



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0116059
(43) 공개일자 2014년10월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 1/22 (2014.01) H02K 1/16 (2006.01)
H02K 3/04 (2014.01) H02K 3/28 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7012801
(22) 출원일자(국제) 2013년01월09일
심사청구일자 2014년05월13일
(85) 번역문제출일자 2014년05월13일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2013/050183
(87) 국제공개번호 WO 2013/108680
국제공개일자 2013년07월25일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-008565 2012년01월19일 일본(JP)

(71) 출원인
히다치 오토모티브 시스템즈 가부시기가이샤
일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2520만
지
(72) 발명자
사이토 야스유키
일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2520 히
다치 오토모티브 시스템즈 가부시기가이샤 내
하마노 히로시
일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2520 히
다치 오토모티브 시스템즈 가부시기가이샤 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
문두현, 문기상

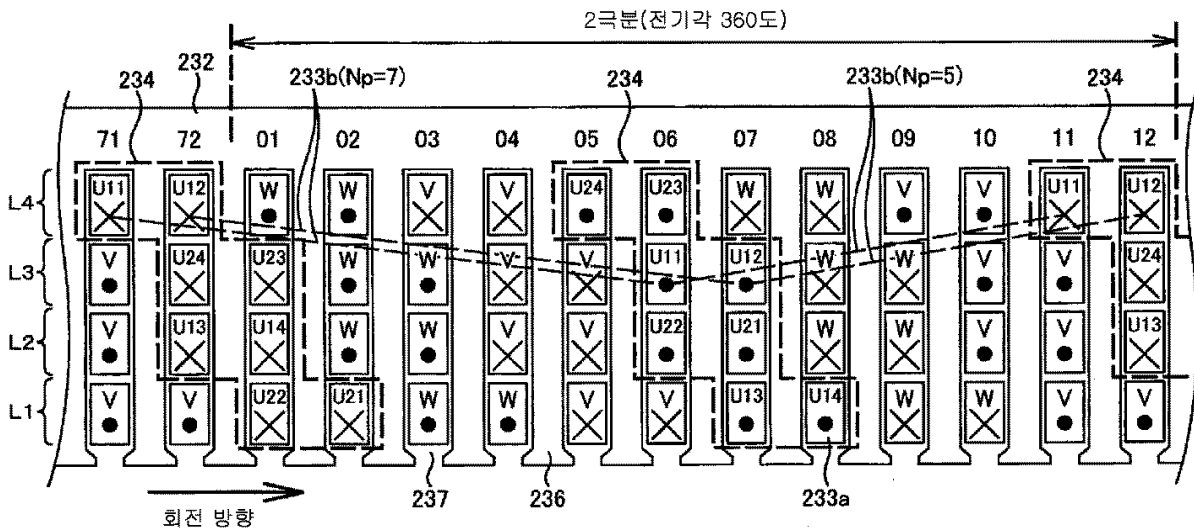
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 회전 전기, 및 그 회전 전기를 구비한 차량

(57) 요약

회전 전기는, 고정자의 크로스오버 도체가, 매극 슬롯수를 N_p 로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p = N + 1$ 로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p = N - 1$ 로 슬롯을 건너뛰도록 슬롯 도체간을 접속하고, 고정자 권선(巻線)이, 동일 상(相)의 복수의 슬롯 도체로 구성되는 하나의 그룹의 슬롯 도체 그
(뒷면에 계속)

대표도



를 복수 갖고, 슬롯 도체 그룹의 복수의 슬롯 도체는, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정수(N_s)의 슬롯 내에 슬롯 및 레이어가 인접하도록 삽입 통과되고, 소정수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 NSPP, 레이어수를 $2 \times NL$ 로 했을 때, $N_s = NSPP + NL$ 로 설정되고, 회전자가, 자기적 보조 돌극부(突極部) 내이며 당해 자기적 보조 돌극부의 돌극 중심을 지나는 q축으로부터 둘레 방향으로 어긋난 위치에 자기 저항 변화부를 갖고, 자기 저항 변화부의 q축으로부터의 어긋남량은, 통전시의 토크 맥동이 서로 없어지도록 자기적 보조 돌극의 위치에 따라 다르게 구성된다.

(72) 발명자

고바야시 료지

일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2477 가
부시킴가이샤 히다치 카 엔지니어링 내

이케다 다이ске

일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2520 히
다치 오토모티브 시스템즈 가부시킴가이샤 내

가노 유지

일본국 이바라키켄 히다치나카시 다카바 2520 히
다치 오토모티브 시스템즈 가부시킴가이샤 내

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 슬롯이 형성된 고정자 코어와,

상기 고정자 코어의 각 슬롯에 삽입 통과되어 복수의 레이어 중 어느 하나를 구성하는 슬롯 도체와, 다른 슬롯에 삽입 통과된 슬롯 도체의 동일측 단부(端部)끼리를 접속하여 코일 엔드를 구성하는 크로스오버(crossover) 도체로 이루어지는 파권(波卷)의 주회 권선(卷線)을 복수 갖는 복수 상(相)의 고정자 권선과,

상기 고정자 코어에 대하여 공극(空隙)을 사이에 두고 회전 가능하게 설치되고, 복수의 자석과, 당해 자석의 극간에 형성된 복수의 자기적 보조 돌극부(突極部)를 갖는 회전자를 구비하고,

상기 크로스오버 도체는, 매극(每極) 슬롯수를 N 으로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p = N+1$ 로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p = N-1$ 로 슬롯을 건너뛰도록 상기 슬롯 도체간을 접속하고,

상기 고정자 권선은, 동일 상의 복수의 슬롯 도체로 구성되는 하나의 그룹의 슬롯 도체 그룹을 복수 갖고,

상기 슬롯 도체 그룹의 복수의 슬롯 도체는, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정수(N_s)의 슬롯 내에 슬롯 및 레이어가 인접하도록 삽입 통과되고,

상기 소정수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 $NSPP$, 레이어수를 $2 \times NL$ 로 했을 때, $N_s = NSPP + NL$ 로 설정되어 있고,

상기 회전자는, 상기 자기적 보조 돌극부 내이며 당해 자기적 보조 돌극부의 돌극 중심을 지나는 q 축으로부터 둘레 방향으로 어긋난 위치에 자기 저항 변화부를 갖고,

상기 자기 저항 변화부의 q 축으로부터의 어긋남량은, 통전시의 토크 맥동이 서로 없어지도록 상기 자기적 보조 돌극의 위치에 따라 다른 회전 전기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자기 저항 변화부는 자기적 공극인 회전 전기.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 자기적 공극은, 자극(磁極) 중심을 지나는 q 축에 대하여 비대칭이고, 돌극 중심을 지나는 d 축에 대하여 대칭으로 배치되어 있는 회전 전기.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 자기적 공극은, 자극 중심을 지나는 q 축에 대하여 대칭이고, 돌극 중심을 지나는 d 축에 대하여 비대칭으로 배치되어 있는 회전 전기.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 자기적 공극은 상기 회전 코어의 표면에 형성된 오목부인 회전 전기.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 슬롯 도체가 평각선(平角線)인 회전 전기.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고정자 권선은 Y 결선을 복수 갖고, 각각의 Y 결선의 각 상의 권선에 유기(誘起)하는 전압에 위상차가 없는 회전 전기.

청구항 8

제2항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 회전자 코어는, 상기 자기적 공극을 형성하는 구멍 또는 노치가 형성된 전자기 강판을 적층하여 이루어지는 회전 전기.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 회전자 코어는, 상기 자석, 상기 자기적 보조 돌극부 및 상기 자기적 공극을 각각 갖는 복수의 축 방향 분할 코어 그룹으로 분할되고, 상기 자석과 상기 자기적 공극의 돌레 방향 위치는 상기 축 방향 분할 코어 그룹에 관계없이 일정하며, 상기 자기적 공극의 돌레 방향 위치가 다른 적어도 2종류 이상의 상기 축 방향 분할 코어 그룹이 3개 이상으로 이루어지는 회전 전기.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 고정자 권선의 구성으로 전기각 360도에 대한 6차 성분의 토크 리플을 저감하고, 상기 자기 저항 변화부에 의해 12차 성분의 토크 리플을 저감하고 있는 회전 전기.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 기재된 회전 전기와,

직류 전력을 공급하는 배터리와,

상기 배터리의 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 상기 회전 전기에 공급하는 변환 장치를 구비하고,

상기 회전 전기의 토크를 구동력으로서 이용하는 차량.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 회전 전기(電機), 및 그 회전 전기를 구비한 차량에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 차량의 구동용으로서 이용되는 회전 전기의 권선(卷線) 기술로서는, 특허문헌 1에 기재된 기술이 알려져 있다. 또한, 회전자에 따른 기술로서는, 특허문헌 2에 기재된 기술도 알려져 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 미국 특허 제6894417호

(특허문헌 0002) 일본국 특개2010-98830호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 전기 자동차 등에 탑재되는 회전 전기에는, 저소음인 것이 요구되고 있다. 그 때문에, 본 발명은 회전 전기의 저소음화를 목적으로 하고 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 하나의 태양에 의하면, 회전 전기는, 복수의 슬롯이 형성된 고정자 코어와, 고정자 코어의 각 슬롯에 삽입 통과되어 복수의 레이어 중 어느 하나를 구성하는 슬롯 도체와, 다른 슬롯에 삽입 통과된 슬롯 도체의 동일측 단부(端部)끼리를 접속하여 코일 엔드를 구성하는 크로스오버(crossover) 도체로 이루어지는 파권(波卷)의 주회 권선을 복수 갖는 복수 상(相)의 고정자 권선과, 고정자 코어에 대하여 공극(空隙)을 사이에 두고 회전 가능하게 설치되고, 복수의 자석과, 당해 자석의 극간에 형성된 복수의 자기적 보조 돌극부(突極部)를 갖는 회전자를 구비하고, 크로스오버 도체는, 매극 슬롯수를 N 으로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N+1$ 로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N-1$ 로 슬롯을 건너뛰도록 슬롯 도체간을 접속하고, 고정자 권선은, 동일 상의 복수의 슬롯 도체로 구성되는 하나의 그룹의 슬롯 도체 그룹을 복수 갖고, 슬롯 도체 그룹의 복수의 슬롯 도체는, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정수(N_s)의 슬롯 내에 슬롯 및 레이어가 인접하도록 삽입 통과되고, 소정수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 $NSPP$, 레이어수를 $2 \times NL$ 로 했을 때, $N_s=NSPP+NL$ 로 설정되어 있고, 회전자는, 자기적 보조 돌극부 내이며 당해 자기적 보조 돌극부의 돌극 중심을 지나는 q 축으로부터 둘레 방향으로 어긋난 위치에 자기 저항 변화부를 갖고, 자기 저항 변화부의 q 축으로부터의 어긋남량은, 통전시의 토크 맥동이 서로 없어지도록 자기적 보조 돌극의 위치에 따라 다르다.

[0006] 본 발명의 다른 태양에 의하면, 차량은, 제1 내지 10 중 어느 태양의 회전 전기와, 직류 전력을 공급하는 배터리와, 배터리의 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 회전 전기에 공급하는 변환 장치를 구비하고, 회전 전기의 토크를 구동력으로서 이용한다.

발명의 효과

[0007] 본 발명에 의하면, 회전 전기 및 회전 전기를 구비한 차량에 있어서, 저소음화를 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 하이브리드형 전기 자동차의 개략 구성을 나타내는 도면.

도 2는 전력 변환 장치(600)의 회로도.

도 3은 회전 전기(200)의 단면도.

도 4는 회전자 코어(252)를 나타내는 도면.

도 5는 고정자(230) 및 회전자(250)의 단면도.

도 6은 고정자(230)의 사시도.

도 7은 고정자 권선(238)의 결선도.

도 8은 U상 권선의 상세 결선을 나타내는 도면.

도 9는 U1상 권선 그룹의 일부의 확대도.

도 10은 U2상 권선 그룹의 일부의 확대도.

도 11은 슬롯 도체(233a)의 배치도.

도 12는 슬롯 도체(233a)의 배치를 설명하는 도면.

도 13은 고정자(230) 및 회전자(250)의 부분 확대 단면도.

도 14는 릴럭턴스 토크를 설명하는 도면.

도 15는 비통전시의 자속 분포를 나타내는 도면.

도 16은 코깅 토크 저감 방법을 설명하는 도면.

- 도 17은 자석 극호도(極弧度) τ_m/τ_p 의 비(比)와 코깅 토크와의 관계를 나타내는 도면.
- 도 18은 코깅 토크의 파형을 나타내는 도면.
- 도 19는 유기(誘起) 전압 파형을 나타내는 도면.
- 도 20은 유기 전압 파형의 고조파 해석 결과를 나타내는 도면.
- 도 21은 교류 전류를 통전했을 경우의 토크 파형을 나타내는 도면.
- 도 22는 토크 파형의 고조파 해석 결과를 나타내는 도면.
- 도 23은 고정자의 원환(圓環) 0차의 진동 모드를 나타내는 도면.
- 도 24는 고정자의 원환 6차의 진동 모드를 나타내는 도면.
- 도 25는 고정자의 원환 6차 성분을 가지고, 축 방향 양단에서 위상이 반전하는 진동 모드를 나타내는 도면.
- 도 26은 제2 실시형태에 있어서의 U상 권선의 상세 결선을 나타내는 도면.
- 도 27은 제2 실시형태에 있어서의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타내는 도면.
- 도 28은 제3 실시형태에 있어서의 U상 권선의 상세 결선의 일부를 나타내는 도면.
- 도 29는 제3 실시형태에 있어서의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 이하, 도면을 참조하여 본 발명을 실시하기 위한 형태에 대해서 설명한다.
- [0010] [제1 실시형태]
- [0011] 본 발명에 따른 회전 전기는, 이하에 설명하는 바와 같이, 토크 리플 저감에 의한 저소음화가 가능하다. 그 때문에, 예를 들면, 전기 자동차의 주행용 모터로서 바람직하다. 본 발명에 따른 회전 전기는, 회전 전기만에 의해 주행하는 순수한 전기 자동차나, 엔진과 회전 전기의 쌍방에 의해 구동되는 하이브리드형 전기 자동차에도 적용할 수 있지만, 이하에서는 하이브리드형 전기 자동차를 예로 설명한다.
- [0012] 도 1은 본 발명의 일 실시형태의 회전 전기를 탑재한 하이브리드형 전기 자동차의 개략 구성을 나타내는 도면이다. 차량(100)에는, 엔진(120)과 제1 회전 전기(200)와 제2 회전 전기(202)와 배터리(180)가 탑재되어 있다. 배터리(180)는, 회전 전기(200, 202)에 의한 구동력이 필요할 경우에는, 전력 변환 장치(600)에 직류 전력을 공급하고, 전력 변환 장치(600)는 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 회전 전기(200, 202)에 공급한다. 또한, 회생 주행시에는 회전 전기(200, 202)가 발생한 교류 전력을 전력 변환 장치(600)에 공급하고, 전력 변환 장치(600)는 교류 전력을 직류 전력으로 변환하여 배터리(180)에 공급한다. 배터리(180)와 회전 전기(200, 202) 사이의 직류 전력의 주고 받음은, 전력 변환 장치(600)를 통하여 행해진다. 또한, 도시하고 있지 않지만, 차량에는 저전압 전력(예를 들면, 14볼트계 전력)을 공급하는 배터리가 탑재되어 있고, 이하에 설명하는 제어 회로에 직류 전력을 공급한다.
- [0013] 엔진(120) 및 회전 전기(200, 202)에 의한 회전 토크는, 변속기(130)와 디퍼렌셜 기어(160)를 통하여 전륜(110)에 전달된다. 변속기(130)는 변속기 제어 장치(134)에 의해 제어되고, 엔진(120)은 엔진 제어 장치(124)에 의해 제어된다. 배터리(180)는, 배터리 제어 장치(184)에 의해 제어된다. 변속기 제어 장치(134), 엔진 제어 장치(124), 배터리 제어 장치(184), 전력 변환 장치(600) 및 통합 제어 장치(170)는, 통신 회선(174)에 의해 접속되어 있다.
- [0014] 통합 제어 장치(170)는, 변속기 제어 장치(134), 엔진 제어 장치(124), 전력 변환 장치(600) 및 배터리 제어 장치(184)보다 상위의 제어 장치이며, 변속기 제어 장치(134), 엔진 제어 장치(124), 전력 변환 장치(600) 및 배터리 제어 장치(184)의 각 상태를 나타내는 정보를, 통신 회선(174)을 통하여 그들로부터 각각 수취한다. 통합 제어 장치(170)는, 취득한 그들 정보에 의거하여 각 제어 장치의 제어 지령을 연산한다. 연산된 제어 지령은 통신 회선(174)을 통하여 각각의 제어 장치에 송신된다.
- [0015] 고전압의 배터리(180)는 리튬 이온 전지 혹은 니켈 수소 전지 등의 2차 전지로 구성되고, 250볼트 내지 600볼트, 혹은 그 이상의 고전압의 직류 전력을 출력한다. 배터리 제어 장치(184)는, 배터리(180)의 충방전 상황이나 배터리(180)를 구성하는 각 단위 셀 전지의 상태를, 통신 회선(174)을 통하여 통합 제어 장치(170)에 출

력한다.

- [0016] 통합 제어 장치(170)는, 배터리 제어 장치(184)로부터의 정보에 의거하여 배터리(180)의 충전이 필요하다고 판단하면, 전력 변환 장치(600)에 발전 운전의 지시를 낸다. 또한, 통합 제어 장치(170)는, 주로, 엔진(120) 및 회전 전기(200, 202)의 출력 토크의 관리, 엔진(120)의 출력 토크와 회전 전기(200, 202)의 출력 토크와의 종합 토크나 토크 분배비의 연산 처리를 행하고, 그 연산 처리 결과에 의거하는 제어 지령을, 변속기 제어 장치(134), 엔진 제어 장치(124) 및 전력 변환 장치(600)에 송신한다. 전력 변환 장치(600)는, 통합 제어 장치(170)로부터의 토크 지령에 의거하여, 지령대로의 토크 출력 혹은 발전 전력이 발생하도록 회전 전기(200, 202)를 제어한다.
- [0017] 전력 변환 장치(600)에는, 회전 전기(200, 202)를 운전하기 위한 인버터를 구성하는 파워 반도체가 설치되어 있다. 전력 변환 장치(600)는, 통합 제어 장치(170)로부터의 지령에 의거하여 파워 반도체의 스위칭 동작을 제어한다. 이 파워 반도체의 스위칭 동작에 의해, 회전 전기(200, 202)는 전동기로서 혹은 발전기로서 운전된다.
- [0018] 회전 전기(200, 202)를 전동기로서 운전할 경우에는, 고전압의 배터리(180)로부터의 직류 전력이 전력 변환 장치(600)의 인버터의 직류 단자에 공급된다. 전력 변환 장치(600)는, 파워 반도체의 스위칭 동작을 제어하여, 공급된 직류 전력을 3상 교류 전력으로 변환하고, 회전 전기(200, 202)에 공급한다. 한편, 회전 전기(200, 202)를 발전기로서 운전할 경우에는, 회전 전기(200, 202)의 회전자가 외부로부터 가해지는 회전 토크에 의해 회전 구동되고, 회전 전기(200, 202)의 고정자 권선에 3상 교류 전력이 발생한다. 발생한 3상 교류 전력은 전력 변환 장치(600)에서 직류 전력으로 변환되고, 그 직류 전력이 고전압의 배터리(180)에 공급됨으로써, 배터리(180)가 충전된다.
- [0019] 도 2는 도 1의 전력 변환 장치(600)의 회로도를 나타낸다. 전력 변환 장치(600)에는, 회전 전기(200)를 위한 제1 인버터 장치와, 회전 전기(202)를 위한 제2 인버터 장치가 설치되어 있다. 제1 인버터 장치는, 파워 모듈(610)과, 파워 모듈(610)의 각 파워 반도체(21)의 스위칭 동작을 제어하는 제1 구동 회로(652)와, 회전 전기(200)의 전류를 검지하는 전류 센서(660)를 구비하고 있다. 구동 회로(652)는 구동 회로 기판(650)에 설치되어 있다.
- [0020] 한편, 제2 인버터 장치는, 파워 모듈(620)과, 파워 모듈(620)에 있어서의 각 파워 반도체(21)의 스위칭 동작을 제어하는 제2 구동 회로(656)와, 회전 전기(202)의 전류를 검지하는 전류 센서(662)를 구비하고 있다. 구동 회로(656)는 구동 회로 기판(654)에 설치되어 있다. 제어 회로 기판(646)에 설치된 제어 회로(648), 콘덴서 모듈(630) 및 커넥터 기판(642)에 실장된 송수신 회로(644)는, 제1 인버터 장치와 제2 인버터 장치에서 공통으로 사용된다.
- [0021] 파워 모듈(610, 620)은, 각각 대응하는 구동 회로(652, 656)로부터 출력된 구동 신호에 의해 동작한다. 파워 모듈(610, 620)은, 각각 배터리(180)로부터 공급된 직류 전력을 3상 교류 전력으로 변환하고, 그 전력을 대응하는 회전 전기(200, 202)의 전기자(電機子) 권선인 고정자 권선에 공급한다. 또한, 파워 모듈(610, 620)은, 회전 전기(200, 202)의 고정자 권선에 유기된 교류 전력을 직류로 변환하고, 배터리(180)에 공급한다.
- [0022] 파워 모듈(610, 620)은 도 2에 기재된 바와 같이 3상 브리지 회로를 구비하고 있고, 3상에 대응한 직렬 회로가, 각각 배터리(180)의 양극측과 음극측 사이에 전기적으로 병렬로 접속되어 있다. 각 직렬 회로는 상측 아암을 구성하는 파워 반도체(21)와 하측 아암을 구성하는 파워 반도체(21)를 구비하고, 그들 파워 반도체(21)는 직렬로 접속되어 있다. 파워 모듈(610)과 파워 모듈(620)은, 도 2에 나타내는 바와 같이 회로 구성이 거의 동일하며, 여기에서는 파워 모듈(610)로 대표하여 설명한다.
- [0023] 본 실시형태에서는, 스위칭용 파워 반도체 소자로서 IGBT(절연 게이트형 바이폴라 트랜지스터)(21)를 이용하고 있다. IGBT(21)는, 콜렉터 전극, 이미터 전극 및 게이트 전극의 3개의 전극을 구비하고 있다. IGBT(21)의 콜렉터 전극과 이미터 전극 사이에는 다이오드(38)가 전기적으로 접속되어 있다. 다이오드(38)는, 캐소드 전극 및 애노드 전극의 2개의 전극을 구비하고 있고, IGBT(21)의 이미터 전극으로부터 콜렉터 전극을 향하는 방향이 순방향이 되도록, 캐소드 전극이 IGBT(21)의 콜렉터 전극에, 애노드 전극이 IGBT(21)의 이미터 전극에 각각 전기적으로 접속되어 있다.
- [0024] 한편, 스위칭용 파워 반도체 소자로서, MOSFET(금속 산화물 반도체형 전계 효과 트랜지스터)를 이용해도 된다. MOSFET는, 드레인 전극, 소스 전극 및 게이트 전극의 3개의 전극을 구비하고 있다. MOSFET의 경우에는, 소스 전극과 드레인 전극 사이에, 드레인 전극으로부터 소스 전극을 향하는 방향이 순방향이 되는 기생

(寄生) 다이오드를 구비하고 있으므로, 도 2의 다이오드(38)를 설치할 필요가 없다.

- [0025] 각 상의 아암은, IGBT(21)의 이미터 전극과 IGBT(21)의 콜렉터 전극이 전기적으로 직렬로 접속되어 구성되어 있다. 한편, 본 실시형태에서는, 각 상의 각 상하측 아암의 IGBT를 1개만 도시하고 있지만, 제어하는 전류 용량이 크므로, 실제로는 복수의 IGBT가 전기적으로 병렬로 접속되어 구성되어 있다. 이하에서는, 설명을 간단하게 하기 위해, 1개의 파워 반도체로서 설명한다.
- [0026] 도 2에 나타내는 예에서는, 각 상의 각 상하측 아암은 각각 3개의 IGBT에 의해 구성되어 있다. 각 상의 각 상측 아암의 IGBT(21)의 콜렉터 전극은 배터리(180)의 양극측에, 각 상의 각 하측 아암의 IGBT(21)의 이미터 전극은 배터리(180)의 음극측에 각각 전기적으로 접속되어 있다. 각 상의 각 아암의 중점(상측 아암측 IGBT의 이미터 전극과 하측 아암측의 IGBT의 콜렉터 전극의 접속 부분)은, 대응하는 회전 전기(200, 202)의 대응하는 상의 전기자 권선(고정자 권선)에 전기적으로 접속되어 있다.
- [0027] 구동 회로(652, 656)는, 대응하는 인버터 장치를 제어하기 위한 구동부를 구성하고 있고, 제어 회로(648)로부터 출력된 제어 신호에 의거하여, IGBT(21)를 구동시키기 위한 구동 신호를 발생시킨다. 각각의 구동 회로(652, 656)에서 발생한 구동 신호는, 대응하는 파워 모듈(610, 620)의 각 파워 반도체 소자의 게이트에 각각 출력된다. 구동 회로(652, 656)에는, 각 상의 각 상하측 아암의 게이트에 공급하는 구동 신호를 발생시키는 집적 회로가 각각 6개 설치되어 있고, 6개의 집적 회로를 1블록으로 하여 구성되어 있다.
- [0028] 제어 회로(648)는 각 인버터 장치의 제어부를 구성하고 있고, 복수의 스위칭용 파워 반도체 소자를 동작(온·오프)시키기 위한 제어 신호(제어값)를 연산하는 마이크로 컴퓨터에 의해 구성되어 있다. 제어 회로(648)에는, 상위 제어 장치로부터의 토크 지령 신호(토크 지령값), 전류 센서(660, 662)의 센서 출력, 회전 전기(200, 202)에 탑재된 회전 센서의 센서 출력이 입력된다. 제어 회로(648)는 이들 입력 신호에 의거하여 제어값을 연산하고, 구동 회로(652, 656)에 스위칭 타이밍을 제어하기 위한 제어 신호를 출력한다.
- [0029] 커넥터 기관(642)에 실장된 송수신 회로(644)는, 전력 변환 장치(600)와 외부의 제어 장치 사이를 전기적으로 접속하기 위한 것으로, 도 1의 통신 회선(174)을 통하여 다른 장치와 정보의 송수신을 행한다. 콘텐서 모듈(630)은, IGBT(21)의 스위칭 동작에 의해 생기는 직류 전압의 변동을 억제하기 위한 평활 회로를 구성하는 것으로, 제1 파워 모듈(610)이나 제2 파워 모듈(620)에 있어서의 직류측의 단자에 전기적으로 병렬로 접속되어 있다.
- [0030] 도 3은 도 1의 회전 전기(200)의 단면도를 나타낸다. 한편, 회전 전기(200)와 회전 전기(202)는 거의 동일한 구조를 갖고 있어, 이하에서는 회전 전기(200)의 구조를 대표예로서 설명한다. 단, 이하에 나타내는 구조는 회전 전기(200, 202)의 쌍방에 채용되어 있을 필요는 없고, 한쪽에만 채용되어 있어도 된다.
- [0031] 하우징(212)의 내부에는 고정자(230)가 유지되어 있고, 고정자(230)는 고정자 코어(232)와 고정자 권선(238)을 구비하고 있다. 고정자 코어(232)의 내주측에는, 회전자(250)가 공극(222)을 사이에 두고 회전 가능하게 유지되어 있다. 회전자(250)는, 샤프트(218)에 고정된 회전자 코어(252)와, 영구 자석(254)과, 비자성체의 맞닿음판(226)을 구비하고 있다. 하우징(212)은 베어링(216)이 설치된 한 쌍의 엔드 브래킷(214)을 갖고 있고, 샤프트(218)는 이들 베어링(216)에 의해 회전 가능하게 유지되어 있다.
- [0032] 샤프트(218)에는, 회전자(250)의 극의 위치나 회전 속도를 검출하는 리졸버(224)가 설치되어 있다. 이 리졸버(224)로부터의 출력은, 도 2에 나타낸 제어 회로(648)에 취입된다. 제어 회로(648)는, 취입된 출력에 의거하여 제어 신호를 구동 회로(652)에 출력한다. 구동 회로(652)는, 그 제어 신호에 의거하는 구동 신호를 파워 모듈(610)에 출력한다. 파워 모듈(610)은, 제어 신호에 의거하여 스위칭 동작을 행하고, 배터리(180)로부터 공급되는 직류 전력을 3상 교류 전력으로 변환한다. 이 3상 교류 전력은 도 3에 나타낸 고정자 권선(238)에 공급되고, 회전 자계(磁界)가 고정자(230)에 발생한다. 3상 교류 전류의 주파수는 리졸버(224)의 출력값에 의거하여 제어되고, 3상 교류 전류의 회전자(250)에 대한 위상도 동일하게 리졸버(224)의 출력값에 의거하여 제어된다.
- [0033] 도 4의 (a)는, 회전자(250)의 회전자 코어(252)를 나타내는 사시도이다. 회전자 코어(252)는, 도 4의 (b)에 나타내는 2종류의 코어(301, 302)를 3단으로 구성하고 있다. 코어(302)의 축 방향 길이(H2)는, 코어(301)의 축 방향 길이(H1)의 합계와 거의 동일하게 설정되어 있다.
- [0034] 도 5는 고정자(230) 및 회전자(250)의 단면을 나타내는 도면이며, 도 5의 (a)는 코어(301)의 부분을 지나는 A-A 단면도(도 3 참조)이며, 도 5의 (b)는 코어(302)의 부분을 지나는 B-B 단면도(도 3 참조)이다. 한편, 도 5에서는 하우징(212), 샤프트(218) 및 고정자 권선(238)의 기재를 생략했다. 고정자 코어(232)의

내주측에는, 다수의 슬롯(237)과 티스(236)가 전체 둘레에 걸쳐 균등하게 배치되어 있다. 도 5에서는, 슬롯 및 티스의 전체에 부호를 부여하지 않고, 대표적으로 일부의 티스와 슬롯에만 부호를 부여했다. 슬롯(237) 내에는 슬롯 절연재(도시 생략)가 설치되고, 도 3의 고정자 권선(238)을 구성하는 U상, V상, W상의 복수의 상 권선이 장착되어 있다. 본 실시형태에서는, 슬롯(237)은 등간격으로 72개 형성되어 있다.

[0035] 또한, 회전자 코어(252)의 외주 근방에는, 직사각형의 자석을 삽입하기 위한 복수의 구멍(253)이 둘레 방향을 따라 등간격으로 12개 마련되어 있다. 각 구멍(253)은 축 방향을 따라 형성되어 있고, 그 구멍(253)에는 영구 자석(254)이 각각 메워 넣어져, 접착제 등에 의해 고정되어 있다. 구멍(253)의 둘레 방향의 폭은, 영구 자석(254)(254a, 254b)의 둘레 방향의 폭보다 크게 설정되어 있고, 영구 자석(254)의 양측의 공극(257)은 자기적 공극으로서 기능한다. 이 공극(257)은 접착제를 메워 넣어도 되고, 성형용 수지로 영구 자석(254)과 일체로 경화해도 된다. 영구 자석(254)은 회전자(250)의 계자극(界磁極)으로서 작용하고, 본 실시형태에서는 12극 구성으로 되어 있다.

[0036] 영구 자석(254)의 자화(磁化) 방향은 직경 방향을 향하고 있고, 계자극마다 자화 방향의 방향이 반전하고 있다. 즉, 영구 자석(254a)의 고정자 측면이 N극, 축측의 면이 S극이었다고 하면, 이웃하는 영구 자석(254b)의 고정자 측면은 S극, 축측의 면은 N극으로 되어 있다. 그리고, 이들 영구 자석(254a, 254b)이 둘레 방향으로 번갈아 배치되어 있다.

[0037] 영구 자석(254)은, 자화한 후에 구멍(253)에 삽입해도 되고, 회전자 코어(252)의 구멍(253)에 삽입한 후에 강력한 자계를 부여하여 자화하도록 해도 된다. 단, 자화 후의 영구 자석(254)은 강력한 자석이므로, 회전자(250)에 영구 자석(254)을 고정하기 전에 자석을 착자(着磁)하면, 영구 자석(254)의 고정시에 회전자 코어(252)와의 사이에 강력한 흡인력이 생겨 조립 작업의 방해가 된다. 또한, 영구 자석(254)의 강력한 흡인력에 의해, 영구 자석(254)에 철분(鐵粉) 등의 먼지가 부착될 우려가 있다. 그 때문에, 회전 전기의 생산성을 고려했을 경우, 영구 자석(254)을 회전자 코어(252)에 삽입한 후에 자화하는 것이 바람직하다.

[0038] 한편, 영구 자석(254)에는, 네오듐계, 사마륨계의 소결(燒結) 자석이나 펠라이트 자석, 네오듐계의 본드 자석 등을 사용할 수 있다. 영구 자석(254)의 잔류 자속 밀도는 거의 0.4~1.3T 정도이다.

[0039] 3상 교류 전류(를 고정자 권선(238)에 흘림으로써)에 의해 회전 자계가 고정자(230)에 발생하면, 이 회전 자계가 회전자(250)의 영구 자석(254a, 254b)에 작용하여 토크가 생긴다. 이 토크는, 영구 자석(254)으로부터 나오는 자속 중 각 상 권선에 쇄교(鎖交)하는 성분과, 각 상 권선에 흐르는 교류 전류의 쇄교 자속에 직교하는 성분의 곱으로 나타난다. 여기에서, 교류 전류는 정현파 형상이 되도록 제어되어 있으므로, 쇄교 자속의 기본파 성분과 교류 전류의 기본파 성분의 곱이 토크의 시간 평균 성분이 되고, 쇄교 자속의 고조파 성분과 교류 전류의 기본파 성분의 곱이 토크의 고조파 성분인 토크 리플이 된다. 즉, 토크 리플을 저감하기 위해서는, 쇄교 자속의 고조파 성분을 저감하면 된다. 환언하면, 쇄교 자속과 회전자의 회전하는 각(角) 가속도의 곱이 유기 전압이기 때문에, 쇄교 자속의 고조파 성분을 저감하는 것은, 유기 전압의 고조파 성분을 저감하는 것과 동등하다.

[0040] 도 6은 고정자(230)의 사시도이다. 본 실시형태에서는, 고정자 권선(238)은 고정자 코어(232)에 파권으로 감겨있다. 고정자 코어(232)의 양단부면(兩端面)에는, 고정자 권선(238)의 코일 엔드(241)가 형성되어 있다. 또한, 고정자 코어(232)의 한쪽의 단부면측에는, 고정자 권선(238)의 리드선(242)이 인출되어 있다. 리드선(242)은, U상, V상, W상의 각각에 대응하여 3개 인출되어 있다.

[0041] 도 7은 고정자 권선(238)의 결선도이며, 결선 방식 및 각 상 권선의 전기적인 위상 관계를 나타낸 것이다. 본 실시형태의 고정자 권선(238)에는 더블 스타 결선이 채용되어 있고, U1상 권선 그룹, V1상 권선 그룹, W1상 권선 그룹으로 이루어지는 제1 스타 결선과, U2상 권선 그룹, V2상 권선 그룹, W2상 권선 그룹으로 이루어지는 제2 스타 결선이 병렬로 접속되어 있다. U1, V1, W1상 권선 그룹 및 U2, V2, W2상 권선 그룹은 각각 4개의 주회 권선으로 구성되어 있고, U1상 권선 그룹은 주회 권선(U11~U14)을 갖고, V1상 권선 그룹은 주회 권선(V11~V14)을 갖고, W1상 권선 그룹은 주회 권선(W11~W14)을 갖고, U2상 권선 그룹은 주회 권선(U21~U24)을 갖고, V2상 권선 그룹은 주회 권선(V21~V24)을 갖고, W2상 권선 그룹은 주회 권선(W21~W24)을 갖고 있다.

[0042] 도 7에 나타내는 바와 같이, V상 및 W상은 U상과 거의 마찬가지로의 구성이며, 각각에 유기되는 전압의 위상이 전기각으로 120도 어긋나도록 배치되어 있다. 또한, 각각의 주회 권선의 각도가 상대적인 위상을 나타내고 있다. 도 6에 나타내는 바와 같이, 본 실시형태에서는, 고정자 권선(238)은 병렬로 결선된 더블 스타(2Y) 결선을 채용하고 있지만, 회전 전기의 구동 전압에 따라서는 그들을 직렬로 연결하여 싱글 스타(1Y) 결선으로

해도 된다.

- [0043] 도 8은 고정자 권선(238)의 U상 권선의 상세 결선을 나타내는 도면이며, 도 8의 (a)는 U1상 권선 그룹의 주회 권선(U13, U14)을 나타내고, 도 8의 (b)는 U1상 권선 그룹의 주회 권선(U11, U12)을 나타내고, 도 8의 (c)는 U2상 권선 그룹의 주회 권선(U21, U22)을 나타내고, 도 8의 (d)는 U2상 권선 그룹의 주회 권선(U23, U24)을 나타낸다. 상술한 바와 같이 고정자 코어(232)에는 72개의 슬롯(237)이 형성되어 있고(도 5 참조), 도 8에 나타내는 부호 01, 02, ..., 71, 72는 슬롯 번호를 나타내고 있다.
- [0044] 각 주회 권선(U11~U24)은, 슬롯 내에 삽입 통과되는 슬롯 도체(233a)와, 다른 슬롯에 삽입 통과된 슬롯 도체(233a)의 동일측 단부끼리를 접속하여, 코일 엔드(241)(도 6 참조)를 구성하는 크로스오버 도체(233b)로 이루어진다. 예를 들면, 도 8의 (a)에 나타내는 슬롯 번호 55의 슬롯(237)에 삽입 통과되는 슬롯 도체(233a)의 경우, 도시 상측의 단부는, 상측 코일 엔드를 구성하는 크로스오버 도체(233b)에 의해, 슬롯 번호 60의 슬롯(237)에 삽입 통과되는 슬롯 도체(233a)의 상측 단부에 접속되고, 반대로, 하측 단부는, 하측 코일 엔드를 구성하는 크로스오버 도체(233b)에 의해, 슬롯 번호 48의 슬롯(237)에 삽입 통과되는 슬롯 도체(233a)의 하측 단부에 접속되어 있다. 이와 같은 형태로 슬롯 도체(233a)가 크로스오버 도체(233b)에 의해 접속됨으로써, 파권의 주회 권선이 형성된다.
- [0045] 후술하는 바와 같이, 본 실시형태에서는, 1슬롯 내에 4개의 슬롯 도체(233a)가 내주측으로부터 외주측으로 나열되어 삽입 통과되고, 내주측으로부터 순서대로 레이어 1, 레이어 2, 레이어 3, 레이어 4라고 칭한다. 도 8에서, 주회 권선(U13, U14, U21 및 U22)의 실선 부분은 레이어 1을 나타내고 있고, 일점 쇄선의 부분은 레이어 2를 나타내고 있다. 한편, 주회 권선(U11, U12, U23 및 U24)에 있어서는, 실선 부분은 레이어 3을 나타내고 있고, 일점 쇄선의 부분은 레이어 4를 나타내고 있다.
- [0046] 한편, 주회 권선(U11~U24)은, 연속한 도체로 형성되어도 되고, 세그먼트 코일을 슬롯 내에 삽입 통과한 후에 용접 등에 의해 세그먼트 코일끼리를 접속하도록 해도 된다. 세그먼트 코일을 이용할 경우, 세그먼트 코일을 슬롯(237)에 삽입 통과하기 전에, 고정자 코어(232)의 단부보다 축 방향 양단에 위치하는 코일 엔드(241)를 미리 성형할 수 있고, 이(異)상간 혹은 동(同)상간에 적절한 절연 거리를 용이하게 마련할 수 있다. 그 결과, IGBT(21)의 스위칭 동작에 의해 생기는 서지 전압에 기인하는 부분 방전을 억제할 수 있어, 절연에 관하여 유효하다.
- [0047] 또한, 주회 권선에 사용하는 도체는 평각선(平角線)이나 환선(丸線), 혹은 세선(細線)을 많이 가진 도체여도 되지만, 소형 고출력화나 고효율화를 목적으로 하여 점적물을 높이기 위해서는, 평각선이 적합하다.
- [0048] 도 9, 도 10은, 도 8에 나타난 U1상 권선 그룹 및 U2상 권선 그룹의 일부를 확대하여 나타낸 것이다. 도 9, 도 10에서는 점퍼선의 부분을 포함하는 약 4극분을 나타냈다. 도 9의 (b)에 나타내는 바와 같이, 고정자 권선 그룹(U1)은 리드선으로부터 슬롯 번호 71의 레이어 4에 들어가고, 크로스오버 도체(233b)에 의해 슬롯 5개분을 건너뛰는 후에, 슬롯 도체(233a)가 슬롯 번호 66의 레이어 3에 들어간다. 다음으로, 슬롯 번호 66의 레이어 3으로부터, 슬롯 7개분을 건너뛰어 슬롯 번호 59의 레이어 4에 들어간다.
- [0049] 이와 같이, 리드선이 인출되어 있는 코일 엔드측(도시 하측)에 있어서의 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양이 슬롯 피치 $N_p=7$, 반대측의 코일 엔드측에 있어서의 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양이 슬롯 피치 $N_p=5$ 가 되도록, 슬롯 번호 06의 레이어 3까지 고정자 코어(232)를 1주하여 고정자 권선이 파권으로 감긴다. 여기까지의 대략 1주분의 고정자 권선이 도 7에 나타난 주회 권선(U11)이다.
- [0050] 다음으로, 슬롯 번호 06의 레이어 3으로부터 나온 고정자 권선은 슬롯 6개분을 걸쳐 슬롯 번호 72의 레이어 4에 들어간다. 슬롯 번호 72의 레이어 4부터는 도 7에 나타내는 주회 권선(U12)이 된다. 주회 권선(U12)도 주회 권선(U11)의 경우와 마찬가지로, 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양이 리드선이 있는 측에서는 슬롯 피치 $N_p=7$, 반대측에서는 슬롯 피치 $N_p=5$ 로 설정되고, 슬롯 번호 06의 레이어 3까지 고정자 코어(232)를 1주하여 고정자 권선이 파권으로 감긴다. 여기까지의 대략 1주분의 고정자 권선이 주회 권선(U12)이다.
- [0051] 한편, 주회 권선(U12)은, 주회 권선(U11)에 대하여 1슬롯 피치 어긋나 감기므로, 1슬롯 피치 상당의 전기각분의 위상차가 발생한다. 본 실시형태에서는, 1슬롯 피치는 전기각 30도 상당이며, 도 7에서도, 주회 권선(U11)과 주회 권선(U12)은 30도 어긋나 기재되어 있다.
- [0052] 또한, 슬롯 번호 07의 레이어 3으로부터 나온 고정자 권선은 슬롯 7개분을 걸치는 점퍼선으로 슬롯 번호 72의 레이어 2(도 9의 (a) 참조)에 들어간다. 그 후에는 주회 권선(U11, U12)의 경우와 마찬가지로, 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양이 리드선이 있는 측에서는 슬롯 피치 $N_p=7$, 반대측에서는 슬롯 피치 $N_p=5$ 로 설정

되고, 슬롯 번호 72의 레이어 2부터 슬롯 번호 07의 레이어 1까지 고정자 코어(232)를 1주하여 고정자 권선이 감긴다. 여기까지의 고정자 권선이 도 7에 나타난 주회 권선(U13)이다.

[0053] 한편, 도 9에서 알 수 있는 바와 같이, 주회 권선(U13)은 주회 권선(U12)에 대하여 둘레 방향으로 어긋나지 않고 감기므로, 주회 권선(U12, U13)간에는 위상차는 발생하지 않는다. 도 7에서도, 주회 권선(U12, U13)은 위상차가 없도록 기재되어 있다.

[0054] 마지막으로, 슬롯 번호 07의 레이어 1로부터 나온 고정자 권선은 슬롯 6개분을 건너뛰어 슬롯 번호 01의 레이어 2에 들어간다. 그 후는 주회 권선(U11, U12, U13)의 경우와 마찬가지로, 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양이 리드선이 있는 측에서는 슬롯 피치 $Np=7$, 반대측에서는 슬롯 피치 $Np=5$ 로 설정되고, 슬롯 번호 01의 레이어 2부터 슬롯 번호 08의 레이어 1까지 고정자 코어(232)를 1주하여 고정자 권선이 감긴다. 여기까지의 고정자 권선이 도 7에 나타난 주회 권선(U14)이다.

[0055] 한편, 주회 권선(U14)은, 주회 권선(U13)에 대하여 1슬롯 피치 어긋나 감기므로, 1슬롯 피치 상당의 전기각 30도 상당의 위상차가 발생한다. 도 7에서도, 주회 권선(U13)과 주회 권선(U14)은 30도 어긋나 기재되어 있다.

[0056] 도 10에 나타내는 고정자 권선 그룹(U2)도, 고정자 권선 그룹(U1)의 경우와 마찬가지로의 건너뛰는 양으로 파권으로 감긴다. 주회 권선(U21)은 슬롯 번호 14의 레이어 1부터 슬롯 번호 07의 레이어 2까지 감기고, 주회 권선(U22)은 슬롯 번호 13의 레이어 1부터 슬롯 번호 06의 레이어 2까지 감긴다. 그 후, 고정자 권선은 슬롯 번호 06의 레이어 2부터 점퍼선을 통하여 슬롯 번호 13의 레이어 3에 들어가고, 주회 권선(U23)으로서 슬롯 번호 06의 레이어 4까지 감긴다. 그 후, 고정자 권선을 슬롯 번호 12의 레이어 3부터 슬롯 번호 05의 레이어 4까지 감음으로써, 주회 권선(U24)이 형성된다.

[0057] 이상과 같이, 고정자 권선 그룹(U1)은 주회 권선(U11, U12, U13, U14)으로 이루어지고, 각각의 위상이 합성된 전압이 고정자 권선 그룹(U1)에 유기된다. 마찬가지로, 고정자 권선 그룹(U2)의 경우도, 주회 권선(U21, U22, U23, U24)의 위상이 합성된 전압이 유기된다. 도 7에 나타내는 바와 같이 고정자 권선 그룹(U1)과 고정자 권선 그룹(U2)은 병렬로 접속되어 있지만, 고정자 권선 그룹(U1, U2)의 각각에 유기되는 전압의 사이에는 위상차가 없고, 병렬 접속이어도 순환 전류가 흐르는 등의 언밸런스가 일어나지 않는다.

[0058] 또한, 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양을, 한쪽의 코일 엔드측에서는 슬롯 피치 Np =매극 슬롯수+1로 합과 함께, 다른 쪽의 코일 엔드측에서는 슬롯 피치 Np =매극 슬롯수-1로 하고, 또한, 주회 권선(U12, U13)간의 위상차 및 주회 권선(U22, U23)간의 위상차를 없애도록 감았다. 이에 따라, 도 11에 나타내는 슬롯 도체(233a)의 배치를 실현할 수 있다.

[0059] 도 11은 고정자 코어(232)에 있어서의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타내는 도면이며, 도 8~도 10의 슬롯 번호 71~슬롯 번호 12까지를 나타낸 것이다. 한편, 회전자의 회전 방향은 도면의 좌측으로부터 우측 방향이다. 본 실시형태에서는, 2극분, 즉 전기각 360도로 슬롯(237)이 12개 배치되어 있고, 예를 들면, 도 11의 슬롯 번호 01부터 슬롯 번호 12까지는 2극분에 상당한다. 그 때문에, 매극 슬롯수는 6, 매극 매상 슬롯수(NSPP)는 2(=6/3)이다. 각 슬롯(237)에는, 고정자 권선(238)의 슬롯 도체(233a)가 4개씩 삽입 통과되어 있다.

[0060] 각 슬롯 도체(233a)는 직사각형으로 나타나 있지만, 그 직사각형 중에는, U상, V상, W상을 나타내는 부호 U11~U24, V, W와, 리드선으로부터 중성점의 방향을 나타내는 검은 원 표시「●」, 그 반대 방향을 나타내는 크로스 표시「×」를 각각 도시했다. 또한, 슬롯(237)의 가장 내주측(슬롯 바닥측)에 있는 슬롯 도체(233a)를 레이어 1이라고 하고, 외주측(슬롯 개구측)에 걸쳐 순서대로 레이어 2, 레이어 3, 레이어 4라고 하기로 한다. 또한, 부호 01~12는 도 8~도 10에 나타난 것과 마찬가지로의 슬롯 번호이다. 한편, U상의 슬롯 도체(233a)만 주회 권선을 나타내는 부호(U11~U24)로 나타내고, V상 및 W상의 슬롯 도체(233a)에 관해서는, 상을 나타내는 부호 V, W로 나타냈다.

[0061] 도 11에서 파선(234)으로 둘러싼 8개의 슬롯 도체(233a)는, 모두 U상의 슬롯 도체(233a)이다. 예를 들면, 중앙에 나타내는 슬롯 도체 그룹(234)의 경우에는, 슬롯 번호 05, 06의 레이어 4는 주회 권선(U24, U23)의 슬롯 도체(233a), 슬롯 번호 06, 07의 레이어 3 및 레이어 2는 주회 권선(U11, U12) 및 주회 권선(U22, U21)의 슬롯 도체(233a), 슬롯 번호 07, 08의 레이어 1은 주회 권선(U13, U14)의 슬롯 도체(233a)이다.

[0062] 일반적으로, 매극 슬롯수가 6, 매극 매상 슬롯수가 2, 슬롯(237) 내의 슬롯 도체(233)의 레이어수가 4일 경우에는, 도 12의 (a)에 나타내는 바와 같이 U상(V상, W상도 마찬가지로)의 슬롯 도체(233a)를 배치하는 구성이 채

용될 경우가 많다. 이 경우, 도시 우측의 슬롯 도체 그룹과 도시 좌측의 슬롯 도체 그룹의 간격은 6슬롯 피치가 된다.

[0063] 한편, 본 실시형태의 구성은, 도 12의 (b)에 나타내는 바와 같이, 도 12의 (a)에 나타낸 레이어 1(L1)의 2개의 슬롯 도체(233a)를 회전자의 회전 방향(도면의 우측 방향)으로 1슬롯 피치분 어긋나며, 또한, 레이어 4(L4)의 2개의 슬롯 도체(233a)를 회전 방향과 반대 방향(도면의 좌측 방향)으로 1슬롯 피치분 어긋난 구성으로 되어 있다. 그 때문에, 도 12의 (b)에 나타내는 바와 같이, 레이어 4 및 레이어 3(L3)의 주회 권선(U11)의 슬롯 도체(233a)를 접속하는 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양은 7슬롯 피치가 되고, 레이어 4 및 레이어 3(L3)의 주회 권선(U24)을 접속하는 크로스오버 도체(233b)의 건너뛰는 양은 5슬롯 피치가 된다. 한편, 이하에서는, 회전자의 회전 방향과 반대 방향을, 반회전 방향이라고 하기로 한다.

[0064] 이 경우, U상뿐만 아니라, V상 및 W상의 대응하는 각 슬롯 도체(233a)도 마찬가지로 1슬롯 피치분 어긋나게 되므로, 도 11에 나타낸 바와 같이, U, V, W상에 관하여 동일 형상의 슬롯 도체 그룹(234)이 각각 형성된다. 즉, 회전자의 회전 방향에 대하여, 순서대로, U상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, W상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, V상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, U상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, W상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, V상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹이 배치되게 된다.

[0065] 본 실시형태에서는, 도 11에 나타내는 바와 같이, (a) 크로스오버 도체(233b)는, 매극 슬롯수를 $N(=6)$ 으로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N+1(=7)$ 로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N-1(=5)$ 로 슬롯을 건너뛰도록 슬롯 도체(233a)간을 접속하고, (b) 고정자 권선은, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정 슬롯수(N_s)($=4$)의 슬롯에 삽입 통과되어 슬롯 및 레이어에 관하여 인접해서 배치된 동일 상의 하나의 그룹의 슬롯 도체(233a)로 구성되는 슬롯 도체 그룹(234)을 갖고, (c) 소정 슬롯수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 $NSPP(=2)$, 레이어수를 $2 \times NL(NL=2)$ 로 했을 때, $N_s=NSPP+NL=4$ 로 설정되어 있다.

[0066] 한편, 슬롯 도체(223b)가 슬롯 및 레이어에 관하여 인접해서 배치된다는 것은, 즉, 도 11에 나타내는 바와 같이, 동일한 레이어에서 삽입 통과되는 슬롯(237)이 인접하고, 또한, 동일한 슬롯(237) 내에서 레이어가 인접하도록 배치되어 있는 것을 의미한다. 그와 같이 배치된 하나의 그룹의 슬롯 도체(233a)를, 본 실시형태에서는 슬롯 도체 그룹(234)이라고 칭하고 있다.

[0067] 도 13의 (a)는, 도 5의 (a)에 나타낸 단면도의 일부를 확대하여 나타낸 것이다. 회전자 코어(252)의 코어(301)에는, 영구 자석(254)의 양측에 형성되는 공극(257) 외에, 회전자(250)의 표면에 자기적 공극(258)을 구성하는 홈이 마련되어 있다. 공극(257)은 코킹 토크 저감을 위해 마련된 것이며, 자기적 공극(258)은 통전시의 토크 맥동을 저감하기 위해 마련된 것이다. 회전자(250) 내주측에서 볼 때, 영구 자석(254a)의 좌측의 자석간의 중심축을 q축 a, 영구 자석(254b)의 좌측의 자석간의 중심축을 q축 b로 하면, 자기적 공극(258a)은 q축 a에 대하여 우측으로, 자기적 공극(258b)은 q축 b에 대하여 좌측으로 어긋나 배치된다. 또한, 자기적 공극(258a)과 자기적 공극(258b)은, 자극의 중심축인 d축에 대칭으로 배치되어 있다.

[0068] 한편, 도 13의 (b)는, 도 5의 (b)에 나타낸 단면도의 일부를 확대하여 나타낸 것이다. 회전자 코어(252)의 코어(302)의 경우에는, 자기적 공극(258a, 258b) 대신에 자기적 공극(258c, 258d)이 형성되어 있다. 회전자(250) 내주측에서 볼 때, 자기적 공극(258c)은 q축 a에 대하여 좌측으로, 자기적 공극(258d)은 q축 b에 대하여 우측으로 어긋나 배치되어 있다. 도 5에서 알 수 있는 바와 같이, 코어(301)와 코어(302)의 단면 형상은, 자기적 공극(258a, 258b와 258c, 258d)의 위치가 다를 뿐 그 밖의 부분은 동일하다.

[0069] 여기에서, 자기적 공극(258a와 258d, 258b와 258c)은 각각 전기각으로 180도 어긋난 위치에 배치된다. 즉, 코어(301)를 자극 1피치분 회전시킴으로써 코어(302)를 형성할 수 있다. 이에 따라, 코어(301)와 코어(302)는 동일한 형(型)으로 제작할 수 있어, 제작 비용을 삭감할 수 있다. 또한, 각 코어(301, 302)의 구멍(253)의 둘레 방향 위치는, 어긋나지 않고 일치해 있다. 그 결과, 각 구멍(253)에 장착되는 각 영구 자석(254)은 축 방향으로 분할되지 않고, 일체로 각 코어(301, 302)를 관통하고 있다. 물론, 복수로 분할된 영구 자석(254)을, 구멍(253)의 축 방향으로 적층하도록 설치해도 상관없다.

[0070] 3상 교류 전류에 의해 회전 자계가 고정자(230)에 발생하면, 이 회전 자계가 회전자(250)의 영구 자석(254a, 254b)에 작용하여 자석 토크가 생긴다. 또한, 회전자(250)에는, 이 자석 토크에 더해 킬러턴스 토크가 작용한다.

- [0071] 도 14는 릴럭턴스 토크를 설명하는 도면이다. 일반적으로, 자속이 자석 중심을 지나는 축을 d축, 자속이 자석의 극간으로부터 극간으로 흐르는 축을 q축이라고 한다. 이때, 자석의 극간 중심에 있는 철심 부분을 보조 돌극부(259)라고 한다. 회전자(250)에 설치된 영구 자석(254)의 투자율(透磁率)은 공기와 거의 동일하기 때문에, 고정자측에서 봤을 경우, d축부는 자기적으로 오목해 있고, q축부는 자기적으로 볼록해져 있다. 그 때문에, q축부의 철심 부분은 돌극이라고 한다. 릴럭턴스 토크는, 이 d축과 q축의 자속의 통과 용이성의 차, 즉, 돌극비(突極比)에 의해 생긴다.
- [0072] 이와 같이, 본 발명이 적용되는 회전 전기는, 자석 토크와, 보조 돌극 릴럭턴스 토크의 양쪽을 이용하는 회전 전기이다. 그리고, 자석 토크와 릴럭턴스 토크의 각각으로부터 토크 맥동이 발생한다. 토크 맥동에는 통전하지 않을 경우에 발생하는 맥동 성분과, 통전에 의해 발생하는 맥동 성분이 있고, 통전하지 않을 경우에 발생하는 맥동 성분은 일반적으로 코깅 토크라고 하고 있다. 실제로 회전 전기를 부하 상태에서 사용할 경우에는, 코깅 토크와 통전시의 맥동 성분이 합쳐진 토크 맥동이 발생한다.
- [0073] 이와 같은 회전 전기의 토크 맥동을 저감하는 방법으로서 기술되어 있는 방법은, 대부분이 코깅 토크의 저감만 언급하고, 통전에 의해 발생하는 토크 맥동에 관해서는 기술되어 있지 않을 경우가 많다. 그러나, 회전 전기의 소음은, 무부하시가 아니라 부하시에 생기는 경우가 많다. 즉, 회전 전기의 저소음화에는 부하시의 토크 맥동을 저감하는 것이 중요하며, 코깅 토크만의 대책으로는 불충분하다.
- [0074] 본 실시형태에 있어서의 토크 맥동의 저감 방법에 대해서 설명한다.
- [0075] 먼저, 비통전시의 무부하 특성에 관하여 설명한다. 도 15의 (a)는, 고정자 권선(238)에 전류를 흘리지 않을 경우의 자속, 즉, 영구 자석(254)에 의한 자속의 분포의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이며, 영구 자석(254a)으로 구성되는 영역(401)과 영구 자석(254b)으로 구성되는 영역(402)의 2극을 나타내고 있다. 즉, 영역(401)과 영역(402)이 번갈아 둘레 방향에 배치되어 있는 회전 전기를 시뮬레이션한 결과이며, A-A 단면(어느 도면의 A-A 단면? 도 3?)에 대해서 나타내고 있다. 본 실시예의 회전 전기는 12극이기 때문에, 각각 6극씩 번갈아 둘레 방향으로 배치된다. 극 단위에 주목하면, 영역(401)에는 자기적 공극(258a와 258b)이 보조 돌극부(259)에 배치되어 있고, 영역(402)의 보조 돌극부(259)에는 자기적 공극(258)이 없다.
- [0076] 비통전시에는, 영구 자석(254)의 자속은 자석 단부를 단락하고 있다. 그 때문에, q축에 알고 자속은 전혀 지나지 않는다. 또한, 자석 단부의 공극(257)으로부터 약간 어긋난 위치에 마련된 자기적 공극(258a, 258b)의 부분에도, 자속이 거의 지나지 않음을 알 수 있다. 고정자 코어(232)를 지나 자속은, 영구 자석(254)의 고정자측의 철심 부분을 지나 티스(236)에 이르고 있다. 이 때문에, 자기적 공극(258a, 258b)은, 코깅 토크에 관계하는 비통전시의 자속에 거의 영향을 주지 않으므로, 자기적 공극(258a, 258b)은 코깅 토크나 유기 전압 등의 무부하 특성에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다.
- [0077] 도 15의 (b)는 영역(401)만, 도 15의 (c)는 영역(402)만의 시뮬레이션 결과이며, 각각 도 15의 (b)는 영역(401)만, 도 15의 (c)는 영역(402)만이 둘레 방향으로 영구 자석(254)의 자화 방향이 극마다 반전하도록 12극 배치된 회전 전기를 나타내고 있다. 도 15의 (b), 도 15의 (c)도 도 15의 (a)와 마찬가지로의 자속 분포가 되고, q축을 따라 자속은 지나지 않는다.
- [0078] 도 16, 도 17은, 코깅 토크의 저감 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 16은 회전자(250)와 고정자 코어(232)의 일부를 나타내는 단면도이다. 도 16에서 τ_p 는 영구 자석(254)의 극 피치, τ_m 은 영구 자석(254)의 폭 각도이다. 또한, τ_g 는 영구 자석(254)과 그 양측에 마련된 공극(257)을 합친 각도, 즉, 도 4에 나타난 구멍(253)의 폭 각도이다. 이들 각도의 비 τ_m/τ_p , τ_g/τ_p 를 조절함으로써, 코깅 토크를 작게 할 수 있다. 본 실시형태에서는, τ_m/τ_p 를 자석 극호도, τ_g/τ_p 를 자석 구멍 극호도라고 하기로 한다.
- [0079] 도 17은 자석 극호도 τ_m/τ_p 의 비와 코깅 토크와의 관계를 나타내는 도면이다. 한편, 도 17에 나타난 결과는, $\tau_m = \tau_g$ 로 했을 경우이며, 또한 영구 자석(254)과 공극(257)을 회전자(250)의 외주와 동심(同心)의 부채형으로 했을 경우이다. 이를 본 실시예와 같이 직사각형의 자석으로 했을 경우에는 약간 최적값이 변하지만, 발명으로서 동일한 것은 말할 필요도 없다. 도 17에서 종축은 코깅 토크의 진폭을 나타내고, 횡축은 회전자(250)의 전기각으로 나타낸 회전각을 나타내고 있다. 맥동의 진폭의 크기는, 비 τ_m/τ_p 의 크기에 따라 변화하고 있고, $\tau_m = \tau_g$ 의 경우, τ_m/τ_p 를 0.75 정도로 선택하면 코깅 토크를 작게 할 수 있다. 또한, 도 13의 (a)에 나타난 자기적 공극(258)에 따라 코깅 토크가 변하지 않는다는 경향은, 자석 폭과 극 피치의 비 τ_m/τ_p 가 도 17에 나타내는 어떠한 값이어도 동일하다. 즉, 자기적 공극(258)의 위치에 따라 도 17의 그래프가 변하지 않는다.

- [0080] 도 18은 코깅 토크의 파형을 나타낸 것이다. 횡축은 회전자의 회전 각도이며, 전기각으로 나타내고 있다. 라인(L11)은 자기적 공극(258)을 갖는 영역(401)과 자기적 공극(258)이 없는 영역(402)이 번갈아 배치되는 도 15의 (a)의 회전자의 경우를 나타내고, 라인(L12)은 자기적 공극(258)을 갖는 영역(401)만이 배치되는 도 15의 (b)의 회전 전기의 경우를 나타내고, 라인(L13)은 자기적 공극(258)이 없는 영역(402)만이 배치되는 도 15의 (c)의 회전 전기의 경우를 나타낸다. 도 16의 (a)의 결과로부터, 자기적 공극(258)의 유무는 코깅 토크에 거의 영향이 없음을 알 수 있다.
- [0081] 도 19는 유기 전압 파형을 나타내는 도면이며, 곡선(L21)은 도 11에 나타내는 슬롯 도체 배치를 채용한 본 실시형태의 회전 전기의 유기 전압 파형을 나타내고, 곡선(L22)은 비교예로서 특허문헌 1에 기재된 고정자 구조를 채용했을 경우의 유기 전압 파형을 나타낸다. 또한, 도 20은 도 19의 각각의 유기 전압 파형을 고조파 해석한 결과를 나타낸 것이다.
- [0082] 도 19에 나타내는 바와 같이, 곡선(L21)에 나타내는 유기 전압 파형은, 곡선(L22)에 나타내는 유기 전압 파형보다 정현파에 가까움을 알 수 있다. 또한, 도 20의 고조파 해석 결과에 나타내는 바와 같이, 특히, 5차와 7차의 고조파 성분을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.
- [0083] 도 15 내지 도 20에 나타낸 결과로부터, 본 발명의 회전자 구조의 특징 중 하나인 자기적 공극(258)은 코깅 토크와 유기 전압에는 무관계이지만, 코깅 토크는 종래의 방법으로서 자석 극호도 τ_m/τ_p 의 비로 저감할 수 있고, 유기 전압의 고조파 성분은 본 발명의 고정자 구조로 저감할 수 있다. 즉, 각각을 독립하여 저감을 도모하는 것이 가능하다.
- [0084] 다음으로, 통전시의 부하 특성에 관하여 설명한다.
- [0085] 본 실시예의 회전 전기는 1극당 6슬롯 있는 모터로서, 고정자 코어(232)의 슬롯(237)에 설치되어 있는 고정자 권선(238)의 슬롯 도체(233)가 도 11에 나타내는 바와 같이 배치되어 있다. 그 때문에, 도 20에 나타내는 바와 같이 유기 전압의 5차와 7차의 고조파 성분을 줄일 수 있고, 이 고조파 성분에 기인하는 3상 모터에 특유한 6차의 토크 맥동을 적게 할 수 있다.
- [0086] 도 21은 통전시의 토크 파형을 나타낸 것이다. 횡축은 회전자의 회전 각도이며, 전기각으로 나타내고 있다. 라인(L31)은 자기적 공극(258)을 갖는 영역(401)과 자기적 공극(258)이 없는 영역(402)이 번갈아 배치되는 도 15의 (a)의 회전자의 경우를 나타내고, 라인(L32)은 자기적 공극(258)을 갖는 영역(401)만이 배치되는 도 15의 (b)의 회전 전기의 경우를 나타내고, 라인(L33)은 자기적 공극(258)이 없는 영역(402)만이 배치되는 도 15의 (c)의 회전 전기의 경우를 나타낸다.
- [0087] 도 21을 보면, 본 실시형태의 회전 전기는 12차의 토크 맥동 성분, 즉 전기각으로 30deg 주기의 성분이 지배적이며, 6차 성분은 거의 없음을 알 수 있다. 또한, 자기적 공극(258)을 형성하지 않는, 즉 영역(402)만일 경우의 토크 맥동(L33)에 대하여, L31, L32 모두 토크 맥동의 파형이 변화하고 있음을 알 수 있다. 이는, 통전시의 자속이, 자기적 공극(258)의 영향을 받고 있는 것을 나타내고 있다. 또한, 영역(401)만의 회전 전기의 토크 맥동(L32)과 영역(402)만의 회전 전기의 토크 맥동(L33)은, 위상이 거의 정반대로 되어 있다. 도 15의 (a)에 나타낸 바와 같이 본 실시예의 회전 전기는 영역(401)과 영역(402)을 번갈아 배치하는 구성으로 되어 있고, 토크 맥동(L31)에 나타내는 바와 같이 회전자 전체가 받는 토크 맥동의 합계는, 토크 맥동(L32)과 토크 맥동(L33)의 평균값이 된다.
- [0088] 이와 같이, 본 실시형태에서는, 상술한 자기적 공극(258a, 258b)을 마련함으로써, 통전시의 토크 맥동을 저감할 수 있다. 이와 같은 효과를 얻기 위해서는, 자기적 공극(258)을 구성하는 홈의 폭 각도(둘레 방향 각도)를, 티스(236)의 피치각의 1/4 내지 1/2의 범위로 설정하는 것이 바람직하다. 한편, 상기 자기적 공극은, 자극 중심을 지나는 q축에 대하여 대칭이고, 돌극 중심을 지나는 d축에 대하여 비대칭으로 배치해도 마찬가지로 효과를 얻을 수 있다. 또한, 보조 돌극부(259)에 형성하는 자기적 공극(258)을 2종류 이상으로 해도 된다. 그에 따라, 토크 맥동 저감의 자유도가 증가하고, 보다 상세하게 맥동 저감을 행할 수 있다.
- [0089] 또한, 자기적 공극을 마련하지 않을 경우에 비해 토크가 떨어지지 않는다는 특징도 갖고 있다. 종래, 토크 맥동 저감을 위해 행해지고 있는 스큐라는 구조의 경우에는, 스큐함으로써 토크가 떨어져, 소형화의 방해가 된다는 결점이 있었다. 그러나, 본 실시형태에서는, 코깅 토크와 독립하여, 통전시의 토크 맥동만을 저감할 수 있을 뿐만 아니라, 토크 그 자체가 떨어지지 않는다는 이점을 갖고 있다. 이는, 원래의 홈이 없는 로터의 경우의 토크 맥동이, 12차 성분이 지배적이었기 때문으로, 이는, 슬롯 도체(233)를 도 11에 나타내는 배치로 했던 것도 주공(奏功)하고 있다.

- [0090] 도 22는 통전시의 토크 파형을 고조파 해석한 결과이다. 라인(L41)은 슬롯 도체(233)의 배치를 도 12의 (a)로 하고, 회전자는 도 15의 (c)에 나타내는 바와 같이 자기적 공극(258)을 마련하고 있지 않은 회전 전기의 결과이다. 라인(L42)은 슬롯 도체(233)의 배치를 본 실시형태인 도 12의 (b)로 하고, 회전자는 도 15의 (c)에 나타내는 바와 같이 자기적 공극(258)을 마련하고 있지 않은 회전 전기의 결과이다. L43은 슬롯 도체(233)의 배치를 본 실시형태인 도 12의 (b)로 하고, 회전자도 본 실시형태인 도 15의 (a)에 나타내는 구조의 회전 전기의 결과이다.
- [0091] 도 22의 고조파 해석 결과에 나타내는 바와 같이, 라인(L42)은 라인(L41)에 비해, 전기각 60deg 주기의 성분인 6차 성분이 저감되어 있음을 알 수 있다. 이는 슬롯 도체(233)의 배치를 본 실시형태인 도 12의 (b)로 함으로써 저감된 것을 나타낸다. 또한, 라인(L43)은 라인(L42)에 비해, 전기각 30deg 주기의 성분인 12차 성분이 저감되어 있음을 알 수 있다. 이는 회전자를 본 실시형태인 도 15의 (a)에 나타내는 구조로 함으로써 저감된 것을 나타낸다. 즉, 토크 리플의 고조파 차수에 따라, 각각 독립적으로 저감할 수 있다.
- [0092] 상술한 바와 같이, 본 실시형태에서 토크 리플을 저감할 수 있지만, 회전 전기가 토크를 발생할 때, 고정자 코어(232)를 원환 형상으로 진동시키는 전자기 가진력(加振力)이 발생하고, 이 원환 진동이 소음의 원인이 될 경우가 있다.
- [0093] 도 23에 고정자 코어(232)의 원환 0차 성분의 진동 모드를 나타낸다. 한편, 세선이 고정자 코어(232)의 원형(原形)을 나타내고 있다. 이 진동 모드는, 동일하게 원환 0차의 성분을 가진 전자기 가진력에 공진함으로써 소음의 원인이 된다. 그러나, 원환 0차의 전자기 가진력의 크기는, 토크 리플의 크기와 등가이며, 토크 리플을 저감함으로써 원환 0차의 전자기 가진력을 저감할 수 있기 때문에, 본 실시형태에서는 토크 리플과 마찬가지로 저감이 가능하다.
- [0094] 도 24에 고정자 코어(232)의 원환 6차 성분의 진동 모드를 나타낸다. 한편, 세선이 고정자 코어(232)의 원형을 나타내고 있다. 이 진동 모드는, 동일하게 원환 6차의 성분을 가진 전자기 가진력에 공진함으로써 소음의 원인이 되지만, 본 실시형태에서는, 도 13의 (a)에 나타내는 바와 같이 극마다 자기적 공극(258)을 마련한다. 그 때문에, 극마다 자기적 언밸런스가 있어, 도 13의 (a)에 나타내는 코어(301, 302)마다에는 극수의 1/2의 원환 차수를 가진 가진력이 발생한다. 그러나, 코어(301)와 코어(302)의 자기적 공극(258)은, 각각 자극 1피치 어긋난 위치에 배치되어 있기 때문에, 전자기 가진력이 축 방향에 없어서, 원환 6차의 진동 모드와 공진하지 않는다.
- [0095] 도 25에 고정자 코어(232)의 원환 6차 성분을 가지고, 고정자의 축 방향 양단에서 위상이 반전하는 진동 모드를 나타낸다. 한편, 세선이 고정자 코어(232)의 원형을 나타내고 있다. 코어(301)와 코어(302)가 발생하는 전자기 가진력은 상술한 바와 같이 위상이 반전하고 있기 때문에, 코어(301)와 코어(302)의 2종류의 코어를, 2단으로 회전자 코어를 구성하면 공진하게 된다. 그러나, 본 실시형태와 같이 3단으로 구성함으로써, 전자기 가진력이 이 진동 모드와 공진하지 않는다. 물론, 2종류 이상의 코어를 3단 이상으로 구성하면, 본 실시형태와 마찬가지로의 효과를 얻을 수 있다.
- [0096] [제2 실시형태]
- [0097] 도 26, 도 27은, 본 발명의 제2 실시형태를 나타내는 도면이며, 매극 매상 슬롯수(NSPP)가 2이고, 1개의 슬롯(237)에 삽입되는 슬롯 도체(233a)의 레이어수가 2인 고정자에 본 발명을 적용했을 경우를 나타낸다. 로터는 제1 실시형태와 마찬가지로의 구성이다. 도 26은 고정자 권선의 U상 권선의 상세 결선을 나타내는 도면이며, (a)는 U1상 권선 그룹을 나타내고, (b)는 U2상 권선 그룹을 나타낸다. 도 27은 고정자 코어(232)에 있어서의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타내는 도면이다.
- [0098] 도 26에 나타내는 바와 같이, U1상 권선 그룹의 주회 권선(U11)은 리드선으로부터 슬롯 번호 72의 레이어 2에 들어가고, 크로스오버 도체(233b)에 의해 5슬롯 건너뛰어 후, 슬롯 번호 67의 레이어 1에 들어간다. 이어서, 슬롯 번호 67의 레이어 1을 나온 권선은, 7슬롯 건너뛰어 슬롯 번호 60의 레이어 2에 들어간다. 그 후, 권선은 5슬롯의 건너뛰어와 7슬롯의 건너뛰어를 번갈아 반복하면서 파권되고, 고정자 코어(232)를 거의 1주하여 슬롯 번호 07의 레이어 1에 들어간다. 여기까지가 주회 권선(U11)이다.
- [0099] 슬롯 번호 07의 레이어 1을 나온 권선은, 6슬롯 건너뛰어 후에 슬롯 번호 01의 레이어 2에 들어간다. 여기부터가 주회 권선(U12)이며, 주회 권선(U11)의 경우와 마찬가지로 5슬롯의 건너뛰어와 7슬롯의 건너뛰어를 번갈아 반복하면서 파권되고, 고정자 코어(232)를 거의 1주하여 슬롯 번호 08의 레이어 1에 들어간다.
- [0100] U2상 권선 그룹의 권선도 U1상 권선 그룹의 경우와 마찬가지로 파권에 의해 감긴다. 슬롯 번호 14의 레이어

1부터 슬롯 번호 07의 레이어 2까지가 파권된 권선이 주회 권선(U21)이며, 슬롯 번호 13의 레이어 1부터 슬롯 번호 06의 레이어 2까지의 권선이 주회 권선(U22)이다.

[0101] 도 27은 슬롯 번호 01~12 및 슬롯 번호 71, 72의 부분의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타낸 것이며, 슬롯 번호 01부터 슬롯 번호 12까지의 12슬롯 피치가 2극분에 상당한다. 도 27과 도 11을 비교하면, 도 27에 나타내는 U, V, W상의 슬롯 도체(233a)의 배치는, 도 11에 나타내는 레이어 1, 2의 슬롯 도체(233a)의 배치와 동일해져 있다. 본 실시형태의 경우, 파선으로 둘러싸인 4개의 슬롯 도체(233a)가 1개의 슬롯 도체 그룹(234)을 구성하고 있다.

[0102] 본 실시형태의 슬롯 도체 그룹(234)에 관해서도, 상술한 제1 실시형태의 슬롯 도체 그룹(234)(도 11 참조)과 마찬가지로의 조건을 만족하고 있다. 즉, (a) 크로스오버 도체(233b)는, 매극 슬롯수를 $N(=6)$ 으로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N+1=7$ 로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N-1=5$ 로 슬롯을 건너뛰도록 슬롯 도체(233a)간을 접속하고, (b) 고정자 권선은, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정 슬롯수(N_s)(=3)의 슬롯에 삽입 통과되어 슬롯 및 레이어에 관하여 인접해서 배치된 동일 상의 하나의 그룹의 슬롯 도체(223b)로 구성되는 슬롯 도체 그룹(234)을 갖고, (c) 소정 슬롯수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 $NSPP(=2)$, 레이어수를 $2 \times NL(NL=1)$ 로 했을 때, $N_s=NSPP+NL=3$ 으로 설정되어 있다.

[0103] 그 때문에, 제1 실시형태와 마찬가지로, 토크 리플을 저감할 수 있고, 저소음의 회전 전기의 저소음화를 도모할 수 있다.

[0104] [제3 실시형태]

[0105] 도 28, 도 29는, 본 발명의 제3 실시형태를 나타내는 도면이며, 매극 매상 슬롯수(NSPP)가 3이고, 1개의 슬롯(237)에 삽입되는 슬롯 도체(233a)의 레이어수가 4인 고정자에 본 발명을 적용했을 경우를 나타낸다. 로터는 제1 실시형태와 마찬가지로의 구성이다. 도 28은 U상 권선의 상세 결선의 일부를 나타낸 것이며, (a)는 U1상 권선 그룹을 나타내고, (b)는 U2상 권선 그룹을 나타낸다. 도 19는 고정자 코어(232)에 있어서의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타내는 도면이다.

[0106] 도 28에 나타내는 바와 같이, 매극 매상 슬롯수(NSPP)가 3이고, 1개의 슬롯(237)에 삽입되는 슬롯 도체(233a)의 레이어수 $2 \times NL$ 이 4일 경우, 고정자 코어(232)의 슬롯수는 108이 되고, U1상 권선 그룹 및 U2상 권선 그룹을 구성하는 주회 권선의 수는 각각 6이 된다. 또한, 각 주회 권선에 있어서의 건너뛰는 양도 5슬롯 피치와 7슬롯 피치가 된다.

[0107] 도 28의 (a)에 나타내는 U1상 권선 그룹에 있어서, 슬롯 번호 105의 레이어 4부터 슬롯 번호 07의 레이어 3까지의 권선이 주회 권선(U11)이며, 슬롯 번호 106의 레이어 4부터 슬롯 번호 08의 레이어 3까지의 권선이 주회 권선(U12)이며, 슬롯 번호 107의 레이어 4부터 슬롯 번호 09의 레이어 3까지의 권선이 주회 권선(U13)이다. 슬롯 번호 09의 레이어 3을 나온 권선은, 점퍼선을 통하여 슬롯 번호 106의 레이어 2에 들어간다. 그리고, 슬롯 번호 106의 레이어 2부터 슬롯 번호 08의 레이어 1까지의 권선이 주회 권선(U14)이며, 슬롯 번호 107의 레이어 2부터 슬롯 번호 09의 레이어 1까지의 권선이 주회 권선(U15)이며, 슬롯 번호 108의 레이어 2부터 슬롯 번호 10의 레이어 1까지의 권선이 주회 권선(U16)이다.

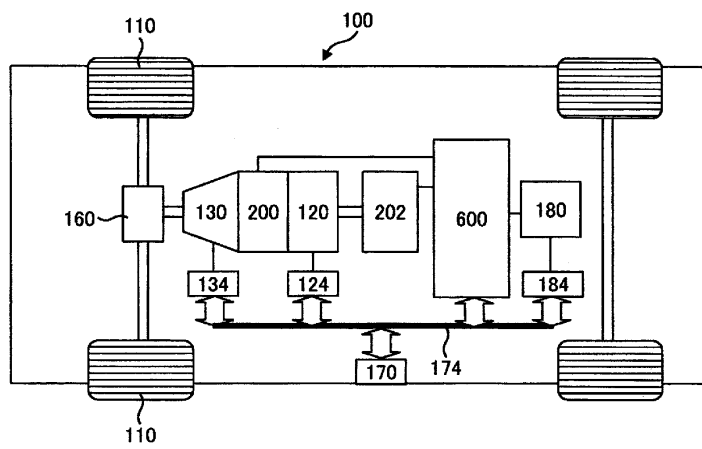
[0108] 도 28의 (b)에 나타내는 U2상 권선 그룹에 있어서, 슬롯 번호 19의 레이어 1부터 슬롯 번호 09의 레이어 2까지의 권선이 주회 권선(U21)이며, 슬롯 번호 18의 레이어 1부터 슬롯 번호 08의 레이어 2까지의 권선이 주회 권선(U22)이며, 슬롯 번호 17의 레이어 1부터 슬롯 번호 07의 레이어 2까지의 권선이 주회 권선(U13)이다. 슬롯 번호 07의 레이어 2를 나온 권선은, 점퍼선을 통하여 슬롯 번호 18의 레이어 3에 들어간다. 그리고, 슬롯 번호 18의 레이어 3부터 슬롯 번호 08의 레이어 4까지의 권선이 주회 권선(U24)이며, 슬롯 번호 17의 레이어 3부터 슬롯 번호 07의 레이어 4까지의 권선이 주회 권선(U25)이며, 슬롯 번호 18의 레이어 3부터 슬롯 번호 06의 레이어 4까지의 권선이 주회 권선(U26)이다.

[0109] 도 29는 슬롯 번호 01~18의 부분의 슬롯 도체(233a)의 배치를 나타낸 것이며, 본 실시형태의 경우, 슬롯 번호 01부터 슬롯 번호 18까지의 18슬롯 피치가 2극분에 상당한다. 도 28로부터도 알 수 있는 바와 같이, 주회 권선(U14~U16), 및 주회 권선(U21~U23)은, 슬롯(237)의 레이어 1과 레이어 2에 번갈아 삽입 통과되고, 한편, 주회 권선(U11~U13), 및 주회 권선(U24~U26)은, 슬롯(237)의 레이어 3과 레이어 4에 번갈아 삽입 통과된다. 그리고, 도 29의 파선으로 둘러싼 12의 슬롯 도체(233a)가 하나의 그룹이 되어 1개의 슬롯 도체 그룹(1234)을 구성하고 있다. 이들 12의 슬롯 도체(233a)는, 동일 상의 12의 주회 권선(U11~U16, U21~U26)에 포함되는 슬롯 도체(233a)이다.

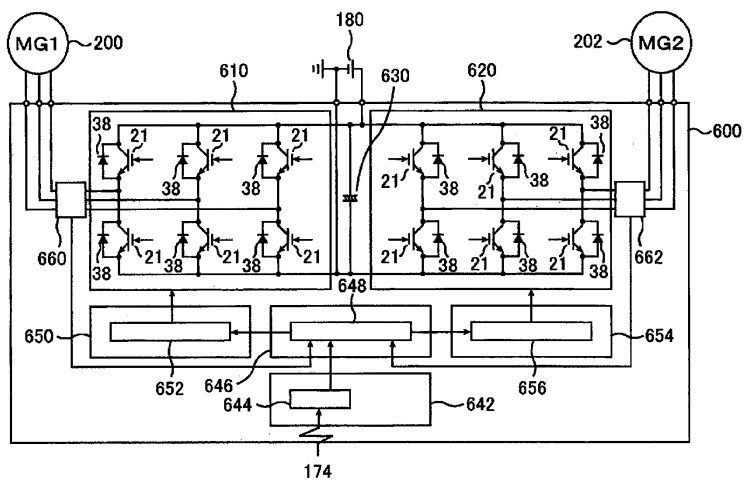
- [0110] V상 및 W상의 슬롯 도체(233a)에 관해서도 U상의 경우와 마찬가지로, 동일 상의 12의 슬롯 도체(233a)가 하나의 그룹이 되어 1개의 슬롯 도체 그룹을 구성하고 있다. 이들 슬롯 도체 그룹은, 제1 실시형태의 경우와 마찬가지로, 회전자의 회전 방향에 대하여, 순서대로, U상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, W상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, V상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, U상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, W상에서 검은 원 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹, V상에서 크로스 표시의 슬롯 도체(233a)로 이루어지는 슬롯 도체 그룹이 배치되게 된다.
- [0111] 도 29에서 알 수 있는 바와 같이, 본 실시형태의 슬롯 도체 그룹(1234)도, 상술한 제1 실시형태의 슬롯 도체 그룹(234)(도 11 참조)과 마찬가지로의 조건을 만족하고 있다. 즉, (a) 크로스오버 도체(233b)는, 매극 슬롯수를 $N(=9)$ 으로 했을 때, 한쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N+1=10$ 으로 슬롯을 건너뛰고, 다른 쪽의 코일 엔드에서는 슬롯 피치 $N_p=N-1=8$ 로 슬롯을 건너뛰도록 슬롯 도체(233a)간을 접속하고, (b) 고정자 권선은, 고정자 코어 둘레 방향으로 연속하여 나열된 소정 슬롯수(N_s)($=5$)의 슬롯에 삽입 통과되어 슬롯 및 레이어에 관하여 인접해서 배치된 동일 상의 하나의 그룹의 슬롯 도체(223b)로 구성되는 슬롯 도체 그룹(234)을 갖고, (c) 소정 슬롯수(N_s)는, 매극 매상 슬롯수를 $NSPP(=3)$, 레이어수를 $2 \times NL(NL=2)$ 로 했을 때, $N_s=NSPP+NL=5$ 로 설정되어 있다.
- [0112] 그 때문에, 제1 및 제2 실시형태와 마찬가지로, 토크 리플을 저감할 수 있고, 저소음의 회전 전기의 저소음화를 도모할 수 있다.
- [0113] 그런데, 매극 매상 슬롯수(NSPP)가 증가하면, 도 12와 같이 1슬롯 피치 어긋남으로써 없애는 고주파 성분의 차수가 변하게 된다. 예를 들면, $NSPP=2$ 일 경우, 1슬롯 피치는 전기각으로 30도에 상당한다. 30도는 6차 성분의 반주기이기 때문에, 도 20에 나타내는 바와 같이 6차에 가까운 5차 성분과 7차 성분의 유기 전압을 작게 할 수 있다. 한편, 본 실시형태와 같이 NSPP를 더 증가시키면 1슬롯 피치가 작아지기 때문에, 더 고차의 고조파 성분을 저감할 수 있다. 또한, 회전자 코어(252)에 마련된 자기적 공극(258)의 폭을 작게 함으로써, 더 고차의 토크 리플 고조파 성분을 저감할 수 있고, 보다 정숙성(靜肅性)이 우수한 회전 전기를 제공할 수 있다.
- [0114] 또한, 도 1, 도 2에 나타내는 바와 같이, 상술한 회전 전기와, 직류 전력을 공급하는 배터리와, 배터리의 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 회전 전기에 공급하는 변환 장치를 구비하고, 회전 전기의 토크를 구동력으로서 이용하는 것을 특징으로 하는 차량에 있어서, 저소음화가 도모된 정숙한 차량을 제공할 수 있다.
- [0115] 이상, 12극의 자석 모터를 예로 설명했지만, 극수에 한하지 않고, 다른 극수의 모터에 적용할 수 있다. 또한, 본 발명은 차량용 모터에 한하지 않고, 다양한 용도에 사용되는 모터에도 적용할 수 있고, 또한, 모터에 한하지 않고, 발전기 등 다양한 회전 전기에 적용이 가능하다. 또한, 본 발명의 특징을 손상시키지 않는 한, 본 발명은 상기의 실시형태에 하등 한정되는 것이 아니다.
- [0116] 다음 우선권 기초 출원의 개시 내용은 인용문으로서 여기에 포함된다.
- [0117] 일본국특허출원 2012년 제8565호(2012년 1월 19일 출원)

도면

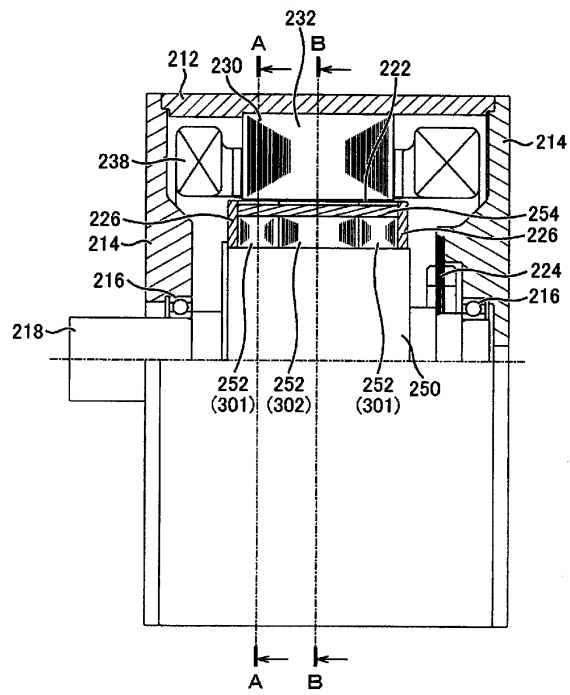
도면1



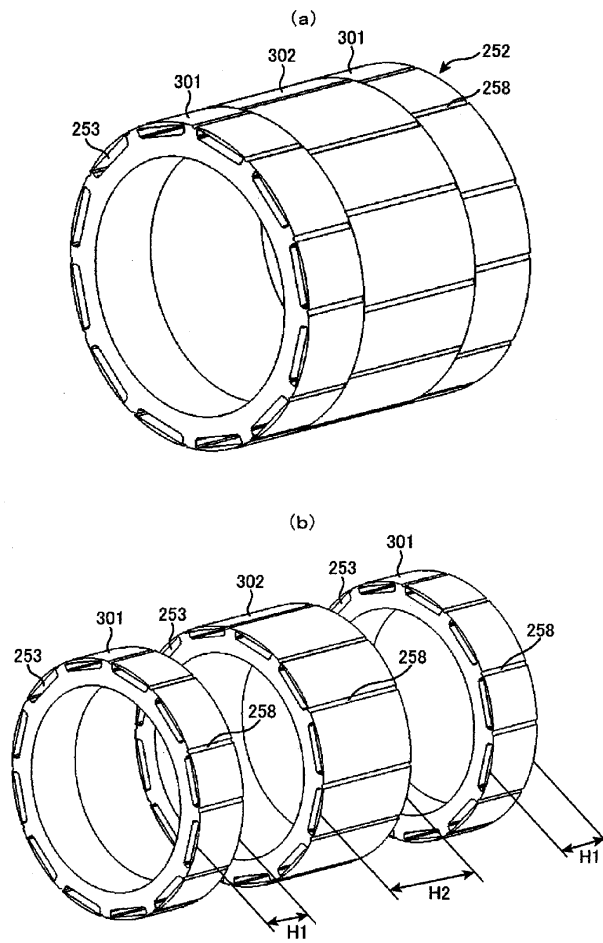
도면2



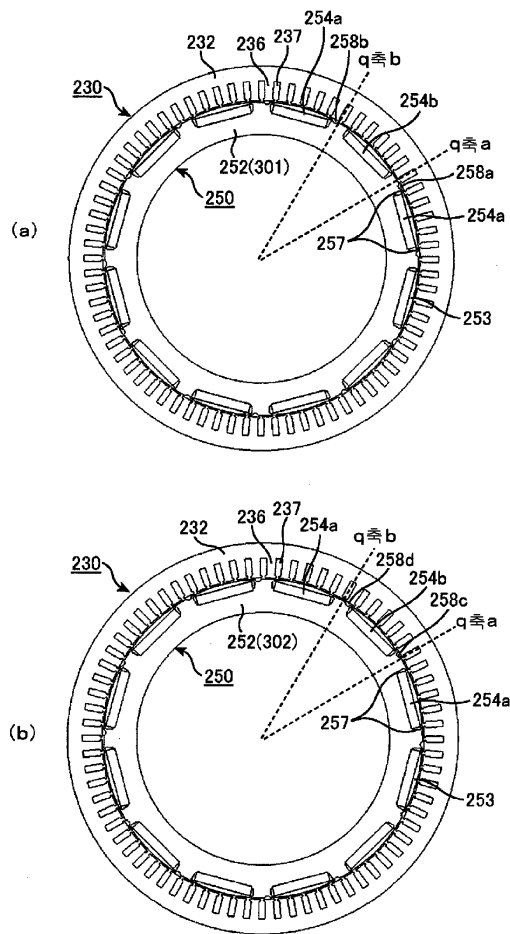
도면3



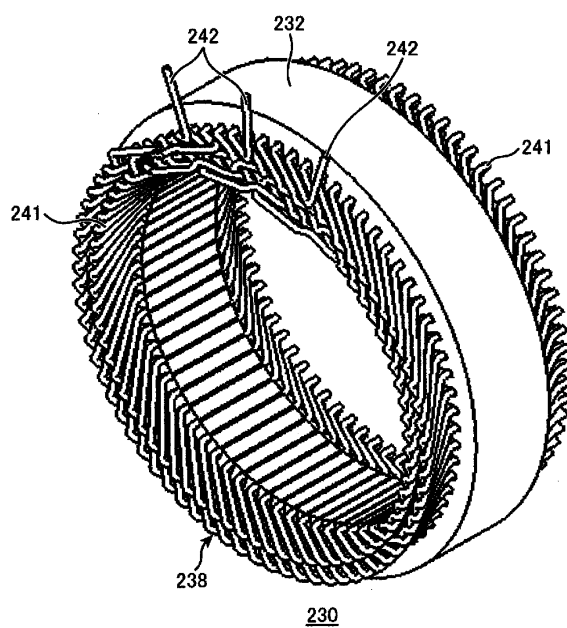
도면4



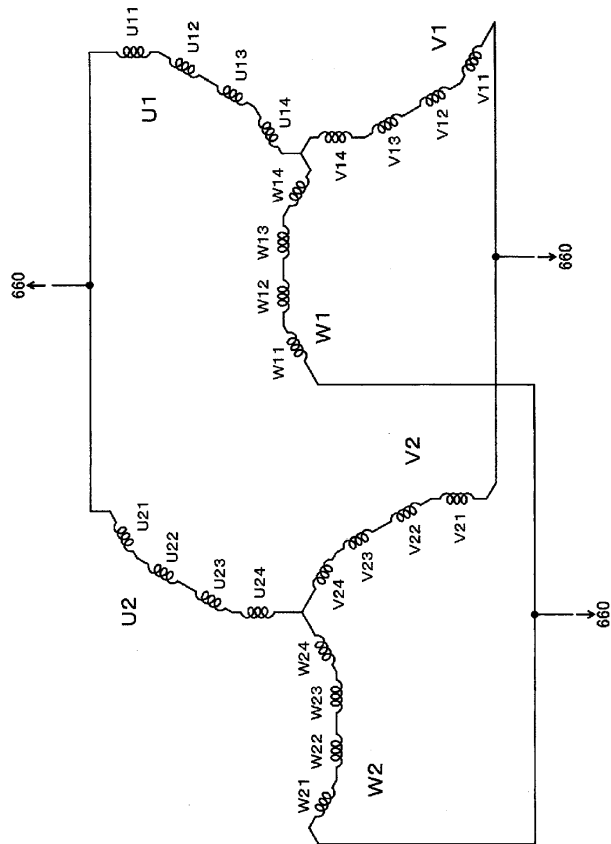
도면5



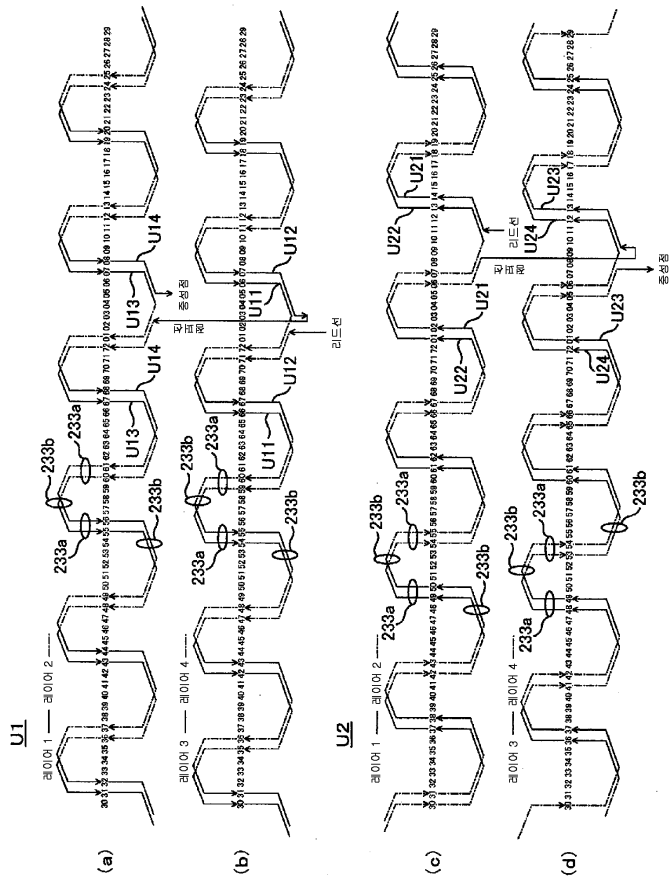
도면6



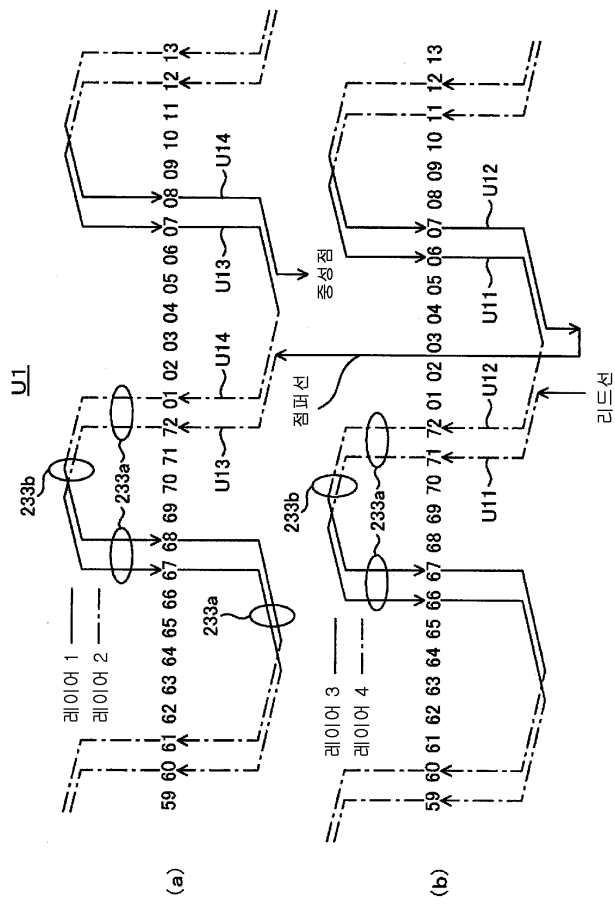
도면7



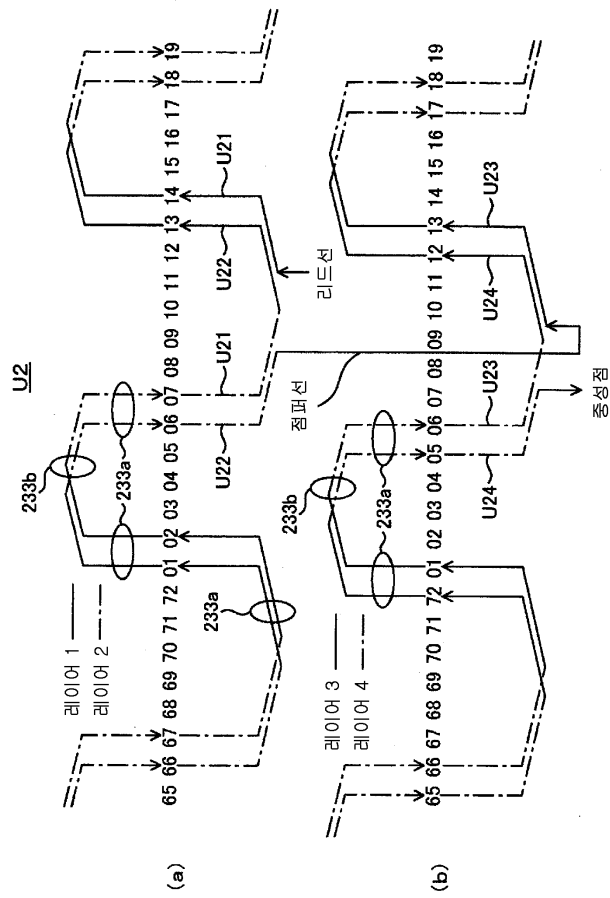
도면8



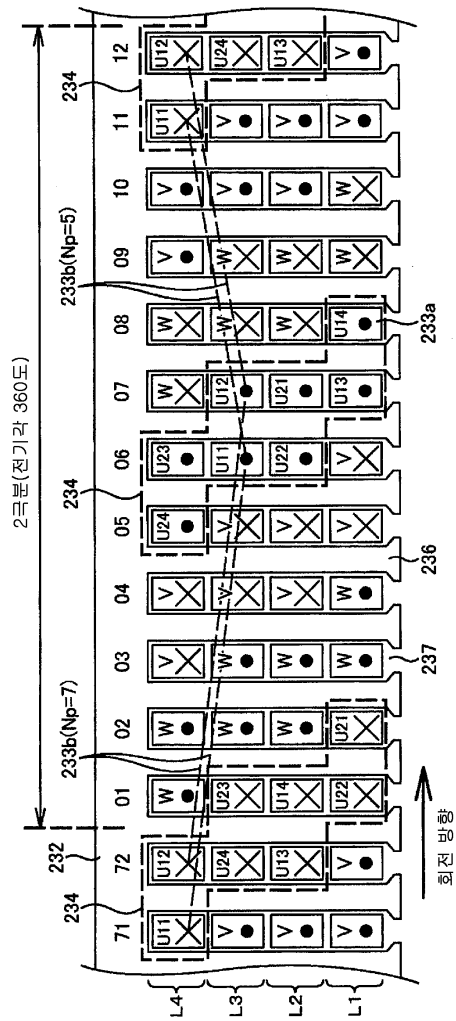
도면9



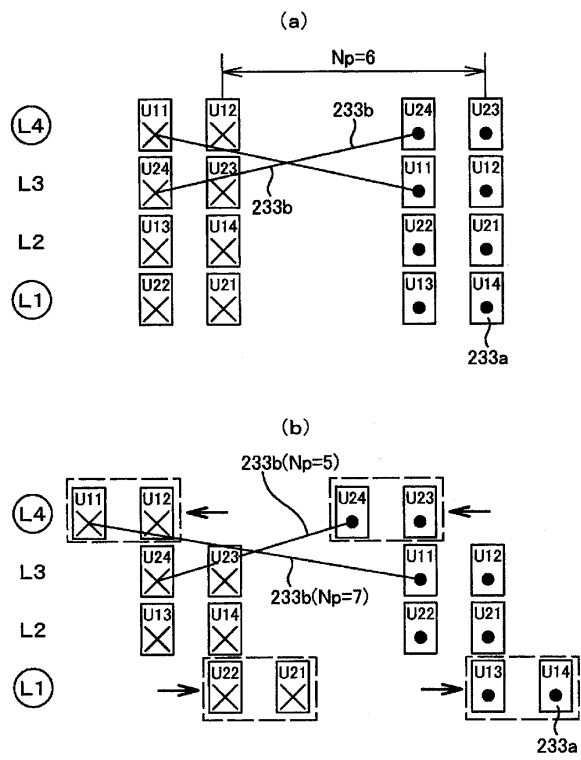
도면10



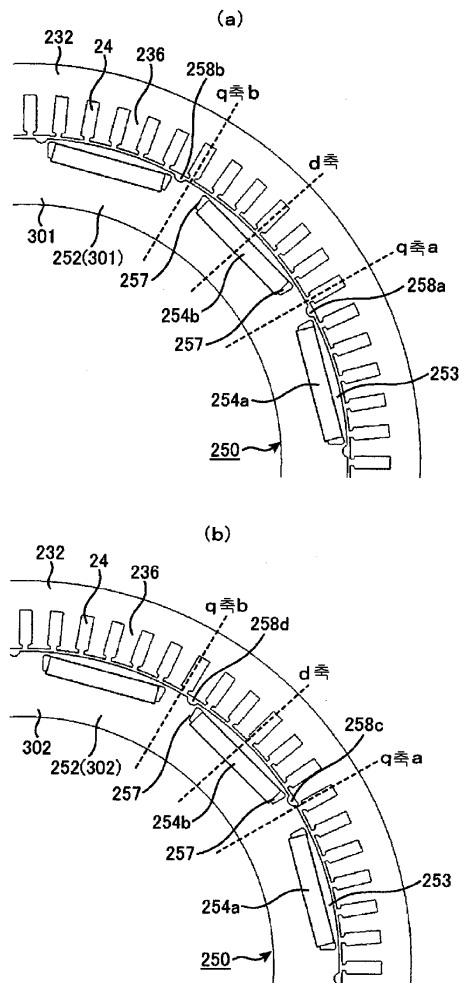
도면11



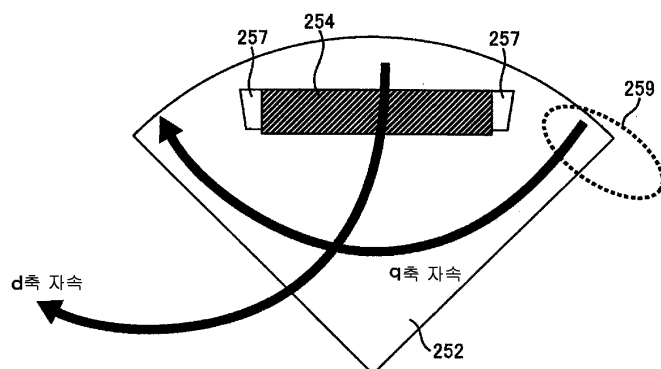
도면12



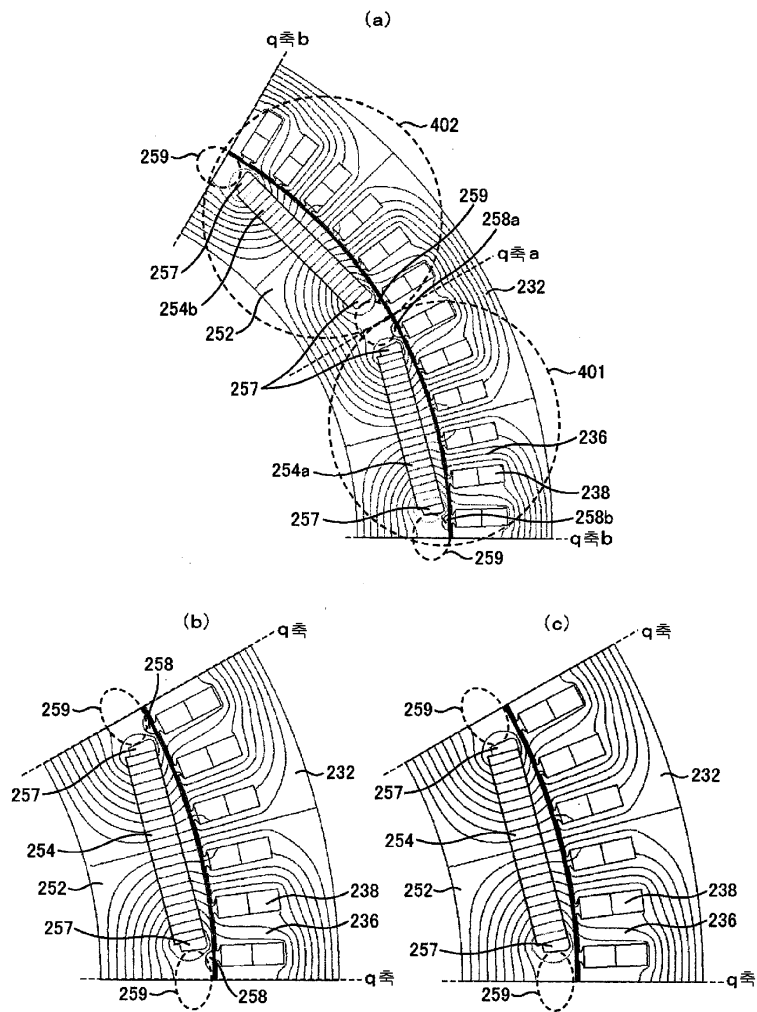
도면13



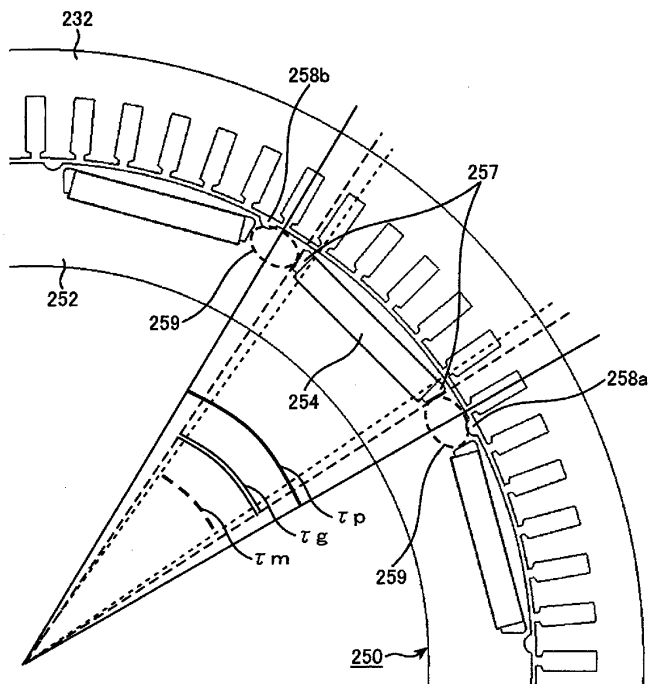
도면14



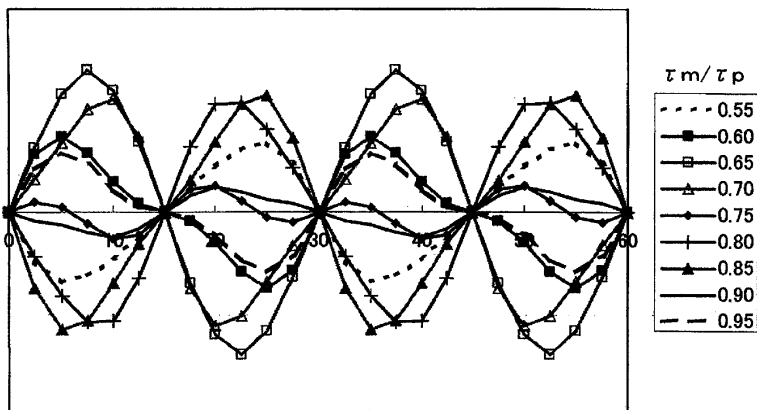
도면15



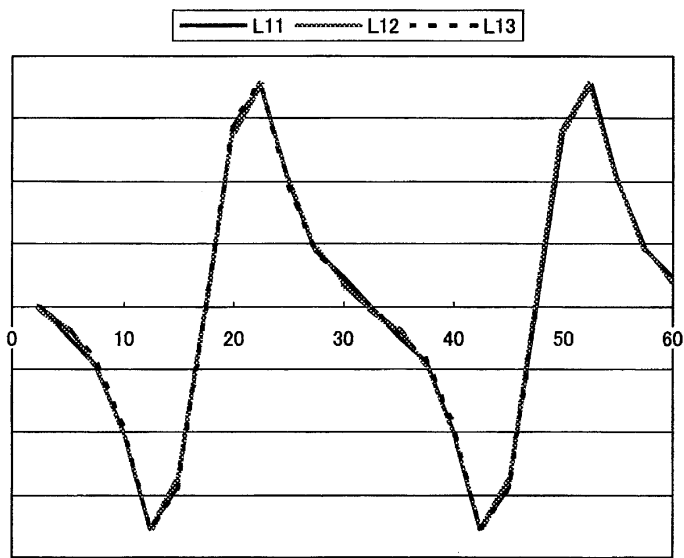
도면16



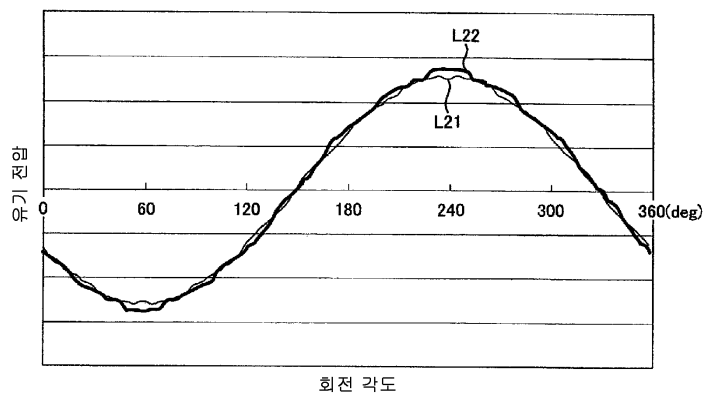
도면17



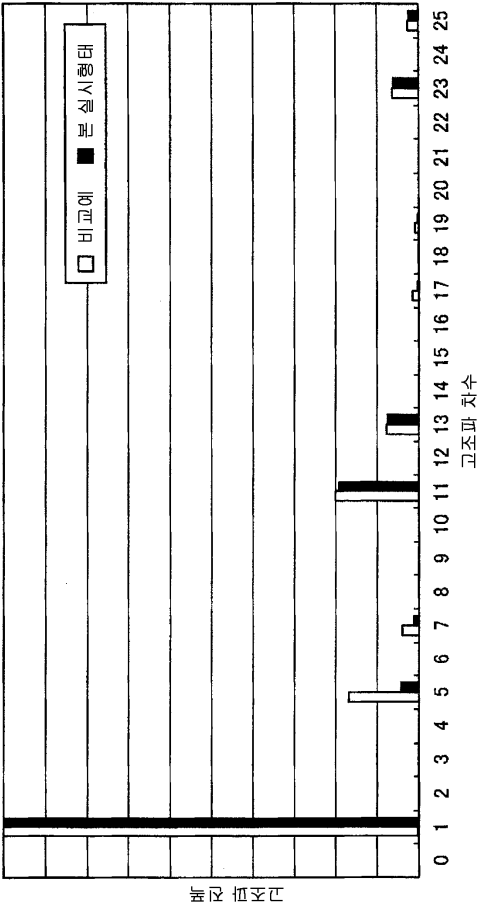
도면18



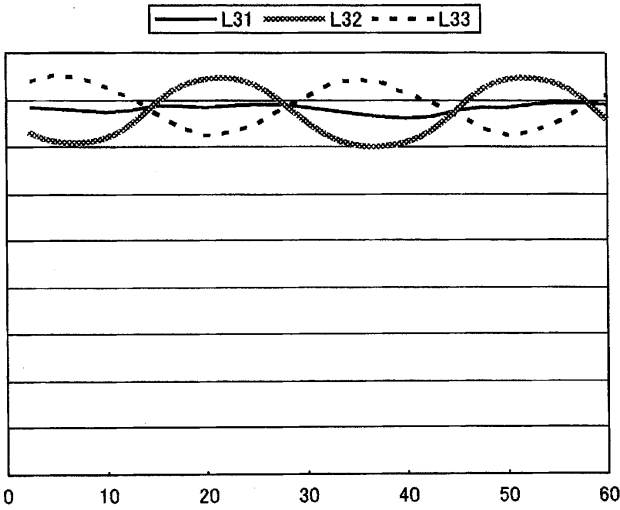
도면19



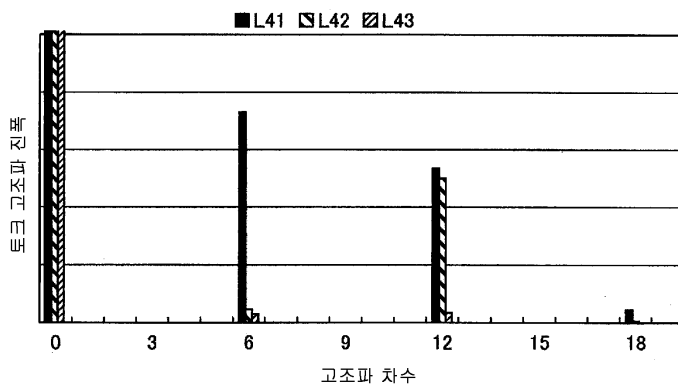
도면20



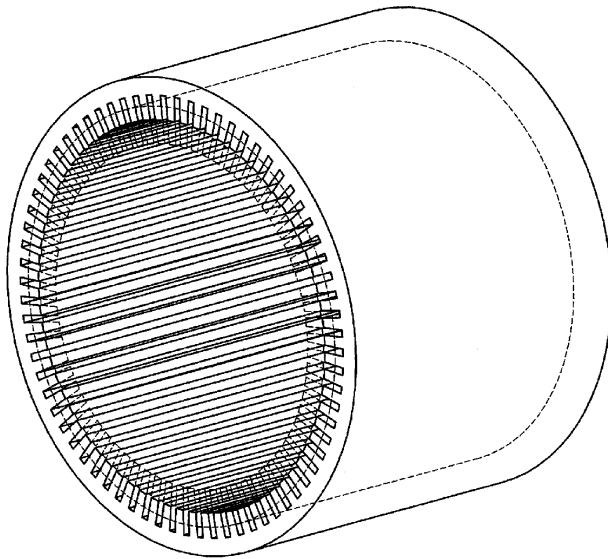
도면21



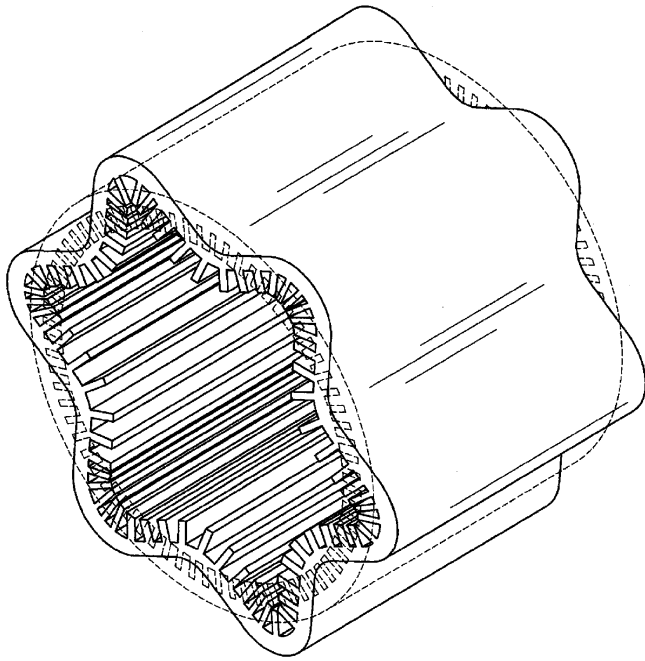
도면22



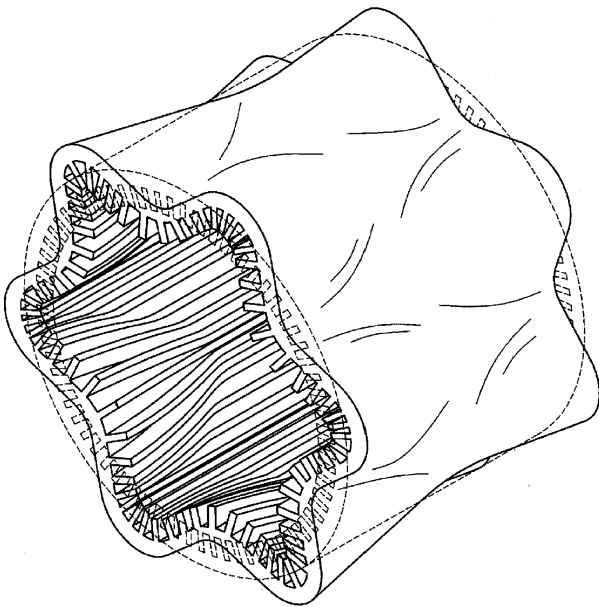
도면23



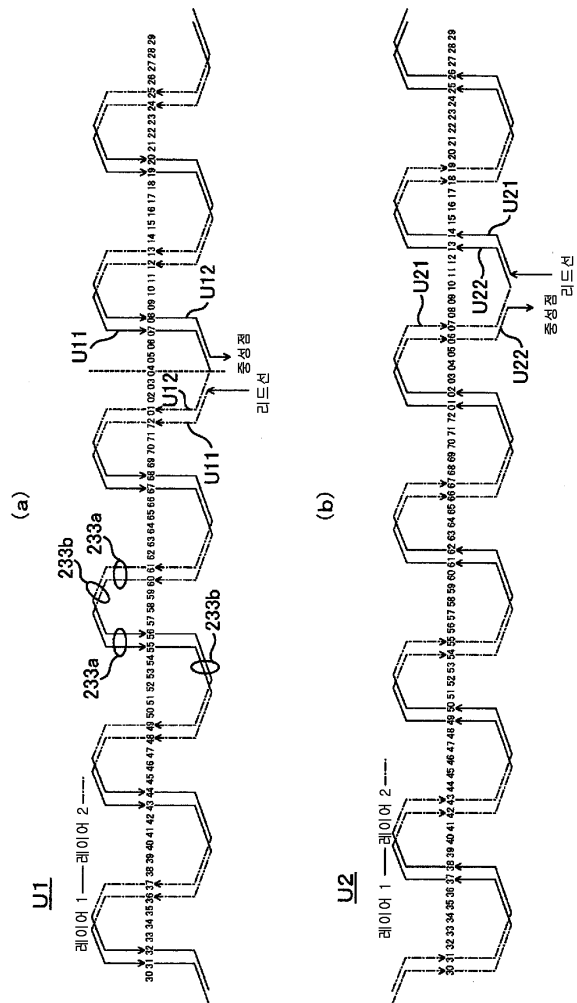
도면24



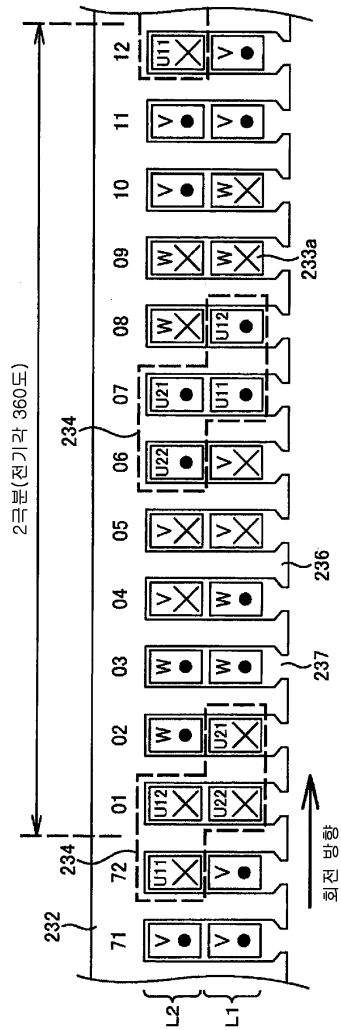
도면25



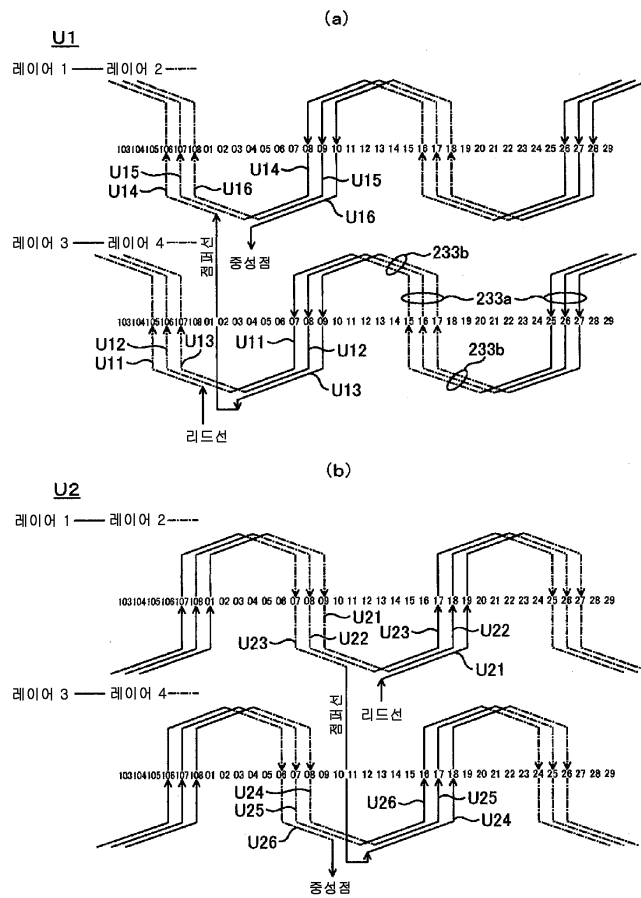
도면26



도면27



도면28



도면29

