태의 에너지 저장 디바이스와 병렬 연결된 주 스위칭 요소 쌍을 포함한다. 주 스위칭 요소 쌍과 제2 커패시터는 하프-브리지 구성으로 연결되어 영 또는 양 전압을 제공하고 두 방향으로 전류를 전도할 수 있는 2-상한 유니폴라 모듈을 형성한다.
- [0073] 사용 시에, 제어 유닛(46)은 제2 전류 전송 경로부(32)로부터의 각각의 제2 커패시터의 선택적 제거를 제어한다. 각각의 제2 커패시터는 다음과 같이 제2 전류 전송 경로부(32)로부터 선택적으로 제거 가능하다.
- [0074] 각각의 2-상한 유니폴라 모듈의 제2 커패시터는 주 스위칭 요소의 상태를 변경함으로써 선택적으로 바이패스되거나 전류 전송 경로에 삽입된다. 이는, 각각의 2-상한 유니폴라 모듈이 영 또는 양 전압을 제공하도록, 선택적으로 전류가 제2 커패시터를 통하도록 하거나 또는 전류가 제2 커패시터를 바이패스하도록 한다.
- [0075] 각각의 2-상한 유니폴라 모듈의 주 스위칭 요소 쌍이 2-상한 유니폴라 모듈에 단락 회로를 형성하도록 구성되는 경우 각각의 2-상한 유니폴라 모듈의 제2 커패시터는 바이패스된다. 이것은 제2 전류 전송 경로부(32)의 전류가 단락 회로를 통과하고 제2 커패시터를 바이패스하도록 하고, 따라서 2-상한 유니폴라 모듈은 영 전압을 제공, 즉, 2-상한 유니폴라 모듈은 바이패스 모드로 구성되고 이에 따라 제2 전류 전송 경로부(32)로부터 제거

된다.

- [0076] 각각의 2-상한 유니폴라 모듈의 주 스위칭 요소 쌍이 제2 전류 전송 경로부(32)의 전류가 제2 커패시터로 유입되고 제2 커패시터로부터 유출되게 하도록 구성되는 경우 각각의 2-상한 유니폴라 모듈의 제2 커패시터는 제2 전류 전송 경로부(32)에 삽입된다. 제2 커패시터는 그 다음 영이 아닌 전압을 제공하기 위하여, 즉, 2-상한 유니폴라 모듈이 비-바이패스 모드로 구성되고 따라서 제2 전류 전송 경로부(32)로부터 제거되지 않도록 하기 위하여, 그것의 저장된 에너지를 방전하거나 충전한다.
- [0077] 복수의 제1 모듈(36)과 관련하여 앞서 설명한 바와 동일한 방식으로 복수의 제2 모듈(68) 양단의 결합된 전압을 구축하는 것이 가능하다.
- [0078] 제2 제어 회로(120)의 작동은 다음을 제외하고는 제1 제어 회로(20)의 작동과 유사하다: DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거하는 경우, 제어 유닛(46)은 제2 전류 전송 경로부(32)의 각각의 제2 모듈(68)의 주 스위칭 요소의 상태를 선택적으로 스위칭하여 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흐르는 전류를 차단하거나 최소화하고 따라서 전류가 덤프 저항(44)으로 향하도록 한다.
- [0079] 바람직하게 제2 제어 회로(120)는, DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거하는 동안 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흐르는 전류가 영이 되도록 제어되어야 한다. 그러나, 실제로, 일부 전류가 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흘러서 제2 커패시터의 충전 및 방전이 덤프 저항(44) 양단의 원하는 전압을 달성할 수 있도록 할 것이다.
- [0080] 손실, 비용 및 풋프린트 측면에서의 감소를 제공하도록 각각의 복수의 제2 모듈(68)이 각각의 복수의 제1 모듈(36)보다 낮은 정격(rating)을 갖도록 구성될 수 있음이 이해될 것이다. 이것은, 제1 제어 회로(20)와 관련하여 앞서 기재된 바와 같이, 제2 전류 전송 경로부(32)가 대기 구성 및 에너지 제거 모드에서 영 또는 영이 아닌 전류를 전도하기 때문이다.
- [0081] 본 발명의 제3 실시예에 따른 제3 제어 회로(220)가 도 5에 도시된다. 도 5에 도시된 제3 제어 회로(220)는 도 4에 도시된 제2 제어 회로(120)와 구조 및 작동에 있어서 유사하고, 유사한 구성은 동일한 도면부호를 공유한다.
- [0082] 제3 제어 회로(220)는, 제3 제어 회로(220)에서 각각의 제2 모듈(70)이 제2 커패시터 형태의 에너지 저장 디바이스와 병렬 연결된 두 쌍의 주 스위칭 요소를 포함한다는 점에서 제2 제어 회로(120)와 상이하다. 주 스위칭 요소 쌍과 제2 커패시터는 폴-브리지 구성으로 연결되어 영, 음 또는 양 전압을 제공하고 두 방향으로 전류를 전도할 수 있는 4-상한 바이폴라 모듈을 형성한다.
- [0083] 사용 시에, 제어 유닛(46)은 제2 전류 전송 경로부(32)로부터의 각각의 제2 커패시터의 선택적 제거를 제어한다. 각각의 제2 커패시터는, 제1 제어 회로(20)에서의 제1 전류 전송 경로부(30)로부터의 각각의 제1 모듈(36)의 선택적 제거와 동일한 방식으로 제2 전류 전송 경로부(32)로부터 선택적으로 제거 가능하다.
- [0084] 제2 전류 전송 경로부(32)에서 2-상한 유니폴라 모듈 대신에 4-상한 바이폴라 모듈을 사용하는 것 외에는, 제3 제어 회로(220)의 작동은 제2 제어 회로(120)의 작동과 유사하다.
- [0085] 제2 전류 전송 경로부(32)에서의 4-상한 바이폴라 모듈의 사용은, 그것이 전송 전력의 방향이 바뀌는 경우 DC 전압의 극성이 변경되는 LCC HVDC 방식과 결합하여 제3 제어 회로(220)의 사용을 가능하게 한다는 점에서 유용하다.
- [0086] 본 발명의 제4 실시예에 따른 제4 제어 회로(320)가 도 6에 도시된다. 도 6에 도시된 제4 제어 회로(320)는 구조 및 작동에 있어서 도 5에 도시된 제3 제어 회로(220)와 유사하고, 유사한 구성은 동일한 도면부호를 공유한다.
- [0087] 제4 제어 회로(320)는, 사용 시에 보조 단자(42)가 제2 DC 전송 라인(28) 대신에 접지에 연결되고 제2 전류 전송 경로부(32)가 복수의 제2 모듈(70)과 직렬 연결된 제2 인덕터를 더 포함한다는 점에서 제3 제어 회로(220)와 상이하다.
- [0088] DC 전력 전송 방식에서의 제4 제어 회로(320)의 작동이 도 7을 참조하여 다음과 같이 설명된다.
- [0089] 제1 DC 전력 전송 라인(26) 및 제2 DC 전력 전송 라인(28)은 대응하는 제1 AC 네트워크 및 제2 AC 네트워크(도시되지 않음)의 각각의 상에 연결된 제1 전력 변환기(48) 및 제2 전력 변환기(50)를 상호연결한다. 전력은 대응하는 전력 변환기와 제1 및 제2 DC 전력 전송 라인(26, 28)을 통해 제1 AC 네트워크로부터 제2 AC 네트워크로

전송된다.

- [0090] 정상 작동 동안 제4 제어 회로(320)는 제1 모듈 및 제2 모듈(70)의 커패시터가 전류 전송 경로에 연결되는 대기 구성을 채용한다. 한편 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)는, 제4 제어 회로(320)가 대기 구성인 경우 덤프 저항(44)을 통해 흐르는 전류를 차단 또는 최소화하고 이에 따라 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 최소화하기 위하여 덤프 저항(44) 양단에 영 또는 영이 아닌 전압을 유지하도록 구성된다. 이러한 방식으로 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)를 구성하는 목적은 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 통한 전력 손실을 최소화하는 것이다.
- [0091] 제1 전류 전송 경로부(30) 양단의 총 전압은 DC 전력 전송 라인(26, 28) 양단의 전압인 V_{DC} 와 대략 동일하다. 대기 구성에서 전류 전송 경로를 통해 영 또는 최소 전류가 흐른다.
- [0092] 제2 전력 변환기(50)가 예를 들어 제2 AC 네트워크에서의 장애의 결과로 전송 전력을 수신할 수 없는 이벤트에서, 제1 AC 네트워크는 전력 전달이 영으로 감소될 수 있을 때까지 DC 전송 라인으로 일시적으로 전력 전송을 계속해야 하는데, 풍력 발전 설비의 경우 통상적으로 1-2초가 걸린다. 앞서 설명된 바와 같이, 이는 DC 전력 전송 라인(26, 28)에서의 초과 에너지 축적으로 이어질 수 있다. DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터의 초과 에너지의 제거는 DC 전력 전송 라인(26, 28)을 과전압으로부터 보호하고 필요한 경우 저전압 장애 보상을 보장하기 위하여 필요하다.
- [0093] 제1 AC 네트워크가 제1 전력 변환기(48)를 통해 DC 전송 라인으로 전력 전송을 계속하도록 하기 위하여, 제어 유닛(46)은 각각의 제1 커패시터 및 제2 커패시터를 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)로부터 선택적으로 제거하여 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각의 양단에 전압 파형을 생성하는데, 이러한 전압 파형은 DC 전송 라인 양단의 전압(V_{DC})에 유한한 전압 단계를 가산하거나 감산한다. 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 양단의 전압 파형은 덤프 저항(44) 양단에 AC 전압 파형을 생성하도록 형상화된다. 이는 전류($I_{AC_dump}/2$)가 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32)를 통해 흐르도록 하고 전류(I_{AC_dump})가 덤프 저항(44)으로 흐르도록 하며, 이에 따라 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 초과 에너지를 제거하기 위하여 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 가능하게 한다.
- [0094] 제4 제어 회로(320)의 시뮬레이션 모델이 Matlab-Simulink를 이용하여 구현되어 그 작동을 도시하였다. 시뮬레이션 모델의 표현(representation)은 도 8에 도시되며, 여기서 각각의 제1 커패시터 및 제2 커패시터가 DC 전압 원으로서 모델링되고 제4 제어 회로(320)가 DC 전압원과 병렬 연결된다.
- [0095] 사각 전압 파형 수요전력(square voltage waveform demand)이 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각에 대해 설정된다. 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각에 대해 각각의 사각 전압 파형 수요전력의 양의 피크는 V_{dc} 로 설정되고, 반면 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각에 대해 각각의 사각 전압 파형 수요전력의 음의 피크는, 복수의 제1 모듈(36)에 걸친 전력(P_1) 변화와 영인(nil) 평균 전력(P_{avg})에 의해 나타내어지는 영의 순 에너지 교환(zero net energy exchange)을 그래프 형태로 나타내는 도 9a에 도시된 바와 같이, 단일 사이클에 대해 순 에너지 교환이 영이 되도록 제1 커패시터 및 제2 커패시터에서 손실된 임의의 에너지를 재저장하기 위하여 비례-적분 조절기(proportional-integral regulator)에 의해 제어되는 음의 전압값이다.
- [0096] 실제로, 생성된 전압 파형의 음의 값은 일정한 DC 전류가 전류 전송 경로를 통해 제2 DC 전력 전송 라인(28)으로부터 제1 DC 전력 전송 라인(26)으로 흐르도록 하여 제1 커패시터 및 제2 커패시터로부터 덤프 저항(44)으로의 임의의 에너지 손실을 보상한다. 제1 전류 전송 경로부(30)에서의 순시 전류(I_1) 및 영 평균 전류(I_{1avg})와 제2 전류 전송 경로부(32)에서의 순시 전류(I_2) 및 영 평균 전류(I_{2avg})를 그래프 형태로 나타내는 도 9b에 도시된 바와 같이, 일정한 DC 전류는 전류 전송 경로를 통해 덤프 저항(44)으로 흐르는 AC 전류를 상쇄(offset)한다.
- [0097] 도 9c는 덤프 저항(44)에서 소모되는 평균 전력(P_{Ravg}) 및 순시 전력(P_R)을 그래프 형태로 도시한다.
- [0098] 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각의 양단에 180° 위상 변이된 사각 전압 파형을 사용함으로써 제1 커패시터 및 제2 커패시터를 통하는 전류의 피크 값을 감소시킬 뿐만 아니라 복수의 제1 모듈(36) 및 복수의 제2 모듈(70) 각각에 대해 단일 사이클에서 영의 순 에너지 교환의 결과를 낳는다는 것이 시뮬

레이션 모델로부터 밝혀졌다. 따라서 제1 전류 전송 경로부(30) 및 제2 전류 전송 경로부(32) 각각의 양단에 180° 위상 변이된 사각 전압 파형을 사용한 결과 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터의 에너지 제거 동안 제4 제어 회로(320)가 안정적으로 작동한다.

- [0099] 본 발명의 제5 실시예에 따른 제5 제어 회로(420)가 도 10에 도시된다. 도 10에 도시된 제5 제어 회로(420)는 도 4에 도시된 제2 제어 회로(120)와 구조에 있어서 유사하며, 유사한 구성은 동일한 도면부호를 공유한다.
- [0100] 제5 제어 회로(420)는, 제5 제어 회로(420)가 복수의 제1 모듈(36)을 생략하고 에너지 변환 블록이 덤프 저항(44)에 직렬로 연결된 복수의 직렬-연결된 보조 스위칭 요소(100)를 더 포함한다는 점에서 제2 제어 회로(120)와 상이하다.
- [0101] DC 전력 전송 방식에서의 제5 제어 회로(420)의 작동이 다음과 같이 설명된다.
- [0102] 정상 작동 동안 제5 제어 회로(420)는 각각의 제2 커패시터가 전류 전송 경로에 연결되는 대기 구성을 채용한다. 한편 각각의 보조 스위칭 요소(100)는 오프-상태로 스위칭되어 덤프 저항(44)에서의 전류 흐름을 억제하여 에너지 손실을 최소화한다.
- [0103] DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거하기 위하여, 각각의 스위칭 요소(100)는 온-상태로 스위칭되어 덤프 저항(44)에서의 전류 흐름을 허용한다. 이 단계에서 제어 유닛(46)은 각각의 제2 커패시터를 제2 전류 전송 경로부로부터 선택적으로 제거하여, 각각의 보조 스위칭 요소(100)가 온-상태로 스위칭되는 경우 각각의 보조 스위칭 요소(100)의 소프트-스위칭이 가능하도록 제3 단자(34)에서의 전압을 수정한다.
- [0104] 각각의 보조 스위칭 요소(100)의 온-상태로의 스위칭은 DC 전류가 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 전류 전송 경로를 통하여 덤프 저항(44)으로 흐르도록 한다. 이는 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터의 초과 에너지를 제거하기 위하여 덤프 저항(44)을 통한 에너지 소산을 허용한다.
- [0105] DC 전력 전송 라인(26, 28)이 정상 작동을 재개하고 제5 제어 회로(420)가 더 이상 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거하도록 작동할 필요가 없어진 후에, 제5 제어 회로(420)가 그 대기 구성으로 재구성되기 전에 각각의 보조 스위칭 요소(100)는 오프-상태로 다시 스위칭되어 덤프 저항(44)에서의 전류 흐름을 억제한다. 이 단계에서 제어 유닛(46)은 제2 전류 전송 경로부로부터 각각의 제2 커패시터를 선택적으로 제거하여, 각각의 보조 스위칭 요소(100)가 다시 오프-상태로 스위칭되는 경우 각각의 보조 스위칭 요소(100)의 소프트-스위칭이 가능하도록 제3 단자(34)에서의 전압을 수정한다.
- [0106] 이러한 방식에서 제5 제어 회로(420)는 또한 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터 에너지를 제거할 수 있는 더욱 간단한 구성을 제공한다.
- [0107] 제2 전류 전송 경로부(32)가 손실, 비용 및 풋프린트 측면에서의 감소를 제공하기 위하여 복수의 직렬-연결된 보조 스위칭 요소(100)보다 낮은 정격을 갖도록 구성될 수 있음이 이해될 것이다. 이는 전류 전송 경로로부터 각각의 제2 커패시터를 선택적으로 제거하는 것이 DC 전력 전송 라인(26, 28)으로부터의 에너지 제거를 제어하는데 필수적이지 않기 때문이다.
- [0108] 본 발명의 다른 실시예에서, 각각의 보조 스위칭 요소가 덤프 저항에서의 전류 흐름을 제어하기 위하여 보조 모듈로 대체될 수 있고 이러한 보조 모듈은 각각 적어도 하나의 보조 에너지 저장 디바이스를 포함할 수 있다는 것이 예상된다. 바람직하게 각각의 보조 모듈은 적어도 하나의 보조 스위칭 요소를 포함하여 선택적으로 전류를 이러한 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 통하도록 하거나 또는 선택적으로 전류가 이러한 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스를 바이패스하도록 한다.
- [0109] 각각의 보조 모듈은 양방향 전류 능력을 갖도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 각각의 보조 모듈은, 앞선 실시예에서 위에 명시된 바와 같이 전류 전송 경로의 제1 모듈 및 제2 모듈에서와 동일한 방식으로 양방향 전류 능력을 갖도록 구성될 수 있다.
- [0110] 각각의 보조 스위칭 요소는 또한 선택적으로 단방향 전류 능력을 갖도록 구성될, 즉, 그 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스가 단 하나의 방향으로 전류를 전도할 수 있도록 구성될, 보조 모듈에 의해 대체될 수 있다. 예를 들어, 각각의 보조 모듈은 직렬-연결된 전류 흐름 제어 요소의 제1 세트 및 제2 세트를 포함할 수 있고, 각각의 직렬-연결된 전류 흐름 제어 요소 세트는 전류를 그 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스로 향하게 하기 위한 능동 스위칭 요소와 보조 모듈을 통하는 전류 흐름을 단일 방향으로 제한하기 위한 수동 전류 체크 요소를 포함하며, 직렬-연결된 전류 흐름 제어 요소의 제1

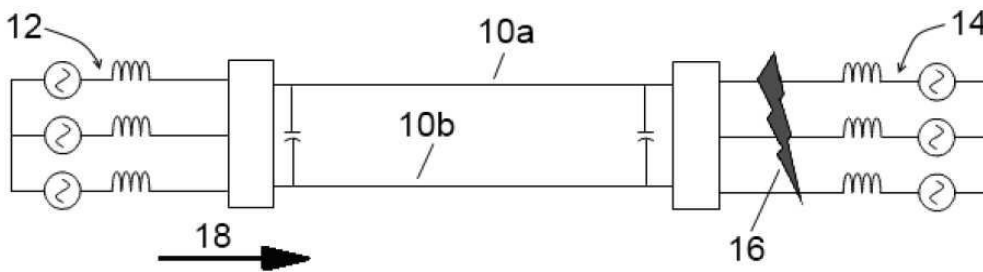
및 제2 세트와 그 보조 에너지 저장 디바이스 또는 각각의 보조 에너지 저장 디바이스는 풀-브리지 구성으로 배치되어 단일 방향으로 전류를 전도하면서 영, 양 또는 음 전압을 제공할 수 있는 합리화된 2-상한 바이폴라 모듈(2-quadrant bipolar rationalised module)을 형성한다.

[0111] 본 발명의 다른 실시예에서(도시되지 않음), 스위칭 요소 중 하나 이상은 예컨대, 게이트 턴 오프 사이리스터 (gate turn-off thyristor), FET(field effect transistor), IEGT(injection-enhanced gate transistor), 통합 게이트 정류 사이리스터(integrated gate commutated thyristor)와 같은 상이한 스위칭 디바이스 또는 임의의 기타 자가-정류 반도체 디바이스(self-commutated semiconductor device)일 수 있음이 예상된다. 각각의 예에서, 스위칭 디바이스는 역-평행 다이오드와 병렬 연결된다.

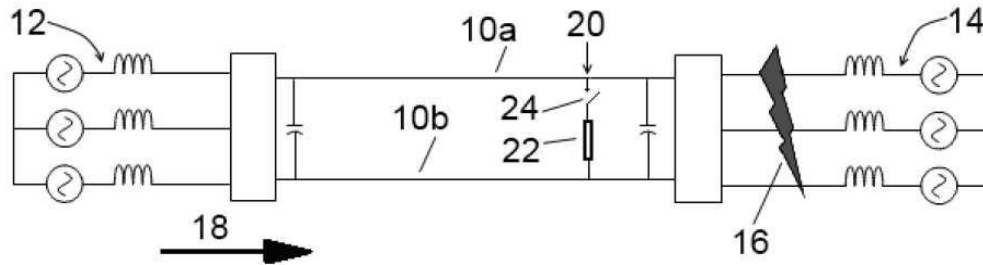
[0112] 본 발명의 다른 실시예에서(도시되지 않음), 각각의 모듈의 커패시터는 예컨대, 연료 전지, 배터리 또는 전기 에너지를 저장 및 방출하여 전압을 제공할 수 있는 임의의 기타 에너지 저장 디바이스와 같은 상이한 에너지 저장 디바이스로 대체될 수 있음이 예상된다.

도면

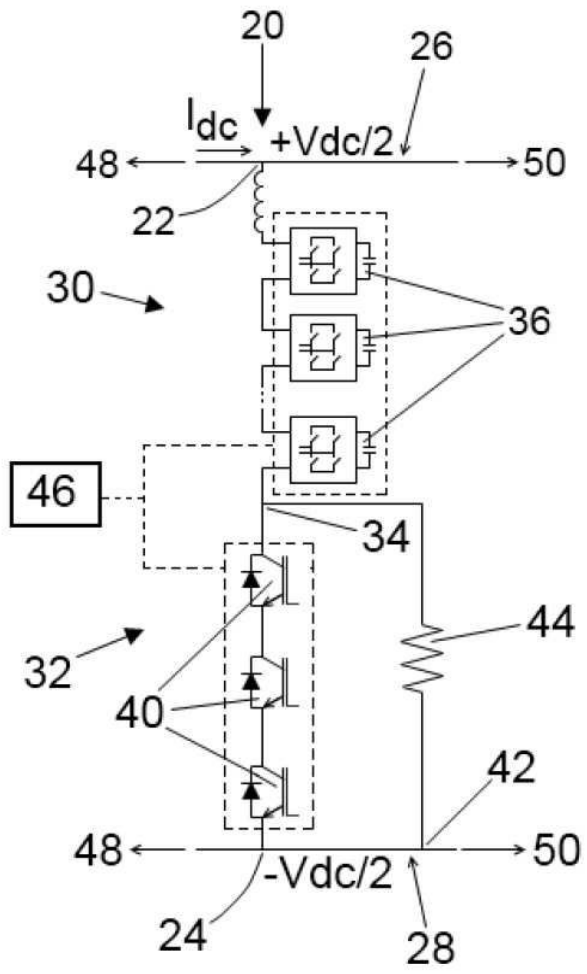
도면1a



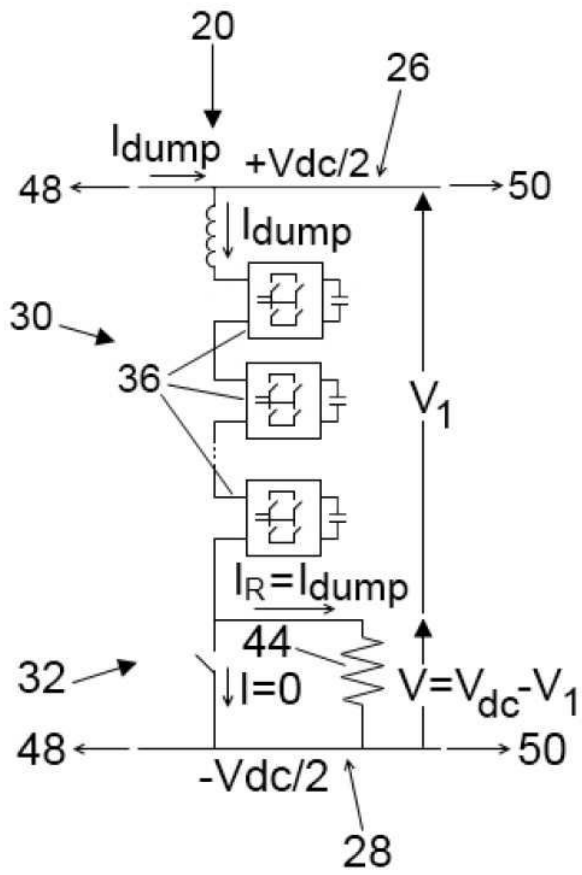
도면1b



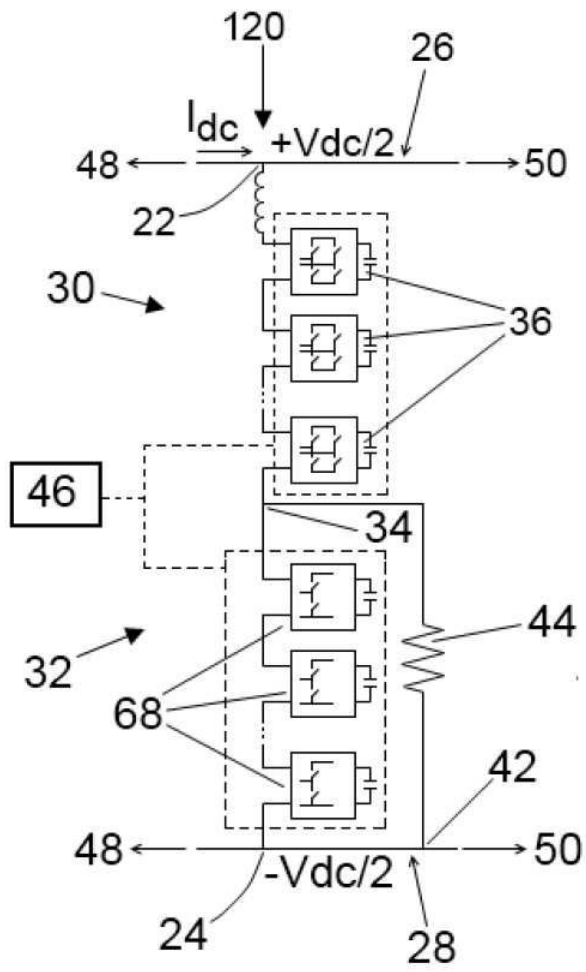
도면2



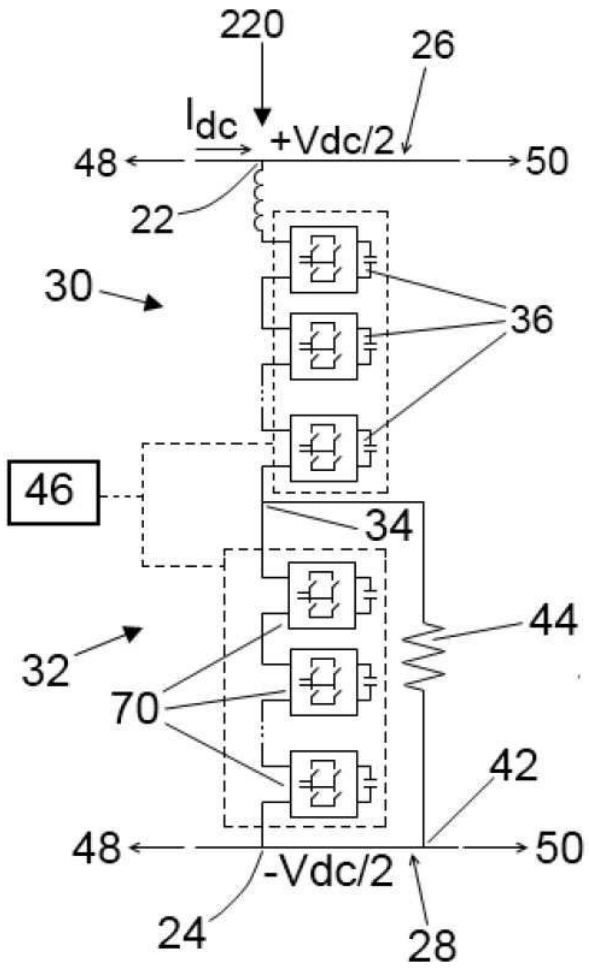
도면3



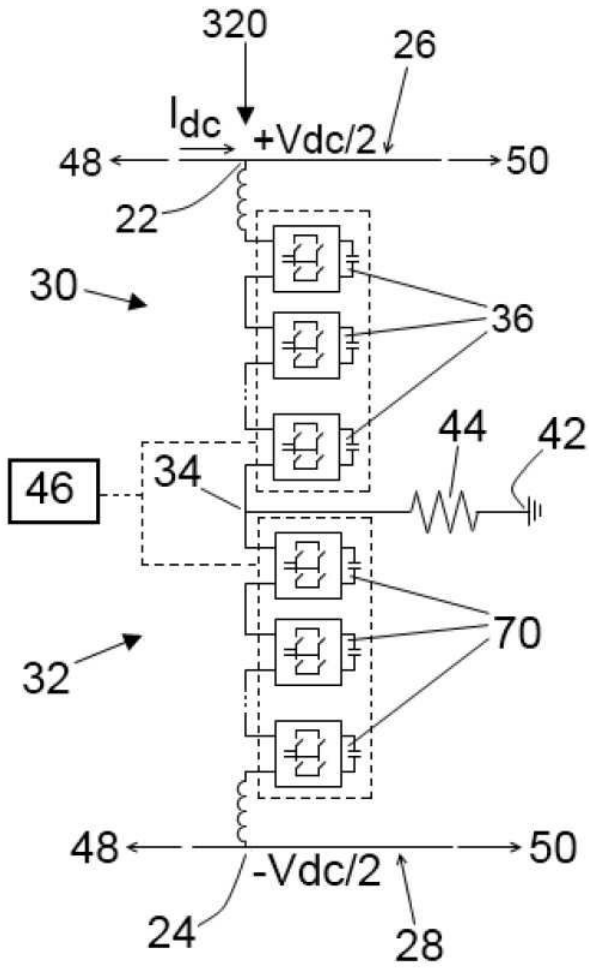
도면4



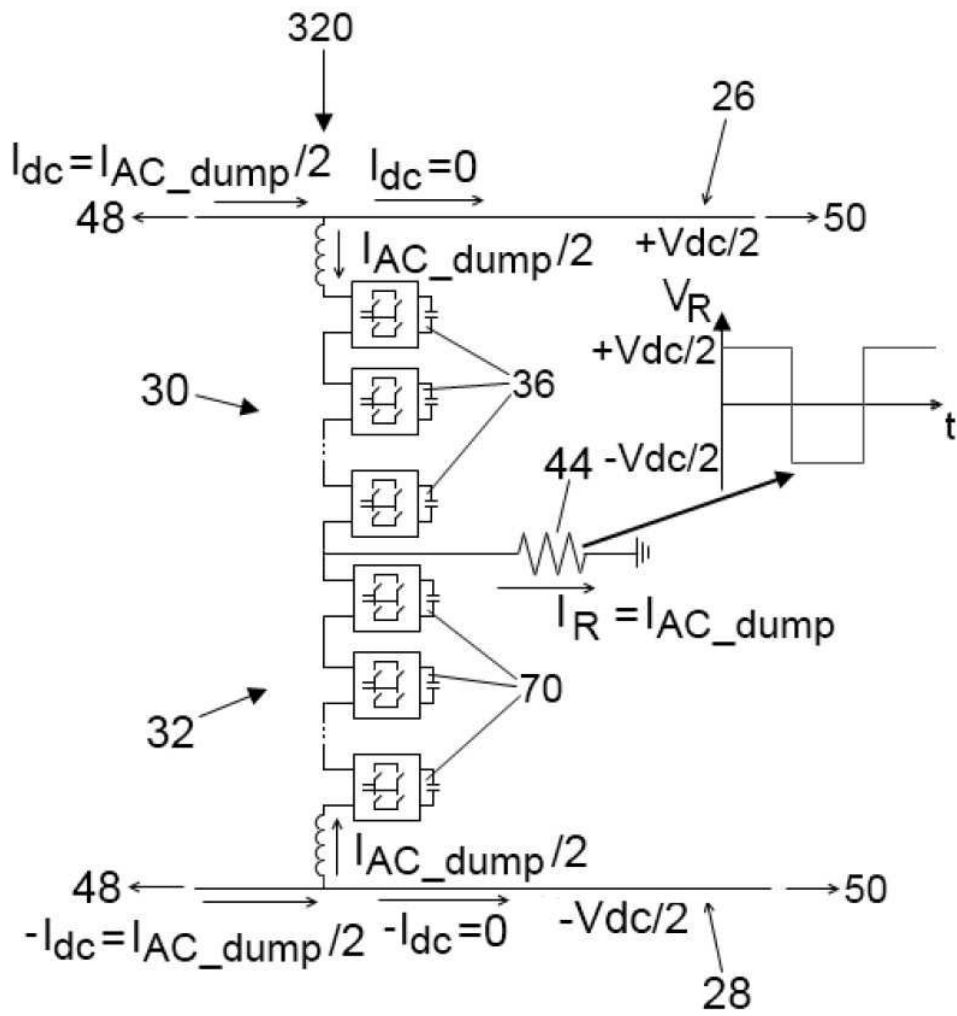
도면5



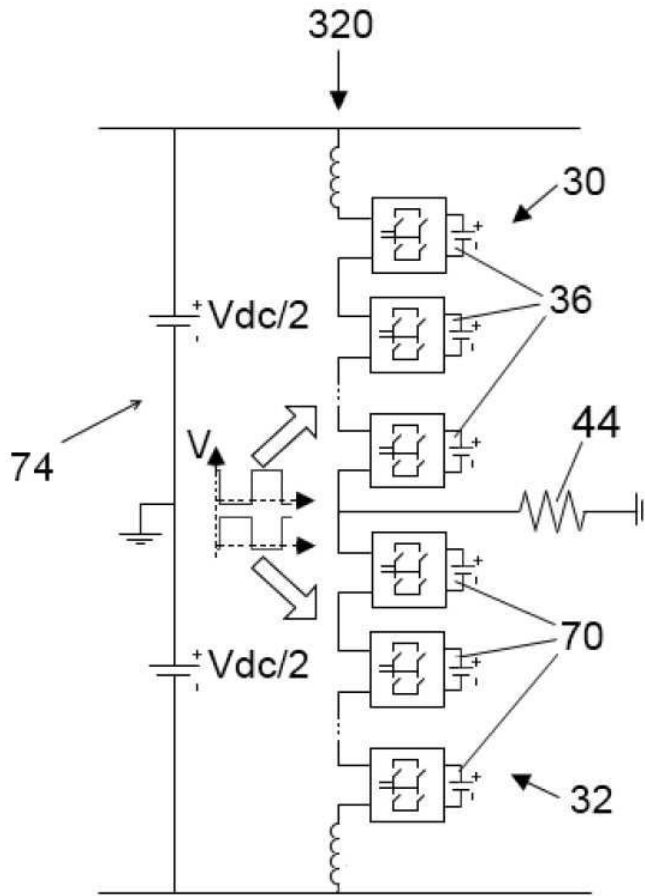
도면6



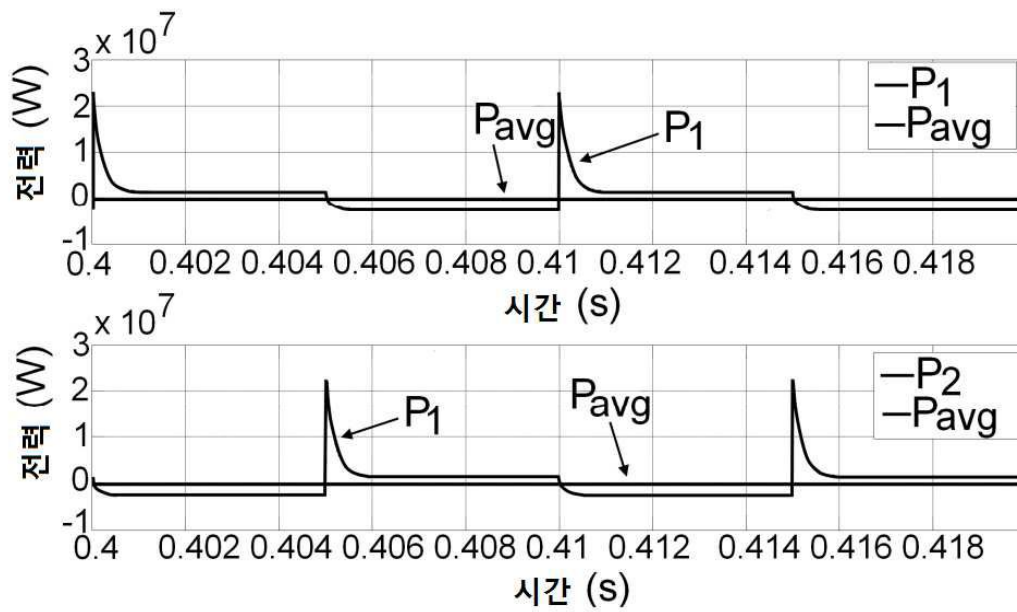
도면7



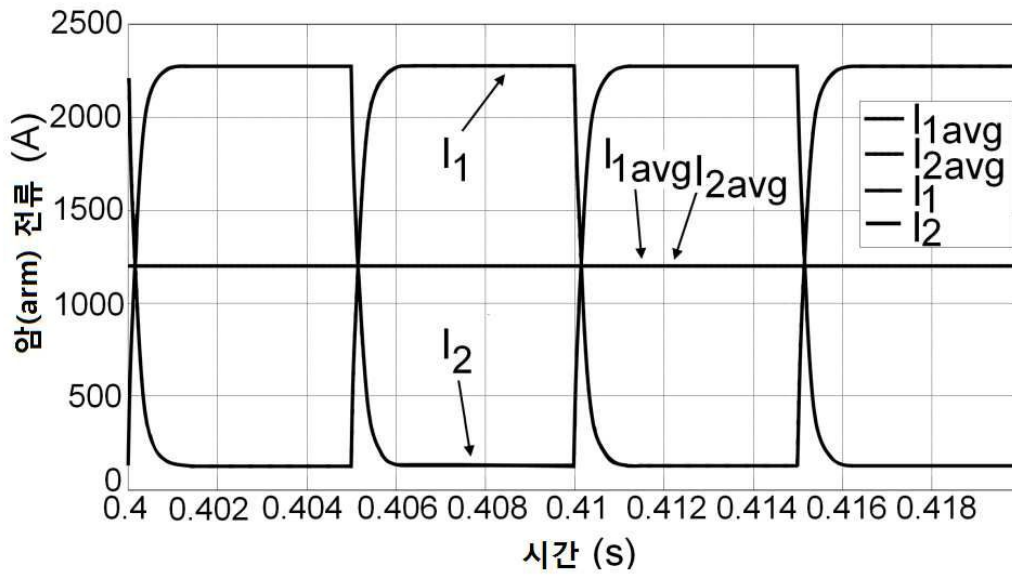
도면8



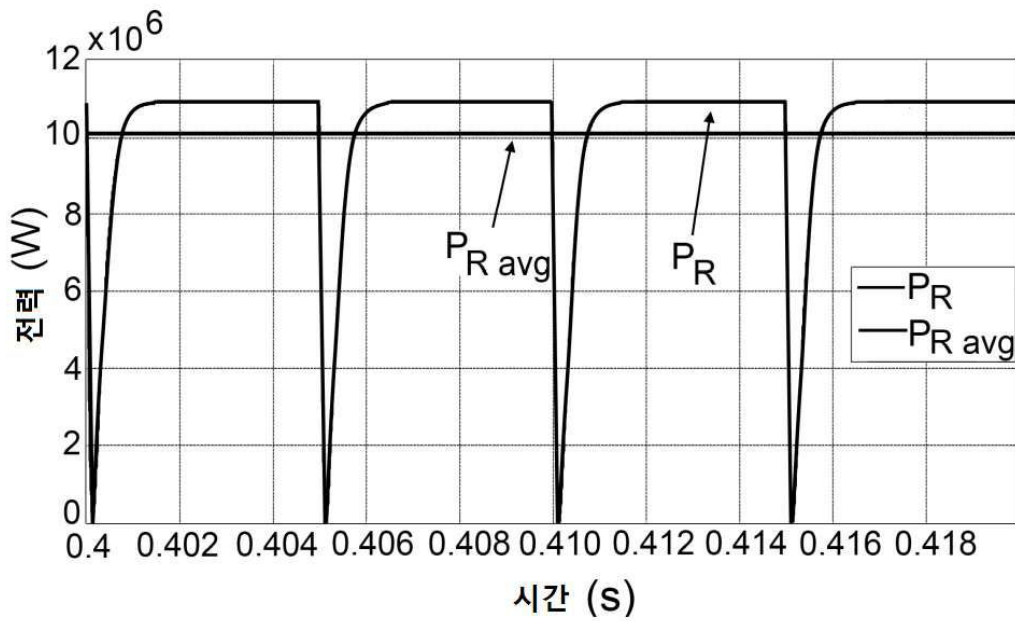
도면9a



도면9b



도면9c



도면10

