

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7574875号
(P7574875)

(45)発行日 令和6年10月29日(2024.10.29)

(24)登録日 令和6年10月21日(2024.10.21)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 K 1/276(2022.01)

H 0 2 K 1/276

請求項の数 30 (全27頁)

(21)出願番号	特願2023-55744(P2023-55744)	(73)特許権者	000006611
(22)出願日	令和5年3月30日(2023.3.30)		株式会社富士通ゼネラル
(65)公開番号	特開2024-143201(P2024-143201 A)		神奈川県川崎市高津区末長3丁目3番17号
(43)公開日	令和6年10月11日(2024.10.11)	(74)代理人	110002147
審査請求日	令和6年2月29日(2024.2.29)		弁理士法人酒井国際特許事務所
		(72)発明者	長谷川 公興
			神奈川県川崎市高津区末長3丁目3番17号 株式会社富士通ゼネラル内
		審査官	谿花 正由輝

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電動機

(57)【特許請求の範囲】
【請求項1】

永久磁石が埋め込まれて複数の磁極部が周方向に沿って設けられたロータコアを有するロータと、前記ロータの外周側に配置された複数のティース部を有するステータと、を備え、前記磁極部の極対の個数がm個、前記複数のティース部の個数が3m個であり、前記ロータコアは、前記永久磁石の前記周方向における両端部のそれぞれから連続するように延びる非磁性部を有する電動機であって、

前記ロータの回転中心線に直交する平面において、各磁極部は、前記ロータの回転中心と一方の前記非磁性部の前記ロータコアの径方向における外周端とを通る直線である第1境界線と、前記ロータの前記回転中心と他方の前記非磁性部の前記径方向における外周端とを通る直線である第2境界線と、の間における外周面に形成された磁極外周面を有し、

前記平面において、前記周方向における前記磁極部の中央と、前記回転中心とを結ぶ直線をd軸とし、前記周方向に隣り合う前記磁極部同士の間中央と、前記回転中心とを結ぶ直線をq軸として、

前記磁極外周面は、前記d軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置して複数の曲率半径を有する前方側外周面と、前記d軸に対して前記回転方向の後方側に位置して複数の曲率半径を有する後方側外周面と、で形成されて、

前記平面において前記磁極部を前記d軸に沿って仮想的に折り返して、前記前方側外周面を前記後方側外周面に重ねたとき、

前記前方側外周面は、前記径方向において前記後方側外周面よりも内側に位置する小径

外周面を有する電動機。

【請求項 2】

前記ロータコアの外周面には、前記周方向に隣り合う前記磁極部同士の間、前記外周面が前記径方向に窪んだ溝部が、前記回転中心線に沿って形成され、前記平面において前記 q 軸が前記溝部を通るように前記溝部が形成された溝部領域が設けられ、
前記磁極外周面は、前記 d 軸が通る位置に形成されて前記回転中心からの距離が一定の径一定領域と、前記溝部領域と前記径一定領域との間に形成されて前記回転中心からの距離が変化する径変化領域と、を有する、
請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 3】

前記前方側外周面は、前記 d 軸に隣り合って形成されて前記回転中心からの距離が一定の前方側径一定領域と、前記溝部領域と前記前方側径一定領域との間に形成されて前記回転中心からの距離が変化する前方側径変化領域と、を有し、
前記後方側外周面は、前記 d 軸に隣り合って形成されて前記回転中心からの距離が一定の後方側径一定領域と、前記溝部領域と前記後方側径一定領域との間に形成されて前記回転中心からの距離が変化する後方側径変化領域と、を有する、
請求項 2 に記載の電動機。

【請求項 4】

前記平面において、前記ロータコアの前記外周面の形状が前記回転中心に対して回転対称となるように、1 つの前記極対である一極対を形成する範囲の前記ロータコアの前記外周面を一極對外周面としたとき、前記ロータコアの前記外周面は前記一極對外周面の形状が前記周方向に m 回繰り返されて形成されている、
請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 5】

各極対は、前記 q 軸を挟んで配置された N 極磁極部と S 極磁極部を有し、
前記平面において、前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか一方の磁極部を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか他方の磁極部に重ねたときに、前記 N 極磁極部の前記磁極外周面と前記 S 極磁極部の前記磁極外周面とは、互いに一致する形状に形成されている、
請求項 4 に記載の電動機。

【請求項 6】

各極対は、前記 q 軸を挟んで配置された N 極磁極部と S 極磁極部を有し、
前記平面において、前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか一方の磁極部を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか他方の磁極部に重ねたときに、前記 N 極磁極部の前記磁極外周面と前記 S 極磁極部の前記磁極外周面とは、互いに一致しない形状に形成されている、
請求項 4 に記載の電動機。

【請求項 7】

各極対は、前記 q 軸を挟んで配置された N 極磁極部と S 極磁極部を有し、
前記平面において、前記 N 極磁極部の前記磁極外周面が、当該 N 極磁極部における d 軸である N 極 d 軸に対して非対称な形状に形成され、前記 S 極磁極部の前記磁極外周面が、当該 S 極磁極部における d 軸である S 極 d 軸に対して非対称な形状に形成されている、
請求項 4 に記載の電動機。

【請求項 8】

前記 N 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 N 極 d 軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置する N 極前方側外周面と、前記 N 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する N 極後方側外周面と、を有し、
前記平面において前記 N 極磁極部を前記 N 極 d 軸に沿って折り返して、前記 N 極前方側外周面が前記 N 極後方側外周面に重ねたとき、
前記 N 極前方側外周面は、前記径方向において前記 N 極後方側外周面よりも内側に位置

する小径外周面を有する、
請求項 7 に記載の電動機。

【請求項 9】

前記 S 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 S 極 d 軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置する S 極前方側外周面と、前記 S 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する S 極後方側外周面と、を有し、

前記平面において前記 S 極磁極部を前記 S 極 d 軸に沿って折り返して、前記 S 極前方側外周面を前記 S 極後方側外周面に重ねたとき、

前記 S 極前方側外周面は、前記径方向において前記 S 極後方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する、
請求項 7 に記載の電動機。

10

【請求項 10】

前記 N 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 N 極 d 軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置する N 極前方側外周面と、前記 N 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する N 極後方側外周面と、を有し、

前記 S 極磁極部の前記磁極外周面は、当該 S 極磁極部の前記 S 極 d 軸に対して前記回転方向の前方側に位置する S 極前方側外周面と、前記 S 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する S 極後方側外周面と、を有し、

前記平面において、前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか一方の磁極部を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか他方の磁極部に重ねたときに、前記 N 極後方側外周面と前記 S 極後方側外周面とは、互いに一致しない形状に形成されている、
請求項 7 に記載の電動機。

20

【請求項 11】

前記平面において、前記 N 極後方側外周面を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 S 極後方側外周面に重ねたとき、

前記 S 極後方側外周面は、前記径方向において前記 N 極後方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する、
請求項 10 に記載の電動機。

【請求項 12】

30

前記平面において、前記 N 極後方側外周面を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 S 極後方側外周面に重ねたとき、

前記 N 極後方側外周面は、前記径方向において前記 S 極後方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する、
請求項 10 に記載の電動機。

【請求項 13】

前記 N 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 N 極 d 軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置する N 極前方側外周面と、前記 N 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する N 極後方側外周面と、を有し、

前記 S 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 S 極 d 軸に対して前記回転方向の前方側に位置する S 極前方側外周面と、前記 S 極 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する S 極後方側外周面と、を有し、

40

前記平面において、前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか一方の磁極部を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか他方の磁極部に重ねたときに、前記 N 極前方側外周面と前記 S 極前方側外周面は、互いに一致しない形状に形成されている、
請求項 7 に記載の電動機。

【請求項 14】

前記平面において、前記 N 極前方側外周面を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 S 極前方側外周面に重ねたとき、

50

前記 S 極前方側外周面は、前記径方向において前記 N 極前方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する、
請求項 1 3 に記載の電動機。

【請求項 1 5】

前記平面において、前記 N 極前方側外周面を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 S 極前方側外周面に重ねたとき、

前記 N 極前方側外周面は、前記径方向において前記 S 極前方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する、
請求項 1 3 に記載の電動機。

【請求項 1 6】

前記ロータコアの外周面には、前記周方向に隣り合う前記磁極部同士の間、前記外周面が前記径方向に窪んだ溝部が、前記回転中心線に沿って形成されている、
請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 1 7】

前記平面において、前記溝部の内面形状は、前記 q 軸に対して非対称に形成されている、
請求項 1 6 に記載の電動機。

【請求項 1 8】

前記平面において、前記周方向に隣り合う前記溝部の内面形状は互いに異なる、
請求項 1 6 に記載の電動機。

【請求項 1 9】

前記平面において、前記ロータコアの前記磁極外周面は、前記 d 軸から前記溝部に近づくに従って、前記回転中心からの距離が徐々に小さくなる、
請求項 1 6 に記載の電動機。

【請求項 2 0】

各極対は、前記 q 軸を挟んで配置された N 極磁極部と S 極磁極部を有し、
前記平面において、前記ロータコアの前記磁極外周面の各々は、前記 d 軸上の位置で前記回転中心からの距離が最大となり、
前記平面において、前記 N 極磁極部の前記磁極外周面と前記 S 極磁極部の前記磁極外周面は、前記 d 軸上の位置で前記回転中心からの距離が等しくなる、
請求項 1 9 に記載の電動機。

【請求項 2 1】

前記ロータコアの前記外周面は、前記 q 軸が前記溝部を通るように前記溝部が形成された溝部領域を有し、

前記磁極外周面は、前記 d 軸が通る位置に形成されて前記回転中心からの距離が一定の径一定領域と、前記溝部領域と前記径一定領域との間に形成されて前記回転中心からの距離が変化する径変化領域と、を有し、

前記径変化領域は、前記径一定領域における前記回転中心からの最大曲率半径よりも小さい複数の曲率半径で形成されている、
請求項 1 6 に記載の電動機。

【請求項 2 2】

前記径変化領域の前記複数の曲率半径は、前記溝部に近づくに従って曲率半径が徐々に小さくなる、
請求項 2 1 に記載の電動機。

【請求項 2 3】

前記径一定領域は、前記 d 軸に対して前記ロータの回転方向の前方側に位置する前方側一定領域と、前記 d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置する後方側一定領域と、を有し、

前記前方側一定領域は、前記後方側一定領域よりも前記周方向の大きさが小さい、
請求項 2 1 に記載の電動機。

【請求項 2 4】

各磁極部には、板状の前記永久磁石が、前記永久磁石の厚さ方向が前記 d 軸に沿うように配置されている、

請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 25】

各磁極部には、2つの板状の前記永久磁石が、各永久磁石の厚さ方向が交差するように配置されている、

請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 26】

各極対は、前記 q 軸を挟んで配置された N 極磁極部と S 極磁極部を有し、

各磁極部は、前記永久磁石の両端部から、前記ロータコアの前記外周面に向かって延びる 2つの前記非磁性部を有し、

10

前記 S 極磁極部が有する前記 2つの非磁性部は、当該 S 極磁極部における d 軸である S 極 d 軸に対して互いに非対称な形状に形成され、

前記 N 極磁極部が有する前記 2つの非磁性部は、当該 N 極磁極部における d 軸である N 極 d 軸に対して互いに非対称な形状に形成されている、

請求項 24 に記載の電動機。

【請求項 27】

前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか一方の磁極部を前記回転中心まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部のいずれか他方の磁極部に重ねたときに、前記 N 極磁極部が有する前記 2つの非磁性部と、前記 S 極磁極部が有する前記 2つの非磁性部とは、互いに一致しない形状に形成されている、

20

請求項 26 に記載の電動機。

【請求項 28】

前記平面において、前記 N 極磁極部と前記 S 極磁極部が有する 4つの非磁性部は、形状が互いに異なる、

請求項 26 に記載の電動機。

【請求項 29】

前記ステータは、環状のヨーク部と、前記ヨーク部から前記径方向の内側へ延びる前記複数のティース部と、を有するステータコアを有し、

前記複数のティース部は、同一の形状に形成されている、

30

請求項 1 に記載の電動機。

【請求項 30】

各ティース部は、巻き線が集中巻きで巻回された巻回部を有する、

請求項 1 に記載の電動機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電動機に関する。

【背景技術】

【0002】

40

電動機としては、ロータコアの内部に永久磁石が埋め込まれた埋込磁石型のロータを備えるものが知られている。この種の電動機は、永久磁石の外周側に形成される複数の磁極部が周方向に沿って設けられたロータと、ロータの外周側に配置された複数のティース部及び環状のヨーク部を有するステータと、を備える。

【0003】

関連技術としては、回転するロータの周方向において、ロータコアの外周面とティース部の内周面との間の空隙（エアギャップ）の大きさを変化させることで、周方向に沿った空隙での磁束密度分布を正弦波に近づけて、トルクリップルを低減する電動機がある（特許文献 1）。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2021-90351号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、永久磁石の個数（磁極部の個数）である極数と、巻き線が巻かれた巻回部の個数に相当するティース部の個数との比率が2：3となる電動機は、ロータの周方向に隣り合うN極磁極部とS極磁極部の組である1つの極対（以後、「一極対」とも言う）の範囲においては、平均して3つのティース部がロータに対向することになる。ここで一例として、一極対の範囲に3つのティース部が対向するとき（ロータの周方向に並ぶ3つのティース部のうちの中央のティース部が、周方向に隣り合う磁極部同士の中の中央とロータの回転中心とを結ぶ直線であるq軸上に位置するとき）にステータとロータの間を循環する磁路が形成された場合において、ロータの周方向に並ぶ3つのティース部のうちの中央のティース部に着目する。この場合、ステータのヨーク部を通過せずにティース部の内周側の端部（鐳部）を経由してN極磁極部からS極磁極部へ至る磁路と、N極磁極部からこのティース部をロータの径方向に縦断した後にヨーク部を経由して隣り合うティース部からS極磁極部へと至る磁路との、2種類の磁路が生じる。このように中央のティース部において2種類の磁路が形成された場合、中央のティース部を通過する磁束は、q軸に対して対称的な分布にはなり得ない。つまり、極数とティース部の個数との比率が2：3となる電動機では、1つの極対をなすN極永久磁石とS極永久磁石において、N極永久磁石とこのN極永久磁石に近接するティース部との間を通過する磁束密度分布と、S極永久磁石とこのS極永久磁石に近接するティース部との間を通過する磁束密度分布とが、q軸に対して対称にはならない。

10

20

【0006】

そのため、極数とティース部の個数との比率が2：3、言い換えると、極対の個数（以後、「極対数」とも言う）とティース部の個数との比率が1：3となる3相巻線の集中巻き電動機では、回転するロータの周方向においてロータとステータとの間の空隙での磁束密度分布を正弦波に近づけることが困難であった。この要因としては、例えば、ロータコアの外周面における磁極部の範囲の形状が、磁極部の中央とロータの回転中心とを結ぶ直線であるd軸に対して対称であることが挙げられる。そこで、ロータコアの外周面における磁極部の範囲で形成される空隙の大きさを工夫することで、空隙での磁束密度分布を正弦波に近づけることが考えられる。

30

【0007】

開示の技術は、上記に鑑みてなされたものであって、回転するロータの周方向においてロータとステータとの間の空隙での磁束密度分布を正弦波に近づけることができる電動機を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願の開示する電動機の一態様は、永久磁石が埋め込まれて複数の磁極部が周方向に沿って設けられたロータコアを有するロータと、ロータの外周側に配置された複数のティース部を有するステータと、を備え、磁極部の極対の個数がm個、複数のティース部の個数が3m個であり、ロータコアは、永久磁石の周方向における両端部のそれぞれから連続するように延びる非磁性部を有する電動機であって、ロータの回転中心線に直交する平面において、各磁極部は、ロータの回転中心と一方の非磁性部のロータコアの径方向における外周端とを通る直線である第1境界線と、ロータの回転中心と他方の非磁性部のロータコアの径方向における外周端とを通る直線である第2境界線と、の間における前記外周面に形成された磁極外周面を有し、ロータの回転中心線に直交する平面において、前記周方向における磁極部の中央と、前記回転中心と、を結ぶ直線をd軸とし、前記周方向に隣り合う磁極部同士の中の中央と、前記回転中心と、を結ぶ直線をq軸として、磁極外周面は、

40

50

d 軸に対してロータの回転方向の前方側に位置して複数の曲率半径を有する前方側外周面と、d 軸に対して前記回転方向の後方側に位置して複数の曲率半径を有する後方側外周面と、で形成され、前記平面において磁極部を d 軸に沿って仮想的に折り返して、前方側外周面を後方側外周面に重ねたとき、前方側外周面は、前記径方向において後方側外周面よりも内側に位置する小径外周面を有する。

【発明の効果】

【0009】

本願の開示する電動機の一態様によれば、回転するロータの周方向においてロータとステータとの間の空隙での磁束密度分布を正弦波に近づけることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0010】

【図1】図1は、実施例1の電動機を示す平面図である。

【図2】図2は、実施例1におけるロータを示す平面図である。

【図3】図3は、実施例1におけるロータのロータコアの要部を説明するための平面図である。

【図4】図4は、実施例1におけるロータコアの一極対を示す拡大図である。

【図5】図5は、実施例1におけるロータコアの各磁極部の磁極外周面を示す模式図である。

【図6】図6は、実施例1におけるロータコアの磁極外周面の形状を説明するための模式図である。

20

【図7】図7は、比較例のロータコアの要部を説明するための平面図である。

【図8】図8は、比較例のロータにおける磁束の分布を示す平面図である。

【図9】図9は、比較例のロータを備えた電動機のエアギャップにおけるロータの周方向の磁束密度分布を示す図である。

【図10】図10は、実施例1のロータにおける磁束の分布を示す平面図である。

【図11】図11は、実施例1のロータの周方向における磁束密度分布を示す図である。

【図12】図12は、電動機に生じる振動について実施例1と比較例とで比較して示す図である。

【図13】図13は、電動機の周囲で生じる騒音について実施例1と比較例とで比較して示す図である。

30

【図14】図14は、実施例2におけるロータコアの要部を説明するための平面図である。

【図15】図15は、実施例2のロータの周方向における磁束密度分布を示す図である。

【図16】図16は、変形例のロータコアの要部を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に、本願の開示する電動機の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施例によって、本願の開示する電動機が限定されるものではない。

【実施例1】

【0012】

(電動機の構成)

40

図1は、実施例1における電動機を示す平面図である。図2は、実施例1におけるロータを示す平面図である。図1及び図2に示すように、本実施例1の電動機1は、6極9スロットの集中巻型の3相モータである。電動機1は、ロータ21と、ロータ21の外周側に配置されるステータ22と、を備える。

【0013】

ロータ21は、ケイ素鋼板等の軟磁性体からなる複数の金属板が積層されて形成された円柱状のロータコア23を有しており、複数の金属板は、例えばカシメにより一体化されている。ロータコア23の中心軸には、回転軸としてのシャフト3が挿通されて、シャフト3とロータ21が固定されている。また、ロータコア23には、長穴状の複数の冷媒ガス通路9がロータコア23の軸方向(シャフト3の軸方向)に貫通して設けられており、

50

複数の冷媒ガス通路 9 がシャフト 3 の軸まわりに沿って間隔をあけて配置されている。実施例 1 におけるロータコア 2 3 の要部については後述する。

【0014】

ステータ 2 2 は、概ね円筒形に形成されており、ロータ 2 1 の外周側を囲むように配置されている。ステータ 2 2 は、例えば、不図示の圧縮機の圧縮容器の内部等に固定される。図 1 に示すように、ステータ 2 2 は、ステータコア 2 4 と、上インシュレータ 2 5 及び下インシュレータ（図示せず）と、複数の巻き線 4 6 と、を備える。

【0015】

図 2 に示すように、ステータコア 2 4 は、ロータコア 2 3 の外周面 2 7 との間に所定の空隙（エアギャップ）をあけて配置されている。ステータコア 2 4 は、環状のヨーク部 3 1 から、ロータコア 2 3 の径方向の内側へ向かって延びる 9 つのティース部 3 2 が、ステータコア 2 4 の周方向において 40 [度]（機械角）の間隔を等間隔にあけて形成されている。各ティース部 3 2 には、ステータコア 2 4 の内周側に位置する先端から、ステータコア 2 4 の周方向の両側に突出する鏑部 3 3 が形成されている。各ティース部 3 2 は、同一形状に形成されている。各ティース部 3 2 には、図 1 に示すように、各巻き線 4 6 が集中巻きで巻回された巻回部 4 5 がそれぞれ形成されている。複数の巻き線 4 6 は、3 つの U 相巻き線 4 6 - U1 ~ 4 6 - U3 と、3 つの V 相巻き線 4 6 - V1 ~ 4 6 - V3 と、3 つの W 相巻き線 4 6 - W1 ~ 4 6 - W3 と、を有する。また、ステータ 2 2 において、各巻回部 4 5 から引き出されて一束にまとめられた中性線は、絶縁チューブで覆われて、ステータ 2 2 の周方向（ロータ 2 1 の回転方向）に隣り合う巻回部 4 5 の隙間に挿入されている（図 1 参照）。上インシュレータ 2 5 は、ステータコア 2 4 の上端部に固定されている。下インシュレータは、ステータコア 2 4 の下端部に固定されている。上インシュレータ 2 5 及び下インシュレータは、ステータコア 2 4 と巻き線 4 6 とを絶縁する絶縁部材である。

【0016】

図 2 に示すように、実施例 1 の電動機 1 のロータコア 2 3 は、永久磁石 1 3 a、1 3 b、1 3 c、1 3 d、1 3 e、1 3 f（以下、永久磁石 1 3 とも言う。）が埋め込まれる複数の磁石埋込孔 1 2 a、1 2 b、1 2 c、1 2 d、1 2 e、1 2 f（以下、磁石埋込孔 1 2 とも言う。）を有する。ロータコア 2 3 には、6 つのスリット状の磁石埋込孔 1 2 が、シャフト 3 を中心として正六角形の各辺をなすように形成されている。各磁石埋込孔 1 2 は、ロータコア 2 3 の周方向に所定間隔をあけて配置されている。磁石埋込孔 1 2 には、板状の永久磁石 1 3 が埋め込まれている。なお、ロータコア 2 3 の軸方向の両端面には、永久磁石 1 3 の抜け止めのための端板が取り付けられているが、ロータコア 2 3 の要部を説明するために端板の図示を省略している。この端板は、ロータコア 2 3 のリベット穴 7 に通されるリベット 8 によってロータコア 2 3 に対して固定されている。

【0017】

上述のようにロータコア 2 3 には、永久磁石 1 3 が埋め込まれることで 6 つの磁極部 1 1、すなわち 3 つの N 極磁極部 1 1 N と 3 つの S 極磁極部 1 1 S が、ロータコア 2 3 の周方向に沿って交互に設けられている。N 極磁極部 1 1 N 及び S 極磁極部 1 1 S（以下、磁極部 1 1 とも言う。）は、永久磁石 1 3 を含み、ロータコア 2 3 の径方向において永久磁石 1 3 の外周側部分（永久磁石 1 3 とロータコア 2 3 の外周面 2 7 との間の部分）である。また、各磁極部 1 1 には、板状の永久磁石 1 3 が、永久磁石 1 3 の厚さ方向が後述の d 軸 D に沿うように配置されている。

【0018】

そして、本願の開示する電動機は、自然数を m として、磁極部 1 1（N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S）がなす極対の個数が m 個、複数のティース部 3 2 の個数が 3 m 個である。また、磁極部 1 1 の個数、すなわち極数は、2 m 個である。実施例 1 の電動機 1 は一例として、極数が 6 個、極対の個数が 3 個、ティース部 3 2 の個数が 9 個である。

【0019】

また、ロータ 2 1 の回転中心（ロータコア 2 3 の回転中心）O を通る回転中心線に対し

10

20

30

40

50

て直交する平面（以下、直交平面とも言う。）において、ロータ 2 1 の周方向における磁極部 1 1 の中央（永久磁石 1 3 の中央）と、回転中心 O とを結ぶ直線を d 軸 D とし、ロータ 2 1 の周方向に隣り合う磁極部 1 1 同士の間の中央と、回転中心 O とを結ぶ直線を q 軸 Q とする。回転中心 O を通る回転中心線は、シャフト 3 の軸方向に沿うシャフト 3 の中心線と一致する。ロータコア 2 3 は、ロータコア 2 3 の周方向に等間隔で回転中心 O から放射状に延びる複数の d 軸 D と、ロータコア 2 3 の周方向に等間隔で回転中心 O から放射状に延びる複数の q 軸 Q と、を有する。

【 0 0 2 0 】

図 3 は、実施例 1 におけるロータ 2 1 のロータコア 2 3 の要部を説明するための平面図である。図 2 及び図 3 に示すように、ロータコア 2 3 は、複数の非磁性部 1 4 a ~ 1 4 f 、 1 5 a ~ 1 5 f （以下、非磁性部 1 4 、 1 5 と称する。）と、複数の溝部 1 6 、 1 7 と、非磁性部 1 4 、 1 5 と溝部 1 6 、 1 7 との間に形成された複数のブリッジ部 1 8 と、を有する。ここでは、磁石埋込孔 1 2 の両端側に形成された非磁性部 1 4 、 1 5 のうち、一方の非磁性部である第 1 非磁性部 1 4 （ 1 4 a ~ 1 4 f ）がロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置し、他方の非磁性部である第 2 非磁性部 1 5 （ 1 5 a ~ 1 5 f ）が回転方向 R の後方側に位置するものとする。なお、ロータコア 2 3 の周方向におけるロータコア 2 3 の外周面 2 7 の形状の詳細については後述する。

【 0 0 2 1 】

ロータコア 2 3 は、ロータコア 2 3 の周方向における永久磁石 1 3 の両端から連続するように、ロータコア 2 3 の径方向の外側に向かって、すなわちロータコア 2 3 の外周面 2 7 に向かって延びる非磁性部（フラックスバリア） 1 4 、 1 5 を有する。非磁性部 1 4 、 1 5 は、磁石埋込孔 1 2 に連続する空間部として形成されており、隣り合う磁極部 1 1 同士の間においてステータ 2 2 のヨーク部 3 1 を通過せずにティース部 3 2 の鏝部 3 3 を經由して磁極部 1 1 同士を循環する磁路が生じるのを非磁性部 1 4 、 1 5 によって防いでいる。言い換えると、ロータコア 2 3 には、ロータコア 2 3 の軸方向に貫通する貫通孔が形成されており、貫通孔において永久磁石 1 3 によって埋まる領域が磁石埋込孔 1 2 であり、貫通孔において永久磁石 1 3 によって埋まらない領域が空間部である非磁性部 1 4 、 1 5 である。

【 0 0 2 2 】

ロータコア 2 3 の外周面 2 7 には、ロータコア 2 3 の周方向に隣り合う磁極部 1 1 同士の間に、外周面 2 7 の一部がロータコア 2 3 の径方向に切り欠かれて窪んだ溝部 1 6 、 1 7 が、ロータコア 2 3 の回転中心線に沿って形成されている。言い換えると、溝部 1 6 、 1 7 は、ロータコア 2 3 の周方向において、隣り合う非磁性部 1 4 、 1 5 の間に位置しており、q 軸 Q 上に配置されている。実施例 1 における溝部 1 6 、 1 7 の内面形状の詳細については後述する。

【 0 0 2 3 】

（ロータコアの特徴的な構造）

次に、実施例 1 におけるロータコア 2 3 の特徴的な構造について説明する。実施例 1 の特徴には、ロータコア 2 3 の周方向におけるロータコア 2 3 の外周面 2 7 の形状が含まれる。

【 0 0 2 4 】

（一極対外周面の形状）

図 1 ~ 図 3 に示すように、ロータ 2 1 の回転中心線に直交する平面（図面の紙面である直交平面。以下、直交平面とも称する。）において、ロータコア 2 3 の外周面 2 7 のうち、1 つの極対である一極対を形成する範囲のロータコア 2 3 の外周面 2 7 を、一極対外周面 2 8 とする。また、直交平面において、磁極部 1 1 （ N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S の組）がなす極対の個数を m 個（ m は自然数）とする。このとき、直交平面におけるロータコア 2 3 の外周面 2 7 の全体の形状は、1 つの一極対外周面 2 8 の形状がロータコア 2 3 の周方向に対して m 回繰り返されることで形成されている。つまり、直交平面において、 m 個の一極対外周面 2 8 のそれぞれは、ロータ 2 1 の回転中心 O に対して互いに回

10

20

30

40

50

転対称となるように形成されている。言い換えれば、直交平面において、後述する q 軸 Q を基準としてロータコア 23 の外周面 27 を周方向に m 等分したそれぞれが一極対外周面 28 であり、m 個の一極対外周面 28 のそれぞれは互いに同じ形状である。これにより、ロータコア 23 とこのロータコア 23 に径方向で対向するステータコア 24 とで形成される磁束の経路も周期的に m 回繰り返されることとなる。その結果、機械角で $360/m$ [度] 毎に、電気角では 360 [度] 毎に、同じ磁束密度分布が周期的に繰り返されるため、ロータコア 23 が 1 回転する間で磁束密度分布が不規則に変動することで振動が増大してしまうのを、抑制できる。例えば、実施例 1 のロータコア 23 の外周面 27 は、ロータコア 23 の全周において、一極対外周面 28 が 3 回繰り返して形成されている。

【0025】

ここで、上述の直交平面において、非磁性部（第 1 非磁性部 14、第 2 非磁性部 15）の内周面のうち、ロータコア 23 の径方向で最も外周側に位置する箇所を外周端 14E、15E とする。また、ロータ 21 の回転中心 O と第 1 非磁性部 14 のロータコア 23 の径方向における外周端 14E とを通る直線を、第 1 境界線 B1 とする。また、ロータ 21 の回転中心 O と第 2 非磁性部 15 のロータコア 23 の径方向における外周端 15E を通る直線を第 2 境界線 B2 とする。このとき、ロータコア 23 の各磁極部 11 の外周面 27 は、1 つの磁極部 11 を通過する 2 つの境界線（第 1 境界線 B1 と第 2 境界線 B2）の間の範囲に形成された磁極外周面 29 を有する。

【0026】

したがって、一極対外周面 28 は、ロータコア 23 の外周面 27 の周方向において、図 3、図 4 に示すように、溝部 17 において q 軸 Q を基準として回転方向 R の前方側に位置する溝部分の内面と、溝部 17 に対して回転方向 R の前方側に位置する N 極磁極部 11N の磁極外周面 29（以下、N 極外周面 29N とも言う。）と、N 極外周面 29N に対して回転方向 R の前方側に位置する 1 つの溝部 16 の内面と、溝部 16 に対して回転方向 R の前方側に位置する S 極磁極部 11S の磁極外周面 29（以下、S 極外周面 29S とも言う。）と、S 極磁極部 11S に対して回転方向 R の前方側に位置する他の溝部 17 において q 軸 Q を基準として回転方向 R の後方側に位置する溝部分の内面と、を含む一極対の範囲である。1 つの磁極外周面 29（N 極外周面 29N または S 極外周面 29S）は、外周面 27 における、周方向に隣り合う 2 つの q 軸 Q の間に位置する外周面 27 の範囲のうち、溝部 16、17 を含まない磁極部 11 の範囲である。言い換えれば、各磁極外周面 29（N 極外周面 29N 及び S 極外周面 29S）はそれぞれ、外周面 27 の周方向で、1 つの磁極部 11 を通過する 2 つの境界線（第 1 境界線 B1、第 2 境界線 B2）の間の範囲に形成された部分である。

【0027】

図 4 は、実施例 1 におけるロータコア 23 の一極対を示す拡大図である。図 3 及び図 4 に示すように、直交平面において、N 極磁極部 11N の N 極外周面 29N と S 極磁極部 11S の S 極外周面 29S は、N 極磁極部 11N と S 極磁極部 11S のいずれか一方の磁極部をロータ 21 の回転中心 O まわりに 60 [度]、仮想的に回転させて、N 極磁極部 11N と S 極磁極部 11S の他方の磁極部に重ねたときに互いに一致しない形状に形成されている。なお、仮想的に回転させる対象となる磁極部は、N 極磁極部 11N と S 極磁極部 11S のどちらの磁極部でもよい。また、回転中心 O まわりに回転させる方向は、時計回りと反時計回りのどちらの方向でもよい。ここでは、N 極磁極部 11N を反時計回りに 60 [度] 仮想的に回転させて S 極磁極部 11S に重ねたと仮定して説明する。

【0028】

従来のロータコア（後述する比較例を示す図 7 参照）では一般的に、隣り合う磁極部（S 極磁極部と N 極磁極部）同士において、各磁極部の磁極外周面を含む一極対外周面の形状が、q 軸 Q に対して対称な形状である。そのため、1 つの極対をなす N 極永久磁石と S 極永久磁石において、N 極永久磁石とこの N 極永久磁石に近接するティース部との間を通過する磁束密度分布と、S 極永久磁石とこの S 極永久磁石に近接するティース部との間を通過する磁束密度分布とが、q 軸 Q に対して対称にはならない。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

これに対して、実施例 1 におけるロータコア 2 3 は、1 つの一極対外周面 2 8 に着目したとき、この一極対外周面 2 8 が q 軸 Q に対して互いに異なる形状に形成されることにより、1 つの極対をなす N 極永久磁石 1 3 と S 極永久磁石 1 3 において、N 極永久磁石 1 3 とこの N 極永久磁石 1 3 に近接するティース部 3 2 との間を通過する磁束密度分布と、S 極永久磁石 1 3 とこの S 極永久磁石 1 3 に近接するティース部 3 2 との間を通過する磁束密度分布とを、q 軸 Q に対して対称に近づけることが可能になる。そのため、一極対外周面 2 8 の範囲においてロータコア 2 3 とティース部 3 2 との間に形成される空隙（エアギャップ）の位置における磁束密度分布（空隙位置における径方向への磁束密度 [T] を周方向に亘って測定または解析したもの）を更に正弦波に近づけることができる。

10

【 0 0 3 0 】

例えば、実施例 1 では、ロータ 2 1 の回転中心 O からロータコア 2 3 の外周面 2 7 までの距離が変化する径変化領域 A 3（後述）の曲率半径 r が、N 極外周面 2 9 N の径変化領域 A 3 と S 極外周面 2 9 S の径変化領域 A 3 とでそれぞれ異なる。これにより、一極対外周面 2 8 が q 軸 Q に対して互いに異なる形状を、容易に実現できる。

【 0 0 3 1 】

なお、N 極磁極部 1 1 N 及び S 極磁極部 1 1 S の一方の磁極部 1 1 を他方の磁極部 1 1 に重ねるときに一方の磁極部 1 1 を仮想的に回転させる回転中心 O まわりの回転角度は、 $360 / (2m)$ [度] である。（極対の個数を m 個とする。）また、以下の説明において、ロータ 2 1 の回転中心 O まわりに仮想的に回転させる場合の回転角度についても $360 / (2m)$ [度] である。例えば、実施例 1 では、極対の個数が $m = 3$ であるため、N 極磁極部 1 1 N をロータ 2 1 の回転中心 O まわりに仮想的に回転させて S 極磁極部 1 1 S に重ねるとき、回転角度は $360 / 6 = 60$ [度] である。

20

【 0 0 3 2 】

（磁極外周面の形状）

図 5 は、実施例 1 におけるロータコア 2 3 の各磁極部 1 1 の磁極外周面 2 9 を示す模式図である。図 6 は、実施例 1 におけるロータコア 2 3 の磁極外周面 2 9 の形状を説明するための模式図である。

【 0 0 3 3 】

図 5 及び図に 6 示すように、直交平面において、N 極磁極部 1 1 N の N 極外周面 2 9 N が、この N 極磁極部 1 1 N における d 軸 D である N 極 d 軸 D N に対して非対称な形状に形成されており、S 極磁極部 1 1 S の S 極外周面 2 9 S が、この S 極磁極部 1 1 S における d 軸である S 極 d 軸 D S に対して非対称な形状に形成されている。

30

【 0 0 3 4 】

このように、各磁極部 1 1 の範囲に形成される磁極外周面 2 9 の形状を工夫することで、1 つの極対をなす N 極永久磁石 1 3 と S 極永久磁石 1 3 において、N 極永久磁石 1 3 とこの N 極永久磁石 1 3 に近接するティース部 3 2 との間を通過する磁束密度分布と、S 極永久磁石 1 3 とこの S 極永久磁石 1 3 に近接するティース部 3 2 との間を通過する磁束密度分布とを、q 軸 Q に対して更に対称に近づけることが可能になる。そのため、上述した一極対外周面 2 8 の形状の工夫によって得られる効果に加えて、一極対外周面 2 8 の範囲においてロータコア 2 3 とティース部 3 2 との間に形成される空隙（エアギャップ）での磁束密度分布を正弦波に更に近づけることができる。

40

【 0 0 3 5 】

（N 極外周面の形状）

具体的には、N 極磁極部 1 1 N の N 極外周面 2 9 N は、図 5 に示すように、N 極 d 軸 D N に対してロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する N 極前方側外周面 2 9 N - F と、N 極 d 軸 D N に対して回転方向 R の後方側に位置する N 極後方側外周面 2 9 N - R と、を有する。

【 0 0 3 6 】

図 6 は、ロータコア 2 3 の直交平面において磁極部 1 1 を d 軸 D に沿って仮想的に折り

50

返して、前方側外周面 29-F を後方側外周面 29-R に仮想的に重ねた図である。ここでは N 極磁極部 11N を仮想的に折り返した場合について説明する。図 6 に示すように、ロータコア 23 の直交平面において N 極磁極部 11N を N 極 d 軸 DN に沿って仮想的に折り返して重ねたとき、N 極前方側外周面 29N-F は、ロータコア 23 の径方向において N 極後方側外周面 29N-R よりも内側に位置する小径外周面 34 を有している。一方、N 極後方側外周面 29N-R は、ロータコア 23 の径方向において N 極前方側外周面 29N-F よりも内側に位置する部分を有しない。言い換えると、N 極前方側外周面 29N-F は、N 極後方側外周面 29N-R と重なる部分（重複外周面 35）と、N 極後方側外周面 29N-R よりも内周側に位置する部分（小径外周面 34）と、のみを有する。そして、N 極後方側外周面 29N-R の方から見た場合、N 極後方側外周面 29N-R は、N 極前方側外周面 29N-F と重なる部分（重複外周面 35）と、N 極前方側外周面 29N-F よりも外周側に位置する部分（大径外周面 36）と、のみを有する。

10

【0037】

（S 極外周面の形状）

また、上述した N 極磁極外周面 29N と同様に、図 5 に示すように、S 極磁極部 11S の S 極外周面 29S は、S 極 d 軸 DS に対してロータ 21 の回転方向 R の前方側に位置する S 極前方側外周面 29S-F と、S 極 d 軸 DS に対して回転方向 R の後方側に位置する S 極後方側外周面 29S-R と、を有する。

【0038】

S 極磁極部 11S を仮想的に折り返した場合について説明する。図 6 に示すように、ロータコア 23 の直交平面において S 極磁極部 11S を S 極 d 軸 DS に沿って仮想的に折り返して重ねたとき、S 極前方側外周面 29S-F は、ロータコア 23 の径方向において S 極後方側外周面 29S-R よりも内側に位置する小径外周面 34 を有している。一方、S 極後方側外周面 29S-R は、ロータコア 23 の径方向において S 極前方側外周面 29S-F よりも内側に位置する部分を有しない。言い換えると、S 極前方側外周面 29S-F は、S 極後方側外周面 29S-R と重なる部分（重複外周面 35）と、S 極後方側外周面 29S-R よりも内周側に位置する部分（小径外周面 34）と、のみを有する。そして、S 極後方側外周面 29S-R の方から見た場合、S 極後方側外周面 29S-R は、S 極前方側外周面 29S-F と重なる部分（重複外周面 35）と、S 極前方側外周面 29S-F よりも外周側に位置する部分（大径外周面 36）と、のみを有する。

20

30

【0039】

（N 極外周面と S 極外周面との関係）

また、図 3 及び図 4 に示すように、直交平面において、N 極後方側外周面 29N-R と S 極後方側外周面 29S-R は、ロータ 21 の回転中心 O まわりに仮想的に回転させて N 極磁極部 11N と S 極磁極部 11S とを重ねたときに互いに一致しない形状に形成されている。

【0040】

具体的には、ロータコア 23 の直交平面において、N 極後方側外周面 29N-R をロータ 21 の回転中心 O まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて S 極後方側外周面 29S-R に重ねたとき、S 極後方側外周面 29S-R は、ロータコア 23 の径方向において N 極後方側外周面 29N-R よりも内側に位置する小径外周面 34（図 3 参照）を有し、かつ、N 極後方側外周面 29N-R は、ロータコア 23 の径方向において S 極後方側外周面 29S-R よりも内側に位置する部分を有しない。言い換えると、S 極後方側外周面 29S-R は、N 極後方側外周面 29N-R と重なる部分（重複外周面 35）と、N 極後方側外周面 29N-R よりも内周側に位置する部分（小径外周面 34）と、のみを有する。N 極後方側外周面 29N-R は、S 極後方側外周面 29S-R と重なる部分（重複外周面 35）と、S 極後方側外周面 29S-R よりも外周側に位置する部分（大径外周面 36）と、のみを有する。

40

【0041】

あるいは、これとは逆に、ロータコア 23 の直交平面において、N 極後方側外周面 29

50

N - Rをロータ21の回転中心Oまわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させてS極後方側外周面29S - Rに重ねたとき、N極後方側外周面29N - Rは、ロータコア23の径方向においてS極後方側外周面29S - Rよりも内側に位置する小径外周面(図示せず)を有し、かつ、S極後方側外周面29S - Rは、ロータコア23の径方向においてN極後方側外周面29N - Rよりも内側に位置する部分を有しなくてもよい。言い換えると、N極後方側外周面29N - Rは、S極後方側外周面29S - Rと重なる部分(重複外周面35)と、S極後方側外周面29S - Rよりも内周側に位置する部分(小径外周面34)と、を有するように形成されてもよい。S極後方側外周面29S - Rは、N極後方側外周面29N - Rと重なる部分(重複外周面35)と、N極後方側外周面29N - Rよりも外周側に位置する部分(大径外周面36)と、のみを有するように形成されてもよい。

【0042】

10

例えば、実施例1では、ロータ21の回転中心Oからロータコア23の外周面までの距離が変化する径変化領域A3の曲率半径 r が、N極外周面29Nの径変化領域A3とS極外周面29Sの径変化領域A3とで互いに異なる。これにより、N極磁極部11NとS極磁極部11Sのいずれか一方の磁極部をロータ21の回転中心Oまわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて、N極磁極部11NとS極磁極部11Sのいずれか他方の磁極部に重ねたときに互いに一致しない形状を、容易に実現できる。

【0043】

また同様に、ロータコア23の直交平面において、N極前方側外周面29N - FとS極前方側外周面29S - Fは、ロータ21の回転中心Oまわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させてN極磁極部11NとS極磁極部11Sとを重ねたときに互いに一致しない形状に形成されている(図3参照)。

20

【0044】

具体的には、ロータコア23の直交平面において、N極前方側外周面29N - Fをロータ21の回転中心Oまわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させてS極前方側外周面29S - Fに重ねたとき、S極前方側外周面29S - Fは、ロータコア23の径方向においてN極前方側外周面29N - Fよりも内側に位置する小径外周面34(図3参照)を有し、かつ、N極前方側外周面29N - Fは、ロータコア23の径方向においてS極前方側外周面29S - Fよりも内側に位置する部分を有しない。言い換えると、S極前方側外周面29S - Fは、N極前方側外周面29N - Fと重なる部分(重複外周面35)と、N極前方側外周面29N - Fよりも内周側に位置する部分(小径外周面34)と、のみを有する。N極前方側外周面29N - Fは、S極前方側外周面29S - Fと重なる部分(重複外周面35)と、S極前方側外周面29S - Fよりも外周側に位置する部分(大径外周面36)と、のみを有する。

30

【0045】

あるいは、これとは逆に、ロータコア23の直交平面において、N極前方側外周面29N - Fをロータ21の回転中心Oまわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させてS極前方側外周面29S - Fに重ねたとき、N極前方側外周面29N - Fは、ロータコア23の径方向においてS極前方側外周面29S - Fよりも内側に位置する小径外周面(図示せず)を有し、かつ、S極前方側外周面29S - Fは、ロータコア23の径方向においてN極前方側外周面29N - Fよりも内側に位置する部分を有しなくてもよい。言い換えると、N極前方側外周面29N - Fは、S極前方側外周面29S - Fと重なる部分(重複外周面35)と、S極前方側外周面29S - Fよりも内周側に位置する部分(小径外周面34)と、を有するように形成されてもよい。S極前方側外周面29S - Fは、N極前方側外周面29N - Fと重なる部分(重複外周面35)と、N極前方側外周面29N - Fよりも外周側に位置する部分(大径外周面36)と、のみを有するように形成されてもよい。

40

【0046】

例えば、実施例1では、ロータ21の回転中心Oからロータコア23の外周面までの距離が変化する径変化領域A3の曲率半径 r が、N極外周面29Nの径変化領域A3とS極外周面29Sの径変化領域A3とで互いに異なる。これにより、N極磁極部11NとS極

50

磁極部 1 1 S のいずれか一方の磁極部をロータ 2 1 の回転中心 O まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて、N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S のいずれか他方の磁極部に重ねたときに互いに一致しない形状を、容易に実現できる。

【0047】

直交平面において、ロータコア 2 3 の磁極外周面 2 9 は、図 3 に示すように、d 軸 D から溝部 1 6、1 7 に近づくに従って、ロータ 2 1 の回転中心 O からの距離が徐々に小さくなるように形成されている。

【0048】

具体的には、ロータコア 2 3 の直交平面において、ロータコア 2 3 の磁極外周面 2 9 の各々は、図 3 に示すように、d 軸 D 上の位置でロータ 2 1 の回転中心 O からの距離（半径）が最大の外径 L となる。また、直交平面において、N 極磁極部 1 1 N の N 極外周面 2 9 N と S 極磁極部 1 1 S の S 極外周面 2 9 S は、d 軸 D 上の位置で回転中心 O からの距離、すなわち外径 L が等しくなる。

10

【0049】

また、ロータコア 2 3 の外周面 2 7 は、q 軸 Q が溝部 1 6 を通るように溝部 1 6 の内面 1 6 a が形成された溝部領域 A 1 と、q 軸 Q が溝部 1 7 を通るように溝部 1 7 の内面 1 7 a が形成された溝部領域 A 1 と、を有する。ここで、溝部領域 A 1 は、例えば、直交平面において、溝部 1 6（溝部 1 7）の内面 1 6 a（内面 1 7 a）に接する接線（図示せず）と q 軸 Q とが、溝部 1 6（溝部 1 7）の内側でなす角度が 45 [度] 以下になる領域である。言い換えると、直交平面において、径変化領域 A 3 は、溝部 1 6（溝部 1 7）側の一端に接する接線と q 軸 Q とが、溝部 1 6（溝部 1 7）の内側でなす角度が 45 [度] を超える領域である。

20

【0050】

図 3 及び図 5 に示すように、磁極外周面 2 9 は、d 軸 D が通る位置に形成されてロータ 2 1 の回転中心 O からの距離が一定の径一定領域 A 2 と、溝部領域 A 1 と径一定領域 A 2 との間に形成されてロータ 2 1 の回転中心 O からの距離が変化する径変化領域 A 3 と、を有する。径一定領域 A 2 は、回転中心 O からの最大曲率半径 r_m となる曲率半径で形成される最大曲率半径領域である。径変化領域 A 3 は、径一定領域 A 2 における回転中心 O からの最大曲率半径 r_m よりも小さい複数の曲率半径で形成されている。

【0051】

30

図 3 では、径一定領域 A 2 のうち、N 極磁極部 1 1 N 側を径一定領域 A n 2 とすると共に、この径一定領域 A n 2 のうち、回転方向 R の前方側を径一定領域 A n 2 - F、回転方向 R の後方側を径一定領域 A n 2 - R とする。同様に、径一定領域 A 2 のうち、S 極磁極部 1 1 S 側を径一定領域 A s 2 とすると共に、この径一定領域 A s 2 のうち、回転方向 R の前方側を径一定領域 A s 2 - F、回転方向 R の後方側を径一定領域 A s 2 - R とする。

【0052】

径変化領域 A 3 を形成する複数の曲率半径は、溝部 1 6、1 7 に近づくに従って曲率半径 r が徐々に小さくなる。ここでは説明の単純化のために、N 極前方側外周面 2 9 N - F の径変化領域 A 3 を形成する曲率半径の組合せと、N 極後方側外周面 2 9 N - R の径変化領域 A 3 を形成する曲率半径の組合せとが、それぞれ等しいものとして説明する。すなわち、前方側径変化領域 A 3 - F の第 1 曲率半径 $r_1 - F$ と、後方側径変化領域 A 3 - R の第 1 曲率半径 $r_1 - R$ とは、 $r_1 - F = r_1 - R = r_1$ とし、前方側径変化領域 A 3 - F の第 2 曲率半径 $r_2 - F$ と、後方側径変化領域 A 3 - R の第 2 曲率半径 $r_2 - R$ とは、 $r_2 - F = r_2 - R = r_2$ とする。一例として径変化領域 A 3 は、最大曲率半径 r_m よりも小さい第 1 曲率半径 r_1 で形成された第 1 領域 A 3 - 1 と、第 1 曲率半径 r_1 よりも小さい第 2 曲率半径 r_2 で形成された第 2 領域 A 3 - 2 と、を有する。径変化領域 A 3 には、径一定領域 A 2 から溝部領域 A 1 に向かって、第 1 領域 A 3 - 1、第 2 領域 A 3 - 2 の順に連続して形成されている。なお、実施例 1 では、第 1 曲率半径 r_1 と第 2 曲率半径 r_2 の大きさの差が比較的小さいため、第 1 領域 A 3 - 1 と第 2 領域 A 3 - 2 とが滑らかに連続している。各曲率半径 r (r_1 、 r_2) の中心 O_r (O_{r1} 、 O_{r2}) は、曲率半径が

40

50

小さくなるに従ってロータコア 2 3 の外周面 2 7 に近づくように配置されている。なお、複数の曲率半径の種類は、2 種類に限定されない。

【 0 0 5 3 】

図 3 では、前方側径変化領域 A 3 - F の第 2 曲率半径 r_{2-F} のうち、N 極磁極部 1 1 N 側を第 2 曲率半径 r_{n2-F} とし、S 極磁極部 1 1 S 側を第 2 曲率半径 r_{s2-F} とする。同様に、後方側径変化領域 A 3 - R の第 2 曲率半径 r_{2-R} にうち、N 極磁極部 1 1 N 側を第 2 曲率半径 r_{n2-R} とし、S 極磁極部 1 1 S 側を第 2 曲率半径 r_{s2-R} とする。なお、図 3 では、第 1 曲率半径 r_1 の図示を省略する。

【 0 0 5 4 】

また、径一定領域 A 2 は、図 5 に示すように、d 軸 D に対してロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する前方側一定領域 A 2 - F と、d 軸 D に対して回転方向 R の後方側に位置する後方側一定領域 A 2 - R と、を有する。前方側一定領域 A 2 - F の周方向の長さは、後方側一定領域 A 2 - R の周方向の長さよりも小さい。これにより、各磁極外周面 2 9 において、前方側外周面 2 9 - F の範囲で形成される空隙（エアギャップ）が q 軸 Q に向かうに従って徐々に大きくなると共に、後方側外周面 2 9 - R の範囲で形成される空隙（エアギャップ）が q 軸 Q に向かうに従って徐々に大きくなる比率を、前方側外周面 2 9 - F の範囲で形成される空隙（エアギャップ）が q 軸 Q に向かうにしたがって徐々に大きくなる比率よりも、小さくする形状を容易に得られる。すなわち、前方側一定領域 A 2 - F が、後方側一定領域 A 2 - R よりも小さいことにより、各直交平面において N 極磁極部 1 1 N を N 極 d 軸 D に沿って仮想的に折り返して、N 極前方側外周面 2 9 N - F を N 極後方側外周面 2 9 N - R に重ねたとき、N 極前方側外周面 2 9 N - F は、ロータコア 2 3 の径方向において N 極後方側外周面 2 9 N - R よりも内側に位置する小径外周面 3 4 を有し、かつ、N 極後方側外周面 2 9 N - R は、ロータコア 2 3 の径方向において N 極前方側外周面 2 9 N - F よりも内側に位置する部分を有しないという形状を、容易に得ることができる。

【 0 0 5 5 】

また、実施例 1 では、図 5 に示すように、d 軸 D に対してロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する前方側径変化領域 A 3 - F は、d 軸 D に対して回転方向 R の後方側に位置する後方側径変化領域 A 3 - R よりも大きい。これにより、各磁極外周面 2 9 において、前方側外周面 2 9 - F の範囲で形成される空隙が徐々に大きくと共に、後方側外周面 2 9 - R の範囲で形成される空隙が徐々に大きくなる比率を、前方側外周面 2 9 - F よりも小さくする形状を容易に得られる。

【 0 0 5 6 】

なお、説明の単純化のために、N 極前方側外周面 2 9 N - F の前方側径変化領域 A 3 - F を形成する複数の曲率半径の組合せと、N 極後方側外周面 2 9 N - R の径変化領域 A 3 - R を形成する複数の曲率半径の組合せとが、それぞれ等しいものとして説明したが、前方側径変化領域 A 3 - F と後方側径変化領域 A 3 - R は、複数の曲率半径の組合せが互いに異なってもよい。例えば、前方側径変化領域 A 3 - F (A s 3 - F) の第 1 曲率半径 r_{1-F} と、後方側径変化領域 A 3 - R (A s 3 - R) の第 1 曲率半径 r_{1-R} とが、互いに異なってもよい。同様に、前方側径変化領域 A 3 - F (A s 3 - F) の第 2 曲率半径 r_{2-F} (r_{s2-F}) と、後方側径変化領域 A 3 - R (A s 3 - R) の第 2 曲率半径 r_{2-R} (r_{s2-R}) とが、互いに異なってもよい。

【 0 0 5 7 】

(溝部の内面形状)

図 3 に示すように、ロータコア 2 3 の直交平面において、溝部 1 6 の内面 1 6 a の形状は、q 軸 Q に対して非対称に形成されている。同様に、溝部 1 7 の内面 1 7 a の形状は、q 軸 Q に対して非対称に形成されている。また、ロータコア 2 3 の外周面 2 7 には、溝部 1 6 と溝部 1 7 がロータコア 2 3 の周方向に沿って交互に配置されている。直交平面において、ロータコア 2 3 の周方向に隣り合う溝部 1 6 の内面 1 6 a と溝部 1 7 の内面 1 7 a の形状は互いに異なる。このような溝部 1 6、1 7 の内面 1 6 a、1 7 a の形状は、内面

10

20

30

40

50

16a、17aを各磁極外周面29の径変化領域A3と滑らかに連続させた結果として形成されている。

【0058】

(非磁性部の形状)

S極磁極部11Sが有する2つの非磁性部(第1非磁性部14、第2非磁性部15)は、このS極磁極部11Sにおけるd軸であるS極d軸DSに対して互いに非対称な形状に形成されている。N極磁極部11Nが有する2つの非磁性部(第1非磁性部14、第2非磁性部15)は、このN極磁極部11Nにおけるd軸であるN極d軸DNに対して互いに非対称な形状に形成されている。また、N極磁極部11Nが有する2つの非磁性部14、15と、S極磁極部11Sが有する2つの非磁性部14、15は、ロータ21の回転中心Oまわりに $360/(2m)$ [度]、仮想的に回転させてN極磁極部11NとS極磁極部11Sとを重ねたときに互いに一致しない形状に形成されている。

10

【0059】

具体的には、ロータコア23の直交平面において、N極磁極部11NとS極磁極部11Sが有する4つの非磁性部14、15は、形状が互いに異なる。例えば、図3に示すように、ロータコア23の周方向に隣り合う磁極部11(N極磁極部11NとS極磁極部11S)における4つ非磁性部14a、15a、14b、15bの形状が互いに異なる。これは、磁極外周面29の形状と溝部16、17の形状とに合わせて、各非磁性部14、15を大きく確保することと、ブリッジ部18の機械的強度を適正に確保することとを両立させる結果として形状が互いに異なっている。よって、ロータコア23によれば、磁極外周面29を含む一極対外周面28による磁束密度分布の調整と、非磁性部14、15による磁束の流れの調整と、ブリッジ部18の機械的強度の確保と、をそれぞれ適切に得ることができる。

20

【0060】

また、ロータコア23において各リベット穴7の中心は、各q軸Q上に位置している。図示しないが、ロータコア23の各磁極部11は、2つの非磁性部14、15を有する構造に限定されず、例えば、磁石埋込孔12と磁極外周面29との間において、各非磁性部14、15のd軸D側に隣り合うように、更に他の非磁性部(空間部)が設けられてもよい(後述する比較例を示す図8参照)。

【0061】

30

(実施例1と比較例との比較)

上述した実施例1と比較する比較例について説明する。図7は、比較例のロータコアの要部を説明するための平面図である。図7に示すように、比較例のロータコア101は、一極対の範囲の一極対外周面128がq軸Qに対して対称形状に形成されている点で、実施例1と異なる。また、比較例のロータコア101は、各磁極部11の磁極外周面129がd軸Dに対して対称形状に形成されている点で、実施例1と異なる。さらに、比較例のロータコア101の外周面127は、溝部102が形成される範囲と、この溝部102の範囲におけるq軸Q上に突起部103が形成されている点とが、実施例1と異なる。

【0062】

40

図8は、比較例のロータにおける磁束の分布(磁束線図)を示す平面図である。図8において、ロータの回転方向R(反時計回り)に対して機械角が0[度]から120[度]までの範囲を示している。図8に示す実験モデルでは、ロータコア101の冷媒ガス通路9を省略している。図8は、ロータの回転方向Rに対してN極磁極部11N、S極磁極部11Sの順に並んでおり、ロータの周方向に並ぶ3つのティース部32のうちの中央のティース部32が、60[度]に位置するq軸Q上に位置している状態を示している。

【0063】

図8に示すように、中央のティース部32はその周方向の中心がq軸Q上に位置するものの、中央のティース部32では、N極磁極部11Nから中央のティース部32に流れた磁束がヨーク部31を通過せずに鏑部33を経由して、隣り合うS極磁極部11Sへ流れる磁路が生じており、この磁路における磁束の分布がq軸Qに対して非対称となることが

50

顕著に現れている。

【 0 0 6 4 】

図 9 は、比較例のロータを備えた電動機のエアギャップにおけるロータの周方向の磁束密度分布を示す図である。図 9 において、縦軸が径方向の磁束密度 [T] を示し、横軸がロータの周方向に対する機械角 [度] を示す。図 9 において、理想的な正弦波を実線で示し、比較例を破線で示す。図 9 は、図 8 における機械角が 0 [度] から 1 2 0 [度] までの範囲において、比較例のロータコア 1 0 1 の一極対外周面 1 2 8 と各ティース部 3 2 との間の空隙（エアギャップ）での磁束密度分布を示している。

【 0 0 6 5 】

図 9 に示すように、比較例の磁束密度分布は、0 [度] 近傍、6 0 [度] 近傍、1 2 0 [度] 近傍の各位置で、理想的な正弦波からのずれの大きさ（歪み）が大きくなっている。そのため比較例では、ロータに作用する磁束が滑らかに変化せず、ロータの径方向に生じる加振力が大きくなりやすい。また、電動機をベクトル制御する際の基準となる磁束密度が 0（ゼロ）[T] となる点が、理想的な正弦波では 0 [度]、6 0 [度]、1 2 0 [度] に現れるのに対し、比較例のロータを備えた電動機では、磁束密度が 0（ゼロ）[T] となる点が、特に 0 [度]、6 0 [度] からは 3 ~ 5 [度] 程離れた機械角で現れている。そのため、比較例のロータを備えた電動機では、ロータの周方向の磁束密度分布が理想的な正弦波から離れること、特に、N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S の組がなす極対の個数を m 個としたとき、磁束密度が 0 [T] となる点がロータコア 1 0 1 の周方向で $360 / (2m)$ [度] の倍数となる角度から離れた機械角で現れることで、ロータの回転制御を適正化することができない。その結果、比較例のロータを備えた電動機は、ロータの径方向に生じる振動が十分に低減できない。なお、ロータの周方向においてティース部 3 2 同士の間の開口部となる 4 0 [度]、8 0 [度] の位置近傍では、磁束密度が急激に低下する結果として、磁束密度分布が理想的な正弦波から大きくずれる。

【 0 0 6 6 】

図 1 0 は、実施例 1 のロータ 2 1 における磁束の分布（磁束線図）を示す平面図である。図 1 0 において、ロータ 2 1 の回転方向 R に対して機械角が 0 [度] から 1 2 0 [度] までの範囲を示している。図 1 0 に示す実験モデルでは、ロータコア 2 3 の冷媒ガス通路 9 を省略している。図 1 0 は、ロータ 2 1 の回転方向 R に対して U 相ティース部 3 2 U、V 相ティース部 3 2 V、W 相ティース部 3 2 W の順に並んでおり、U 相ティース部 3 2 U と V 相ティース部 3 2 V が N 極磁極部 1 1 N の N 極外周面 2 9 N に対向する共に、V 相ティース部 3 2 V と W 相ティース部 3 2 W が S 極磁極部 1 1 S の S 極外周面 2 9 S に対向する状態を示している。この状態を一例として、ロータ 2 1 における磁束の流れを説明する。

【 0 0 6 7 】

図 1 0 に示すように、実施例 1 では、U 相ティース部 3 2 U について、ロータコア 2 3 の N 極後方外周面 2 9 N - R の q 軸 Q 近傍（径変化領域 A 3）でのロータコア 2 3 の外径を q 軸 Q 側に向かって徐々に小さくし、N 極後方外周面 2 9 N - R と U 相ティース部 3 2 U の鏝部 3 3 との空隙が大きくされている。これにより、N 極後方外周面 2 9 N - R の q 軸 Q 近傍での磁気抵抗を上げて、N 極後方外周面 2 9 N - R からの磁束の漏れを抑え、N 極後方外周面 2 9 N - R から U 相ティース部 3 2 U へ向けて磁束を効果的に流し、磁束の流れがスムーズにされている。

【 0 0 6 8 】

次に、実施例 1 では、V 相ティース部 3 2 V について、ロータコア 2 3 の N 極前方外周面 2 9 N - F の q 軸 Q 近傍でのロータコア 2 3 の外径が q 軸 Q に向かって小さくなる比率が、N 極後方外周面 2 9 N - R の q 軸 Q 近傍よりも増やされている。これにより、N 極前方外周面 2 9 N - F の q 軸 Q 近傍での V 相ティース部 3 2 V に向かう磁束の流れを調整し、N 極前方外周面 2 9 N - F から V 相ティース部 3 2 V に流れた磁束がヨーク部 3 1 を通過せずに V 相ティース部 3 2 V の鏝部 3 3 を経由して、隣り合う S 極磁極部 1 1 S へ流れる磁路が生じることが抑えられている。

【 0 0 6 9 】

10

20

30

40

50

また、V相ティース部32Vでは、V相ティース部32Vの鏑部33からS極磁極部11Sへ向かう磁束が少ないので、S極後方外周面29S-Rのq軸Q近傍におけるロータコア23の外径を、S極前方外周面29S-Fのq軸Q近傍よりも大きくし、かつ、緩やかに小さくしている。

【0070】

次に、実施例1では、W相ティース部32Wについて、ロータコア23のS極前方外周面29S-Fのq軸Q近傍でのロータコア23の外径をq軸Q側に向かって徐々に小さくし、S極前方外周面29S-FとW相ティース部32Wの鏑部33との空隙が大きくなっている。これにより、S極前方外周面29S-Fのq軸Q近傍での磁気抵抗を上げて、W相ティース部32Wの鏑部33からの磁束の漏れを抑えることで、W相ティース部32WからS極前方外周面29S-Fへ向けて磁束を効果的に流し、S極磁極部11Sの永久磁石13へ向かう磁束の流れがスムーズにされている。

【0071】

ここで図10に示す実施例1は、図8に示す比較例と比べると、3つのティース部32における中央のティース部32であるV相ティース部32Vにおいて、N極磁極部11NからV相ティース部32Vに流れた磁束がヨーク部31を通過せずに鏑部33を経由して、隣り合うS極磁極部11Sへ流れる磁路における磁束の分布が、q軸Qに対して非対称になることが抑制されている。このため、中央のティース部32がq軸Q上に位置する60[度]の付近で磁束密度分布が理想的な正弦波に近づけられる(図11参照)。

【0072】

実施例1では、上述のように一極対外周面28が形成されることで、1つの一極対外周面28の範囲における、ロータコア23と各ティース部32との間の空隙(エアギャップ)での磁束密度分布が正弦波に近づけられている。そして、ロータコア23の外周面27は、3つの一極対外周面28が回転対称に形成されて、各一極対外周面28での磁束の流れが同一であるので、上述のように1つの一極対外周面28における磁束密度分布を適正化することで、ロータコア23の外周面27の全域の磁束密度分布を適正化できる。

【0073】

図11は、実施例1のロータ21の周方向における磁束密度分布を示す図である。図9において、縦軸が磁束密度[T]を示し、横軸がロータ21の周方向に対する機械角[度]を示す。図11において、正弦波を実線で示し、実施例1を一点鎖線で示す。図11は、図10における機械角が0[度]から120[度]までの範囲について、実施例1のロータコア23の一極対外周面28と各ティース部32との間の空隙(エアギャップ)の位置での周方向の磁束密度分布を示している。

【0074】

図11に示すように、実施例1では、0[度]近傍、60[度]近傍、120[度]近傍の各位置で、磁束密度分布が理想的な正弦波と重なるように近づけられており、図9に示す比較例と比べて、実施例1の磁束密度分布では理想的な正弦波からのずれの大きさ(歪み)が低減されている。特に、比較例と比べて実施例1は、60[度]の位置で、理想的な正弦波での60[度]の位置での磁束密度と同様に、磁束密度がほぼ0(ゼロ)[T]になる。

【0075】

実施例1は、電動機1をベクトル制御する際の基準となる磁束密度が0(ゼロ)[T]となる点が、理想的な正弦波では0[度]、60[度]、120[度]に現れるのに対し、実施例1の磁束密度分布でも、磁束密度が“0”(ゼロ)[T]となる点が、0[度]、60[度]、120[度]とほぼ一致して現れるようにすることができる。これにより、N極磁極部11NとS極磁極部11Sの組がなす極対の個数をm個としたとき、磁束密度が0[T]となる点がロータコア23の周方向で $360/(2m)$ [度]の倍数となる機械角の位置にほぼ一致して現れるため、ロータ21の回転制御を適正化することができる。また、ロータ21の周方向の磁束密度分布が $360/(2m)$ [度]の倍数となる機械角の付近で正弦波に近づけられることで、ロータ21に作用する磁束が滑らかに変化する

10

20

30

40

50

ので、ロータ 21 の径方向に生じる加振力を小さくできる。その結果、実施例 1 のロータ 21 を備えた電動機 1 は、ロータ 21 の径方向に生じる振動を低減できる。

【0076】

図 12 は、電動機に生じる振動について実施例 1 と比較例とで比較して示す図である。図 12 において、縦軸が加速度 $[m/s^2]$ を示し、横軸が周波数 $[Hz]$ を示す。図 13 は、電動機の周囲で生じる騒音について実施例 1 と比較例とで比較して示す図である。図 13 において、縦軸が音圧 $[dB]$ を示し、横軸が周波数 $[Hz]$ を示す。ここで周波数は、ロータ 21 の回転数に比例する値である。また、図 12 及び図 13 において、実施例 1 を黒で示し、比較例を白で示す。

【0077】

実施例 1 は、図 12 に示すように、比較例と比べて、電動機 1 での周波数の全帯域において振動（加速度）が低減される。このため、実施例 1 は、図 13 に示すように、比較例と比べて、電動機 1 での周波数の全帯域において騒音が低減される。

【0078】

（実施例 1 の効果）

上述したように実施例 1 の電動機 1 におけるロータコア 23 の各磁極部 11 は、ロータ 21 の回転中心線に直交する平面において、ロータ 21 の回転中心 O と第 1 非磁性部 14 のロータコア 23 の径方向における外周端 14E を通る直線である第 1 境界線 B1 と、ロータ 21 の回転中心 O と第 2 非磁性部 15 の径方向における外周端 15E を通る直線である第 2 境界線 B2 と、の間におけるロータコア 23 の外周面 17 に形成された磁極外周面 29 を有しており、磁極外周面 29 が、d 軸 D に対してロータ 21 の回転方向 R の前方側に位置する前方側外周面 29-F と、d 軸 D に対して回転方向 R の後方側に位置する後方側外周面 29-R と、を有する。直交平面において磁極部 11 を d 軸 D に沿って仮想的に折り返して、前方側外周面 29-F を後方側外周面 29-R に重ねたとき、前方側外周面 29-F は、ロータコア 23 の径方向において後方側外周面 29-R よりも内側に位置する小径外周面 34 を有する。このような形状に磁極外周面 29 が形成されることにより、永久磁石 13 の個数（磁極部 11 の個数）である極数と、巻き線 46 が巻かれた巻回数 45 の個数に相当するティース部 32 の個数との比率が 2 : 3 となる電動機であっても、図 10 に示すように、3 つのティース部 32 における中央のティース部 32 (32V) において、N 極磁極部 11N からティース部 32 (32V) に流れた磁束がヨーク部 31 を通過せずに銜部 33 を経由して隣り合う S 極磁極部 11S へ流れる磁路に着目したとき、磁束の分布が q 軸 Q に対して非対称になることが抑制されている。このため、中央のティース部 32 (32V) が q 軸 Q 上に位置する 60 [度] の付近での磁束密度分布が、理想的な正弦波に近づけられる。これにより、回転するロータ 21 の周方向においてロータ 21 とステータ 22 との間の空隙（エアギャップ）での磁束密度分布を図 11 に示すように正弦波に近づけることができる。特にティース部 32 が q 軸 Q 上に位置する、ロータコア 23 の機械角が $360 / (2m)$ [度] の倍数の位置（実施例 1 では機械角が 60 [度] の倍数となる例えば 0 [度]、60 [度]、120 [度] の位置）で、磁束密度を “0”（ゼロ）[T] に近づけることができるので、ロータ 21 の回転制御を適正化することができる。その結果、実施例 1 によれば、電動機 1 のロータ 21 の振動を低減し、電動機 1 の周囲の騒音を低減することができる。

【0079】

また、実施例 1 の電動機 1 におけるロータコア 23 は、直交平面において、N 極磁極部 11N の N 極外周面 29N と S 極磁極部 11S の S 磁極外周面 29S が、ロータ 21 の回転中心 O まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて N 極磁極部 11N と S 極磁極部 11S とを重ねたときに互いに一致しない形状に形成されている。これにより、回転するロータ 21 の周方向においてロータ 21 とステータ 22 との間の空隙（エアギャップ）での磁束密度分布を正弦波に更に近づけることができる。

【0080】

また、実施例 1 の電動機 1 におけるロータコア 23 の磁極外周面 29 は、d 軸 D が通る

10

20

30

40

50

位置に形成されてロータ 2 1 の回転中心 O からの距離が一定の径一定領域 A 2 と、溝部領域 A 1 と径一定領域 A 2 との間に形成されて回転中心 O からの距離が変化する径変化領域 A 3 と、を有する。径一定領域 A 2 は、d 軸 D に対してロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する前方側一定領域 A 2 - F と、d 軸 D に対して回転方向 R の後方側に位置する後方側一定領域 A 2 - R と、を有する。前方側一定領域 A 2 - F の周方向の長さは、後方側一定領域 A 2 - R の周方向の長さよりも小さい。これにより、各磁極外周面 2 9 において、前方側外周面 2 9 - F の範囲で形成される空隙が徐々に大きくなると共に、後方側外周面 2 9 - R の範囲で形成される空隙が徐々に大きくなる比率を、前方側外周面 2 9 - F よりも小さくする形状を容易に得ることができる。

【 0 0 8 1 】

10

また、実施例 1 の電動機 1 におけるステータ 2 2 の各ティース部 3 2 は、巻き線 4 6 が集中巻きで巻回された巻回部 4 5 を有する。このような集中巻型の電動機 1 において本発明の課題を解決できる。

【 0 0 8 2 】

以下、実施例 2 及び変形例について図面を参照して説明する。実施例 2 及び変形例において、実施例 1 と同一の構成部材には、実施例 1 と同一の符号を付して説明を省略する。実施例 2 は、各磁極部 1 1 の磁極外周面 2 9 が同一形状に形成される点が実施例 1 と異なる。

【実施例 2 】

【 0 0 8 3 】

20

図 1 4 は、実施例 2 におけるロータコアの要部を説明するための平面図である。図 1 4 に示すように、実施例 2 におけるロータコア 5 1 は、実施例 1 と同様に、各磁極部 1 1 の磁極外周面 2 9 が、d 軸 D に対してロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する前方側外周面 2 9 - F と、d 軸 D に対して回転方向 R の後方側に位置する後方側外周面 2 9 - R と、を有する。直交平面（図 1 4 の紙面）において磁極部 1 1 を d 軸 D に沿って仮想的に折り返して、前方側外周面 2 9 - F を後方側外周面 2 9 - R に重ねたとき、前方側外周面 2 9 - F は、ロータコア 5 1 の径方向において後方側外周面 2 9 - R よりも内側に位置する小径外周面 3 4 を有し、かつ、後方側外周面 2 9 - R は、ロータコア 5 1 の径方向において前方側外周面 2 9 - F よりも内側に位置する部分を有しない。

【 0 0 8 4 】

30

実施例 2 は、直交平面において、N 極磁極部 1 1 N の N 極外周面 2 9 N と S 極磁極部 1 1 S の S 極外周面 2 9 S が、ロータ 2 1 の回転中心 O まわりに $360 / (2m)$ [度]、仮想的に回転させて N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S とを重ねたときに互いに一致する形状に形成されている。この点で実施例 2 は、実施例 1 と異なる。言い換えると、実施例 2 のロータコア 5 1 は、直交平面において、N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S とで磁極外周面 2 9 が同一形状であり、同一形状の磁極外周面 2 9 がロータコア 5 1 の外周面 2 7 の全周にわたって繰り返して形成されている。

【 0 0 8 5 】

また、実施例 2 におけるロータコア 5 1 の各磁極外周面 2 9 は、実施例 1 と同様に、d 軸 D に対して非対称な形状に形成されているが、N 極外周面 2 9 N と S 極外周面 2 9 S が同一形状である点で実施例 1 と異なる。実施例 2 における各磁極外周面 2 9 が、d 軸 D に対して非対称な形状となる詳細な形状は、実施例 1 の各磁極外周面 2 9（図 5 及び図 6 参照）と同様であるので説明を省略する。

40

【 0 0 8 6 】

（溝部及び非磁性部の形状）

実施例 2 では、ロータコア 5 1 の周方向において共通形状の溝部 5 2 が、各磁極部 1 1 の間の q 軸 Q 上に形成されている。溝部 5 2 の内面 5 2 a の形状は、q 軸 Q に対して非対称に形成されている。一方、各磁極部 1 1 において、ロータ 2 1 の回転方向 R の前方側に位置する各第 1 非磁性部 1 4 は互いに同一形状である。また、各磁極部 1 1 において、回転方向 R の後方側に位置する各第 2 非磁性部 1 5 は互いに同一形状である。

50

【 0 0 8 7 】

実施例 1 では、各磁極外周面 2 9 を d 軸 D に対して非対称な形状に形成することと、N 極外周面 2 9 N と S 極外周面 2 9 S と溝部 1 6 (溝部 1 7) を含む一極対外周面 2 8 を q 軸 Q に対して非対称な形状に形成することと、の両方によってロータ 2 1 の周方向におけるロータコア 2 3 と各ティース部 3 2 との間の空隙 (エアギャップ) での磁束密度分布を正弦波に近づけている。これに対して実施例 2 では、各磁極部 1 1 の磁極外周面 2 9 を同一形状に形成すると共に、各磁極外周面 2 9 を d 軸 D に対して非対称な形状に形成することによって、ロータ 2 1 の周方向におけるロータコア 5 1 と各ティース部 3 2 との間の空隙 (エアギャップ) での磁束密度分布を正弦波に近づけている。

【 0 0 8 8 】

10

図 1 5 は、実施例 2 のロータ 2 1 の周方向における磁束密度分布を示す図である。図 1 5 において、縦軸が磁束密度 [T] を示し、横軸がロータ 2 1 の周方向に対する機械角 [度] を示す。図 1 1 において、理想的な正弦波を実線で示し、実施例 2 を一点鎖線で示す。図 1 5 は、図 1 4 に示す 2 つの磁極部 1 1 と溝部 5 2 が形成された一極対外周面 2 8 の範囲である、機械角が 0 [度] から 1 2 0 [度] までの範囲について、ロータ 2 1 と各ティース部 3 2 との間の空隙 (エアギャップ) の位置での周方向の磁束密度分布を示している。

【 0 0 8 9 】

図 1 5 に示すように、実施例 2 は、実施例 1 と同様に、0 [度] 近傍、6 0 [度] 近傍、1 2 0 [度] 近傍の各位置で、磁束密度分布が理想的な正弦波と重なるように近づけられており、図 9 に示す比較例と比べて、実施例 2 の磁束密度分布では理想的な正弦波からのずれの大きさ (歪み) が低減されている。特に、比較例と比べて実施例 2 は、6 0 [度] 近傍の位置で、理想的な正弦波での 6 0 [度] の位置での磁束密度と同様に、磁束密度がほぼ 0 (ゼロ) [T] になる。

20

【 0 0 9 0 】

(実施例 2 の効果)

したがって、実施例 2 においても、実施例 1 と同様に、N 極磁極部 1 1 N と S 極磁極部 1 1 S の組がなす極対の個数を m 個としたとき、磁束密度が 0 [T] となる点がロータコア 5 1 の周方向で $360 / (2 m)$ [度] の倍数となる機械角にほぼ一致して現れるため、ロータ 2 1 の回転制御を適正化することができる。また、ロータ 2 1 の周方向における磁束密度分布が $360 / (2 m)$ [度] の倍数となる機械角の付近で理想的な正弦波に近づけられることで、ロータ 2 1 に作用する磁束が滑らかに変化するので、ロータ 2 1 の径方向に生じる加振力の変動が抑えられる。その結果、実施例 2 のロータ 2 1 を備えた電動機 1 の径方向に生じる振動を低減し、電動機 1 の周囲の騒音を低減することができる。

30

【 0 0 9 1 】

また、図 1 5 に示す実施例 2 を、図 1 1 に示す実施例 1 と比較すると、実施例 2 よりも実施例 1 の方が、ロータ 2 1 の周方向におけるロータ 2 1 と各ティース部 3 2 との間の空隙 (エアギャップ) での磁束密度分布が正弦波に更に近づけられており、正弦波に近づける観点では実施例 1 が好ましい。

【 0 0 9 2 】

40

(変形例)

図 1 6 は、変形例のロータコアの要部を示す平面図である。変形例のロータコア 6 1 では、永久磁石 1 3 の配置が実施例 1、2 と異なる。図 1 6 に示すように、各磁極部 1 1 には、2 つの板状の永久磁石 1 3 が、各永久磁石 1 3 の厚さ方向が交差するように略 V 字状に配置されている。各磁極部 1 1 には、2 つの永久磁石 1 3 の各一端から、ロータコア 6 1 の外周面 2 7 に向かって延びる 2 つの非磁性部 1 4、1 5 と、2 つの永久磁石 1 3 の各他端の間を通る d 軸 D 上に形成された非磁性部 1 9 と、が形成されている。変形例においても、永久磁石 1 3 の配置にかかわらず、ロータコア 6 1 の外周面 2 7 が実施例 1、2 と同様に形成されることで、実施例 1、2 と同様の効果を得ることができる。

【 符号の説明 】

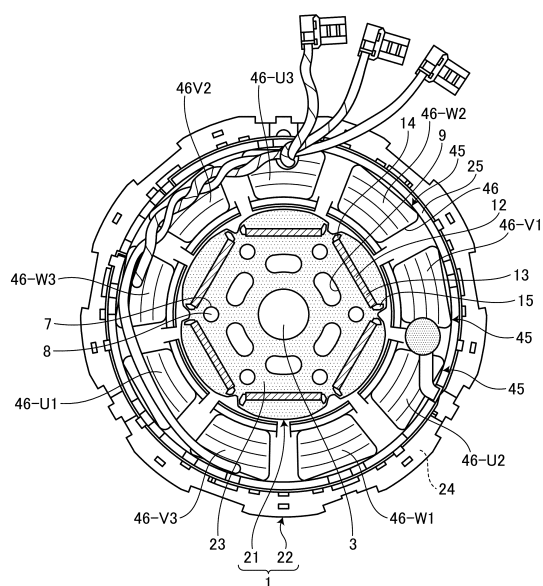
50

【 0 0 9 3 】

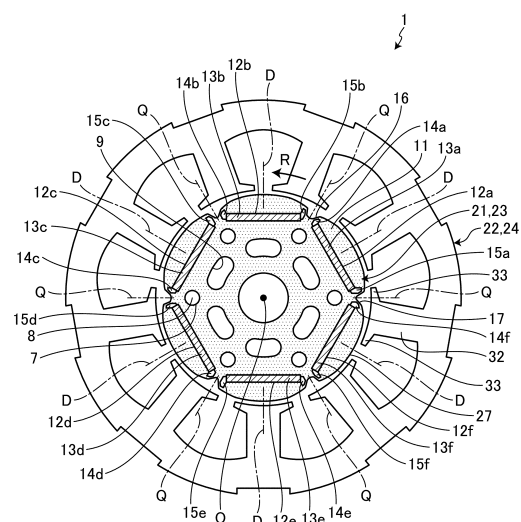
1	電動機	
3	シャフト	
1 1	磁極部	
1 1 N	N極磁極部	
1 1 S	S極磁極部	
1 3	永久磁石	
1 4 (1 4 a ~ 1 4 f)、1 5 (1 5 a ~ 1 5 f)、1 9	非磁性部	
1 4 E、1 5 E	外周端	
1 6、1 7、5 2	溝部	10
1 6 a、1 7 a	内面	
2 1	ロータ	
2 2	ステータ	
2 3	ロータコア	
2 4	ステータコア	
2 7	外周面	
2 8	一極對外周面	
2 9	磁極外周面	
2 9 - F	前方側外周面	
2 9 — R	後方側外周面	20
2 9 N	N極外周面 (磁極外周面)	
2 9 N - F	N極前方側外周面 (前方側外周面)	
2 9 N - R	N極後方側外周面 (後方側外周面)	
2 9 S	S極外周面 (磁極外周面)	
2 9 S - F	S極前方側外周面 (前方側外周面)	
2 9 S - R	S極後方側外周面 (後方側外周面)	
3 1	ヨーク部	
3 2	ティース部	
3 4	小径外周面	
3 5	重複外周面	30
3 6	大径外周面	
4 5	巻回部	
4 6	巻き線	
A 1	溝部領域	
A 2	径一定領域 (最大曲率半径領域)	
A 2 - F	前方側一定領域	
A 2 - R	後方側一定領域	
A 3	径変化領域	
B 1	第 1 境界線	
B 2	第 2 境界線	40
O	回轉中心	
D	d 軸	
D N	N極 d 軸	
D S	S極 d 軸	
Q	q 軸	
R	回轉方向	
r m	最大曲率半径	
r 1	第 1 曲率半径 (曲率半径)	
r 2	第 2 曲率半径 (曲率半径)	

【図面】

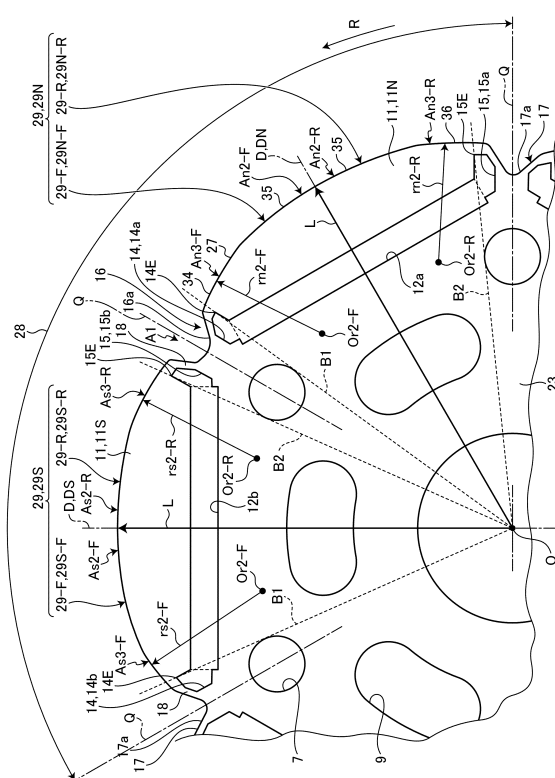
【 図 1 】



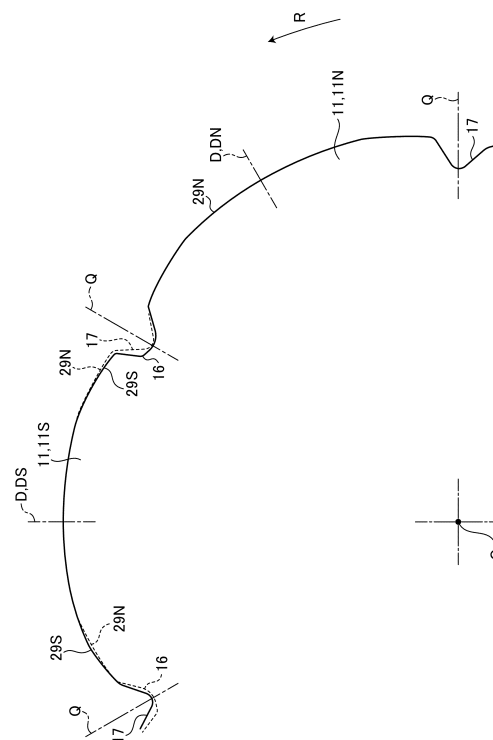
【 図 2 】



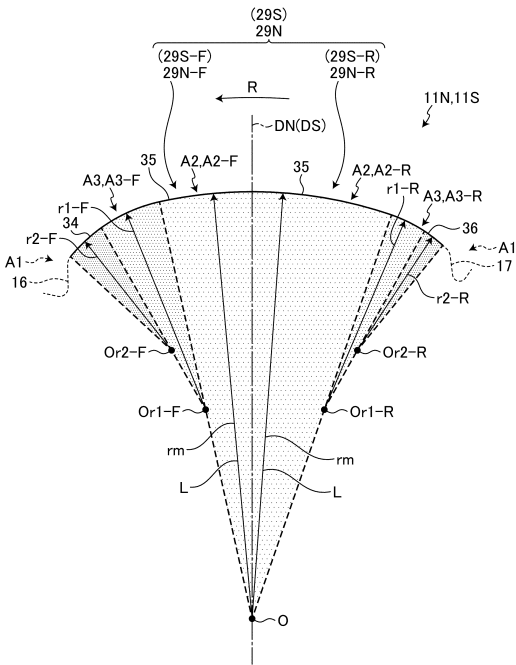
【 図 3 】



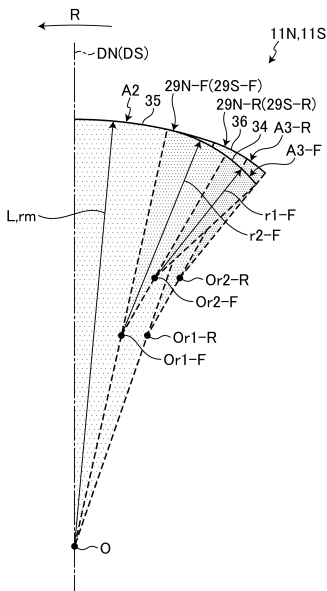
【圖 4】



【 図 5 】



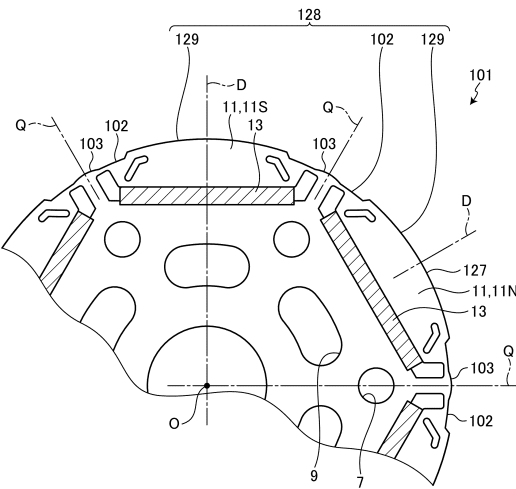
【 図 6 】



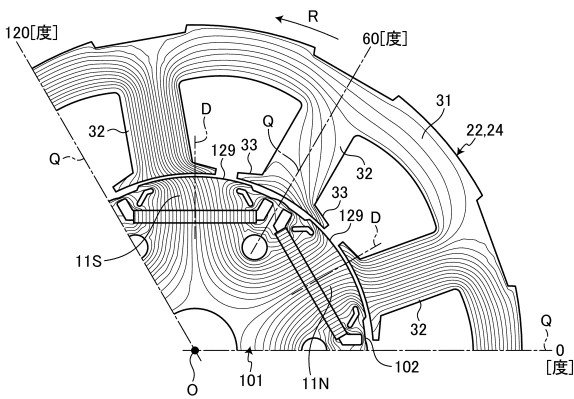
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

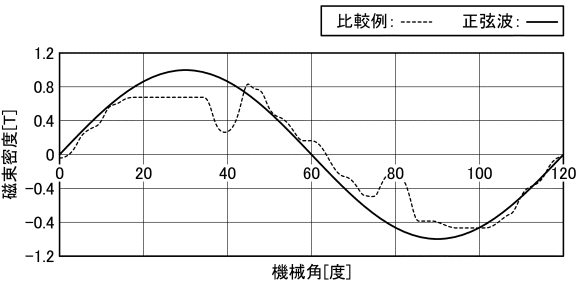


30

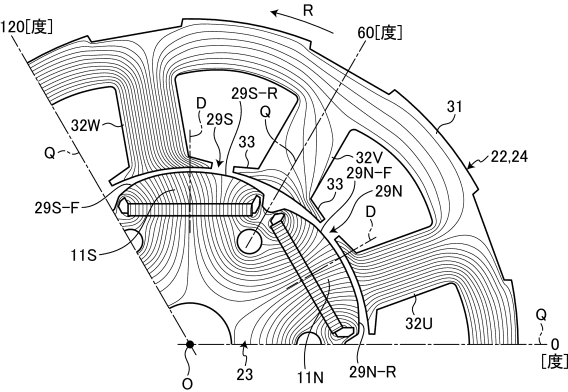
40

50

【図 9】

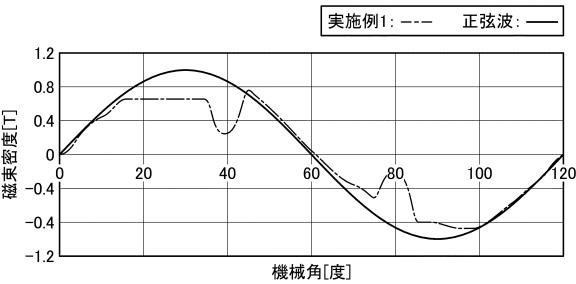


【図 10】

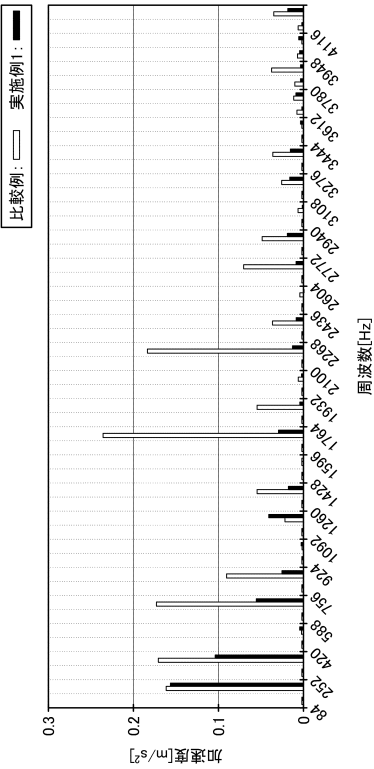


10

【図 11】



【図 12】



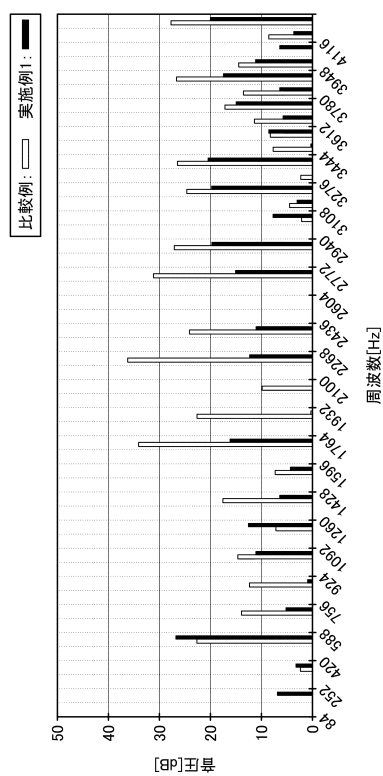
20

30

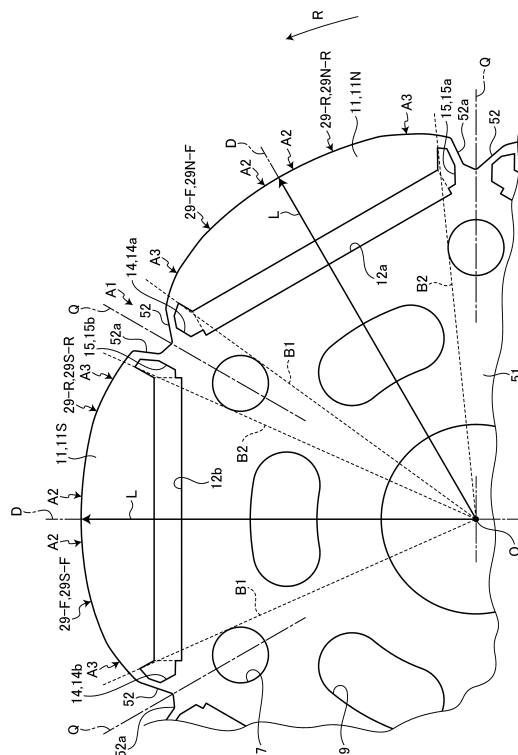
40

50

【 图 1 3 】



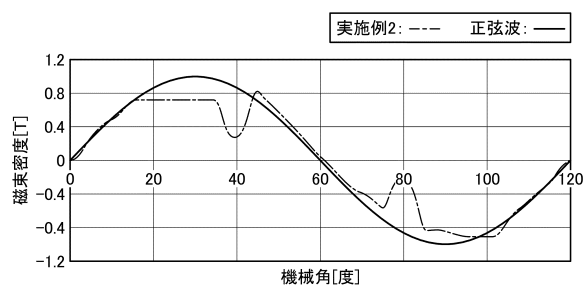
【图 14】



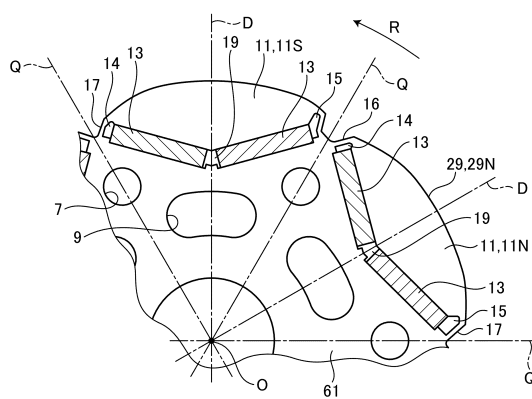
10

20

【 図 1 5 】



【 圖 1 6 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 2 0 - 0 8 0 6 3 2 (J P , A)
国際公開第 9 2 / 0 0 7 4 0 9 (W O , A 1)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 K 1 / 2 7 6