

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7686150号
(P7686150)

(45)発行日 令和7年5月30日(2025.5.30)

(24)登録日 令和7年5月22日(2025.5.22)

(51)国際特許分類	F I
H 0 2 K 7/10 (2006.01)	H 0 2 K 7/10 A
H 0 2 K 21/14 (2006.01)	H 0 2 K 21/14 M
H 0 2 K 21/22 (2006.01)	H 0 2 K 21/22 M
F 1 6 H 49/00 (2006.01)	F 1 6 H 49/00 A

請求項の数 11 (全21頁)

(21)出願番号 特願2024-524065(P2024-524065)	(73)特許権者 000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日 令和4年6月1日(2022.6.1)	(74)代理人 110002941 弁理士法人ばるも特許事務所
(86)国際出願番号 PCT/JP2022/022284	(72)発明者 岡崎 広大 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号 WO2023/233573	(72)発明者 北尾 純士 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日 令和5年12月7日(2023.12.7)	審査官 尾家 英樹
審査請求日 令和6年5月21日(2024.5.21)	

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気ギア装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の第1永久磁石が外周に配列されて少極機構を構成する内側磁石筒、複数の第2永久磁石が内周に配列されて多極機構を構成する外側磁石筒、および、前記内側磁石筒および前記外側磁石筒の間で双方からそれぞれ磁気ギャップを介して配置され、軟磁性体から成るN個のポールピースが周方向に等間隔を隔てて配列された磁性体筒を有し、前記内側磁石筒、前記外側磁石筒および前記磁性体筒の内、1つを入力部に接続された第1ロータ、他の1つを出力部に接続された第2ロータ、残りの1つをステータとして用いる磁気ギアと、

M1個の永久磁石を有するロータ、およびM2個のティースを有するステータを備える回転電機とを備え、

10

前記磁気ギアは、前記入力部が前記回転電機の回転軸に接続され、入力された回転力を前記出力部に伝達し、

前記ポールピースの個数Nと前記第1、第2ロータの一方の極数との最小公倍数に基づく第1数値が、M1とM2との最小公倍数Mに一致する第1条件と、M1に3の倍数を乗じた数に一致する第2条件との少なくとも一方を満たす、

磁気ギア装置。

【請求項2】

前記第1ロータの周方向磁極中心が、前記磁気ギアの前記ステータの周方向磁極中心に一致する時における、前記回転電機の前記ロータの周方向磁極中心と、前記ティースの周

20

方向中心位置との間の位相を調整することで、前記回転電機のトルク脈動と前記磁気ギアのトルク脈動とを互いに低減させる、
請求項 1 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 3】

前記磁性体筒が前記磁気ギアの前記ステータとして用いられ、
前記ポールピースの個数 N と前記第 1 ロータの極数との最小公倍数が、前記第 1 数値である、
請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 4】

前記第 1 ロータの周方向磁極中心が、前記ステータの磁極である前記ポールピースの周方向中心位置に一致する時に、前記回転電機の前記ロータの周方向磁極中心を、前記ティースの周方向中心位置と、設定角度分、位相をずらすことで、前記回転電機のトルク脈動と前記磁気ギアのトルク脈動とを互いに低減させる、
請求項 3 に記載の磁気ギア装置。

10

【請求項 5】

前記設定角度は、 $(360 / M / 6)$ 度より大きく、 $((360 / M / 6) \times 5)$ 度より小さい、
請求項 4 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 6】

前記磁性体筒が前記磁気ギアの前記第 2 ロータとして用いられ、
前記ポールピースの個数 N と前記第 1 ロータの極数との最小公倍数の $((前記ステータの極数) / N)$ 倍が、前記第 1 数値である、
請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気ギア装置。

20

【請求項 7】

前記第 1 ロータの極数 $M1$ 、である
請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 8】

前記第 1 ロータの極数 = $M1$ 、である
請求項 7 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 9】

前記磁性体筒が前記磁気ギアの前記第 1 ロータとして用いられ、
前記ポールピースの個数 N と前記第 2 ロータの極数との最小公倍数の $((前記ステータの極数) / N)$ 倍が、前記第 1 数値である、
請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気ギア装置。

30

【請求項 10】

$N = M2$ 、である
請求項 9 に記載の磁気ギア装置。

【請求項 11】

前記磁気ギアの前記入力部は、前記回転電機の回転軸と一体構成される、
請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気ギア装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、磁気ギア装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、回転電機から所望の出力および効率特性を得るため、磁気ギアを回転電機と組み合わせられて用いられる。

従来の磁気ギア装置を構成する磁気ギアは、外周に複数の磁石を並設してある円筒形の内側磁石筒、内周に複数の磁石を並設してある円筒形の外側磁石筒、及び周方向に等間隔

50

を隔てて複数の磁性体を並設してある円筒形の磁性体筒を、該磁性体筒を前記内側磁石筒と前記外側磁石筒との間に介在させて同軸上に支持し、前記内側磁石筒、外側磁石筒及び磁性体筒のいずれか2つを回転子とし、残りの1つを固定子として回転トルクを伝達する。そして、前記磁性体は、前記磁性体筒の軸長方向に対して平行に延びる棒状をなしており、前記内側磁石筒及び外側磁石筒の磁石は、軸長方向の一端と他端との間で夫々の周方向に同じ向きの位置ずれを有してスキュー配置してある。

これにより、高いトルク密度を確保しながらコギングトルクを有効に低減し、小さいトルク変動下での安定した動力伝達を実現できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第6213573号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1記載の従来の磁気ギアでは、永久磁石を軸方向に連続的にスキューさせる必要があり、容易に製造できない。また、磁気ギア単体としてトルク脈動を低減できるが、回転電機のトルク脈動に起因する速度振動が、磁気ギアの出力側にも発生するという問題点があった。

【0005】

本願は、上記のような課題を解決するための技術を開示するものであり、磁気ギアと回転電機との組み合わせから出力されるトルク脈動を低減して出力側の速度振動を抑制できる磁気ギア装置を提供する事を目的とする。さらに、このような磁気ギア装置を容易で安価に製造する事を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本願に開示される磁気ギア装置は、複数の第1永久磁石が外周に配列されて少極機構を構成する内側磁石筒、複数の第2永久磁石が内周に配列されて多極機構を構成する外側磁石筒、および、前記内側磁石筒および前記外側磁石筒の間で双方からそれぞれ磁気ギャップを介して配置され、軟磁性体から成るN個のポールピースが周方向に等間隔を隔てて配列された磁性体筒を有し、前記内側磁石筒、前記外側磁石筒および前記磁性体筒の内、1つを入力部に接続された第1ロータ、他の1つを出力部に接続された第2ロータ、残りの1つをステータとして用いる磁気ギアと、M1個の永久磁石を有するロータ、およびM2個のティースを有するステータを備える回転電機とを備える。前記磁気ギアは、前記入力部が前記回転電機の回転軸に接続され、入力された回転力を前記出力部に伝達する。そして、前記ポールピースの個数Nと前記第1、第2ロータの一方の極数との最小公倍数に基づく第1数値が、M1とM2との最小公倍数Mに一致する第1条件と、M1に3の倍数を乗じた数に一致する第2条件との少なくとも一方を満たすものである。

【発明の効果】

【0007】

本願に開示される磁気ギア装置によれば、磁気ギアと回転電機との組み合わせから出力されるトルク脈動が低減でき、出力側の速度振動を抑制できる。また、このような磁気ギア装置を容易で安価に製造できる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態1による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

【図2】実施の形態1による磁気ギア装置内の回転電機の構成を示す横断面図である。

【図3】実施の形態1による磁気ギア装置内の磁気ギアの構成を示す横断面図である。

【図4】実施の形態1による磁気ギアの各部の位置関係を示した部分横断面図である。

【図5】実施の形態1による磁気ギア装置の磁気ギアトルクを示す波形図である。

10

20

30

40

50

【図 6】実施の形態 1 による回転電機の各部の位置関係を示した部分横断面図である。

【図 7】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、電流を印加しない場合の回転電機トルクを示す波形図である。

【図 8】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、電流を印加しない場合の、回転電機トルク、磁気ギアトルクおよび合成トルクを示す波形図である。

【図 9】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、回転電機のロータのずれ位相に応じた合成トルクのトルク脈動の変化を示す波形図である。

【図 10】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、磁気ギアトルクの周波数分析結果の振幅を示す図である。

【図 11】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、回転電機トルクの周波数分析結果の振幅を示す図である。

10

【図 12】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、トルクの 6 次成分を一般化して示した波形図である。

【図 13】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、トルクの 12 次成分を一般化して示した波形図である。

【図 14】実施の形態 1 による磁気ギア装置において、合成トルクの 6 次成分および 12 次成分のトルク脈動を一般化して示した波形図である。

【図 15】実施の形態 1 の別例による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

【図 16】実施の形態 2 による磁気ギア装置において、電流印加時の回転電機トルク、磁気ギアトルクおよび合成トルクを示す波形図である。

20

【図 17】実施の形態 3 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

【図 18】実施の形態 4 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

【図 19】実施の形態 4 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。図 1 に示すように、磁気ギア装置 100 は、回転電機 10 と磁気ギア 20 とを備えた駆動ユニットで構成される。

図 2 は、磁気ギア装置 100 内の回転電機 10 の構成を示す横断面図であり、図 1 の A - A 断面を示す。

30

図 3 は、磁気ギア装置 100 内の磁気ギア 20 の構成を示す横断面図であり、図 1 の B - B 断面を示す。

【0010】

図に示すように、回転電機 10 の回転軸 11 となるシャフトは、磁気ギア 20 の入力部 21 に接続され、磁気ギア 20 は、入力部 21 に入力された回転力を出力部 22 に伝達する。この場合、磁気ギア 20 の入力部 21 は回転電機 10 の回転軸 11 と一体構成される。回転電機 10 は、ロータ 12 と、ロータ 12 の外周に磁気ギャップを介して設けられたステータ 15 とを備える。

【0011】

40

ロータ 12 は、磁極を担う複数 (M1 個)、この場合 8 個の永久磁石 13 が、ロータコア 14 の外周面に周方向に並設されて成る。永久磁石 13 は径方向に着磁されており、互いに隣接する永久磁石 13 の極性が反転するように配置される。

ステータ 15 は、磁気ギャップに向かって突出する複数 (M2 個)、この場合 12 個のティース 16 を有し、各ティース 16 にはコイル 17 が巻回される。このように、回転電機 10 は、8 個の永久磁石 13 と、12 個のティース 16 とを有する 8 極 12 スロットの集中巻き構造の例である。なお、図 2 においてコイル 17 の図示は便宜上、省略する。

【0012】

磁気ギア 20 は、磁極数が少ない少極機構を構成する内側磁石筒 23、磁極数が多い多極機構を構成する外側磁石筒 26、および、内側磁石筒 23 および外側磁石筒 26 の間で

50

双方からそれぞれ磁気ギャップ 31 を介して配置される磁性体筒 30 を備える。

内側磁石筒 23 は、磁極を担う複数、この場合 8 個の第 1 永久磁石 25 が、円筒状の支持体 24 の外周面に周方向に並設されて成る。第 1 永久磁石 25 は径方向に着磁されており、互いに隣接する第 1 永久磁石 25 の極性が反転するように配置される。外側磁石筒 26 は、磁極を担う複数、この場合 40 個の第 2 永久磁石 28 が、円筒状の支持体 27 の内周面に周方向に並設されて成る。第 2 永久磁石 28 は径方向に着磁されており、互いに隣接する第 2 永久磁石 28 の極性が反転するように配置される。

内側磁石筒 23 および外側磁石筒 26 の間に配される磁性体筒 30 は、軟磁性体から成る N 個、この場合 24 個のポールピース 29 が周方向に等間隔を隔てて配列されて構成される。

【 0013 】

回転電機 10 と磁気ギア 20 とにおいて、それぞれ駆動力およびギア作用を発生する部分（図 1 のハッチング部分）は磁性材料で構成される。この部分を鉄あるいは非磁性体等の構造部材から成るフレーム（回転電機フレーム 18、磁気ギアフレーム 32）およびブラケット（回転電機ブラケット 19、磁気ギアブラケット 33）により保護している。

【 0014 】

磁気ギア 20 は、内側磁石筒 23、外側磁石筒 26 および磁性体筒 30 を同心円状に配置し、これら 3 つの内、1 つを入力部 21 に接続された第 1 ロータ、他の 1 つを出力部 22 に接続された第 2 ロータ、残りの 1 つをステータとして用いる。なお、磁気ギア 20 の第 1、第 2 永久磁石 25、28 のみでなく、軟磁性体から成る N 個のポールピース 29 につ

いても、ロータあるいはステータの磁極と称す。
この実施の形態では、内側磁石筒 23 を第 1 ロータとし、外側磁石筒 26 を第 2 ロータとし、磁性体筒 30 をステータとする。回転電機 10 のロータ 12、磁気ギア 20 の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）および第 2 ロータ（外側磁石筒 26）は、複数個のベアリング 35 により支持される。

【 0015 】

即ち、この実施の形態では、回転電機 10 のロータ 12 と、磁気ギア 20 の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）とが同軸上に設けられ、磁気ギア 20 の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）は、回転電機 10 の回転軸 11 と共に回転する。第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の第 1 永久磁石 25 が、ステータである磁性体筒 30 のポールピース 29 を順次横切るように回

転し、第 2 ロータ（外側磁石筒 26）の第 2 永久磁石 28 に起磁力が与えられる。そして、第 2 ロータ（外側磁石筒 26）は第 1 ロータ（内側磁石筒 23）と逆向きに回転する。

【 0016 】

磁気ギア装置 100 は、以上のように構成され、回転電機 10 で生成した駆動力を、磁気ギア 20 で減速増トルク化あるいは増速減トルク化して、磁気ギア 20 の出力軸に対応する出力部 22 から出力する。この実施の形態では、減速増トルク化する構成を示す。

第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の第 1 永久磁石 25 の個数は 8 個、第 2 ロータ（外側磁石筒 26）の第 2 永久磁石 28 の個数は 40 個、ポールピース 29 の個数は 24 個であるため、磁気ギア 20 のギア比は $(40 / 2) / (8 / 2) = 5$ である。即ち、磁気ギア 20 は、入力部 21 に入力される回転力を、1 / 5 倍に減速、かつ 5 倍に増トルク化して出力部 22 に出力する。

【 0017 】

図 4 は、磁気ギア 20 の各部の位置関係を示した部分横断面図である。図 4 では、第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の第 1 永久磁石 25 の 1 個分を、磁性体筒 30 のポールピース 29 と共に抽出して図示した。即ち、機械的角度（以降、機械角と称す）で 45° （ $= (360^\circ / 8)$ ）分の周方向範囲である。

図 5 は、磁気ギア装置 100 の磁気ギアトルクを示す波形図である。図 5 では、第 1 ロータ（内側磁石筒 23）を電気的角度（以降、電気角と称す）で 360° 、すなわち機械角で 90° （ $= (360^\circ / (8 / 2))$ ）回転させたときの第 1 ロータ（内側磁石筒 23）のトルク波形を示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

図 5 に示すように、磁気ギアトルクは、第 1 ロータ（内側磁石筒 2 3）の電気角 3 6 0 ° の回転の間に、6 回のトルク脈動が発生していることがわかる。このトルク脈動は、周期的に配置された第 1 永久磁石 2 5 と対向する位置に、磁性体であるポールピース 2 9 を同様に周期的に配置することで発生するものであり、コギングトルクとも別称される。トルク脈動の回数は、第 1 永久磁石 2 5 とポールピース 2 9 との個数関係で決定される。第 1 永久磁石 2 5 を有する第 1 ロータ（内側磁石筒 2 3）が機械角で 3 6 0 ° 回転する場合、第 1 永久磁石 2 5 の個数と、ポールピース 2 9 の個数との最小公倍数 L C M の倍数となることが、一般的な理論として知られている。

【 0 0 1 9 】

この場合、 $L C M (8 , 2 4) = 2 4$ であり、磁気ギアトルクには、機械角 3 6 0 ° で 2 4 K (K は自然数) 回振動する成分が含まれる。このため、電気角 3 6 0 ° では 6 K ($= (2 4 K / (8 / 2))$) 回振動することになり、 $K = 1$ とした 6 回振動する成分が多く含まれており、図 5 が示す結果と合致する。

なお、図 5 に示すトルク波形の位相は、図 4 において、中心線 4 1 が示すように、矢印 4 0 の向きに回転する第 1 ロータ（内側磁石筒 2 3）の周方向磁極中心位置と、ポールピース 2 9 の周方向中心位置が一致する断面が含まれるときを初期角度 0 ° として示した。

【 0 0 2 0 】

図 6 は、回転電機 1 0 の各部の位置関係を示した部分横断面図である。図 6 では、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の永久磁石 1 3 の 1 個分の周方向範囲（機械角 4 5 ° の範囲）における、ロータコア 1 4 と永久磁石 1 3、およびステータ 1 5 のティース 1 6 の 1 個分を抽出して図示した。

図 6 において、矢印 4 2 の向きに回転するロータ 1 2 の周方向磁極中心位置（中心線 4 3）が、ティース 1 6 の周方向中心位置（中心線 4 4）と一致するときを基準として、ロータ 1 2 の周方向磁極中心位置（中心線 4 3）の、ティース 1 6 の周方向中心位置（中心線 4 4）からのずれ位相を θ で示す。

【 0 0 2 1 】

図 7 は、電流を印加しない場合の回転電機トルクを示す波形図である。図 7 では、回転電機 1 0 のコイル 1 7 に電流を印加していないとき、ロータ 1 2 を電気角 3 6 0 ° 分回転させた場合、即ち、機械角で 9 0 ° ($= (3 6 0 ° / (8 / 2)$) 回転させたときのロータ 1 2 のトルク波形を示している。

ここでは、位相ずれなしのトルク波形を点線で、位相ずれ θ のトルク波形を実線で示した。位相ずれなしのトルク波形は、ロータ 1 2 の周方向磁極中心位置と、ティース 1 6 の周方向中心位置が一致する断面が含まれるときを初期角度 0 ° とする。また、位相ずれ θ のトルク波形は、ロータ 1 2 の周方向磁極中心位置が、ティース 1 6 の周方向中心位置と位相 θ でずれている断面が含まれるときを初期角度 0 ° とする。

【 0 0 2 2 】

図 7 に示すように、回転電機トルクは、上述した磁気ギアトルクと同様に、6 回の振動を主成分とするトルク脈動を有する。

回転電機 1 0 の振動の回数（次数）を決定する原理についても、周期的に配置されるポールピース 2 9 がティース 1 6 に対応する点を除き、磁気ギア 2 0 の場合と同様である。即ち、ロータ 1 2 が機械角で 3 6 0 ° 回転する場合のトルク脈動の回数は、永久磁石 1 3 の数であるロータ 1 2 の極数とティース 1 6 の数との最小公倍数 M の倍数となる。

【 0 0 2 3 】

この場合、最小公倍数 $M (8 , 1 2) = 2 4$ であり、回転電機トルクには、機械角 3 6 0 ° で 2 4 K (K は自然数) 回振動する成分が含まれる。このため、電気角 3 6 0 ° では 6 K ($= (2 4 K / (8 / 2)$) 回振動することになり、 $K = 1$ とした 6 回振動する成分が多く含まれており、図 7 が示す結果と合致する。

【 0 0 2 4 】

磁気ギア装置 1 0 0 では、回転電機 1 0 のロータ 1 2 と磁気ギア 2 0 の第 1 ロータ（内

10

20

30

40

50

側磁石筒 23) は接続されており、回転電機トルクと磁気ギアトルクとの合成トルクが全体のトルクとなる。

この実施の形態では、磁気ギア 20 の第 1 ロータ (内側磁石筒 23) の第 1 永久磁石 25 の個数と、ポールピース 29 の個数との最小公倍数 LCM が、回転電機 10 のロータ 12 の極数とティース 16 の数との最小公倍数 M に一致している。即ち、磁気ギア 20 の第 1 ロータ (内側磁石筒 23) の 1 回転 (機械角 360° 回転) あたりの主要なトルク脈動の次数成分と、回転電機 10 のロータ 12 の 1 回転 (機械角 360° 回転) あたりの主要なトルク脈動の次数成分が、共に 24 で一致している。

【0025】

このため、回転電機トルクのトルク脈動は、磁気ギアトルクのトルク脈動と互いに相殺して低減することが可能になる。

10

トルク脈動は、以下の 2 つの位置関係の相対関係により変動する。一方は、磁気ギア 20 のポールピース 29 と回転電機 10 のティース 16 との位置関係である。他方は、回転電機 10 のロータ 12 の永久磁石 13 と、回転電機 10 のロータ 12 とシャフト (回転軸 11) が接続されている磁気ギア 20 の第 1 ロータ (内側磁石筒 23) の第 1 永久磁石 25 との位置関係である。

【0026】

即ち、第 1 ロータ (内側磁石筒 23) の周方向磁極中心が、ステータ (磁性体筒 30) の周方向磁極中心、即ち、ポールピース 29 の周方向中心位置に一致する時に、ロータ 12 の周方向磁極中心を、ティース 16 の周方向中心位置からずらす位相を、設定角度であるパラメータとすることで、トルク脈動の位相に寄与する上記相対関係の規定が可能となる。

20

なお、図 4 で示す状態が、第 1 ロータ (内側磁石筒 23) の周方向磁極中心が、ポールピース 29 の周方向中心位置に一致する時である。そして、その状態における、ロータ 12 の周方向磁極中心位置 (中心線 43) の、ティース 16 の周方向中心位置 (中心線 44) からのずれ位相を調整する (図 6 参照)。これにより、効果的にトルク脈動を低減して、トルク脈動に起因する速度振動を抑制できる。

【0027】

図 8 は、磁気ギア装置 100 において、電流を印加しない場合の、回転電機トルク、磁気ギアトルクおよび合成トルクを示す波形図である。この場合、ずれ位相 = 21° とした場合の回転電機 10 のトルク波形 (破線) と、磁気ギア 20 のトルク波形 (点線) と、双方を加算して合成した合成トルク波形 (実線) とを示している。

30

図に示すように、合成トルク波形のトルク脈動の大きさ T である、波形の最大値と最小値の差 ($P - P$) は、回転電機 10 のトルク波形および磁気ギア 20 のトルク波形と比較し顕著に小さくなり、トルク脈動は格段と低減されている。

【0028】

図 9 は、磁気ギア装置 100 において、回転電機 10 のロータ 12 のずれ位相に応じた合成トルクのトルク脈動の変化を示す波形図である。ここでは、回転電機トルクおよび磁気ギアトルクにおけるトルク脈動の主成分である、電気角 360° で 6 回振動する成分の一周分、即ち電気角 60° ($= (360 / 6)$) の範囲で、ずれ位相を変化させる。

40

そして、ずれ位相に応じたトルク脈動の大きさ ($P - P$) の変動を示す。回転電機トルクのトルク脈動の大きさと、磁気ギアトルクのトルク脈動の大きさと小さい方のトルク脈動の大きさを T とする。図 6 および図 7 を参照すると、この場合、 T は、磁気ギアトルクのトルク脈動の大きさで、約 5.0 である。

【0029】

図 9 に示すように、合成トルクのトルク脈動は、を電気角で表すと、 $= 21^\circ$ 付近で極小値 T をとり、の範囲 ($12.3^\circ < < 25.5^\circ$) で、磁気ギアトルクおよび回転電機トルクの各トルク脈動よりも低減される。

【0030】

次に、トルク脈動の低減効果のあるずれ位相の範囲は、ロータの永久磁石および磁性

50

体（ポールピースあるいはティースなど）の形状、配置等の構成で変化するため、一般的に低減効果が考えられる の範囲について以下に考察する。

図 1 0 は、磁気ギア装置 1 0 0 において、磁気ギアトルクの周波数分析結果の振幅を示す図である。図 1 1 は、磁気ギア装置 1 0 0 において、回転電機トルクの周波数分析結果の振幅を示す図である。

【 0 0 3 1 】

上述したように、磁気ギアトルクおよび回転電機トルクの各トルク脈動の主要な成分は、永久磁石（25, 13）と磁性体（ティース16, ポールピース29）の個数の最小公倍数の倍数成分が含まれており、特に1倍および2倍の成分が支配的となる。この実施の形態では、電気角360°におけるトルク脈動の次数は6Kであるため、6次成分（ $K = 1$ ）と12次成分（ $K = 2$ ）が支配的であることがわかる。また、一般的に多くの構造でこれら1倍（ $K = 1$ ）および2倍（ $K = 2$ ）の次数成分が支配的となることが知られているため、これら2つの成分の低減に着目する。なお、2つの成分の大小関係は回転電機10および磁気ギア20の構造により異なる。

10

【 0 0 3 2 】

図 1 2 は磁気ギア装置 1 0 0 において、トルクの6次成分を一般化して示した波形図である。ここでは、磁気ギアトルクおよび回転電機トルクにおいて、6次成分のみ抽出し振幅を1として一般化したトルク波形を、電気角360°分示したものである。この場合、トルク脈動の大きさTAは2.0である。

また、図 1 3 は、磁気ギア装置 1 0 0 において、トルクの12次成分を一般化して示した波形図である。ここでは、磁気ギアトルクおよび回転電機トルクにおいて、12次成分のみ抽出し振幅を1として一般化したトルク波形を、電気角360°分示したものである。この場合、トルク脈動の大きさTBは2.0である。

20

【 0 0 3 3 】

図 1 2 および図 1 3 では、トルク波形の最大値が初期角度となる場合を点線で示し、ずれ位相 だけ位相ずれを有する場合のトルク波形を実線で示す。

上述したように、この実施の形態では、回転電機トルクと磁気ギアトルクを加算して合成する際、ロータ12の周方向磁極中心位置の、ティース16の周方向中心位置からのずれ位相 を調整することで、効果的にトルク脈動を低減できる。

図 1 2 および図 1 3 において、位相ずれなしのトルク波形（点線）を磁気ギアトルクと仮定し、位相ずれ のトルク波形（実線）を回転電機トルクと仮定して、両者を加算することにより、合成トルクの6次成分および12次成分のトルク波形を生成することができる。

30

【 0 0 3 4 】

図 1 4 は、磁気ギア装置 1 0 0 において、合成トルクの6次成分および12次成分のトルク脈動を一般化して示した波形図である。

図 1 4 では、図 1 2 および図 1 3 に基づいて生成された、6次成分の合成トルクおよび12次成分の合成トルクについて、ずれ位相 に応じたトルク脈動の変化を示す。この場合も、回転電機トルクおよび磁気ギアトルクにおけるトルク脈動の主成分である、電気角360°で6回振動する成分の一周期分、即ち電気角60°（ $= (360 / 6)$ ）の範囲で、ずれ位相 を変化させる。そして、ずれ位相 に応じたトルク脈動の大きさ（P - P）の変動を示す。

40

【 0 0 3 5 】

6次成分の合成トルクのトルク脈動は、 を電気角で表すと、 $20^\circ < < 40^\circ$ の範囲で、合成前トルクのトルク脈動TA, TB（ $= 2.0$ ）よりも低減される。また、12次成分の合成トルクのトルク脈動は、 $10^\circ < < 20^\circ$ および $40^\circ < < 50^\circ$ の範囲で、合成前トルクのトルク脈動TA, TB（ $= 2.0$ ）よりも低減される。

即ち、6次成分または12次成分の合成トルクのトルク脈動は、 $10^\circ < < 50^\circ$ の範囲で合成前トルクのトルク脈動よりも低減される事が分かる。

【 0 0 3 6 】

50

図9で示した、の範囲($12.3^\circ < < 25.5^\circ$)は、この実施の形態による磁気ギア装置100の回転電機10および磁気ギア20の構成に基づく例であり、上記範囲($10^\circ < < 50^\circ$)内であるため、合成により低減効果が出現したものと説明できる。

【0037】

この実施の形態では、回転電機10のロータ12の極数とティース16の数との最小公倍数Mをトルク脈動の次数とし、ロータ12の機械角 360° 回転あたりM回および2M回振動する成分を低減できる。そして、上記電気角での考察を機械角に適用すると、トルク脈動の低減可能なずれ位相(：機械角)の範囲は、 $(360/M/6)^\circ < < ((360/M/6) \times 5)^\circ$ である。

10

【0038】

即ち、第1ロータ(内側磁石筒23)の周方向磁極中心が、固定のポールピース29の周方向中心位置に一致する時に、ロータ12の周方向磁極中心が、ティース16の周方向中心位置と、位相(機械角)の範囲 $(360/M/6)^\circ < < ((360/M/6) \times 5)^\circ$ でずれた位置関係であれば、トルク脈動は効果的に低減される。

【0039】

以上のように、この実施の形態では、磁気ギア20のポールピース29の個数Nと第1ロータ(内側磁石筒23)の極数との最小公倍数LCMが、回転電機10のロータ12の極数とティース16の個数との最小公倍数Mに一致する。これにより、磁気ギア20と回転電機10との組み合わせである磁気ギア装置100は、出力されるトルク脈動が低減可能になり、出力側の速度振動を抑制できる。また、磁気ギア20で用いる第1、第2永久磁石25、27に特別な加工は不要で、磁気ギア装置100は容易で安価に製造できる。

20

【0040】

また、第1ロータ(内側磁石筒23)の周方向磁極中心が、固定のポールピース29の周方向中心位置に一致する時に、ロータ12の周方向磁極中心が、ティース16の周方向中心位置と、設定角度分、位相をずらすことで、回転電機10のトルク脈動と磁気ギア20のトルク脈動とを互いに低減させる。これにより、磁気ギア装置100から出力される合成トルクのトルク脈動が効果的に低減されて、出力側の速度振動を抑制する。

【0041】

また、この実施の形態では、磁気ギア20の第1ロータ(内側磁石筒23)の極数は、回転電機10のロータ12の極数と一致している。これにより、回転電機10のロータ12の永久磁石13と、磁気ギア20の第1ロータ(内側磁石筒23)の第1永久磁石25とを同じ仕様の製品を使用する設計が可能となり、製造コストを低減することができる。

30

【0042】

また、磁気ギア装置100では、通常、出力および効率の観点から、まず、回転電機10の必要スペックが決定し、それに応じてロータ12の極数とティース16の個数が決まる。そして、磁気ギアトルクのトルク脈動と回転電機トルクのトルク脈動とが相殺により低減できるように、磁気ギア20が選定される。即ち、磁気ギア20から発生するトルク脈動の主要な次数が、回転電機10が発生するトルク脈動の次数以上となる。

【0043】

磁気ギア20において、回転電機10の出力軸と接続されている第1ロータ(内側磁石筒23)の極数は、回転電機10のロータ12の極数以上であることが望ましい。上述したように、磁気ギア20のトルク脈動の次数は、ポールピース29の個数Nと第1ロータ(内側磁石筒23)の極数との最小公倍数LCMが支配的となる。このため、第1ロータ(内側磁石筒23)の極数が、回転電機10のロータ12の極数より小さい場合、回転電機10が発生するトルク脈動の次数成分より小さい次数の成分を増加させることがあり、全体としてトルク脈動の低減効果が得られない懸念がある。

40

【0044】

この実施の形態では、少極機構を構成する8極の第1ロータ(内側磁石筒23)と、多極機構を構成する40極の第2ロータ(外側磁石筒26)と、磁性体筒30を構成する2

50

4個のポールピース29とを備える磁気ギア20と、8極12スロットの回転電機10とを組み合わせた磁気ギア装置100を示した。この例を一般化して、X、Yを整数として第1ロータ（内側磁石筒23）の極数を2X、第2ロータ（外側磁石筒26）の極数を2Y、ポールピース29の個数を(X+Y)とした磁気ギア20を考察する。

【0045】

このような磁気ギア20では、第1ロータ（内側磁石筒23）が電気角で360°回転、即ち、機械角で(360/X)°回転する間に、磁気ギアトルクは、(最小公倍数LCM(2X、(X+Y))/X)回振動する。このため、第1ロータ（内側磁石筒23）が1回転する間に磁気ギアトルクが振動する回数は、(LCM(2X、(X+Y))/X)×(360/(360/X))=LCM(2X、(X+Y))である。

10

これにより、回転電機10のロータ12の極数とティース16の個数との最小公倍数Mが、回転電機10の回転軸11と接続されている第1ロータ（内側磁石筒23）の極数とポールピース29の個数との最小公倍数LCMと一致すれば、磁気ギアトルクのトルク脈動と回転電機トルクのトルク脈動とが相殺により低減できる調整が可能になることが明らかである。

【0046】

なお、上記実施の形態では、回転電機10の回転軸11が、磁気ギア20の入力部21と一体構成されるものであったが、これに限らない。

図15は、実施の形態1の別例による磁気ギア装置100の構成を示す縦断面図である。

図15に示すように、回転電機10の回転軸11は、軸継手などの回転力の接続機構36を介して磁気ギア20の入力部21と接続される。接続機構36は、軸継手の他、ベルト、機械式ギアあるいは磁気カップリングなどでも良い。

20

このように、回転力の接続機構36を介して、回転電機10の回転軸11が磁気ギア20の入力部21と接続された場合も、上記実施の形態1と同様の効果が得られる。

【0047】

また、上記実施の形態では、ポールピース29が固定されている例を示したが、ポールピース29は、回転自由であって任意に位相調整できる構成であっても良く、同様の効果が得られる。

【0048】

実施の形態2

30

上記実施の形態1では、磁気ギア装置100において、電流を印加しない場合の、トルク脈動の低減について説明した。この実施の形態2では、磁気ギア装置100において、回転電機10に電流印加する場合の、トルク脈動の低減について説明する。なお、この実施の形態の磁気ギア装置100の構造は、上記実施の形態1の図1～図3で示す同様の構造である。

図16は、実施の形態2による磁気ギア装置において、電流印加時の回転電機トルク、磁気ギアトルクおよび合成トルクを示す波形図である。

【0049】

上述したように、磁気ギア装置100では、回転電機10のロータ12と磁気ギア20の第1ロータ（内側磁石筒23）は接続されており、回転電機トルクと磁気ギアトルクとの合成トルクが全体のトルクとなる。図16では、回転電機10のコイル17に電流印加している場合の回転電機10のトルク波形（破線）と、磁気ギア20のトルク波形（点線）と、双方を加算して合成した合成トルク波形（実線）とを示している。

40

【0050】

磁気ギアトルクは、上記実施の形態1の図5で示したトルク波形と同様であり、即ち、第1ロータ（内側磁石筒23）の電気角360°の回転の間に、6回のトルク脈動が発生する。上述したように、第1永久磁石25の個数である第1ロータ（内側磁石筒23）の極数と、ポールピース29の個数との最小公倍数LCMが24であるため、磁気ギアトルクは、電気角360°では6K(=(24K/(8/2)))回振動することになる。これにより、K=1とした6回振動する成分が多く含まれる。

50

【 0 0 5 1 】

図 1 6 に示すように、回転電機トルクは、ロータ 1 2 を電気角 360° 分回転させる間、6 回振動する 6 次のトルク脈動成分が支配的であることがわかる。回転電機 1 0 は、電流を印加するとき、電気角で 360° 回転する間に、 $N 1$ を自然数として $(6 \times N 1)$ 回振動するトルク脈動の成分が増加することが一般的に知られている。

図に示すように、合成トルク波形のトルク脈動の大きさ T である、波形の最大値と最小値の差 $(P - P)$ は、回転電機 1 0 のトルク波形および磁気ギア 2 0 のトルク波形と比較し顕著に小さくなり、トルク脈動は格段と低減されている。

【 0 0 5 2 】

この実施の形態 2 においても、上記実施の形態 1 と同様に、回転電機 1 0 のトルク脈動の主要な次数と、磁気ギア 2 0 のトルク脈動の主要な次数が一致していれば、位相関係の調整により、合成トルクは、トルク脈動の低減効果が得られる。即ち、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の極数 $\times (3 \times N 1)$ が、回転電機 1 0 の回転軸 1 1 と接続されている第 1 ロータ (内側磁石筒 2 3) の極数とポールピース 2 9 の個数との最小公倍数 $L C M$ と一致する条件を満たせば、回転電機 1 0 に電流を印加するとき、トルク脈動の低減効果が得られる。

この場合、上記最小公倍数 $L C M (= 24)$ は、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の極数 $(= 8)$ の 3 倍であり、 $N 1 = 1$ として上記条件を満たし、トルク脈動の低減効果が得られる。

【 0 0 5 3 】

また、電流印加時における回転電機 1 0 のトルク脈動の位相は、電流の振幅および位相の状態、ならびに回転電機 1 0 の断面形状により変動する。そこで位相の調整方法については、低振動化を付与したい所望の電流の振幅および位相の状態において、トルク脈動が打ち消されるような配置とする。例えば自動車の駆動用モータでは、低～中トルク領域での運転状態が多いことから、これらのトルク領域における電流の振幅および位相の条件において、トルク脈動が打ち消されるような位相関係とする。

【 0 0 5 4 】

このときの位相調整についても、上記実施の形態 1 と同様に、第 1 ロータ (内側磁石筒 2 3) の周方向磁極中心が、ポールピース 2 9 の周方向中心位置に一致する時における、ロータ 1 2 の周方向磁極中心と、ティース 1 6 の周方向中心位置との間の位相 (ずれ位相) を調整することで行える。そして、回転電機 1 0 のトルク脈動と磁気ギア 2 0 のトルク脈動とを互いに低減させるように位相調整することにより、効果的にトルク脈動を低減して、トルク脈動に起因する速度振動を抑制できる。

【 0 0 5 5 】

上記実施の形態 1 で示した、磁気ギア 2 0 のポールピース 2 9 の個数 N と第 1 ロータ (内側磁石筒 2 3) の極数との最小公倍数 $L C M$ が、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の極数とティース 1 6 の個数との最小公倍数 M に一致する条件を第 1 条件とする。そして、この実施の形態で示した、磁気ギア 2 0 のポールピース 2 9 の個数 N と第 1 ロータ (内側磁石筒 2 3) の極数との最小公倍数 $L C M$ が、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の極数 $\times (3 \times N 1)$ に一致する条件を第 2 条件とする。このように第 1 条件と第 2 条件とを設定すると、第 1 条件および第 2 条件の少なくとも 1 つを満たせば、トルク脈動の低減効果が得られる。

【 0 0 5 6 】

この実施の形態で用いた磁気ギア装置 1 0 0 は、磁気ギア 2 0 のポールピース 2 9 の個数 N と第 1 ロータ (内側磁石筒 2 3) の極数との最小公倍数 $L C M (= 24)$ が、回転電機 1 0 のロータ 1 2 の極数とティース 1 6 の個数との最小公倍数 $M (= 24)$ に一致し、かつロータ 1 2 の極数の 3 倍に一致しているため、第 1 条件と第 2 条件との双方を満たす。このため、磁気ギア装置 1 0 0 は、電流を印加しない場合と、電流を印加する場合との双方で、トルク脈動の低減効果が得られる。

【 0 0 5 7 】

実施の形態 3 .

図 1 7 は、実施の形態 3 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

図 17 に示すように、磁気ギア装置 100A は、回転電機 10 と磁気ギア 20A とを備えた駆動ユニットで構成される。

回転電機 10 は上記実施の形態 1 と同様である。磁気ギア 20A は、磁極数が少ない少極機構を構成する内側磁石筒 23、磁極数が多い多極機構を構成する外側磁石筒 26A、および、内側磁石筒 23 および外側磁石筒 26A の間で双方からそれぞれ磁気ギャップ 31 を介して配置される磁性体筒 30A を備える。横断面は図 3 と同様の構成となるが、内側磁石筒 23 内の第 1 永久磁石 25 の個数、外側磁石筒 26A 内の第 2 永久磁石 28 の個数、および磁性体筒 30A 内のポールピース 29 の個数の組み合わせが異なる。

【0058】

磁気ギア 20A は、内側磁石筒 23、外側磁石筒 26A および磁性体筒 30A を同心円状に配置し、これら 3 つの内、1 つを入力部 21 に接続された第 1 ロータ、他の 1 つを出力部 22 に接続された第 2 ロータ、残りの 1 つをステータとして用いる。

この実施の形態では、内側磁石筒 23 を第 1 ロータとし、磁性体筒 30A を第 2 ロータとし、外側磁石筒 26A をステータとする。

その他の構成は、上記実施の形態 1 と同様である。

【0059】

即ち、この実施の形態では、回転電機 10 のロータ 12 と、磁気ギア 20A の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）とが同軸上に設けられ、磁気ギア 20A の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）は、回転電機 10 の回転軸 11 と共に回転する。これにより、ステータ（外側磁石筒 26A）と第 1 ロータ（内側磁石筒 23）との間に配置された第 2 ロータ（磁性体筒 30A）のポールピース 29 に起磁力が与えられる。そして、第 2 ロータ（磁性体筒 30A）は第 1 ロータ（内側磁石筒 23）と同じ向きに回転する。

このように、磁気ギア装置 100A は、回転電機 10 で生成した駆動力を、磁気ギア 20A で減速増トルク化あるいは増速減トルク化して、磁気ギア 20A の出力軸に対応する出力部 22 から出力する。

【0060】

磁気ギア 20A の内側磁石筒 23 内の第 1 永久磁石 25 の個数、外側磁石筒 26A 内の第 2 永久磁石 28 の個数、および磁性体筒 30A 内のポールピース 29 の個数 N の組み合わせについて以下に示す。 X 、 Y ($> X$) を自然数として、内側磁石筒 23 内の第 1 永久磁石 25 の個数を $2X$ 、外側磁石筒 26A 内の第 2 永久磁石 28 の個数を $2Y$ 、および磁性体筒 30A 内のポールピース 29 の個数 N を $(X + Y)$ とする。

【0061】

第 1 ロータ（内側磁石筒 23）が第 2 ロータ（磁性体筒 30）に対し電気角で 360° 回転、すなわち機械角で $(360 / X + 360 / Y)^\circ$ 回転する間に、磁気ギアトルクは、ポールピース 29 の個数 N と第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の極数との最小公倍数 LCM を X で除算した回数、即ち $(LCM(2X, (X + Y)) / X)$ 回振動する。即ち、第 1 ロータ（内側磁石筒 23）が機械角で 360° 回転する間に磁気ギアトルクが振動する回数は、 $(LCM(2X, (X + Y)) / X) \times (360 / (360 / X + 360 / Y)) = LCM(2X, (X + Y)) \times (Y / (X + Y))$ である。

【0062】

このため、回転電機 10 のロータ 12 の極数とティース 16 の個数との最小公倍数 M が、 $LCM(2X, (X + Y)) \times (Y / (X + Y))$ と一致するように、内側磁石筒 23 内の第 1 永久磁石 25 の個数、外側磁石筒 26A 内の第 2 永久磁石 28 の個数、および磁性体筒 30A 内のポールピース 29 の個数 N の組み合わせを決定して磁気ギア 20A を構成する。

即ち、ポールピース 29 の個数 N と第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の極数との最小公倍数 LCM の $((\text{ステータ（外側磁石筒 26A）の極数}) / N)$ 倍を第 1 数値として、第 1 数値が、回転電機 10 のロータ 12 の極数とティース 16 の個数との最小公倍数 M に一致する第 1 条件を満たすように設定する。

【0063】

10

20

30

40

50

これにより、回転電機 10 の電流を印加しない場合、回転電機 10 の主要なトルク脈動の次数と、磁気ギア 20 A の主要なトルク脈動の次数が一致していれば、位相関係の調整により、互いに相殺して低減することができ、合成トルクのトルク脈動は低減される。

この場合も、上記実施の形態 1 と同様に、第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の周方向磁極中心が、ステータ（外側磁石筒 26 A）の周方向磁極中心に一致する時における、ロータ 12 の周方向磁極中心と、ティース 16 の周方向中心位置との間の位相（ずれ位相）を調整する。そして、回転電機 10 のトルク脈動と磁気ギア 20 のトルク脈動とを互いに低減させるように位相調整することにより、効果的にトルク脈動を低減して、トルク脈動に起因する速度振動を抑制できる。

【0064】

このように、磁気ギア装置 100 A は、出力されるトルク脈動が低減可能になり、出力側の速度振動を抑制できる。

また、上記実施の形態 1 と同様に、磁気ギア 20 A で用いる第 1、第 2 永久磁石 25、28 に特別な加工は不要で、磁気ギア装置 100 A は容易で安価に製造できる。

【0065】

なお、磁気ギア装置 100 A の構成を、ポールピース 29 の個数 N と第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の極数との最小公倍数 LCM の（（ステータ（外側磁石筒 26 A）の極数）/ N ）倍である上記第 1 数値が、回転電機 10 のロータ 12 の極数 $\times (3 \times N1)$ に一致する第 2 条件を満たすように設定しても良く、その場合、上記実施の形態 2 で示したように、回転電機 10 に電流印加する場合の、トルク脈動の低減効果が得られる。

即ち、上記第 1 条件、第 2 条件の少なくとも 1 つを満たせば、位相関係の調整により、トルク脈動の低減効果が得られる。また、第 1 条件と第 2 条件との双方を満たす場合は、磁気ギア装置 100 A は、電流を印加しない場合と、電流を印加する場合との双方で、トルク脈動の低減効果を得ることができる。

【0066】

また、この実施の形態においては、ポールピース 29 を有する磁性体筒 30 A が第 1 ロータとして回転する構造になり、上記実施の形態 1 と比べてギア比を向上できる。また、磁気ギア 20 A の最外周部の外側磁石筒 26 A がステータとなるため、構造を単純化でき製造コストを低減できる。

【0067】

また、磁気ギア 20 A は、回転電機 10 の出力軸と接続されている第 1 ロータ（内側磁石筒 23）の極数が、回転電機 10 のロータ 12 の極数以上である条件、および、第 2 ロータ（磁性体筒 30 A）のポールピース 29 の個数が、回転電機 10 のティース 16 の数以上である条件の少なくとも 1 つの条件を満たすのが望ましい。これにより、磁気ギア 20 A が発生するトルク脈動の主要な次数が、回転電機 10 が発生するトルク脈動の次数以上となるよう、磁気ギア 20 A を確実に選定でき、磁気ギア装置 100 A が出力する合成トルクのトルク脈動を抑制できる。

【0068】

なお、上記実施の形態では、ステータ（外側磁石筒 26 A）が固定されている例を示したが、ステータ（外側磁石筒 26 A）は、回転自由であって任意に位相調整できる構成であっても良く、同様の効果が得られる。

【0069】

なお、上記各実施の形態では、回転電機 10 の回転軸 11 と磁気ギア 20、20 A の回転軸（入力部 21）が同軸上に配置されている例を示したが、これに限らない。回転電機 10 の回転軸 11 と、磁気ギア 20、20 A の入力部 21 が接続されている構成であれば同様の効果が得られる。

【0070】

実施の形態 4 .

この実施の形態 4 では、上記実施の形態 3 の磁気ギア装置 100 A のおける回転電機 10 のロータ 12 と、磁気ギア 20 の第 1 ロータ（内側磁石筒 23）が一体に構成されたも

10

20

30

40

50

のを示す。

図 18 は、実施の形態 4 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

図 18 に示すように、磁気ギア装置 100B は、回転電機 10A と磁気ギア 20B とを備えた駆動ユニットで構成される。この場合、回転電機 10A のロータ 12A が、磁気ギア 20B の第 1 ロータ（内側磁石筒 23A）と一体に構成される。その他の構成は、上記実施の形態 3 と同様である。

【0071】

この実施の形態では、磁気ギア 20B と回転電機 10A とでロータコア材を共有し、さらに構造部材を少なくすることができるため、製造コストをさらに削減することができる。

この場合も、上記実施の形態 3 で示した第 1 条件、第 2 条件の少なくとも 1 つを満たせば、上記実施の形態 3 と同様に、位相関係の調整によりトルク脈動が低減可能になり、出力側の速度振動を抑制できる。第 1 条件は、ポールピース 29 の個数 N と第 1 ロータ（内側磁石筒 23A）の極数との最小公倍数 LCM の（ステータ（外側磁石筒 26A）の極数）/ N ）倍を第 1 数値として、第 1 数値が、回転電機 10 のロータ 12 の極数とティース 16 の個数との最小公倍数 M に一致する条件である。また、第 2 条件は、上記第 1 数値が、回転電機 10 のロータ 12 の極数 $\times (3 \times N1)$ に一致する条件である。

【0072】

なお、上記実施の形態 4 では、回転電機 10A と磁気ギア 20B とが同一のフレーム 18A に収納された構成を示したが、別々のフレームに収納しても良い。

【0073】

また、上記実施の形態 1 ~ 4 では、磁気ギア 20、20A、20B が減速、増トルク化とする減速ギアの例を示したが、磁気ギア 20、20A、20B の多極機構である外側磁石筒 26 を第 1 ロータに用いて、回転電機 10、10A の回転軸 11 と接続すると、増速、減トルク化とする増速ギアの構成が実現できる。この場合も、上記各実施の形態と同様の効果が得られる。

【0074】

実施の形態 5 .

図 19 は、実施の形態 5 による磁気ギア装置の構成を示す縦断面図である。

図 19 に示すように、磁気ギア装置 100C は、回転電機 10 と磁気ギア 20C とを備えた駆動ユニットで構成される。

この実施の形態では、磁気ギア 20C は、内側磁石筒 23B、外側磁石筒 26A および磁性体筒 30B を同心円状に配置し、磁性体筒 30B を第 1 ロータとし、内側磁石筒 23B、外側磁石筒 26A のいずれか 1 方を第 2 ロータとし、他方をステータとする。この場合、内側磁石筒 23B を第 2 ロータとし、外側磁石筒 26A をステータとして用いる場合を図示した。その他の構成は、上記実施の形態 1 と同様である。

【0075】

この場合、ポールピース 29 の個数 N と第 2 ロータ（内側磁石筒 23B あるいは外側磁石筒 26A）の極数との最小公倍数の（ステータ（外側磁石筒 26A あるいは内側磁石筒 23B）の極数）/ N ）倍を第 1 数値とする。そして、この第 1 数値が、回転電機 10 のロータ 12 の極数とティース 16 の個数との最小公倍数 M に一致する第 1 条件を満たすように設定する。

これにより、回転電機 10 の電流を印加しない場合、回転電機 10 の主要なトルク脈動の次数と、磁気ギア 20C の主要なトルク脈動の次数が一致していれば、位相関係の調整により、互いに相殺して低減することができ、合成トルクのトルク脈動は低減される。

【0076】

この場合も、上記実施の形態 1 と同様に、第 1 ロータ（磁性体筒 30B）の周方向磁極中心、即ち、ポールピース 29 の周方向中心位置が、ステータ（外側磁石筒 26A あるいは内側磁石筒 23B）の周方向磁極中心に一致する時における、ロータ 12 の周方向磁極中心と、ティース 16 の周方向中心位置との間の位相（ずれ位相）を調整する。そして、回転電機 10 のトルク脈動と磁気ギア 20C のトルク脈動とを互いに低減させるように

10

20

30

40

50

位相調整することにより、効果的にトルク脈動を低減して、トルク脈動に起因する速度振動を抑制できる。

【0077】

また、上記第1数値が、回転電機10のロータ12の極数 $\times(3 \times N1)$ に一致する第2条件を満たすように設定しても良く、その場合、上記実施の形態2で示したように、回転電機10に電流印加する場合の、トルク脈動の低減効果が得られる。即ち、上記第1条件、第2条件の少なくとも1つを満たせば、位相関係の調整により、トルク脈動の低減効果が得られる。

【0078】

なお、上記各実施の形態において、回転電機10および磁気ギア20、20A、20B、20Cの各磁極を構成する永久磁石は1個に限らない。永久磁石を、磁化方向、磁化直交方向ならびに軸方向、およびその他の方向に分割する場合についても同様の効果が得られる。

10

【0079】

また、回転電機10および磁気ギア20、20A、20B、20Cは、回転軸に対し直交する方向に磁気ギャップを有するラジアル型である例を示したが、回転軸に対し平行な方向に磁気ギャップを有するアキシアル型においても同様の効果が得られる。

【0080】

また、回転電機10を8極12スロットの例を示したが、上記各実施の形態で示した、磁気ギア20、20A、20B、20Cのロータの極数およびポールピース29の個数との関係が上述した条件を満たすものであれば、その他の極スロット数の構成としても同様の効果が得られる。

20

【0081】

また、上記実施の形態1では、磁気ギア20の少極機構(内側磁石筒23)が8極、多極機構(外側磁石筒26)が40極、ポールピース29が24個の例を示したが、例えば、以下の組み合わせでも良い。

少極機構の極数 N_s が多極機構の極数 N_m より小さく、ポールピース29の個数を N_p とおくと、 l と m を共に自然数とすると、 $(2l - 1)N_p = N_m \pm (2m - 1)N_s$ 、の関係を満たす。そして、かつ上記各実施の形態で示す、トルク脈動の低減条件を満たす組み合わせについても、同様の効果が得られる。

30

【0082】

また、上記各実施の形態では、回転電機10および磁気ギア20、20A、20B、20Cのティース16、ポールピース29、永久磁石13、25、28の形状はいずれも最も単純な形状で示しているが、以下に示すものでも良い。例えば、ティース16とポールピース29の形状を、磁気ギャップに向かって径方向に末広がりとする、又は裾を絞る形状とする。また、永久磁石13、25、28にボンド磁石を用いる、あるいは、1磁極あたり2個以上の永久磁石を用いてV字状に埋め込むなどである。いずれの場合も、磁気ギャップに係わる極配置が上記各実施の形態と同様の関係性を有していれば、同様の効果が得られる。

【0083】

本願は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、1つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

40

従って、例示されていない無数の変形例が、本願に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

【符号の説明】

【0084】

10, 10A 回転電機、11 回転軸、12, 12A ロータ、13 永久磁石、15

50

ステータ、16 ティース、20, 20A, 20B, 20C 磁気ギア、21 入力部、22 出力部、23, 23A, 23B 内側磁石筒、25 第1永久磁石、26, 26A 外側磁石筒、28 第2永久磁石、29 ポールピース、30, 30A, 30B 磁性体筒、31 磁気ギャップ、100, 100A, 100B, 100C 磁気ギア装置、
ずれ位相。

【図面】

【図1】

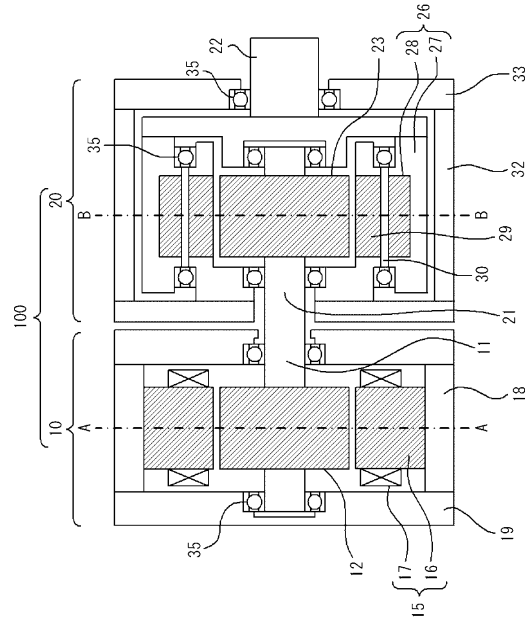
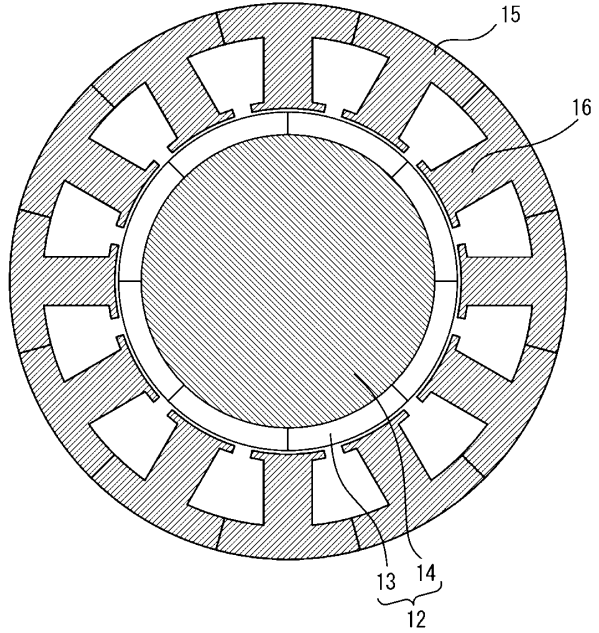


図1

【図2】

図2

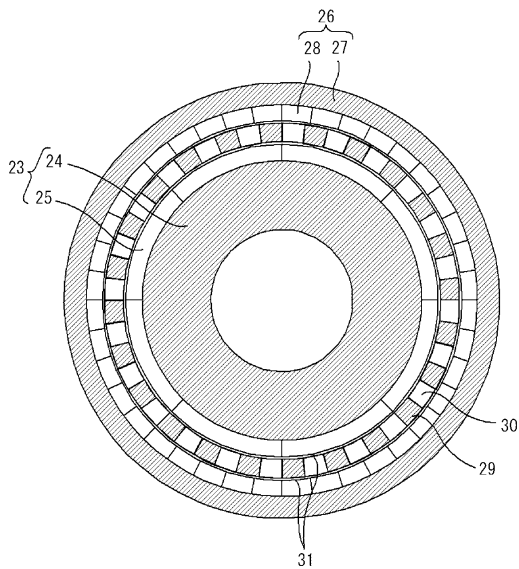


10

20

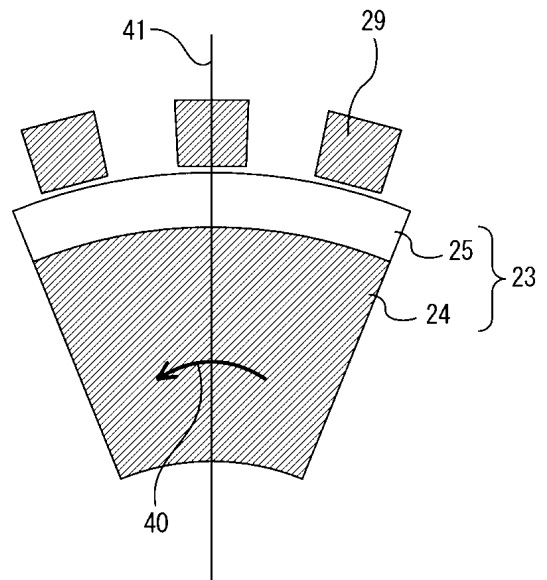
【図3】

図3



【図4】

図4



30

40

50

【 図 5 】

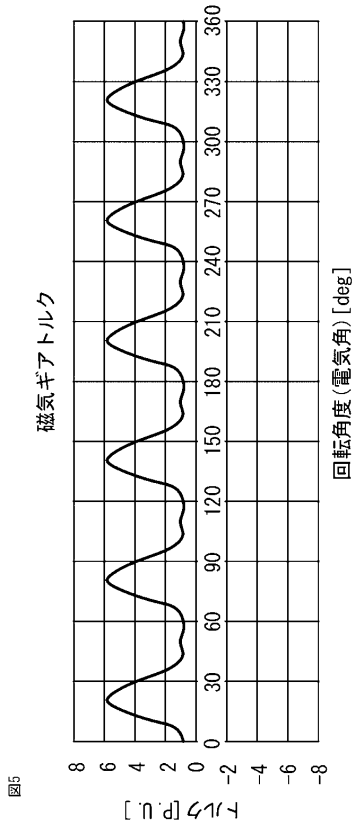
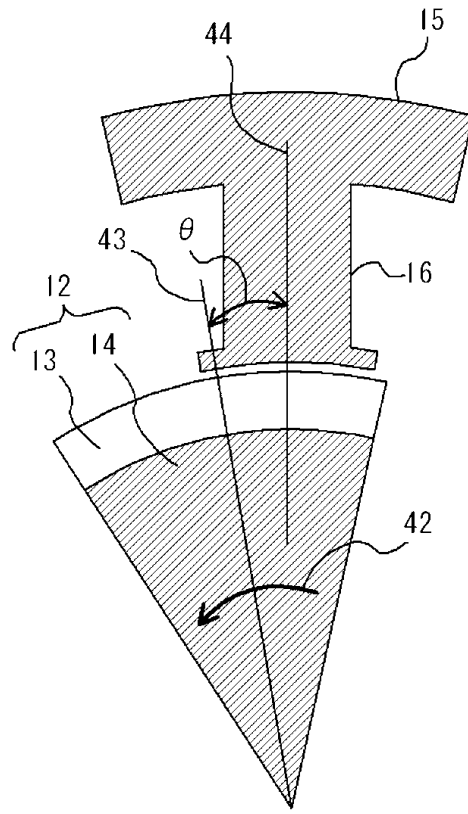


図5

【 図 6 】

図6



10

20

【 図 7 】

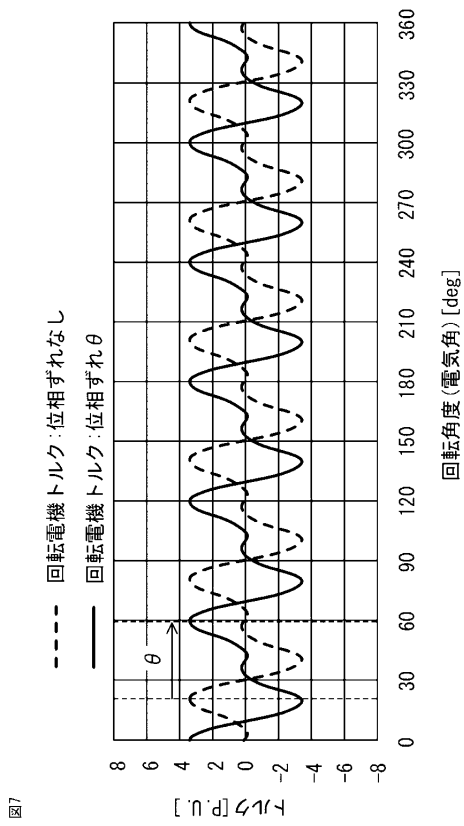


図7

【 図 8 】

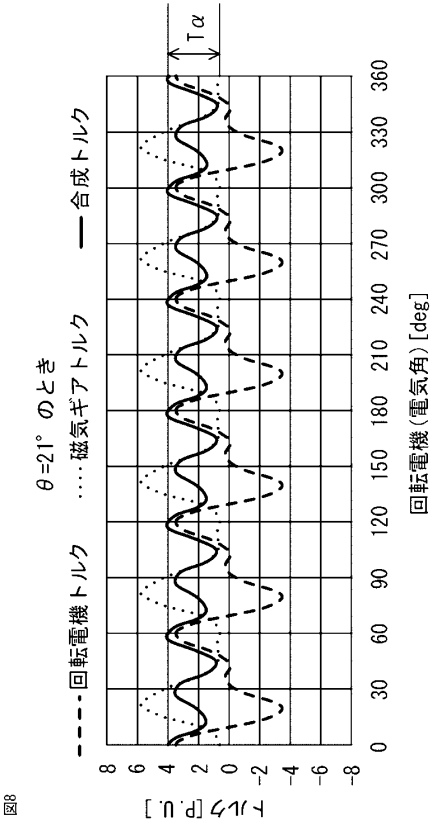


図8

30

40

50

【 図 9 】

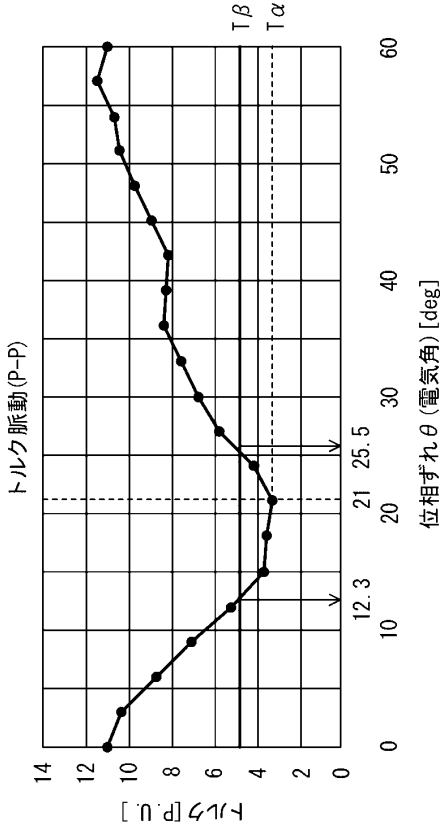


図9

【 図 10 】

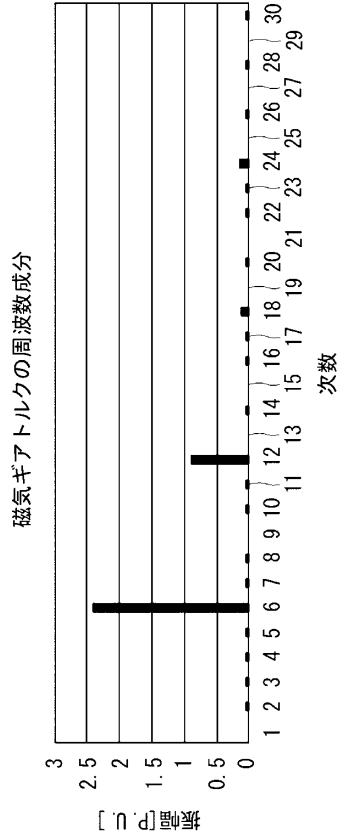


図10

【 図 11 】

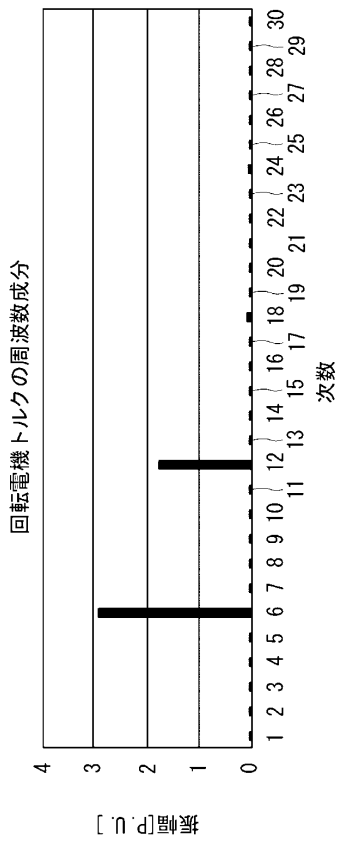


図11

【 図 12 】

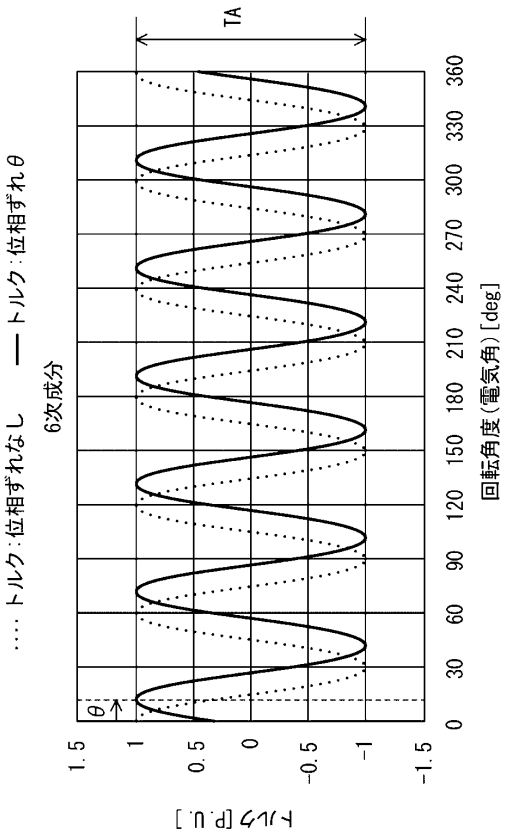


図12

【図 13】

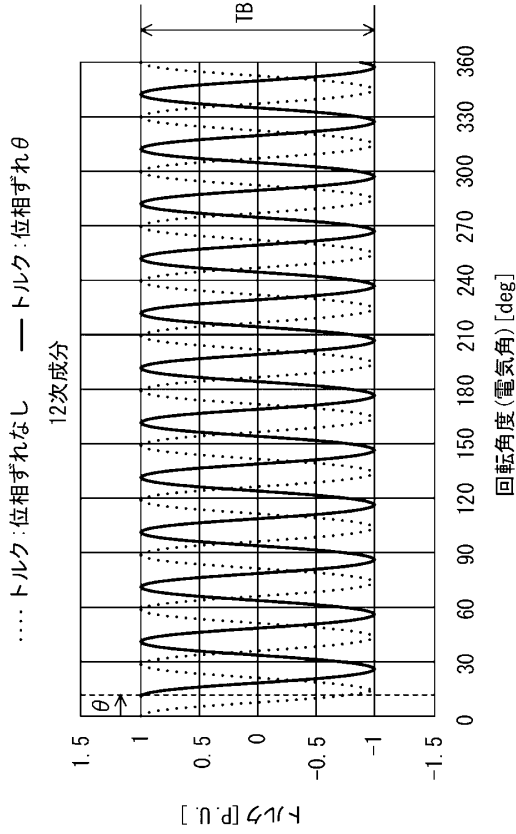


図13

【図 15】

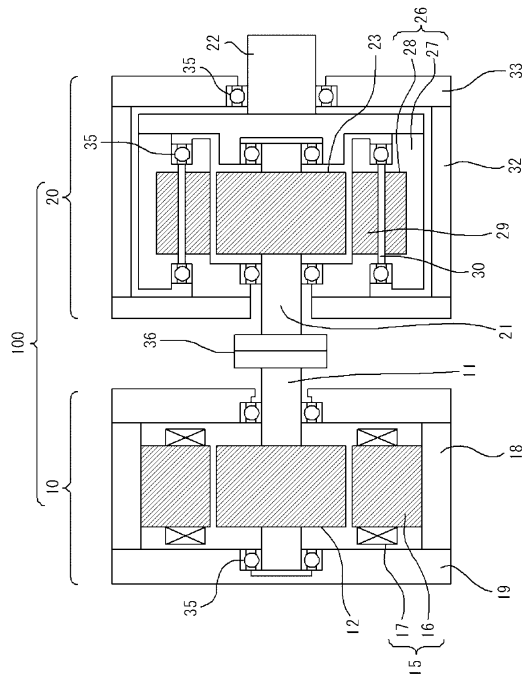


図15

【図 14】

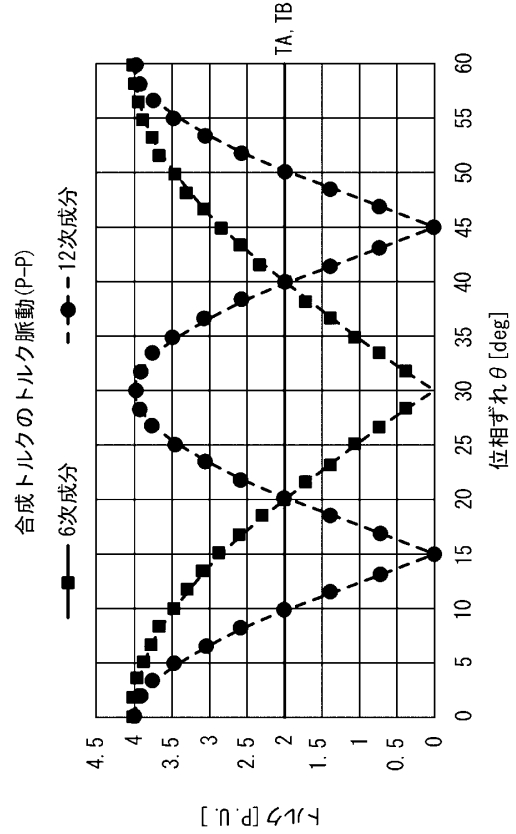


図14

【図 16】

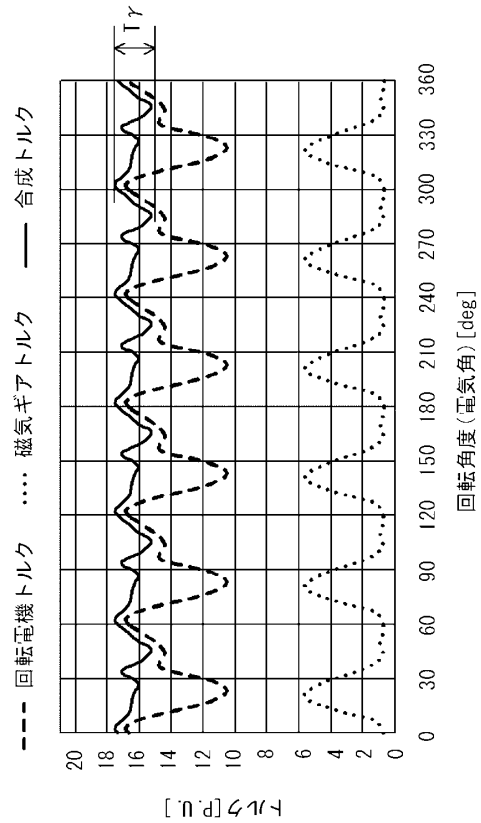


図16

【 17 】

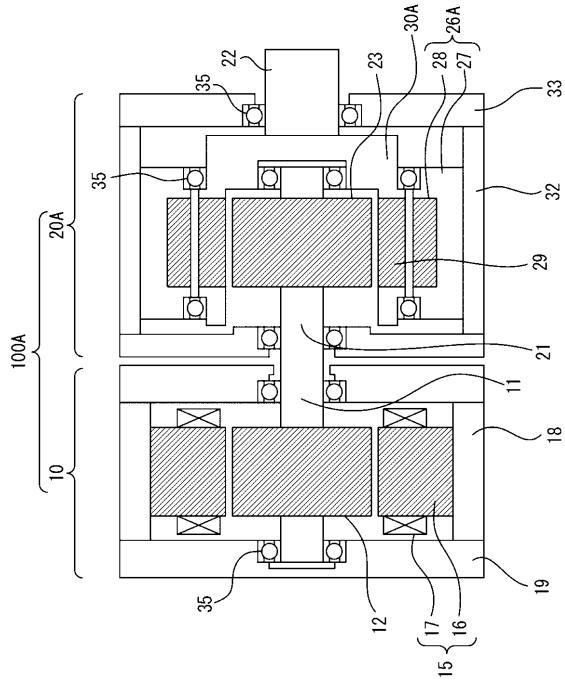


图17

【 18 】

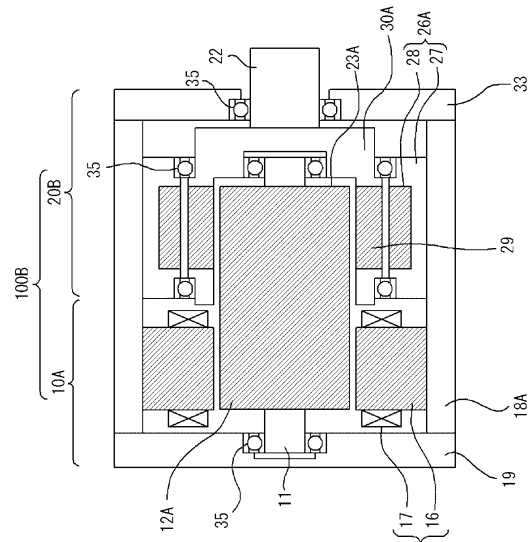


图18

【 19 】

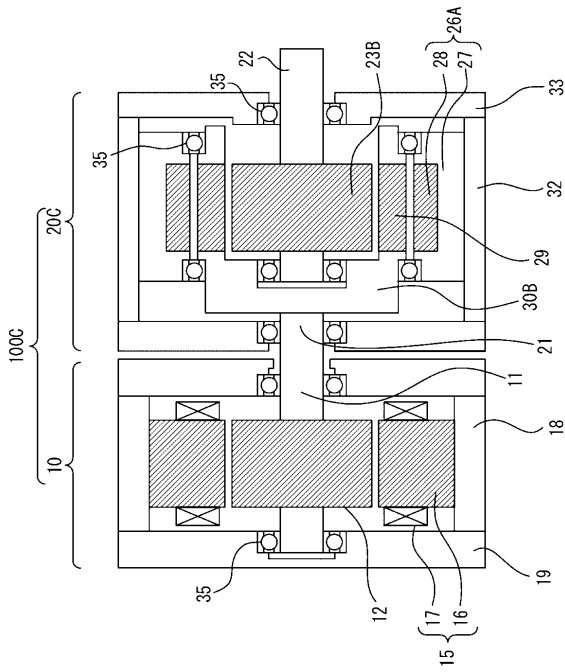


图19

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2018 - 127998 (JP, A)
特開 2017 - 166467 (JP, A)
国際公開第 2012 / 111440 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------|
| H02K | 7 / 10 |
| H02K | 21 / 14 |
| H02K | 21 / 22 |
| F16H | 49 / 00 |