



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0048251
(43) 공개일자 2015년05월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 19/20 (2014.01) H02K 16/00 (2006.01)
H02K 55/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02K 19/20 (2013.01)
H02K 16/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7009934
(22) 출원일자(국제) 2013년09월17일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2015년04월17일
(86) 국제출원번호 PCT/AU2013/001063
(87) 국제공개번호 WO 2014/040145
국제공개일자 2014년03월20일
(30) 우선권주장
2012904048 2012년09월17일 오스트레일리아(AU)

(71) 출원인
기나 에너지 피티와이 리미티드
오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층
(72) 발명자
기나 안테
오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층
켈스 존
오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인

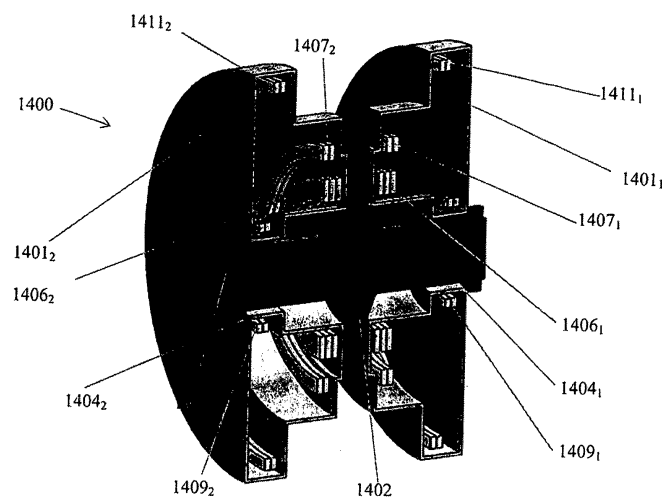
전체 청구항 수 : 총 40 항

(54) 발명의 명칭 전자기 터빈

(57) 요약

자계와 널 자계 영역을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체; 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 위치된 회전자로서, 상기 회전자는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체를 관통해 연장되는 구동축에 결합되며, 상기 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 회전자; 상기 널 자계 영역에서 상기 회전자에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구 및 상기 구동축에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구; 및 상기 구동축에 부착된 구동 기구를 포함함으로써, 상기 구동 기구의 작동에 의해 상기 회전자가 자계 내에서 회전하여 제 1 전류 이송 기구와 제 2 전류 이송 기구 사이에 전위를 발생시키는 발전기가 개시된다.

대표도 - 도23a



(52) CPC특허분류

H02K 55/06 (2013.01)

Y02E 10/725 (2013.01)

Y02E 40/627 (2013.01)

(72) 발명자

라비스 커트

오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층

서콧 데이비드

오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층

리싱턴 토니

오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층

퓨저 르네

오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층

마세크 아카디

오스트레일리아 4217 퀸즐랜드 서퍼스 파라다이스
50 캐빌 애비뉴 19층

제로니모 세시미로 파울리노 파비안

오스트레일리아 4035 퀸즐랜드 브릿지맨 다운스 디
카프리오 씨킷 7

명세서

청구범위

청구항 1

발전기에 있어서,

자계와 널 자계 영역(null magnetic field region)을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체(magnetic assembly) 및 제 2 자기 조립체;

상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 위치된 회전자로서, 상기 회전자는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체를 관통해 연장되는 구동축에 결합되며, 상기 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 회전자;

상기 널 자계 영역에서 상기 회전자에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구 및 상기 구동축에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구; 및

상기 구동축에 부착된 구동 기구를 포함하고,

상기 구동 기구의 작동에 의해 상기 회전자가 자계 내에서 회전하여 제 1 전류 이송 기구와 제 2 전류 이송 기구 사이에 전위를 발생시키는

발전기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

각각의 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함하는

발전기.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 초전도 코일은 솔레노이드를 형성하도록 연결되는

발전기.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 초전도 도체 코일은 상기 자기 조립체들 내에 특정의 기하 형태(geometric configuration)로 배열되는

발전기.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 코일은 상기 자기 조립체들 내에 동심으로(concentrically) 배열되는

발전기.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 코일은 동축으로(coaxially) 배열되는

발전기.

청구항 7

제 2 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,
각각의 자기 조립체를 형성하는 상기 코일은 교번 극성(alternating polarity)의 코일인
발전기.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 회전자는 복수의 도전성 층으로 구성되는
발전기.

청구항 9

제 8 항에 있어서,
인접한 층들이 전기적으로 결합되어 상기 회전자를 통한 직렬 회로를 형성하는
발전기.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 전류 이송 기구들은 액체 금속 브러시(liquid metal brush)의 형태인
발전기.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 구동축에 결합된 상기 적어도 하나의 전류 이송 기구는 상기 제 1 자기 조립체 또는 상기 제 2 자기 조립체의 외부에 위치되는
발전기.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 전류 이송 기구는, 자계 강도가 0.2T 미만인 영역에서 상기 구동축에 결합되는
발전기.

청구항 13

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 구동 기구는 저속 구동기(low speed drive)인
발전기.

청구항 14

제 13 항에 있어서,
생성된 전위는 저전압 및 고전류인
발전기.

청구항 15

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 구동 기구는 고속 구동기인
발전기.

청구항 16

제 13 항에 있어서,
생성된 전위는 고전압 및 저전류인
발전기.

청구항 17

제 1 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제 1 및 제 2 자기 조립체 내에 동심으로 위치되며 병렬로 배열된 제 3 및 제 4 자기 조립체를 추가로 포함하는
발전기.

청구항 18

제 17 항에 있어서,
상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함하는
발전기.

청구항 19

DC-DC 변환 스테이지를 포함하는 발전기에 있어서,

주 구동계(primary drive field)와 널 자계 영역을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;

상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 위치된 제 1 회전자로서, 상기 제 1 회전자는 구동축에 연결하도록 구성되며, 상기 제 1 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 1 회전자;

상기 제 1 회전자에 전기적으로 결합된 전기 모터로서, 상기 전기 모터는 상기 전기 모터를 위한 구동계를 생성하도록 병렬로 배열된 제 3 자기 조립체와 제 4 자기 조립체 사이에 위치되고, 상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 복수의 부 널 자계 영역(secondary null magnetic field region)을 생성하며, 상기 전기 모터의 전기 커플링(electrical coupling)들이 상기 부 널 자계 영역 내에 위치되는, 상기 전기 모터;

상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에서 상기 제 1 회전자에 인접하게 위치된 제 2 회전자로서, 상기 제 2 회전자는 상기 전기 모터에 기계적으로 결합되며, 상기 제 2 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 2 회전자; 및

상기 제 1 회전자에 기계적으로 결합된 구동 기구를 포함하고,

상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 제 1 회전자가 상기 주 구동계 내에서 회전하여 고전류를 발생시키고, 상기 고전류는 상기 전기 모터를 통과하여 토크를 발생시켜서 상기 제 2 회전자를 상기 주 구동계 내에서 구동시킴으로써 저전류 출력을 생성하는

발전기.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 회전자는 내부 및 외부 전류 이송 기구들을 포함하는 발전기.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 내부 전류 이송 기구들은 상기 제 3 및 제 4 자기 조립체에 의해 생성된 적어도 하나의 부 널 자계 영역 내에 위치되고,

상기 외부 전류 이송 기구들은 상기 제 1 및 제 2 자기 조립체에 의한 상기 널 자계 영역 내에 위치되는 발전기.

청구항 22

제 19 항 내지 제 21 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전기 모터의 전기 커플링들은 내부 전류 이송 기구 및 외부 전류 이송 기구의 형태일 수 있는 발전기.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 내부 전류 이송 기구는 상기 부 널 자계 영역 내의 제 1 영역 내에 위치되고, 상기 외부 브러시는 부 널 자계 영역 내의 제 2 영역 내에 위치되는

발전기.

청구항 24

제 19 항 내지 제 23 항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함하는 발전기.

청구항 25

제 24 항에 있어서,

상기 초전도 도체 코일은 상기 자기 조립체들 내에 특정의 기하 형태로 배열되는 발전기.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 코일은 상기 자기 조립체들 내에 동심으로 배열되는 발전기.

청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 코일은 동축으로 배열되는 발전기.

청구항 28

제 24 항 내지 제 27 항 중 어느 한 항에 있어서,

각각의 자기 조립체를 형성하는 상기 코일은 교번 극성의 코일인
발전기.

청구항 29

제 19 항 내지 제 28 항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제 1, 제 2, 제 3, 및 제 4 자기 조립체는 중첩되는 관계로 배열될 수 있는
발전기.

청구항 30

제 29 항에 있어서,
상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 상기 제 1 및 제 2 자기 조립체 내에 동심으로 배열되는
발전기.

청구항 31

제 19 항 내지 제 30 항 중 어느 한 항에 있어서,
제 3 회전자를 추가로 포함하고,
상기 제 3 회전자는, 상기 제 3 회전자의 일부가 제 5 자기 조립체와 제 6 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자
계 영역 내에 위치되도록 상기 제 5 자기 조립체와 상기 제 6 자기 조립체 사이에 위치되는
발전기.

청구항 32

제 31 항에 있어서,
상기 제 3 회전자는 상기 제 1 회전자에 기계적 및 전기적으로 결합되는
발전기.

청구항 33

제 31 항 또는 제 32 항에 있어서,
상기 제 5 및 제 6 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함하
는
발전기.

청구항 34

제 33 항에 있어서,
상기 초전도 도체 코일은 상기 자기 조립체들 내에 특정의 기하 형태로 배열되는
발전기.

청구항 35

제 34 항에 있어서,
상기 코일은 상기 자기 조립체들과 동심으로 배열되는
발전기.

청구항 36

제 19 항 내지 제 35 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2 회전자는 상기 전기 모터와 전기 절연되는
발전기.

청구항 37

DC-DC 변환 스테이지를 포함하는 발전기에 있어서,

주 구동계와 널 자계 영역을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;

구동축에 연결되도록 구성된 제 1 회전자로서, 상기 제 1 회전자의 일부는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 1 회전자;

상기 제 1 회전자에 전기적으로 결합된 전기 모터로서, 상기 전기 모터는 상기 전기 모터를 위한 구동계를 생성하도록 병렬로 배열된 제 3 자기 조립체와 제 4 자기 조립체 사이에 위치되고, 상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 복수의 부 널 자계 영역을 생성하며, 상기 전기 모터의 전기 커플링들이 상기 부 널 자계 영역 내에 위치되는, 상기 전기 모터;

상기 제 1 회전자에 인접하게 위치한 제 2 회전자로서, 상기 제 2 회전자는 상기 전기 모터에 기계적으로 결합되며, 상기 제 2 회전자의 일부는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 2 회전자; 및

상기 제 1 회전자에 기계적으로 결합된 구동 기구를 포함하고,

상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 제 1 회전자가 상기 주 구동계 내에서 회전하여 고전류를 발생시키고, 상기 고전류는 상기 전기 모터를 통과하여 토크를 발생시켜서 상기 제 2 회전자를 상기 주 구동계 내에서 구동시킴으로써 저전류 출력을 생성하는

발전기.

청구항 38

발전기에 있어서,

널 자계 영역으로 이루어진 영역들 및 주 구동 자계(primary magnetic drive field)를 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;

상기 제 1 및 제 2 자기 조립체 내에 동심으로 위치되며 병렬로 배열된 제 3 및 제 4 자기 조립체;

상기 자기 조립체들 사이에 위치되며, 구동축에 연결하도록 구성된 회전자;

상기 회전자를 따르는 불연속 지점들에 결합된 복수의 전류 이송 기구로서, 각각의 전류 이송 기구는 상기 자기 조립체들 사이에 생성되는 널 자계 영역 내에 위치되고, 상기 널 자계 영역 내에 있는 회전자와 제 2 전류 이송 기구가 상기 구동축에 결합되는, 상기 복수의 전류 이송 기구; 및

상기 구동축에 부착된 구동 기구를 포함하고,

상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 회전자가 상기 주 구동 자계 내에서 회전하여 상기 전류 이송 기구들 사이에 전위를 발생시키는

발전기.

청구항 39

제 1 항 내지 제 38 항 중 어느 한 항에 있어서,

제공된 임의의 회전자는 다수의 회전자 디스크 요소를 포함하는 적층형 회전자이고, 각각의 회전자 디스크 요소는 대응하는 실린더 요소 주위로 회전하도록 상기 대응하는 실린더 요소에 장착되고, 상기 실린더 요소는 도전성 축을 형성하고, 각각의 회전자 디스크 요소 사이에는 상기 요소들 간의 전기 절연을 유지하면서 상기 요소들 간의 강한 기계적 연결이 이루어질 수 있도록 비도전성 재료가 배치되는

발전기.

청구항 40

제 1 항 내지 제 39 항 중 어느 한 항에 있어서,

임의의 자기 조립체는 일반적인 도전성 재료, 영구 자석 재료 또는 벌크 초전도 재료를 사용하여 실현되는 발전기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자기 터빈에 관한 것이다. 특히, 본 발명은, 배타적인 것은 아니지만, 발전용 전자기 터빈에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 물리학의 기본 원리들 중 하나는 전기와 자기 간의 관계이다. 이 관계는 1800년대 중반에 최초로 관찰되었는데, 그 당시에 단순한 봉 도체를 통과하는 전류는 전류 흐름의 방향에 수직인 자계를 유도한다는 것은 알고 있었다. 자계가 유도된 결과, 전류를 포함한 이동하는 전하 각각은 힘을 받는다. 이동 전하 각각에 가해지는 힘은 도체에 자계에 비례하는 토크를 발생시킨다.

[0003] 위에서 논의된 전계와 자계 간의 상호 작용은 전기 모터와 발전기를 뒷받침하는 기본적인 과학 원리이다. 전기 발전기의 가장 간단한 형태 중 하나는 마이클 패러데이(Michael Faraday)에 의해서 그가 현재 패러데이 디스크(Faraday disk)라고 알려진 장치를 사용하면서 최초로 예시되었다. 패러데이의 장치는 영구 자석의 극들 사이에서 회전하는 구리 디스크로 구성되었다. 이는 회전 속도에 비례하여 전류를 발생시킨다. 패러데이 디스크는 본질적으로 최초의 단극 발전기였다. 그러나 패러데이 발전기는 전력을 픽업 배선으로 출력하도록 제한하는 전류의 역류로 인해, 그리고 구리 디스크 상에서의 기생 가열 효과로 인해 대단히 비효율적이었다.

[0004] 더 구체적으로 설명하면, 균일한 자계 B에서 회전 속도 ω 로 회전하는 반경 R인 회전 디스크의 중심과 외측 직경 사이에서 생성된 Emf는 다음과 같이 주어진다.

$$\epsilon = \int_0^R \omega B r dr = \frac{R^2}{2} B \omega$$

[0005]

[0006] 이는 단극 발전에 있어서 중요한 공식 중 하나인데, 그 이유는 개별 스테이지 또는 회전자에서 얻어진 전압이 발전기로부터의 전류 추출 효율과 관련한 중요한 결정 인자이기 때문이다. 전류를 효율적으로 발생시키기 위해서는 그 전압은 회전자의 내부 손실, 미끄럼 접촉부의 내부 손실 및 이에 후속한 전류의 상호 접속 부 및/또는 최종 부하의 내부 손실보다 상당히 더 커야 한다.

[0007] 일반적인 의미에서, 여러 가지 설계를 비교하기 위한 가장 유용한 인자들 중 하나는 적분 $\int B(r) r dr$ 이다. 이 적분은 어떠한 필드 프로파일(field profile)에 대해서도 쉽게 계산할 수 있는 V/rad/s 단위의 값을 생성한다.

[0008] 패러데이의 최초 실연 이후의 설계 및 재료에 있어서의 여러 가지 진보에도 불구하고 단극 발전기는 일반적으로 오랫동안 극히 비효율적인 것으로 여겨왔다. 그럼에도 불구하고 단극 발전기는 어떤 응용 분야에 있어서는 바람직한 것으로 만드는 몇 가지 독특한 물리적 특성을 갖는다. 먼저, 단극 발전기는 진정한 DC 출력을 생산하는 유일한 발전기이다. 대부분의 다극 발전기는 정류를 하거나 또는 AC 권선으로 선택적으로 절환해야 DC 출력을 얻을 수 있다. 이것 외에도 단극 발전기는 전형적으로 저 전압과 고 전류를 생산한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 이러한 단극 모터/발전기의 이점들이 주어진 상황에서, 성능이 향상된 단극 발전기를 제공하는 것이 유리하다. 또한, 종래 기술에서의 상기한 바와 같은 결함들 중 일부를 개선한 단극 발전기를 제공하는 것도 유리하다.

과제의 해결 수단

- [0010] 한 가지 형태에 있어서, 본 발명은 발전기를 제공하는데, 본 발명의 발전기는,
- [0011] 자계와 널 자계 영역(null magnetic field region)을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체(magnetic assembly) 및 제 2 자기 조립체;
- [0012] 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 위치한 회전자로서, 상기 회전자는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체를 관통해 연장되는 구동축에 결합되며, 상기 회전의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 회전자;
- [0013] 상기 널 자계 영역에서 상기 회전자에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구 및 상기 구동축에 결합된 적어도 하나의 전류 이송 기구; 및
- [0014] 상기 구동축에 부착된 구동 기구를 포함함으로써,
- [0015] 상기 구동 기구의 작동에 의해 상기 회전자가 자계 내에서 회전하여 제 1 전류 이송 기구와 제 2 전류 이송 기구 사이에 전위를 발생시킨다.
- [0016] 바람직하기로, 상기 제 1 및 제 2 자기 조립체는 원통형 구성으로 한다. 적합하기로는, 각각의 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함한다. 상기 자기 조립체들이 복수의 초전도 코일을 포함하는 경우, 그 코일들은 솔레노이드를 형성하도록 연결될 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 초전도 도체 코일은 특정의 기하 형태로 배열된다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 코일들은 동심으로(concentrically) 배열될 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 코일들은 동축으로(coaxially) 배열된다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 제 1 및 제 2 자기 조립체 내의 하나 이상의 코일들은 반대 극성으로 할 수 있다.
- [0017] 상기 초전도 코일들은 임의의 적합한 초전도 와이어로 형성할 수 있다. 바람직하기로, 상기 초전도 와이어는 Nb_3Sn 초전도 와이어이다. 대안으로, 상기 코일들은 $NbTi$ 초전도 와이어로 구성할 수 있다.
- [0018] 적합하기로는, 회전자와 구동축은 적합한 도전성 재료로 형성된다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 구동축과 회전자는 일체로 형성된다. 회전자는 중심 디스크이다. 대안으로, 회전자는 중심 허브와 이 중심 허브에 외부 림을 결합시키는 하나 이상의 암을 구비한 전통적인 스포크 휠 형태의 형식으로 구성할 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 회전의 허브는 구동 기구로부터 나온 구동축을 삽입할 수 있도록 중공으로 한다. 회전자는 하나 이상의 도전성 층이 기계적으로 서로 결합되어 회전을 형성하는 적층된 구성으로 할 수 있다. 이 경우, 도전성 층 각각은 회전자가 구동계(drive field) 내에서 회전할 때에 회전을 통한 전류 흐름이 보장될 수 있도록 일련의 접속부와 떨어지게 인접 회전자들로부터 전기 절연된다.
- [0019] 전류 이송 기구는 회전자 및 구동축과 직접 접촉하는 브러시의 형태로 할 수 있다. 가장 바람직하기로, 전류 이송 기구는 액체 금속 브러시의 형태이다. 이 경우, 액체 금속 브러시는 회전의 림을 둘러싸는 고정자 안에 형성된 채널을 이용하여 형성될 수 있는데, 상기 회전의 림은 전기 접촉을 추가로 더 향상시킬 수 있도록 상보형의 홈을 갖는 형상으로 할 수 있다. 액체 금속은 가변 압력 하에서 저장조로부터 고정자 내의 채널 안으로 도입될 수 있다. 또한 액체 금속에 대한 습기와 산소의 악영향을 줄이기 위해 밀봉 중에 상기 채널 안으로 가스가 도입될 수도 있다.
- [0020] 적합하기로는, 전류 이송 기구는 제 1 자기 조립체 또는 제 2 자기 조립체의 외부에 위치된다. 바람직하기로, 전류 이송 기구는 자계의 강도가 0.2T 미만인 영역에 위치된다.
- [0021] 적합하기로, 구동 기구는 저속 구동기일 수 있다. 이 경우, 전류 이송 기구를 가로질러 발생된 결과적인 전위는 저전압 및 고전류이다. 구동 기구는 고속 구동기일 수 있다. 이 경우, 전류 이송기를 가로질러 발생된 결과적인 전위는 고전압 및 저전류이다. 구동 기구는 모터 또는 풍력 터빈, 스팀 터빈, 물 구동 터빈 등과 같은 임의의 적합한 구동 기구일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 다른 양태에 있어서, 본 발명은 DC-DC 변환 스테이지를 포함하는 발전기를 제공하는데, 본 발명의 발전기는,
- [0023] 주 구동계(primary drive field)와 널 자계 영역을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;
- [0024] 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 위치한 제 1 회전자로서, 상기 제 1 회전자는 구동축에

연결하도록 구성되며, 상기 제 1 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 1 회전자;

- [0025] 상기 제 1 회전자에 전기적으로 결합된 전기 모터로서, 상기 전기 모터는 상기 전기 모터를 위한 구동계를 생성하도록 병렬로 배열된 제 3 자기 조립체와 제 4 자기 조립체 사이에 위치되고, 상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 복수의 부 널 자계 영역을 생성하며, 상기 전기 모터의 전기 커플링(electrical coupling)들이 상기 부 널 자계 영역 내에 위치되는, 상기 전기 모터;
- [0026] 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에서 상기 제 1 회전자에 인접하게 위치한 제 2 회전자로서, 상기 제 2 회전자는 상기 전기 모터에 기계적으로 결합되며, 상기 제 2 회전자의 일부는 상기 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 2 회전자; 및
- [0027] 상기 제 1 회전자에 기계적으로 결합된 구동 기구를 포함함으로써,
- [0028] 상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 제 1 회전자가 상기 주 구동계 내에서 회전하여 고전류를 발생시키고, 상기 고전류는 상기 전기 모터를 통과하여 토크를 발생시켜서 상기 제 2 회전자를 상기 주 구동계 내에서 구동시킴으로써 저전류 출력을 생성한다.
- [0029] 본 발명의 또 다른 양태에 있어서, 본 발명은 DC-DC 변환 스테이지를 포함하는 발전기를 제공하는데, 본 발명의 발전기는,
- [0030] 주 구동계와 널 자계 영역을 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;
- [0031] 구동축에 연결되도록 구성된 제 1 회전자로서, 상기 제 1 회전자의 일부는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 1 회전자;
- [0032] 상기 제 1 회전자에 전기적으로 결합된 전기 모터로서, 상기 전기 모터는 상기 전기 모터를 위한 구동계를 생성하도록 병렬로 배열된 제 3 자기 조립체와 제 4 자기 조립체 사이에 위치되고, 상기 제 3 및 제 4 자기 조립체는 복수의 부 널 자계 영역을 생성하며, 상기 전기 모터의 전기 커플링들이 상기 부 널 자계 영역 내에 위치되는, 상기 전기 모터;
- [0033] 상기 제 1 회전자에 인접하게 위치한 제 2 회전자로서, 상기 제 2 회전자는 상기 전기 모터에 기계적으로 결합되며, 상기 제 2 회전자의 일부는 상기 제 1 자기 조립체와 상기 제 2 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자계 영역에 위치되는, 상기 제 2 회전자; 및
- [0034] 상기 제 1 회전자에 기계적으로 결합된 구동 기구를 포함함으로써,
- [0035] 상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 제 1 회전자가 상기 주 구동계 내에서 회전하여 고전류를 발생시키고, 상기 고전류는 상기 전기 모터를 통과하여 토크를 발생시켜서 상기 제 2 회전자를 상기 주 구동계 내에서 구동시킴으로써 저전류 출력을 생성한다.
- [0036] 적합하기로는, 상기 제 1 및 제 2 회전자는 내부 및 외부 전류 이송 기구를 포함한다. 바람직하기로는, 상기 내부 전류 이송 기구들은 적어도 하나의 부 널 자계 영역 내에 위치되고, 상기 외부 전류 이송 기구는 널 자계 영역 내에 위치된다. 이 전류 이송 기구들은 액체 금속 브러시 형태이다. 이 경우, 액체 금속 브러시는 각 회전자의 림을 둘러싸는 고정자 내에 형성된 채널을 이용하여 형성될 수 있고, 회전자의 림은 전기 접촉을 추가로 더 향상시키기 위한 상보형 홈을 구비하는 형상으로 할 수 있다. 액체 금속은 가변 압력 하에서 저장조로부터 고정자 안의 채널 안으로 도입된다. 또한 액체 금속에 대한 습기와 산소의 악영향을 줄이기 위해 상기 채널 안으로 가스가 도입될 수도 있다.
- [0037] 전기 모터를 위한 전기 결합은 내부 및 외부 전류 이송 기구의 형태일 수 있다. 적합하기로는, 내부 전류 이송 기구는 부 널 자계 영역 내의 제 1 영역 내에 위치되고, 외부 브러시는 부 널 자계 영역 내의 제 2 영역 내에 위치된다.
- [0038] 바람직하기로는, 제 1, 제 2, 제 3, 제 4 자기 조립체는 원통형 구성으로 한다. 적합하기로는, 각각의 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함한다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 상기 코일들은 동심으로 배열될 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 상기 코일들은 동축으로 배열될 수 있다. 본 발명의 몇몇 실시예에서, 상기 제 1 및 제 2 자기 조립체 내의 하나 이상의 코일들은 반대 극성으로 할 수 있다. 초전도 코일은 임의의 적합한 초전도 와이어로 형성될 수 있다. 바람직하기로는, 상기 초전도 와이어는 Nb_3Sn 초전도 와이어이다. 대안으로, 상기 코일들은 $NbTi$ 초전도 와이어로 구성할 수 있다.

- [0039] 본 발명의 몇몇 실시예에서, 제 1, 제 2, 제 3, 제 4 자기 조립체는 중첩되는 관계로 배열될 수 있다. 바람직하기로는, 제 3 및 제 4 자기 조립체는 제 1 및 제 2 자기 조립체와 동심으로 배열된다.
- [0040] 본 발명의 몇몇 실시예에서, 제 3 회전자가 제공될 수도 있다. 제 3 회전자는, 제 3 회전자의 일부가 제 5 자기 조립체와 제 6 자기 조립체 사이에 생성되는 널 자계 영역 내에 위치되도록 제 5 자기 조립체와 제 6 자기 조립체 사이에 위치된다. 제 3 회전자는 제 2 회전자에 기계적으로 결합되며 제 2 회전자와 전기 절연되는 것이 바람직하다.
- [0041] 제 5 및 제 6 자기 조립체는 원통형 구성으로 할 수 있다. 적합하기로는, 제 5 및 제 6 자기 조립체는 극저온 외피 내에 수용된 초전도 재료로 이루어진 하나 이상의 코일을 포함한다. 바람직하기로는, 상기 코일들은 동심으로 배열될 수 있다.
- [0042] 본 발명의 또 다른 양태에 있어서, 본 발명은 발전기를 제공하는데, 본 발명의 발전기는,
- [0043] 널 자계 영역으로 이루어진 영역들 및 주 구동 자계를 생성하도록 병렬로 배열되어 있는 제 1 자기 조립체 및 제 2 자기 조립체;
- [0044] 상기 제 1 및 제 2 자기 조립체 내에 동심으로 위치되며 병렬로 배열된 제 3 및 제 4 자기 조립체;
- [0045] 상기 자기 조립체들 사이에 위치되며, 구동축에 연결하도록 구성된 회전자;
- [0046] 상기 회전자를 따르는 불연속 지점들에 결합된 복수의 전류 이송 기구로서, 각각의 전류 이송 기구는 상기 자기 조립체들 사이에 생성되는 널 자계 영역 내에 위치되고, 상기 널 자계 영역 내에 있는 회전자와 제 2 전류 이송 기구가 상기 구동축에 결합되는, 상기 복수의 전류 이송 기구; 및
- [0047] 상기 구동축에 부착된 구동 기구를 포함함으로써,
- [0048] 상기 구동 기구의 작동에 의해, 상기 회전자가 상기 주 구동 자계 내에서 회전하여 상기 전류 이송 기구들 사이에 전위를 발생시킨다.
- [0049] 상술한 것들에 대한 대안으로서 혹은 그에 추가하는 것으로서 채택될 수 있는 중요한 변형에는 능동 차폐를 사용하는 것이다. 능동 차폐의 목적은 장치들에 의해 생성된 표유 자계(stray magnetic field)를 감소시키는 것이다. 이는 바람직하게도 안전한 작동 또는 조절의 유연성을 위해 장치들을 둘러싸는 데 필요한 공간을 줄인다. 상기 필요 공간은 장치 둘레의 선(실제로는 3차원 면에 있는 선)으로 일반적으로 나타내는데, 상기 선을 넘어서면서부터는 자계 강도가 5 가우스 미만이다(5 가우스 선).
- [0050] 전형적으로, 5 가우스 선의 자기 차폐 또는 경계 감소는 대량의 강 또는 그 밖의 높은 자기 침투성 재료를 사용하여 달성된다. 높은 자계와 관련된 중량 민감성 응용 장치에 있어서는, 대량의 강을 사용한다는 것은 중대한 단점이다. 이 단점을 극복하는 한 가지 방안은 구동계 및 널 자계 영역들을 만드는 1차 전자기 코일의 외측에 위치되는 전력을 받는(능동) 전자기 코일을 사용하는 것이다.
- [0051] 외부의 자기 능동 차폐 코일은, 소망하는 크기의 자계 상쇄(field cancellation), 사용된 초전도 와이어의 유형 및 양, 그리고 능동적으로 차폐되는 장치의 크기에 있어서의 외적 제약에 따라서, 그 개수, 크기 및 배치 방향이 달라진다. 바람직한 장치들은 고온 및 저온 초전도 재료를 지배적으로 사용하고 있지만, 구리 와이어와 같은 일반적인 전도성 재료를 사용하는 것도 생각할 수 있다.
- [0052] 바람직한 장치들은 전형적으로 2개 혹은 4개의 추가적 능동 차폐 코일을 사용한다. 상기 추가적 능동 차폐 코일은 바람직한 주 구동계 및 부 널 자계 생성 코일들과 동축으로 위치되는 것이 바람직하다. 일반적으로 말하자면, 능동 차폐 코일을 2개로 한 배치(arrangement)는 코일을 4개로 한 설계에 비해서 총 와이어 사용량이 약간 더 적다. 코일을 4개로 한 설계는 코일을 위치시키고 조정하는데 있어서 더 많은 자유도를 허용하며, 그래서 보다 더 효과적인 차폐 결과를 일반적으로 얻을 수 있다.
- [0053] 아래에 나열한 것은 능동 차폐 시스템의 구성을 위한 출발점으로 사용된 일반적인 규칙 또는 원리이다.
- [0054] ● 코일을 2개로 한(이하, 2 코일) 시스템에 있어서, 바람직한 출발점은 주 코일 조립체의 중간선 직경을 기준으로 그 직径의 2배가 되는 한 쌍의 코일이다. 이들 코일 사이의 간격은 능동 차폐 코일들 중 하나의 직경과 같다. 이는 대체적으로 헬름홀츠 코일 배치이다.
- [0055] ● 코일을 4개로 한(이하, 4 코일) 차폐 시스템은 차폐 파라미터들에 대해 더 미세한 제어를 하지만, 최종적인 최적의 해결책은 차폐할 장의 축방향 및 반경 방향의 크기에 의존한다. 4 코일 설계는 사안마다 많은 양의 수

작업 최적화를 필요로 하는 경향이 있다. 일반적으로, 4 코일 해결책은 장치의 본체에 보다 더 밀접하게 이격된 한 쌍의 대직경 코일과 이보다 더 이격된 한 쌍의 소직경 내부 코일을 필요로 한다. 연구된 대부분의 경우에 있어서, 내부 상쇄 코일(cancelling coil)들 사이의 간격은 외부 상쇄 코일들의 직경과 대체적으로 같다. 각각의 4개의 코일들 사이의 축방향 간격도 같은 것이 바람직하다.

[0056] ● 지배적으로 긴 솔레노이드인 주 코일에 있어서는, 2 코일 차폐 시스템이 최적인 경향이 있다. 주 구동 코일의 에스펙트비는 얇은 팬케이크 코일로 지향하는 경향이 있으므로, 4 코일 해결책이 더 나은 차폐를 생성하는 경향이 있다.

[0057] 중요하게 주지할 점으로는, 이상의 것들은 일반적인 원리이며 그래서 전형적으로는 차폐 코일 파라미터들을 추가로 더 조정해야 최적의 해결책을 얻을 수 있다는 점이다. 와이어 선택, 전류 밀도, 차폐 코일의 폭 및 감긴 회수, 코일 세트의 직경 및 축방향 위치 모두는 보다 나은 차폐, 보다 낮은 비용 및/또는 보다 가벼운 중량의 장치를 위한 최적화를 위해 변경할 수 있다.

[0058] 중요하게 주지할 점으로는, 능동 차폐 코일의 사용되는 와이어의 유형과 전류 밀도는 능동 차폐 해결책의 비용, 중량 및 체적을 최적화하기 위해 조정될 수 있다는 점이다. 전류 밀도가 높으면 높을수록 일반적으로 더 비싼 초전도 와이어가 필요하긴 하지만, 이와 동시에 장치의 총 중량 또는 체적은 줄일 수 있다. 전류 밀도가 낮으면 낮을수록 더 저렴한 초전도 와이어의 사용 또는 보다 높은 온도의 작동이 가능해지지만, 이와 동시에 장치의 총 중량이 더 커지는 희생은 치러야 한다.

[0059] 전자기 터빈의 양호한 실시예에 있어서의 전류의 효과적인 이송을 위한 바람직한 기구는 각 장치의 회전 부재와 고정 부재 사이에 효율적인 액체 금속 브러시를 사용하는 것이다.

[0060] 본 발명의 이와 같은 특별한 양태, 즉 액체 금속 전류 이송 브러시에 있어서의 기본 작동 원리는 전류가 허 모 양 회전 요소와 홈이 형성된 고정 요소 사이에서(혹은 이것의 반대로) 이들 사이에 위치되어서 고정 요소 둘레에서 연장되는 도전성 유체 또는 액체 금속을 경유하여 전달된다는 것이다.

[0061] 더욱 중요한 변형예들 중 하나는, 액체 금속 재료가 브러시 둘레에 분포되고 장치가 정지하고 있을 때에는 바람직하게 수집되는 방식으로의 변형을 포함한다. 액체 금속 재료를 브러시 둘레로 분포시키고 또한 회전체로부터 액체 금속을 수집하는데 사용되는 가변 가압식 저장조를 구비한 장치를 제공하는 것이 가능하다.

[0062] 대안적인 장치에 있어서, 액체 금속을 내부 및 외부 액체 금속 조립체의 외주부 둘레의 유체 탭을 경유해서 상기 조립체 안으로 초기에 도입시킬 수 있다. 초기에, 그리고 회전하지 않을 때에, 액체 금속은, 바람직한 고정형 액체 금속 격납 용기와 이 격납 용기의 벽들 사이와 회전축에 있는 부속 유체 시일에 의해 수용된 브러시/회전자 조립체의 최저 지점에 바람직하게 수집된다.

[0063] 작동을 개시할 때, 액체 금속은 마찰력과 원심력의 조합에 의해 외부 집전 장치 링에 의해 형성된 홈 안에 점진적으로 혼입되는 것이 일반적이다. 작동 중에, 액체 금속은 회전자의 설부(tongue)와 브러시의 고정 구성요소의 홈 사이에 한정된 회전자의 원주부 전체에 걸쳐서 일반적으로 고르게 분포된다.

[0064] 상기 장치의 또 다른 추가적인 바람직한 특징은 강 또는 그 밖의 페라이트계 베어링을 사용함으로써 야기되는 자계의 왜곡을 피하기 위해 세라믹 베어링을 사용하고 회전자의 축(이는 일반적으로 통전됨)과 장치의 본체 사이를 전기 절연시키기 위해 비도전성 장착 지점들 사용하는 것을 포함한다.

[0065] 추가적인 정밀성은 회전축의 열팽창을 수용할 수 있도록 세라믹 베어링을 0 링 상에 약간 헐거운 끼워맞춤으로 장착하는 것이다. 이와 같은 정밀성이 없으면, 바람직한 알루미늄 축과 세라믹 베어링 사이의 다른 열팽창률로 인해 베어링의 균열과 파손이 야기된다.

[0066] 외부 및 내부 액체 금속 브러시 조립체는 조립에 도움이 되며 브러시의 성능에 도움이 되는 몇 가지 개선된 점을 가지고 있다. 액체 금속 브러시 조립체를 위한 도전성 설부를 형성하는 회전자의 부분은 다른 재료 구성을 조사하는 것이 가능한 회전 디스크와 축 조립체에 체결될 수 있다. 일 실시예에서, 디스크/축 조립체는 알루미늄으로 제조되고 이와 함께 회전자 '설부'는 구리로 제조된다.

[0067] 고정자 '홈'은 회전자 설부 위에 조립이 가능한 2개의 구리 절반부로 만들어질 수 있다. 고정자 홈 조립체는, 바람직하기로, 액체 금속 재료의 충전 및 배출을 가능하게 하는 탭(tap) 또는 배액관(drain)과 열 센서 또는 그 밖의 추가 센서의 설치를 가능하게 하는 포트를 추가로 포함한다.

[0068] 바람직한 전류 운반 디스크의 횡단면 형상은 장치가 휴지 상태로 될 때에 액체 금속 재료의 수집에 도움이 되도록

록 벌어지게 할 수 있다. 액체 금속 재료는 바람직한 홈 형성 외부 반경 반향 채널로부터 흘러나오고 이어서 회전자의 벌어진 부분을 통해서 내부 반경 방향 수집 홈으로 향하는 것이 바람직하다. 궁극적으로 액체 금속은 장치의 최저 지점에 모아진다.

[0069] 회전자와 브러시 조립체가 앞에서 논의된 설계의 초전도 자석과 통합된 때에 완전한 모터 또는 발전기가 형성된다.

[0070] 액체 금속 브러시를 통합시킨 모터 또는 발전기 장치에 있어서의 또 다른 중요한 고려 사항은 장기간의 작동을 위한 실제 장치를 만드는 것과 관련이 있다. 일반적으로, 액체 금속 재료의 성능은 산소 및/또는 습기의 존재에 의해 저하한다. 그 결과, 액체 금속 브러시 조립체를 불활성 기체 분위기(예를 들어, 바람직하기로는 대기압보다 약간 높게 한 아르곤 가스 분위기) 안에 수용시키는 것이 종종 바람직하다. 추가적인 개선된 점은 회전자의 회전 및 고정 요소와 격납 용기 사이에 자성유체(ferro-fluid) 시일을 통합시킨 밀봉된 격납 용기의 사용이다.

[0071] 자성유체 시일은 영구 자석의 자계에 의해 고정 표면과 회전 표면 사이에 유지되는 페로자성유체(ferromagnetic fluid)를 사용하는 것을 통해 기체 밀봉을 바람직하게 달성한다. 자성유체 시일은, 전형적으로, 종래의 시일과 비교할 때 사용 수명이 훨씬 더 길며 마찰이 더 작다.

[0072] 격납 용기는 회전 디스크 및 회전 축 조립체의 중요 부분을 피포하거나, 또는 회전 디스크, 축 및 저온 유지 장치, 그리고 자기 코일을 피포한다.

[0073] 회전하는 표면으로부터 전류를 액체 금속 매체에 의해 모을 수 있도록 하기 위해, 중실 접촉 표면들 사이의 링 채널은 일반적으로 액체 금속으로 완전히 채워진다. 이 방법의 이점은 회전자의 원주부 전체 걸쳐 집전이 균일(그 결과 회전자에서의 전류 흐름이 균일함)하다는 것과, 높이 달성할 수 있는 표면 속도 및 전류 밀도인데, 이들은 종래에 또는 진보된 중실 브러시가 사용될 때에는 불가능하거나 비현실적이었다. 전류 밀도가 적당한 경우에, 냉각을 위해 액체 금속을 재순환시킬 필요가 없을 때, "설부 및 홈" 접촉부라고 설명한 링 채널 접촉부는 비교적 똑바르게 구성될 수 있다.

[0074] 상기 접촉부의 우수한 전기 특성들을 최대화하기 위해서는 회전자 및 회전자의 접촉 팁(설부)의 최적의 기하학적 특성과 고정자 및 고정자의 링 채널(홈)의 최적의 기하학적 특성을 선택하는 것이 중요하다. 이 파라미터들은 중요한데, 그 이유는 유체역학적 마찰로 인한 기계적 손실은 실질적으로 설부의 폭 및 액체 금속 갭의 두께에 의존하기 때문이다. 일반적으로 전기적 손실 및 기계적 손실을 최소화하기 위해서는 2개의 상충되는 요건간의 균형이 필요하다. 팁이 넓으면 넓을수록 전류 밀도는 더 낮아지고, 그 결과 접촉부에서 방출되는 열은 적어지지만, 폭이 넓은 팁은 마찰로 인한 기계적 손실을 실질적으로 증가시킨다. 따라서 접촉부에서의 전체 손실을 최소화하기 위해서는 접촉 팁의 폭을 최적화하는 것이 필요하다.

[0075] 기계적 마찰 손실을 최소화 한다는 관점에서의 접촉 표면들 간의 최적의 갭 두께는 다음 식에 의해 도출될 수 있다.

$$\Delta_{optimal} = C \frac{D_{tip}}{Re^{0.182}}$$

[0076] 여기서 C는 이론적으로 분석을 통해 도출해서 실험적으로 수정한 상수, D_{tip} 는 접촉 팁의 직경, Re는 상기 접촉 팁 직경을 가지고 산출된, 원형 채널 액체 유동의 유체역학 레이놀즈 수이다. 회전 운동에 대해서, Re는 아래의 공지된 공식에서 도출된다.

$$Re = \frac{D_{tip}^2 \omega}{\nu}$$

[0078] 여기서, ν 는 동점성이고, ω 는 디스크의 각속도이다. 기계적 손실과 전기적 손실의 관점에서, 액체 층의 두께가 얇으면 얇을수록 집전 장치의 활성 구역에서의 전기 손실이 작아지지만, 상기 액체 층이 너무 얇으면 기계적 손실이 급작스럽게 엄청나게 높아지고, 이로 인해 최적의 갭을 결정할 때에 유체역학적 양상들을 고려하는 것이 필요해진다.

[0080] 액체 금속 집전 장치의 최적 설계를 달성하는데에는, 최소의 총 손실과 최고의 성능에 도달하기 위해 필요한 다수의 상충되는 요건들을 만족시키는 최적화 과정이 수반된다. 이는 200 m/s를 초과하는 표면 속도를 갖는 100

kA급의 접전 장치로 처리하는 경우에 특히 그러하다.

[0081] 또 다른 중요한 사항은 액체 금속 접촉부의 저항의 일반적으로 2/3일 수 있는 액체-고체 계면에서의 접촉 저항이다. 활성 구역에서 발생하는 여러 가지 화학적 및 전기화학적 작용으로 인해, 고체 표면에 여러 층들이 형성되어서, 저항을 증가시키고 그에 따라 긴 작동 기간에 걸쳐 접촉 성능 및 안정성을 저하시킨다. 접촉 저항의 실질적인 감소 및 증가된 화학적 안정성은 액체 금속 집전 장치의 고체 표면에 적용되는 얇은 표면 코팅 재료를 적절하게 선택함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 니켈 코팅은 수은 접촉부와 아주 잘 작용하고, 순동(bare copper)은 NaK 합금과 잘 작용하는 것으로 알려졌다.

[0082] 액체 금속 브러시와 관련한 실험 활동의 일부가 될, 액체 금속 브러시 조립체의 여러 부분을 위한 후보 재료들의 목록을 아래에 열거한다. 이 실험 활동은 기계적, 전기적, 유체역학적 및 그 밖의 손실들을 최소화할 수 있도록 하는 여러 구성요소들을 위한 재료의 최적 조합을 찾아낼 것이다.

[0083] **접촉 팁 및 고정자 재료:**

[0084] 동, 알루미늄, 또는 그 밖의 적절한 기계적 강도를 갖는 도전성 재료.

[0085] **코팅 재료:**

[0086] 니켈, 크롬, 로듐, 코발트, 금, 그 밖의 귀금속.

[0087] **액체 매체:**

[0088] 수은, 갈륨, 갈륨-인듐-주석 합금, 나트륨-갈륨 합금, 나트륨, 그 밖의 액체 형태의 도전성 재료.

[0089] 상기 재료 선택 외에, 액체 금속 브러시 조립체의 효율 및 성능에 대한 표면 마무리의 영향도 고려되어야 한다.

[0090] 상기 목록은 사용할 재료의 유형을 나타내는 것이지, 총망라한 것이 아니다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서는 상기 열거된 부분 각각을 유사한 전기적 및 화학적 특성을 갖는 다른 재료로 대체하거나 활용할 수 있다는 것은 명백하다.

[0091] 한 가지 추가 변형에는 그래핀(Graphene) 재료를 회전 및 고정 조립체의 부품들의 코팅으로, 특히 액체 금속 브러시의 영역에 사용하는 것을 포함한다. 그래핀은 탄소 원자들이 하나의 원자 층 두께인 규칙적인 육각형 형태로 배열된 탄소 결정 형태이다.

[0092] 모터/발전기의 부품을 그래핀으로 코팅함으로써 기계적 구조를 강화시킬 수 있고, 그와 동시에 모터/발전기의 다른 부품들의 전기 전도도 및 열 전도도를 증가시킬 수 있다. 그래핀은 또한 고정 및 이동 부품들과 액체 금속, 즉 나트륨-갈륨 합금, 리튬 금속, 나트륨 금속, 갈륨-인듐-주석 공정 합금, GaInSn[갈리스탄(Galinstan)] 및 갈륨 금속 사이의 경계에서의 마찰도 줄일 수 있다. 고체/액체 금속 계면에서의 전기 특성도 향상될 수 있다. 시스템에 그래핀 코팅을 포함시킴으로 인한 이러한 향상된 점들은 결과적으로 전체 시스템의 중량을 감소시킬 뿐만 아니라 기계적, 유체역학적, 그리고 전기적 손실들을 감소시키는 결과를 가져 온다.

[0093] 본 명세서에서 참조하는 임의의 종래 기술은, 그 종래 기술이 보편적인 일반적 기술의 일부를 형성한다는 인지 또는 임의의 형태의 제안이 아니며, 그렇게 받아들여져서도 안 된다.

도면의 간단한 설명

[0094] 본 발명을 보다 쉽게 이해할 수 있고 실질적으로 실행할 수 있도록, 이제는 본 발명의 바람직한 실시예를 도시하는 첨부 도면을 참조한다.

도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로서 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로서 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로서 사용하기 위한 터빈의 단면도이다.

도 4a 및 도 4b는 발전기로서 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 액체 금속 브러시를 채용한 발전기로서 사용하는 터빈의 단면도이다.

도 5b는 도 5a의 발전기용의 액체 금속 브러시를 채용하는 회전자 및 고정자의 구성을 더욱 상세하게 도시하는 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 변환을 채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 7a 내지 도 7c는 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 6a 및 도 6b의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 8a 및 도 8b는 도 6a 및 도 6b의 터빈의 브러시의 배열을 도시하는 도면이다.

도 9는 도 6a 및 도 6b의 터빈의 단면도로서, 터빈 내의 고전류 및 저전류 회로를 도시하는 도면이다.

도 10은 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 6a 및 도 6b의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 자계도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점증(step-up) 변환을 채용한 터빈의 단면도이다.

도 12는 도 11의 터빈의 단면도로서, 터빈 내의 고전류 및 저전류 회로를 도시하는 도면이다.

도 13a 내지 도 13c는 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 11 및 도 12의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 14는 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 11 및 도 12의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 15a 및 도 15b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 변환을 채용한 터빈의 단면도이다.

도 16a 내지 도 16c는 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 15a 및 도 15b의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점증 변환을 채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점증 변환을 채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점증 변환을 채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 20은 특정 유형의 초전도 재료를 사용하는 도 19의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 21은 도 20의 자계도의 한 부분의 상세도이다.

도 22는 도 20의 자계도의 한 부분의 상세도이다.

도 23a 및 도 23b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 24a 및 도 24b는 도 23a 및 도 23b의 터빈에 의해 생성된 자계를 각기 다른 코일 구성에 대해 나타낸 도면이다.

도 25a 및 도 25b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 26은 도 25a 및 도 25b의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 27a 및 도 27b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 28은 도 27a 및 도 27b의 터빈에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이다.

도 29는 출력 전압을 증가시키기 위해 다수의 터빈을 연결시키기 위한, 본 발명의 일 실시예에 따른 한 가지 가능한 배치를 도시하는 횡단면도이다.

도 30은 대안적 회전자 구성에 대한 대안적 전류 경로를 나타내는 2개의 터빈 발전기 구성의 자계도이다.

도 31은 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점증 변환을 채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 32a 및 도 32b는 본 발명의 일 실시예에 따른 모터/발전기로 사용하기 위한 DC-DC 점감(step-down) 변환을

채용한 터빈의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 33a 및 도 33b는 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 회전자 모터/발전기의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 34a 및 도 34b는 도 33a 및 도 33b에 도시된 이중 회전자 모터/발전기의 자계도이다.

도 35a 및 도 35b는 본 발명의 일 실시예에 따른 짧아진 상호 연결부를 구비한 이중 회전자 모터/발전기의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 36a 및 도 36b는 도 35a 및 도 35b에 도시된 이중 회전자 모터/발전기의 자계도이다.

도 37a 및 도 37b는 본 발명의 일 실시예에 따른 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 상쇄 슬레노이드를 구비한 이중 스테이지 발전기의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 38a, 도 38b, 도 38c는 도 37a 및 도 37b에 도시된 이중 스테이지 발전기의 자계도이다.

도 39a 및 도 39b는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 속도 및/또는 전압/전류 다단 점증 또는 점감 장치의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 40, 도 40a 및 도 40b는 도 39a 및 도 39b에 도시된 다단 회전자 모터/발전기의 자계도이다.

도 41a 및 도 41b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 저속 부분과 고속 부분 사이를 분리하면서 직렬로 연결된 적층형 저속 회전자 장치의 단면도를 도시하는 도면이다.

도 42a는 본 발명의 일 실시예에 따른 저속 기계적 입력 대 고전압 전기 DC 출력 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 42b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 43a는 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 전기 DC 입력 대 저속 기계적 출력 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 43b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 43a는 본 발명의 일 실시예에 따른 고전압 DC 입력 대 저속 기계적 출력 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 43b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 44a는 본 발명의 일 실시예에 따른 저속 기계적 입력 대 AC 발전기 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 44b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 45a는 본 발명의 일 실시예에 따른 AC 모터 대 저속 기계적 출력 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 45b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 46a는 본 발명의 일 실시예에 따른 단극 전자기 기어박스 (저속 대 고속) 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 46b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 47a는 본 발명의 일 실시예에 따른 단극 전자기 기어박스 (고속 대 저속) 장치의 기계적 구성요소의 분해 등각도이고, 도 47b는 이 장치의 전류 경로를 나타내는 도면이다.

도 48은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자기 출력을 저전압 DC에서 고전압 DC로 변환하는 변환기 장치의 단면 등각도이다.

도 49는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자기 출력을 고전압 DC에서 저전압 DC로 변환하는 변환기 장치의 단면 등각도이다.

도 50은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자기 출력을 DC 입력에서 AC 출력으로 변환하는 변환기 장치의 단면 등각도이다.

도 51은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자기 출력을 AC 입력에서 DC 출력으로 변환하는 변환기 장치의 단면 등각도이다.

도 52는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 바람직한 액체 금속 브러시 밀봉 장치의 측면 단면도이다.

도 53은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 DC 출력 발전기를 에너지 발생 및 저장을 고려하여 바람직하게 사용하는 것을 개략적으로 보이는 도면이다.

도 54는 앞에서 제시된 다단계 변형에 대해서 상쇄 코일을 수정한 변형예의 단면도이다.

도 55는 도 54에 도시된 변형예의 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 개략도이다.

도 56은 0.2T 미만의 널 자계 영역을 녹색의 자유 형태 선으로 경계를 그은 도 54에 도시된 터빈의 자계도이다.

도 57은 0.2T 미만의 널 자계 영역을 녹색의 자유 형태 선으로 경계를 그은 도 54에 도시된 터빈의 외부 코일 영역의 자계도이다.

도 58은 0.2T 미만의 널 자계 영역을 녹색의 자유 형태 선으로 경계를 그은 도 54에 도시된 터빈의 내부 상쇄 코일 영역의 자계도이다.

도 59는 토크 이퀄라이저 시스템과 관련하여 사용된 바람직한 실시예의 터빈 발전기의 개략도이다.

도 60은 도 59에 도시된 장치의 절결 측면도이다.

도 61은 도 59에 도시된 토크 이퀄라이저 시스템의 상세도이다.

도 62는 2개의 독립 부분을 구비한 역회전 터빈 발전기의 단면 입체도로서 입력 토크의 대향 방향들을 나타내는 도면이다.

도 63은 도 62에 도시된 터빈 발전기의 단면도이다.

도 64는 도 62에 도시된 터빈 발전기의 독립된 역회전 스테이지들을 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 도면이다.

도 65는 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 자계 강도가 0.2T 미만인 영역을 나타내는, 도 62에 도시된 터빈 발전기에 사용된 코일 시스템의 개략적인 자계도이다.

도 66은 자계를 나타내는, 도 62에 도시된 터빈 발전기에 사용된 코일 조립체의 절반 단면 자계도이다.

도 67은 도 62에 도시된 터빈 발전기의 외부 코일 조립체의 상세 단면 자계도이다.

도 68은 도 62에 도시된 터빈 발전기의 내부 코일 조립체의 상세 단면 자계도이다.

도 69는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 멀티-MW 직접 구동 풍력 터빈 발전기의 단면 입면도이다.

도 70은 도 69에 도시된 풍력 터빈 발전기를 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 도면이다.

도 71은 도 69에 도시된 풍력 터빈 발전기의 자계의 개요도이다.

도 72는 도 69에 도시된 풍력 터빈 발전기의 절반 단면 자계도이다.

도 73은 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 0.2T 미만인 영역을 나타내는, 도 69에 도시된 풍력 터빈 발전기의 외부 코일 조립체의 상세 자계도이다.

도 74는 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 0.2T 미만인 영역을 나타내는, 도 69에 도시된 풍력 터빈 발전기의 내부 상쇄 코일 조립체의 상세 자계도이다.

도 75는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 멀티-MW 풍력 터빈 발전기의 단면 입면도이다.

도 76은 도 75에 도시된 풍력 터빈 발전기를 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 도면이다.

도 77은 자유 형태 선으로 경계를 그은, 자계 강도가 0.2T 미만인 영역과 자계 벡터를 나타내는, 도 75에 도시된 풍력 터빈 발전기의 자계도이다.

도 78은 추가의 스테이지간 토크/rpm 이퀄라이저를 포함하는, 도 75에 도시된 풍력 터빈 발전기의 변형예의 단면 입면도이다.

도 79는 도 78에 도시된 풍력 터빈 발전기의 단면 등각도이다.

도 80은 적용된 입력 토크의 상대적인 방향들을 나타내는, 도 79에 도시된 풍력 터빈 발전기의 중앙 부분에 대한 상세한 단면 등각도이다.

도 81은 도 78에 도시된 풍력 터빈 발전기를 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로 도시하는 도면이다.

도 82는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 최종 고전압 출력을 제공하기 위하여 드림형 전자기 출력 변환기가 통합되어 있는 드림 형태 풍력 터빈 발전기를 도시하는 도면이다.

도 83은 도 82에 도시된 풍력 터빈 발전기를 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 도면이다.

도 84는 자유 형태 선으로 경계가 그려진 내부 널 자계 영역을 생성하는 내부 상쇄 코일을 구비하는, 도 82에 도시된 드럼형 발전기의 초전도 코일 장치의 전체 자계도이다.

도 85는 널 자계 영역이 나타나 있는 도 82에 도시된 발전기의 외부 구동 코일의 중심에 있는 널 자계 영역의 상세도이다.

도 86은 도 82에 도시된 실시예의 드럼 요소를 따라서 외부 솔레노이드에 의해 생성된 주 구동계의 자계 벡터를 나타내는 개략도이다.

도 87은 도 82에 도시된 발전기의 내부 상쇄 코일 및 고속 모터 부분 둘레 영역의 자계 벡터의 개략도이다.

도 88은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 방사상 요소 전자기 출력 변환기를 구비한 드럼형 풍력 터빈 발전기의 단면 개략도이다.

도 89는 도 88에 도시된 실시예의 고전류 경로 및 저전류 경로와 접속부들을 도시하는 도면이다.

도 90은 드럼형 전자기 출력 변환기를 포함하는 도 82 및 도 88에 도시된 드럼형 풍력 터빈 발전기의 3코일 조립체 변형예를 도시하는 도면이다.

도 91은 도 90에 도시된 변형된 발전기를 통과하는 고전류 경로 및 저전류 경로를 도시하는 도면이다.

도 92는 도 90에 도시된 변형된 발전기용 구동 코일 및 상쇄 코일을 도시하는 전체 자계도이다.

도 93a는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 세대 1(generation one) 고속 터빈의 개략도이다.

도 93b는 도 93a에 도시된 세대 1 고속 터빈과 비교했을 때 가능한 설계 변형을 나타내는, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 세대 2(generation two) 고속 터빈의 개략도이다.

도 94는 도 93b에 도시된 세대 2 고속 터빈의 일부에 대한 상세한 개략도이다.

도 95는 도 93b에 도시된 세대 2 고속 터빈을 위한 대표적인 코일 레이아웃 및 널 자계 영역의 자계도이다.

도 96은 도 93b에 도시된 세대 2 고속 터빈에 있어서 외부 상쇄 코일이 제거된 소직경 변형예의 자계도이다.

도 97은 바람직한 실시예에 따른 2세대(second generation) 전자기 변환기의 기본 레이아웃의 개략도이다.

도 98은 도 97에 도시된 변환기에 있어서의 자유 형태 선으로 경계를 그은 널 자계 영역을 나타내는 자계도이다.

도 99는 바람직한 실시예에 따른 대안적 코일 설계를 갖춘 드럼/방사상 하이브리드 모터/전자기 변환기의 개략도이다.

도 100은 도 99에 도시된 실시예에 있어서의 자유 형태 선으로 경계를 그은 널 자계 영역을 나타내는 자계도이다.

도 101은 바람직한 실시예에 따른 상기 세대 2 고속 터빈의 추가 실시예의 단면 개략도이다.

도 102는 도 101에 도시된 실시예에 존재하는 구동계, 및 자유 형태 선으로 경계를 그은 널 자계 영역을 나타내는 자계도이다.

도 103은 바람직한 실시예에 따른 상기 세대 2 고속 터빈의 또 다른 추가 실시예의 단면 개략도이다.

도 104는 도 103에 도시된 실시예에 존재하는 구동계, 및 자유 형태 선으로 경계를 그은 널 자계 영역을 나타내는 자계도이다.

도 105는 바람직한 실시예에 따른 상기 세대 2 고속 터빈의 또 다른 추가 실시예의 단면 개략도이다.

도 106은 본 발명의 양호한 실시예에 따른 대안적인 회전자 형상, 위치 및 저온 유지 장치 레이아웃을 구비하는, 상기 세대 2 고속 터빈의 또 다른 추가 실시예의 단면 개략도이다.

도 107은 본 발명의 양호한 실시예에 따른 대안적인 회전자 형상, 위치 및 저온 유지 장치 레이아웃을 구비하는, 상기 세대 2 고속 터빈의 또 다른 추가 실시예의 단면 개략도이다.

도 108은 제 3의 상쇄 코일을 제외하고는 도 23a 및 도 23b에 도시된 것과 유사한 방사상 형태의 디스크 장치의

자계 분포 영상을 보이는 도면이다.

도 109는 2개의 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 채용한 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치의 자계 분포 영상을 보이는 도면이다.

도 110은 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치이지만 4개의 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 채용하도록 수정된 장치의 자계 분포 영상을 보이는 도면이다.

도 111은 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치이지만 디스크형 방사상 장치와 관련해서 4개의 추가적인 능동 상쇄 코일을 구비시킨 장치의 단면도이다.

도 112는 능동 상쇄 코일을 사용하지 않는 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 자계 분포 영상이다.

도 113은 2개의 능동 상쇄 코일을 사용하는 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 자계 분포 영상이다.

도 114는 도 113에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 2개의 추가적인 능동 상쇄 코일의 위치설정을 나타내고 있는 단면도이다.

도 115는 4개의 능동 상쇄 코일을 포함하도록 수정된, 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 도면이다.

도 116은 도 115에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 4개의 추가적인 능동 상쇄 코일의 위치설정을 나타내고 있는 단면도이다.

도 117은 능동 차폐가 없는 도 69에 도시된 것과 유사한 다단 방사상 형태 디스크 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 도면이다.

도 118은 2개의 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 갖춘 도 69에 도시된 것과 유사한 다단 방사상 형태 디스크 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 도면이다.

도 119는 도 118에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 2개의 추가적인 차폐 코일의 위치설정을 나타내고 있는 단면도이다.

도 120은 바람직한 실시예에 따른 액체 금속 브러시 조립체의 절반을 형성하는 허 모양 외부 링을 구비하는 주 회전 디스크 및 축 조립체의 등각도이다.

도 121은 액체 금속 재료용 격납 벽을 포함하는 바람직한 실시예에 따른 전체 회전자와 내부 및 외부 액체 금속 브러시 조립체의 단면 등각도이다.

도 122는 도 121에 도시된 구성의 단면 정면도이다.

도 123은 도 122에 도시된 외부 액체 금속 브러시 조립체의 단면 상세도이다.

도 124는 도 122에 도시된 내부 액체 금속 브러시 조립체의 단면 상세도이다.

도 125는 바람직한 실시예의 회전 디스크/축 조립체의 단면도로서, 벌어진 디스크 부분을 보이고 있는 단면도이다.

도 126은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 구동 자석 및 저온 유지 장치 경계부가 구비된 완전한 회전자 및 브러시 조립체의 단면도이다.

도 127은 저마모성 자성 유체 시일을 사용하여 최종 출력 축을 밀봉하면서 회전자 및 저온 유지 장치 조립체 둘레에 밀봉된 불활성 분위기를 만드는 하나의 가능한 구현예를 보이는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0095]

도 1a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기(100)로 사용하기 위한 전자기 터빈의 한 가지 가능한 구성이 도시되어 있다. 기본적인 발전기 레이아웃은 디스크의 회전축방향으로 지향되는 자계 내에서 회전하는 도전성 디스크(101)로 구성된다. 상기 기본 레이아웃에서 자계는 갭(103)에 의해 분리된 동일한 방향으로 DC 전류를 순환시키는 2개의 초전도 솔레노이드(102_1 , 102_2)에 의해 생성된다. 회전자(101)는 액체 금속 브러시

(104₂)의 배치를 위해 만들어진 널 자계 영역을 활용할 수 있도록 갭(103)의 중앙에 위치된다. 디스크(101)는 외부 전원에 의해 회전하므로, 내부 액체 금속 집전 장치(104₁)와 외부 액체 금속 집전 장치(104₂) 사이에 전압이 발달된다. 이 장치가 적절한 전기 부하에 연결된 때에 전류가 디스크에서 전기 부하로 흐른다. 이렇게 하여 기계적 입력 에너지가 전기 에너지로 변환된다.

[0096]

터빈 구성의 더욱 상세한 도면이 도 1b에 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 초전도 솔레노이드(102₁, 102₂)는 일련의 초전도 코일(105)로 구성된다. 전류가 외부 액체 금속 브러시(104₂)에서부터 회전자 요소의 외측 반경으로부터 내부 반경으로 흐르고, 도전성 축(106)의 축을 따라서 내부 액체 금속 브러시 조립체(104₁)를 통해 빠져나간다.

[0097]

이 경우에서 초전도 솔레노이드(102₁, 102₂)들 사이의 갭(103)은 자계 상쇄(field cancellation) 또는 전자계 널(electromagnetic field null)의 영역을 생성할 수 있다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자들이 이해할 수 있는 바와 같이, 금속 섬유와 액체 금속 브러시 둘 다의 작동은 높고/강한 자계에 노출됨으로써 악영향을 받으며, 그 각각의 경우에 이와 같은 큰 자계에 노출되면 전류 유지 용량이 상당히 줄어든다. 널 자계(null field)의 생성은 액체 금속 브러시를 전류 유지 용량의 저하 없이 효과적으로 작동하도록 위치시킬 수 있는 영역을 제공한다. 본 실시예에서, 외부 액체 금속 브러시(104₂) 조립체는 갭(103) 안에 위치되고, 내부 액체 금속 브러시(104₁) 조립체는 솔레노이드에 의해 생성된 자계 밖에 위치되되 자계 밀도가 낮은(이상적으로는 0.2T 미만) 영역에 위치된다.

[0098]

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기(200)로 사용하기 위한 전자기 터빈의 한 가지 가능한 구성을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이 이 터빈은 갭(203)에 의해 분리되고 안에 회전자(201)가 배치되어 있는 2개의 초전도 솔레노이드(202₁, 202₂)를 역시 채용하고 있다는 점에서 도 1a 및 도 1b와 유사한 구성으로 되어 있다. 이 경우에서 회전자(201)는 적층형 구조이다. 적층형 회전자(201)는 대응하는 실린더 요소(206₁, 206₂, 206₃, 206₄, 206₅, 206₆)에 부착된 디스크 요소(201₁, 201₂, 201₃, 201₄, 201₅, 201₆)를 포함하는 다수의 적층 층들로 구성되고, 상기 실린더 요소들은 터빈의 도전성 출력 축(206)을 형성한다. 상기 도전성 층들 사이의 전기 절연을 유지하면서 적층체들 간에 강한 기계적 연결을 위해 회전자(201)의 각 층들 사이에는 비도전성 재료가 배치된다.

[0099]

회전자 구조(201)의 적층된 부분들은 이 실시예에서는 액체 금속 집전 장치(204)들을 통해서 직렬로 연결된다. 회전자 부분들 간의 상호 연결에 대한 더욱 상세한 도면은 도 2b에 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 각 적층 층은 입력 및 출력 세트의 액체 금속 브러시(204)를 구비한다. 이 액체 금속 브러시(204)들은 전류를 외측 브러시(204₂)로부터 인접 적층 층의 내부 브러시(204₁)로 복귀시킬 수 있는 전류 복귀 상호 연결부(205)를 거쳐서 일련의 회로를 형성하도록 서로 결합된다.

[0100]

도 1a 및 도 1b의 터빈의 경우에서처럼, 외부 브러시(204₂)들은 갭(203) 내에 생성된 널 자계 영역 내에 위치된다. 내부 브러시(204₁)들은 다시 자계 밀도가 낮은(이상적으로는 0.2T 미만) 영역에서 솔레노이드의 외측에 위치된다.

[0101]

적층형 설계의 목적은 최종 부하(즉, 전력 전자 기기, 송전선망 연결, 자동차 전원 공급 등)에 더 적합한 최종 출력 전압을 생성할 수 있도록 각 회전자 적층체 내에 생성된 전압들이 서로 직렬로 더해지도록 하는 것이다. 또한, 적층 층들을 이와 같은 방식으로 직렬로 연결함으로써 발전기의 출력 전압을 증가시키는 것이 가능해지고 작동 전류를 동일한 전력 포락선(power envelope) 내에서 낮추는 것이 가능해진다.

[0102]

도 3은 적층형 회전자(301)를 채용한 발전기(300)로서 사용하기 위한 전자기 터빈의 대안적 구성을 도시하고 있다. 도 2a 및 도 2b의 경우에서처럼, 적층형 회전자(301)는 대응하는 실린더 요소(306₁, 306₂, 306₃, 306₄, 306₅, 306₆)에 부착된 디스크 요소(301₁, 301₂, 301₃, 301₄, 301₅, 301₆)를 포함하는 다수의 적층 층들로 구성되고, 상기 실린더 요소들은 터빈의 도전성 출력 축(306)을 형성한다. 상기 도전성 층들 사이의 전기 절연을 유지하면서 적층체들 간에 강한 기계적 연결을 위해 회전자(301)의 각 층들 사이에는 비도전성 재료가 배치된다.

[0103]

다시 또, 회전자(301)가 초전도 솔레노이드(302₁, 302₂)들 사이에 배치된 갭(303) 내에 배치되어서, 외부 브러시(304₂)가 갭(303) 내에 생성된 널 자계 영역 안에 위치될 수 있게 한다. 그러나 이 예에서 적층형 회전자(301)

1)의 총 길이는 상채 코일(307)들을 추가하는 것을 통해 감소된다. 상채 코일(307)들은 내부 집전 장치(304₁)의 배치를 위한 추가 널 자체 영역들을 생성한다. 상기 상채 코일(307)들은 초전도 와이어 권선이거나, 혹은 이의 대안으로 벌크 초전도 재료일 수 있다. 벌크 초전도체가 사용되는 경우, 외부 솔레노이드(302₁, 302₂)는 내부 벌크 재료가 작동 온도까지 냉각될 때에 정적 전류에서(역방향으로) 작동하게 함으로써 벌크 초전도체 장을 생성시키는 데 사용될 수 있다. 이 기술 사상은 벌크 초전도 재료의 완전한 반자성을 활용하기 위한 것이다. 외부 전원의 전류가 제거되었을 때(즉, 외부 초전도 코일들이 방전된 때) 지속적인 장(persistent field)이 벌크 초전도체 내에 유지된다. 이러한 지속적인 장은 초전도 코일들이 통상의 전류 방향에서 충전되었을 때에 상쇄 장(cancelling field)이 된다.

[0104] 도 4a는 발전기로서 사용하기 위한 전자기 터빈의 한 가지 가능한 구성을 도시한다. 이 예에서, 발전기는 서로 직렬로 연결된 복수의 발전기 요소(400₁, 400₂, 400₃, 400₄)로 구성된다. 상기 예들에서처럼, 각 발전기 요소는 회전자들이 회전할 때에 놓이게 되는 주 자계를 생성시키기 위해 사용되는 주 솔레노이드(402₁, 402₂, 402₃, 402₄, 402₅)들 사이에 제공된 겹(403₁ 403₂, 403₃, 403₄)에 내에 배치된 회전자(401₁, 401₂, 401₃, 401₄)를 포함한다. 회전자(401₁, 401₂, 401₃, 401₄)들은 고정자(405₁, 405₂, 405₃, 405₄)의 사용을 통해 직렬로 연결된다. 전류가 회전자들 사이에서 한 세트의 미끄럼 금속 접촉부를 거쳐 고정자를 가로질러 이송된다.

[0105] 일련의 상채 코일(407₁, 407₂, 407₃, 407₄, 407₅, 407₆)이 주 솔레노이드(402₁, 402₂, 402₃, 402₄, 402₅) 내에 배치된다. 이 내부 코일들은 작동 반경 내의 자계의 밀도와 균일성을 모두 증가시키고, 액체 금속 브러시가 적당하게 위치될 수 있는 상채 코일의 내부 직경 내에 일련의 자체 널(field nulls)을 생성한다.

[0106] 회전자들은 이 회전자들로부터 전기 절연된 축(406)에서 기계적으로 회전하므로, 회전자-고정자 페어링을 통해 전류 흐름이 유도된다. 발전기를 통한 전류 경로의 상세도가 도 4b에 도시되어 있다. 다수의 회전자들을 직렬로 연결시키는 이점은 최종 생성 출력 전압이 증가한다는 것이다. 일반적으로, 보다 더 높은 전압은 생성된 전력을 효율적으로 추출할 수 있게 하며 하류 전력 전자 기기들의 결합을 더욱 간단하게 한다.

[0107] 위에서 주지한 바와 같이, 다수의 발전기 설계는 액체 금속 브러시를 전류 이송 기구로 활용한다. 도 5a 및 도 5b는 액체 금속 브러시를 채용한 회전자 및 발전기의 구성을 더욱 상세하게 도시하고 있다. 도 5a에 도시된 바와 같이, 발전기(500)는 축(506)에 장착된 회전자(501)를 포함한다. 회전자(501)가 다시 솔레노이드(502₁, 502₂)들 사이의 겹(503) 내에 제공된 널 자체 영역 내에 배치된다. 이 경우에서 회전자는 외부 액체 금속 브러시(504₂)를 하우징하는 고정자 프레임(508₂) 내에 피포된다. 이 특정 예에서는 상채 코일(507)이 사용되는데, 이 상채 코일은 솔레노이드(502₁)의 단부에 인접하게 내부 액체 금속 브러시(504₁) 둘레에 위치된다. 내부 액체 금속 브러시(504₁)는 상채 코일(507) 내에 축(506)의 단부 둘레에 위치한 고정자 프레임(508₁) 내에 하우징된다.

[0108] 액체 금속 브러시(504₁, 504₂) 사용의 편의를 도모하기 위해, 회전자(501) 및 외부 브러시와 결합하는 축의 부분에는, 도 5b에 도시된 바와 같이, 홈 형성된 슬립 링(509)이 형성된다. 고정자 링(508₂)은 액체 금속(511)을 수용할 수 있도록 하기 위한 작은 채널을 형성하는 대응하는 홈(510)을 구비한다. 그러면 액체 금속은 고정자 링과 회전자 사이에 전류가 통과할 수 있는 전기 접속부를 형성한다.

[0109] 전형적으로 액체 금속은 공기 중의 습기 및 산소와 반응하므로, 불활성 기체 분위기 내에 밀봉시키는 것이 필요하다. 밀봉 시스템과 함께 상기 홈(509, 510) 및 채널은 회전할 때에 원심력을 받는 액체 금속을 수용하도록 설계된다. 도 5a에서 알 수 있는 바와 같이, 고정자(508₂)에 있는 홈(510)을 충전하는 액체 금속(511)은 액체 금속을 주입하고 회수하는 가변 압력 하의 저장조(512)로부터 공급된다. 이 저장조(512) 내의 액체는 또한 외부 열교환기 및 펌핑 시스템을 이용하여 접촉 채널(510)을 통해 재순환되는 액체를 이용하여 냉각시킬 수 있다. 이렇게 해서, 냉각 시스템은 또한 회전자 및 고정자 시스템으로부터 열을 제거할 수도 있다. 전형적인 집전 시스템은 또한 물 또는 그 밖의 냉각 유체를 고정자 링 둘레에서 순환시키며 고정자, 액체 금속 및 회전자를 안정적인 작동 온도에 유지되도록 하는 냉각 채널도 포함할 수 있다.

[0110] 상기 실시예에서, 생성된 전류는 전력 로드 또는 하류 전력 전자 기기 등으로 직접 빠져나간다. 고속의 발전기는 고전압 및 저전류를 생산하므로 발전기가 고속으로 작동하는 경우(즉, 구동축이 고속에서 기계적으로 작동하는 경우), 생산된 전류 및 전압의 활용은 비교적 간단한 처리이다. 전류 및 전압 생산은 주 자체 강도 B 등과 같은 다수의 인자에 의존한다. 위에서 논의된 유형의 발전기의 현재 구성들은 높은 회전 속도에서 1kV 이상의

수준의 전압 및 약 500A의 전류를 생산할 수 있다.

[0111] 그러나 발전기가 비교적 저속에서 구동되는 경우 생산되는 전압은 20V ~ 60V 수준으로 비교적 낮으며 전류는 0.5MA 수준이 된다. 이 경우, 유용한 전기를 생산하는데 필요한 전력 전자 기기들은 비교적 복잡하고, 부피가 크며, 고가이다. 도 6a는 저속 직접 구동 응용 장치에서 사용하기 위한 것으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 발전기로 사용하기 위한 터빈(600)의 한 가지 가능한 구성을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 이 경우에서의 터빈(600)은 주 자계를 생성하기 위한 한 쌍의 초전도 구동 코일(604₁, 604₂)을 포함한다. 상기 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에는 저속 구동기(즉, 대표적인 구동 속도 5 ~ 20 rpm)에 연결될 수 있는 저속 발전기 스테이지(601)와 고속 발전기 스테이지(603)(즉, 대표적인 구동 속도 300 ~ 600 rpm)가 배치된다.

[0112] 저속 스테이지(601)는 전형적으로 송전선망으로 공급되는 중요한 전력 전자 기기들을 필요로 하는 저전압 및 고전류를 발생시킨다. 전압 및 전류를 송전선망에 유용한 수준으로 변환하기 위해, 저속 발전기 스테이지에서 생산된 저전압 고전류를 사용해서, 고속 발전기 스테이지(603)를 직접 구동하는 고속 모터의 형태인 중간 스테이지(602)를 구동시킨다. 고속 발전기 스테이지(603)는 송전선망에서 더욱 쉽게 사용될 수 있는 고전압 저전류 DC 전력을 생산한다. 이 경우에서의 상기 고속 모터는, 본 명세서에서 전체 내용을 참조로 포함하는 본 출원인의 선행 국제 특허 출원 PCT/AU2012/000345호 및 PCT/AU2012/000346호에서 논의된 유형이다.

[0113] 상기 논의에서 명백해지는 바와 같이, 저속 스테이지(601)와 고속 스테이지(603)는 기계적으로 연결되지 않으며 서로 독립적으로 회전할 수 있다. 고속 모터 스테이지와 고속 발전기 스테이지는 기계적으로 결합되지만, 전기적으로는 서로 절연된다. 저속 발전기의 출력 단자들은 고속 모터 중간 스테이지의 입력 단자들에 연결된다. 저속 스테이지와 고속 스테이지는 배선 구성의 여하에 따라 동일 방향 또는 반대 방향으로 회전할 수 있다.

[0114] 위에서 주지한 바와 같이, 균일한 자계 B에서 회전 속도 ω 로 회전하는 반경 R인 회전 디스크의 중심과 외측 직경 사이에서 생성된 EMF는 다음과 같이 주어진다.

$$\epsilon = \int_0^R \omega B r dr = \frac{R^2}{2} B \omega$$

[0115]

[0116] 저속 발전기에 있어서의 파라미터들은 다음과 같다.

[0117] R_{lsg} = 저속 발전기의 반경

[0118] B_{lsg} = 저속 발전기의 자계(이 경우에는서는 균일한 것으로 가정)

[0119] ω_{lsg} = 저속 발전기의 각속도

[0120] ϵ_{lsg} = 저속 발전기에 의해 생성된 EMF = $0.5 \times R_{lsg}^2 \times B_{lsg} \times \omega_{lsg}$

[0121] P_{lsg} = 저속 발전기의 입력 동력

[0122] I_{lsg} = 손실을 무시한 저속 발전기에서 집전된 전류

[0123] 위에서 주지한 바와 같이, 저속 발전기의 전기 출력은 다음의 파라미터를 갖는 고속 모터로 공급된다.

[0124] R_{hsm} = 고속 모터의 반경

[0125] B_{hsm} = 고속 모터의 자계(이 경우에는서는 균일한 것으로 가정)

[0126] P_{hsm} = 고속 모터로 들어간 동력 = P_{lsg} (손실 무시)

[0127] I_{hsm} = 고속 모터로 들어간 전류 = I_{lsg} (손실 무시)

[0128] ϵ_{hsm} = 고속 모터로 들어간 EMF = ϵ_{lsg}

[0129] ω_{hsm} = 고속 모터의 각속도 = $2 \times \epsilon_{lsg} / (R_{hsm} \times B_{hsm})$

[0130] 위에서 알 수 있는 바와 같이, 고속 모터의 각속도는 고속 모터 중간 스테이지의 반경과 자계의 함수이다. 이 관계가 주어진 상태에서, 저속 발전기 스테이지에 대한 고속 모터 중간 스테이지의 회전 속도는 저속 발전기 스테이지에 대한 고속 모터 중간 스테이지의 반경 및 적용된 자계를 줄임으로써 증가시킬 수 있다.

[0131] 한 예로서, $R_{hsm} = R_{lsg}/10$ 이고 $B_{lsg} = B_{hsm}$ 이면,

$$\varepsilon_{hsm} = \varepsilon_{lsg} = 0.5 \times R_{lsg}^2 \times B_{lsg} \times \omega_{lsg} = 0.5 \times R_{hsm}^2 \times B_{hsm} \times \omega_{hsm}$$

[0132] $R_{lsg}^2 \times \omega_{lsg} = R_{hsm}^2 \times \omega_{hsm}$ 을 상쇄하고, $R_{hsm} = R_{lsg}/10$ 를 치환하면,

$$R_{lsg}^2 \times \omega_{lsg} = (R_{lsg}/10)^2 \times \omega_{hsm}$$

$$\omega_{hsm} = 100 \times \omega_{lsg}$$

[0136] 고속 모터에 있어서는 저속 발전기의 입력 속도를 100배를 곱하는데, 이는 이 예에 있어서는 반경 크기에 있어서 10 차이가 나는 계수 때문이다. 고속 모터 중간 스테이지의 속도를 위와 유사한 방식으로 조작하는데에 자계도 사용될 수 있다.

[0137] 고속 모터 중간 스테이지는 고속 발전기 스테이지에 기계적으로 결합되므로, $\omega_{hsm} = \omega_{hsg}$ 이다. 따라서, 고속 발전기에 의해 생성된 EMF는 다음과 같이 주어진다.

$$\varepsilon_{hsg} = \text{고속 발전기에 의해 생성된 EMF} = 0.5 \times R_{hsg}^2 \times B_{hsg} \times \omega_{hsg}$$

[0139] 여기서,

[0140] R_{hsg} = 고속 발전기의 반경

[0141] B_{hsg} = 고속 발전기의 자계(이 경우에는는 균일한 것으로 가정)

[0142] ω_{hsg} = 고속 발전기의 각속도

[0143] P_{hsg} = 고속 발전기로 들어간 입력 동력

[0144] I_{hsg} = 손실을 무시한 고속 발전기로부터 집전된 전류

[0145] 만일 $B_{hsg} = B_{lsg}$ 이고 $R_{hsg} = R_{lsg}$ 이면,

$$\varepsilon_{hsg} = 0.5 \times R_{hsg}^2 \times B_{hsg} \times \omega_{hsg} = 0.5 \times R_{hsg}^2 \times B_{hsg} \times 100 \times \omega_{lsg}$$

$$\varepsilon_{hsg} = 100 \times [0.5 \times R_{(hsg)}^2 \times B_{(hsg)} \times \omega_{(lsg)}]$$

$$\varepsilon_{(hsg)} = 100 \times \varepsilon_{(lsg)}$$

[0149] 고속 발전기의 출력 전압은 저속 발전기에 비해 100배 크고, 고속 발전기의 출력 전류는 손실을 무시한 저속 발전기에 비해 100배가 작다.

[0150] 저속 발전기(601), 고속 모터(602) 및 고속 발전기(603)로 구성되고 위에서 설명한 바와 같은 적절한 반경 및 자계 비율이 부여된 3 스테이지 시스템을 사용하면 저속 회전 입력에 의해 생성된 저전압 및 고전류를 더욱 쉽게 이용할 수 있는 고전압 및 저전류로 변환할 수 있다. 또한, 최종 구동 속도를 최종 구동 요건에 적합하도록 단계적 상향 조정 및 하향 조정할 수 있는 모터/발전기/모터 스테이지로서 장치를 동일하게 구동시킬 수 있다는 것도 중요하게 주지해야 할 점이다. 이와 같은 방식에 있어서는, 전자계 DC-DC 변환기 스테이지들을 더 정확하게는 단극 기어박스로 칭할 수 있다.

[0151] 상기 예는 단순화를 위해 균일한 자계를 가정했다. 균일하지 않은 경우에 있어서는, 적분 공식을 사용해야 한다.

$$\varepsilon = \int_0^R \omega B r dr = \frac{R^2}{2} B \omega$$

[0152]

적분 $\int B(r)r.dr$ 의 값이 구해지면 임의의 필드 프로파일에 대해 V/rad/s 단위의 값을 계산할 수 있다. 이 방법을 사용함으로써 저속 발전기와 고속 모터 스테이지/고속 발전기 스테이지 간의 속도비를 계산하는데에 상기 적분의 비율을 사용할 수 있다. 또한, 저속 발전기 스테이지와 고속 발전기 간의 최종 전압비는 아래와 같이 계산될 수 있다. 주지할 점은 V/rad/s 단위의 적분 $\int B(r)r.dr$ 은 또한 암페어 당 생성된 토크(Nm/A)와 동일하다는 것이다.

$$\int B(r)r.dr_{(lsg)} * \omega_{lsg} = \int B(r)r.dr_{(hsm)} * \omega_{hsm}$$

[0154]

$$\omega_{hsm} = \omega_{lsg} * \int B(r)r.dr_{(lsg)} / \int B(r)r.dr_{(hsm)}$$

[0155]

$$\varepsilon_{hsg} = \omega_{hsm} * \int B(r)r.dr_{(hsg)}$$

[0156]

$$\varepsilon_{hsg} = [\omega_{lsg} * \int B(r)r.dr_{(lsg)} / \int B(r)r.dr_{(hsm)}] * \int B(r)r.dr_{(hsg)}$$

[0157]

[0158]

도 6b는 도 6a의 회전자 구성을 더 상세하게 도시한 횡단면도이다. 터빈(600)에 도시된 바와 같이, 저속 발전기 스테이지(601) 및 고속 발전기 스테이지(603)는 저온 유지 장치(605) 안에 하우징된 한 쌍의 주 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에 위치된다. 상기 예들에서처럼, 상기 주 구동 코일(604₁, 604₂)들은 액체 금속 전류 이송 조립체(606)를 위치시키기 위한 널 자계 영역을 생성하도록 서로 이격되어 있다. 도시된 바와 같이, 주 구동 코일들은 초전도 재료로 제조된 2개의 동심 코일(620)들로 구성된다.

[0159]

상기 주 구동 코일 외에, 한 쌍의 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)들도 제공된다. 상기 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)은 상기 주 구동 코일(604₁, 604₂) 내에 동심으로 위치된다. 도시된 바와 같이, 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)은 저온 유지 장치(605) 안에 하우징된 일련의 3개의 동심 코일로 구성된다. 최내부 및 최외부 코일(621)들은 상기 외부의 구동 코일(604₁, 604₂)과 전류 방향과 반대되는 전류 방향을 갖는다. 이들 상쇄 코일들 사이에 있는 코일(622)들은 외부의 구동 코일들과 동일하게 양(positive)의 전류 방향을 갖는다. 이 경우에서의 내부의 상쇄 코일(607₁, 607₂)들은 고속 모터 스테이지(602)에 구동 전류를 인가하기 위한 액체 금속 브러시의 배치를 위한 추가적인 널을 생성한다. 또한, 상기 상쇄 코일(607₁, 607₂)들은 전기 모터 스테이지(602)를 위한 구동계도 제공한다.

[0160]

터빈(600) 내에 생성된 자계도가 도 7a에 도시되었고, 이 경우에 있어서 구동 코일과 상쇄 코일은 Nb₃Sn 초전도 와이어로 구성된다. 도 7a에서 알 수 있는 바와 같이, 구동 코일(604₁, 604₂)들은 이 구동 코일 쌍들 사이에 널 자계 영역(701)을 생성하고, 상기 널 자계 영역은 코일 쌍을 형성하는 중심 코일들 사이에 제공된 공간(608)에 대해 중심을 잡고 있다. 도 7b는 주 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에 생성되는 널 자계 영역의 더 상세한 도면을 제공한다. 2개의 코일(604₁, 604₂)들 사이의 갭이 널 자계 영역을 생성한다. 이 널 자계 영역은 상기 코일의 권선 반경에 작은 갭(608)을 도입함으로써 향상되고 확장된다. 상기 도면의 영상에서 둘러싸인 영역(704)은 자계 강도가 0.2T 미만인 영역을 나타낸다.

[0161]

상쇄 코일들은 중앙의 널 자계 영역(703)을 제공한다. 추가의 널 자계 영역(702)도 상쇄 코일(607₁, 607₂)들 사이에 생성된다. 이 널 자계 영역은 상쇄 코일을 형성하는 동심 코일 세트 내의 최외부 코일과 제 2 코일 사이에 마련된 공간(609)에 대해 중심을 잡고 있다. 내부 상쇄 코일들에 의해 생성된 널 자계의 보다 상세한 도면이 도 7c에 도시되어 있다. 둘러싸인 영역(705)은 0.2T 미만인 영역을 나타낸다. 3개의 추가적인 내부 코일 세트의 배치는 브러시의 상호 연결을 위한 널 자계 영역을 생성할 뿐만 아니라 전자기 DC-DC 변환기 모터-발전

기 조합의 모터 스테이지를 구동하는데 사용되는 높은 축방향 장(706) 영역도 제공한다.

[0162] 브러시를 위치시키는 것을 상세하게 보이는 도면이 도 8a 및 도 8b에 도시되어 있다. 도 8a는 저속 및 고속 발전기 스테이지(601, 603)용 외부 브러시들을 위치시키는 것을 보이고 있다. 도시된 바와 같이, 저속 발전기 스테이지(601)용 회전자(610)는 외부 브러시(606_{1,2})가 구동 코일(604₂) 내의 갭(608)에 인접하게 위치될 수 있도록 구동 코일(604₂)에 인접하게 위치된다. 고속 발전기 스테이지(603)용 회전자(611)는 외부 브러시(606_{3,2})가 구동 코일(604₁) 내의 갭(608)에 인접하게 위치될 수 있도록 구동 코일(604₁)에 인접하게 위치된다. 두 경우에 있어서, 브러시(606_{1,2}, 606_{3,2})들은 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에 생성되는 널 자계 영역(701) 안에 위치된다.

[0163] 도 8b는 저속 및 고속 발전기 스테이지(601, 603)용 내부 브러시(606_{1,1}, 606_{3,1})의 배치(arrangement)를 도시하고 있다. 또한 고속 모터 스테이지(602)와 고속 발전기 스테이지(603) 간의 상호 연결이 더욱 상세하게 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 각 회전자(610, 611)의 허브들과 접촉하는 내부 브러시(606_{1,1}, 606_{3,1})는 저온 유지 장치(605)의 구멍 안에 위치된다. 저속 발전기(601)용 내부 브러시(606_{1,1})는 상채 코일(607₂)을 형성하는 최내부 동심 코일에 인접하게 위치된다. 고속 발전기용 내부 브러시(606_{3,1})는 상채 코일(607₁)의 저온 유지 장치(605)의 구멍 안에 위치되되 널 자계 영역(703) 내에 위치한 고속 모터(602)의 내부 브러시(606_{2,1})에 인접하게 위치된다. 저속 발전기(601) 및 고속 발전기(603)용 내부 브러시(606_{1,1}, 606_{3,1})의 경우, 이들은 상채 코일에 의해 생성된 널 자계 영역(703) 안에 위치된다.

[0164] 이 경우에서, 고속 모터(602)의 외부 브러시(606_{2,2})는 널 자계 영역(702) 내에 위치될 수 있도록 상채 코일(607₁)의 최외부 코일에 인접하게 위치된다. 외부 브러시(606_{2,2})를 이와 같은 방식으로 위치시킨다는 것은 모터의 회전자(612)가 높은 축방향 장 내에 위치된다는 것을 의미하기도 한다. 위에서 주지한 바와 같이, 고속 모터(602)는 고속 발전기(603)에 기계적으로 결합된다. 도 8b에서 알 수 있는 바와 같이, 모터(602)는 적절한 절연 재료(613)를 개재하여 고속 발전기(603)에 연결되고, 모터(602)와 고속 발전기(603) 사이의 전기 절연을 유지한다.

[0165] 도 9는 터빈(600)을 통과하는 전류 흐름을 도시하는 것으로, 이 경우에서의 상기 터빈은 저속 발전기 스테이지(601)와 고속 모터(602)에 의해 형성된 고전류 회로를 포함한다. 이 경우에서, 저전류 회로는 고속 발전기(603)에 의해 형성된다. 알 수 있는 바와 같이, 저속 발전기의 회전자(610)가 외부 구동 기구를 거쳐서 회전되고, 주 자계 내에서의 도전성 회전자의 운동을 통해 전류가 생성된다. 저속 발전기(601)로부터 생성된 고전류는 전류 경로(901)로 나타낸 바와 같이 고속 모터(602)로 나아간다. 전류가 모터(602)의 회전자(612)를 통과하므로, 상채 코일(607₁, 607₂)에 의해 생성되는 높은 축방향 장으로 인해 토크가 생성된다. 이 토크는 고속 발전기(603)의 회전자(611)로 전달된다. 고속 발전기(603)의 회전자(611)가 주 자계 내에서 회전함으로써 도시된 바와 같이 전류 경로(902)를 경유하여 부하/송전선망으로 빠져나가는 전류가 유도된다.

[0166] 상기 예들에서, 초전도 코일들은 Nb₃Sn 초전도 와이어로 구성된다. 대안적으로, 초전도 코일들은 NbTi 초전도 와이어로 구성될 수 있는데, 이 초전도 와이어는 현재로서는 초전도 코일의 제조 용이성과 관련한 어떤 이점뿐만 아니라 Nb₃Sn에 비해 어떤 가격적인 이점을 가진다. 가격면에서 비용이 더 낮으며 더 용이한 대안적 예는 팬케이크형 외부 코일의 직경을 증가시키며, 이에 대응하여 고속 회전자 및 저속 회전자의 직경이 증가되며, 그 결과로서 완성된 발전기의 와이어 및 회전자의 중량이 증가된다. 도 6a 및 도 6b의 발전기 배치에 있어서 생성된 자계도가 도 10에 도시되어 있다. 알 수 있는 바와 같이, 생성된 결과적인 널 자계 영역들은 Nb₃Sn 와이어의 널 자계 영역과 유사한 형태를 갖는데, 다만 그 영역의 기하 형상에는 약간의 변화가 있다.

[0167] DC-DC 변환 터빈의 또 다른 실시예가 도 11에 도시되어 있다. 다시 또, 터빈은 발전기의 저속 스테이지에 의해 생성된 저전압 고전류를 고전압 저전류 출력으로 변환하도록 설계된다. 터빈은 도 6a 및 도 6b의 터빈의 구성과 유사한 구성으로 되어 있는 제 1 스테이지(800)를 포함하며, 또한 저온 유지 장치(605) 안에 하우징된 한 쌍의 주 구동 코일(604₁, 604₂) 사이에 위치한, 주 저속 발전기 스테이지(601) 및 고속 발전기 스테이지(603)를 포함한다. 주 구동 코일(604₁, 604₂)은 액체 금속 전류 이송 조립체(606)들을 위치시키기 위한 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 서로 이격되어 있다. 다시 또, 주 구동 코일들은 초전도 재료로 이루어진 2개의 동심 코일로 구성된다.

- [0168] 상기 주 구동 코일 외에, 한 쌍의 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)들도 제공된다. 상기 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)은 상기 주 구동 코일(604₁, 604₂) 내에 동심으로 위치된다. 도시된 바와 같이, 내부 상쇄 코일(607₁, 607₂)은 저온 유지 장치(605) 안에 하우징된 일련의 3개의 동심 코일로 구성된다.
- [0169] 보조 저속 스테이지(801)가 제 2 저속 발전기 스테이지를 포함하고, 이 경우에서 상기 제 2 저속 발전기 스테이지는 한 쌍의 초전도 요소(803₁, 803₂)들 사이에 위치한 회전자(802)를 포함한다. 상기 보조 저속 발전기는 도전성 축(804)을 거쳐서 주 저속 발전기(601)에 결합된다. 보조 구동 코일(803₁, 803₂)들은 주 구동 코일(604₁, 604₂)의 자기 극성과는 반대인 자기 극성으로 배열된다. 반대되는 장 극성은 제 1 저속 이중 회전자 조립체에 일정한 방향의 회전을 보장한다. 즉, 전류 흐름이 제 1 회전자(601)에 있어서의 외부 반경에서 외부 반경으로 흐르고, 축(804)을 따라서 흘러서, 이어서 제 2 회전자(802)의 내부 반경에서 외부 반경으로 흐른다.
- [0170] 회전자가 하나인 경우에서처럼, 저속 발전기의 여러 부분들은 고속 모터를 구동하는데 사용된다. 이 경우에서는, 보조 저속 발전기가 모터(602)의 브러시들 중 하나와 결합하고, 주 스테이지(601)의 저속 발전기가 모터(602)의 브러시들 중 나머지 브러시와 결합한다.
- [0171] 이중 회전자 설계의 주요 이점은 외부 구동 코일의 총 직경이 감소(그에 따라 발전기의 총 직경이 감소)하는 것이다. 실제로, 제 1 저속 회전자에서 생성된 전압은 미끄럼 접촉 상호 연결을 필요로 하지 않으면서 2개의 물리적 회전자를 가로질러서 생성된다. 발전기 스테이지에서 발달된 전압은 외부 코일의 반경과 크게 상관되므로, 판마다 필요한 전압은 반감될 수 있고, 판마다 이렇게 낮아진 목표 전압을 생성하기 위한 외부 코일 직경이 줄어들 수 있다.
- [0172] 도 12는 터빈 내의 DC-DC 변환을 위한 고전류 회로 및 저전류 회로를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 저속 부분(801, 601)에서 생성된 고전류는 전류 경로(805)로 나타낸 바와 같이 고속 모터(602)로 나아간다. 모터(602)에 의해 생성된 결과적인 토크는 고속 발전기(603) 스테이지로 간다. 고속 발전기 부분(603)의 회전자가 회전함으로써 전류 경로(806)로 나타낸 바와 같이 송전선망으로 빠져나가는 전류가 유도된다.
- [0173] 도 12에 도시된 바와 같이, 외부 브러시(606_{1,2}, 606_{3,2})가 주 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에 위치되고, 갭(608)에 인접한 외부 브러시(606_{1,2}, 606_{3,2})는 상기 구동 코일(604₁, 604₂)들 사이에 생성되는 널 자계 영역 내에 위치된다. 고속 발전기 및 모터 스테이지(602, 603)를 위한 내부 브러시(606_{2,1}, 606_{3,1})는 저온 유지 장치(605)의 구멍 안에 위치된다. 고속 발전기용 내부 브러시(606_{3,1})는 상쇄 코일(607₁)의 저온 유지 장치(605)의 구멍 내에 위치되되 고속 모터(602)의 내부 브러시(606_{2,1})에 인접하게 위치된다. 고속 발전기(603) 및 고속 모터(602)용 내부 브러시(606_{2,1}, 606_{3,1})는 상쇄 코일들에 의해 생성된 중앙의 널 자계 영역 내에 위치된다. 이 경우에서, 고속 모터(602)용 외부 브러시(606_{2,2})는 상쇄 코일들에 의해 생성된 외부 널 자계 영역에 위치될 수 있도록 상쇄 코일(607₁)의 최외부 코일에 인접하게 위치된다.
- [0174] 주 구동 코일의 경우에 있어서 보조 구동 코일(803₁, 803₂)은 사이에 갭(807)이 배치된 한 쌍의 동심 코일로 구성되므로, 보조 저속 발전기 부분의 외부 브러시(806_{1,2})는 보조 구동 코일(803₁, 803₂)들 사이에 배치된 갭 내에 위치된다. 다시 또, 상기 갭은 널 자계 영역을 확장한다.
- [0175] 구동 코일과 상쇄 코일의 조합에 의해 생성된 자계를 나타내는 도면이 도 13a에 도시되어 있다. 이 경우에서 자계도는 Nb₃Sn 와이어를 사용하여 모델링되었다. 이중 회전자 배치는 제 1 저속 발전기 스테이지로부터 전력을 효율적으로 추출하기에 충분히 높은 출력 전압을 유지하면서도 발전기의 총 외부 직경을 줄일 수 있게 한다.
- [0176] 자계도는 한 세트의 외부 구동 코일로 구성된 좌측의 제 1 회전자 스테이지를 명확하게 보이고 있다. 우측의 복합 스테이지는 저속 발전기/고속 최종 발전 스테이지의 제 2 절반부를 위한 외부 구동 코일들과 내부 상쇄 코일들을 포함한다. 상기 상쇄 코일들은 액체 금속 접촉부를 배치하기에 적합한 자계 널을 생성하며, 중간 고속 모터 스테이지를 위한 구동계를 생성한다.
- [0177] 도 13b는 주 구동 코일(604₁, 604₂)에 생성된 자계의 상세도이다. 자유 형태 선으로 둘러싸인 영역(902)은 자계 강도가 0.2T 미만인 영역(즉, 액체 금속 브러시를 성능 감소 없이 배치할 수 있는 영역)을 나타낸다.
- [0178] 앞에서의 단일 회전자 예들에서 보인 바와 같이, 자계 널은 먼저 구동 코일(803₁, 803₂)들 간의 분리를 이용하는

것을 통해 구성된다. 위에서 주지한 바와 같이, 구동 코일들 각각은 갭을 사이에 형성시킨 한 세트의 동심 코일에 의해 형성된다. 이 경우에서는 공기 갭을 사용함으로써 널 자계 영역의 크기가 확장된다.

[0179] 도 13c는 터빈 조립체의 주 모터 스테이지(800) 내에 생성된 장을 도시하고 있다. 앞의 예들에서처럼 일련의 추가 코일들이 널 자계 영역(903)을 생성하고, 이 널 자계 영역 내에는 발전기/모터/발전기 스테이지들 사이에서 전류를 운반하는 액체 금속 브러시가 놓인다. 이들 코일들의 제 2 기능은 장치의 고속 중간 모터 스테이지를 구동하는 자계 널 아래의 이용 가능한 축방향 장의 영역을 생성하는 것이다.

[0180] 도 14는 NbTi 초전도 와이어로 모델링한 구동 코일과 상쇄 코일의 조합에 의해 생성된 자계를 보이는 자계도이다. 다시 또, 이와 다른 와이어는 직경을 크게 하는 결과를 가져오며, 궁극적으로는 기계의 중량을 더 무겁게 한다.

[0181] DC-DC 변환을 채용한 터빈의 대안적 배치가 도 15a 및 도 15b에 도시되어 있다. 이 예에서, 다수의 적층형 외부 코일들은 도 1a 내지 도 5와 관련하여 논의한 바와 같은 솔레노이드형 코일로 대체되었다. 동심 외부 코일들 간의 증가된 갭은 저속 및 고속 발전기 부분들을 형성하는 회전자들의 측면 진입을 용이하게 한다. 이 선택 방안은 외부 코일들의 지지 구조에 구조적 후프 요소들이 통합될 수 있게 하며, 이는 결국에는 발전기의 총 중량을 감소시킬 수 있다.

[0182] 위의 예들에서처럼, 터빈은 저온 유지 장치(1005) 내에 하우징된 한 세트의 구동 코일(1000₁, 1000₂)을 포함한다. 이 경우에서, 상기 구동 코일들은 저속 발전기(1001) 및 고속 발전기(1003)용의 회전자들의 일부가 상기 구동 코일들 사이의 영역 안으로 연장할 수 있도록 동심으로 배열된다. 위의 예들에서처럼, 구동 코일들 사이에 갭을 도입함으로써 발전기 스테이지들을 위한 외부 액체 금속 브러시(1006_{1,2}, 1006_{3,2})들이 위치되는 널 자계 영역이 생성될 수 있게 된다. 상기 널 자계 영역을 더 확장하기 위해, 상쇄 코일(1008₁, 1008₂)들이 저온 유지 장치와 함께 각 구동 코일(1000₁, 1000₂)들에 인접하게 위치될 수 있다. 상쇄 코일(1008₁, 1008₂)을 위치시키는 것에 대해서는 도 15에서 보다 더 상세하게 알 수 있다.

[0183] 위의 예들에서처럼, 측면에서 진입하는 설계가, 다시 또, 한 세트의 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)들을 채용한다. 이 경우에서 알 수 있는 바와 같이, 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)이, 다시 또, 동심 관계로 배열된 한 세트의 3개 초전도 코일들로 구성된다. 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)은 저속, 고속 발전기 부분들을 위한 내부 브러시(1006_{1,1}, 1006_{3,1})를 배치하기 위한 널 자계 영역을 제공한다. 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)은 또한 모터(1002)를 위한 주 구동계로서 작용하는 높은 축방향 장 영역뿐만 아니라 전기 모터 스테이지(1002)를 위한 구동 브러시(1006_{2,1}, 1006_{2,1})를 배치하기 위한 널 자계 영역도 제공한다.

[0184] 도 15b는 터빈의 여러 가지 고전류 및 저전류 스테이지들 사이에서의 전류 통과를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 저속 발전기 부분(1001)은 외부 브러시(1006_{1,2})가 구동 코일(1000₁) 및 상쇄 코일(1008₁)에 인접하게 장착된 상태에서 고속 발전기 부분(1003)을 감싼다. 내부 브러시(1006_{1,1})는 상쇄 코일(1007₁)의 최내부 코일에 인접하게 장착된다. 발전기(1001)의 저속 회전에 의해 생성된 고전류는 전류 경로(1009)로 나타낸 바와 같이 고속 모터(1002)로 나아간다. 회전자는 상쇄 코일(1007₁)의 최외부 코일에 인접하게 위치한 모터의 외부 브러시(1006_{2,2})와 상쇄 코일(1007₁)의 최내부 코일에 인접하게 위치한 내부 브러시(1006_{2,1}) 사이의 전류 연결을 제공한다. 전류는 모터를 통과하므로, 상쇄 코일들에 의해 생성된 높은 축방향 장과 전류의 상호 작용으로 인해 토크가 생성된다.

[0185] 모터에 의해 생성된 토크는 고속 발전기(1003)의 회전자로 바로 전달된다. 고속 발전기 부분의 회전자의 결과적인 회전은 저전류 출력을 생성하고, 이 저전류 출력은 구동 코일(1000₂) 및 상쇄 코일(1008₂)에 인접하게 위치한 외부 브러시(1006_{3,2})와 상쇄 코일(1007₁)의 저온 유지 장치 내에 위치한 내부 브러시(1006_{3,1})를 거쳐서 전류 경로(1010)로 나타낸 바와 같이 빠져나간다.

[0186] 도 16a는 도 15a 및 도 15b의 터빈 장치에 대한 자계도이다. 알 수 있는 바와 같이, 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)이 구동 코일(1000₁, 1000₂)에 인접하게 배치되고, 이 상태에서 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)의 최내부 코일 사이의 중앙 영역에 널(1101)이 생성되고, 상쇄 코일(1007₁, 1007₂)의 최외부 코일들과 중앙 코일들 사이에는 널(110

2)이 생성된다. 또한, 구동 코일(1000_1 , 1000_2)들 사이의 영역에 널 자계(1103)도 생성된다. 외부 코일들 내의 널 자계는 외부 코일들의 수평 갭 내의 한 세트의 추가적인 보다 작은 자계 상쇄 코일(1008_1 , 1008_2)들에 의해 증가되고 확장된다.

[0187] 도 16b는 구동 코일(1000_1 , 1000_2)들 사이에 생성된 널 자계(1103)를 보다 더 상세하게 도시하고 있다. 내부 및 외부 구동 코일(1000_1 , 1000_2)들 사이의 갭 내측의 상기 일련의 보다 작은 상쇄 코일(1008_1 , 1008_2)들은 자계를 증가시킬 수 있도록 역전된 전류 방향을 갖는다. 둘러싸인 영역(1104)은 자계 밀도가 0.2T 미만인 영역을 나타낸다.

[0188] 도 16c는 상쇄 코일(1007_1 , 1007_2)에 의해 생성된 널 자계 영역을 도시하고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 상쇄 코일(1007_1 , 1007_2)의 배치는 외부 코일들과 중앙 코일 내에 큰 중앙 널(1101)과 한 세트의 보다 작은 널(1102)을 생성한다. 최내부 코일과 중앙 코일 사이의 영역(1105)에 높은 축방향 장이 생성된다.

[0189] 요구되는 출력 전압과 전력 수준 여하에 따라, 발전기 스테이지(저속 및 고속)들을 일련의 연결된 적층형 회전자 조립체를 사용하여 만들 수 있다. 전류 방향은 회전자 적층체들을 연결하는 대응하는 고정 복귀 버스들을 통해 적층체 내에서 유지된다. 도 17은 적층형 저속 발전기 스테이지를 채용한 측면 진입이 가능하도록 구성된 터빈을 도시하고 있다. 구동 코일(1000_1 , 1000_2) 및 상쇄 코일(1007_1 , 1007_2)의 구성은 도 15a 및 도 15b와 관련하여 위에서 논의한 것과 동일하다.

[0190] 이 실시예에서, 보조 저속 발전기(1201_2)는 주 저속 발전기(1201_1)의 상부에 쌓아올려진다. 이들 두 발전기들은 절연 층(1200)을 개재하여 기계적으로 연결된다. 알 수 있는 바와 같이, 이 경우에서는 저속 스테이지의 회전자들이 모터 스테이지(1202)와 함께 서로 직렬로(알 수 있는 바와 같이, 전류 경로(1209)를 경유하여) 연결된다. 저속 발전기 부분이 회전함에 따라, 주 회전자(1201_1) 내에 생성된 전류는 보조 회전자의 단부에 인접하게 배치된 외부 브러시($1206_{1,2}$)로부터 보조 발전기(1201_2)의 내부 브러시($1206_{1,3}$)로 이송된다. 보조 저속 발전기 스테이지로부터 나온 전류는 구동 코일(1000_1) 및 상쇄 코일(1008_1)에 인접하게 배치된 외부 브러시($1206_{1,4}$)로부터, 상기 회전자를 가로질러서 모터(1202)의 외부 브러시($1206_{2,2}$)로, 그리고 모터(1202)의 전력 회로를 완성하는 내부 브러시($1206_{1,1}$)에 결합된 내부 브러시($1206_{2,1}$)로 공급된다.

[0191] 상기 예들에서처럼, 모터는, 다시 또, 적합한 절연 층(120)을 개재하여 고속 발전기 스테이지(1203)에 기계적으로 연결된다. 저속 스테이지에서 나온 전류가 모터를 통과함에 따라, 결과적인 토크가 고속 발전기의 회전자로 전달되고, 이는 전류를 유도한다. 저전류 출력은, 전류 경로(1210)로 나타낸 바와 같이, 구동 코일(1000_2) 및 상쇄 코일(1208_2)에 인접하게 위치한 외부 브러시($1206_{3,2}$)와 상쇄 코일(1007_1)의 저온 유지 장치 내에 위치한 내부 브러시($1206_{3,1}$)를 거쳐서 빠져나간다.

[0192] 도 18은 적층형 저속 및 고속 발전기 스테이지를 채용한 측면 진입이 가능하도록 구성된 터빈의 경우를 도시하고 있다. 구동 코일(1000_1 , 1000_2) 및 상쇄 코일(1007_1 , 1007_2)의 구성은 도 15a 및 도 15b와 관련하여 위에서 논의한 것과 동일하다.

[0193] 도 17의 구성의 경우에서처럼, 저속 스테이지는 적합한 절연 층을 개재하여 기계적으로 연결된 2개의 저속 발전기들을 포함한다. 보조 저속 발전기(1201_2)가, 다시 또, 주 저속 발전기(1201_1)의 상부에 쌓아올려진다. 전류는 전류 경로(1209)로 나타낸 바와 같이 저속 발전기의 여러 스테이지들 사이를 지나 모터(1202)로 나아간다. 더 구체적으로 설명하면, 저속 발전기 부분이 회전함에 따라, 주 회전자(1201_1) 내에 생성된 전류는 보조 회전자의 단부에 인접하게 배치된 외부 브러시($1206_{1,2}$)로부터 보조 발전기(1201_2)의 내부 브러시($1206_{1,3}$)로 이송된다. 보조 저속 발전기 스테이지로부터 나온 전류는 구동 코일(1000_1) 및 상쇄 코일(1008_1)에 인접하게 배치된 외부 브러시($1206_{1,4}$)로부터, 상기 회전자를 가로질러서 모터(1202)의 외부 브러시($1206_{2,2}$)로, 그리고 모터(1202)의 전력 회로를 완성하는 내부 브러시($1206_{1,1}$)에 결합된 내부 브러시($1206_{2,1}$)로 공급된다.

[0194] 상기 예들에서처럼, 모터는, 다시 또, 고속 발전기 스테이지(1203)에 기계적으로 연결된다. 그러나, 이 경우에 있어서, 고속 발전기 스테이지는 주 고속 스테이지(1203_1)를 포함하고, 이와 아울러 모터(1202)와 상기 주 고속

스테이지(1203₁) 사이에는 보조 고속 스테이지(1203₂)가 쌓아올려진다. 모터(1202)는, 보조 스테이지(1203₂)가 적합한 절연 층(1200)을 개재하여 주 스테이지에 연결되는 것과 마찬가지로, 적절한 절연 층(1200)을 개재하여 보조 스테이지(1203₂)에 기계적으로 연결된다. 저속 스테이지에서 나온 전류가 모터를 통과함에 따라, 결과적인 토크가 고속 스테이지(1203₁, 1203₂)들로 전달된다.

[0195] 고속 스테이지(1203₁, 1203₂)의 후속한 회전은 저전류 출력을 생성한다. 알 수 있는 바와 같이, 외부 브러시(1206_{3,2})는 보조 회전자의 내부 브러시(1206_{3,3})에 결합되고, 이 상태에서 전류는, 전류 경로(1210)로 나타낸 바와 같이, 보조 고속 발전기(1203₂)의 외부 브러시(1206_{3,4})와 주 고속 발전기(1203₁)의 내부 브러시(1206_{3,1})를 가로질러서 빠져나간다.

[0196] 도 19는 측면 진입 터빈의 또 다른 구성을 도시하고 있다. 이 경우에서, 저속 스테이지와 고속 스테이지들은 도 18과 관련하여 논의한 대로 구성된다. 이 경우에서, 터빈은 앞에서 논의한 구성에서의 구동 코일 구성과는 다른 구동 코일 구성을 채용한다. 도 15a, 도 15b, 도 17, 도 18에 도시된 설계의 경우에는, 구동 코일(1000₁, 1000₂)과 상쇄 코일(1008₁, 1008₂)의 동심 배치를 이용한다. 도 19의 예에 있어서는, 동축 배치를 채용한다.

[0197] 도 19에서 알 수 있는 바와 같이, 각 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂)는 한 세트의 3개 코일, 한 쌍의 구동 코일(1302₁, 1302₂), 및 상쇄 코일(1303₁, 1303₂)을 포함한다. 상기 예들에서, 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂)는 주 및 보조 저속 발전기(1201₁, 1201₂) 및 주 및 보조 고속 발전기(1203₁, 1203₂)와 이들 각각의 브러시들을 수용할 수 있도록 한 갭이 사이에 배치되어 있는 상태에서 서로에 대해 동심으로 배열된다. 구동 코일(1302₁, 1302₂) 및 상쇄 코일(1303)들은 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂) 안에 동축으로 배열된다.

[0198] 도 20은 도 19의 코일 배치(coil arrangement)에 의해 생성된 결과적인 자계를 보이는 자계도이다. 널 자계 영역(1304)이, 다시 또, 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂) 사이의 갭 내에 생성된다. 상쇄 코일(1207₁, 1207₂)에 의해 생성된 널(1101, 1102)은, 도 21에 도시된 자계도로부터 알 수 있는 바와 같이, 상기 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂) 내의 코일들의 구성 변경에 영향을 받지 않는다.

[0199] 도 22는 구동 코일 조립체(1301₁, 1301₂)들 사이에서 생성된 널 자계 영역(1304)의 상세도이다. 상기 예들에서 처럼, 구동 코일 배치부 안에 상쇄 코일들을 도입함으로써 브러시가 안에 위치될 수 있는 자유 형태 선(1305)로 경계를 그은 널 자계 영역의 크기를 증가시키는 효과가 생긴다.

[0200] 중요하게 주지할 점은, 전자기 DC-DC 변환기 스테이지들을 포함하고 있는 본 발명의 터빈들은 (고속 발전기로부터 나온 전압을 단계적으로 낮추기 위해) 역으로 발전기로서 구동할 수 있거나, 어느 방향(저전압, 저속에서 고전압, 고속 최종 구동기로, 또는 고전압, 고속에서 저전압, 저속 최종 구동기로)으로나 모터로서 구동할 수 있다는 점이다. 추가적으로, 풍력 터빈에 응용하는 경우, 최종 고속 DC 발전기 스테이지는 제거될 수 있고, 고속 모터 스테이지는 외부 AC 발전기에 결합될 수 있다. 이러한 실시는, 다시 또, 보다 더 정확하게 설명하자면 단극 기어박스라고 설명할 수 있다.

[0201] 위에서 논의된 예들은 저 회전 속도를 발전기용 입력으로서 다루거나, 직접 구동식 풍력 터빈으로 다루거나, 또는 모터용 최종 출력 구동축으로서 다루기 위한 요구의 결과로서 생긴 것이다. 이들 시나리오에 존재하는 저속 및 대응하는 고속 토크는 많은 기간 시설과 지지 기구들을 필요로 한다. 이러한 제약들은 이러한 유형의 부하를 가진 상태에서 작동되어야 하는 모든 모터 및 발전기 설계에서 직면한다.

[0202] 작동 속도를 실질적으로 증가시킬 수 있으면 발전기 및 모터의 크기는 일반적으로 상당히 줄일 수 있다. 기계적 측면에서, 작동 속도가 더 높다는 것은 동일한 전력 포락선에서 구동/피동 축 상의 토크가 보다 작다는 것을 의미한다. 이는 보다 작고 보다 가벼운 축 및 회전자를 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 추가적으로, 발전기/모터 방정식에서 전압 항은 RPM의 직접적인 함수이므로, 보다 높은 작동 속도는 보다 높은 작동 전압 및 이에 대응한 보다 낮은 전류를 의미한다. 이는 회전자 및 전류 수송 상호 연결부(current carrying interconnect)의 요구되는 크기를 줄이며, 추가로 전체 장치의 크기 및 중량을 줄인다.

[0203] 도 23a는 고속 모터/발전기로서 사용하기 위한 터빈(1400)의 한 가지 가능한 구성을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 터빈은 자기 조립체(1401₁, 1401₂) 쌍을 포함한다. 자기 조립체는 복수의 초전도 코일과, 주 구동 자

계를 생성하도록 구성되는 다수의 코일과, 자계 널을 생성하도록 상쇄 코일로서 구성되며 필요한 차폐 표준(즉, 터빈의 5 가우스 선을 형성하는 것)을 충족시키기 위해 터빈의 표유 자계 프로파일을 줄일 수 있도록 구성된 다수의 코일을 구비한다. 도 23a에 도시된 바와 같이, 터빈은 자기 조립체(1401₁, 1401₂)들 사이에 위치한 하나의 회전자(1402)를 포함한다. 이 경우에서, 상기 회전자(1402)는 상기 자기 조립체(1401₁, 1401₂) 내에 마련된 구멍(1404₁, 1404₂)을 관통해서 연장하는 구동축(1403)과 일체로 형성된다.

[0204] 도 23b는 회전자(1402) 및 구동축(1403)에 대한 자기 조립체(1401₁, 1401₂)의 배치를 도시하고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 회전자(1402)는 자기 조립체(1401₁, 1401₂)들 사이에 마련된 갭(1405) 안에 위치된다. 위의 예들에서처럼, 갭은 기본적으로는 회전자(1402)를 수용하기 위해 제공되지만 구동 코일(1406₁, 1406₂)들 간의 상호 작용이 있게 되면 널 자계 영역을 생성하는데에도 일조를 한다.

[0205] 알 수 있는 바와 같이, 이 경우에서 구동 코일(1406₁, 1406₂)은 동축으로 배열된 3개의 초전도 코일들로 구성된다. 한 세트의 상쇄 코일(1407₁, 1407₂)이 구동 코일(1406₁, 1406₂)에 대해서 겹쳐지는 동심 배치로 위치된다. 도시된 바와 같이, 상쇄 코일들은 동축으로 배열된 2개의 초전도 코일들로 구성된다. 상기 경우들에서처럼, 상쇄 코일(1407₁, 1407₂)은 회전자용 액체 금속 브러시(1408)의 효과적인 작동이 보장될 수 있도록 그 액체 금속 브러시(1408)가 안에 위치될 수 있는 널 자계 영역의 크기를 증가시키는 데 활용된다.

[0206] 자기 조립체들은, 상쇄 코일(1407₁, 1407₂) 외에도, 축(1403)의 양 단부에 인접하게 배치된 한 세트의 외부 상쇄 코일(1409₁, 1409₂)을 포함한다. 외부 상쇄 코일(1409₁, 1409₂)은 축(1403)의 액체 금속 브러시(1410₁, 1410₂)를 배치하기 위한 널 자계 영역을 생성한다.

[0207] 자기 조립체들은, 내부 상쇄 코일(1407₁, 1407₂) 및 외부 상쇄 코일(1409₁, 1409₂) 외에, 제 3 세트의 상쇄 코일(1411₁, 1411₂)도 포함하고, 상기 제 3 세트의 상쇄 코일들은 내부 상쇄 코일(1407₁, 1407₂) 및 외부 상쇄 코일(1409₁, 1409₂)과 구동 코일(1406₁, 1406₂)에 비해 직경이 상당히 더 크다. 이 경우에서, 상기 제 3 상쇄 코일들은 터빈의 표유 자계를 줄이기 위해 제공된다. 이러한 코일들을 추가한다는 것은 터빈을 위한 5 가우스 선이 터빈의 수 100 mm 범위 내에 있다는 것을 의미한다.

[0208] 도 24a는 상기 제 3 상쇄 코일들을 사용하지 않은 도 23의 터빈을 위한 자계도를 도시하고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 널 자계 영역(1412)이 주 구동 코일(1406₁, 1406₂)과 내부 상쇄 코일들에 인접한 영역에(즉, 자기 조립체(1401₁, 1401₂)들 사이의 갭 안에) 생성된다. 널 자계(1413)도 또한 터빈의 대향하는 단부들에 외부 상쇄 코일들에 의해 생성된다. 이 경우에서, 선(1501)은 0.2T 컷오프(cut off)를 도시하며, 즉 이 선 밖으로 나가면 자계 강도가 0.2T 미만으로 떨어진다. 마찬가지로, 선(1502)은 자계 강도가 0.15T 미만으로 떨어지기 시작하는 영역을 나타내고, 선(1503)은 자계 강도가 0.1T로부터 떨어지기 시작하는 영역을 나타낸다.

[0209] 도 24b는 제 3의 코일들이 활용될 때에 자계에 미치는 영향을 도시하고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 자기 조립체들 사이의 갭 내에 생성된 널 자계는 실질적으로 바뀌지 않는다. 터빈의 단부들에 생성된 널 자계 영역(1413)이 일부 고쳐진 것은 있다. 알 수 있는 바와 같이, 제 3의 코일들은 5 가우스 선이 장치의 본체에 더 근접하게 하며, 표유 자계를 능동적으로 수용한다. 이 경우에서, 0.2T 선(1501)은 0.15T 선(1502)과 마찬가지로 장치의 수십 밀리미터 범위 내에 있다. 0.1T 선은 장치의 100mm 등의 범위 내에 있다. 이 경우에서, 선(1504)은 자계 강도가 500G 미만으로 떨어지기 시작하는 컷오프 영역을 도시한다.

[0210] 도 25a 및 도 25b는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 발전기/모터로 사용하기 위한 터빈(1600)의 또 다른 가능한 배치를 도시하고 있다. 이 설계는 외부 구동 코일들의 직경이 충분히 클 때에 가능하다. 내부 상쇄 코일들은 주 외부 구동 솔레노이드 내에 수용될 수 있다. 이는 발전기/모터 조립체의 총 길이를 상당히 줄인다.

[0211] 터빈(1600)은 축(1602)과 일체로 형성된 하나의 회전자(1601)를 포함한다. 회전자는 한 쌍의 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂) 사이에 배치된다. 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂)는 동심으로 배열된 한 쌍의 초전도 코일로 구성된다. 알 수 있는 바와 같이, 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂) 내의 각 코일들 사이에 갭이 제공되는데, 이와 같은 갭의 도입은, 앞에서 주지한 바와 같이, 외부 액체 금속 브러시(1606₁)를 배치하기 위한 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂) 사이에 생성되는 널 자계 영역의 크기를 늘린다.

- [0212] 상채 코일(1604₁, 1604₂)이 관련된 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂)와 동심으로 배열된다. 도 25b에서 알 수 있는 바와 같이, 내부 상채 코일은 내부 브러시(1606_{2,1}, 1606_{2,2})가 전체 터빈 조립체의 내부 구멍(1605)에 근접하게 배치될 수 있게 한다. 이 결과에 따른 내부 축의 전류 수송 길이에 있어서의 감소는 기계의 총 중량을 줄인다. 도 25b는 터빈이 모터 또는 발전기 구성으로 되어 있을 때의 전류의 경로도 보이고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 전류는 외부 브러시(1606₁)로부터 회전자(1602)를 통해 축(1602)으로 흘러서 브러시(1606_{2,1}, 1606_{2,2}) 밖으로 흐른다.
- [0213] 도 26은 구동 코일 조립체(1603₁, 1603₂) 및 상채 코일(1604₁, 1604₂)에 의해 생성된 결과적인 자계를 보이는 도면이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이, 중심의 널 자계 영역(1607)은 구멍(1605)의 영역 내의 상채 코일들에 의해 제공된다. 널 자계 영역(1608)이 또한 구동 코일 조립체들 사이에 제공되고, 각 코일 조립체를 형성하는 내부 코일과 외부 코일 사이에 제공된 겹에 대해 중심을 잡고 있다.
- [0214] 도 27a 및 도 27b는 고속 모터/발전기로서 사용하기 위한 터빈의 또 다른 배치를 도시하고 있다. 이 배치에서는, 하나의 회전자(1701)가 자기 조립체(1703₁, 1703₂)들 사이에 위치될 수 있도록 축(1702)과 일체로 형성된다. 이 경우에서, 자기 조립체(1703₁, 1703₂)는 동심으로 배열된 다수의 초전도 코일(1704)들로 구성된다. 이 코일 배치는 외부 및 내부 작용 반경(working radius) 상에 있는 전류 입력 브러시 및 반경 방향에서 중앙 지점에 위치하는 중앙 집전 장치 브러시의 배치를 가능케 하는 3 개의 널 자계 영역을 생성시킴으로써 2 개의 동심 회전자 작용 길이(working length) 상에 2 개의 작용 장(working field) 영역을 생성한다.
- [0215] 도 27b는 이러한 설계를 위한 전류 경로를 보이고 있다. 자계의 방향이 중간 반경에서 바뀌므로, 모터로서 작동할 때에 정확한 회전 방향이 보장될 수 있도록 하기 위해서는 전류는 내부 브러시(1706_{1,1}, 1706_{1,2}) 및 외부 브러시(1706₂)로부터 공급되어야 하며 중간 방사상 브러시(1706_{3,1}, 1706_{3,2})에 의해 집전되어야 한다. 정확한 전류 생성이 보장될 수 있도록 하기 위해서는 장치가 발전기로 작동할 때에 유사한 연결 규칙이 사용되어야 한다.
- [0216] 도 28은 도 27a 및 도 27b의 터빈을 위한 자계 프로파일을 보이는 도면이다. 알 수 있는 바와 같이, 상기 코일의 구성은 중앙 구멍(1705) 내에, 그리고 코일 조립체(1703₁, 1703₂)의 원주부 근처에, 널 자계 영역을 생성한다. 또 다른 널 자계 영역이 자기 코일 조립체들 사이의 중간 지점에 생성된다. 주지해야 할 점은, 도시된 널 자계 영역들은 작고, 앞에서 논의된 것과 유사한 방식으로 외부 팬케이크 코일 내에 권선 겹을 도입함으로써 늘어날 수 있다는 것이다.
- [0217] 도 29는 증가된 전압 출력을 위한 2 개의 터빈의 상호 연결을 위한 한 가지 가능한 구성을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 제 1 터빈(1800)은 위에서 도 6a 및 도 6b와 관련하여 논의된 것과 유사한 구성으로 이루어진다. 알 수 있는 바와 같이, 제 1 터빈(1800)은 저속 발전기 스테이지(1801)와 고속 발전기 스테이지(1803) 사이에 위치된다. 위의 예들에서처럼, 주 구동 코일(1804₁, 1804₂)들은 액체 금속 전류 이송 조립체(1806)를 위치시키기 위한 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 서로 이격된다. 도시된 바와 같이, 주 구동 코일들은 초전도 재료로 이루어진 2 개의 동심 코일로 구성된다.
- [0218] 주 구동 코일들에 추가하여, 한 쌍의 내부 상채 코일(1807₁, 1807₂)이 제공된다. 내부 상채 코일(1807₁, 1807₂)은 상기 주 구동 코일(1804₁, 1804₂) 내에 동심으로 위치된다. 도시된 바와 같이, 내부 상채 코일(1807₁, 1807₂)은 저속 유지 장치 내에 하우징된 일련의 3 개의 동심 코일들로 구성된다. 최외부 및 최내부 코일들은 외부 구동 코일(1804₁, 1804₂)의 전류 방향과 반대인 전류 방향을 갖는다. 이들 상채 코일들 사이에 있는 코일들은 외부의 구동 코일들과 동일하게 양(positive)의 전류 방향을 갖는다. 이 경우에서의 내부의 상채 코일(1807₁, 1807₂)들은 고속 모터 스테이지(1802)에 구동 전류를 인가하기 위한 액체 금속 브러시의 배치를 위한 추가적인 널 자계 영역을 생성한다. 또한, 상기 상채 코일(1807₁, 1807₂)들은 전기 모터 스테이지(1802)를 위한 구동계도 제공한다.
- [0219] 저속 스테이지(1801)가 구동계 내에서 회전함으로써 고속 모터(1802)를 지나는 전류가 생성되고, 이 전류는 고속 회전자 스테이지(1803)를 직접 구동하는데 사용되는 토크를 생성한다. 고속 회전자 스테이지(1803)가 회전함으로써, 이 예에서는 제 2 터빈(1808) 안에 수용된 보조 모터(1809)와 발전기(1810) 스테이지들을 구동하는데

사용되는 전류가 생성된다.

- [0220] 도시된 바와 같이, 제 2 터빈은 한 쌍의 주 구동 코일(1811₁, 1811₂)과, 상기 주 구동 코일(1811₁, 1811₂)들에 대해 동심으로 배열된 한 쌍의 내부 상쇄 코일(1812₁, 1812₂)을 포함한다. 다시 또, 상기 상쇄 코일(1812₁, 1812₂)은 전기 모터 스테이지(1809)를 위한 주 구동계를 제공한다. 고속 발전기 스테이지(1803)로부터 나온 전류가 전류 경로(1814)로 나타낸 바와 같이 모터(1809)를 통과함에 따라 토크가 생성된다. 이 토크는 모터와 발전기 사이의 기계적 커플링을 거쳐서 고속 발전기(1810)로 바로 전달된다.
- [0221] 고속 발전기(1810)의 회전자가 구동 코일(1811₁, 1811₂)에 의해 생성된 자계 내에서 모터(1809)와 동조하여 회전함에 따라 전류가 생성된다. 전류 경로(1813)로 나타낸 결과적인 출력은 발전기 스테이지(1803)에서 생성된 것과 비교해서 더 높은 전압 및 더 낮은 전류이다.
- [0222] 도 30은 도 11 및 도 12와 관련하여 논의된 것과 유사한 구성으로 된 2 개의 터빈 배치를 위한 자계도이다. 더 구체적으로는, 상기 터빈 배치는 2 개의 저속 발전기 스테이지를 포함한다. 제 1 발전기 스테이지는 주 구동 코일(자계도의 우측에 배치된 코일 배치) 안에 배치되고, 제 2 저속 발전기가 보조 구동 코일(자계도의 좌측에 배치된 코일 배치) 안에 배치된다. 도 11 및 도 12에서처럼, 전류는 2 개의 저속 발전기를 따라서 경로(1901)를 거쳐서 지나간다. 그러나 구동 코일에 의해 생성된 2 개의 외부 널 자계 영역들 사이에 임의의 경로를 형성하는 회전자 또는 회전자들을 따라서 전류가 지나는 것도 가능하다. 이것의 예들을 전류 경로(1902) 또는 전류 경로(1903)로 나타내고 있다.
- [0223] 전류 경로(1902)를 활용하는 발전기로서 사용하기 위한 터빈의 한 배치 구성이 도 31에 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 장치는 도 6a 및 도 6b의 터빈의 구성과 유사한 구성으로 된 제 1 스테이지(2000)를 포함하며, 또한 저온 유지 장치(2005) 안에 하우징된 한 쌍의 주 구동 코일(2004₁, 2004₂) 사이에 위치한 고속 발전기 스테이지(2003)를 포함한다. 주 구동 코일(2004₁, 2004₂)은 액체 금속 전류 이송 조립체(2006)들을 위치시키기 위한 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 서로 이격되어 있다. 다시 또, 주 구동 코일들은 초전도 재료로 이루어진 2개의 동심 코일로 구성된다.
- [0224] 상기 주 구동 코일 외에, 한 쌍의 내부 상쇄 코일(2007₁, 2007₂)들도 제공된다. 상기 내부 상쇄 코일(2007₁, 2007₂)은 상기 주 구동 코일(2004₁, 2004₂) 내에 동심으로 위치된다. 도시된 바와 같이, 내부 상쇄 코일(2007₁, 2007₂)은 저온 유지 장치(2005) 안에 하우징된 일련의 3개의 동심 코일로 구성된다. 이들 상쇄 코일들은 고속 모터 스테이지(2002)의 전류 이송 브러시와 고속 발전기 스테이지(2003)의 내부 브러시를 위해 필요한 널 자계 영역을 생성한다.
- [0225] 저속 발전기는 보조 구동 코일(2011₁)들 사이의 갭을 통과하며 주 구동 코일(2004₁) 내의 갭을 통과하는 도전성 드럼(2001)에 의해 형성된다. 구동 코일들의 극성은 저속 발전기 스테이지를 따라 적절한 전류 방향이 보장될 수 있도록 배열된다.
- [0226] 도 32a 및 도 32b는 DC-DC 변환을 채용한 터빈을 도시한다. 이 경우에서, 터빈은 저전류 입력을 적용한 상태에서 저속, 고전류 모터로서 구동하도록 구성된다. 이 구조는 이 경우에서는 한 세트의 주 구동 코일(2101₁, 2101₂)들 사이에 위치한 3 개의 스테이지를 포함한다는 점에서 도 6a 및 도 6b의 구조와는 유사하지 않다. 위의 경우에서처럼, 주 코일들은 터빈의 관련된 스테이지들 사이에서의 전류 이송을 위해 브러시(2106)를 위치시키기 위한 널 자계 영역을 생성한다.
- [0227] 도시된 바와 같이, 터빈은 한 세트의 상쇄 코일(2105₁, 2105₂)들 사이에 위치한 중간 고속 발전기 스테이지(2103)에 기계적으로 결합된 고속 모터 스테이지(2102)를 포함한다. 위의 경우에서처럼, 상쇄 코일들을 관련 스테이지들 사이에서의 전류 이송을 위해 브러시(2106)를 위치시키기 위한 널 자계를 생성한다. 또한, 상기 상쇄 코일들은 고속 발전기 스테이지(2103)를 위한 주 구동계를 제공한다. 고속 발전기(2103)에서 생성된 전류는 저속 모터 스테이지(2104)로 나아간다.
- [0228] 고속 발전기에 의해 생성된 출력은 고전류 저전압이다. 이 고전류 저전압은 모터에 동력을 부여하는데 사용되고, 그 결과 저속 및 높은 토크 출력이 유발된다. 도 32b는 터빈 내의 고전류 회로 및 저전류 회로를 도시한다. 알 수 있는 바와 같이, 저전류는 전류 경로(2107)로 나타낸 바와 같이 고속 모터를 통과한다. 모터

(2102)에 의해 생성된 토크는 발전기(2103)가 고전류 출력을 생성하게 하고, 이 고전류 출력은 전류 경로(2108)로 나타난 바와 같이 저속 모터(2104)로 나아간다.

[0229] 알 수 있는 바와 같이, 2 스테이지 DC-DC 변환 배치를 사용함으로써 터빈이 단극 기어박스로 기능을 할 수 있게, 즉 전자기 장치 및 전류 경로를 사용하여 입력 축과 출력 축 사이에 속도 차이를 발생시키는 기능을 할 수 있게 된다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면, 기어 비(단극 기어박스를 위한 기어 비) 또는 전압 비(전자기 DC-DC 변환기를 위한 전압 비)는 초전도 코일 내의 전류 밀도를 변화시키고 그에 따라 회전자에 작용하는 자계의 강도를 변화시킴으로써 달라질 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0230] 변환기 장치와 관련한 위에서의 논의는 주로 직접 DC-DC 변환에 초점이 맞춰졌지만, 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면, 변환기는 DC 입력을 AC 출력으로 변환하고 그 반대로도 변환하는데 사용될 수 있다는 것도 물론 알 수 있다. 예를 들어, 변환기의 발전기 스테이지는 AC 모터에 의해 구동되거나, 변환기의 출력은 AC 모터/발전기를 구동하는데 사용될 수 있다.

[0231] 도 33a는 발전용 터빈(2200)의 또 다른 가능한 배치 구성을 도시하고 있다. 이 경우에서의 구성은 위에서 도 11과 관련하여 논의된 것과 유사하다. 터빈은 도전성 축(2202)을 개재하여 연결된 제 1 발전기 스테이지(2201₁)와 제 2 발전기 스테이지(2201₂)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 제 1 발전기 스테이지(2201₁)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2204₁, 2204₂)들 사이에 위치된 회전자(2203)를 포함한다. 이와 유사하게, 제 2 발전기 스테이지(2201₂)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2206₁, 2206₂)들 사이에 배치된 회전자(2205)를 포함한다. 초전도 요소(2204₁, 2204₂, 2206₁, 2206₂)들 각각은 동심으로 배열된 한 쌍의 초전도 코일을 포함한다. 위에서 논의된 바와 같이, 한 쌍의 초전도 요소들 간의 이격 및 상기 코일들의 배치는 액체 금속 브러시(2207)의 배치를 위하여 초전도 요소들 사이에 널 자계 영역이 형성될 수 있게 할 뿐만 아니라 적절한 구동계를 제공한다.

[0232] 도 33b는 터빈(2200)을 가로지르는 전류 흐름을 도시하고 있다. 알 수 있는 바와 같이, 전류 흐름은 제 1 회전자(2203)의 외부 반경으로부터 내부 반경으로 진행해서 축(2202)을 가로질러서 회전자(2205)를 통과한다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자가 알 수 있는 바와 같이, 초전도 요소(2204₁, 2204₂)들은 주 구동 코일(2206₁, 2206₂)의 자기 극성과 반대되는 자기 극성으로 배열된다. 반대되는 장 극성은 제 1 및 제 2 회전자들에 일정한 방향의 회전을 보장한다.

[0233] 도 34a는 도 33a 및 도 33b의 터빈 배치를 위한 자계도이다. 이 경우에서 알 수 있는 바와 같이, 각각의 코일 배치(2204₁, 2204₂ 및 2206₁, 2206₂)는 작용 장 영역을 생성하는데, 이 작용 장 안에는 회전자들이 현수된다. 또한, 각 코일 배치는 널 자계 영역(2208)을 생성한다. 이들 널 자계 영역들이 위치하는 것을 보다 상세하게 보이는 도면이 도 34b에 도시되어 있는데, 알 수 있는 바와 같이, 널 자계 영역(2208)이 한 쌍의 초전도 요소들 사이의 갭 안에 형성되고, 초전도 요소들의 동심의 코일 배치들 사이에 제공된 이격부에 대해서 중심을 잡고 있다.

[0234] 도 35a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 터빈(2300)의 또 다른 가능한 배치를 도시하고 있다. 이 경우에서의 구성은 위에서 도 33a 및 도 33b와 관련하여 논의된 것과 유사하다. 터빈은 도전성 축(2302)을 개재하여 연결된 제 1 발전기 스테이지(2301₁)와 제 2 발전기 스테이지(2301₂)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 제 1 발전기 스테이지(2301₁)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2304₁, 2304₂)들 사이에 위치된 회전자(2303)를 포함한다. 이와 유사하게, 제 2 발전기 스테이지(2301₂)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2306₁, 2306₂)들 사이에 배치된 회전자(2305)를 포함한다.

[0235] 도 35b에 터빈(2300)을 통과하는 전류 흐름이 도시되어 있다. 알 수 있는 바와 같이, 전류 흐름은 제 1 회전자(2303)의 외부 반경으로부터 내부 반경으로 진행해서 축(2302)을 가로질러서 회전자(2305)를 통과한다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자가 알 수 있는 바와 같이, 초전도 요소(2304₁, 2304₂)들은 주 구동 코일(2306₁, 2306₂)의 자기 극성과 반대되는 자기 극성으로 배열된다. 반대되는 장 극성은 제 1 및 제 2 회전자들에 일정한 방향의 회전을 보장한다.

[0236] 도 33a 및 도 33b의 터빈의 구성에 대한 도 35a 및 도 35b의 터빈의 구성의 차이점은 축(2302)의 길이가 상당히 짧다는 것이다. 결국, 구동 코일 쌍(2304₁, 2304₂ 및 2306₁, 2306₂)은, 널 자계 상의 사용 가능한 영역을 보존

하기 위해 구동 코일의 기하 형상에 몇 가지 수정을 가한 상태에서는, 서로 축방향으로 더 근접하게 위치될 수 있다. 상기 수정은 최내부의 대향하는 쌍의 구동 코일 상의 초전도 와이어의 추가 권선 및 최외부 주 코일의 직경에 있어서의 작은 감소를 포함한다. 아래의 예에서, 최외부 주 구동 코일의 내경은 최내부 구동 코일의 직경의 98.5%이다.

[0237] 축방향 갭의 이러한 감소로 척력이 상당히 증가한다는 점은 주지해야 한다. 이 거리가 2.5배 감소하면 척력이 10배의 계수만큼 증가하는 결과가 야기된다. 이것을 염두에 두면, 이 기술은 장치의 축방향 길이에 프리미엄이 붙는 경우에만 사용되는 경향이 있다.

[0238] 도 36a는 도 35a 및 도 35b의 터빈 배치를 위한 자계도이다. 이 경우에서 알 수 있는 바와 같이, 각각의 코일 배치(2304₁, 2304₂ 및 2306₁, 2306₂)는 작용 장 영역을 생성하는데, 이 작용 장 안에는 회전자들이 현수된다. 또한, 각 코일 배치는 구동 코일 쌍들 사이에 널 자계 영역(2308)을 생성한다. 이들 널 자계 영역들이 위치하는 것을 보다 상세하게 보이는 도면이 도 37b에 도시되어 있는데, 알 수 있는 바와 같이, 널 자계 영역(2308)이 한 쌍의 초전도 요소들 사이의 갭 안에 형성되고, 초전도 요소들의 동심의 코일 배치들 사이에 제공된 이격부에 대해서 중심을 잡고 있다.

[0239] 도 37a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 터빈(2400)의 또 다른 가능한 배치를 도시하고 있다. 이 경우에서의 구성은 위에서 도 33a 및 도 33b와 관련하여 논의된 것과 유사하다. 터빈은 도전성 축(2402)을 개재하여 연결된 제 1 발전기 스테이지(2401₁)와 제 2 발전기 스테이지(2401₂)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 제 1 발전기 스테이지(2401₁)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2404₁, 2404₂)들 사이에 위치한 회전자(2403)를 포함한다. 이와 유사하게, 제 2 발전기 스테이지(2401₂)는 구동 자계를 제공하기 위한 한 쌍의 초전도 요소(2406₁, 2406₂)들 사이에 배치된 회전자(2305)를 포함한다.

[0240] 제 2 발전기 스테이지(2401₂)는, 이 제 2 발전기 스테이지(2401₂)의 회전자(2405)에 인접하게 한 쌍의 초전도 요소(2406₁, 2406₂)들 사이에 장착된 고속 발전기 스테이지(2409)에 기계적으로 결합된 고속 모터 스테이지(2408)에, 액체 금속 브러시(2407)를 개재하여 전기적으로 결합된다.

[0241] 도 37b에 터빈(2400)을 통과하는 전류 흐름이 도시되어 있다. 이 경우에는 2 개의 전류 회로, 즉 저전류 회로(2411)와 고전류 회로(2410)가 있다. 알 수 있는 바와 같이, 고전류 회로(2410)는 제 1 회전자(2403)의 외부 반경으로부터 내부 반경으로 진행해서 축(2402)을 가로질러서 회전자(2405)를 통과하여 브러시(2407₂)로 진행한다. 그 다음 브러시(2407₂)는 고속 모터(2408)의 입력 브러시(2416₂)에 결합된다. 그러면 전류는 모터(2408)를 가로질러 지나고, 상기 입력 브러시(2416₂) 밖으로 지나서, 브러시(2407₁)를 경유하여 회전자(2403)로 되돌아가서 일련의 회로를 완성한다. 전류가 모터(2408)를 통과함에 따라 토크가 생성되고, 이 토크는 고속 발전기(2409)로 전달된다. 발전기(2409)가 상기 장 내에서 회전함으로써 브러시(2417₁, 2417₂)를 거쳐 빠져나가는 전류(2411)가 생성된다.

[0242] 알 수 있는 바와 같이, 도 37a 및 도 37b의 터빈(2400)은 또한 초전도 요소(2406₁, 2406₂)와 동심으로 배열된 상채 코일(2412)도 포함한다. 앞에서 논의된 구성과 달리, 내부 상채 코일의 폭은 액체 금속 브러시 조립체의 양호한 배치에 보다 더 적합한 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 증가되었다. 상기 폭을 증가시키는 것 외에도, 내부 상채 코일은 축방향으로 편위시키고 권선 수를 약간 증가시켰고 그에 따라 외경이 그의 공통 상채 코일과 비교하여 더 크다. 내부 상채 코일 둘 다는 회전자 조립체의 축방향 외측에 위치된다.

[0243] 도 38a는 도 37a 및 도 37b의 터빈의 코일 배치에 의해 생성된 널 자계 영역의 위치를 도시하는 자계도로서, 도 38b 및 도 38c에 상세하게 도시되어 있다. 도 38b는 특히 각 쌍의 초전도 요소(2404₁, 2404₂ 및 2406₁, 2406₂)들 사이에 생성되는 널 자계 영역(2413)을 도시한다. 위의 예들에서처럼, 널 자계 영역이 한 쌍의 초전도 요소들 사이의 갭 안에 생성되고, 초전도 요소들의 동심의 코일 배치들 사이에 제공된 이격부에 대해서 중심을 잡고 있다. 도 38c는 상채 코일(2412)에 의해 생성된 널 자계 영역을 도시한다. 알 수 있는 바와 같이, 널 자계 영역(2414)이 외부 상채 코일들 사이에 형성된다. 또한, 널 자계(2415)가 한 세트의 외부 상채 코일들 사이에 제공된 이격부 내에 생성된다.

[0244] 본 발명에 따른 터빈(2500)의 또 다른 가능한 구성이 도 39a에 도시되어 있다. 이 설계에서, 내부 널 자계를 생성하는데에 사용된 상채 코일 조립체(2512)는 구동 코일 조립체(2501) 외측으로 위치 이동되었다. 위의 예들

에서처럼, 주 구동 코일 조립체(2501)는 한 쌍의 초전도 요소(2501₁, 2501₂)를 포함하고, 이 초전도 요소 각각은 한 쌍의 동심으로 배열된 초전도 코일을 포함한다. 상기 초전도 요소(2502₁, 2502₂)들 사이에는 서로 전기적 및 기계적으로 격리된 저속 모터 스테이지(2502)와 고속 모터 스테이지(2503)가 배치된다.

[0245] 위에서 언급한 바와 같이, 이 예에서 상채 코일들은 주 구동 코일 조립체(2501) 외측에 위치된다. 이 예에서 알 수 있는 바와 같이, 상채 코일(2512)들은 주 구동 코일 조립체(2501)와 동축으로 배열된다. 상채 코일 조립체(2512)는 이 경우에는 실질적으로 동심으로 배열된 3 세트의 코일을 포함한다. 최내부 코일 세트(2512₁)는 상기 코일 조립체(2512)의 중앙 코일(2512₂)과 동심을 이루며 병렬로 배열된 한 쌍의 코일을 포함한다. 최외부 코일 세트(2512₃)는 상기 최내부 및 중앙 코일들과 겹쳐지는 동심 배치로 위치된다. 고속 발전기(2504)는 이 발전기의 일부가 최외부 상채 코일(2512₃)과 중앙 코일(2512₂) 사이에 배치되고 또한 일부가 최내부 코일 세트(2512₁)와 중앙 코일(2512₂) 사이에 배치될 수 있도록 배열된다. 이렇게 해서 고속 발전기(2504)는 실질적으로 C형이 되고, 이와 아울러 발전기의 일 부분은 초전도 요소(2501₁)의 구멍 안으로 연장된다. 발전기(2504)는 고속 모터 스테이지(2503)에 기계적으로 결합되지만 전기적으로는 절연된다.

[0246] 도 39b는 도 39a의 터빈을 통과하는 전류 흐름을 도시하고 있다. 이 경우에 있어서도 고전류 회로(2510)와 저전류 회로(2511)가 있다. 전류가 고속 모터 스테이지(2503)를 가로질러 저전류 회로(2511)로 인가됨에 따라, 토크가 생성되고, 이어서 이 토크는 저속 모터 스테이지(2502)용 구동 전류(2510)를 조달하는 발전기(2504)로 바로 전달된다. 전류가 저속 모터를 통과함에 따라, 토크가 생성된다. 이 경우에서 알 수 있는 바와 같이, 상기 배치는 전자 기기를 정류하지 않고도 고속 회전 에너지를 저속 회전 에너지로 변환할 수 있다.

[0247] 도 40, 도 40a, 도 40b는 도 39a 및 도 39b의 터빈의 코일 배치의 자계도이다. 다시 또, 도 40a에 도시된 바와 같이, 널 자계 영역(2513)이 한 쌍의 초전도 요소들 사이의 갭 안에 생성되고, 초전도 요소들의 동심의 코일 배치들 사이에 제공된 이격부에 대해서 중심을 잡고 있다. 도 40b에 도시된 경우에서의 상채 코일 배치는 2 세트의 널 자계 영역(2514, 2515)을 생성하고, 한 널 자계 영역(2514)은 최외부 코일과 중앙 코일 사이에 생성되고 다른 널 자계 영역(2515)은 최내부 코일 내에 생성된다. 2개의 최내부 솔레노이드는 이들의 권선수 관점에서는 동일하지 않다. 외부 구동 코일 내의 축방향 갭에 가장 근접한 최내부 솔레노이드는 상채해야 할 보다 높은 자계 강도를 보상할 수 있도록 더 많은 권선수를 갖는다.

[0248] 도 41a는 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈(2600)의 또 다른 가능한 배치를 도시한다. 이 구성은 도 6a에 예시된 것과 유사하지만, 저속 부분과 고속 부분 사이를 이격시킨 상태에서 직렬로 결합된 적층형 저속 회전자 조립체를 구비한다.

[0249] 도시된 바와 같이, 이 경우에서의 터빈(2600)은 적층형 저속 발전기 스테이지(2606) 둘레에 주 자계를 생성하기 위한 한 쌍의 초전도 구동 코일(2604₁, 2604₂)과, 고속 발전기 회전자(2607) 및 고속 모터(2608) 둘레에 주 자계를 생성하기 위한 제 2 쌍의 초전도 구동 코일(2605₁, 2605₂)을 포함한다. 저속 회전자는 각각이 디스크 부분과 축 부분을 구비하는 일련의 3 개의 회전자 부분(2606)이다.

[0250] 상채 코일들은 상기 한 쌍의 초전도 구동 코일 각각과 동축으로 제공된다. 초전도 구동 코일(2604₁, 2604₂)에 대해 제공되는 상채 코일(2612)들은 도 4a와 관련하여 도시되고 설명된 것과 유사한 위치에 제공된다. 초전도 구동 코일(2605₁, 2605₂)에 대해 제공되는 상채 코일(2613)들은 도 37a의 보조 발전기 스테이지(2401₂)에 예시된 실시예와 관련하여 도시되고 설명된 것과 유사한 위치에 제공된다.

[0251] 도 41b는 도 41a의 터빈을 통과하는 전류 흐름을 도시하고 있다. 이 경우에 있어서도 고전류 회로(2610)와 저전류 회로(2611)가 있다. 전류가 저속 발전기 스테이지의 각 적층형 회전자들을 통해 흐르고 고속 모터 스테이지(2608)를 가로질러 흐름에 따라 토크가 생성되고, 이어서 이 토크는 저전류(2611) 발전기 출력을 발생시키는 발전기(2607)로 바로 전달된다.

[0252] 도 42a 내지 도 51은 본 발명의 다수의 기본적인 구성들을 도시하고 있다. 이들 기본적 구성들 각각은 요구되는 결과를 달성하기 위하여 결합된 하나 이상의 유닛 공정들을 갖는 하나의 유닛 공정으로 생각할 수 있다. 중요하게 지시할 점은 본 발명의 여러 변경들은 도 46a 내지 도 51에 도시된 기본적인 2 스테이지 유닛 공정 상에서의 확장으로서 만들어질 수 있다는 것이다. 이들 도면 모두는 구성요소들의 분해도이다. 또한, 전류 경로 도해도들은 구성요소들을 단면으로 보이고 있다.

- [0253] 또한, "저", "고"와 같은 서술자들이 제시된 예들에 적용될 수 있지만, 이들은 어떤 방식으로든 가능한 실시예들을 제한하는 것으로 이해해서는 안 된다. 이들은 단지 전압, 전류 및/또는 속도 값의 "단계적 상승" 또는 "단계적 강하"를 제공하기 위한 능력을 예시하기 위한 목적으로 제공되는 것이다.
- [0254] 전류 흐름 방향 및 토크 값 화살표는 단지 나타내기 위한 목적으로만 도시된다. 격리된 부분들의 동방향 회전 또는 역방향 회전을 할 수 있게 하는 다른 전기적 기계적 연결도 행해질 수 있는데, 어떠한 그런 것들은 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게는 쉽게 명백하다.
- [0255] 다음의 기본 구성들은 명백히 분명하게 되었고, 그 각각은 본 발명의 대안적 실시 양태를 형성한다.
- [0256] **3 스테이지 구성:**
- [0257] 저속 기계 입력 대 고전압 전기 DC 출력(Low Speed Mechanical Input to High Voltage Electrical DC Output)이 도 42a 및 42b에 도시되어 있다. 이 구성은 2 쌍의 고정 초전도 코일(4200), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 이 구성은 도 42a에 명시된 바와 같이 저속 부분과 고속 부분으로 분리된다.
- [0258] 저속 부분은 저속 기계적 입력 축(4202)에 부착된 저속 발전기 회전자(4201)를 포함한다. 저속 발전기 회전자(4201)를 위해 액체 금속 브러시(4203)들이 제공된다.
- [0259] 고속 부분은 부착된 액체 금속 브러시(4205)들을 구비한 고속 발전기 회전자(4204)를 포함한다. 고속 모터 회전자(4206)는 고속 발전기 회전자(4204)도 장착하고 있는 고속 조립체 축(4207)에 장착된다. 다시 또, 고속 모터 회전자(4206)에는 전류 이송을 위한 액체 금속 브러시(4208)들이 구비된다. 고속 모터 회전자(4206)와 고속 발전기 회전자(4204)는 기계적으로 연결되지만 전기 절연 칼라(4209)를 제공함으로써 전기적으로 절연된다.
- [0260] 이 구성에서의 전류 경로는 도 42a 및 도 42b에 도시되어 있고, 고전압 저전류 출력을 포함한다. 또한 저전압 고전류 경로가 저속 발전기 회전자(4201) 상의 액체 금속 브러시(4203)와 고속 모터 회전자(4206) 상의 액체 금속 브러시(4208) 사이에 도시되어 있다.
- [0261] 이 구성의 작동은 도 6a 및 도 6b와 관련하여 설명한 바와 같지만, 이 구성의 작동은 기본적으로는 저속 토크 입력에서 고전압 저전류 DC 전기 출력으로의 변환을 지향한다.
- [0262] 고전압 DC 입력 대 저속 기계적 출력(High Voltage DC Input to Low Speed Mechanical Output)이 도 43a 및 43b에 도시되어 있다. 이 구성도 2 쌍의 고정 초전도 코일(4300), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 이 구성은 도 43a에 명시된 바와 같이 저속 부분과 고속 부분으로 분리된다.
- [0263] 그러나 이 구성은 기본적으로는 도 42a 및 도 42b에 예시된 구성과는 반대되는 구성이다. 이 구성에 있어서, 고속 부분은 부착된 액체 금속 브러시(4305)가 구비된 고속 발전기 회전자(4304)를 포함한다. 고속 모터 회전자(4306)는 고속 발전기 회전자(4304)도 장착하고 있는 고속 조립체 축(4307)에 장착된다. 다시 또, 고속 모터 회전자(4306)에는 전류 이송을 위한 액체 금속 브러시(4308)들이 구비된다. 고속 모터 회전자(4306)와 고속 발전기 회전자(4304)는 기계적으로 연결되지만 전기 절연 칼라(4309)를 제공함으로써 전기적으로 절연된다.
- [0264] 저속 부분은 저속 기계적 출력 축(4302)에 부착된 저속 모터 회전자(4301)를 포함한다. 저속 모터 회전자(4301)를 위해 액체 금속 브러시(4303)들이 제공된다.
- [0265] 이 구성에서의 전류 경로는 도 43a 및 도 43b에 도시되어 있고, 고전압 저전류 입력을 포함한다. 또한 저전압 고전류 경로가 저속 모터 회전자(4301) 상의 액체 금속 브러시(4303)와 고속 발전기 회전자(4304) 상의 액체 금속 브러시(4305) 사이에 도시되어 있다.
- [0266] 위에서 언급한 바와 같이, 이 구성은 기본적으로 도 42a 및 도 42b에 예시된 구성과는 반대이고, 고전압 저전류 DC 전기 입력에서 저속 고토크 기계적 출력으로의 변환을 지향한다.
- [0267] 저속 기계 입력 대 AC 발전기(Low Speed Mechanical Input to an AC Generator)가 도 44a 및 44b에 도시되어 있다. 앞의 두 구성에 있어서처럼, 이 구성도 2 쌍의 고정 초전도 코일(4400), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 이 구성은 도 44a에 명시된 바와 같이 저속 부분과 고속 부분으로 분리된다.
- [0268] 저속 부분은 저속 기계적 입력 축(4402)에 부착된 저속 발전기 회전자(4401)를 포함한다. 저속 발전기 회전자

(4401)를 위해 액체 금속 브러시(4403)들이 제공된다.

[0269] 고속 부분은 고속 조립체 축(4407)에 장착된 고속 모터 회전자(4406)를 포함하고, 상기 고속 모터 회전자(4406)에는 전류 이송을 위한 액체 금속 브러시(4408)들이 구비된다. 이렇게 해서 고속 조립체 축은 AC 전기 출력을 생산하기 위한 출력을 고속 발전기(4409)로 바로 공급한다.

[0270] 전류 경로가 도 44b에 도시되어 있다. 이 구성에서는, 저전압 고전류 경로가 저속 발전기 회전자(4401) 상의 액체 금속 브러시(4403)와 고속 모터 회전자(4406) 상의 액체 금속 브러시(4408) 사이에 제공된다.

[0271] AC 모터 대 저속 기계적 출력(AC Motor to Low Speed Mechanical Output)이 도 45a 및 45b에 도시되어 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 이 구성은 기본적으로는 도 44a 및 도 44b에 예시된 구성과는 반대되는 구성이다.

[0272] 이 구성도 2 쌍의 고정 초전도 코일(4500), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 이 구성은 도 45a에 명시된 바와 같이 저속 부분과 고속 부분으로 분리된다.

[0273] 저속 부분은 저속 기계적 출력 축(4502)에 부착된 저속 모터 회전자(4501)를 포함한다. 저속 모터 회전자(4501)를 위해 액체 금속 브러시(4503)들이 제공된다.

[0274] 고속 부분은 고속 조립체 축(4507)에 장착된 고속 발전기 회전자(4506)를 포함하고, 상기 고속 발전기 회전자(4506)에는 전류 이송을 위한 액체 금속 브러시(4508)들이 구비된다. 고속 조립체 축(4507)은 AC 전기 입력에서 저속 고폭출력으로 변환하기 위한 고속 AC 발전기(4509)의 직접적인 입력에 의해 구동된다.

[0275] 전류 경로가 도 45b에 도시되어 있다. 이 구성에서는, 저전압 고전류 경로가 저속 모터 회전자(4501) 상의 액체 금속 브러시(4503)와 고속 발전기 회전자(4506) 상의 액체 금속 브러시(4508) 사이에 제공된다.

[0276] **2 스테이지 구성:**

[0277] 저속 기계적 입력에서 고속 기계적 출력으로의 변환을 위한 단극 전자기 기어박스(Homopolar Electromagnetic Gearbox)가 도 46a 및 46b에 도시되어 있다. 이 구성도 2 쌍의 고정 초전도 코일(4600), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 이 구성은 도 46a에 명시된 바와 같이 저속 부분과 고속 부분으로 분리된다.

[0278] 저속 기계적 입력 축(4601)은 액체 금속 브러시(4603)가 상기 고정 초전도 코일(4600)들 사이에 위치되도록 해서 저속 발전기 회전자(4602)를 장착하고 있다. 고속 모터 회전자(4604)가 고속 기계적 출력 축(4605)에 장착된다. 고속 모터 회전자(4604)에는 액체 금속 브러시(4606)가 구비되고, 이에 의해 상기 고속 모터 회전자(4604) 상의 액체 금속 브러시(4606)들과 상기 저속 발전기 회전자(4602) 상의 액체 금속 브러시(4603) 간에 저전압 고전류 경로가 만들어진다. 이 전류 경로는 도 46b에 더욱 구체적으로 도시되어 있다.

[0279] 저전압 DC 전기 입력에서 고전압 DC 전기 출력으로의 변환을 위한 전자기 전력 변환기(Electromagnetic Power Converter)가 도 48에 도시되어 있다. 이 구성은 2 쌍의 고정 초전도 코일(4800), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 소직경 모터 회전자(4801)가, 대직경 발전기 회전자(4803)를 장착하고 있으며 이들 두 회전자에 공통인 축(4802)에 장착된다. 상기 소직경 모터(4801)와 대직경 발전기(4803)는 절연 칼라(4804)를 제공하는 것을 통해 전기적으로 절연된다. 상기 절연 칼라는 또한 그 일부가 대직경 발전기(4803)의 장착 칼라 내에서 축(4802)을 따라서 연장된다. 따라서, 소직경 모터(4801)와 대직경 발전기(4803)는 축에 기계적으로 연결되지만, 축으로부터 그리고 서로가 전기적으로 절연된다.

[0280] 도 48에 2개의 전류 경로, 즉 소직경 모터(4801)의 액체 금속 브러시를 통과하는 저전압 고전류 입력 경로와, 대직경 발전기(4803)에 부착된 액체 금속 브러시를 통과하는 고전압 저전류 출력 경로가 도시되어 있다.

[0281] 고전압 DC 전기 입력에서 저전압 DC 전기 출력으로의 변환을 위한 전자기 전력 변환기(Electromagnetic Power Converter)가 도 49에 도시되어 있다. 이 구성은 기본적으로 2 쌍의 고정 초전도 코일(4900), 제 1 쌍의 외부 환형 코일, 및 상기 외부 환형 코일 내에 안쪽으로 동심되게 이격된 제 2 쌍의 내부 환형 코일을 포함한다. 소직경 발전기 회전자(4901)가, 대직경 모터 회전자(4903)를 장착하고 있으며 이들 두 회전자에 공통인 축(4902)에 장착된다. 상기 소직경 발전기 회전자(4901)와 대직경 모터(4903)는 절연 칼라(4904)를 제공하는 것을 통해 전기적으로 절연된다. 상기 절연 칼라는 또한 그 일부가 대직경 모터(4903)의 장착 칼라 내에서 축(4902)을 따라서 연장된다. 따라서, 소직경 발전기(4901)와 대직경 모터(4903)는 축에 기계적으로 연결되지만, 축으로부터

그리고 서로가 전기적으로 절연된다.

- [0282] 도 49에 2개의 전류 경로, 즉 대직경 모터(4903)의 액체 금속 브러시를 통과하는 저전압 고전류 입력 경로와, 소직경 발전기(4901)에 부착된 액체 금속 브러시를 통과하는 고전압 저전류 출력 경로가 도시되어 있다.
- [0283] AC 전기 입력에서 DC 전기 출력으로의 변환을 위한 전자기 전력 변환기(Electromagnetic Power Converter)가 도 50에 도시되어 있다. 이 구성은 도 23a에 도시된 터빈(1400)을 이용하는 것으로(제 3 표유 자계 상쇄 코일은 제외), 상기 터빈(1400)의 축에 연결된 AC 발전기(5000)를 사용함으로써 DC 전기 입력을 AC 전기 출력으로 변환하기 위한 것이다.
- [0284] AC 전기 입력에서 DC 전기 출력으로의 변환을 위한 전자기 전력 변환기(Electromagnetic Power Converter)가 도 51에 도시되어 있다. 이 구성도 또한 도 23a에 도시된 터빈(1400)을 이용하는 것으로, 상기 터빈(1400)의 축에 연결된 AC 모터(5100)를 통해 제공된 AC 전기 입력을 변환하기 위한 것이다.
- [0285] 도 52는 본 발명에 사용하는 용도를 찾아 낼 수 있는 특별히 바람직한 액체 금속 브러시 밀봉 장치(sealing arrangement)를 예시하는 도면이다. 액체 금속 브러시 전류 전달 시스템용으로 사용될 수 있는 많은 액체 금속들은 불활성 기체 또는 무습기와 같은 조절된 환경이 필요하다. 액체 금속 브러시용으로 사용되는 재료는 산소 및/또는 습기에 노출될 때에는 대부분의 경우는 성능 저하를 겪거나 화학 반응을 한다.
- [0286] 한 가지 가능한 밀봉 장치가 도 52에 도시되어 있는데, 여기서는 터빈/발전기(5200) 전체가 액체 금속 브러시(5210)의 작동을 위한 최적 환경을 담고 있는 적합하게 밀봉된 격납 용기(5201) 내에 밀봉된다. 터빈/발전기(5200)의 출력 토크를 밀봉된 격납 용기(5201)의 외측에 출력 축(5203)을 구비한 격납 용기(5201)의 벽을 통해 전달하는데 자기 커플링(5202)이 사용된다. 자기 커플링(5202)의 영역에 있는 벽은 와전류의 형성을 배제할 수 있도록 하기 위해서는 비도전성 재료라야 한다. 이 레이아웃의 중요한 이점은 시간이 지남에 따라 누출되기 쉬워지고 혹은 열화되기 쉬워지는 회전 축의 밀봉 필요성을 없앤다.
- [0287] 적절한 냉각 시스템이 상기 격납 용기(5201)에 짜 맞춰질 수 있고, 강제 냉각 팬, 재순환 유체 냉각 시스템, 또는 터빈/발전기(5200)를 적정 온도로 유지하기 위한 그 밖의 기술을 포함할 수 있다.
- [0288] 격납 용기(5201)는 조립체 전체를 액체 금속 재료의 열화 또는 반응을 방지하기 위한 양의 압력으로 가압된 불활성 기체 분위기 내에 밀봉시킬 수 있게 한다. 불활성 기체는 N_2 (질소), 아르곤, 또는 임의의 다른 적절한 불활성 기체일 수 있다. 밀봉된 격실 안으로 유일하게 침입하는 것은 고정 전류 도선들과 액체 또는 기체 재순환 냉각 시스템을 위한 임의의 유틸리티 연결부들이다. 이 침입물들은 통상적으로 출력 축을 밀봉하는데 사용되는 회전 시일이라기보다는 고정만을 필요로 하는 것이다.
- [0289] 또한, 이 실시예의 회전자는 터빈/발전기(5200)의 손실 및 유지 요건을 추가로 감소시킬 수 있는 자기 베어링에 의해 지지된다.
- [0290] 도 53에는 본 발명의 발전기(5300)의 한 가지 가능한 실시예의 개략도가 도시되어 있다. 발전기(5300)의 전력 변환 기능을 사용함으로써 풍력으로 구동되는 회전자(5301)로부터 나오는 입력이 DC 전기 출력으로 변환된다. 이 DC 전기 출력은 이어서 DC/AC 변환기(5303)를 통과한 후에 전력 부하, 즉 도면에 다수의 가정집(5302)으로 공급된다. 대안적으로 또는 전력 부하로의 전력 공급과 조합되어, 발전기(5300)로부터 나온 DC 전기 출력의 일부 또는 모두를 물에서 수소 기체를 전기 분해로 형성하는 것과 같은 공정에 사용될 수 있다. 개략적으로 유닛(5304)으로 예시한 이 공정은 최적의 성능을 위해 고전류 및 저전압을 필요로 하는 에너지 집약적 공정이다. 생성된 수소는 수소 저장 탱크(5305)에 저장될 수 있다. 수소는 일단 생성되면 저장 탱크(5305)에 저장되고, 그리고서 풍력으로 구동되는 회전자(5301)가 전력 부하(5302)로 공급하고자 하는 전기 전력을 전혀 발생시키지 못하거나 충분히 발생시키지 못하는 상태인 낮은 풍량 상태와 같은 경우에서 필요로 할 때에 방출될 수 있다.
- [0291] 도 54 및 도 55는 도 39a 및 도 39b에 예시된 상쇄 코일이 개작되어 있는, 앞에서 제시한 다단 변형예에 대한 변형예를 예시하고 있다. 이 실시예는 중심 축(5401) 및 양 단부에 위치한 한 쌍의 회전자(5402₁, 5402₂)가 구비된 저속 모터 스테이지(5400)를 포함한다. 한 회전자(5402₁)는 양의 전류(5404₁) 갖는 한 쌍의 외부 구동 초전도 코일 사이의 갭(5403₁) 내에 배치되고, 다른 회전자(5402₂)는 음의 전류(5404₂) 갖는 한 쌍의 외부 구동 초전도 코일 사이의 갭(5403₂) 내에 배치되고, 이로써 각 회전자의 외부 브러시(5406₁, 5406₂)들이 상기 갭(5403₁, 5403₂) 내에 생성된 널 자계 영역 내에 위치될 수 있게 된다.

- [0292] 고속 모터 스테이지(5407)가 회전자(5402₁)에 인접하게 제공된다. 고속 중간 발전기 스테이지(5408)가 고속 모터 스테이지(5407)에 인접하게 제공되어, 상기 고속 모터 스테이지와 기계적으로 연결되지만 전기적으로는 그와 절연된다.
- [0293] 도 54 및 도 55에 예시된 변형예에서는, 도 37a 및 도 37b에 예시된 실시예에 제공된 저속 회전자 중간 축 둘레에 있는 한 세트의 최내부 상쇄 코일은 제거되었다. 내부 상쇄 코일은 요구되는 널 자계 영역을 생성시킬 수 있게 변경되었다. 예시된 바와 같이, 3개의 상쇄 코일 세트들(양 전류 코일) 중 중간 상쇄 코일(5409)은 내부 상쇄 코일 세트(5410) 및 외부 상쇄 코일 세트(5411)(음 전류 코일)로부터 축방향으로 편위되어 있다. 상기 내부의 음 전류 상쇄 코일(5410)들은 널 자계 영역을 확장할 수 있도록 이들 사이에 갭을 도입시켜 넓혀져 있다. 고속 중간 발전기 스테이지(5408)에 가장 근접한 내부 상쇄 솔레노이드(도면 부호 5410)는 이 영역에서 상쇄해야 할 보다 높은 자계 강도를 보상할 수 있도록 증가시킨 권선수와 두께를 갖는다.
- [0294] 초전도 코일 각각은, 앞에서처럼, 극저온 외피(cryogenic envelope)(5414) 내에 제공된다.
- [0295] 전류 경로는 도 55에 도시되어 있으며, 회전자 드럼 및 고속 중간 발전기 스테이지(5408)를 통과하는 저전압/고전류 경로(5416)와, 고속 모터 스테이지(5407)를 통과하는 고전압/저전류 경로(5417)를 포함한다.
- [0296] 도 56 및 도 58은 도면 부호 5420으로 윤곽을 나타낸 0.2T 미만의 널 자계 영역 내에 있는 상기 변형예의 자계도이다. 내부 상쇄 코일에 대한 변형에 의해 생성된 확장된 널 자계 영역은 도 58에 특히 잘 도시되어 있다.
- [0297] 고전류 및 저전압 전기 공급이 특히 유용한 그 밖의 여러 상황에는 전기 도금, 전기 정련, 알루미늄 용해, 수소 연료 생산, AC/DC 변환, 전자기 기어박스, 풍력 터빈, 및 레일건(railgun) 및 운동에너지 무기(kinetic weapon)와 같은 방위 응용 분야 등이 포함된다.
- [0298] 앞에서 논의된 것들과 같은 장치들은 도 59 내지 도 61에 예시된 것과 같은 토크 균등화 시스템과 함께 사용될 수 있다. 도 59에는, 한 쌍의 역방향 회전 터빈에 적용된 도 23a 및 도 23b에 예시된 본 발명의 실시예와 관련하여 사용된, 인라인 속도를 감소 또는 증가시킬 수 있게 하는 토크 균등화 시스템이 예시되어 있다.
- [0299] 토크 균등화 시스템은 도 60에 상세하게 도시되어 있다. 이 도면에서, 토크 균등화 시스템(6000)은 입력 베벨 기어(6001), 일련의 이중 피니언 기어(6002), 및 출력 베벨 기어(6003)를 포함한다. 입력 베벨 기어(6001)는 이중 피니언 기어(6002)의 외부 피니언 기어(6004)와 함께 제 1 기어 비로 맞물리고, 이중 피니언 기어(6002)의 내부 피니언 기어(6005)는 제 1 기어비와 다른 제 2 기어비로 출력 베벨 기어(6003)와 맞물린다. 이들 기어비 각각은 입력 베벨 기어(6001)와 출력 베벨 기어(6003) 간의 총 회전 속도를 변화시킬 수 있도록 하기 위해 조작될 수 있는데, 상기 속도 변화는 축 속도를 증가시키거나 감소시킨다. 속도 감소를 위해 토크 균등화 시스템에 다중 할당 피니언 토크 변환기(multi ration pinion torque converter)(6006)가 제공된다. 토크 변환기(6006)와 토크 이퀄라이저(6000)는 유사한 원리로 작동하며 유사한 구성요소를 사용한다.
- [0300] 도 62 및 도 63은 본 발명의 터빈 기술에 기초한 역회전 발전기의 설계 및 구성요소들을 보이고 있다. 이 발전기는 한 쌍의 역회전 풍력 터빈 블레이드를 채용한 풍력 터빈에 사용하기 위해 설계된다.
- [0301] 역회전 터빈 블레이드의 사용은 주어진 회전 면적 내에서 바람으로부터 동력을 보다 더 효율적으로 추출할 수 있게 한다. 이 구성에서, 역회전 발전기의 각 축[스테이지 A(6201) 및 스테이지 B(6202)로 각각 명명됨]은 독립적으로 작동하여 전기를 발생시킨다. 이 설계는 멀티-MW 스테이지 A 부분(6201)과 멀티-MW 스테이지 B 부분(6201)이 짝을 이룬다.
- [0302] 도 62에 예시된 터빈 발전기는 도시된 바와 같이 대향된 양 방향의 입력 토크를 허용하는 2 개의 독립된 발전기 부분을 포함한다. 스테이지 A 입력 토크 방향(6203)은 스테이지 B 입력 토크 방향(6204)과 반대이다. 도 63은 도 62에 예시된 역회전 풍력 터빈 발전기의 주요 구성요소들을 보이고 있다. 정회전 스테이지 및 역회전 스테이지에 'A' 및 'B'를 표기했다.
- [0303] 앞의 실시예에서처럼 그리고 도 63에 상세하게 도시된 바와 같이, 각 스테이지는 저속 발전기 회전자(6302_A, 6302_B)의 일부가 사이에 위치되는 한 쌍의 외부 초전도 코일(6301)을 포함한다. 각 스테이지는 또한 고속 발전기 회전자(6303_A, 6303_B)와, 고속 모터 부분(6304_A, 6304_B)과, 회전자 부분들이 안에 위치되는 널 자계 영역을 생성하기 위한 일련의 내부 상쇄 코일(6305_A, 6305_B)을 포함한다. 각 스테이지의 고속 발전기(6303_A, 6303_B)와 고속 모터(6304_A, 6304_B)는 기계적으로 결합되지만, 도 64에 잘 도시되어 있는 절연부(6306_A, 6306_B)를 제공함으

로써 서로 전기적으로 절연된다.

- [0304] 이 설계에 포함되는 다른 변형예는 고속 발전기 스테이지의 최내부 브러시가 고속 모터 스테이지의 최외부 브러시와 일치할 수 있도록 상기 최내부 브러시의 반경 방향 위치를 변경하는 것이다. 브러시 위치의 이러한 변경은 고속 스테이지에 의해 생성된 전압에 미치는 영향은 최소로 하면서 최내부 고전류 브러시의 상호 연결을 위한 추가의 공간이 생겨나게 한다. 레이아웃에 있어서의 이러한 변형은 또한 이전에 개시된 많은 실시예에도 적용할 수 있다.
- [0305] 외부 초전도 구동 코일들 간의 기계적 및/또는 열적 연결은 스테이지 A 및 스테이지 B의 회전자들 사이의 갭 내에서 이루어진다.
- [0306] 독립적인 역회전 스테이지들 내의 바람직한 고전류 경로 및 저전류 경로가 도 64에 도시되어 있다.
- [0307] 필요에 따라서는, 저속 발전기 회전자 스테이지(6302_A, 6302_B)는 또한 고속 발전기 회전자 스테이지(6303_A, 6303_B) 외측에서 회전할 수 있고, 이에 의하면 내부 상쇄 코일(6305_A, 6305_B)을 피포시킬 수 있고 내부 코일 세트들 도 64에 도시된 것과 반대되는 측면으로부터 진입시킬 수 있게 된다. 이는 토크 입력 요소로의 보다 더 용이한 연결을 제공한다.
- [0308] 도 65 내지 도 68은 고자계 강도 영역 및 저자계 강도 영역을 도시하기 위하여 벡터 필드 오페라 3d(Vector Fields Opera 3d) 소프트웨어로 만든 일련의 자계도를 나타내 보이고 있다. 외부 코일의 내부 쌍(6702_A, 6702_B)은 도 67에 잘 도시된 바와 같이 외부 코일의 외부 쌍(6701_A, 6701_B)에 비해 단면이 더 넓으므로, 최외부 코일의 설계는 이전의 설계와 다르다. 이들 코일의 폭들 간의 비는, 상당히 다른 기하 형상이 사용되는 경우에는 조정할 필요가 있긴 하지만, 대략 4:1이다. 코일의 형상에 있어서의 이와 같은 변경은 코일의 내부 및 외부 쌍들 사이에 크고 사용 가능한 널 자계 영역(6500)을 유지하면서도 구동 솔레노이드의 구멍을 통과하는 더 큰 강도의 자계를 생성하는데 도움이 된다. 다른 부수적 효과는 내부 코일의 힘의 크기가 이전의 얇은 솔레노이드 외부 코일 설계들에 비해 감소된다는 것이다. 또한, 코일의 기하 형상에 있어서의 이러한 변형은 해양 포드 시스템(marine pod system)에 사용하는 것을 포함한 앞에 개시된 많은 실시예에도 적용할 수 있다.
- [0309] 도 65는 도 62에 도시된 터빈 발전기에 사용된 코일 시스템의 개요를 보이고 있다. 얇은 녹색의 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 자계 강도가 0.2T 미만인 영역[널 자계 영역(6500)]이다. 도 66은 터빈에 사용된 코일 조립체의 절반 단면도이다. 이 영상에는 자계의 방향을 나타내기 위해 자계 벡터가 도시되어 있다. 도 67은 외부 코일의 내부 쌍(6702_A, 6702_B)과 외부 코일 세트의 외부 쌍(6701_A, 6701_B) 간의 다른 애스펙트 비를 명확하게 나타내는 도 65 및 도 66에 도시된 외부 코일 조립체의 단면도이다. 도 68은 고속 모터(하부 영역) 및 회전자(상부 영역) 스테이지들의 브러시를 피포하기 위하여 외부 방사상 널 자계 영역(6500₁)이 약간 편위된 것을 보이고 있는 도 65 내지 도 67에 도시된 내부 코일 조립체(6305_B)의 상세 단면도이다.
- [0310] 도 69에는 한 변형예가 예시되어 있다. 예시된 설계는 단일 회전 풍력 터빈 블레이드용 멀티-MW급 설계이다. 기본 구성요소들은 특히 도 62에서 시작해서 앞에서 논의한 풍력 터빈 설계들과 아주 유사하다. 주요 차이점에는, 수정된 외부 코일 애스펙트 비를 사용하는 것과, 상쇄 코일들이 모터 및 발전기 스테이지들의 한 측방향 측면에 배열될 수 있도록 보조 모터 및 발전기 스테이지들의 설계를 변경하는 것이 포함된다. 이는 풍력 터빈 축의 연결을 위한 저속 모터로의 접근을 더 크게 허용한다. 고속 및 저속 회전자들 모두는 외부 코일의 보다 나은 기계적 지지가 이루어질 수 있도록 하기 위해 외부 코일 조립체의 측면으로부터 빠져나온다.
- [0311] 다시 또, 이 실시예는 고속 발전기 회전자(6902)의 일부와 저속 발전기 회전자(6903)의 일부가 사이에 위치되는 한 세트의 외부 초전도 코일(6901)을 포함한다. 고속 모터 부분(6904)에는 브러시 접촉부가 안에 위치되는 널 자계 영역(6906)이 생성될 수 있도록 일련의 내부 상쇄 코일(6905)도 구비된다. 고전류 경로 및 저전류 경로가 도 70에 도시되어 있다. 다시 또, 고속 발전기 회전자(6903)는 고속 모터 부분(6904)에 기계적으로 결합되지만, 절연 슬리브(6907)에 의해 상기 고속 모터 부분으로부터 전기적으로 절연된다.
- [0312] 도 71은 도 69에 도시된 변형예의 자계의 개요도이다. 도 72는 직접 구동 장치의 절반 단면 자계도로서, 여기에는 자계의 방향을 보이기 위한 자계 벡터가 포함되어 있다. 직접 구동 장치의 변형예의 외부 코일 조립체(6901)의 자계도가 도 73에 도시되어 있고, 여기서 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 0.2T 미만인 영역[널 자계 영역(6906)]이다. 도 74에 도시된 자계도는 직접 구동 장치의 내부 상쇄 코일 조립체(6905)의 자계도이고, 여기서 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 0.2T 미만인 영역[널 자계 영역(6906)]이다.

- [0313] 도 75에 도시된 변경 설계는 저속 발전기 회전자 스테이지(7502)가 코일 배치 내의 반대측 겹을 통해 밖으로 방향이 돌려진 멀티-MW 풍력 터빈 발전기의 변형예를 보이고 있다. 이는 저속 회전자용의 대안적인 경로로 제시되었다. 일반적으로(그리고 앞에서 논의된 바와 같이), 2개의 널 자계 영역들 사이에서 회전자들이 취할 있는 모든 경로들이 유효하며, 동일하지는 않더라도 유사한 전압 경로 적분/rad/s의 결과를 가져올 것이다. 외부 초전도 코일들 간의 기계적 및/또는 열적 연결은 저속 발전기 및 고속 발전기 회전자들 사이의 겹에서 이루어질 수 있다.
- [0314] 다시 또, 이 실시예는 고속 발전기 회전자(7503)의 일부와 저속 발전기 회전자(7502)의 일부가 사이에 위치되는 한 세트의 외부 초전도 코일(7501)을 포함한다. 고속 모터 부분(7504)에는 모터의 일부가 안에 위치되는 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 일련의 내부 상쇄 코일(7505)도 구비된다. 다시 또, 고속 발전기 회전자(7503)는 고속 모터 부분(7504)에 기계적으로 결합되지만, 절연 슬리브(7506)에 의해 상기 고속 모터 부분으로부터 전기적으로 절연된다. 고전류 경로와 저전류 경로가 도 76에 도시되어 있다.
- [0315] 도 77은 멀티-MW 풍력 터빈 발전기 설계의 변형예에 있어서의 자계 포토파일을 보이고 있다. 자계 방향을 나타내기 위해 자계 벡터가 도시되어 있다. 자유 형태 선으로 경계를 그은 영역은 자계 강도가 0.2T 미만인 영역 [널 자계 영역(7507)]이다.
- [0316] 도 78에 도시된 추가 변형예는 초기 저속 스테이지들이 직렬로 연결되고 하나의 고속 모터/회전자 조합으로 공급되는 역회전 설계를 보이고 있다. 이는 결국에는 하나의 고전압 출력이 유발되게 하는 결과를 가져온다. 이 설계에는 역회전 저속 발전기 회전자들에 의해 전달되는 RPM와 토크를 동기화시키기 위한 토크 이퀄라이저(7801)가 포함된다. 이러한 동기화는 올바른 발전기 성능을 보장하는데 바람직하다.
- [0317] 도 78에 도시된 변형예에서는 회전자들이 직렬로 연결된 것으로 도시되었으나, 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자들에게 있어서는 회전자들을 쉽게 병렬로 연결할 수 있다는 것은 명백하다.
- [0318] 다시 또, 이 구성은 스테이지 A 저속 발전기 회전자(7803)의 일부와 스테이지 B 저속 발전기 회전자(7504)의 일부가 사이에 위치되는 한 세트의 외부 초전도 구동 코일(7802)을 포함한다. 고속 발전기 회전자(7805) 및 고속 모터(7806)에는 액체 금속 브러시가 안에 위치되는 널 자계 영역이 생성될 수 있도록 일련의 고속 상쇄 코일(7807) 및 한 세트의 저속 스테이지간 상쇄 코일(interstage cancelling coil)(7808)도 구비된다.
- [0319] 도 80은 스테이지 A(8001) 및 스테이지 B(8002)를 위한 인가된 입력 토크의 상대적 방향들과 토크/RPM 이퀄라이저를 상세하게 도시하는 도 79의 단면도의 확대도이다. 다시 또, 고속 발전기 회전자(7805)는 고속 모터 부분(7806)에 기계적으로 결합되지만, 절연 슬리브(7810)에 의해 상기 고속 모터 부분으로부터 전기적으로 절연된다. 고전류 경로와 저전류 경로가 도 81에 도시되어 있다.
- [0320] 풍력 터빈 발전기들도 드럼형 터빈으로 구성될 수 있다. 도 82에 도시된 첫 번째의 드럼형 설계는 저속 발전기(8201)에 비해 작은 반경 상에 위치되는 드럼형 고속 모터 요소(8202)에 전기적으로 결합된 드럼형 저속 발전기 요소(8201)를 포함한다. 모터 요소(8202)는 최종 고전압 DC 출력을 제공하는 고속 발전기 부분(8203)에 기계적으로 결합된다. 초전도 코일의 내부 상쇄 코일 세트(8204)는 고속 모터 요소(8202)의 브러시에 의해 요구되는 널 자계 영역을 생성한다. 다시 또, 드럼형 구성에 회전을 부여하기 위해 외부 초전도 구동 코일(8205)이 제공된다. 이 실시예의 고전류 경로 및 저전류 경로가 도 83에 도시되어 있다. 고속 발전기 요소(8203)는 고속 모터 요소(8202)에 기계적으로 결합되지만, 절연 조립체(8206)에 의해 상기 고속 모터 요소로부터 전기적으로 절연된다.
- [0321] 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자들에게 있어서는, 드럼형 전력 변환기 스테이지들도, 방사상 전력 변환기 스테이지들이 분할되고 독립적으로 사용될 수 있는 것과 같은 방식으로, 다른 출력 변환 요건을 위해 저속 회전자와는 독립적으로 쉽게 사용할 수 있다는 것은 명백하다.
- [0322] 도 84는 도 82에 도시된 변형예에 있어서의 자계도의 개요를 보이고 있다. 이 영상에는 내부 널 자계 영역(8207)을 생성하는 내부 상쇄 코일(8204)의 위치가 도시되어 있다.
- [0323] 도 85는 도 82에 도시된 드럼 방식 실시예에 있어서 외부 구동 코일(8205)의 중앙에 있는 널 자계 영역(8601)을 보이고 있다. 강조된 영역은 액체 금속 브러시의 배치를 가능하게 하기에 충분히 낮은 자계 강도를 갖는다.
- [0324] 도 86은 드럼 요소를 따라서 외부 구동 코일(8205)에 의해 생성된 주 구동계의 벡터를 보이고 있으며, 도 87은 내부 상쇄 코일(8204) 및 고속 모터 부분(8202) 둘레 영역의 자계 벡터를 보이고 있다.
- [0325] 드럼형 터빈은 또한 방사상 형태 전력 변환기를 사용하여 구성할 수 있다. 도 88에 도시된 설계 변형예는 이러

한 방사상 형태 전자기 전력 변환기를 포함하는 구성으로 해서 발전기의 최종 전력 출력을 제공할 수 있도록 한다. 이 실시예에는 드럼형 저속 발전기 요소(8801) 및 고속 발전기 회전자(8802)를 포함한다. 저속 발전기 요소(8801)를 구동하기 위해 외부 초전도 구동 코일(8804)을 제공한다. 고속 모터 요소(8803)가 고속 발전기 회전자(8802)에 기계적으로 결합되지만, 절연 슬리브(8806)에 의해 상기 고속 발전기 회전자로부터 전기적으로 절연된다. 고속 발전기 회전자(8802) 및 고속 모터 요소(8803)의 전류 이송 브러시들이 안에 위치하는 널 자계 영역이 형성될 수 있도록 한 세트의 내부 초전도 상체 코일(8805)이 제공된다. 고전류 경로와 저전류 경로가 도 89에 도시되어 있다.

[0326] 위에서 논의된 2 코일 설계는 또한 3 코일 설계로 확장시킬 수도 있다. 이 설계는 동축 쌍의 저속 발전기 회전자(9001, 9002)를 제공함으로써 필요한 초전도 와이어의 길이를 2배로 하지 않고도 저속 발전기의 길이를 2배로 하는(이에 따라, 생성된 전압/전력이 증가하는) 이점을 갖는다.

[0327] 도 90에 도시된 설계에 있어서, 저속 발전기 부분의 상기 회전자(9001, 9002)는 전기적으로 직렬로 연결되고, 이와 동시에 서로 간에는 기계적으로 결합되고 동일한 방향으로 회전한다. 당해 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자들에게 있어서는, 이들 요소들은 완전히 연결될 수 있고 (발전기를 동기화하기 위한 토크/RPM 이퀄라이저를 추가해야 하지만) 역회전 하게 할 수 있다는 것은 명백하다. 대안으로, 회전자(9001, 9002)들은 발생된 전류가 양 단부에서 그리고 중간 지점의 조합된 브러시로부터 추출될 수 있게 하면서 병렬로 연결될 수 있다.

[0328] 이 예는 도 82와 관련하여 논의된 것과 같은 드럼형 전자기 전력 변환기를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 도 90에 도시된 실시예에서, 고속 발전기 요소(9003)는 저속 발전기 회전자(9002) 내에 동심으로 위치된다. 고속 모터 스테이지(9004)는 고속 발전기 요소(9003)에 기계적으로 결합되지만, 절연 조립체(9005)에 의해 상기 고속 발전기 요소로부터 전기적으로 절연된다. 전류 이송 브러시들이 안에 위치되는 널 자계 영역이 형성되도록 하기 위해 내부 초전도 코일(9006)들이 제공된다. 저속 발전기 회전자(9001, 9002)를 구동시키기 위해 다수의 외부 초전도 구동 코일(9007)들이 제공된다.

[0329] 이 실시예를 위한 고전류 경로 및 저전류 경로가 도 91에 도시되어 있다. 이 구성의 저속 회전자(9001, 9002)들은 직렬로 연결되고 동일 방향으로 회전하는데, 반대 방향 회전 및 병렬 연결도 가능하다.

[0330] 일반적인 자계도가 도 92에 도시되어 있다. 자유 형태 선으로 경계가 그려진 영역은 액체 금속 또는 그 밖의 전류 수송 브러시가 안에(또는 벗어나서) 위치되며 최적으로 기능하는 영역을 나타낸다.

[0331] 여기에 설명된 그 어떤 설계도 일반적으로 설명되는 고정형 저온 유지 장치 및 코일이 아닌 회전하는 저온 유지 장치 및 초전도 코일을 갖추는 기능도 할 수 있다. 패러데이의 역설은 자계 코일들이 고정형이거나 회전자와 함께 회전할 때에 상기 설명된 발전기들 또는 모터들이 기능한다는 것을 의미한다. 주요 요건은 회전자와 외부 고정형 전기 회로 간의 상대 운동이다.

[0332] 위에서 설명된 터빈의 추가 개발도 이루어졌다. 이 추가 개발에서의 주요 차이점은 단일 측면(single sided) 전류 경로이다. 원래의 설계에서는, 전류가 중앙의 대직경 액체 금속 브러시로 흐르거나 혹은 이로부터 장치의 양 단부에 위치한 2개의 집전 장치로 흐른다. 상기 추가 발전에서, 전류는 장치의 한 단부에 있는 하나의 집전 위치로 흐른다. 한편, 상체 코일이 제거되고, 그 공간은 토크 입력/출력을 위해 사용된다. 모터/회전자의 한 측면으로부터 상체 코일들 중 하나를 제거함으로써 가벼운 중량의 입력/출력 축을 사용할 수 있게 된다. 액체 금속 브러시 접촉 구역에 널 자계 영역을 생성시키는 데 필요한 나머지 축 상체 코일은 하나 이상의 상체 코일을 사용하여 형성할 수 있다. 원래의 터빈의 한 예가 도 93a에 도시되어 있고, 상기 추가 개발이 도 93b에 도시되어 있다.

[0333] 이 실시예에 포함된 다른 수정 사항들은 다음에 열거하는 것을 포함한다.

[0334] a) 주 구동 코일(9401)들 간의 거리 증가. 이는 코일들 간의 힘이 상당히 감소하는 결과를 가져온다.

[0335] b) 원래 설계와 비교할 때에, 더 넓은 접촉부 및 증가된 회전자(9402) 두께 - 효율적인 2 회전자를 사용한, 2배의 작동 전류. 증가된 작동 전류는 또한 동일 전력에 대해 총 직경이 감소되게 하며, 이는 또한 초전도 와이어의 필요한 길이를 줄인다.

[0336] c) 축 상체 코일(9403)은, 허용 가능한 경우에는, 장치의 중앙에 더 근접하게 위치 이동시킬 수 있고, 한 측면에만 제공될 뿐만 아니라 총 길이를 줄인다.

[0337] d) 회전자(9402)용 입력/출력 축(도시되지 않음)은 한 측면에만 제공된다.

- [0338] e) 전류 이송 브러시(9405)의 증가된 폭은 회전자에 증가된 전류가 통과하게 한다.
- [0339] 도 95에 도시된 자계도는 상기 추가 개발 터빈을 위한 대표적인 코일 레이아웃 및 널 자계 영역을 보이고 있다. 외부 상쇄 코일을 위한 보다 작은 직경의 설계를 도 96의 자계도에 도시된 바와 같이 완전히 제거하는 것도 할 수 있다.
- [0340] 도 62 및 이와 관련된 도면을 참조하여 설명한 많은 대안적 배치들도 전자기 변환기/저속 모터 설계에 적용할 수 있다. 주 구동 코일과 외부 상쇄 코일의 에스펙트비에 있어서의 수정은 도 97에 도시된 바와 같이 전자기 변환기를 위한 전체 직경을 줄이는 결과를 가져올 수 있다. 기본 레이아웃은, 고속 모터 부분(9702)에 기계적으로 결합되지만 절연 심(shim)(9705)에 의해 상기 고속 모터 부분으로부터 전기적으로 절연된 고속 발전기(9701)를 포함한다. 고속 발전기(9701)는 저속 모터 부분(9703)과 전기적으로 결합된다. 출력 축(9704)도 제공된다. 초전도 구동 코일 조립체(9706)의 주 구동 코일들은 다른 실시예에 사용된 팬케이크형에 비해 솔레노이드의 양상(위에서 상세하게 설명한 바와 같음)과 더 비슷하다.
- [0341] 이 실시예의 절반 자계도가 도 98에 도시되어 있다. 널 자계 영역(9801)(0.2T 미만)은 자유 형태 선으로 경계가 그어져 있다.
- [0342] 이 대안적 코일 설계는, 도 99에 도시되어 있으며 결부된 자계도가 도 100에 도시되어 있는 드림/방사상 하이브리드 모터/전자기 변환기 설계를 포함하는 많은 다른 설계에도 적용될 수 있다. 이 실시예는 저속 드림 모터(9900), 출력 축(9901), 및 고속 방사상 발전기(9903)에 기계적으로 결합되지만 절연 심(9904)에 의해 상기 고속 방사상 발전기로부터 전기적으로 절연된 고속 방사상 모터(9902)를 포함한다.
- [0343] 이 실시예의 절반 자계도가 도 100에 도시되어 있다. 널 자계 영역(10001)(0.2T 미만)은 자유 형태 선으로 경계가 그어져 있다.
- [0344] 도 101에 도시된 또 다른 변형예는 서로 움직이는 2 개의 회전자(10100)를 주 구동 코일(10101)의 외측에 효율적으로 위치시킨다. 이렇게 해서, 자계가 효율적으로 두 번 사용된다. 주 코일(10101)들은 도시된 바와 같이 이들 주 코일 사이에 갭이 없이 제공된다. 회전자(10100)들은 주 구동 코일 외측에 위치된다. 이 회전자들은 서로 기계적으로 결합되지만 절연 연결기(10102)를 사용하여 서로 전기적으로 절연된다. 또한, 바람직한 액체 금속 브러시 접촉부들을 위해 필요한 널 자계 영역들을 생성하기 위해 추가 상쇄 코일(10103)들이 도시된 바와 같이 추가된다. 이 실시예를 위한 자계도는 널 자계 영역(10104)이 도시되어 있는 도 102에 도시되어 있다.
- [0345] 다른 변형예가 도 103에 도시되어 있다. 이 경우에서, 2개의 회전자 또는 하나의 이중 회전자(10300)가 3 세트의 주 구동 코일(10301)들 사이에 위치되며 공동의 축에 병렬로 연결되고, 전류는 한 단부(도시된 바와 같음)에나 혹은 추가 상쇄 코일들이 타 단부에 추가된 경우에는 양 단부에 집전된다. 이 실시예를 위한 자계도는 널 자계 영역(10302)이 도시되어 있는 도 104에 도시되어 있다.
- [0346] 상기 단일 측면(single sided) 개발 설계에 대한 다른 변형예는 도 105에 도시된 바와 같은 2개의 회전자(10500)와 2 세트의 축 상쇄 코일(10501)을 구비하는 양 측면(double sided) 설계이다. 상기 회전자들은 서로 기계적으로 결합되지만 전기적으로는 서로 절연되어 있다.
- [0347] 상기 단일 측면(single sided) 구성에 대한 다른 변형예들은 도 106 및 도 107에 도시된 바와 같은 대안적인 회전자 형상, 위치 및 저온 유지 장치의 레이아웃이다.
- [0348] 도 108은 제 3의 상쇄 코일을 제외하고는 도 23a 및 도 23b에 도시된 것과 유사한 방사상 형태의 디스크 장치의 자계 분포 영상이다. 외부 선은 장치의 5 가우스 선으로, 이는 높은 자계와 낮은 자계를 갖는 영역의 경계를 표시한다. 내부 선은 그 안쪽의 영역에서가 자계가 200 가우스 이상이 되는 영역의 경계로서, 여기에는 이 도면의 축척에서는 보이지 않는 액체 금속 브러시용 널 자계 영역이 제외되어 있다. 이러한 자계 분포를 생성하는 장치는 능동 차폐를 사용하지 않는다.
- [0349] 도 109는 2개의 (제 3) 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 포함하는, 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치의 자계 분포 영상이다. 다시 또, 외부 선은 장치의 5 가우스 선으로, 이는 높은 자계와 낮은 자계를 갖는 영역의 경계를 표시한다. 내부 선은 그 안쪽의 영역에서가 자계가 200 가우스 이상이 되는 영역의 경계로서, 여기에는 이 도면의 축척에서는 보이지 않는 액체 금속 브러시용 널 자계 영역이 제외되어 있다. 주지하는 바와 같이, 5 가우스 선의 축방향 및 반경 방향의 편위에 있어서는 도 108에 도시된 것과 비교해서 비교적 감소되었다.
- [0350] 도 110은 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치이지만 4개의 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 채용하도록 수정된 장치의 자계 분포 영상이다. 외부 선은 장치의 5 가우스 선으로, 이는 높은 자계와 낮은 자계를 갖는 영역의

경계를 표시한다. 내부 선은 그 안쪽의 영역에서가 자계가 200 가우스 이상이 되는 영역의 경계로서, 여기에는 이 도면의 축척에서는 보이지 않는 액체 금속 브러시용 널 자계 영역이 제외되어 있다. 주지하는 바와 같이, 5 가우스 선의 축방향 및 반경 방향의 편위에 있어서는 도 108에 도시된 것과 비교해서 비교적 감소되었다.

[0351] 도 111은 도 23a 및 도 23b에 도시된 장치이지만 도 110에 도시된 자계분포를 생성하는 디스크 방식 방사상 장치와 관련해서 총 4개의 추가적인 능동 상쇄 코일을 채용하도록 수정된 장치의 단면도이다. 이 장치에는, 한 쌍의 내부 능동 표유 자계 상쇄 코일(1112)뿐만 아니라 한 쌍의 외부 능동 표유 자계 상쇄 코일(1111)이 제공된다.

[0352] 도 112는 능동 상쇄 코일을 사용하지 않는 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 자계 분포 영상이다.

[0353] 도 113은 2개의 능동 상쇄 코일을 사용하는 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이는 자계 분포 영상이다. 이 도면은 도 112와 비교할 때 5 가우스 경계 및 200 가우스 경계에서 상당한 감소를 보이고 있다.

[0354] 도 114는 도 113에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 2개의 추가적인 능동 상쇄 코일(1141)의 위치를 나타내고 있는 단면도이다.

[0355] 도 115는 4개의 능동 상쇄 코일을 포함하도록 수정된, 도 82에 도시된 것과 유사한 드럼형 축방향 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이고 있다. 다시 또, 이 도면은 도 112와 비교할 때 5 가우스 경계 및 200 가우스 경계에서 상당한 감소를 보이고 있다.

[0356] 도 116은 도 115에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 4개의 추가적인 능동 상쇄 코일의 위치를 나타내고 있는 단면도이다. 이 장치에는, 한 쌍의 소직경 능동 표유 자계 상쇄 코일(1162)뿐만 아니라 한 쌍의 대직경 능동 표유 자계 상쇄 코일(1161)이 제공된다.

[0357] 도 117은 능동 차폐가 없는 도 69에 도시된 것과 유사한 다단 방사상 형태 디스크 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이고 있다. 외부 선은 장치의 5 가우스 선으로, 이는 높은 자계와 낮은 자계를 갖는 영역의 경계를 표시한다. 내부 선은 그 안쪽의 영역에서가 자계가 200 가우스 이상이 되는 영역의 경계로서, 여기에는 이 도면의 축척에서는 보이지 않는 액체 금속 브러시용 널 자계 영역이 제외되어 있다. 이 장치는 능동 차폐를 사용하지 않는다.

[0358] 도 118은 2개의 차폐 코일(1181)을 사용하는 능동 차폐를 갖춘 도 69에 도시된 것과 유사한 다단 방사상 형태 디스크 장치의 5 가우스 선 및 200 가우스 선을 보이고 있다. 앞의 도면들에서처럼, 외부 선은 장치의 5 가우스 선으로, 이는 높은 자계와 낮은 자계를 갖는 영역의 경계를 표시한다. 내부 선은 그 안쪽의 영역에서가 자계가 200 가우스 이상이 되는 영역의 경계로서, 여기에는 이 도면의 축척에서는 보이지 않는 액체 금속 브러시용 널 자계 영역이 제외되어 있다. 이 장치는 2개의 차폐 코일을 사용하는 능동 차폐를 채용하고 있으며, 5 가우스 선의 축방향 및 반경 방향 편위에 있어 비교적 감소를 보이고 있음이 쉽게 파악된다.

[0359] 도 119는 도 118에 도시된 자계를 생성하는 장치의 단면도로서, 2개의 추가적인 차폐 코일(1181)의 위치를 나타내고 있는 단면도이다.

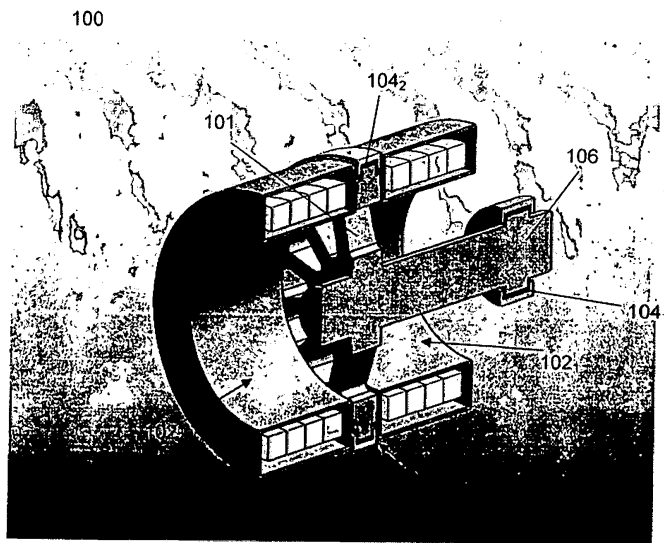
[0360] 도 120은 바람직한 실시예에 따른 액체 금속 브러시 조립체의 절반을 형성하는 허 모양 외부 링을 구비하는 주 회전 디스크 및 축 조립체의 등각도이다. 주 도전성 출력 축(120A)이 베어링 장착부(120B) 둘레에 회전하게 장착된다. 상기 축(120A)은 주 회전자 디스크(120C)를 축(120A)과 함께 회전하게 장착한다. 바람직한 액체 금속 브러시 조립체의 내부 도전 표면을 형성하는 주 회전자 디스크(120C)의 외부 부분(120D)은 회전자 디스크(120C)와는 다른 재료, 이 경우에는, 동으로 제조된다. 이는 반경 방향으로 연장되는 설부로서 그 형상이 형성된다.

[0361] 도 121은 액체 금속 재료용 격납 벽을 포함하는 바람직한 실시예에 따른 전체 회전자와 내부 및 외부 액체 금속 브러시 조립체의 단면 등각도이다. 이 구성에 따르면, 회전 축(121A)이 한 쌍의 전기적으로 절연된 축 장착 지점(121B)들 사이에 장착된다. 회전 축(121A)은 고정형 액체 금속 격납 용기(121D) 내에 수용된 회전 디스크(121C)를 장착한다. 외부 전류 전달/전도 링(current delivery/takeoff ring)(121E)이 회전 디스크(121C)에 인접하게 제공되며, 내부 전류 전달/전도 링(121F)이 회전 축(121A)의 한 축방 단부에 위치된다. 이들 두 전류 전달/전도(傳導) 링은 전류 전달/전도를 위한 액체 금속 브러시 조립체를 포함한다. 내부 전류 전달/전도 링(121F)은 또한 고정형 액체 금속 격납 용기(121G) 내에 위치된다.

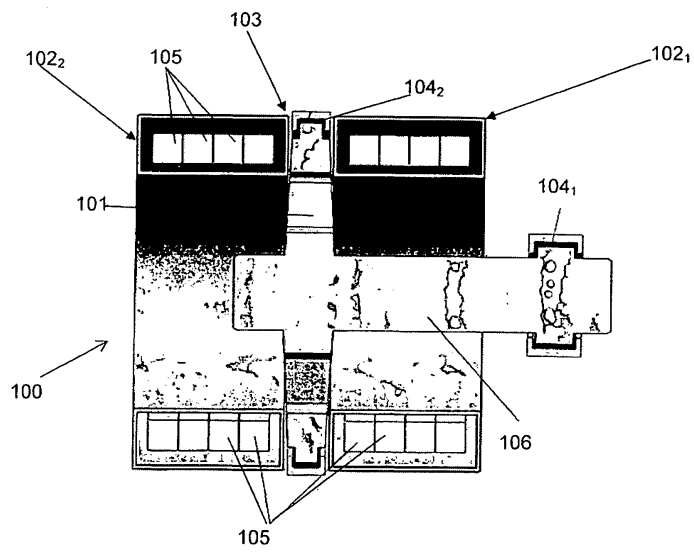
- [0362] 도 122는 도 121에 도시된 구성의 단면 정면도이다. 이 도면은 열팽창을 수용할 수 있도록 0 링 상에 장착된 세라믹 베어링(122A)을 명확하게 도시하고 있다. 다시 또, 회전 축(121A)은 전류 전달/전도를 위하여 제공된 액체 금속 브러시 조립체(122B)를 구비하는 회전 디스크 조립체(121C)를 장착한다. 회전 축(121A)은 또한 이 회전 축의 한 측방 단부에 내부 액체 금속 브러시 조립체(122C)를 장착하여, 회전 축(121A)과 회전 디스크 조립체(121C)를 통해 전류가 흐를 수 있게 한다.
- [0363] 도 123은 도 122에 도시된 외부 액체 금속 브러시 조립체의 단면 상세도이다. 이 구성에서, 회전 디스크(123A)는 알루미늄으로 제조되고, 회전 디스크의 외부 링(액체 금속 브러시 조립체의 내부 회전 링(123B)을 형성하기도 함)은 긴 설부(123C)를 구비하는 동 부착부로서 구성된다. 내부 회전 링(123B)은 다수의 체결구(123D)를 사용하여 회전 디스크(123A)에 부착된다. 액체 금속 조립체의 외부 고정 링(123E)은 2 부품 링으로서, 이는 내부 회전 링(123B) 위에 외부 고정 링(123E)을 조립할 수 있도록 해서, 이 링들 사이에, 전류 이송을 위한 액체 금속(123G)을 담을 수 있도록 한 실질적으로 U형인 홈이 형성되게 한다. 액체 금속(123G)이 상기 실질적으로 U형인 홈 안에 주입될 수 있도록 충전 탭 및 센서 포트(123F)가 제공된다. 장치가 작동하지 않을 때의 액체 금속(123G)의 손실을 방지하기 위해 전체 조립체가 액체 금속 격납 용기 벽(123H) 내에 수용된다.
- [0364] 도 124는 도 122에 도시된 내부 액체 금속 브러시 조립체의 상세도이다. 이 구성은 도 123에 도시된 구성과 많은 점에서 유사하다. 다시 또, 회전 축(124D)은 전기적으로 절연된 축 장착 지점(124H)과 열팽창에 부응할 수 있도록 0 링 상에 장착된 세라믹 베어링(124I)을 이용하여 회전하게 장착된다. 상기 회전 축(124D)의 외부 부분은 액체 금속 브러시 조립체의 내부 링(124C)을 위한 장착부를 제공한다. 내부 링(124C)은 동으로 제조되며, 하나 이상의 체결구(124E)를 이용하여 바람직한 알루미늄 회전 축(124D)에 부착된다. 다시 또, 2 부품 외부 고정 링(124A)이 제공되며, 이는 내부 링(124C)에 대해 장착되어 액체 금속을 수용하기 위한 실질적으로 U형인 홈을 한정하여 접촉부(124B)를 형성한다. 액체 금속 격납 용기(124F)가 액체 금속 브러시 조립체를 수용하고, 장치가 작동하지 않을 때의 액체 금속(124B)의 손실을 방지하기 위해 원주 방향 유체 실(124G)이 제공된다.
- [0365] 도 125는 바람직한 실시예의 회전 디스크/축 조립체의 단면도로서, 벌어진 디스크 부분을 보이고 있는 단면도이다. 이 구성에서, 회전 디스크(125A)에는 이 디스크(125A)의 뿌리를 향하여, 즉 디스크(125A)가 회전 축(125C)에 장착되는 곳을 향하여 벌어진 디스크 부분(125B)이 제공된다. 한 쌍의 액체 금속 수집 홈(125D)이 제공되는데, 회전 디스크(125A)의 각 측방향 측면에 하나씩 마련되어 장치가 작동하지 않을 때에 액체 금속 조립체로부터 배출되는 액체 금속을 수집한다. 벌어진 디스크 부분(125B)은, 대안으로서, 액체 수집을 향상시키기 위해 언더컷 가공할 수 있다. 액체 금속의 손실을 방지하기 위해 격납 조립체의 벽(125F)들과 회전 축(125C) 사이에 유체 시일(125E)들이 제공된다.
- [0366] 도 126은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 구동 자석 및 저온 유지 장치 경계부가 구비된 완전한 회전자 및 브러시 조립체의 단면도이다.
- [0367] 도 127은 저마모성 자성 유체 시일(127C)을 사용하여 최종 출력 축(127B)을 밀봉하면서, 회전자 및 저온 유지 장치 조립체 둘레에 외부 경계벽(127A)에 의해 한정된 밀봉된 불활성 분위기를 만드는 하나의 가능한 구현예를 보이고 있다.
- [0368] 상기 실시예들은 단지 본 발명을 예시할 목적으로만 제공된 것이며, 관련 기술 분야에 숙련된 자들에게 명백한 바와 같이, 그 실시예들에 대한 추가 변경 및 개선은 본 명세서에 기재된 본 발명의 광의의 범위 및 영역 내에 포함되는 것으로 간주된다.

도면

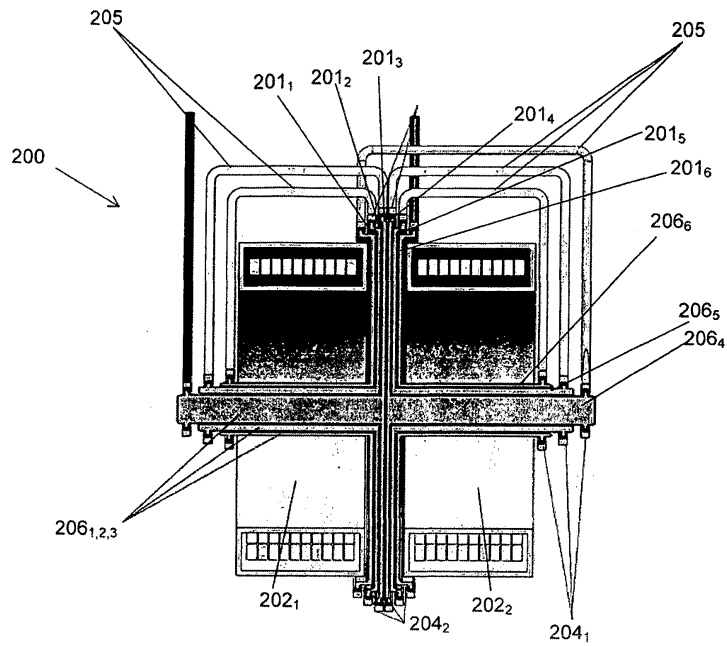
도면1a



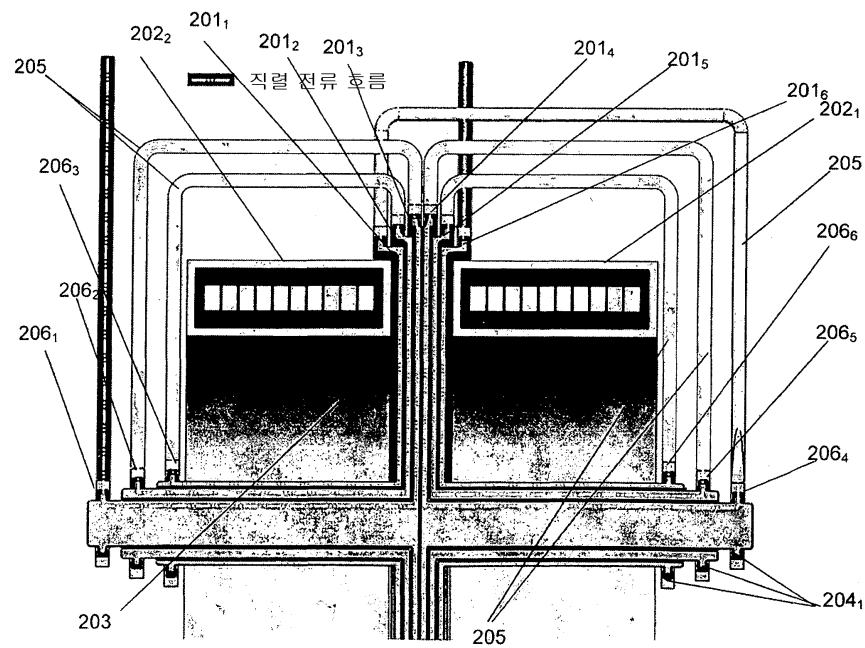
도면1b



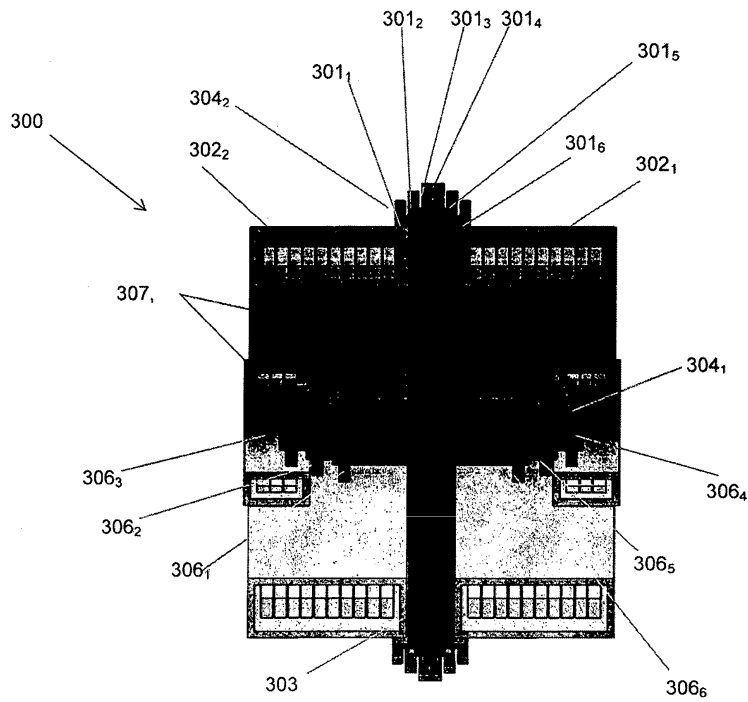
도면2a



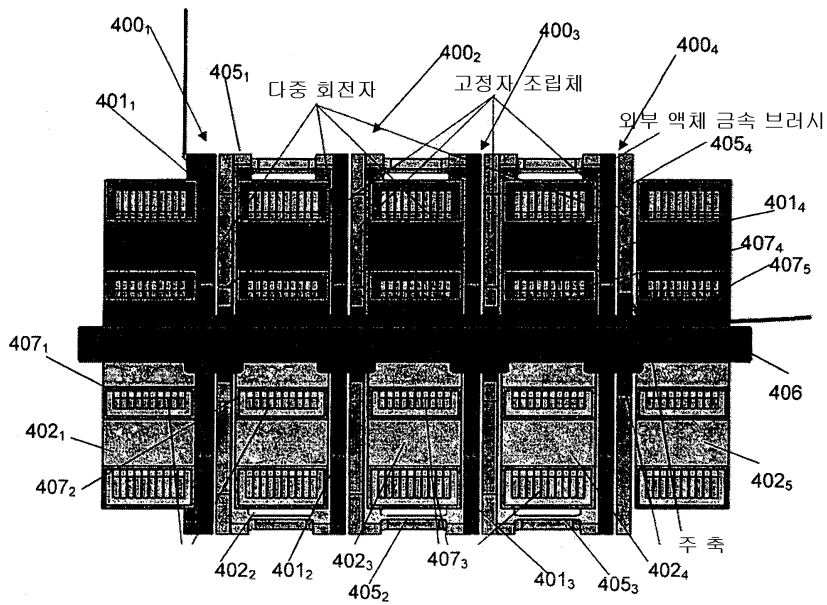
도면2b



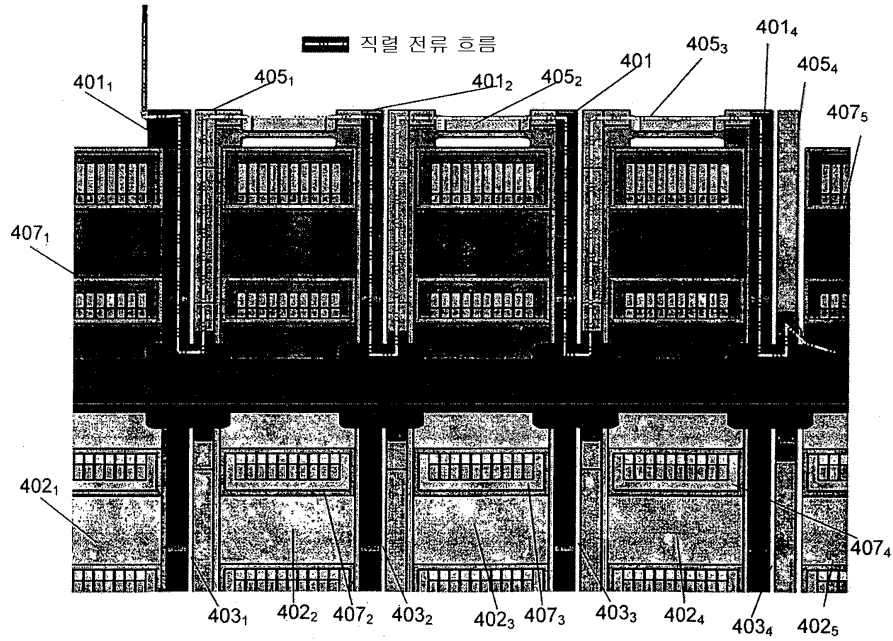
도면3



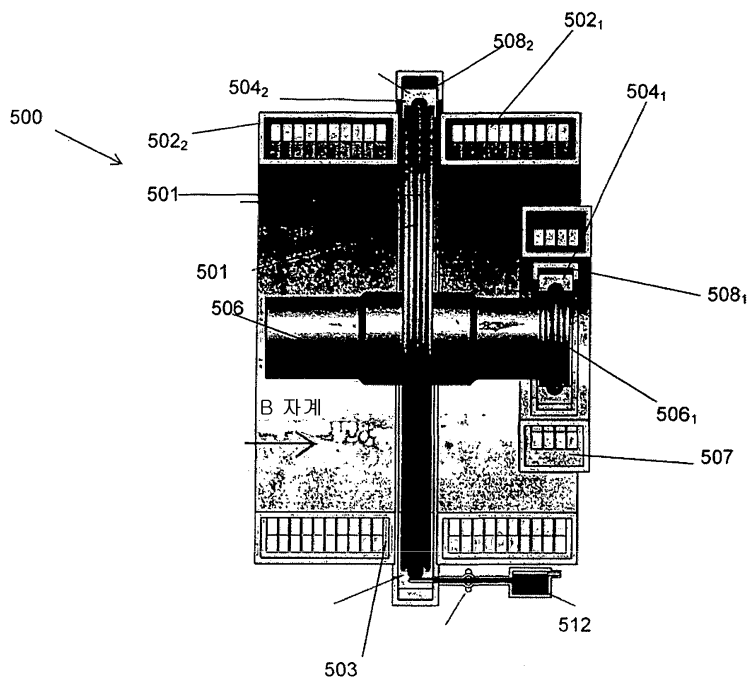
도면4a



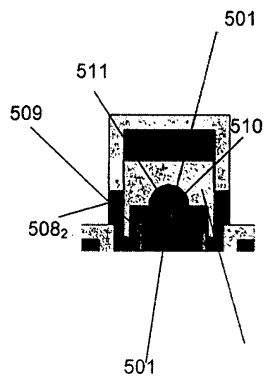
도면4b



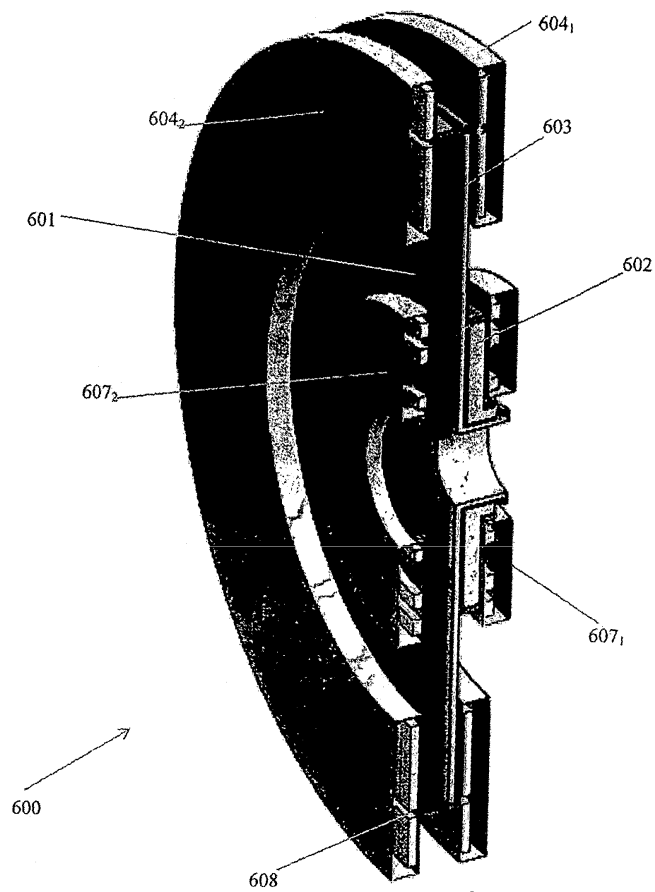
도면5a



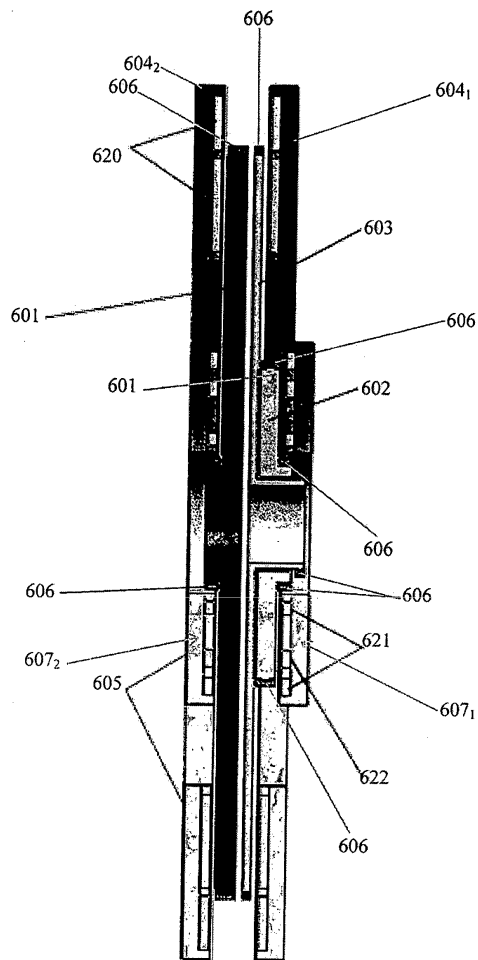
도면5b



도면6a

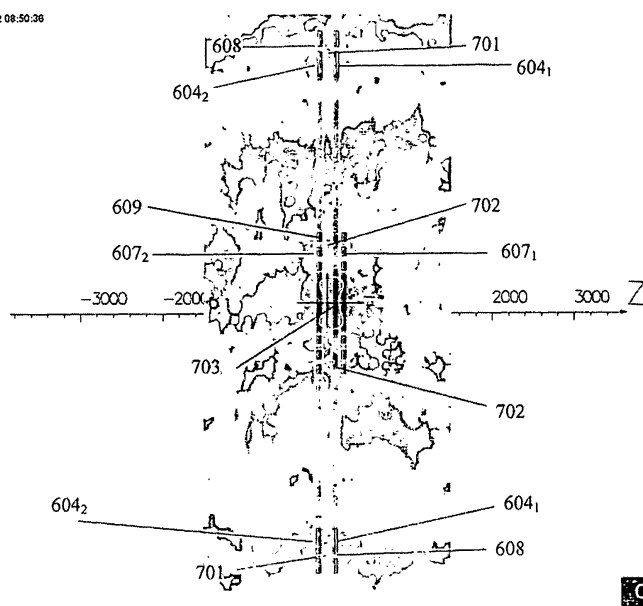


도면6b



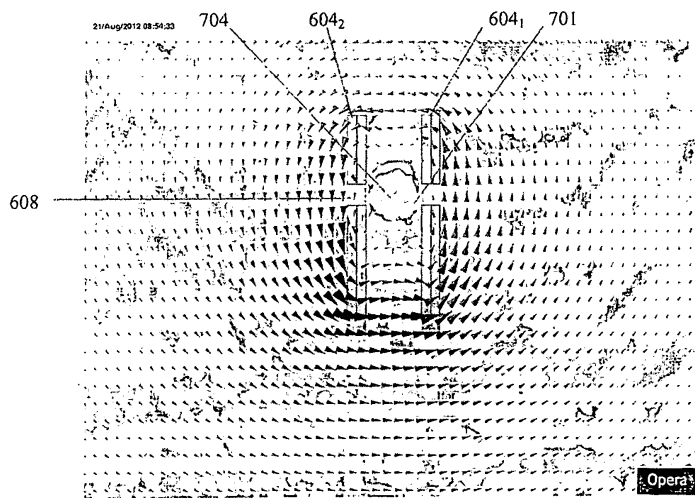
도면7a

21/Aug/2012 08:50:36

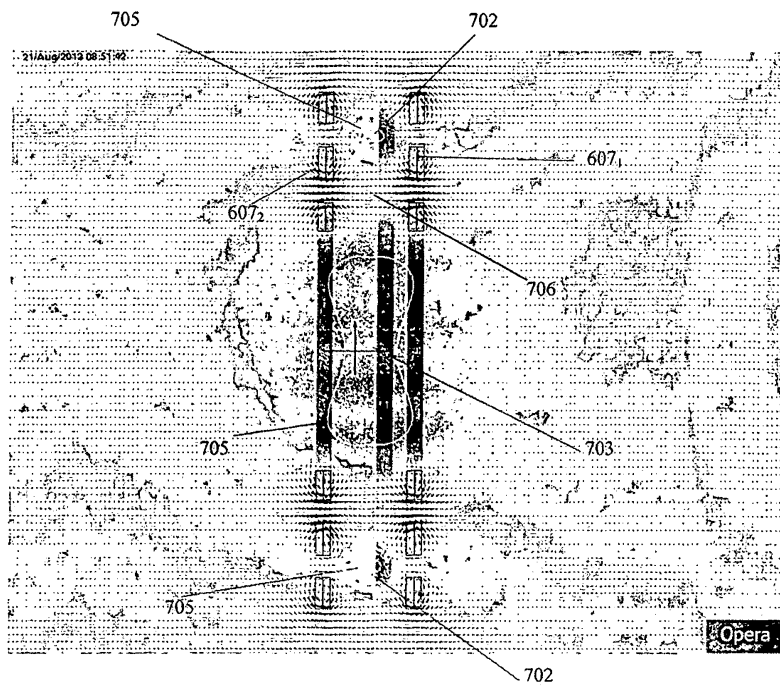


Opera

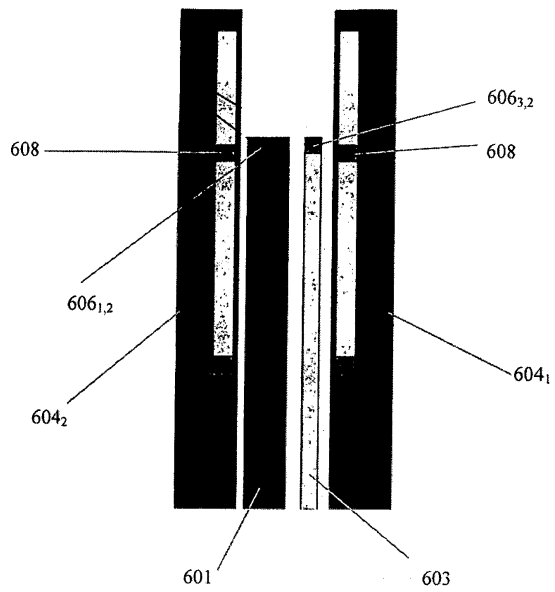
도면7b



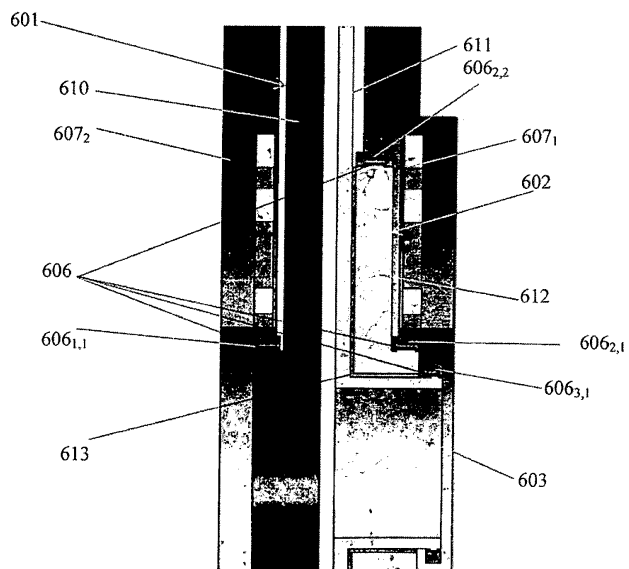
도면7c



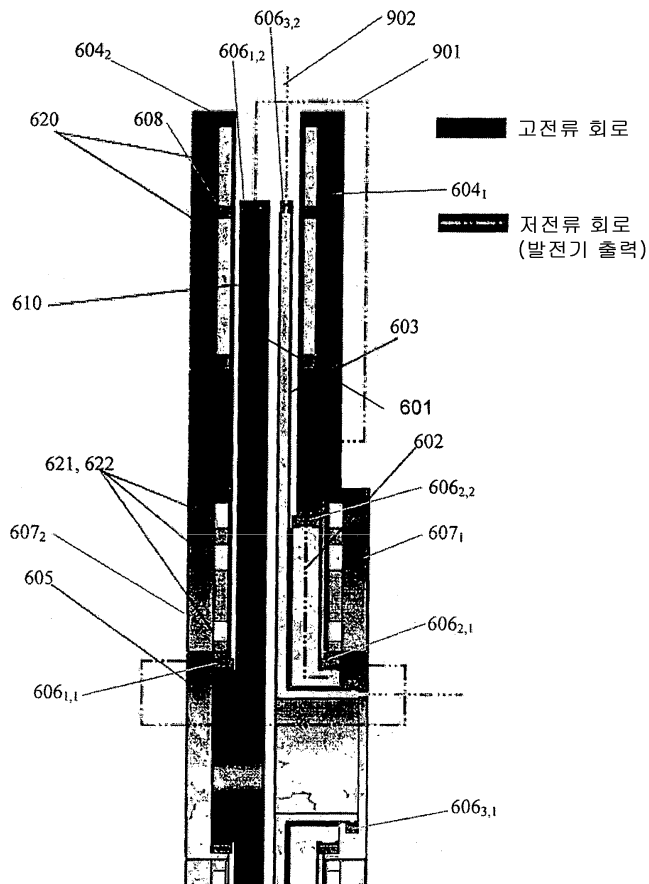
도면8a



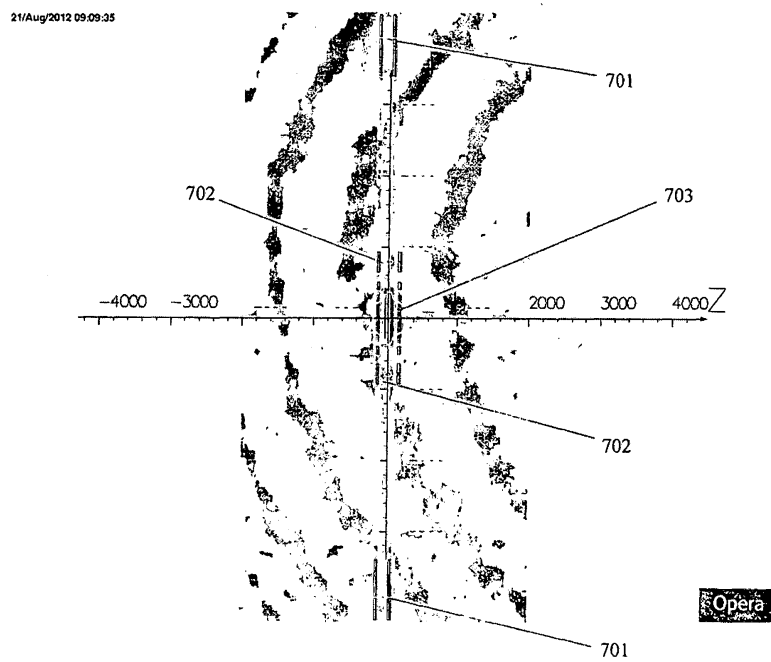
도면8b



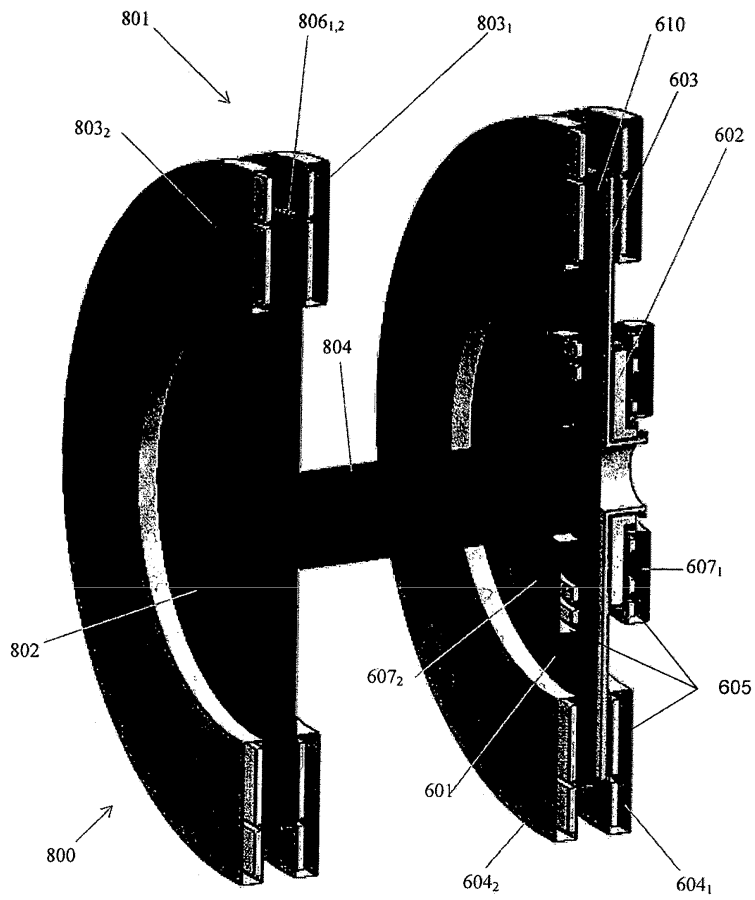
도면9



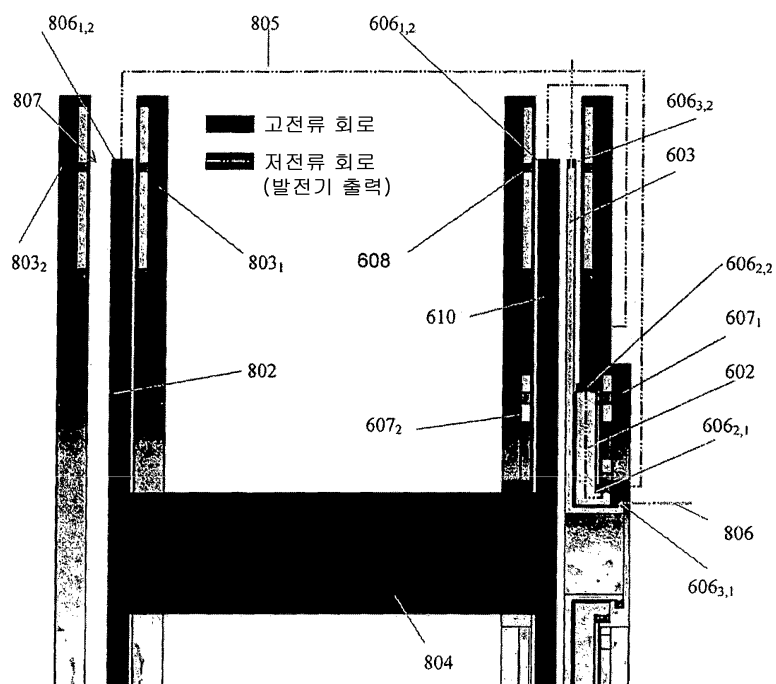
도면10



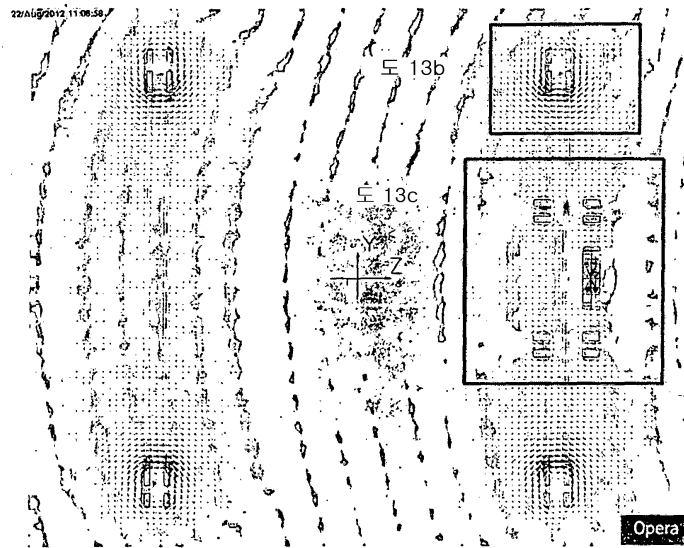
도면11



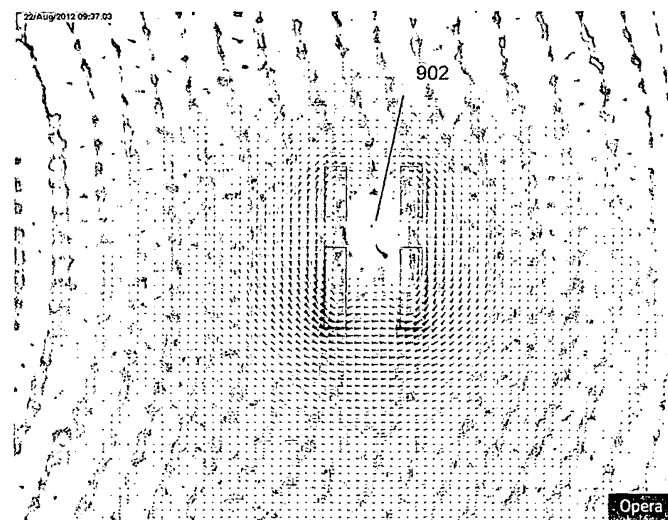
도면12



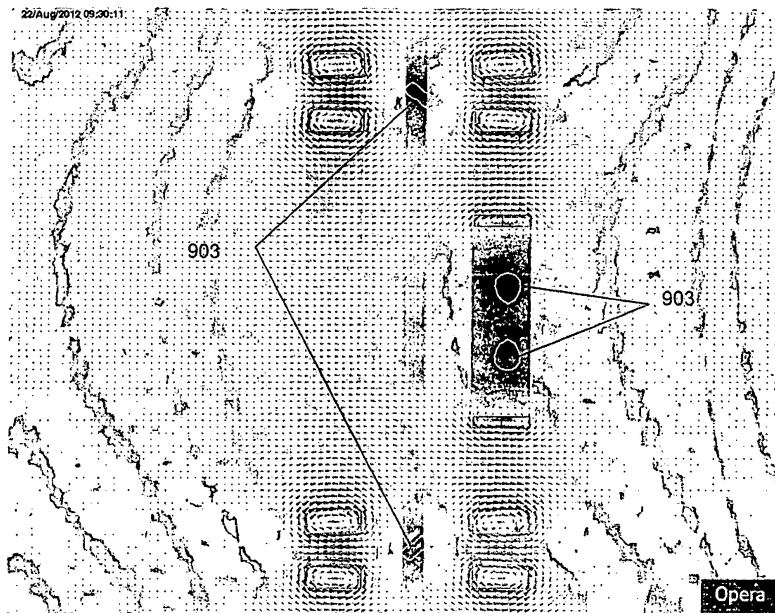
도면13a



도면13b



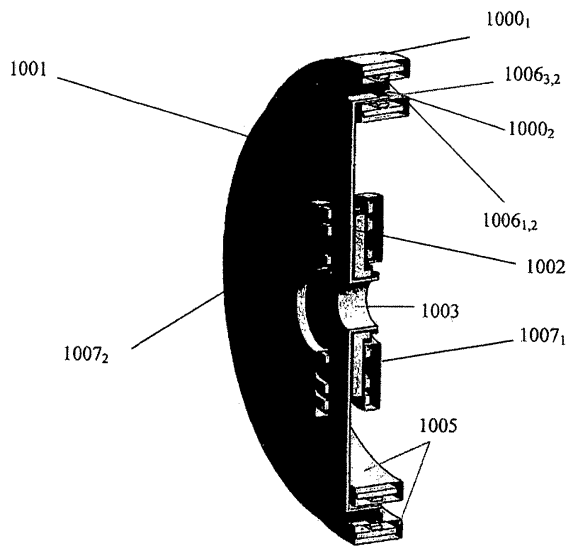
도면13c



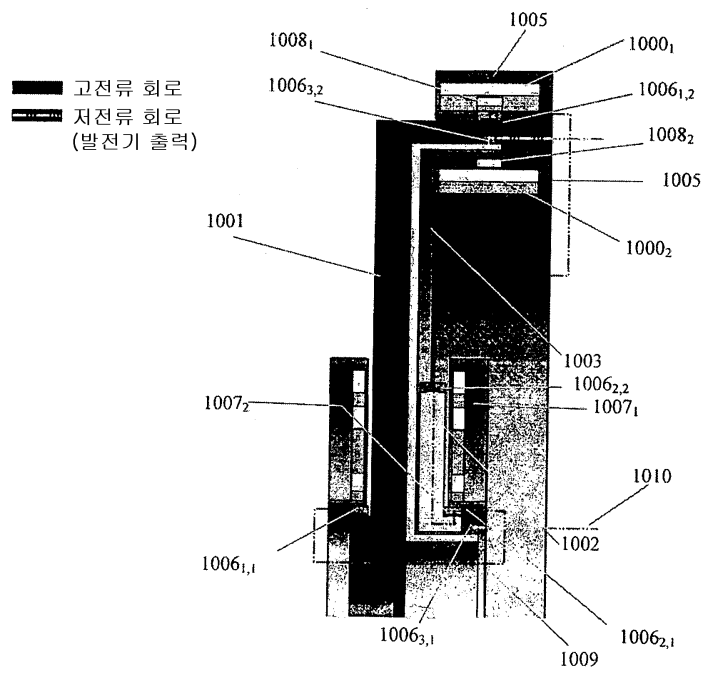
도면14



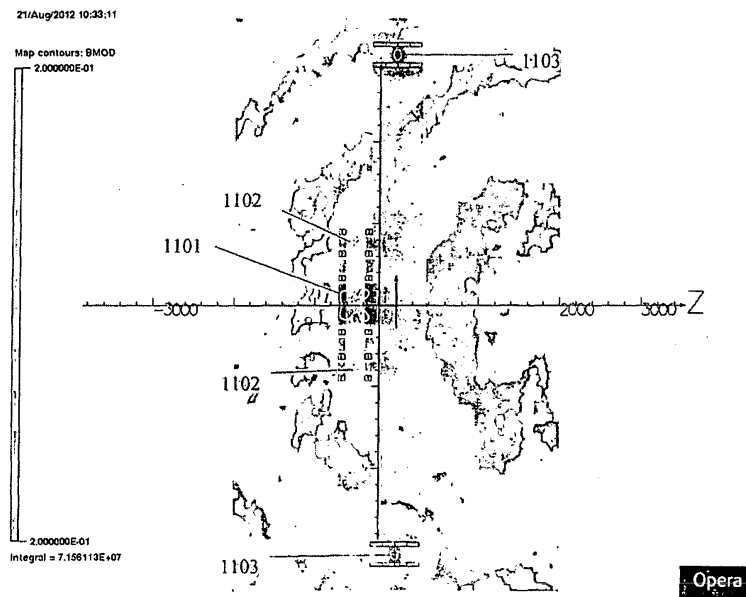
도면15a



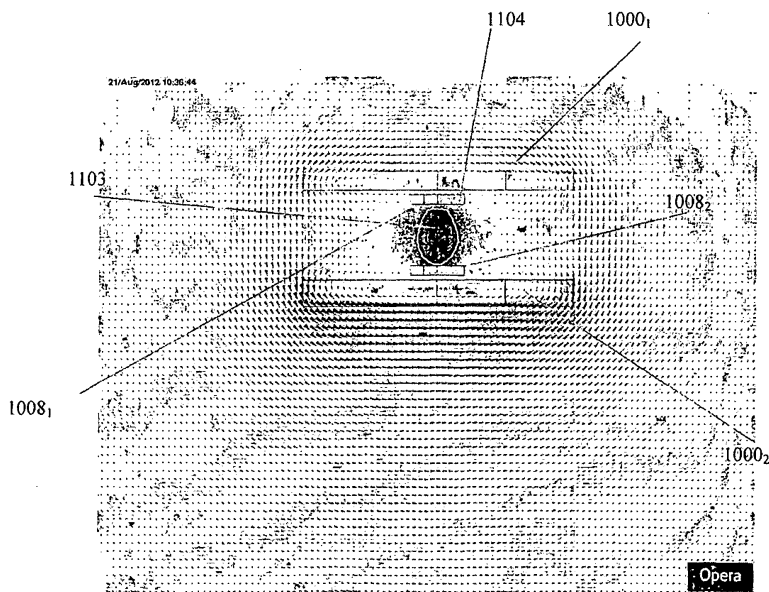
도면15b



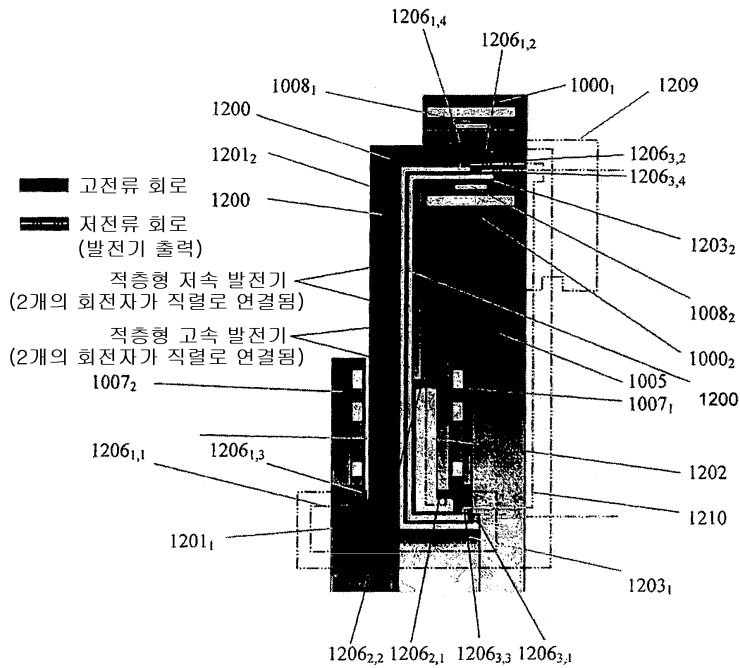
도면16a



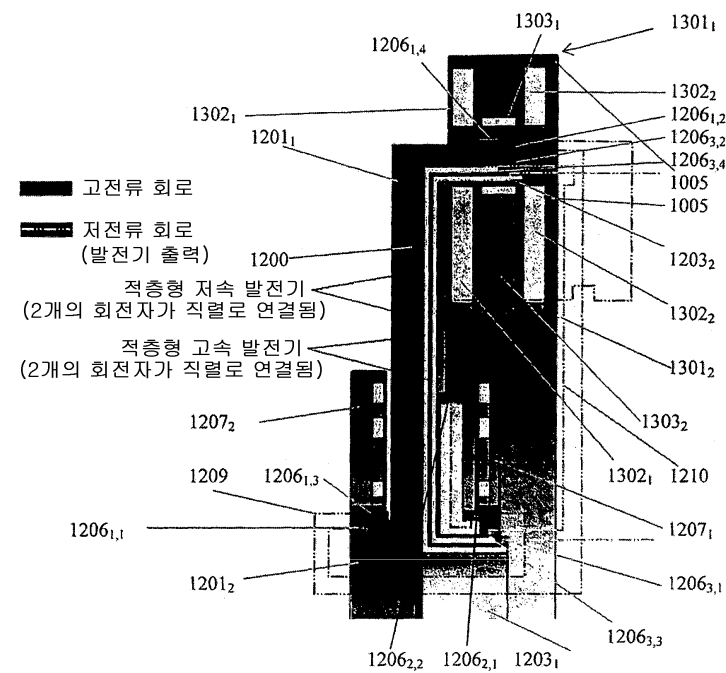
도면16b



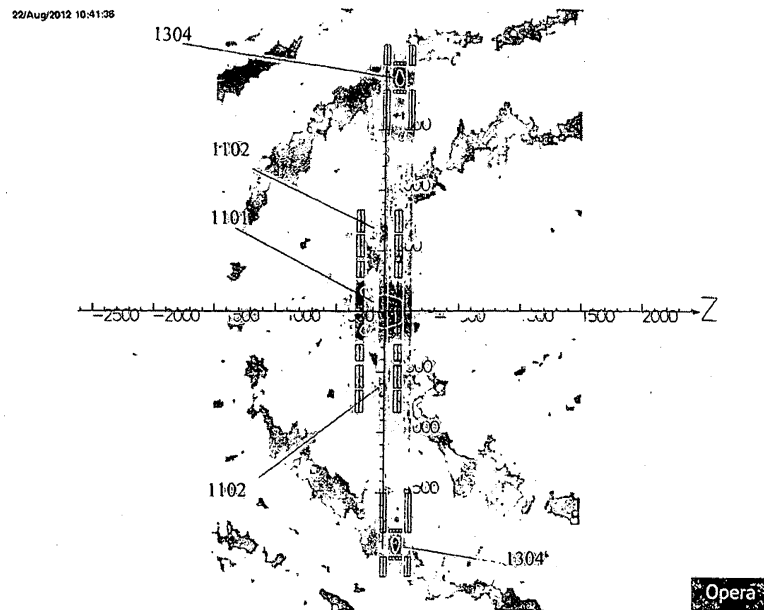
도면18



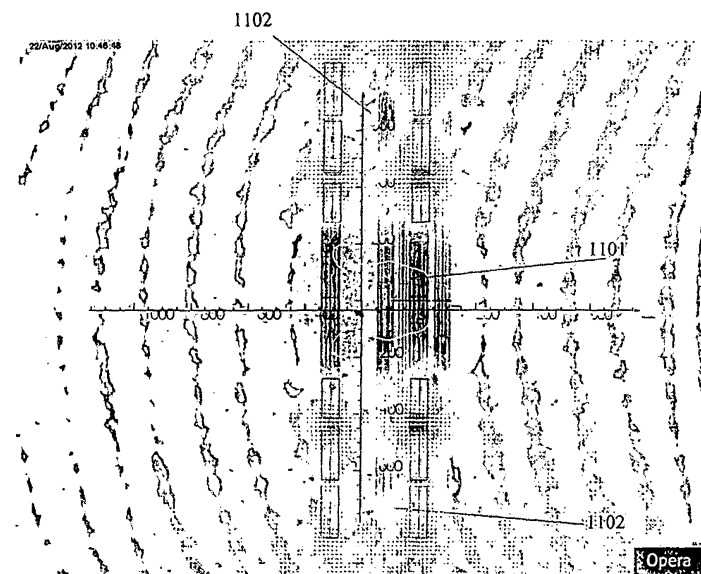
도면19



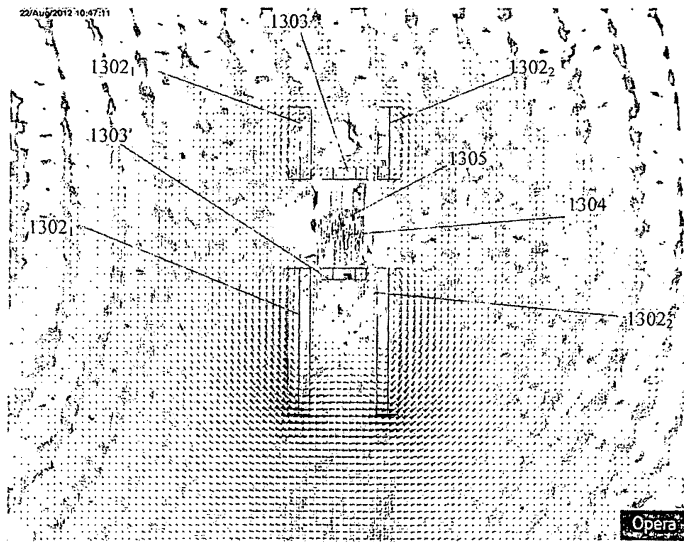
도면20



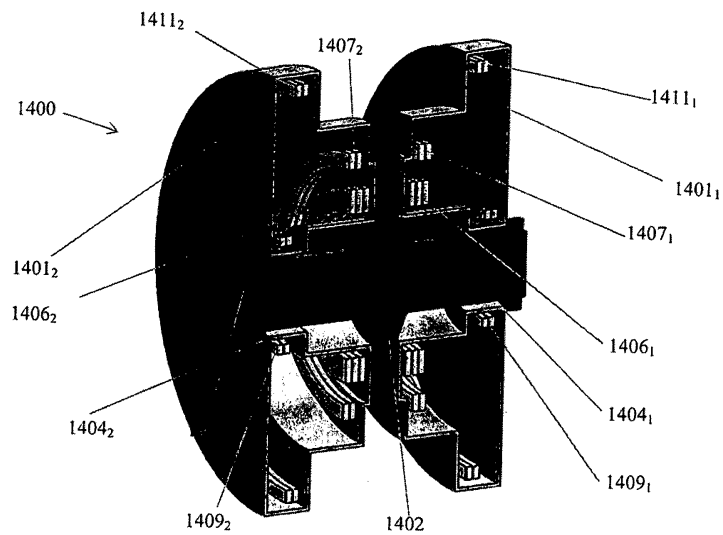
도면21



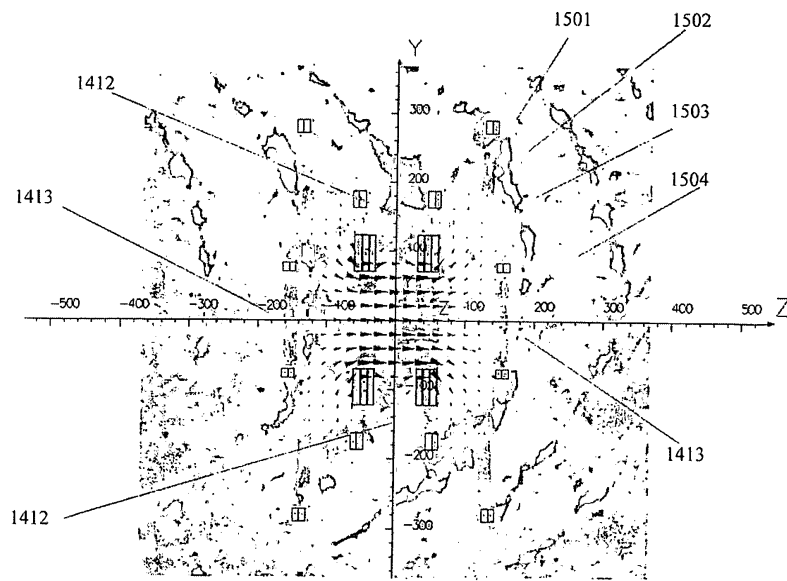
도면22



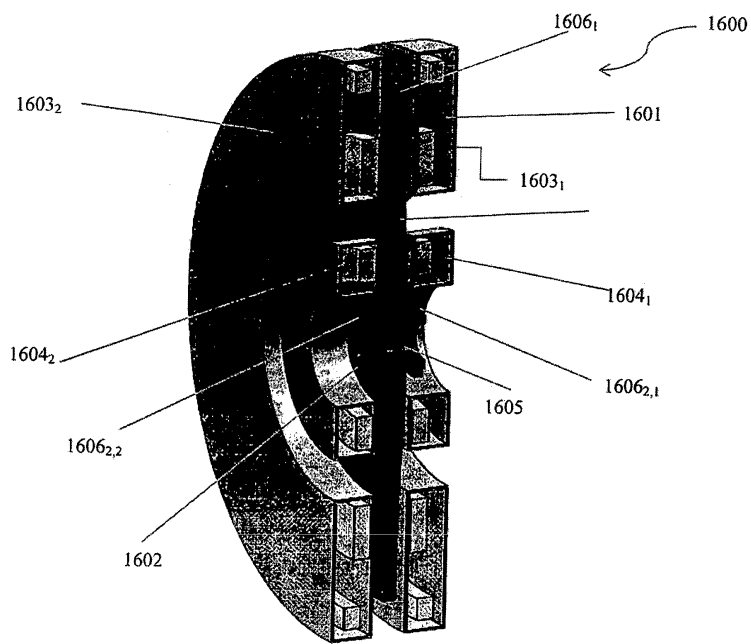
도면23a



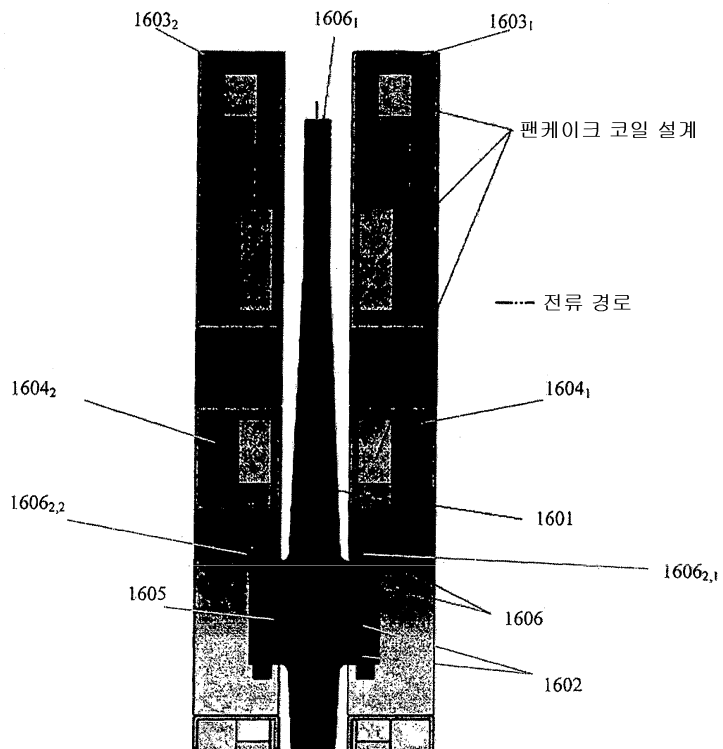
도면24b



도면25a

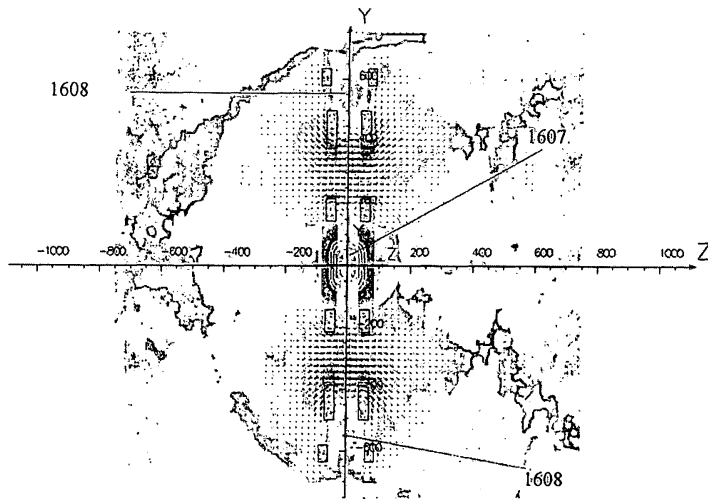


도면25b



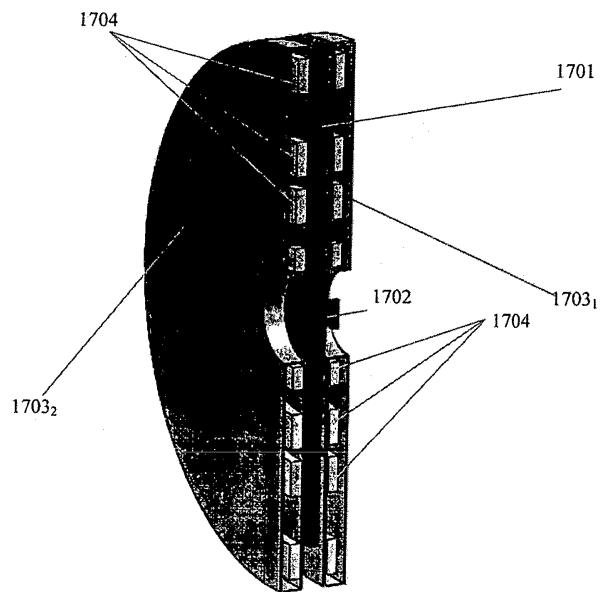
도면26

ig/2012 15:50:19

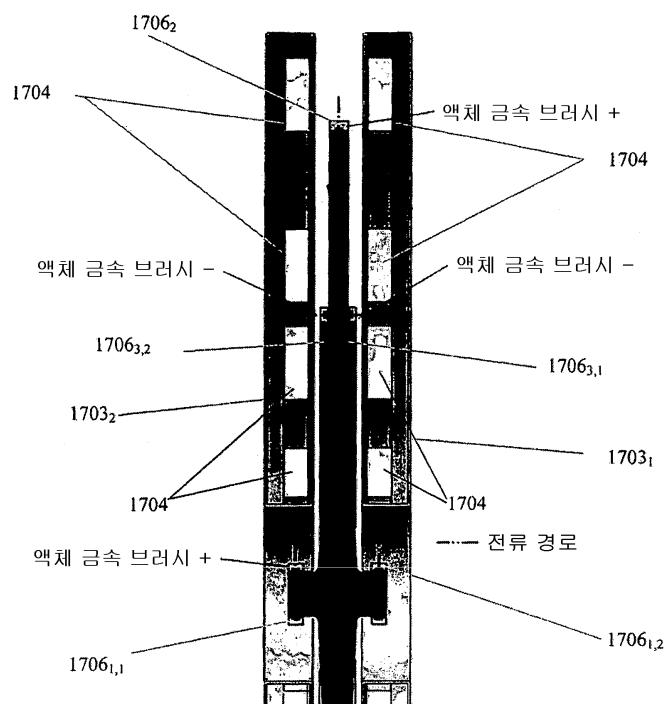


Opera

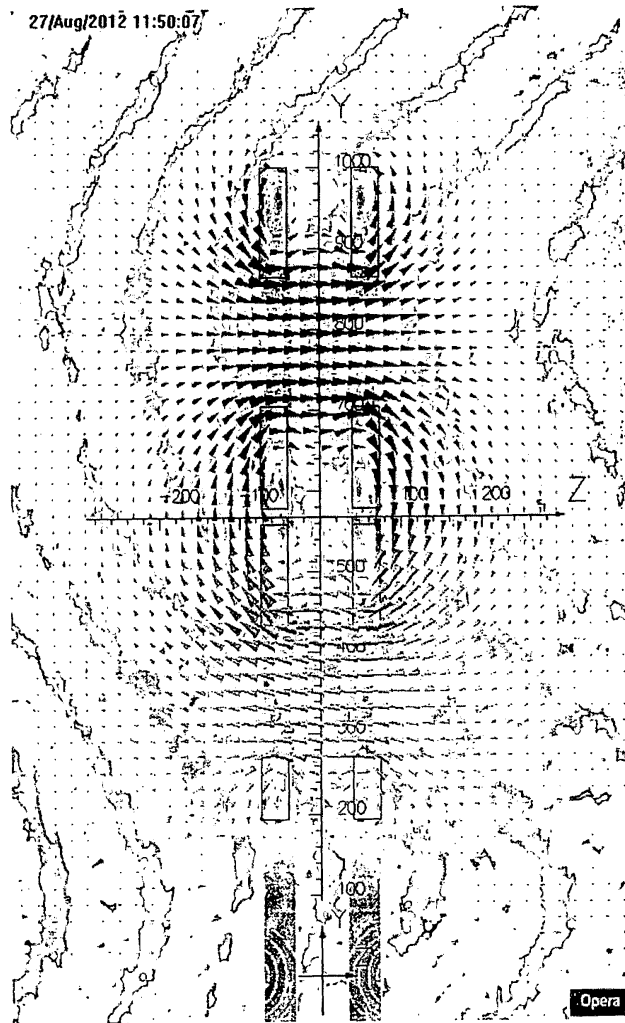
도면27a



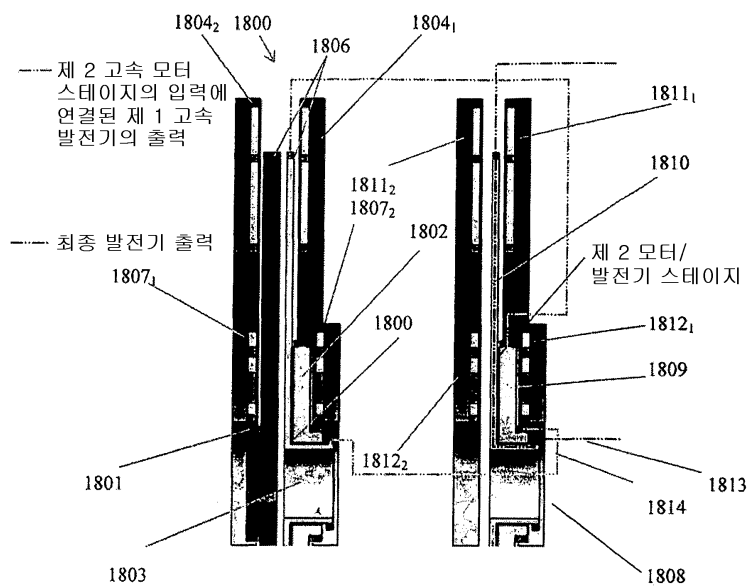
도면27b



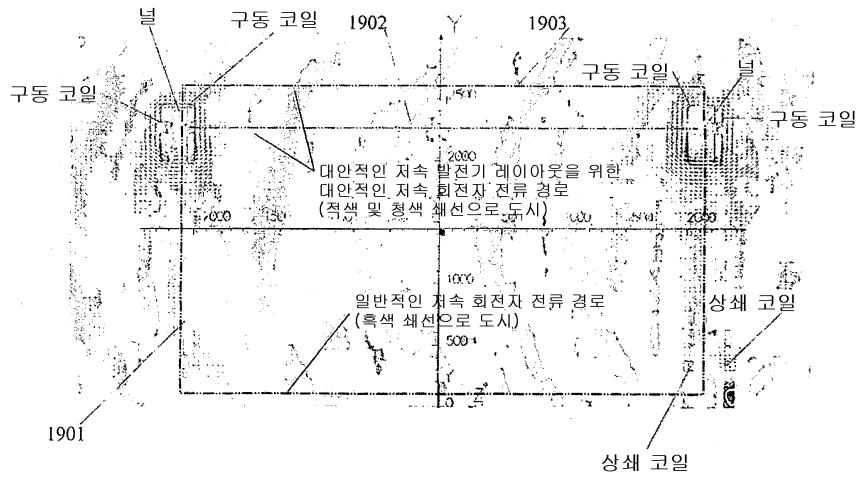
도면28



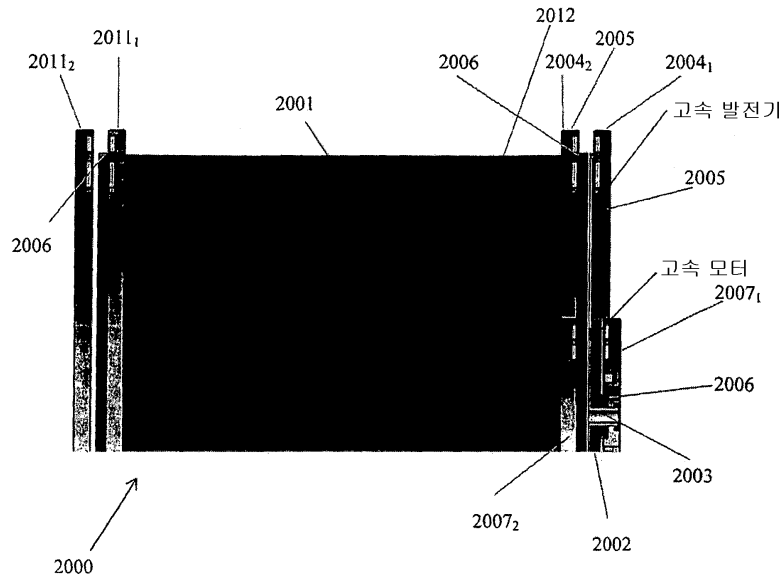
도면29



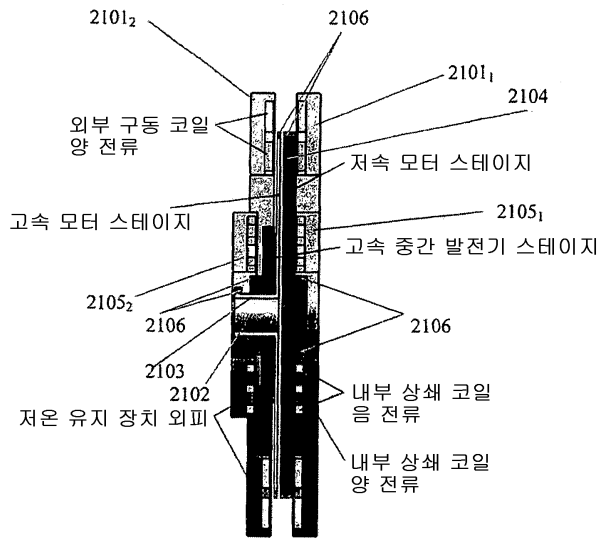
도면30



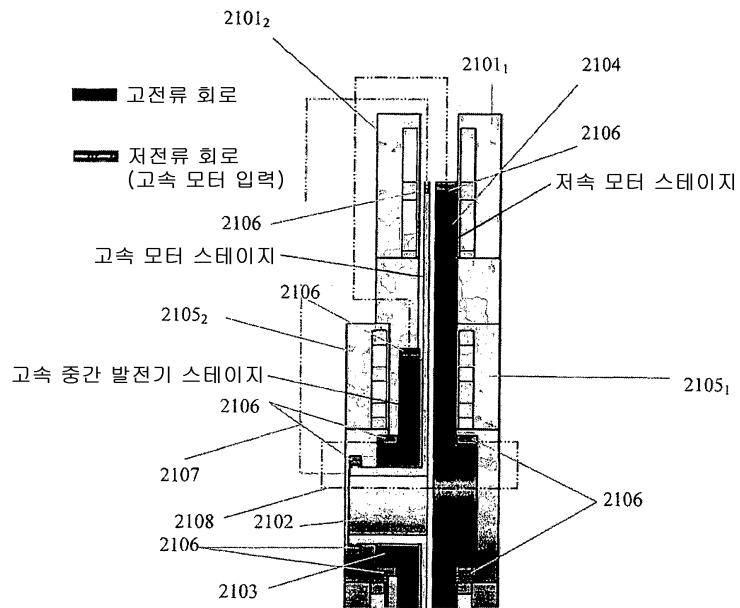
도면31



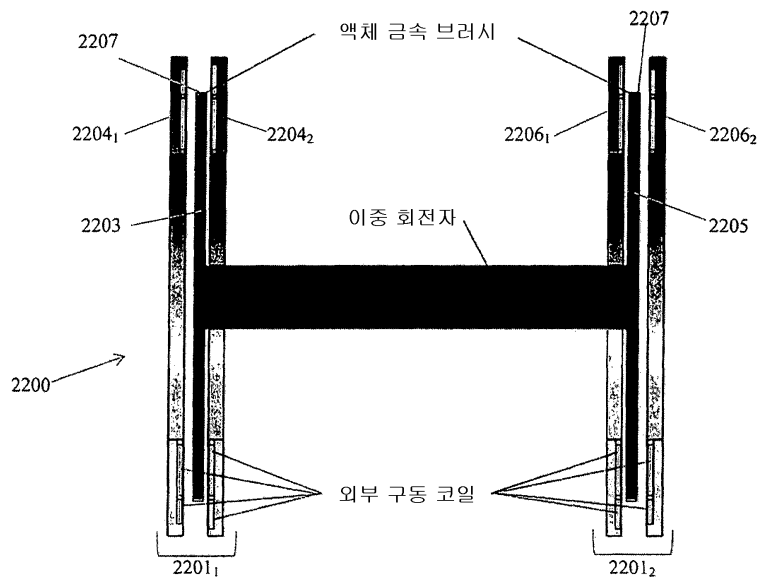
도면32a



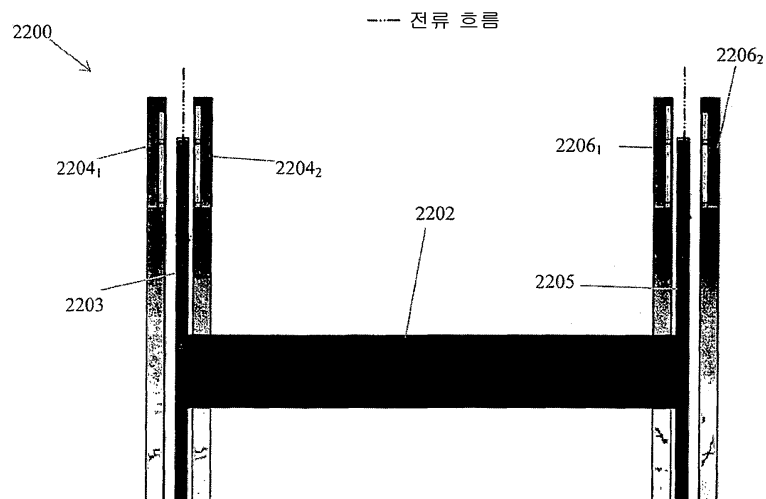
도면32b



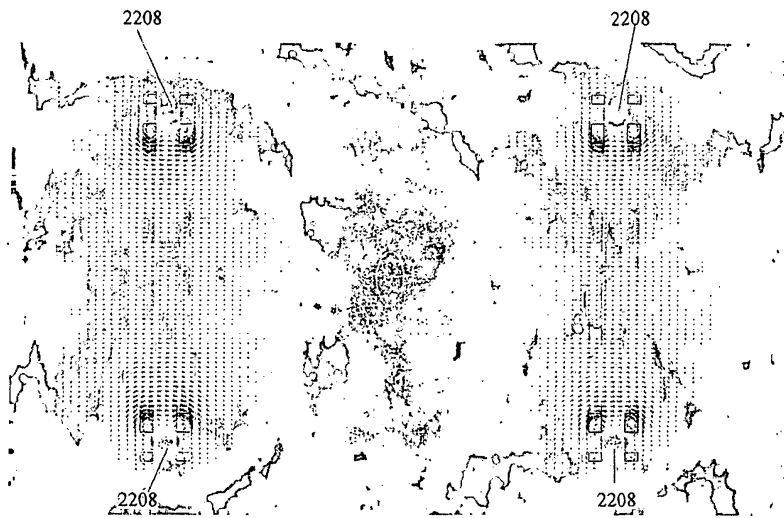
도면33a



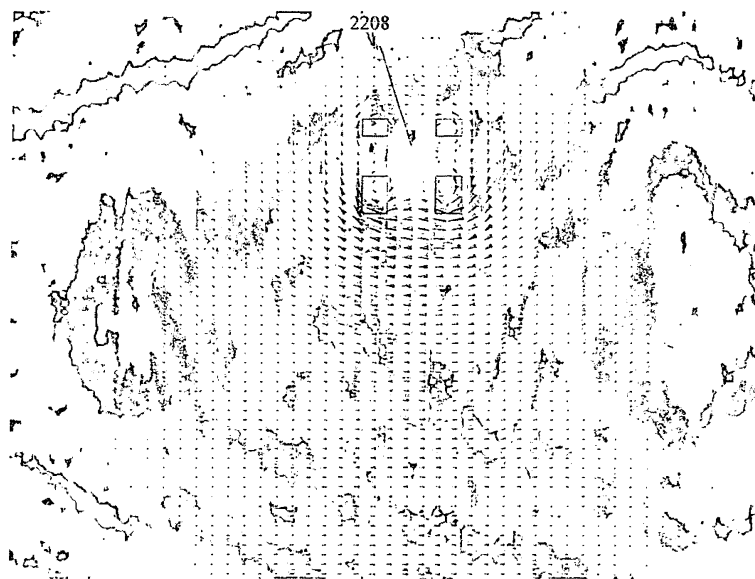
도면33b



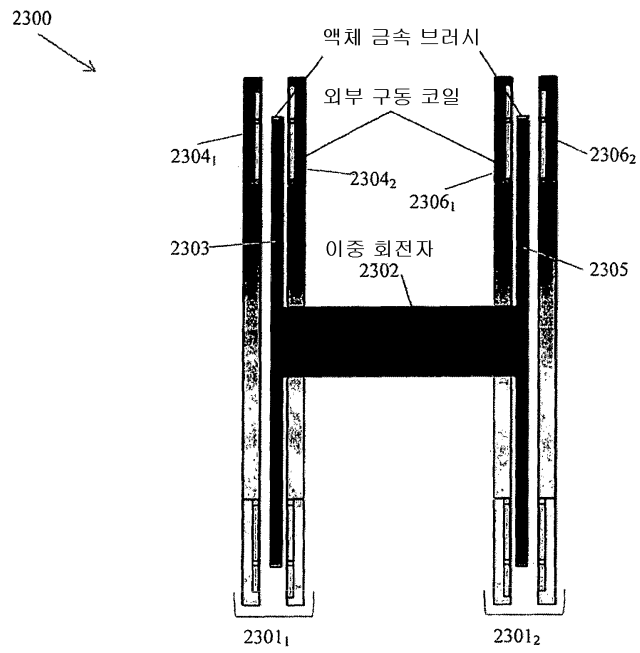
도면34a



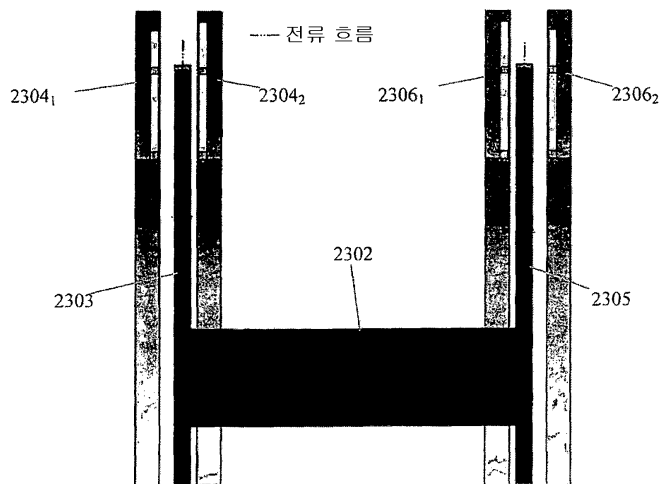
도면34b



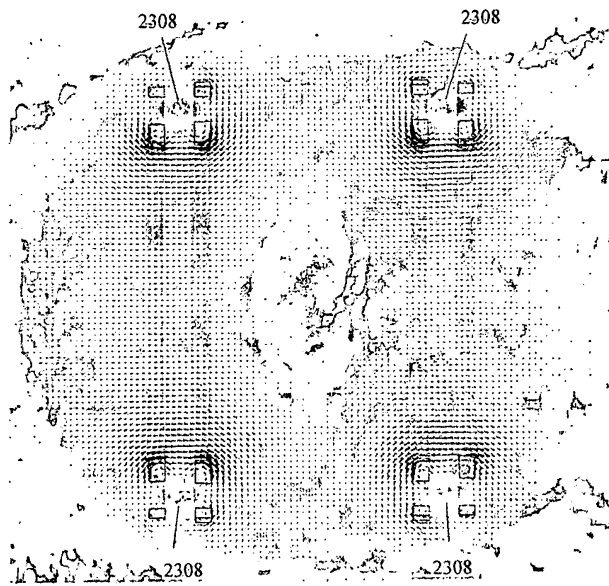
도면35a



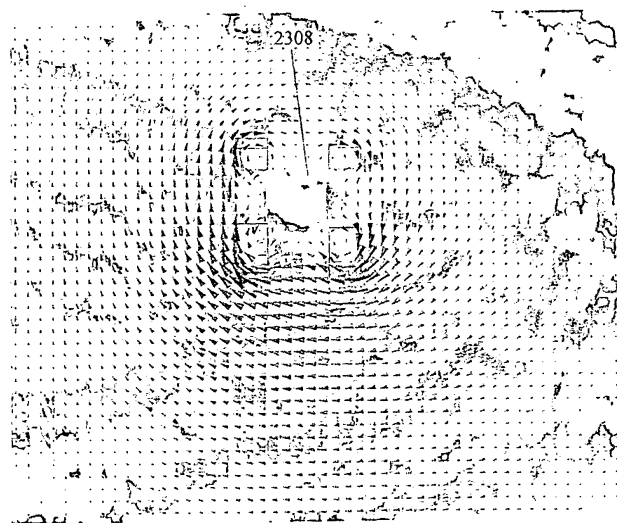
도면35b



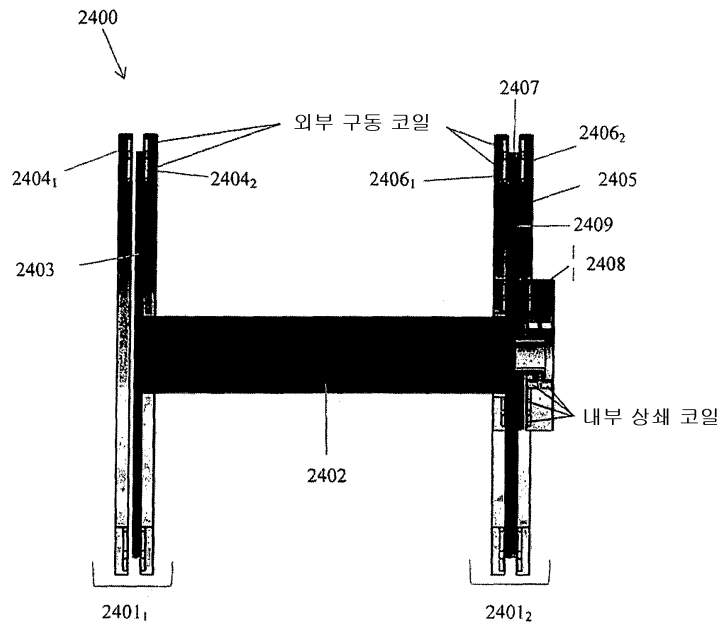
도면36a



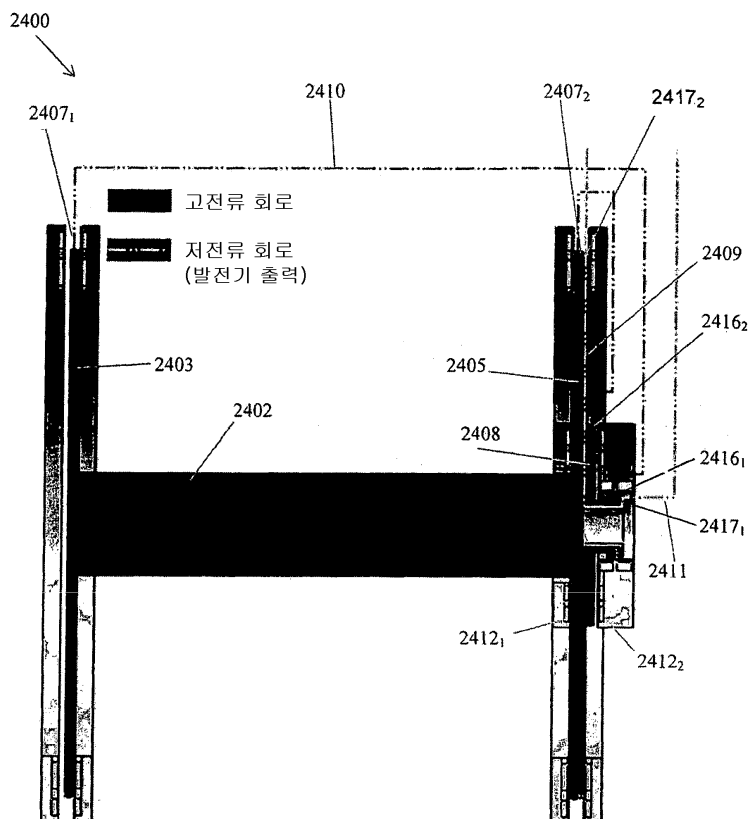
도면36b



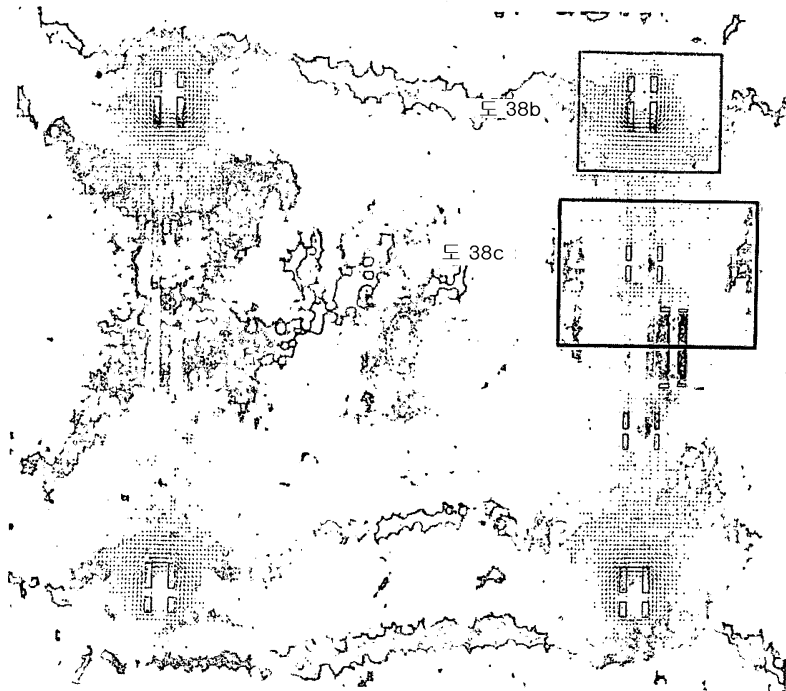
도면37a



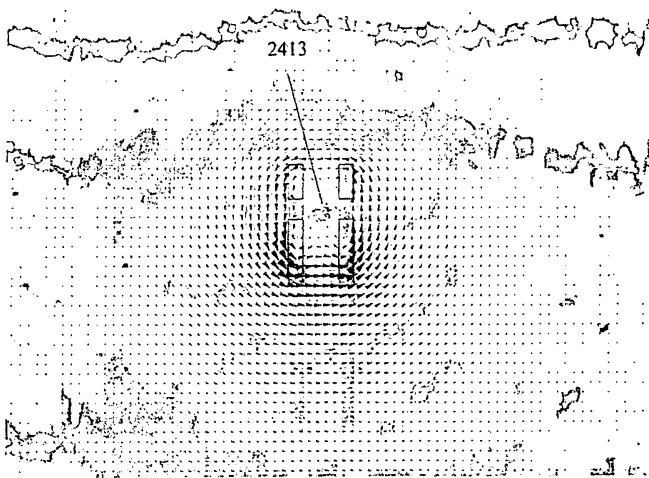
도면37b



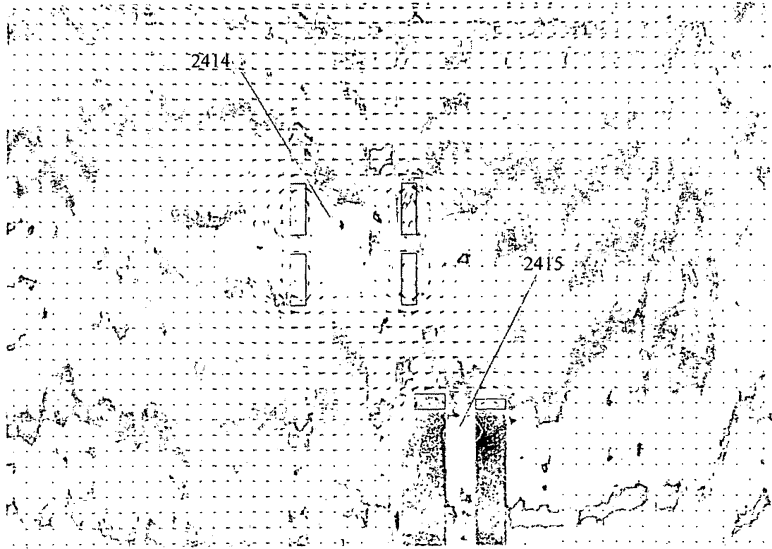
도면38a



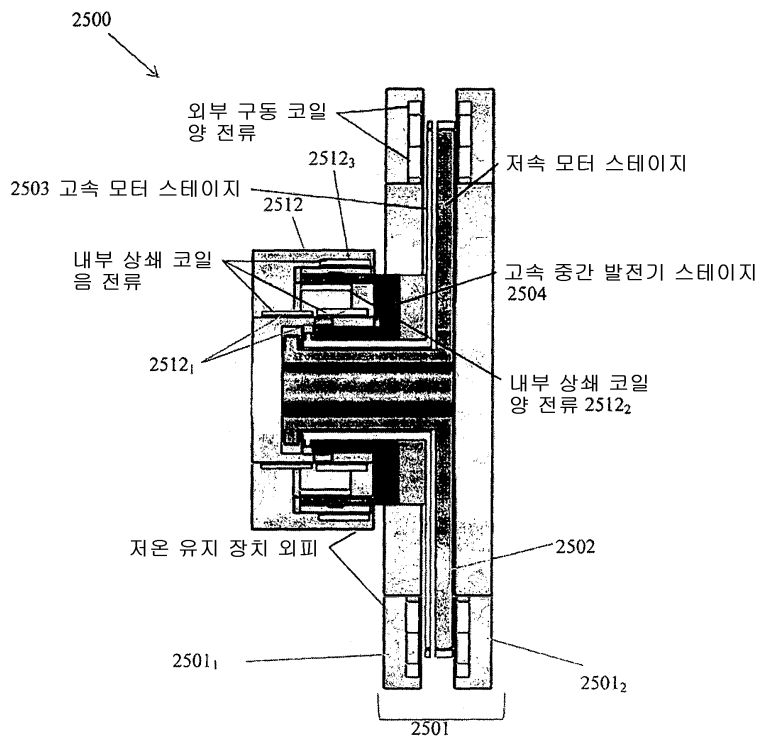
도면38b



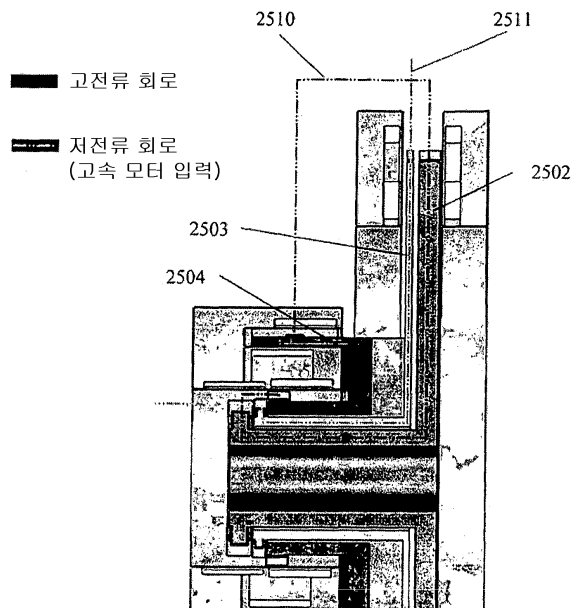
도면38c



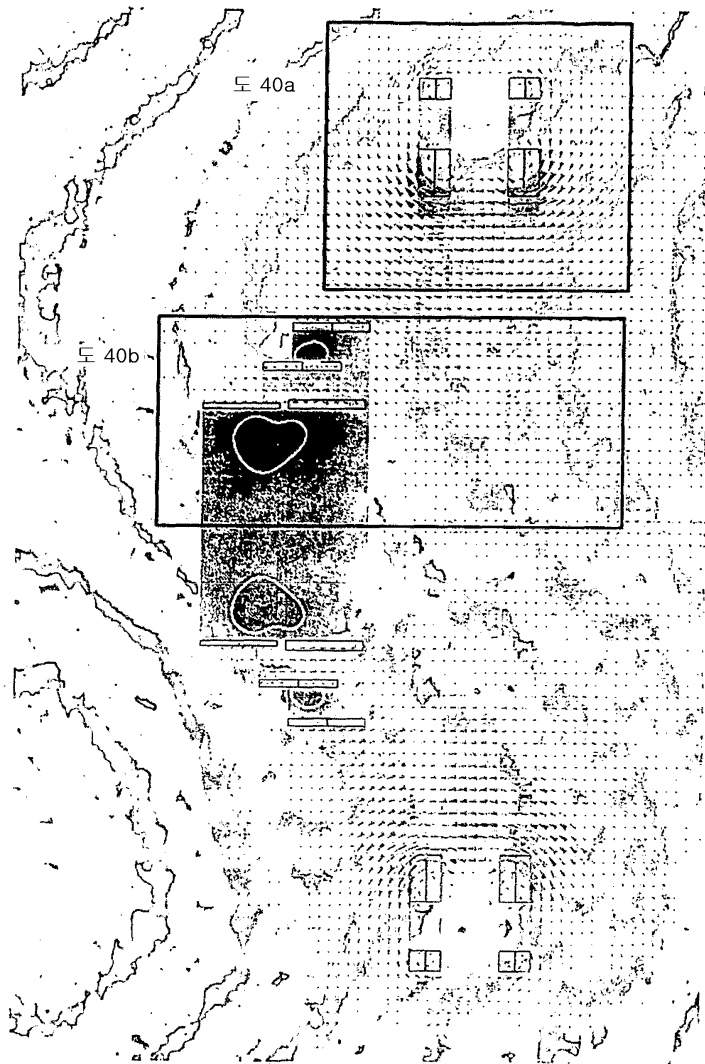
도면39a



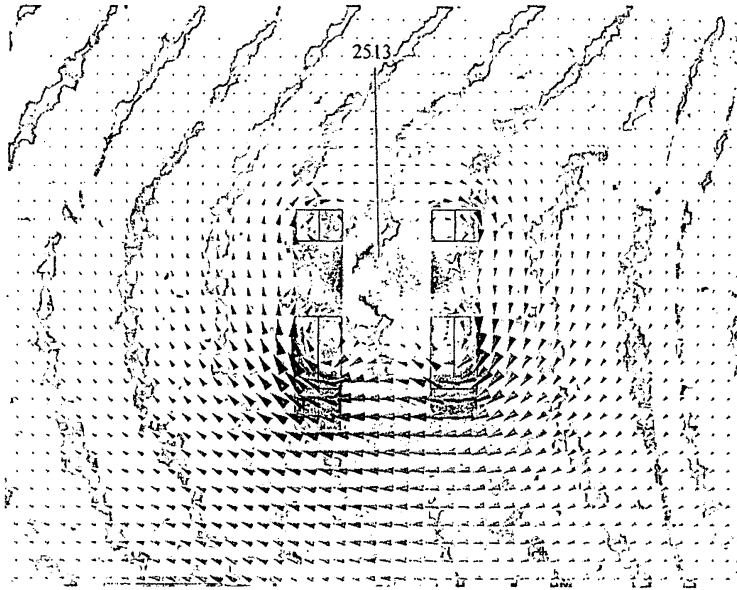
도면39b



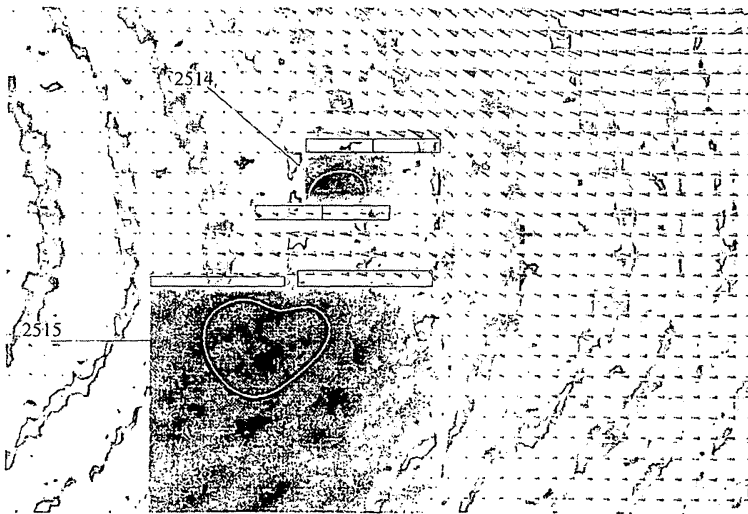
도면40



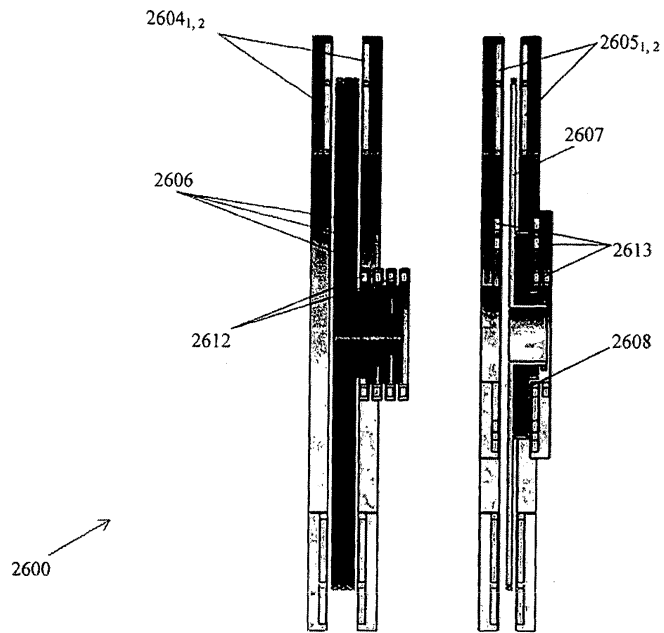
도면40a



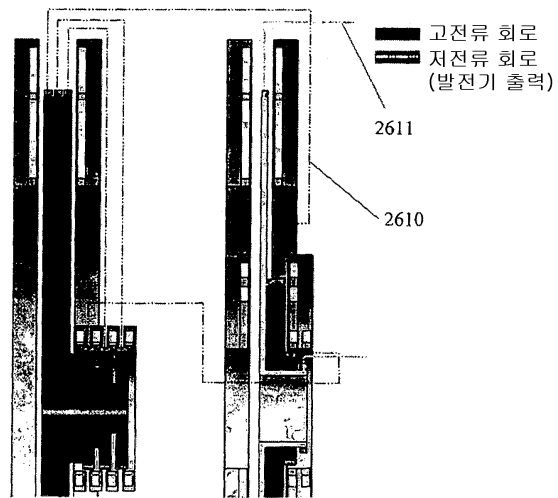
도면40b



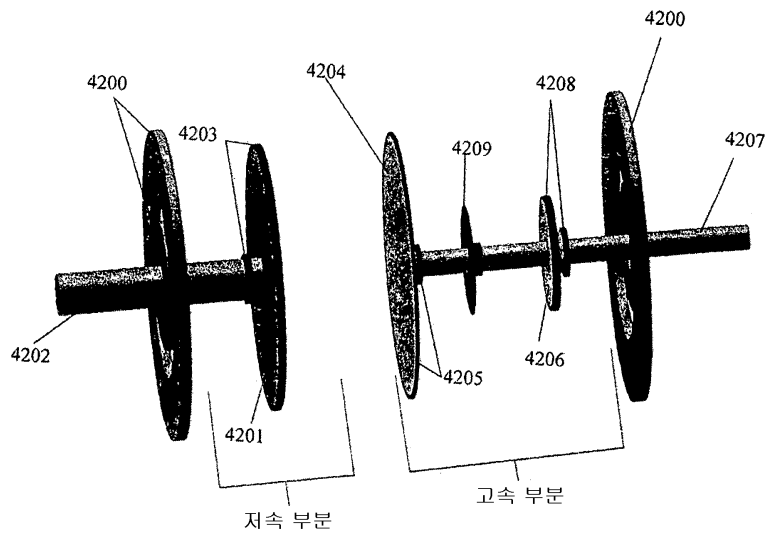
도면41a



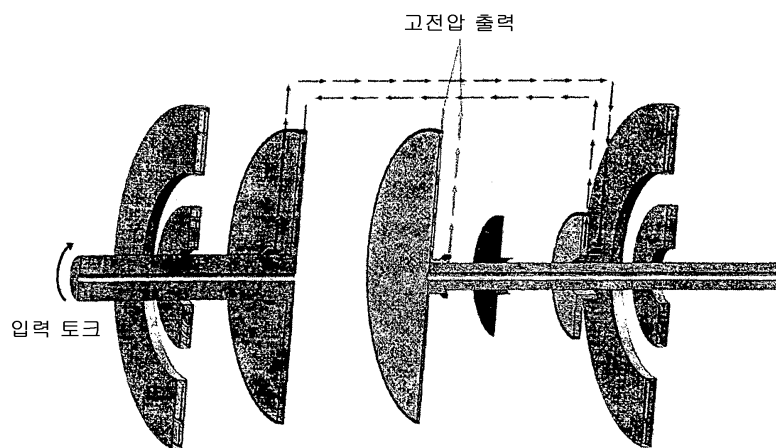
도면41b



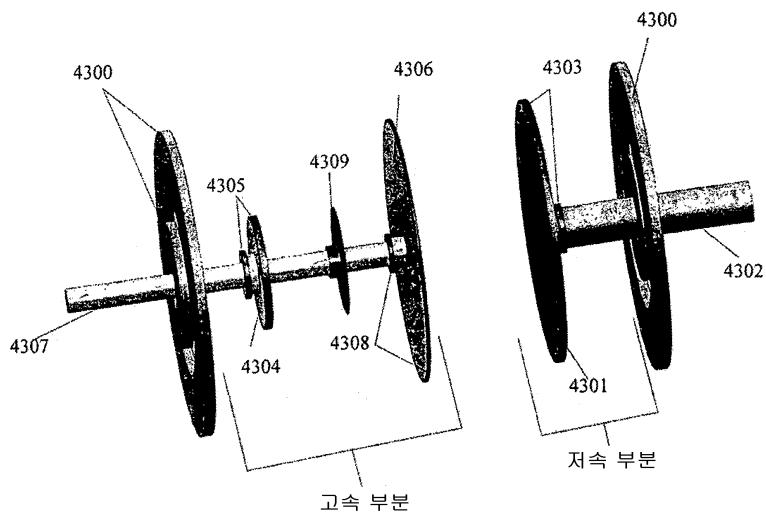
도면42a



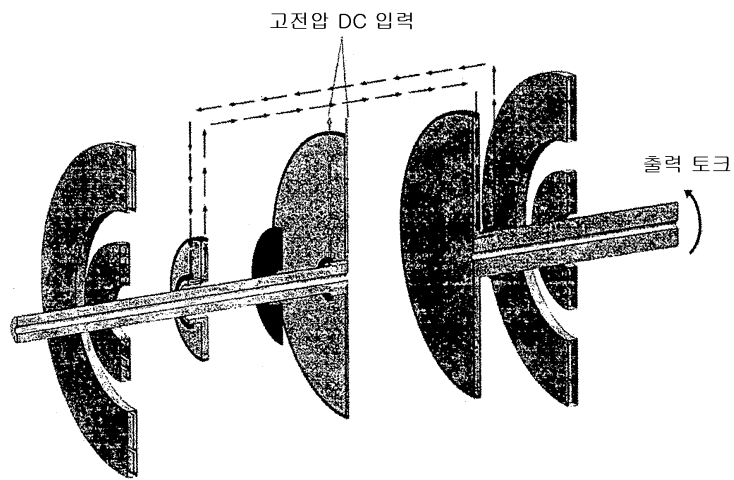
도면42b



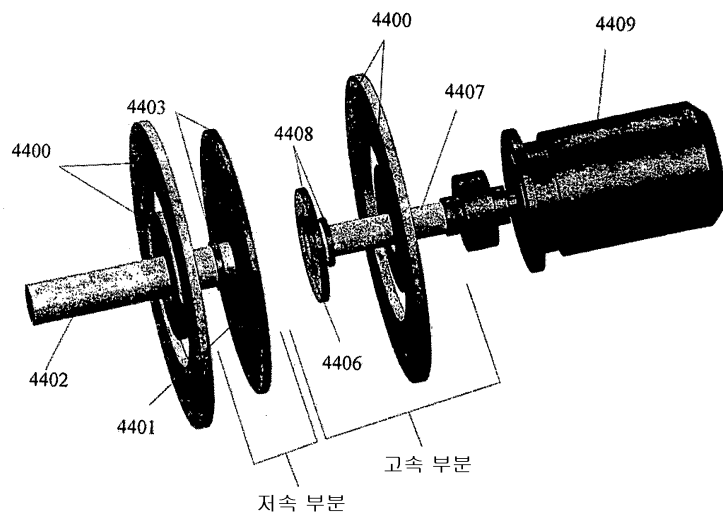
도면43a



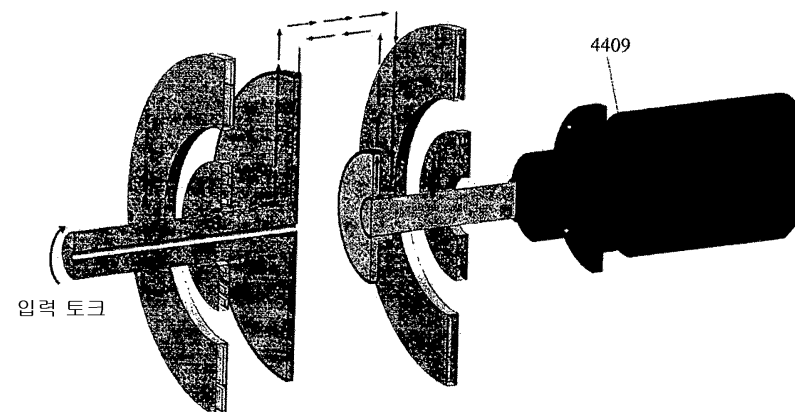
도면43b



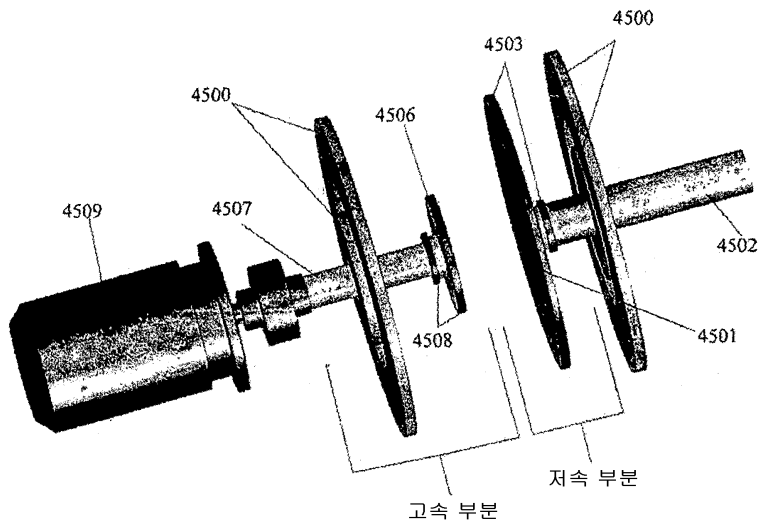
도면44a



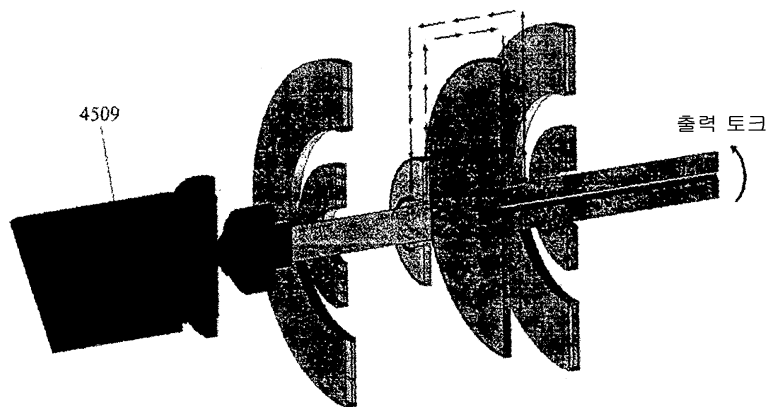
도면44b



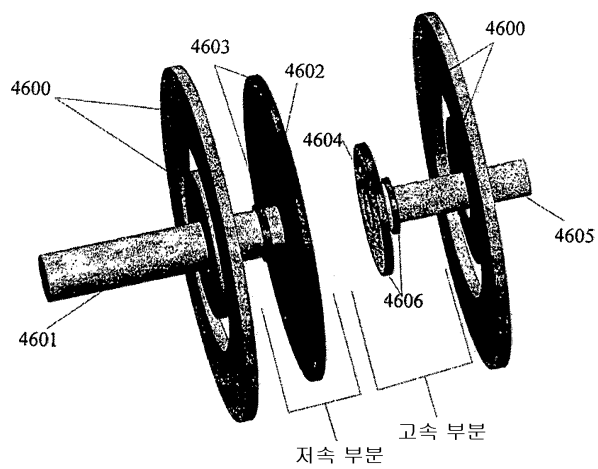
도면45a



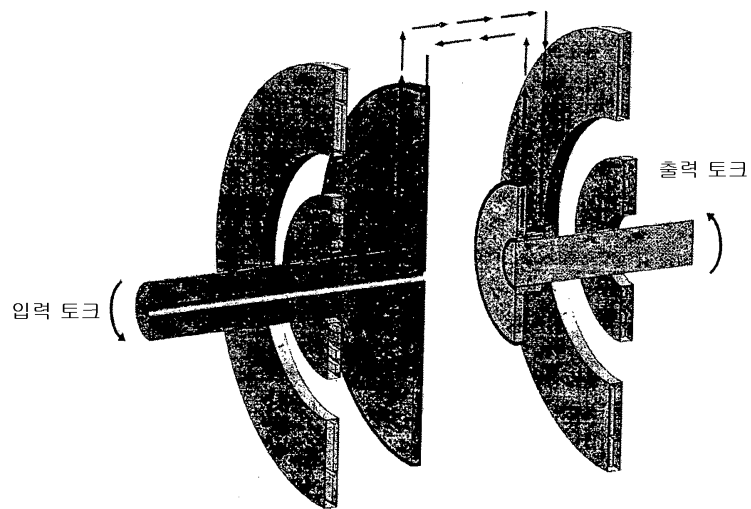
도면45b



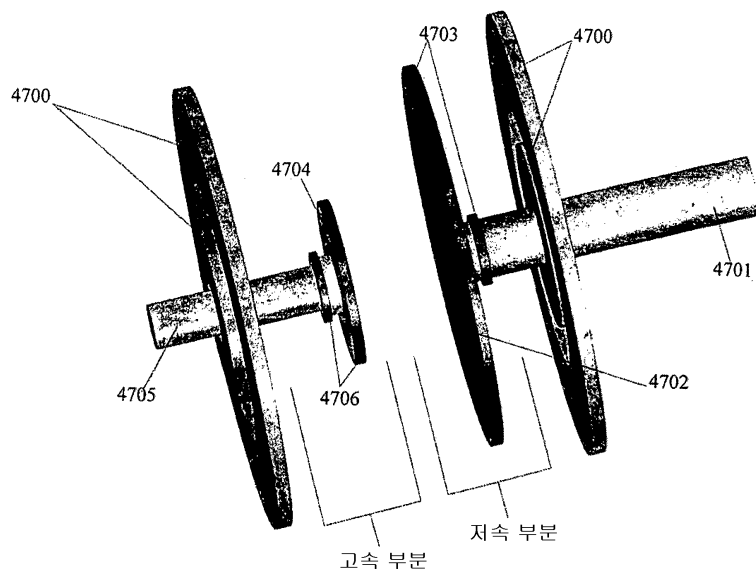
도면46a



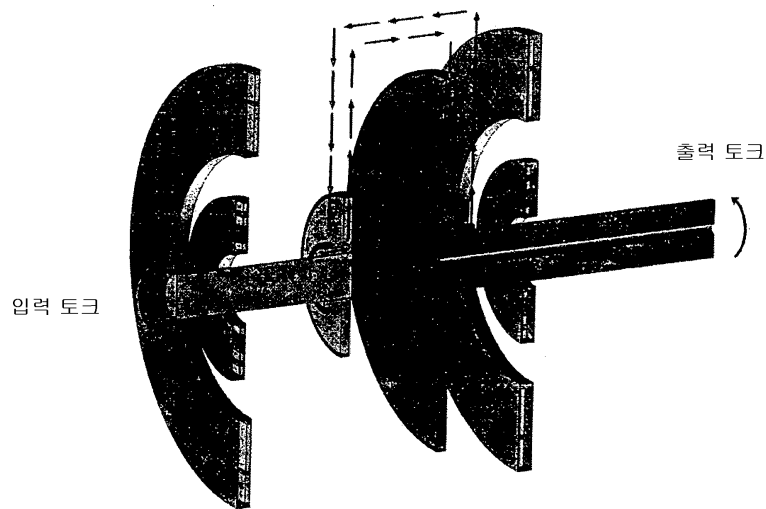
도면46b



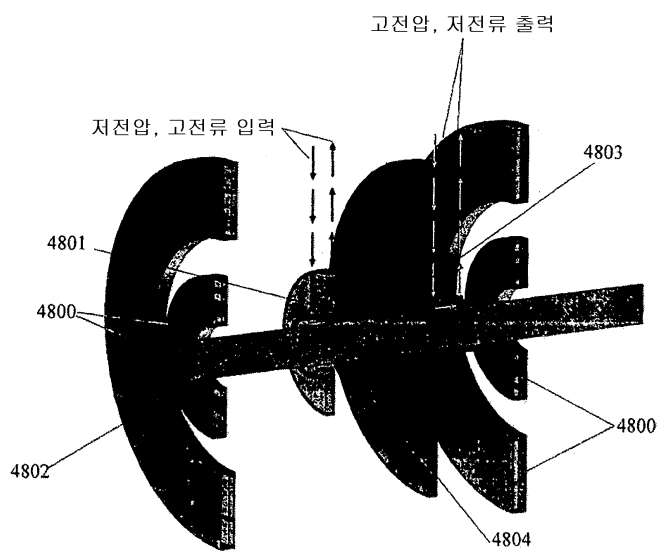
도면47a



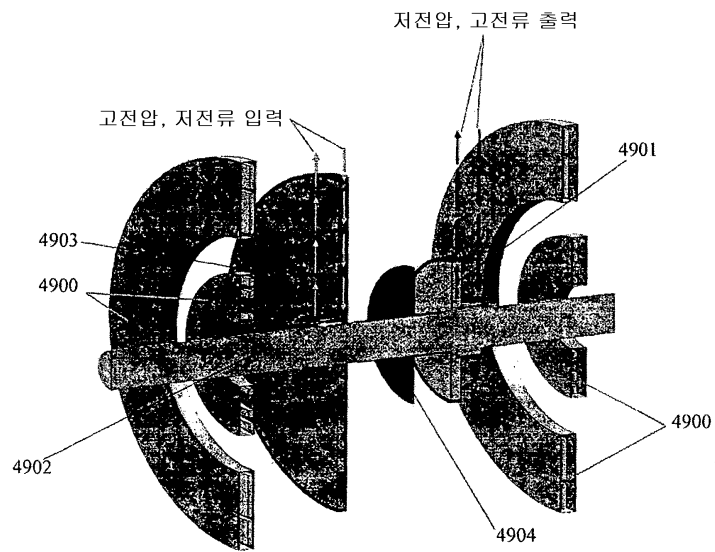
도면47b



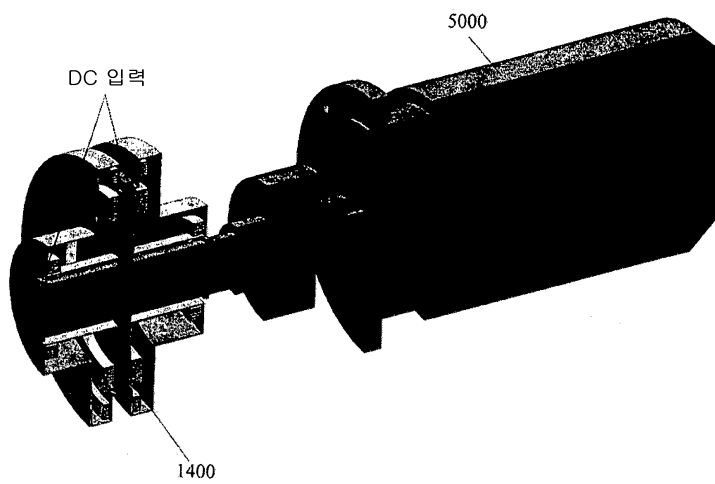
도면48



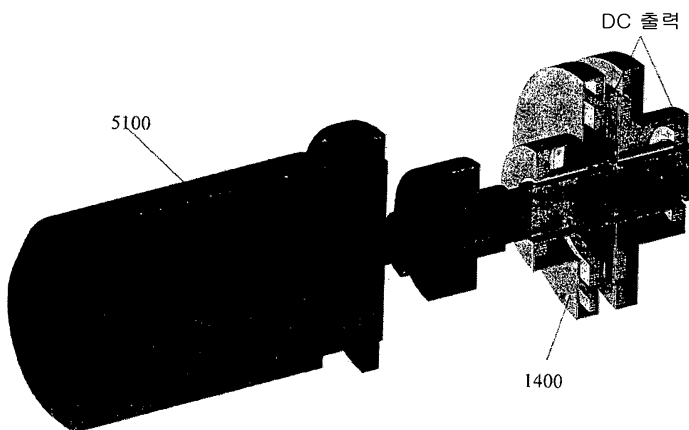
도면49



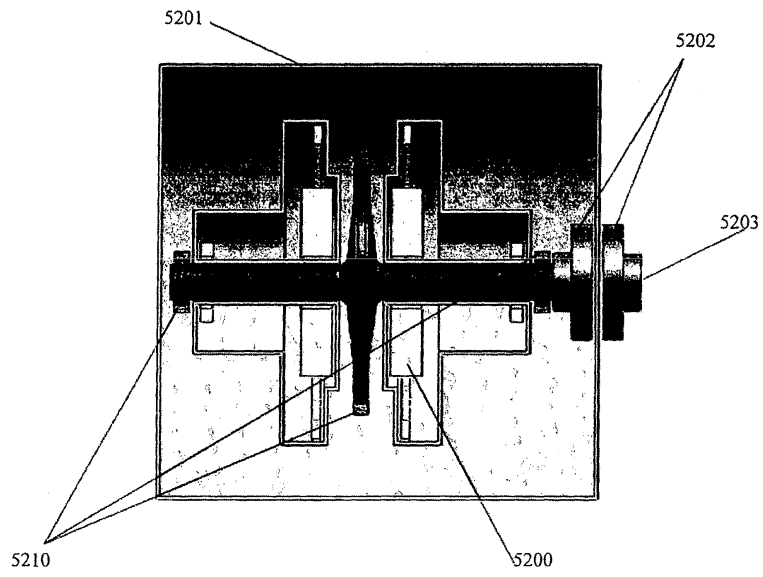
도면50



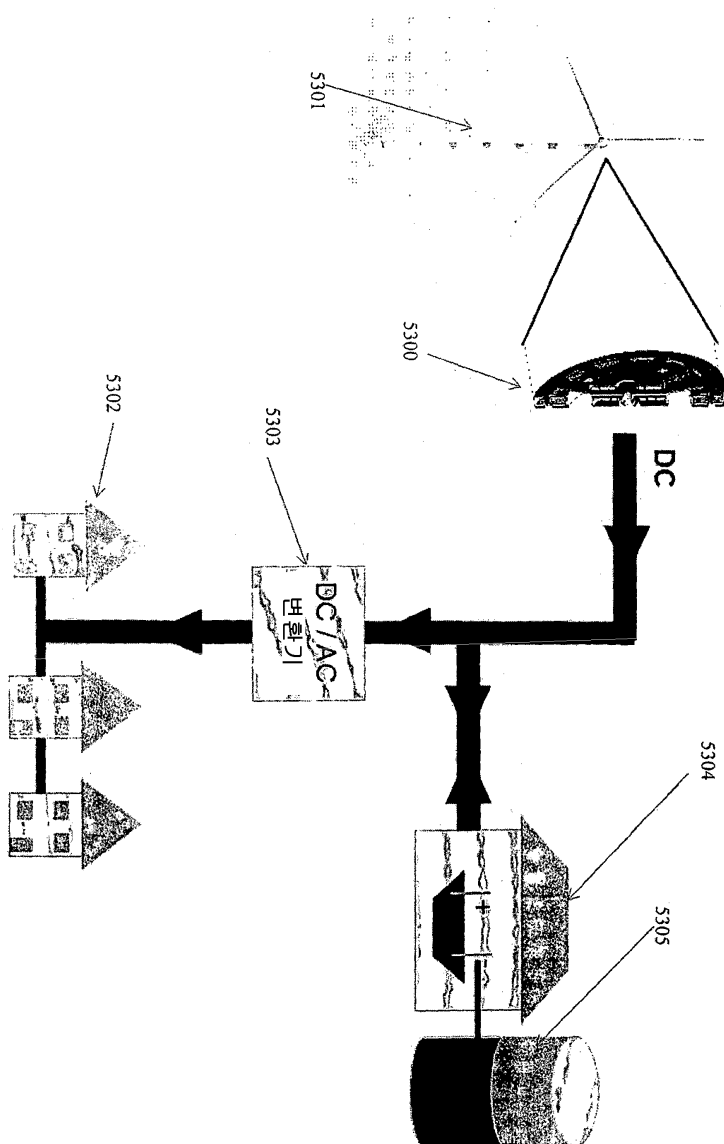
도면51



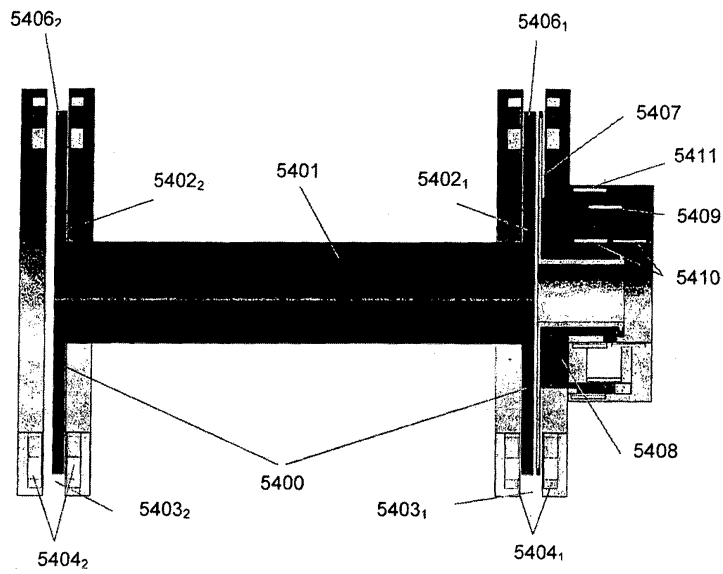
도면52



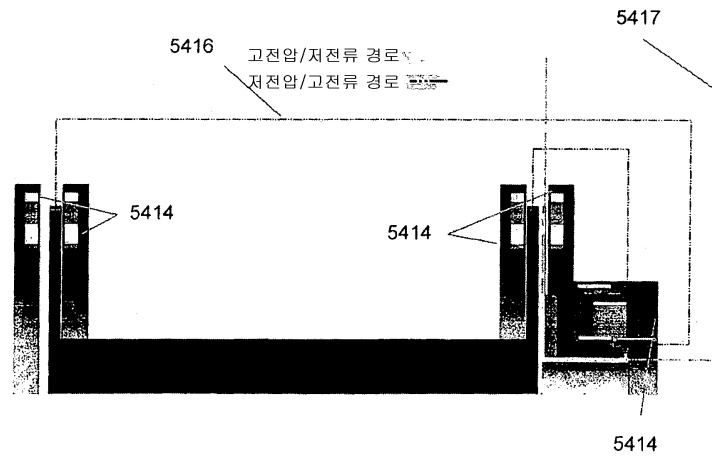
도면53



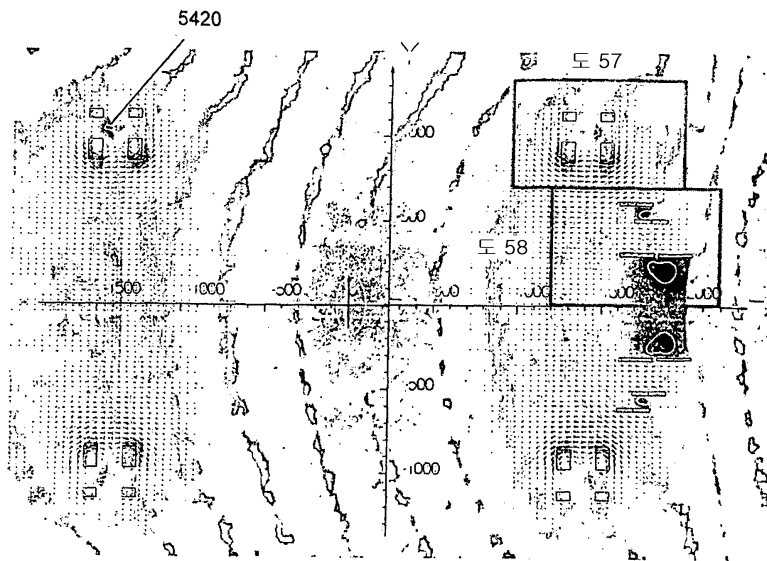
도면54



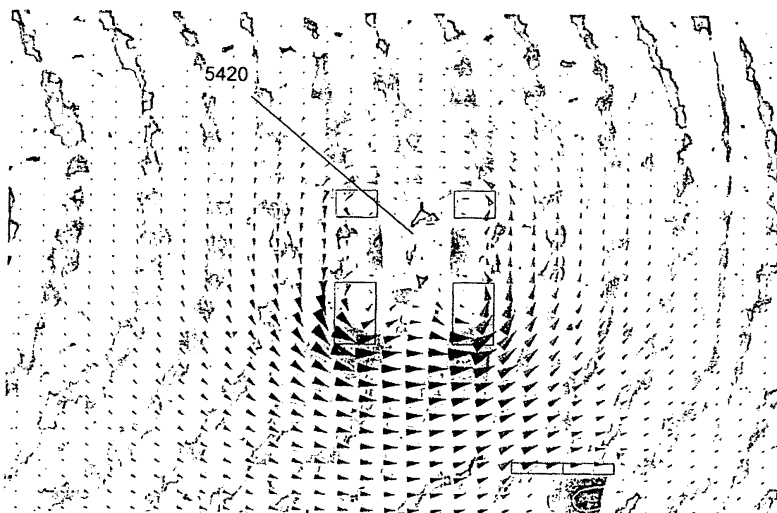
도면55



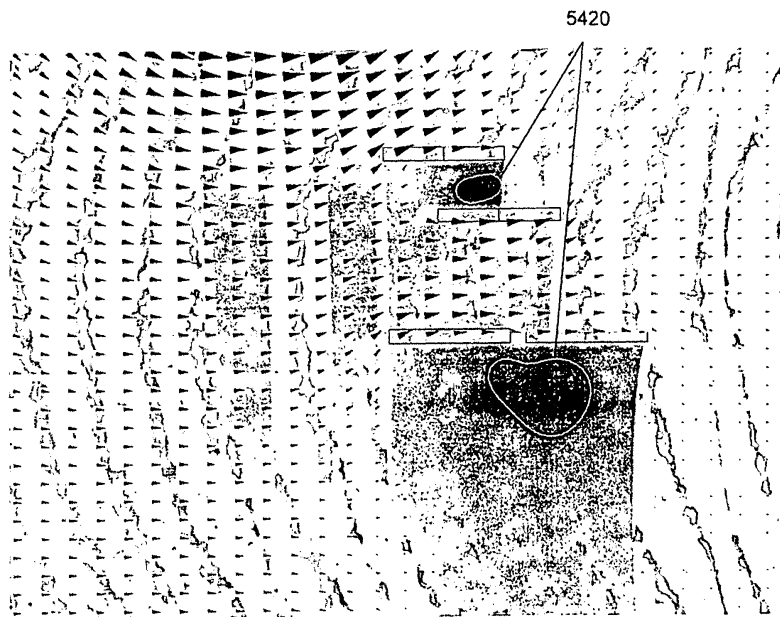
도면56



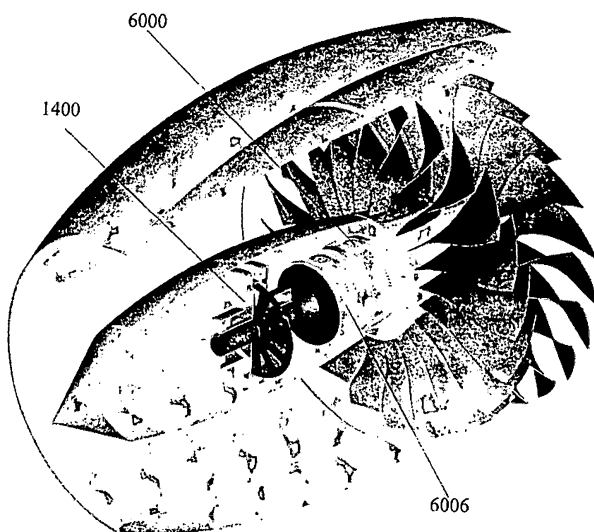
도면57



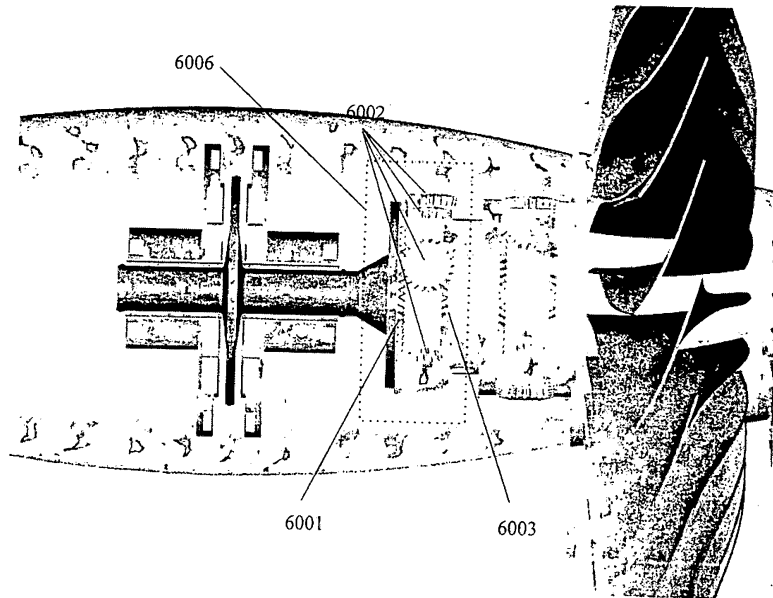
도면58



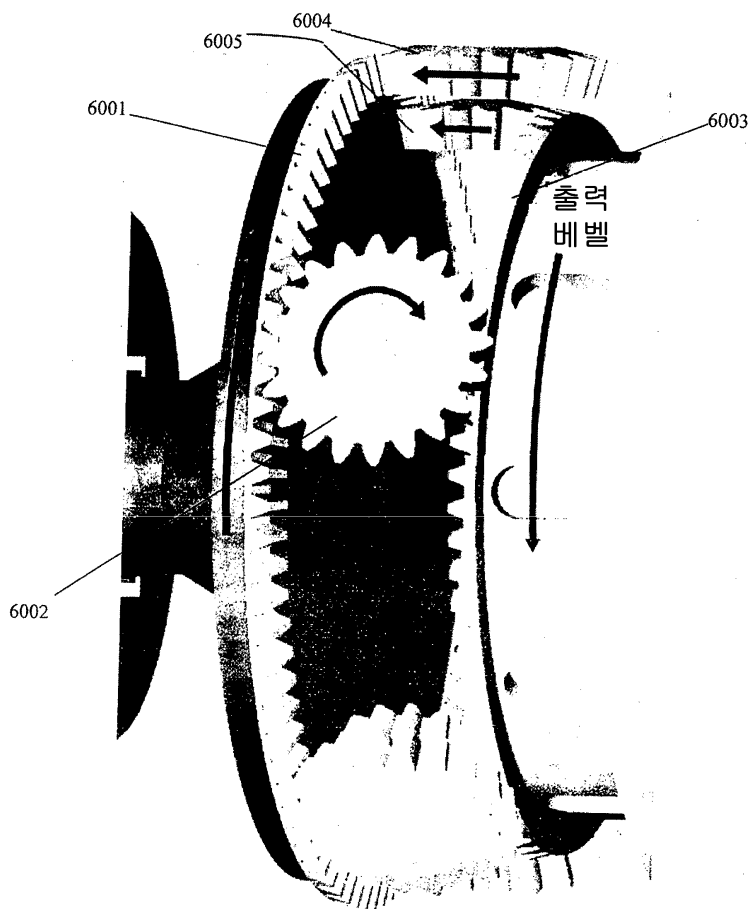
도면59



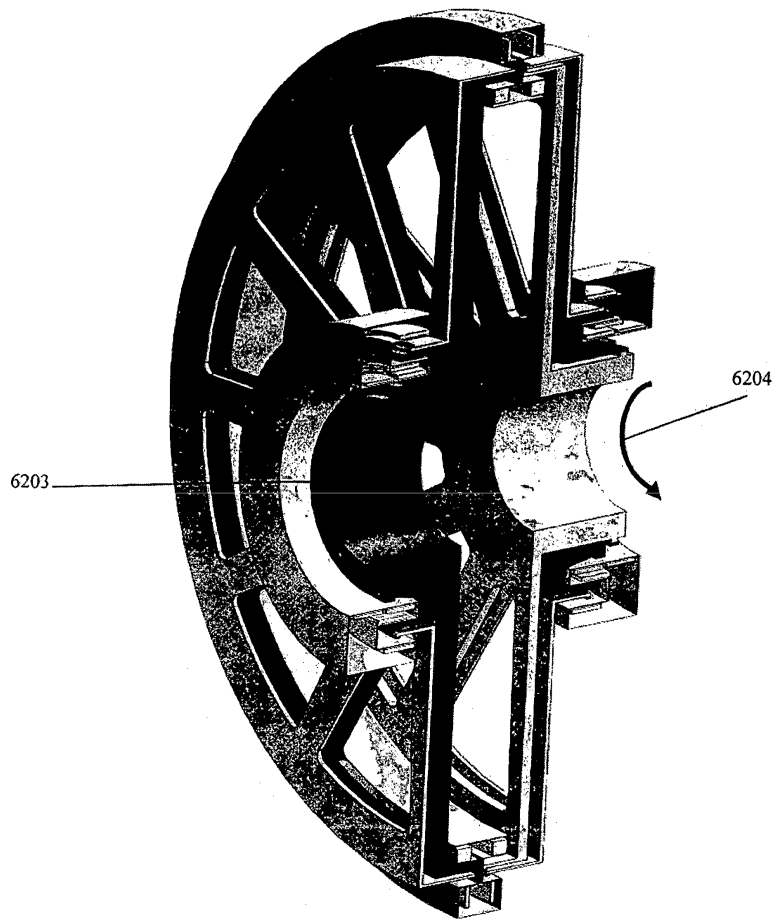
도면60



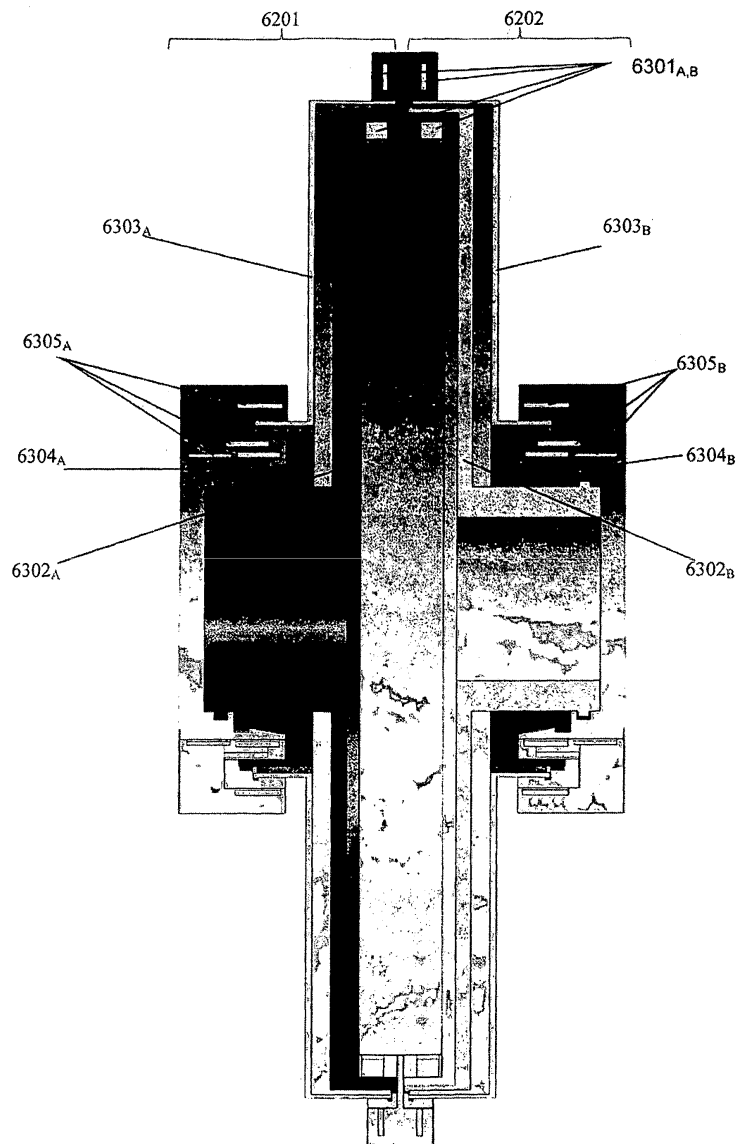
도면61



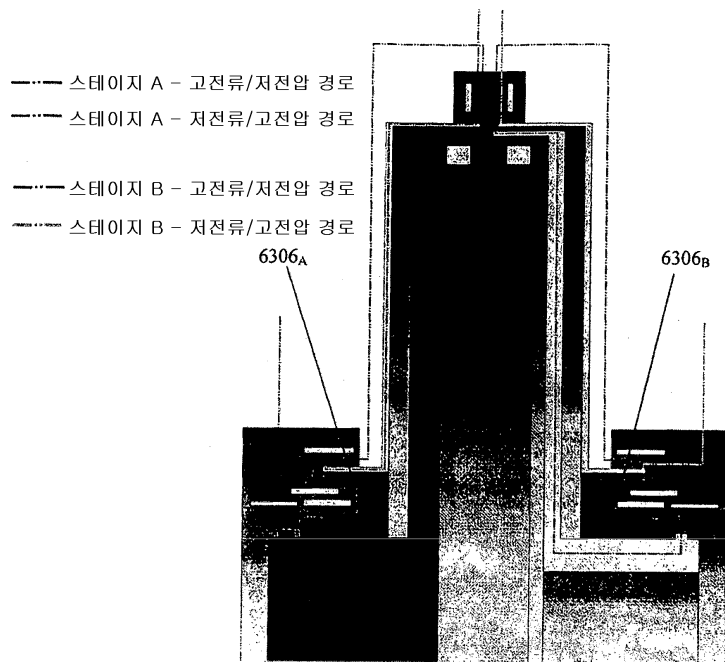
도면62



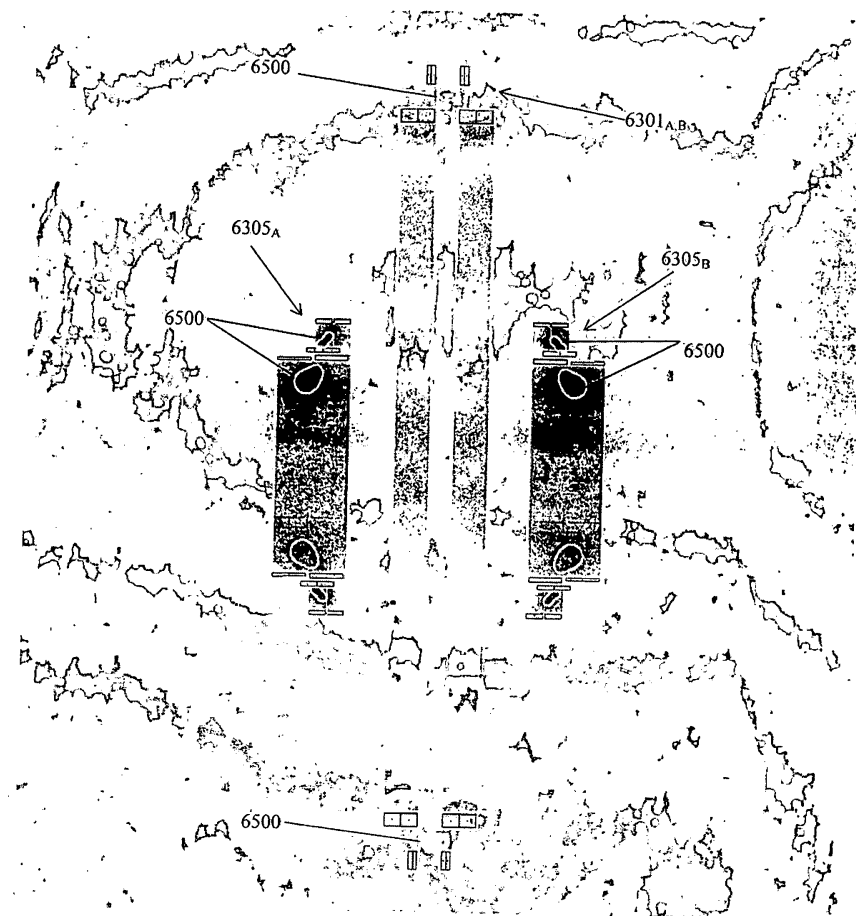
도면63



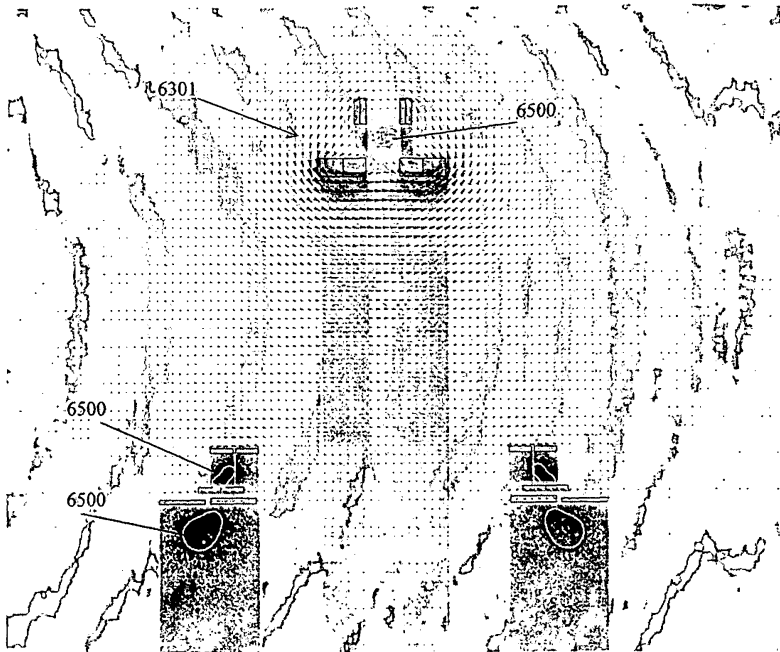
도면64



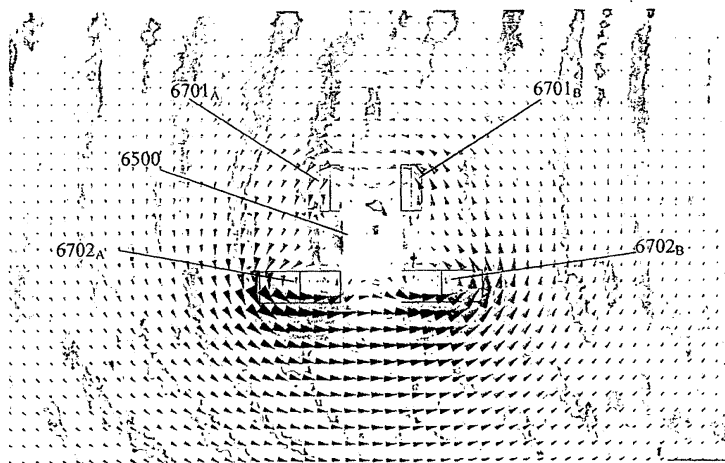
도면65



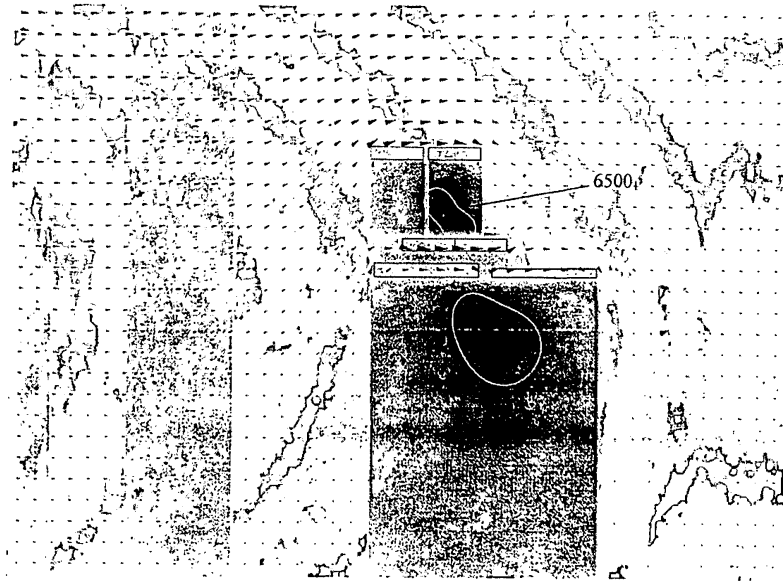
도면66



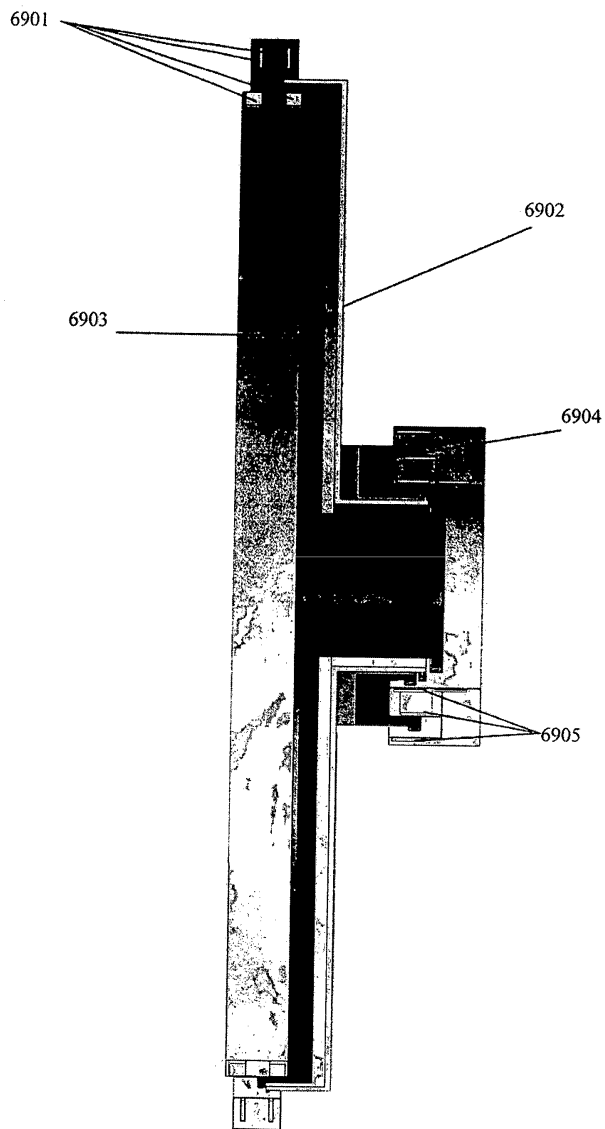
도면67



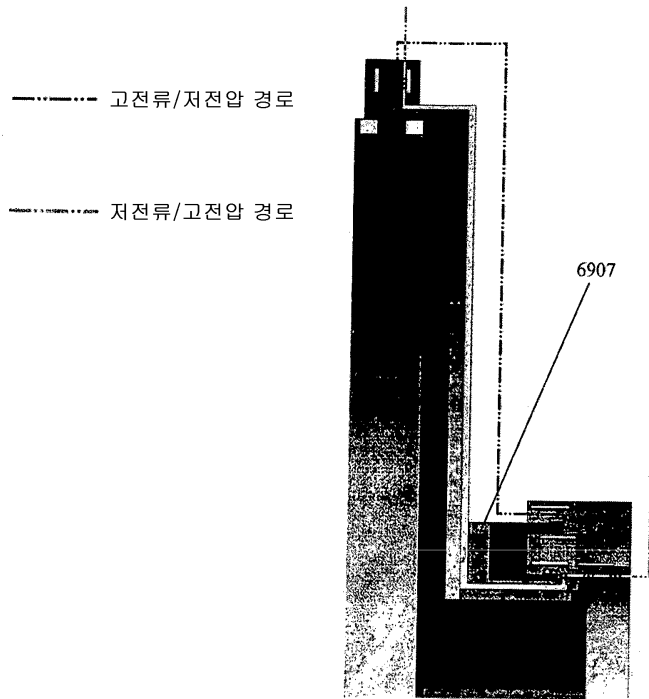
도면68



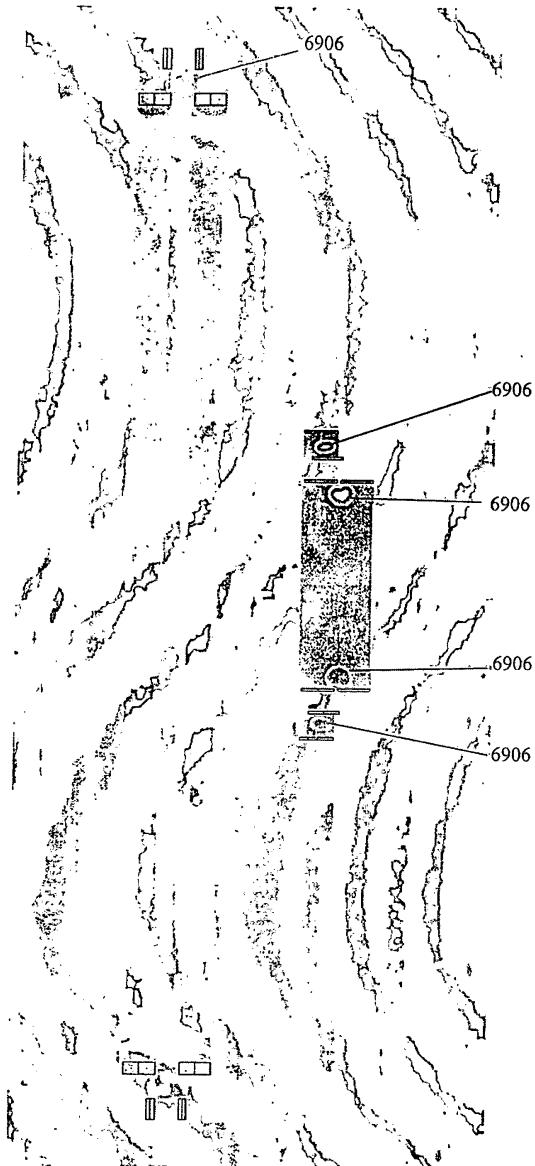
도면69



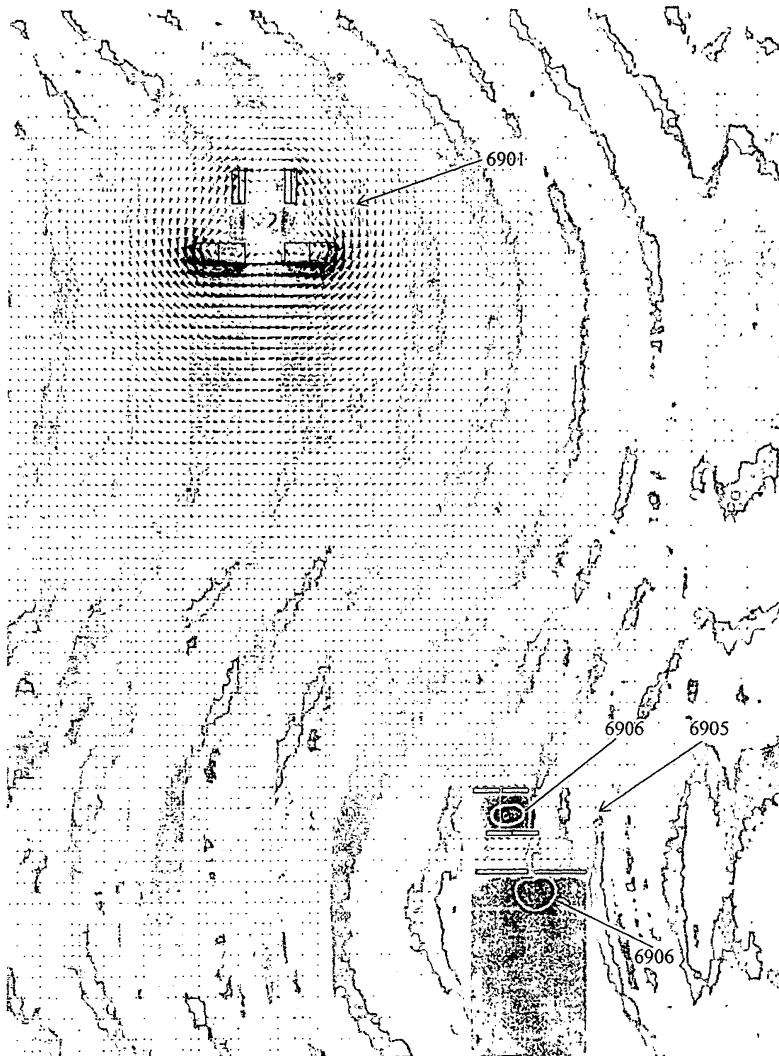
도면70



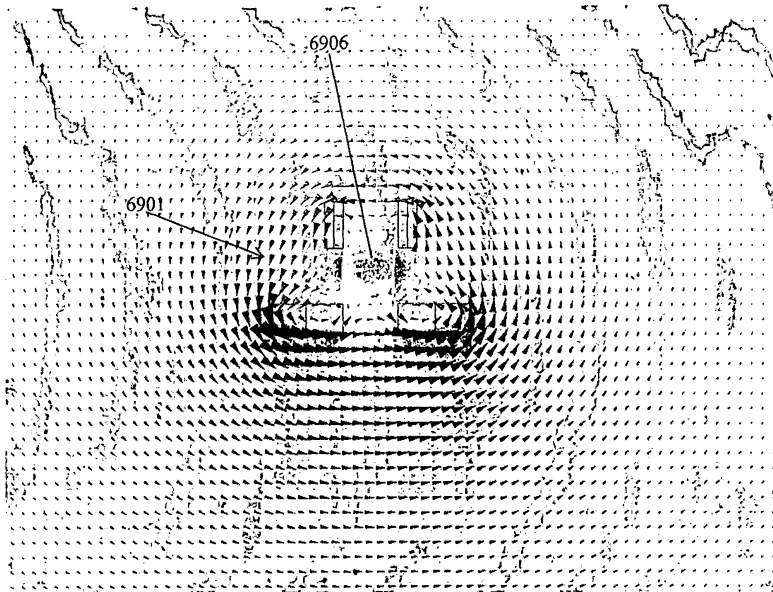
도면71



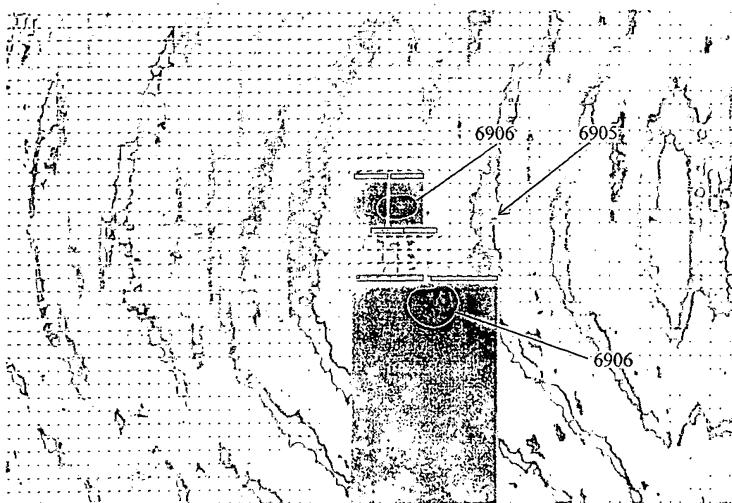
도면72



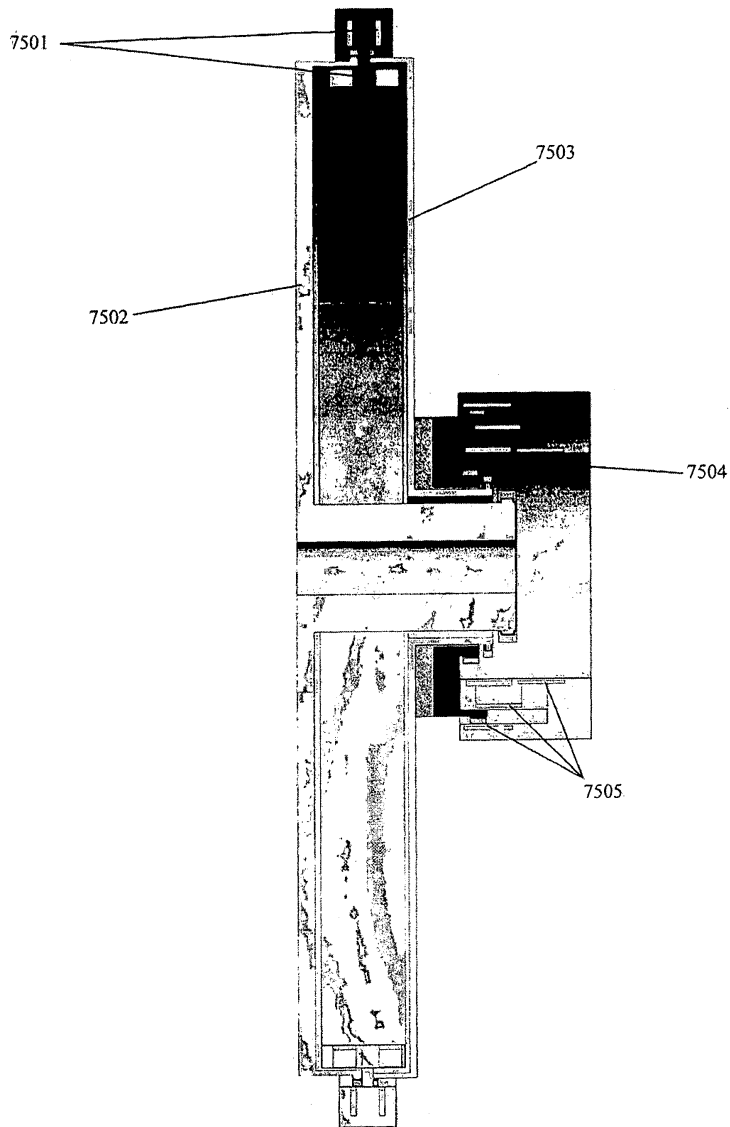
도면73



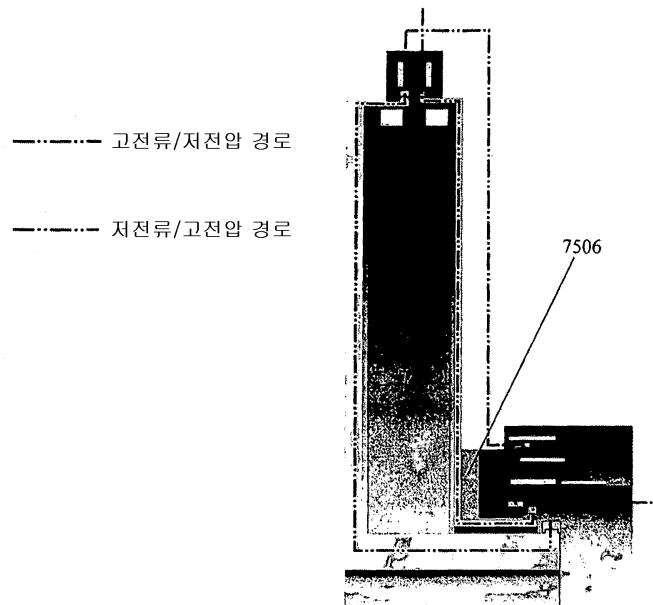
도면74



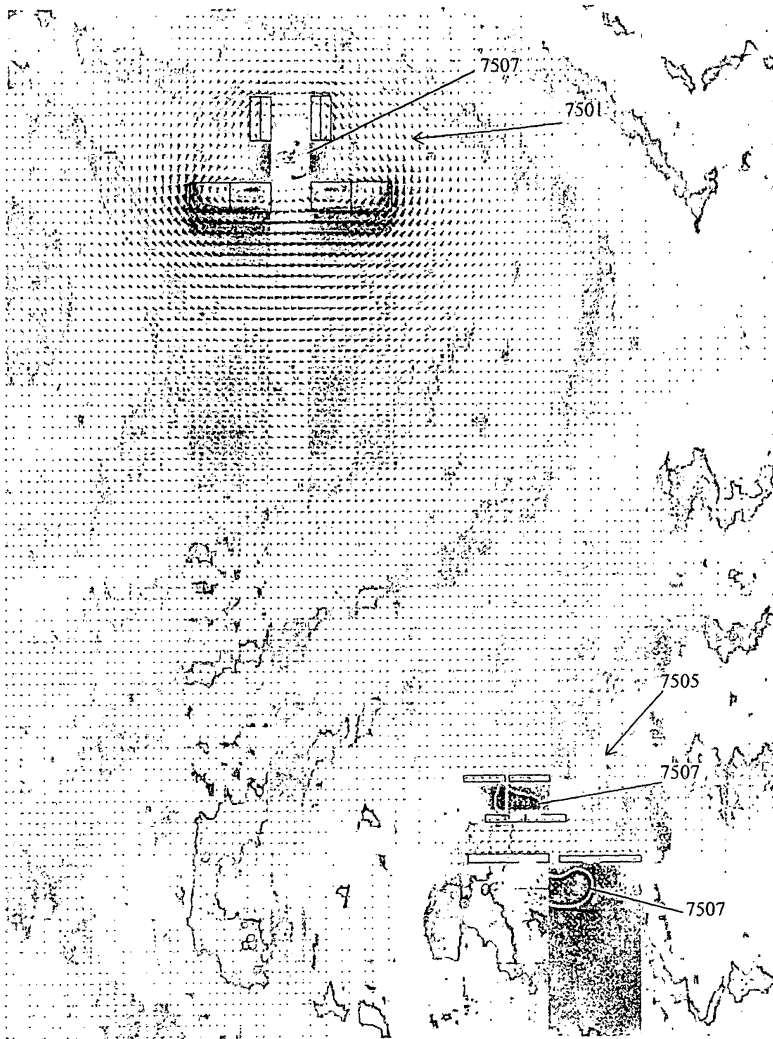
도면75



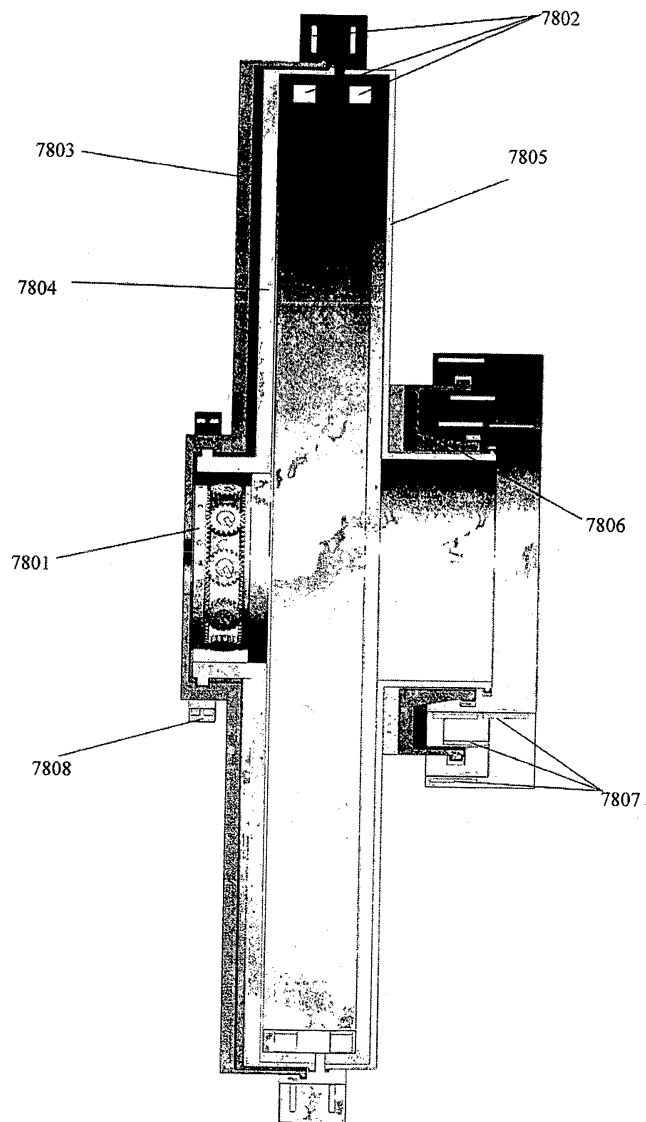
도면76



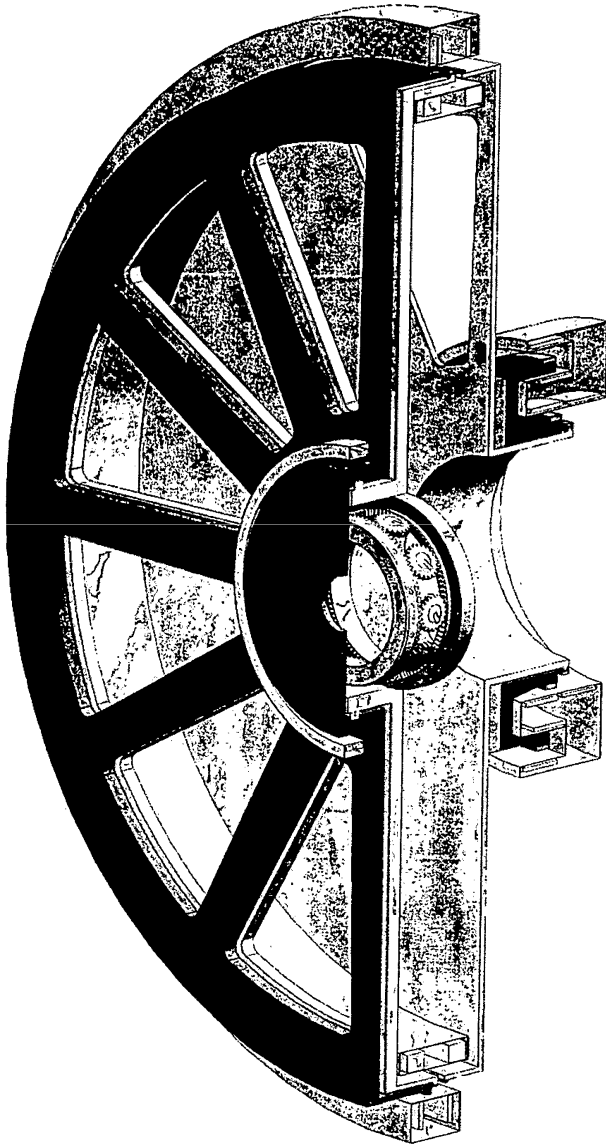
도면77



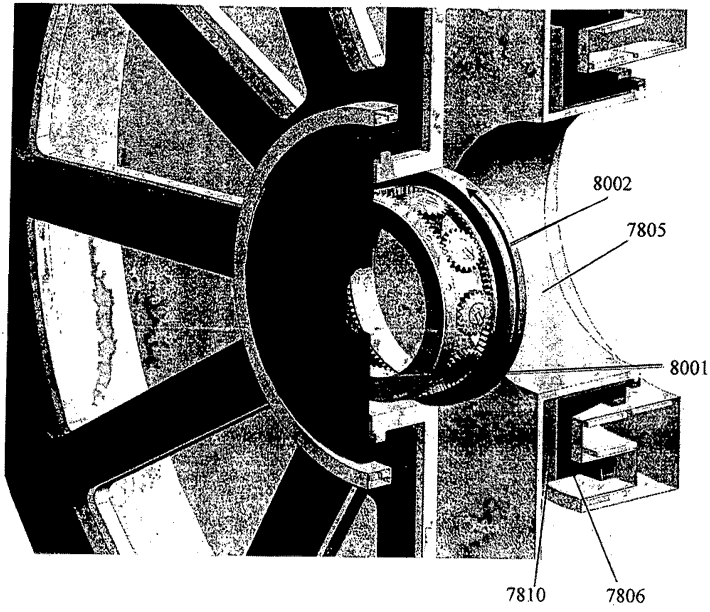
도면78



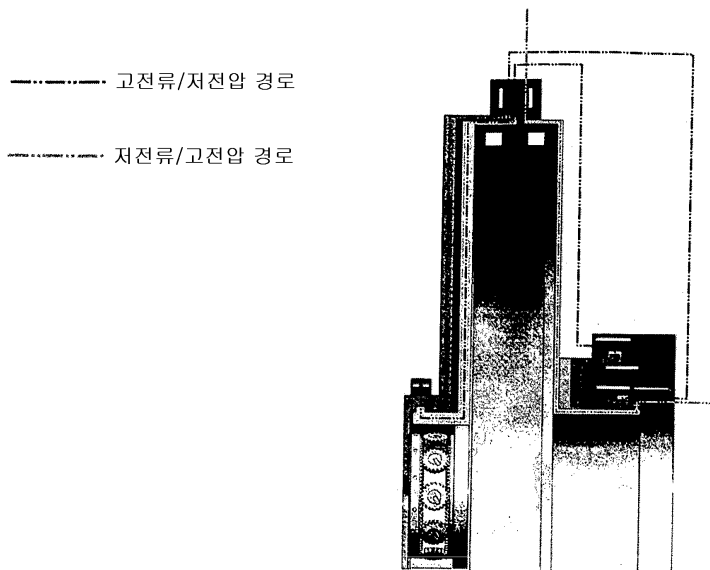
도면79



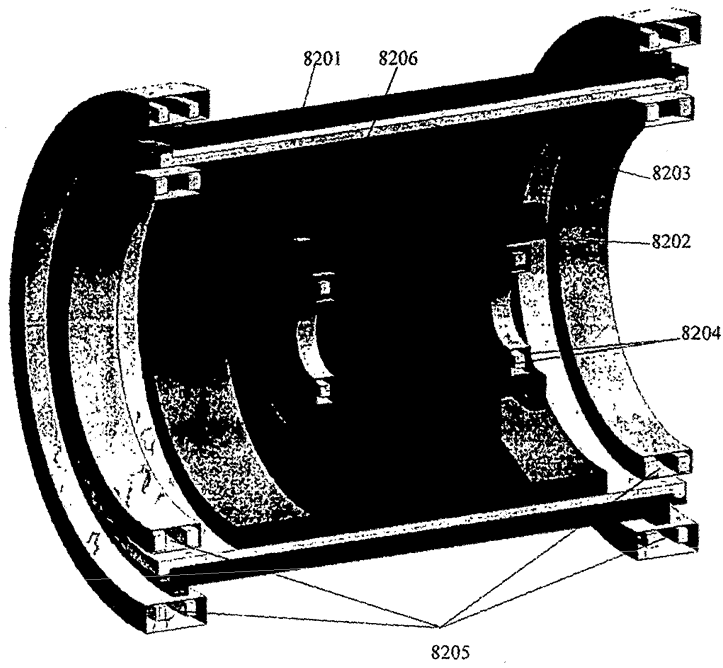
도면80



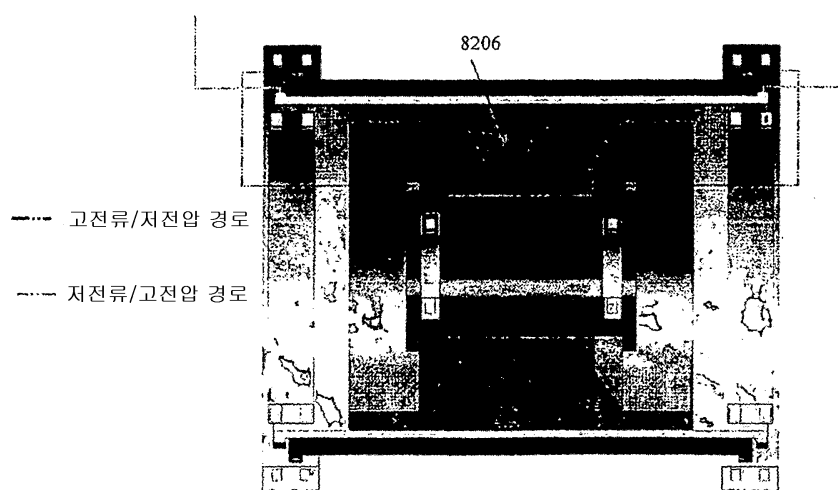
도면81



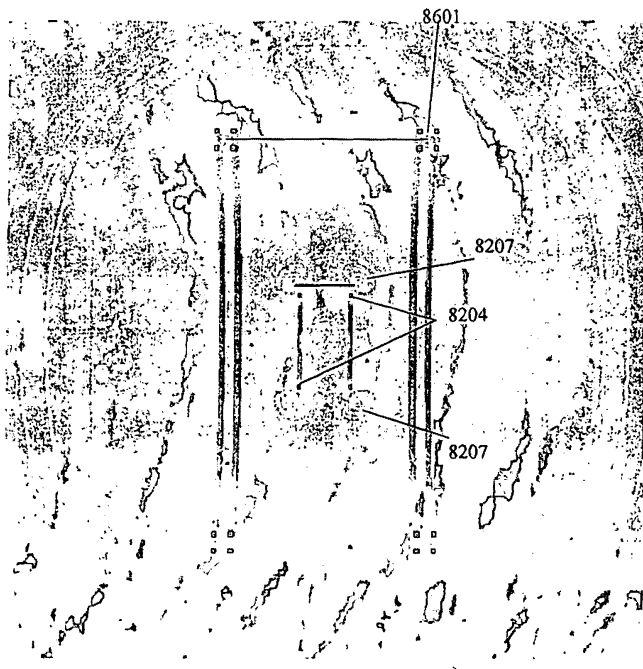
도면82



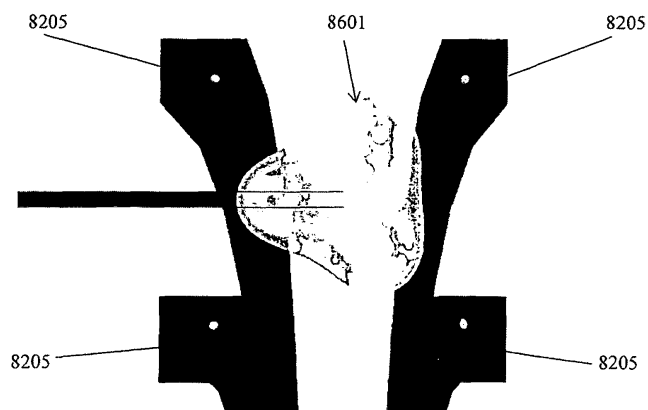
도면83



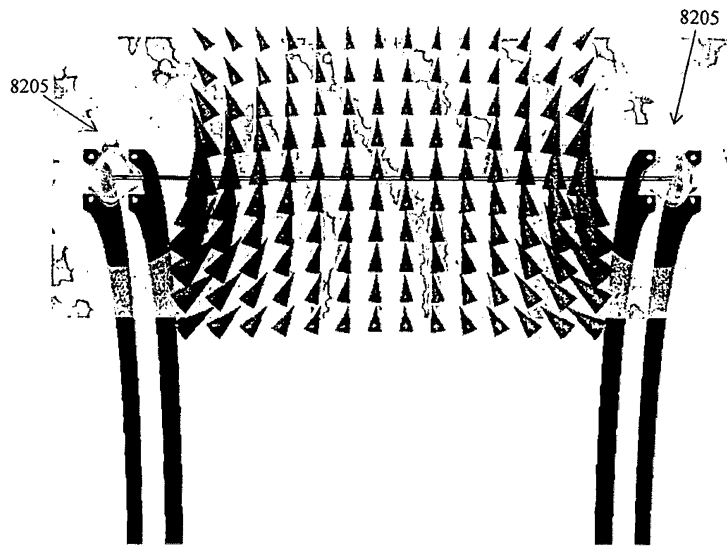
도면84



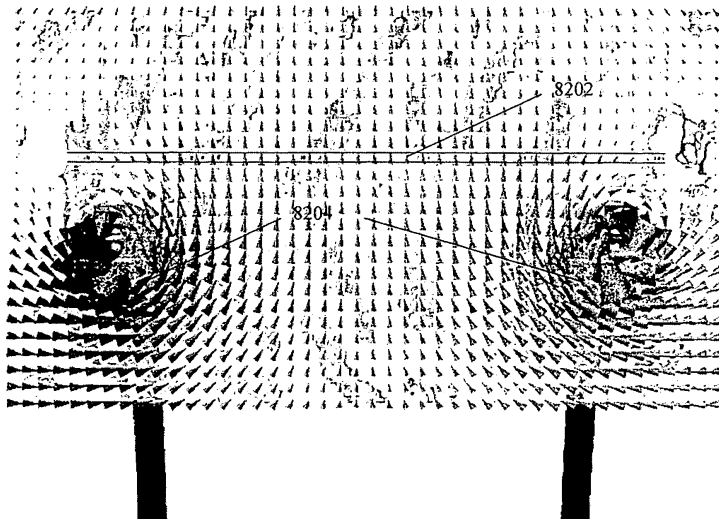
도면85



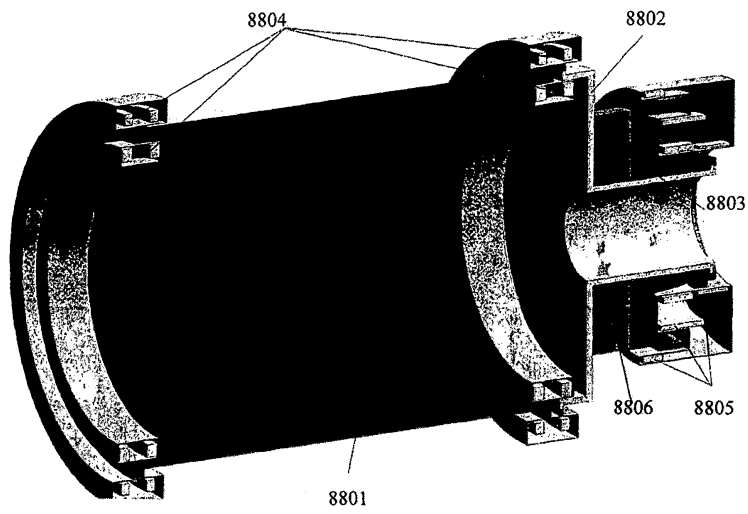
도면86



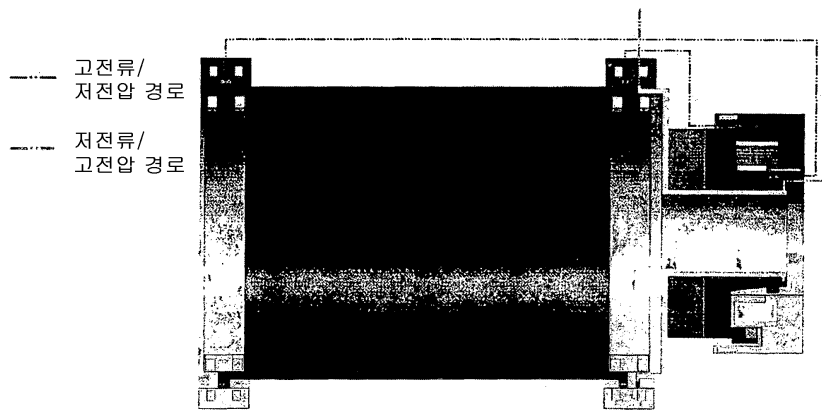
도면87



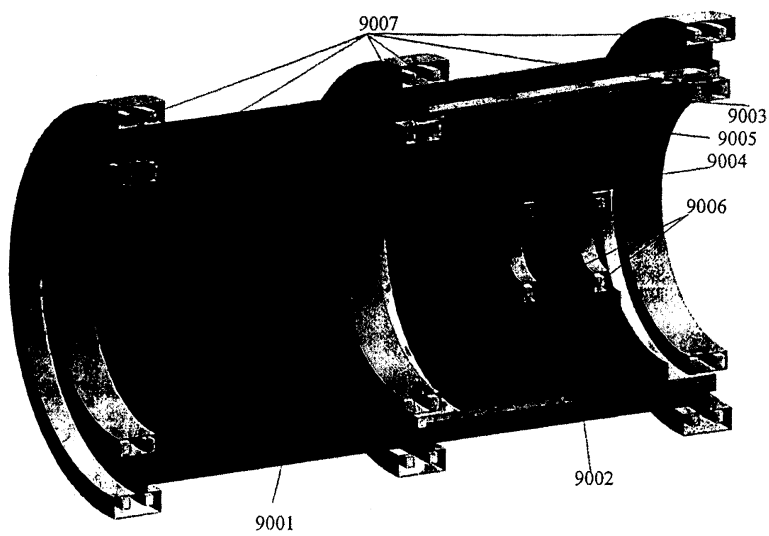
도면88



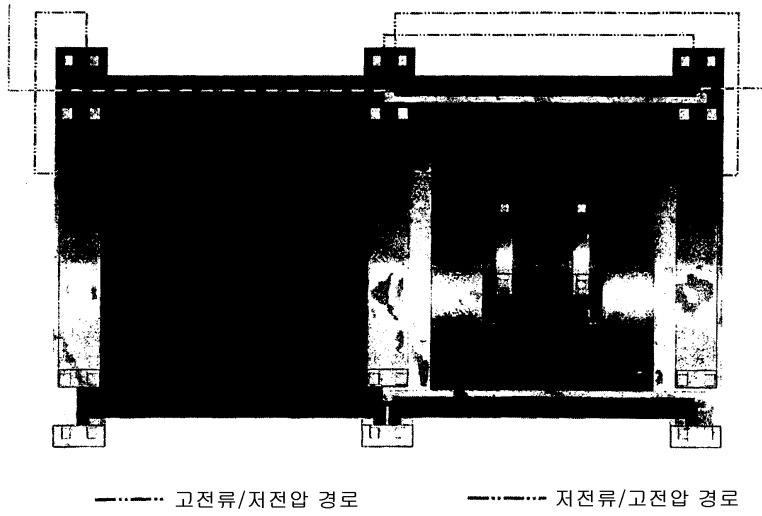
도면89



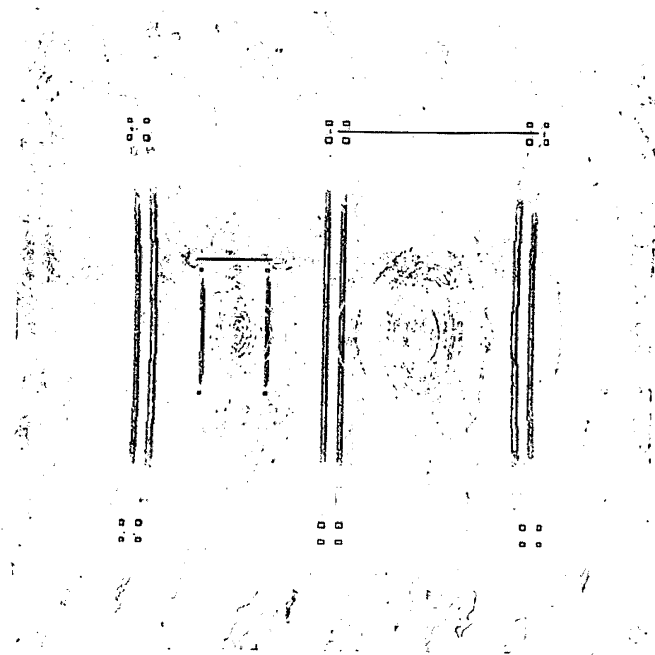
도면90



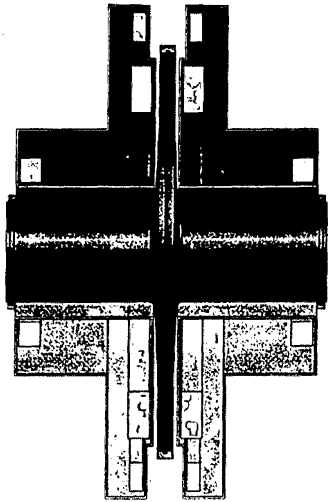
도면91



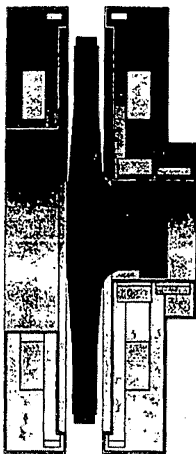
도면92



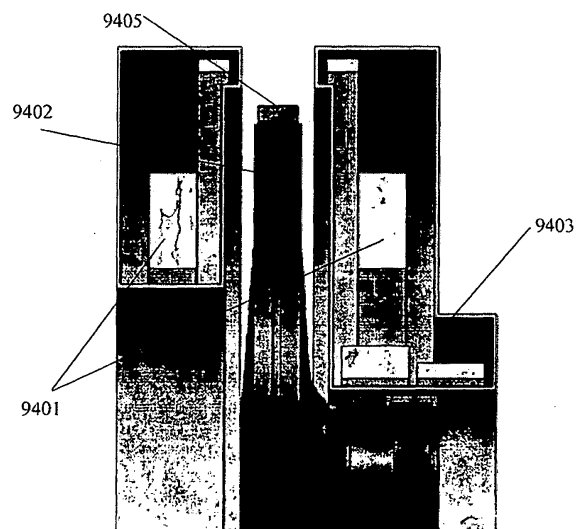
도면93a



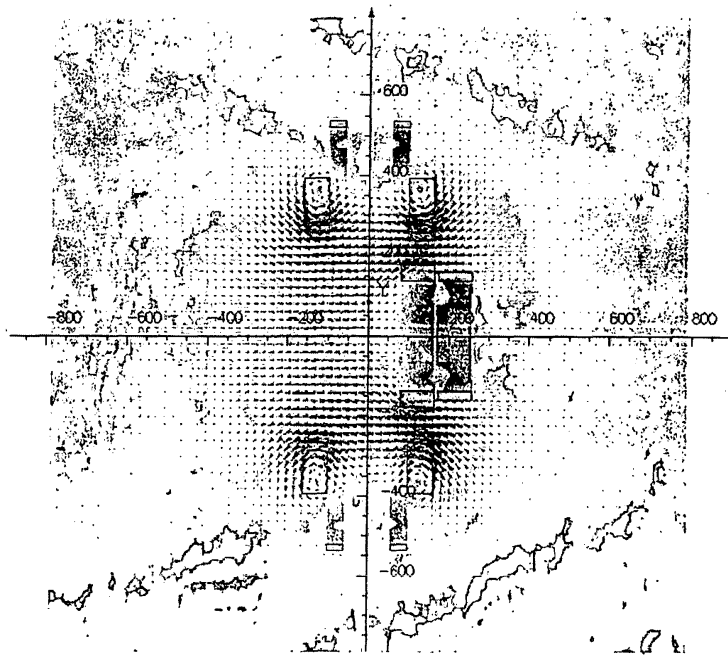
도면93b



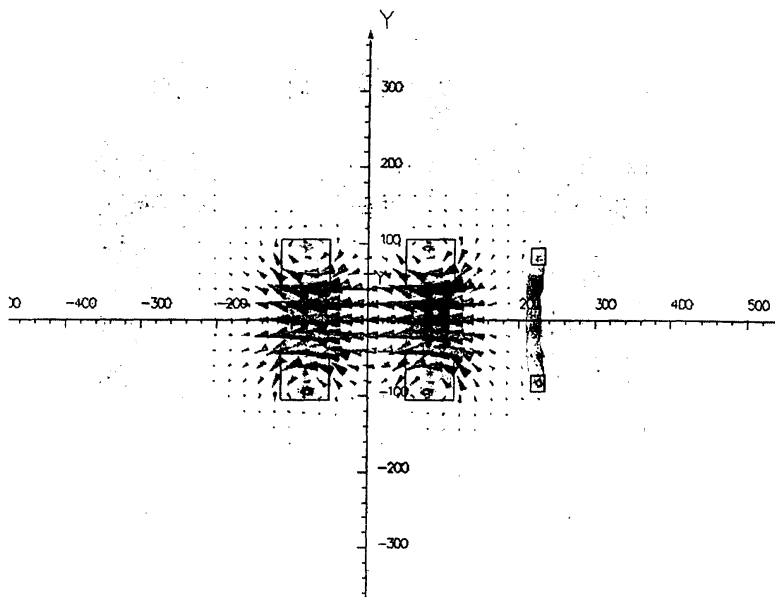
도면94



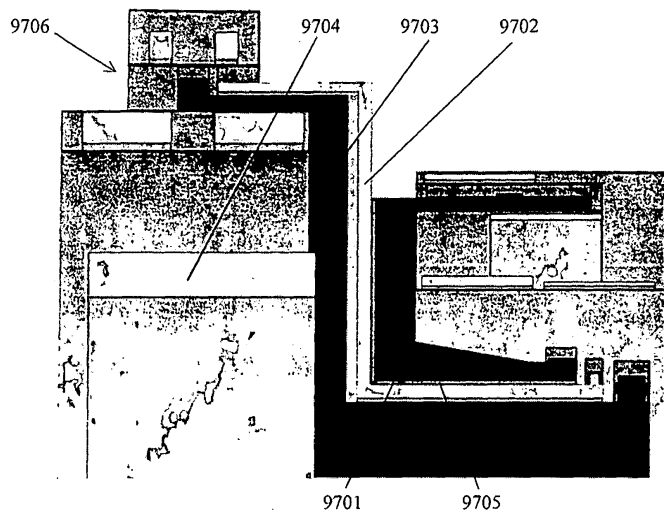
도면95



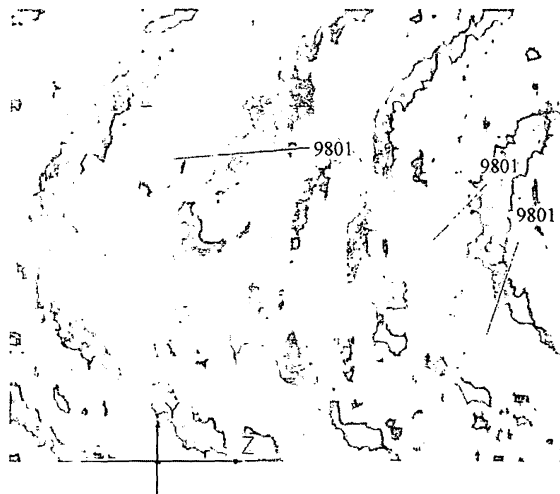
도면96



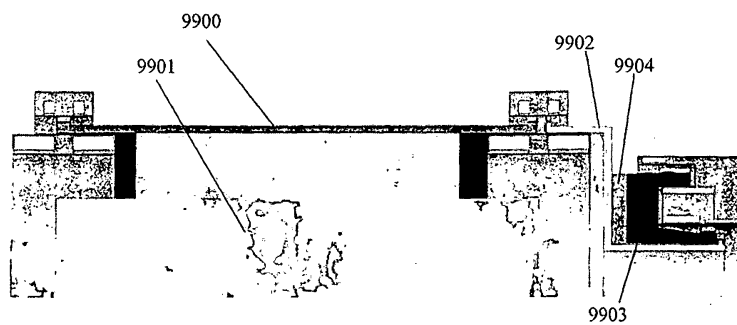
도면97



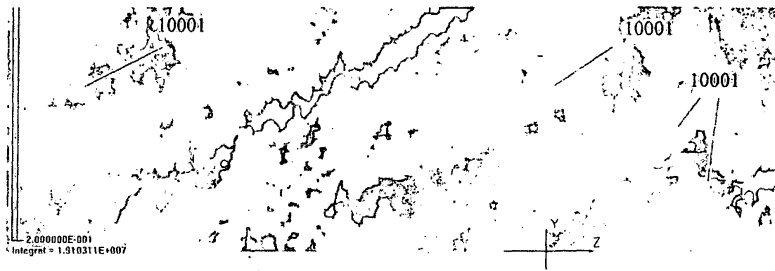
도면98



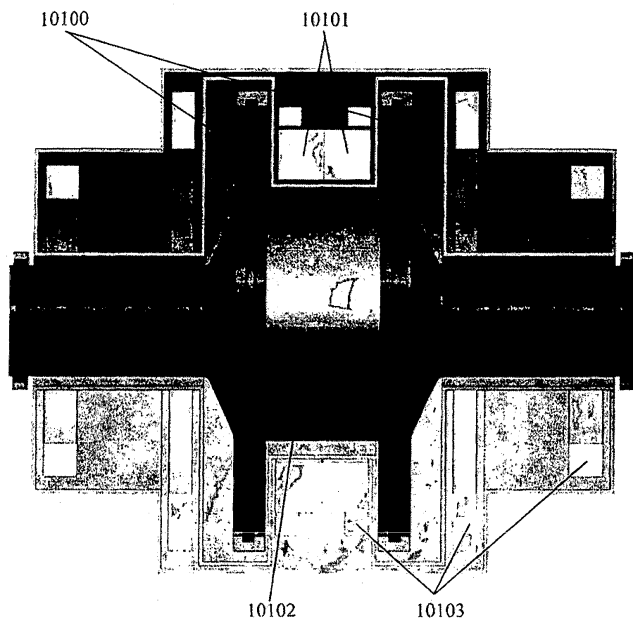
도면99



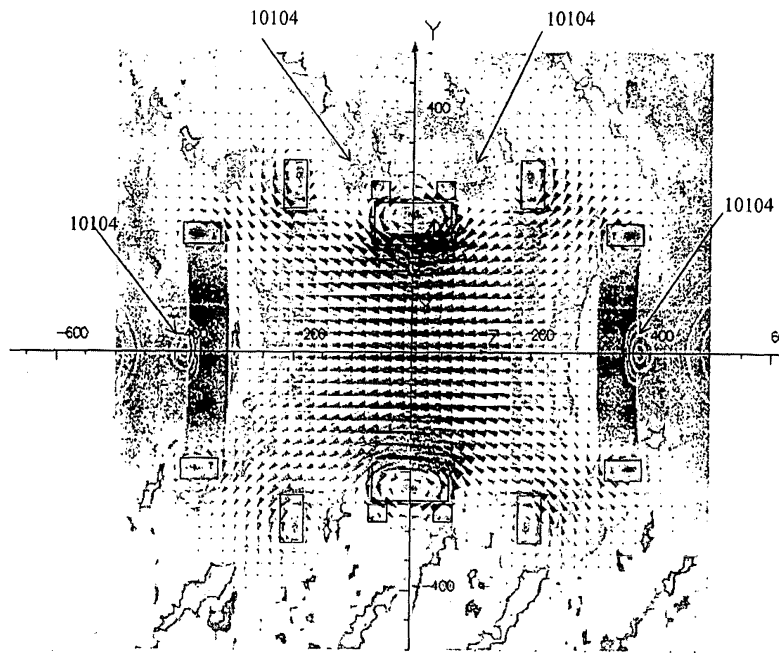
도면100



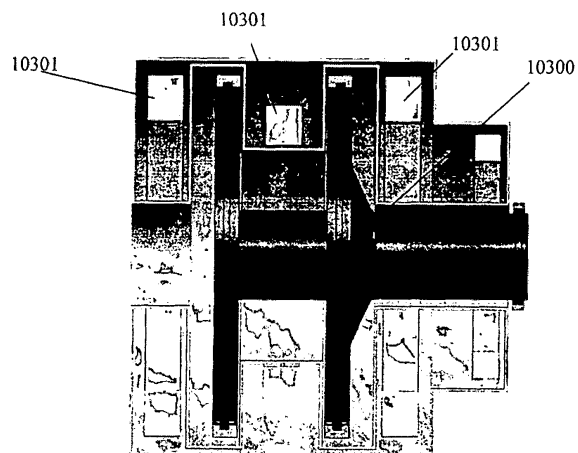
도면101



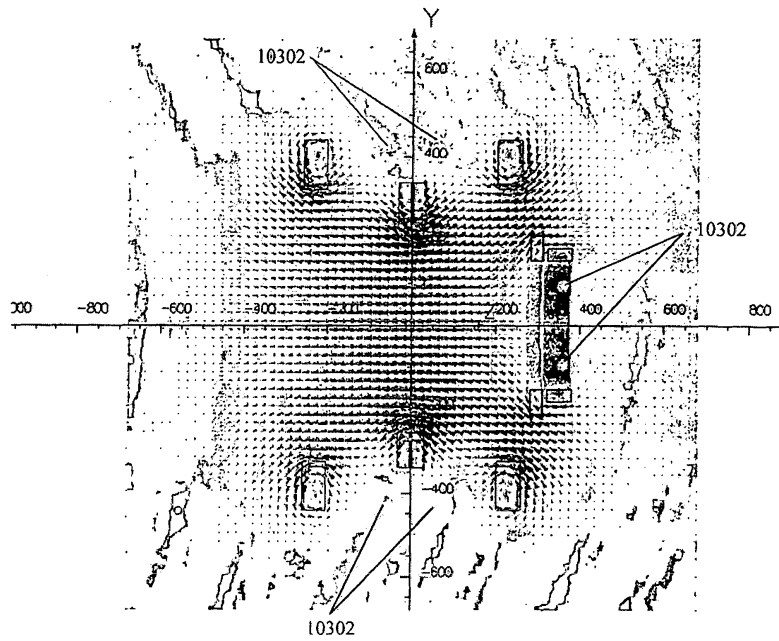
도면102



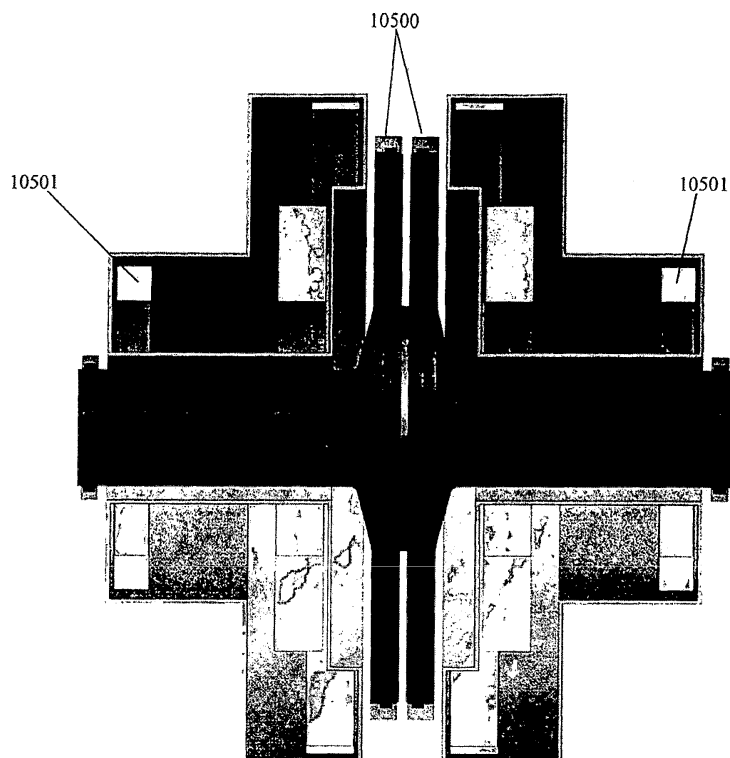
도면103



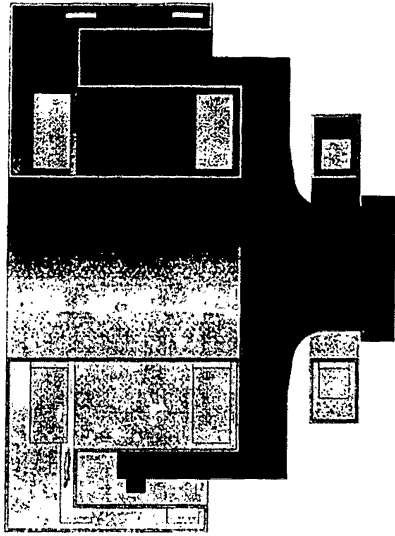
도면104



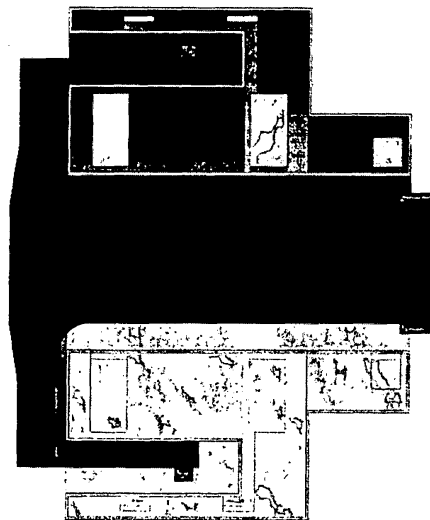
도면105



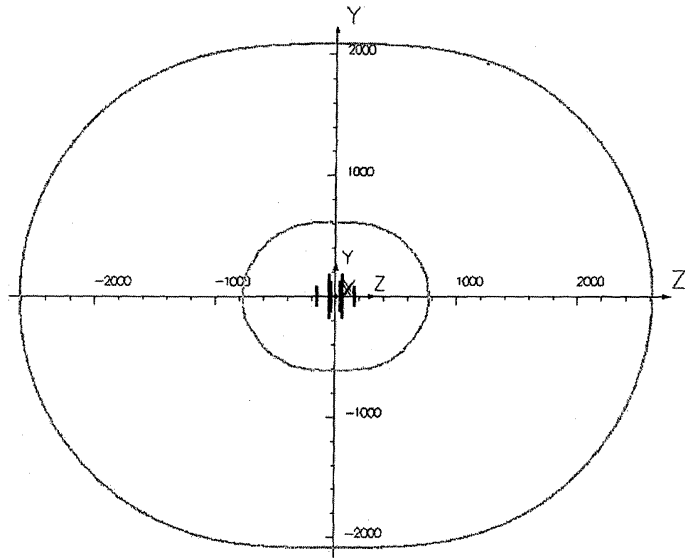
도면106



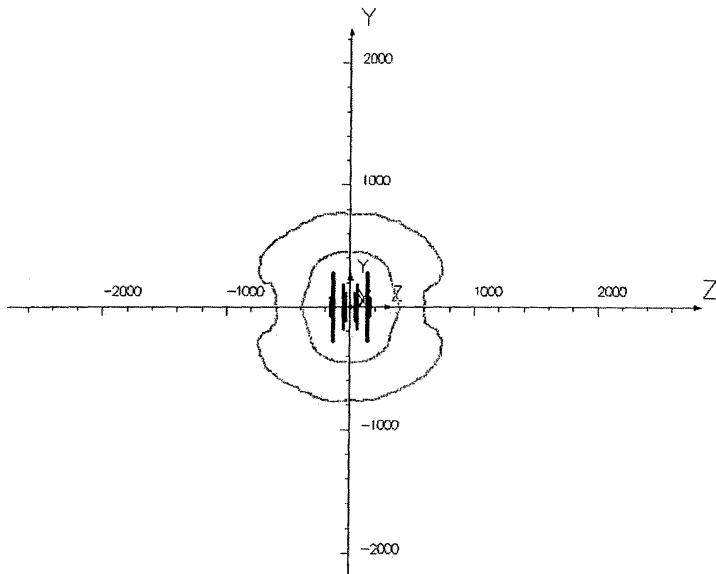
도면107



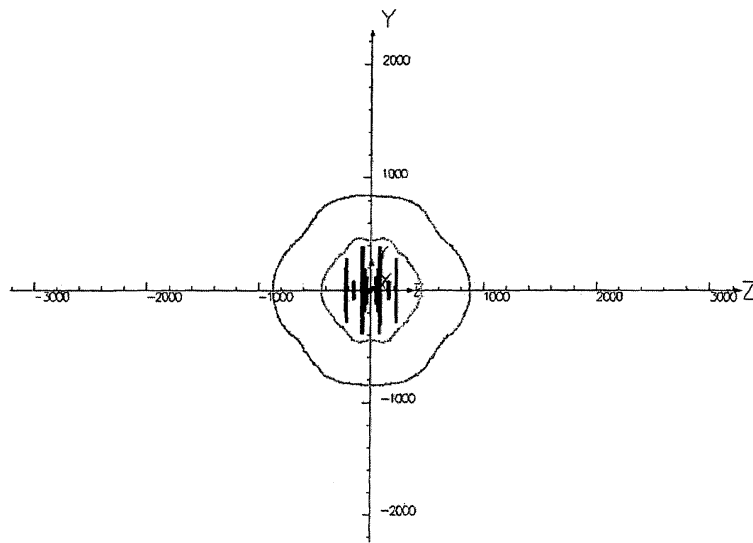
도면108



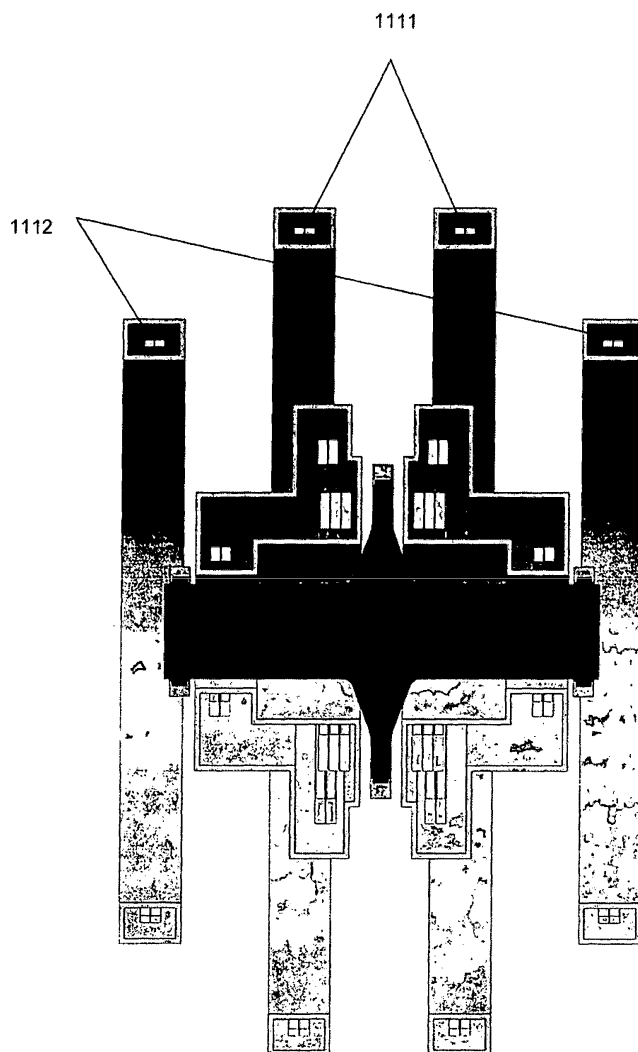
도면109



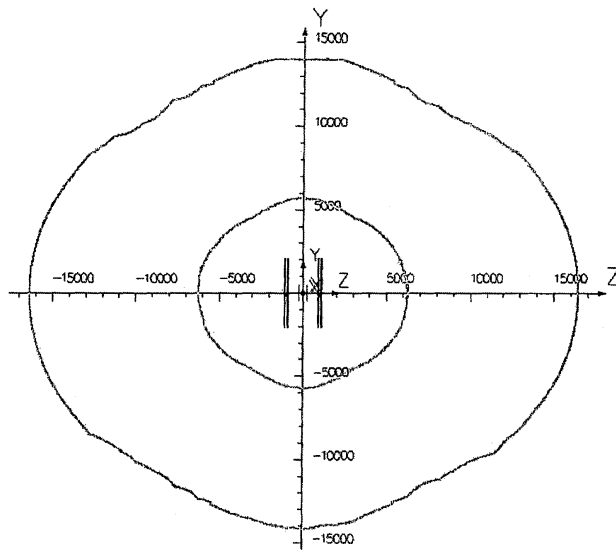
도면110



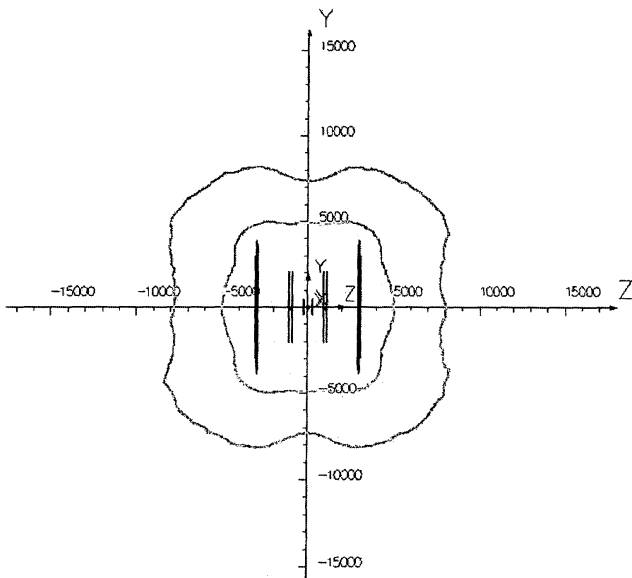
도면111



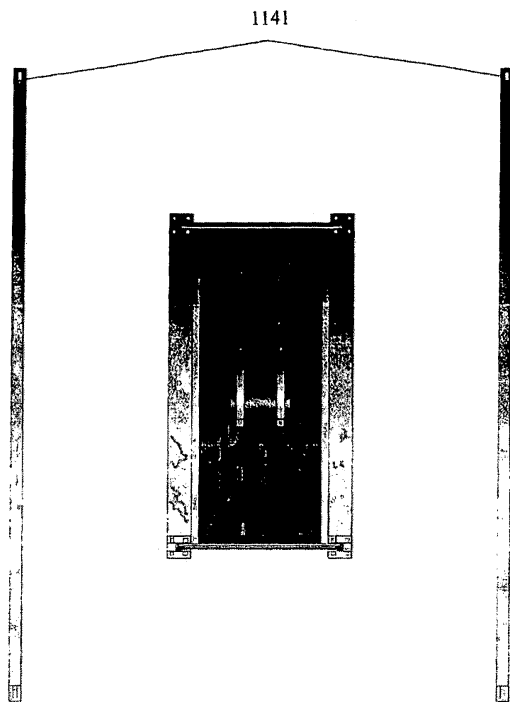
도면112



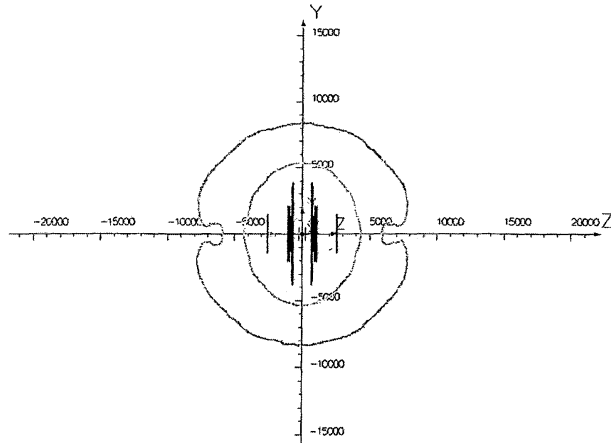
도면113



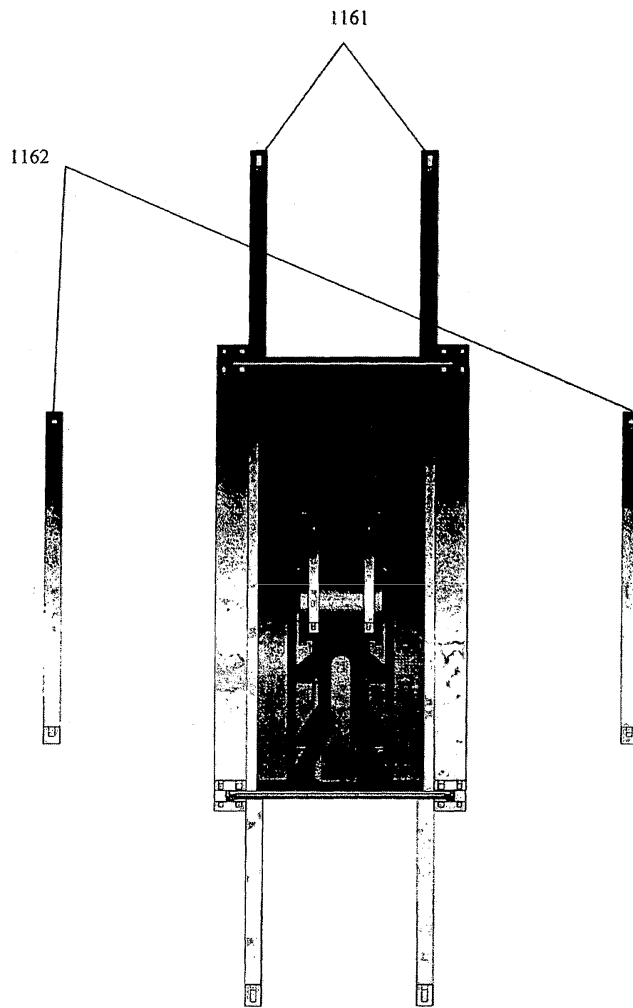
도면114



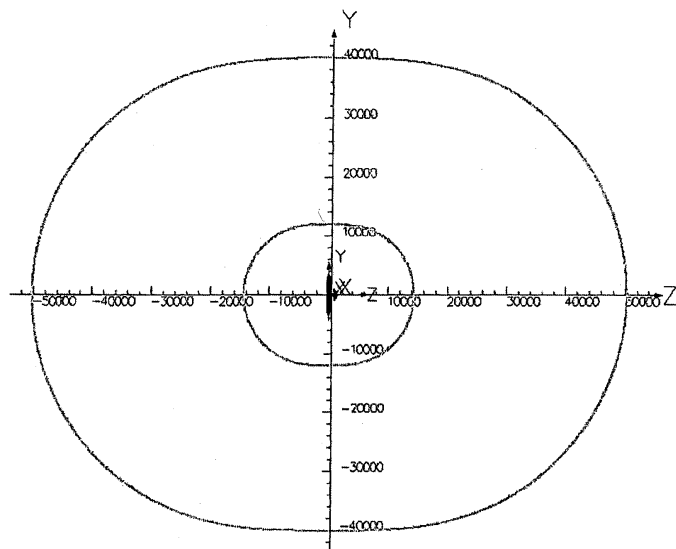
도면115



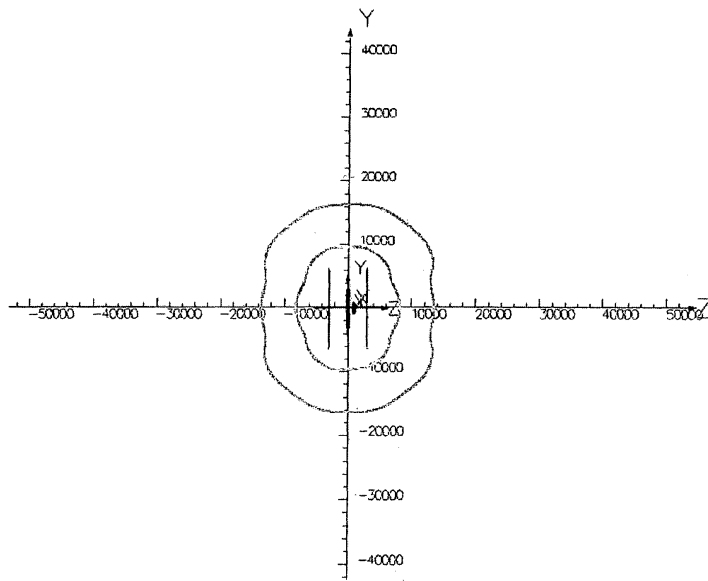
도면116



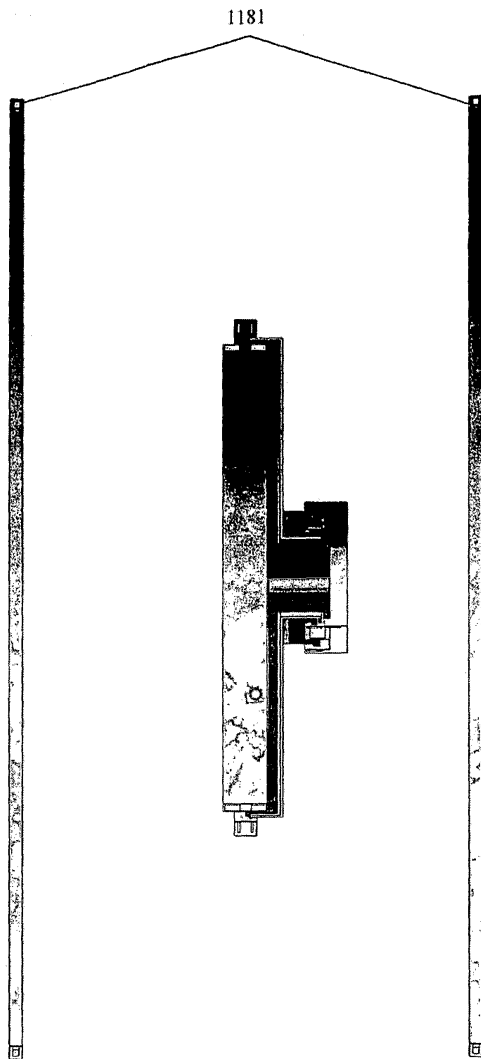
도면117



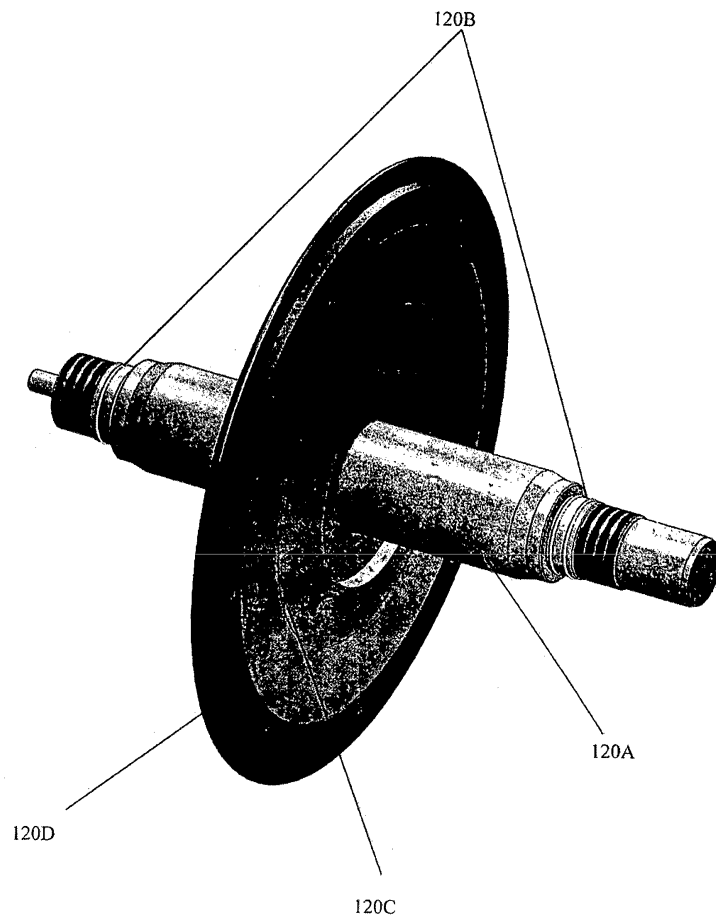
도면118



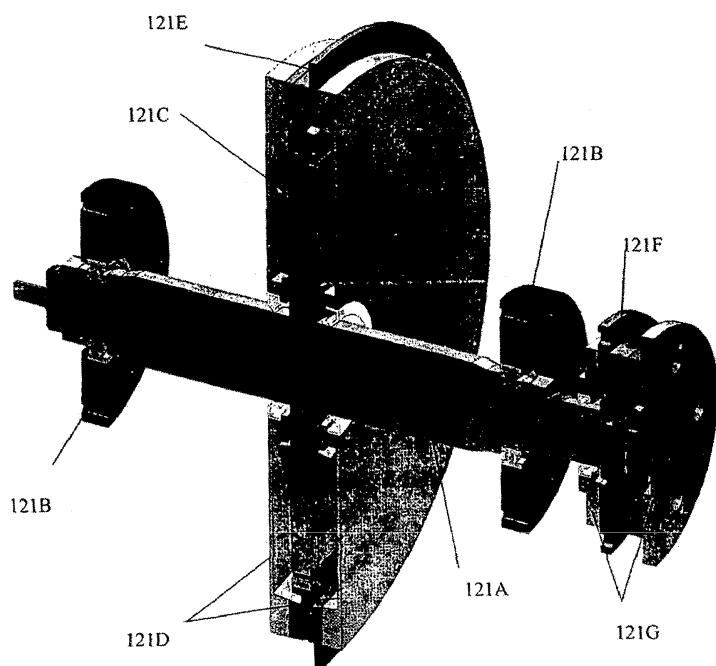
도면119



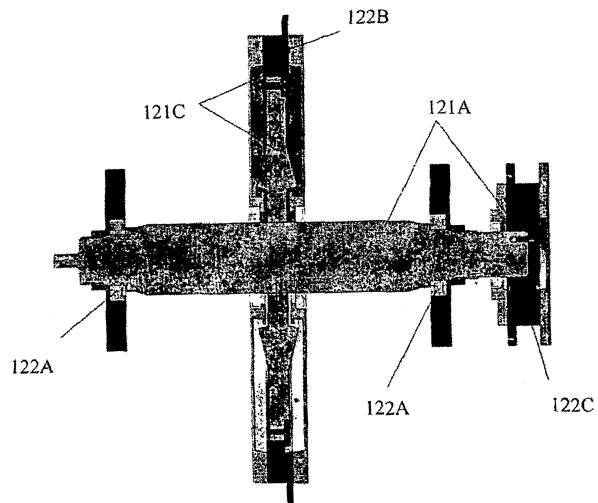
도면120



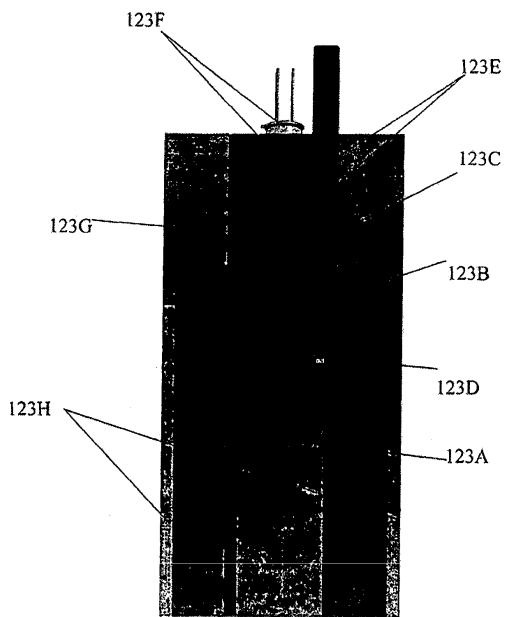
도면121



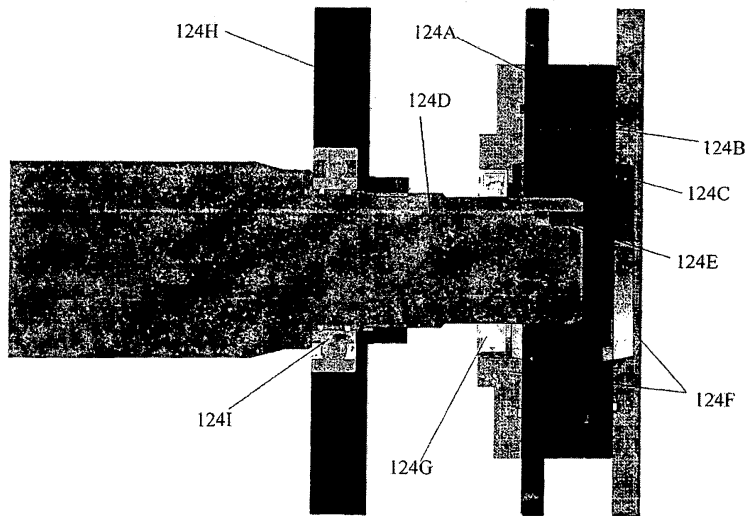
도면122



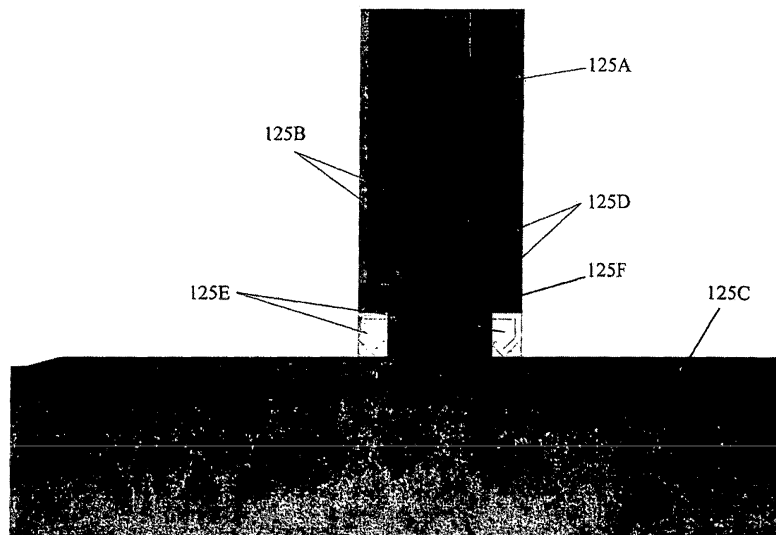
도면123



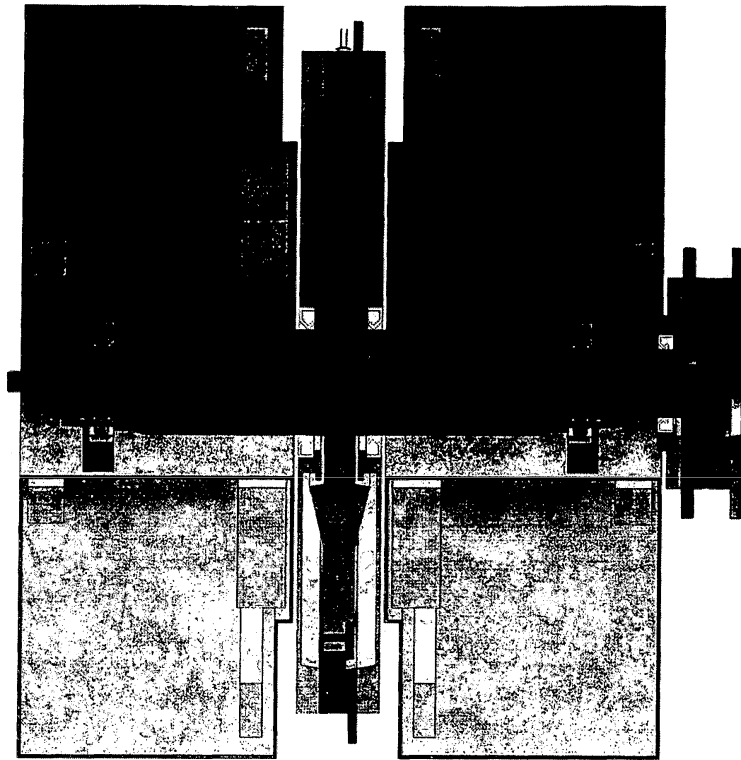
도면124



도면125



도면126



도면127

