

(19) 日本国特許庁 (JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

WO2011/016235

発行日 平成25年1月10日(2013.1.10)

(43) 国際公開日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int.Cl.

H02K 21/22 (2006.01)
H02K 3/28 (2006.01)

F 1

HO2K 21/22
HO2K 3/28

1

テーマコード（参考）

5H603
5H621

審查請求 有 予備審查請求 有 (全 73 頁)

出願番号	特願2011-518626 (P2011-518626)	(71) 出願人	000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(21) 国際出願番号	PCT/JP2010/004920	(74) 代理人	100090446 弁理士 中島 司朗
(22) 国際出願日	平成22年8月5日 (2010.8.5)	(74) 代理人	100125597 弁理士 小林 国人
(11) 特許番号	特許第4828666号 (P4828666)	(74) 代理人	100146798 弁理士 川畠 孝二
(45) 特許公報発行日	平成23年11月30日 (2011.11.30)	(74) 代理人	100121027 弁理士 木村 公一
(31) 優先権主張番号	特願2009-183448 (P2009-183448)	(72) 発明者	西山 典禎 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(32) 優先日	平成21年8月6日 (2009.8.6)	F ターム (参考)	5H603 AA01 BB09 BB13 CA05 CD14
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		最終頁に続く

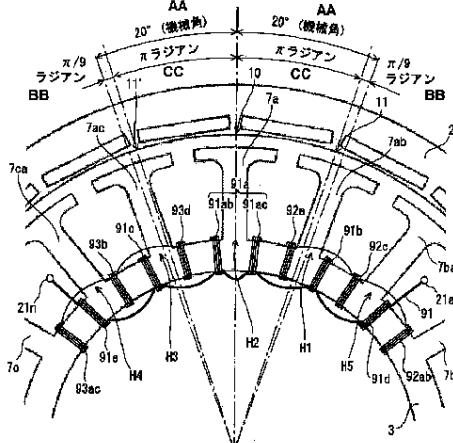
(54) 【発明の名称】同期電動機及び同期電動機駆動システム

(57) 【要約】

【課題】高トルク化を図りつつトルク脈動を低減する同期電動機及び同期電動機駆動システムを提供する。

【解決手段】本同期電動機は、回転子 2 と固定子 3 を備え、隣接する固定子ティース 7 (7 a、7 a b など) に挟まれた固定子ヨーク部分に U 相巻線 9 1 (9 1 a、9 1 b など)、V 相巻線 9 2 (9 2 a b など)、W 相巻線 9 3 (9 3 a c など) が巻回され、各巻線は、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、回転子 2 の回転において磁極間 (1 0、1 1、1 1 など) が固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている。

圖2



**AA MECHANICAL ANGLE
BB $\pi/9$ RADIANS
CC π RADIANS**

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースは、周方向に並ぶ所定個数単位で固定子ティース組を構成し、当該構成された複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、

各固定子ティース組において、固定子ティース組に含まれる所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、

前記所定個数の固定子ティースそれぞれに対応づけて、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分の少なくとも一方にひとつの相の巻線を構成するメイン巻線が巻回されており、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつについては、当該固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれるメイン巻線に直列に結線されて前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線が前記固定子ヨーク部分にさらに巻回されており、

前記全ての巻線それぞれに三相交流電流のいずれかが加えられることにより各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている

ことを特徴とする同期電動機。

10

【請求項 2】

前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組は、当該固定子ティース組に隣接する固定子ティース組であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

20

【請求項 3】

各固定子ティース組において、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくとも二つには、これらに対応づけてサブ巻線が巻回されており、

前記ひとつの相の巻線は、固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するメイン巻線全てと、当該固定子ティース組からみて電気角で進んだ位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線と、前記固定子ティース組からみて電気角で遅れた位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線とを直列に結線して構成されていること

30

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 4】

各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースのうちの第 1 の固定子ティースに対応づけてメイン巻線のみが巻回され、これに隣接する第 2 の固定子ティースに対応づけてメイン巻線およびサブ巻線が巻回されており、

前記第 1 の固定子ティースと前記回転子の磁極とが所定の位置関係になったときに当該第 1 の固定子ティースから生じる磁界が最大となり、前記回転子が回転して前記第 2 の固定子ティースと前記回転子の磁極とが前記所定の位置関係と同一の位置関係になったときに当該第 2 の固定子ティースから生じる磁界が最大となるように、前記第 2 の固定子ティースに対応づけて巻回されているメイン巻線およびサブ巻線の巻線比率が定められていること

40

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 5】

各固定子ティース組において、前記第 1 の固定子ティースに生じる磁界の最大値と前記第 2 の固定子ティースに生じる磁界の最大値とが同じになるように、前記第 1 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線および前記第 2 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線及びサブ巻線のそれぞれの巻数が定められていること

50

を特徴とする請求項 4 に記載の同期電動機。

【請求項 6】

磁極の数を A (但し、A は 2 以上の偶数)、固定子ティースの数を B (但し、B は A と等しくない 3 の倍数) とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

k = 3 m のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P \text{ となり、}$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 \text{ となる巻線比係数 を定義し、}$$

同相の巻線が、隣接する 6 個の固定子ヨーク部分それぞれに 1 個づつ巻回され、前記 6 個の巻線が直列に接続されており、その巻線の巻数の比率を順に + N 1、- N 2、+ N 3 10
、- N 3、+ N 2、- N 1 としたとき (但し、+ N n (n は 1、2、3 のいずれか) と、- N n とは、巻数が同じで巻回する向きが逆である)、

N 1 は、sin() にほぼ等しく、

N 2 は、sin() + sin(/ 3 -) にほぼ等しく、

N 3 は、sin(/ 3) + sin(/ 3 -) にほぼ等しいこと

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 7】

前記回転子は、前記固定子を中心にその外周を回転し、

前記複数の固定子ティースは、前記固定子ヨークの外周面から径方向外側に放射状に突出しており、

前記固定子ヨークからは、さらに、各固定子ティースが突出する径方向の内側に向けて、前記外側に突出する固定子ティースと同数の固定子ティースが前記固定子ヨーク内周面から突出しており、

前記同期電動機は、さらに、前記固定子の内周を回転する回転子を備える

ことを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 8】

前記複数の固定子ティースのうち少なくとも 1 つは、前記回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子ティースの配置間隔だけずれていくスキー配置が施されていることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 9】

前記同期電動機は永久磁石埋め込み型であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 10】

前記複数の固定子ヨーク部分は、3 相のうちの 1 相の巻線を一芯状に集中巻された第 1 の固定子ヨーク部分と、3 相のうちの 2 相の巻線を一芯状に集中巻された第 2 の固定子ヨーク部分とを含み、

第 1 の固定子ヨーク部分に隣接した第 2 の固定子ヨーク部分に巻回された複数の巻線のうちいずれか 1 つの巻線の相は、隣接する第 1 の固定子ヨーク部分の巻線と同じ相の巻線であること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 11】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティース数を k とした場合に、

k = 3 m のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 \text{ となる巻線比係数 を用いて、}$$

3 相のうちいずれか 1 相の巻線又は 3 相のうちの 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数を N 1 としたとき、第 1 の固定子ヨーク部分と隣接した第 2 の固定子ヨーク部分の巻線は、第 1 の相の巻線の巻数が、

10

20

30

40

50

$(N_1) \times \sin(\theta) / \sin(\theta / 3)$ にほぼ等しく、

他の相の巻線の巻数が、

$(N_1) \times \sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3)$ にほぼ等しいこと
を特徴とした請求項 10 に記載の同期電動機。

【請求項 12】

第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数と、第 2 の固定子ヨーク部分における 2 種類の巻線の巻数の和とが等しいこと

を特徴とする請求項 10 記載の同期電動機。

【請求項 13】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、 $A / 2$ とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、 $B / 3$ とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

$k = 3m$ のとき

$$= |2 / A - 2 / B| \times P$$

$k = 3m + 1$ 、または $k = 3m + 2$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \text{ となる巻線比係数} \quad \text{を用いて、}$$

3 相のうちいずれか 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の相の巻線と第 2 の相の巻線の巻数比率が、

$\sin(\theta) / \sin(\theta / 3)$ と $\sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3)$ との比にほぼ等しくなること

を特徴とした請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 14】

同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、前記同期電動機は、

周方向に等間隔に配設された複数の磁極を含む回転子と、

環状の固定子ヨークから前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが突出し、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分に当該固定子ティースに対応する固定子巻線が分けて巻回された固定子とを備え、

前記複数の固定子巻線は、周方向に並ぶ m 個単位で (m は 2 以上の整数) 固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、

各固定子巻線組において、m 個の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、かつ、それぞれ独立した外部端子に個別に接続されており、

前記駆動装置は、

前記複数の固定子巻線に電流を供給するにあたり、各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、それぞれが個別に接続された外部端子を通じて、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする同期電動機駆動システム。

【請求項 15】

前記複数の固定子巻線組は、隣り合う固定子巻線組の間隔が電気角で $2\pi / 3$ ラジアンに相当する間隔となるように並んでおり、

前記駆動装置は、

任意の固定子巻線組に含まれる任意の固定子巻線と、前記任意の固定子巻線組に隣り合う固定子巻線組に含まれる前記任意の固定子巻線に対応する固定子巻線とに、互いに $2\pi / 3$ ラジアンだけ異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする請求項 14 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 16】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

10

20

30

40

50

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 7】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには同極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

10

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 8】

各固定子巻線組は、第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線から構成され、

前記第 1 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも進んだ位置に配され、

前記第 3 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも遅れた位置に配されており、

前記第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線は、それぞれ独立した個別の外部端子に接続され、かつ、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには隣り合う固定子巻線が互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

20

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記第 1 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が遅れた電流を供給し、前記第 3 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が進んだ電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 9】

前記第 1 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ進んでおり、

前記第 3 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ遅れており、

30

前記第 1 の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第 2 の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ遅れており、

前記第 3 の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第 2 の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ進んでいること

を特徴とする請求項 1 8 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 0】

各固定子巻線組において、m 個の固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で等間隔に並んでいること

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 1】

各固定子巻線組において、m 個の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されていること

40

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、同期電動機の巻線構成に関し、特に、トルク性能を向上させる技術に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

50

コンプレッサ、電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等に用いられる同期電動機には、小型軽量、高出力、低振動、低騒音、高効率の要請から、特に高トルクかつ低トルク脈動であることが求められる。

【0003】

永久磁石を回転子鉄心の表面に配置した、いわゆる表面磁石型同期電動機の場合、永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が90°であるとき、すなわち、回転子の磁極間と、固定子巻線が巻回された固定子ティースとが対向した位置関係でその固定子巻線に供給される電流が最大になるとき、永久磁石によるトルク（マグネットトルク）が最大となる。永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が90°からずれるとトルクは減少する。

10

【0004】

また、永久磁石を鉄心の内部に配置した、いわゆる永久磁石埋込み型同期電動機の場合、永久磁石によるマグネットトルクに加え、回転子と固定子の位置による磁気抵抗の差による突極性に基づくリラクタンストルクが発生する。リラクタンストルクは、永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が45°近傍であるときに最大となる。従って、永久磁石埋込み型同期電動機のトルクは、マグネットトルクとリラクタンストルクとを合わせたトルクとなり、界磁と電機子電流との位相差0°から45°近傍で最大トルクとなる。

【0005】

一般に同期電動機のトルクは、永久磁石による界磁の高調波成分の影響や、電機子電流の高調波成分の影響等に基づく脈動成分をもつ。そこでトルク脈動を低減するために、同じ位相の電流が流れる固定子巻線の配置間隔（角度）を回転子の磁極間隔（角度）から機械的にずらす技術がある。このようにすると、互いの固定子巻線に生じるトルク脈動の位相がずれ、トルク脈動を打消すことができ、その結果、低振動、低騒音を実現することができる。低振動、低騒音の実現に関して下記の技術が開示されている。

20

【0006】

特許文献1は、環状のヨーク部の内側ティース部と、外側ティース部に、トロイダル巻きを施した複数のコイル部と、前記内側ティース部に対応する内側ロータと、前記外側ティース部に対応する外側ロータとを備えて構成された電動機であって、外側ロータと内側ロータの極の変わり目を任意の角度にずらして取り付けていることで低振動な電動機を開示している。

30

【0007】

また、特許文献2は、外側ロータ部の磁気突極部と内側ロータ部の磁気突極部とを周方向同位置とし、内周側スロット部と外周側スロット部とを周方向同位置とすることにより、固定子の外周側ティースと内周側ティースとに働く磁気突極部との間の電磁力の径方向成分は相殺されるため、その周期変動による振動が減ることを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2007-209199号公報

40

【特許文献2】特開2001-268866号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記の通り、回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で配置された固定子ティースに、それぞれ固定子巻線を巻回し、これらの固定子巻線に同じ位相の電流を供給することとした場合、各固定子ティースから生じるトルク脈動の位相をずらすことができ、その結果、全体としてのトルク脈動を低減することができる。

【0010】

しかしながら、上記構成では、ある固定子ティースが回転子の磁極との関係で最大トルクを生みだす位置にあるとき、その固定子ティースから回転子の磁極間隔と異なる間隔で

50

配置された固定子ティースは、最大トルクを生みだす位置からはずれた位置にあることとなり、最大トルクを生みだすことができない。すなわち従来の技術では、トルク脈動を低減しようとすると全体のトルクが減少してしまうという課題がある。

【0011】

そこで本発明は、上記課題に鑑み、トルク脈動を低減しつつ、トルクの減少を抑制することができる技術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】

【0012】

本発明に係る同期電動機は、周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、前記複数の固定子ティースは、周方向に並ぶ所定個数単位で固定子ティース組を構成し、当該構成された複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、各固定子ティース組において、固定子ティース組に含まれる所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、前記所定個数の固定子ティースそれぞれに対応づけて、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分の少なくとも一方にひとつの相の巻線を構成するメイン巻線が巻回されており、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつについては、当該固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれるメイン巻線に直列に結線されて前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線が前記固定子ヨーク部分にさらに巻回されており、前記全ての巻線それぞれに三相交流電流のいずれかが加えられることにより各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている。10

【発明の効果】

【0013】

本発明の同期電動機によれば、以下のような効果を得ることができる。

【0014】

上記構成では、各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースは回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並んでいるので、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。20

【0015】

また、上記構成によれば、ひとつの固定子ティースに対応づけて巻回されたメイン巻線およびサブ巻線は、それぞれ異なる相の巻線の一部分となる。そのため、当該固定子ティースに生じる磁界は、メイン巻線に基づく磁界とサブ巻線に基づく磁界とをベクトル合成したものとなる。このベクトル合成により得られる磁界の大きさおよび位相は、メイン巻線およびサブ巻線の巻数を調整することにより任意に調整することができる。したがって、固定子ティースが回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で配置されていても、何れの固定子ティースも最大トルクを生みださせることができ、その結果、全体としてのトルクを高めることができる。30

【0016】

なお、上記構成では、メイン巻線およびサブ巻線に集中巻が採用されているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって、小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

【0017】

また、本発明の同期電動機駆動システムは、同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、前記同期電動機は、周方向に等間隔に配設された複数の磁極を含む回転子と、環状の固定子ヨークから前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが突出し、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分に当該固定子ティースに対応する固定子巻線が分けて巻回された固定子とを40

10

20

30

40

50

備え、前記複数の固定子巻線は、周方向に並ぶ m 個単位で（ m は2以上の整数）固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、各固定子巻線組において、 m 個の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、かつ、それぞれ独立した外部端子に個別に接続されており、前記駆動装置は、前記複数の固定子巻線に電流を供給するにあたり、各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、それぞれが個別に接続された外部端子を通じて、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給する。

10

【0018】

上記構成では、前記一対の固定子巻線は回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並んでいるので、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。さらに前記一対の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されており、これらの固定子巻線には互いに位相が異なる電流が供給される。すなわち回転子の磁極による界磁と固定子巻線に供給される電機子電流との位相差を個別に制御することが可能である。これらよりトルクの減少を抑えつつトルク脈動を低減することができる。

【0019】

なお上記構成では固定子巻線に集中巻を採用しているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

20

【0020】

また、上記構成によれば、磁極の数と固定子ティースの数の組み合わせの自由度が高くなる。例えば、20極であれば、一般的に30ティースであるが、磁極数に対して固定子ティース数を小さくした、例えば、20極18ティースの組み合わせが成立し、極数の割りにティース数を少なくでき、電動機の小型化に有効であり、また巻線の工数を低減できる。

【0021】

なお、上記構成では、第1の巻線および第2の巻線は何れも固定子ヨーク部分に集中巻に巻回されているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって、小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の平面図

【図2】第1の実施形態に係る同期電動機の平面図

【図3】第1の実施形態に係る固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図

【図4】第1の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図

【図5】第2の実施形態に係る同期電動機の平面図

【図6】第2の実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図

【図7】第3の実施形態に係る同期電動機の平面図

【図8】第3の実施形態に係る同期電動機の巻線構成図

【図9】第3の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図

【図10】従来の同期電動機の詳細図

【図11】トルクの時間変化を示す図

【図12】第4の実施形態に係る同期電動機の平面図

【図13】第4の実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図

【図14】第4の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相をベクトルで表したベクトル図

【図15】第5の実施形態に係る同期電動機の詳細図

40

50

【図16】第5の実施形態に係る同期電動機の固定子巻線の結線を説明するための図

【図17】第5の実施形態に係る固定子と回転子の位置関係を示す図

【図18】第5の実施形態に係る各固定子巻線に流した電流の時間変化を示した図

【図19】第5の実施形態に係る同期電動機駆動システムの全体構成を示す図

【発明を実施するための形態】

【0023】

本発明の一実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

1. 第1の実施形態

図1は、本発明の第1の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の平面図、図2は、図1の同期電動機の詳細図である。同期電動機1は、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型の同期電動機であり、回転子2及び固定子3から構成される。
10

【0024】

回転子2は、回転子コア4および複数の永久磁石5を含み、永久磁石5は回転子コア4に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石5によって構成される磁極6は、固定子3に対してN極、S極が交互に配置された磁極対を構成している。磁極対N極、S極は電気角で2ラジアンとなり、隣り合う磁極の配置間隔は電気角で1ラジアンとなる。本実施形態では、回転子の磁極は20極であり、機械角に対して電気角が10倍の関係となっている。

【0025】

固定子3は、環状の固定子ヨーク7Y、固定子ヨーク7Yから半径方向に回転子2に向かって突出して成る18個の固定子ティース7(7a、7ac、7ab...)及び固定子ヨーク7Yにおける隣接した固定子ティースに挟まれた部分(以下、固定子ヨーク部分という。)それぞれに巻回された固定子巻線(91a、91c、91b、93d、92e...)を含む。固定子ヨーク部分に巻回された固定子巻線は、メイン巻線及びサブ巻線を含む。巻数の多い方をメイン巻線と称し、巻線の少ない方をサブ巻線と称している。
20

【0026】

また、複数の固定子ティース7は、固定子の周方向に並ぶ3個単位で固定子ティース組8(8a、8b、8c、8a'、8b'、8c')を構成している。回転子2の周方向に並べられた磁極数は全部で20極であり、固定子ティースの数は全部で18となっており、半周当たり10/9でずれて配置されている。
30

【0027】

図1において、反時計回転方向を+方向とすると、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8bは機械角で-60°、電気角で+2/3ラジアンずれて配置されている。また、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8cは機械角で+60°、電気角で+4/3ラジアン(-2/3ラジアン)ずれて配置されている。よって、固定子ティース組8a、固定子ティース組8b、固定子ティース組8cは互いに電気角で2/3ラジアンの間隔の配置となる。なお、本実施形態の同期電動機は、固定子ティース組8a、固定子ティース組8b、固定子ティース組8cの組み合わせが周方向に2組、(固定子ティース組8a'、固定子ティース組8b'、固定子ティース組8c')繰り替えされた配置となる。
40

【0028】

次に、図2を用いて、固定子ティース組8aの構成を詳細に述べる。

【0029】

図2に示すように、固定子ティース組8aは、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティース7aと、これに隣接する固定子ティース7ab、7acとから構成されている。反時計回転方向を+方向とすると、固定子ティース7abは、固定子ティース7aからみて電気角でラジアンずれた位置から/9ラジアン遅れた位置に配置されており、固定子ティース7acは、固定子ティース7aからみて電気角でラジアンずれた位置から/9ラジアン進んだ位置に配置されている。
50

【0030】

図3は、固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図である。

【0031】

同期電動機1は、三相交流電源を1個用いてU相、V相、W相の三相で駆動され、各固定子巻線には、3相の電流のいずれかが流されることになる。以下、第1の相(U相)の電流が流される固定子巻線をU相巻線、第2の相(V相)の電流が流される固定子巻線をV相巻線、第3の相(W相)の電流が流される固定子巻線をW相巻線ということがある。

【0032】

図3に示すように、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティースには、同相の電流が流される固定子巻線が両隣の固定子ヨーク部分に巻回されている。そして、これに隣接する固定子ティースには、両隣の固定子ヨーク部分の一方に基準の固定子ティースの固定子巻線と同相の電流が流される固定子巻線が巻回され、他方には異なる相の電流が流される固定子巻線が巻回されている。具体的には、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティース7aの左隣の固定子ヨーク部分には、U相巻線91abが巻回され、右隣の固定子ヨーク部分にはU相巻線91acが巻回されている。ここで、U相巻線91abとU相巻線91acを合わせてU相巻線91aという。

10

【0033】

また、固定子ティース7abの右隣の固定子ヨーク部分にはU相巻線91bが巻回され、左隣の固定子ヨーク部分にはV相巻線92eが巻回されている。固定子ティース7acの左隣の固定子ヨーク部分にはU相巻線91cが巻回され、右隣の固定ヨーク部分にはW相巻線93dが巻回されている。また、固定子ティース7baの右隣の固定子ヨーク部分にはU相巻線91dが巻回され、左隣の固定ヨーク部分にはV相巻線92cが巻回されている。また、固定子ティース7caの左隣の固定子ヨーク部分にはU相巻線91eが巻回され、右隣の固定ヨーク部分にはW相巻線93bが巻回されている。各巻線の巻数及び巻回方向については後述する。

20

【0034】

固定子ティース組8aに含まれるU相巻線91a, 91b, 91cと、固定子ティース組8bに含まれるU相巻線91dと、固定子ティース組8cに含まれるU相巻線91eとが、直列に結線され1つのU相巻線91を構成している。ここで、U相巻線91a, 91b, 91cは、メイン巻線であり、U相巻線91d, 91eはサブ巻線である。U相巻線91の端部21aはU相の入力端子に接続され、U相巻線91の端部21nは中性点に接続される。なお、便宜上「直列に結線」と表現しているが、固定子ティース毎に線材を個別に巻回して事後的に接続することに限らず、一本の線材を連続的に各固定子ティースに巻回して構成することも含むものとする。

30

【0035】

U相巻線91と同様に、V相巻線92は、固定子ティース組8bに含まれるV相巻線(固定子ティース7bの左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線(92ab)及び右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線、固定子ティース7bの右側の固定子ティースの右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線、固定子ティース7bの左側の固定子ティース(7ba)の左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線(92c))と、固定子ティース組8c'に含まれるV相巻線と、固定子ティース組8aに含まれるV相巻線(92e)とを直列に結線して構成されている。V相巻線92の一方の端部22aはV相の入力端子に接続され、V相巻線92の他方の端部は中性点に接続される。

40

【0036】

同様に、W相巻線93は、固定子ティース組8cに含まれるW相巻線(固定子ティース7cの左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線及び右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線(93ac)、固定子ティース7cの右側の固定子ティース(7ca)の右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線(93b)、固定子ティース7cの左側の固定子ティースの左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線)と、固定子ティース組8b'に含まれるW相巻線と、固定子ティース組8aに含まれるW相巻線(93d)とを直列に結線して構

50

成されている。W相巻線93の一方の端部はW相の入力端子に接続され、固定子巻線93の他方の端部(23n)は中性点に接続される。

【0037】

同期電動機1では、固定子巻線91, 92, 93の組み合わせが周方向に2組繰り返された配置となる。

【0038】

1.1. 固定子ティースに生じる磁界

図4は、本発明の第1の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図である。図2、図3及び図4を用いて固定子ティースに生じる磁界について説明する。

【0039】

同期電動機1は三相同期電動機であり、U相、V相、W相の電流の位相差は電気角で $2/3$ ラジアンである。U相の電流が最大値のとき、固定子ティース7aに係るU相巻線91(91a)に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図4にH2で示す。U相の電流が最大値のとき、固定子ティース7abに係るU相巻線91(91b)に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図4に-U2で示し、固定子ティース7abに係るV相巻線92(92e)に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図4にV3で示す。これらを合成して得られる磁界のベクトルを図4にH1で示す。また、U相の電流が最大値のとき、固定子ティース7acのU相の巻線91(91c)に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図4に-U2で示し、固定子ティース7acのW相の巻線93(93d)に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図4のW3で示す。これらを合成して得られる磁界のベクトルを図4にH3で示す。10

【0040】

図2において、固定子ティース7aからみて固定子ティース7abは、電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン遅れた位置にある。このような位置関係にある固定子ティース7abに、磁界H2に対して電気角で $\pi/9$ ラジアンから $\pi/9$ ラジアンだけ進んだ磁界H1が生じるので、固定子ティース7abの軸と回転子の磁極間11'が一致したときに固定子ティース7abに最大の磁界を生じさせると共に、固定子ティース7aの軸と回転子の磁極間10'が一致したときに固定子ティース7に最大の磁界を生じさせることができる。20

【0041】

また、図2において、固定子ティース7aからみて固定子ティース7acは、電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン進んだ位置にある。このような位置関係にある固定子ティース7acに、磁界H2に対して電気角で $\pi/9$ ラジアンから $\pi/9$ ラジアンだけ遅れた磁界H3が生じるので、固定子ティース7aの軸と回転子の磁極間10'が一致したときに固定子ティース7aに最大の磁界を生じさせると共に、固定子ティース7acの軸と回転子の磁極間11'が一致したときに固定子ティース7acに最大の磁界を生じさせることができる。30

【0042】

このように本実施形態では、固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができ、全体のトルクを向上させることができる。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができる。40

【0043】

1.2. 巻数の詳細説明

上記の磁界を発生するための各巻線の巻数、巻回方向の一例について図3及び図4を用いて説明する。

【0044】

固定子ティース7aにU相磁界H2を発生するためのU相巻線91abの巻数を+Un1とし、U相巻線91acの巻数を-Un1とする。ここで、巻数に+/-の符号を付し50

ているが、+は固定子ヨーク部に時計方向の磁界を発生する巻方向（以下、+方向という。）で巻回していることを表し、-はヨーク部に反時計方向の磁界を発生する巻方向（以下、-方向という。）に巻回していることを表す。+U_n1と-U_n1とは、巻回方向が逆であるが、巻数自体はU_n1で等しい。

【0045】

固定子ティース7a bについては、U相磁界-U2とV相磁界+V3とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7a bの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7a bに最大の磁界を生じさせることができる。具体的には、固定子ティース7a bにU相磁界-U2を発生するためのU相巻線91a cの巻数を-U_n2とし、U相巻線91bの巻数を+U_n2とする。固定子ティース7a bにV相磁界+V3を発生するためのV相巻線92eの巻数を+V_n3とし、V相巻線92cの巻数を-V_n3とする。

10

【0046】

また、固定子ティース7a cについては、U相磁界-U2とW相磁界+W3とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7a cの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7a cに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7a cにU相磁界-U2を発生するためのU相巻線91cの巻数を-U_n2とし、U相巻線91a bの巻数を+U_n2とする。固定子ティース7a cにW相磁界+W3を発生するためのW相巻線93bの巻数を+W_n3とし、W相巻線93dの巻数を-W_n3とする。

20

【0047】

また、固定子ティース7c aについては、U相磁界+U3とW相磁界-W2とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7c aの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7c aに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7c aにU相磁界+U3を発生するためのU相巻線91eの巻数を+U_n3とし、U相巻数91cを-U_n3とする。固定子ティース7c aにW相磁界-W2を発生するためのW相巻線93a cの巻数を-W_n2とし、W相巻線93bの巻数を+W_n2とする。

20

【0048】

また、固定子ティース7b aについては、U相磁界+U3とV相磁界-V2とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7b aの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7b aに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7b aにU相磁界+U3を発生するためのU相巻線91bの巻数を+U_n3とし、U相巻数91dを-U_n3とする。固定子ティース7b aにV相磁界-V2を発生するためのV相巻線92cの巻数を-V_n2とし、V相巻線92a bの巻数を+V_n2とする。

30

【0049】

ここで、上記の巻線においてU相巻線に着目すると、巻線91eの巻数は+U_n3であり、巻線91cの巻数は-U_n2と-U_n3の和であり、巻線91a bの巻数は+U_n1と+U_n2の和である。また、巻線91a cの巻数は-U_n1と-U_n2の和であり、巻線91bの巻数は+U_n2と+U_n3との和であり、巻線91dの巻数は-U_n3である。

40

【0050】

また、本実施の形態では、磁極の数は20であり、固定子ティースの数は18であり、磁極対数は20/2=10である。1相当りの固定子ティースの数は、18/3=6であり、3の倍数である。よって、巻線比係数は以下の式で計算できる。

【0051】

$$\begin{aligned} &= |2 / A - 2 / B| \times P \\ &= |2 / 20 - 2 / 18| \times 10 \\ &= / 9 \text{ ラジアン} \end{aligned}$$

また、U_n2とU_n1の関係、及びV_n3とV_n1の関係は、以下の通りである。

【0052】

$$U_{n2} = (U_{n1}) \times \sin(\pi/3 - \theta) / \sin(\pi/3)$$

50

$$\begin{aligned}
 &= (\text{U n } 1) \times \sin(2 / 9) / \sin(\quad / 3) \\
 \text{V n } 3 &= (\text{V n } 1) \times \sin(\quad) / \sin(\quad / 3) \\
 &= (\text{V n } 1) \times \sin(\quad / 9) / \sin(\quad / 3)
 \end{aligned}$$

図4に示す通り、以上の巻数でベクトル合成された固定子ティース7a bに発生する磁界は、固定子ティース7aで示したU相に対して反転した（ラジアンずれた）-U相に対して $\pi/9$ ラジアン進んだ位相の電流のみを通電したことで固定子ティース7a bに発生する磁界と等価となる。

【0053】

ここで、比例係数を $K = (\text{U n } 1) / \sin(\quad / 3)$ とすると、U相巻線91eの巻数は $+ \text{U n } 3$ であり、下式が成り立つ。 10

【0054】

$$\begin{aligned}
 + \text{U n } 3 &= (\text{U n } 1) \times \sin(\quad) / \sin(\quad / 3) \\
 &= \{ (\text{U n } 1) / \sin(\quad / 3) \} \times \sin(\quad) \\
 &= \{ \sin(\quad) \} \times K
 \end{aligned}$$

また、U相巻線91cの巻数は $- \text{U n } 3 - \text{U n } 2$ であり、下式が成り立つ。

【0055】

$$\begin{aligned}
 - \text{U n } 3 - \text{U n } 2 &= - (\text{U n } 1) \times \sin(\quad) / \sin(\quad / 3) \\
 &\quad - (\text{U n } 1) \times \sin(\quad / 3 - \quad) / \sin(\quad / 3) \\
 &= - \{ (\text{U n } 1) / \sin(\quad / 3) \} \{ \sin(\quad) + \sin(\quad / 3 \\
 - \quad) \} \\
 &= - \{ \sin(\quad) + \sin(\quad / 3 - \quad) \} \times K
 \end{aligned}$$

また、U相巻線91abの巻数は、 $+ \text{U n } 2 + \text{U n } 1$ であり、下式が成り立つ。 20

【0056】

$$\begin{aligned}
 + \text{U n } 2 + \text{U n } 1 &= (\text{U n } 1) \times \sin(\quad / 3 - \quad) / \sin(\quad / 3) + (\text{U n } 1 \\
) &= (\text{U n } 1) \times \{ 1 + \sin(\quad / 3 - \quad) / \sin(\quad / 3) \} \\
 &= \{ (\text{U n } 1) / \sin(\quad / 3) \} \times \{ 1 \times \sin(\quad / 3) + \sin(\quad / 3 - \\
 \quad) \} \\
 &= \{ \sin(\quad / 3) + \sin(\quad / 3 - \quad) \} \times K
 \end{aligned}$$

また、U相巻線91acの巻数は、 $- \text{U n } 1 - \text{U n } 2$ であり、下式が成り立つ。 30

【0057】

$$\begin{aligned}
 - \text{U n } 1 - \text{U n } 2 &= - \{ \sin(\quad / 3) + \sin(\quad / 3 - \quad) \} \times K \\
 \text{また、U相巻線91bの巻数は、} &+ \text{U n } 2 + \text{U n } 3 \text{であり、下式が成り立つ。}
 \end{aligned}$$

【0058】

$$+ \text{U n } 2 + \text{U n } 3 = \{ \sin(\quad / 3 - \quad) + \sin(\quad) \} \times K$$

また、U相巻線91dの巻数は、 $- \text{U n } 3$ であり、下式が成り立つ。

【0059】

$$\begin{aligned}
 - \text{U n } 3 &= - \{ \sin(\quad) \} \times K \\
 \text{ここで、U相巻線91e、91c、91ab、91ac、91b、91dの巻数をそれ} \\
 \text{ぞれ} + N_1, - N_2, + N_3, - N_3, + N_2, - N_1 \text{とし、} &= \pi/9 \text{ラジアン、} K = \\
 100 \text{とした場合、} N_1, N_2, N_3 \text{の具体的な値は下記のようになる。} &40
 \end{aligned}$$

【0060】

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \{ \sin(\quad) \} \times 100 \quad 34 \text{ (ターン)} \\
 N_2 &= \{ \sin(\quad / 3 - \quad) + \sin(\quad) \} \times 100 \quad 98 \text{ (ターン)} \\
 N_3 &= \{ \sin(\quad / 3) + \sin(\quad / 3 - \quad) \} \times 100 \quad 151 \text{ (ターン)}
 \end{aligned}$$

なお、上記の式では、右辺と左辺とがほぼ等しいことを示す記号（）を用いているが、これは実際には完全に一致させることができ困難な場合が多いためである。上記の記号は、右辺が小数になる場合にはその小数に近い整数を採用する程度の一致を含み、さらには、設計上誤差として無視できる程度の一致を含むこととする。U相の場合と同様に、U相に対して各々 $2\pi/3$ ラジアンずれた位置に配置したV相、W相についても巻数を決定でき 50

る。固定子ヨーク部分に巻回された巻線の巻数は上記3相の内2種類の巻線で構成され($N_1 + N_3$)ターン、($N_2 + N_2$)ターン、($N_3 + N_1$)ターンが繰り返されることになる。

【0061】

また、本実施形態では、固定子ヨーク部分に固定子巻線を巻回するのに集中巻を採用している。そのため、固定子の端面の巻線いわゆるコイルエンドの小型化が図れ、同期電動機の小型化ができる。また、巻線のコイルエンドは、電流を流してもトルクに寄与しない部分であり、通電時の巻線抵抗によるジュール損である銅損を低下することができ高効率である。

【0062】

また、本実施形態では、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型を採用している。そのため、同じ体積で比較した場合、回転子が固定子の内周側に配置されたインナーロータ型に比べて、回転子径を大きくすることができる。したがって、本実施形態のような極数が20となるような同期電動機でも、永久磁石の大きさを小さくする必要がないので有効磁束の低下を防ぐことができる。

【0063】

また、本実施形態では、回転子磁極の数が20個、固定子ティースの数が18個の同期電動機について説明しているが、固定子ティースが9個や27個といった9の倍数に対して、回転子の磁極数が10の倍数の組み合わせ、すなわち $10q$ 極 $9q$ ティース(q は正の整数)の組み合わせであれば、電気角で上記の関係が成立する配置関係とすることで同様の効果が得られる。

【0064】

また、固定子ティースおよび回転子の磁極のいずれか、または両者を回転軸方向で旋回した構成とすることで、磁束変化がより滑らかになり、さらなる低振動な同期電動機とすることができる。

【0065】

また、固定子の磁性材を圧粉鉄心材や、薄板の磁性材や、アモルファス磁性材を用いることで鉄損を大幅に低減することができ、より高効率な同期電動機とすることができます。

【0066】

また、1極を構成する永久磁石を複数個で構成することにより永久磁石に発生する渦電流損を低減でき、より高効率な同期電動機とすることができます。

【0067】

また、巻線の複数の細い径の巻線や、扁平な平角線とすることで巻線の表面積を拡大し、高周波駆動時の表皮効果を低減して高効率な同期電動機とすることができます。

2. 第2の実施形態

本実施形態が第1の実施形態と異なるのは、回転子が固定子の外周側だけでなく内周側にも配置され、それに伴い、固定子が、固定子ティースを固定子外径側だけでなく固定子内径側に備えている点である。

【0068】

図5は、本実施形態に係る同期電動機の平面図である。

【0069】

図6は、本実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図である。

【0070】

同期電動機33は、回転子2A、2Bおよび固定子23から構成される。

【0071】

固定子23の外側の回転子2Aは、回転子コア4Aおよび20個の永久磁石5Aを含み、永久磁石5Aは回転子コア4Aに回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石5Aによって構成されるN極、S極が交互に配置された磁極対は電気角で2ラジアンとなり、図5に破線で示した隣り合う磁極の配置間隔は電気角でラジアンである。同様に、固定子23の内側の回転子2Bは、回転子コア4Bおよび20個の永久磁石5Bを含み

10

20

30

40

50

、永久磁石 5 B は回転子コア 4 B に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石 5 B によって構成される N 極、S 極が交互に配置された磁極対は電気角で 2 ラジアンとなり、図 5 に破線で示した隣り合う磁極の配置間隔は電気角で $\pi/2$ ラジアンである。

【0072】

巻線に関しては、第 1 の実施形態と同様である。

【0073】

以上の構成によれば、固定子ティースが固定子外径側だけでなく、固定子内径側にもあり、固定子ヨークの巻線に通電して発生する磁束が、固定子の外径側の回転子と内径の回転子に流れる。固定子の外周と内周に回転子を用いたので、巻線の利用率も高く、高トルクな同期電動機を容易に実現できる。

10

【0074】

3. 第 3 の実施形態

本実施形態は、第 1 の実施形態と巻線の巻数および結線が異なる。

【0075】

巻線については、隣接する 2 つの固定子ヨーク部分それぞれに 2 種類ずつ固定子巻線を巻回し、この連続する 2 つの固定子ヨーク部分の両隣の固定子ヨーク部分それぞれには 1 種類の固定子巻線を巻回した構成としている。以下、第 1 の実施形態との相違点を中心に説明する。

【0076】

3. 1. 構成

図 7 は、本実施形態に係る同期電動機の平面図、図 8 は、同期電動機の巻線構成図、図 9 は、磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図である。

20

【0077】

同期電動機 5 1 は回転子 2 、および固定子 1 3 から構成される。

【0078】

回転子 2 については第 1 の実施形態と同じであり、固定子 1 3 についても固定子巻線の構成以外は第 1 の実施形態と同じである。

【0079】

図 8 において、U 相巻線 1 8 6 が固定子ティース 7 a に対応づけて + 方向に巻回されている。

30

【0080】

U 相巻線 1 8 7 は、固定子ティース 7 a b の右隣の固定子ヨーク部分に - 方向に巻回され、U 相巻線 1 8 5 は、固定子ティース 7 a c の右隣の固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。さらに、U 相巻線 1 8 9 が固定子ティース 7 b a の右隣の固定子ヨーク部分に + 方向に巻回されており、U 相巻線 1 8 3 が固定子ティース 7 c a の右隣の固定子ヨーク部分に + 方向に巻回されている。

【0081】

U 相巻線について、巻線 1 8 6 は、固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

【0082】

V 相巻線 1 8 8 、 1 9 0 、 1 9 1 、 1 9 2 、 1 9 4 についても、V 相巻線 1 8 8 、 1 9 1 、 1 9 4 が各固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、V 相巻線 1 9 0 、 1 9 2 が各固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。V 相巻線についても、巻線 1 9 1 は、固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

40

【0083】

また、W 相巻線 1 7 7 、 1 7 9 、 1 8 1 、 1 8 2 、 1 8 4 についても、W 相巻線 1 7 7 、 1 8 1 、 1 8 4 が各固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、W 相巻線 1 7 9 、 1 8 2 が各固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。また W 相巻線についても、W 相巻線 1 8 1 は固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている

50

固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

【0084】

例えば、図7に示すように、W相巻線182と、U相巻線183が同一の固定子ヨーク部分に巻回され、W相巻線184と、U相巻線185が同一の固定子ヨーク部分に巻回されている。U相巻線186は、単独で固定子ヨーク部分に巻回されており、U相巻線187と、V相巻線188が同一の固定子ヨーク部分に巻回され、U相巻線189と、V相巻線190とが同固定子ヨーク部分に巻回されている。

【0085】

3.2.発生磁界

以下、上述のように巻回された巻線構成によって各固定子ティースに生じさせる磁界について説明する。なお、固定子ティースと回転子磁極との位置関係が理解しやすいように、固定子ヨーク部分の左隣に位置する固定子ティースの中央と、回転子磁極間の関係に着目している。また、回転子は、反時計方向に回転するものとする。

10

【0086】

図7において、U相巻線186に対応する固定子ティース7aと回転子磁極間とが対向している。このとき固定子ティース7aは最大トルクを生み出し、このときのU相巻線186が生じさせる磁界を図9にH2として示している。

【0087】

U相巻線187とV相巻線188が巻回された固定子ヨーク部分の左隣の固定子ティース7abは、固定子ティース7aと対向した磁極に対して、ラジアン+ / 9ラジアン進んでいる。図9では、U相巻線187による磁界-U2とV相巻線188による磁界V3を示すベクトルの合成ベクトルH1を、U相に対してラジアン+ / 9ラジアン進んだ固定子ティース7abに発生する磁界を示すベクトルとして表している。

20

【0088】

同様に、U相巻線185とW相巻線184とが巻回された固定子ヨーク部分の左隣の固定子ティース7acは、固定子ティース7aと対向した磁極に対してラジアン+ / 9ラジアン遅れている。これは、位相関係においてラジアン- / 9ラジアン進んでいるとの等価である。図9では、W相巻線184による磁界W3と、U相巻線185による磁界-U2を示すベクトルの合成ベクトルH3を、U相に対してラジアン- / 9ラジアン遅れた固定子ティース7acに発生する磁界を示すベクトルとして表している。その他の固定子ヨーク部分に巻回された巻線による磁界（例えばH4、H5等）も同様である。このようなベクトルで表されるよう、巻数、巻方向を調整することで電流位相を各々トルクが最大となる位相に制御でき、高トルクかつ低振動な同期電動機を提供できる。

30

【0089】

3.3.トルクの比較

次に、本実施形態の同期電動機から得られるトルクと、従来の同期電動機から得られるトルクとを比較する。図10は、従来の同期電動機の詳細図である。従来の同期電動機は、本実施形態の同期電動機と巻線の構成が異なる。図10に示すように、固定子ティース87a, 87ab, 87acには、それぞれ巻線891a, 891b, 891cが巻回され、これらは直列に結線されており、巻線の一方の端部27aはU相の入力端子に接続され、他方の端部27nは中性点に接続される。各固定子ティースにはU相の巻線しか巻回されていないため、各固定子ティースに生じる磁界は同位相となる。すなわち固定子ティース87aの軸と回転子の磁極間10とが一致したときに固定子ティース87aに最大の磁界を生じさせることとすれば、固定子ティース87abと回転子の磁極間11とがずれたときに固定子ティース87abに最大の磁界が生じ、同様に固定子ティース87acと回転子の磁極間11'とがずれたときに固定子ティース87acに最大の磁界が生じる。そのため固定子ティース87aが生み出すマグネットトルクについては最大とすることができますが、固定子ティース87ab, 87acがそれぞれ生み出すマグネットトルクについては最大とすることができない。したがって、本実施形態に比べて、全体のトルクは低く、トルク脈動も大きい。

40

50

【0090】

図11は、トルクの時間変化を示す図である。

【0091】

本実施形態の同期電動機から得られるトルク波形をT1で示し、従来の同期電動機から得られるトルク波形をT0で示す。トルクの大きさについては、本実施形態は従来に比べて105%高めることができた。また、平均トルクに対するトルク脈動の比であるトルク脈動率については、本実施形態は従来に比べて5.3%から0.5%まで大幅に低減させることができた。このように本実施形態によれば、従来トレードオフの関係と考えられていた高トルク化とトルク脈動の低減とを両立させることができた。

【0092】

10

4. 第4の実施形態

本実施形態は、10q極12qティース（qは正の整数）の同期電動機である点が第1の実施形態と異なる。

【0093】

4.1. 構成

図12は、本実施形態に係る同期電動機の平面図であり、図13は、本実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図である。

【0094】

20

同期電動機41は、回転子42と固定子43から構成される。

【0095】

30

回転子42は、回転子コア44および10個の永久磁石45を含み、永久磁石45は回転子コア44に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石45によって構成される磁極46は、固定子43に対してN極、S極が交互に配置された磁極対を構成している。磁極対N極、S極は電気角で2ラジアンとなり、隣り合う磁極の配置間隔は電気角でラジアンとなる。本実施形態では、回転子の磁極は10極であり、機械角に対して電気角が5倍の関係となっている。このように、磁極の個数が10であり、固定子ティースの個数が12であるため、固定子ティース47は円周に沿って半円あたり5/6ずれて配置されている。なお、固定子ティース47は、固定子ティース47a b、47a c、47c a、47b a、47c b、47b cなど「固定子ティース47+添え字」で表したものと含めた固定子ティースの総称である。回転子磁極間410、411は、回転子に配置された永久磁石で構成された磁極Nと磁極Sとの間の磁気中立点の位置を意味する。ここでは、機械的にも磁石と磁石との間の位置となっている。反時計回転方向にみてN極からS極に変わる磁極間を411、反時計回転方向にみてS極からN極に変わる磁極間を410と示している。

【0096】

固定子43は、回転子42に対向配置されている複数の固定子ティース47および各固定子ティース47を挟む両隣の固定子ヨーク部分に集中巻に巻回されたメイン巻線およびサブ巻線を含む。

【0097】

40

反時計回転方向を+とした場合、固定子ティース47a cが、回転子の磁極間410に対して電気角で/12ラジアン進んだ位置に配置されるときに、固定子ティース47a bは、回転子の磁極間411に対して電気角で/12ラジアン遅れた位置に配置される。

【0098】

また、固定子ティース47b aは回転子磁極間411に対して2/3ラジアン進んだ位置422から電気角でさらに/12ラジアン進んだ位置に配置され、固定子ティース47b cは位置422からみて電気角でラジアンずれた位置から/12ラジアン遅れた位置に配置される。

【0099】

50

また、固定子ティース47c aは、回転子磁極間410に対して2/3ラジアン遅れ

た位置 4 2 3 から電気角でさらに $\pi/12$ ラジアン遅れた位置に配置され、固定子ティース 4 7 c b は位置 4 2 3 からみて電気角で $\pi/12$ ラジアンずれた位置から $\pi/12$ ラジアン進んだ位置に配置されている。

【0100】

よって、固定子ティース 4 7 a c と固定子ティース 4 7 a b に対して、固定子ティース 4 7 b a と固定子ティース 4 7 b c 、固定子ティース 4 7 c b と固定子ティース 4 7 c a は、それぞれ電気角で $2\pi/3$ ラジアンの等間隔で配置されている。

【0101】

4.2. 固定子ティース組の構成

次に、固定子ティース組の構成について説明する。12 個の固定子ティース 4 7 は、周方向に並ぶ 2 個単位で固定子ティース組を構成している。ひとつの固定子ティース組のなかで回転子との位相関係を示す基準の固定子ティースは、メイン巻線の巻数が最も多い固定子ティースとする。例えば、固定子ティース 4 7 a b , 4 7 a c から構成される固定子ティース組に着目すると、基準の固定子ティースは固定子ティース 4 7 a b , 4 7 a c である。図 12 に示すように、固定子ティース 4 7 a c および固定子ティース 4 7 a b のそれぞれが、磁極間隔である ラジアンに対して $\pi/12$ ラジアンずれて配置される。

【0102】

4.3. 固定子巻線の構成

固定子巻線の構成について説明する。

【0103】

図 13 は、固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図である。

【0104】

図 13 に示すように、U 相巻線 2 0 0 は、U 相巻線 2 0 1 、2 0 2 、2 0 3 、2 0 4 を直列に結線して構成されている。U 相巻線 2 0 0 の端部 4 2 1 a は U 相の入力端子に接続され、U 相巻線 2 0 0 の端部 4 2 1 n は中性点に接続される。

【0105】

U 相巻線 2 0 1 は、+ 方向に巻回されている。U 相巻線 2 0 3 は + 方向に巻回され、U 相巻線 2 0 2 、2 0 4 は - 方向に巻回されている。

【0106】

図 13 中の W 相巻線については、W 相巻線 2 2 3 が、U 相巻線 2 0 1 の巻回された固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、W 相巻線 2 2 4 が、U 相巻線 2 0 2 の巻回された固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。

【0107】

図 13 中の V 相巻線については、V 相巻線 2 1 1 が、U 相巻線 2 0 3 の巻回された固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、V 相巻線 2 1 2 が、U 相巻線 2 0 3 の巻回された固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。

【0108】

4.4. 固定子ティースに生じる磁界

次に、これらの固定子ティースに生じる磁界について説明する。なお、回転子は、反時計方向に回転するものとする。

【0109】

図 14 は、磁界の大きさおよび位相をベクトルで表したベクトル図である。

【0110】

固定子ティースと回転子磁極との位置関係が理解しやすいように、巻線が巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース中央と、回転子磁極間の関係に着目する。また、当該固定子ヨーク部分に巻かれた巻線が、当該右隣の固定子ティースに磁界を生じるものとする。

【0111】

図 12 の位置関係の場合、U 相巻線 2 0 2 と W 相巻線 2 2 4 とが巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース 4 7 a b の中心は磁極間 4 1 1 に対して $\pi/12$ ラジアン

10

20

30

40

50

遅れた位置に配置されている。図14では、固定子ティース47a bに発生する磁界をU相巻線202による磁界-U1とW相巻線224による磁界W2を示すベクトルの合成ベクトルベクトルH1として示している。

【0112】

同様に、図12で、U相巻線203とV相巻線211とが巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース47a cの中心は、磁極間410に対して $\pi/12$ ラジアン進んだ位置に配置されている。図14では、固定子ティース47a cに発生する磁界をU相巻線203による磁界U1とV相巻線211による磁界-V2を示すベクトルの合成ベクトルをH2で示す。

【0113】

このように、回転子と固定子の位置関係に適した磁界を構成することで、高トルクかつトルク脈動も低減でき滑らかな駆動を実現できる。

【0114】

ここで、このベクトル図で表された磁界を発生する巻線の巻数について、具体例を挙げて説明する。磁極の数が10、ティースの数が12であり、電気角で $2\pi/3$ ラジアン毎に配置された3種類の巻線のいずれか2種類の巻線を隣接したティース間の環状ヨーク部に一芯状に集中巻に巻回し、磁極対数が5、1相当りのティース数4であり、 $4 = 3m + 1$ のとき、巻数比係数は以下の式で計算できる。

【0115】

$$\begin{aligned} &= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \\ &= |2 / 10 - 2 / 12| \times 5 / 2 \\ &= / 12 \text{ ラジアン} \end{aligned}$$

また、固定子ティース47a bに対応するU相の巻線202の巻数をN112、固定子ティース47a bに対応するV相の巻線224の巻数をN212とし、それらの巻線の巻数の和をN1とすると下式が成り立つ。

【0116】

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{112} + N_{212} \\ N_{112} &= (N_1) \times \sin(\pi/12) / \sin(\pi/3) \\ N_{212} &= (N_1) \times \sin(\pi/3 - \pi/12) / \sin(\pi/3) \\ &\quad (N_1) \times \sin(\pi/4) / \sin(\pi/3) \end{aligned}$$

各巻線の巻数をこのように調整すれば、固定子ティース47a bに生じる磁界H2は、U相に対して電気角で $\pi/12$ ラジアン進んだ位相をもつこととなる。

【0117】

また、固定子ティース47a cに対応するU相の巻線203の巻数をN113、固定子ティース47a cに対応するW相の巻線211の巻数をN313とし、それらの巻線の巻き数の和をN1とすると下式が成り立つ。

【0118】

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{113} + N_{313} \\ N_{113} &= (N_1) \times \sin(\pi/12) / \sin(\pi/3) \\ N_{313} &= (N_1) \times \sin(\pi/3 - \pi/12) / \sin(\pi/3) \\ &\quad (N_1) \times \sin(\pi/4) / \sin(\pi/3) \end{aligned}$$

各巻線の巻数をこのように調整すれば、固定子ティース47a cに生じる磁界H1は、U相に対して電気角で $\pi/12$ ラジアン遅れた位相をもつこととなる。

【0119】

図12において、回転子磁極間410からみて固定子ティース47a cは、電気角で $\pi/12$ ラジアン進んだ位置にある。このような位置関係にある固定子ティース47a cに、-U相から $\pi/12$ ラジアンだけ遅れた磁界H1が生じるので、固定子ティース47a cの軸と回転子の磁極間410とが一致したときに固定子ティース47a cに最大の磁界を生じさせることができる。

【0120】

10

20

30

40

50

また、図12において、回転子磁極間411からみて固定子ティース47a bは、電気角で $\pi/12$ ラジアン遅れた位置にある。このような位置関係にある固定子ティース47a bに、U相から $\pi/12$ ラジアンだけ進んだ磁界H2が生じるので、固定子ティース47a bの軸と回転子の磁極間411とが一致したときに固定子ティース47a bに最大の磁界を生じさせることができる。

【0121】

このように本実施形態では、固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができ、全体のトルクを向上させることができる。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができる。

10

【0122】

また、本実施例は10q極12qティース(q は正の整数)の構成であるが、20極24ティースでも同じ効果が得られる。10q極12qティースでは、U相、V相、W相が軸に対して対称な配置となるので、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。したがって、軸受寿命に悪影響を与えることがなくなり、長寿命の同期電動機が得られる。同様に24極27ティースでは、中性点接続された隣接したティースに巻回された4個の巻線が軸に対して機械角で90°ごとの配置となるため、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。

20

【0123】

5. 第5の実施形態

第1の実施形態と異なるのは、巻線及び供給する電流であり、この点を中心に説明する。第1の実施形態では、三相交流電源を1個用いU相、V相、W相の三相で駆動していたのに対し、本実施形態では、三相交流電源を3個用い、U1相、U2相、U3相、V1相、V2相、V3相、W1相、W2相、W3相の9相で駆動する。

30

【0124】

本実施形態の同期電動機の平面図は、第1の実施形態と共通の図1で示される。

【0125】

図15は、同期電動機の詳細図である。

【0126】

固定子ティース組8aは、3個の隣接した固定子ティース61a、62a、63aから構成されている。固定子ティース61aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線81a bが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線81a cが+方向に巻回されている。固定子巻線81a bと固定子巻線81a cとは、直列に結線されて、U1相の電流が流されるU1相巻線81aを構成する。また、固定子ティース62aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線82a bが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線82a cが+方向巻回されている。固定子巻線82a bと固定子巻線82a cとは、直列に結線されて、U2相の電流が流されるU2相巻線82aを構成する。また、固定子ティース63aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線83a bが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線83a cが+方向に巻回されている。固定子巻線83a bと固定子巻線83a cとは、直列に結線されて、U3相の電流が流されるU3相巻線83aを構成する。

40

【0127】

ここで、固定子ティース62aに対して、固定子ティース61aは、機械角で+20°の位置に配置されている。すなわち磁極間隔である電気角ラジアン(機械角18°)からさらに+π/9ラジアンずれて配置されている。また、同様に固定子ティース62aに対して、固定子ティース63aは、機械角で-20°の位置に配置されている。すなわち磁極間隔である電気角ラジアンからさらに-π/9ラジアンずれて配置されている。ここで、固定子ティースは、周方向に等間隔で $360/18 = 20$ °の間隔で並べられてい

50

る。一方、回転子の磁極は周方向に等間隔で 20 個並べられており、 $360 / 20 = 18$ ° の間隔となる。図 1 に示した他の 2 組の固定子ティース組 8 b、8 c も上記固定子ティース組 8 a 同様に、固定子ティース組内において、3 個の巻線が磁極間隔である電気角ラジアンから電気角で + / 9 ラジアンと - / 9 ラジアンずれて配置されている。

【0128】

図 16 は、図 1 に示した同期電動機の固定子巻線の結線を説明するための図である。

【0129】

図示した巻線端子番号末尾の a、b、c は、それぞれ固定子ティース組 8 a、8 b、8 c を構成する巻線に対応している。

【0130】

固定子ティース組 8 a 内の 3 個の固定子巻線 8 1 a、8 2 a、8 3 a のそれぞれの巻線端子 3 1 a、3 2 a、3 3 a は、個別に外部に出されていて、駆動装置であるインバータの接続端子に個別に接続されている。固定子ティース組 8 b 内の 3 個の巻線端子 3 1 b、3 2 b、3 3 b、および、固定子ティース組 8 c の 3 個の巻線端子 3 1 c、3 2 c、3 3 c も同様に、個別に外部に出されていて、駆動装置であるインバータの接続端子に個別に接続されている。

10

【0131】

また、異なる固定子ティース組 8 a、8 b、8 c で位相差が $2 / 3$ ラジアンとなる固定子巻線の端子は共通に中性点に接続されている。すなわち巻線端子 3 4 a と巻線端子 3 4 b と巻線端子 3 4 c は第 1 の中性点に接続され、巻線端子 3 5 a と巻線端子 3 5 b と巻線端子 3 5 c は第 2 の中性点に接続され、巻線端子 3 6 a と巻線端子 3 6 b と巻線端子 3 6 c は第 3 の中性点に接続されている。この例では第 1、第 2 および第 3 の中性点を電気的に分離させているが、このうちのいずれか 2 つの中性点あるいは全ての中性点を電気的に接続することとしてもよい。

20

【0132】

また、本実施形態では固定子ティース組 8 a、固定子ティース組 8 b、固定子ティース組 8 c が 2 組ずつあり、末尾の a、b、c が同じ固定子ティース組どうしは回転子の磁極に対して電気角で同じ位置関係にある。そのため 6 組の固定子ティース組のうち隣接した 3 組の固定子ティース組どうしで中性点接続を構成してもよいし、一つ置きの 3 組の固定子ティース組どうしで中性点接続を構成してもよい、また、6 組の全ての固定子ティース組で中性点接続を構成してもよい。

30

【0133】

以上、本発明の第 1 の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の構成について説明した。18 個の固定子ティースは、回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、かつ、周方向に並ぶ 3 個単位で固定子ティース組を構成している。また各固定子ティース組内の 3 個の固定子巻線は、それぞれ独立した外部端子に個別に接続されている。

【0134】

ここで「個別」とは、ひとつの固定子ティース組に含まれている固定子巻線どうしの関係を示すものであり、異なる固定子ティース組にそれぞれ含まれている固定子巻線どうしの関係を示すものではない。従って、異なる固定子ティース組に含まれる固定子巻線どうしは、条件が許せば共通に接続される場合もある。例えば、固定子ティース組 8 a に含まれている固定子巻線 8 1 a と固定子ティース組 8 a' に含まれている固定子巻線 8 1 a' には同じ位相の電流が供給されるため、これらを共通の外部端子に接続することとしてもよい。もちろん個別に外部端子に接続することとしても何ら問題はない。

40

【0135】

本発明の第 1 の実施形態に係る同期電動機駆動システムは、上記同期電動機の複数の巻線端子に亘りに位相の異なる電流を供給する駆動装置を備えている。次に、駆動装置および通電方法に関して説明する。

【0136】

50

図17は、本発明の第1の実施形態の固定子と回転子の位置関係を示し、図17(a)、図17(b)、図17(c)は回転子2が反時計方向に各々機械角で2°(電気角で/9ラジアン)回転したときの固定子および回転子の位置関係を示している。また、図18は、本実施形態において各固定子巻線に流した電流の時間変化を示した図である。図18中の(a)(b)(c)で示される時間は、それぞれ図17(a)、図17(b)、図17(c)に示される位置関係に対応している。

【0137】

図1、図17に、回転子の磁極間を10、11で示した。回転子の磁極間10、11は、回転子に配置された永久磁石で構成された磁極Nと磁極Sとの間の磁気中立点の位置を意味する。ここでは、機械的にも磁石と磁石との間の位置となっている。反時計方向にみてN極からS極に変わる磁極間を10、反時計方向にみてS極からN極に変わらる磁極間を11と示している。なお、磁極間11'は、磁極間11に対して電気角では同じ位置であるが機械角では異なる位置にある。

10

【0138】

図17(a)では、一点鎖線で示したように、固定子ティース63aの中心と回転子磁極間11とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときにU3相巻線83aに流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。なお図15で説明したように隣接する磁極どうしのなす角度(18°)と隣接する固定子ティースどうしのなす角度(20°)が異なるため、固定子ティース63aの中心と回転子磁極間11とが一致する位置関係で対向すれば、固定子ティース62aの中心および回転子磁極間10、ならびに固定子ティース61aの中心および回転子磁極間11'はずれた位置関係で対向することになる。

20

【0139】

図17(b)では、図17(a)から回転子が反時計方向に機械角で2°(電気角で/9ラジアン)回転しており、一点鎖線で示したように、固定子ティース62aの中心と回転子磁極間10とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときにU2相巻線82aに流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。このとき固定子ティース63aの中心および回転子磁極間11、ならびに固定子ティース61aの中心および回転子磁極間11'はずれた位置関係で対向している。

30

【0140】

図17(c)では、図17(b)から回転子が反時計方向に機械角で2°(電気角で/9ラジアン)回転しており、一点鎖線で示したように、固定子ティース61aの中心と回転子磁極間11'とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときにU1相巻線81aに流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。このとき固定子ティース63aの中心および回転子磁極間11、ならびに固定子ティース62aの中心および回転子磁極間10はずれた位置関係で対向している。

30

【0141】

図17(a)、(b)、(c)に示した位置関係となる各時間に、すなわち、固定子ティース61a、62a、63aの固定子ティース中心が回転子磁極間と対向している各時間に、U1相巻線81a、U2相巻線82a、U3相巻線83aに流れる電流がそれぞれ最大になるように位相を調整して電流を供給する。そうすると固定子ティース毎にマグネットトルクを最大とすることができます、全体として高トルク化を図ることができる。

40

【0142】

図18では、巻線端子31a、32a、33aに流した電流(U1相巻線81a、U2相巻線82a、U3相巻線83aに流した電流)が縦軸に、時間が横軸に示されている。図18に示すように、巻線端子32aに流す電流に対して巻線端子33aに流す電流は/9ラジアン進めてあり、巻線端子32aに流す電流に対して巻線端子31aに流す電流は/9ラジアン遅らせてある。

50

【0143】

各固定子巻線の配置関係と各固定子巻線に流す電流とは以下の関係がある。

【0144】

U2相巻線82aに対してU3相巻線83aは、電気角でラジアンからさらに- / 9ラジアンずれて配置されている。このような配置関係であれば、U2相巻線82aに流す電流に対してU3相巻線83aに流す電流は、/ 9ラジアン進めることとする。一方、U2相巻線82aに対してU1相巻線81aは、電気角でラジアンからさらに+ / 9ラジアンずれて配置されている。このような配置関係であれば、U2相巻線82aに流す電流に対してU1相巻線81aに流す電流は、/ 9ラジアン遅らせることとする。

【0145】

図19は、本発明の第1の実施形態に係る同期電動機駆動システムの全体構成を示す図である。

【0146】

同期電動機駆動システムは、駆動装置としての直流電源100およびインバータ101、102、103と、同期電動機1とから構成されている。インバータ101、102、103は、それぞれ三相交流を生成して同期電動機1に供給する。インバータ101の出力電流101a、101b、101cはそれぞれ2 / 3ラジアンずつ位相がずれている。インバータ102の出力電流102a、102b、102cについても同様であり、インバータ103の出力電流103a、103b、103cについても同様である。また出力電流101a、102a、103aはそれぞれ / 9ラジアンずつ位相がずれている。出力電流101b、102b、103bについても同様であり、出力電流101c、102c、103cについても同様である。

【0147】

図15で示したように、固定子ティースは電気角で / 9ラジアンずれて配置されているので、これらの固定子ティースに巻回された固定子巻線に流す電流を / 9ラジアンずらすこととしている。すなわち図17(a)の位置関係では、U3相巻線83aに流れる電流が最大になるように位相を調整し、図17(b)の位置関係では、U2相巻線82aに流れる電流が最大になるように位相を調整し、図17(c)の位置関係では、U1相巻線81aに流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給している。そうするとそれぞれの固定子ティースが生じさせるマグネットトルクがそれぞれ最大となり、全体として高トルク化を実現することができる。

【0148】

以上説明したとおり、本実施形態の同期電動機では、回転子磁極の間隔が機械角18°(電気角ラジアン)であるのに対し、固定子ティース組内の3個の固定子ティースの間隔は機械角18°度からずれた機械角20°としている。このように機械的な位相差をもたせることにより、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。

【0149】

また本実施形態の同期電動機では、固定子ティース組内の固定子ティースは電気角ラジアンに対して各々 / 9ラジアンの位相差をもつ配置となっており、各固定子ティースに巻回された固定子巻線には / 9ラジアンの位相差を持たせた電流を流している。そのため、各々の固定子ティースにより発生するトルクを同じにすることができるので / 3ラジアンを基本周期とするトルク脈動を打ち消すことができ、かつ、各々の固定子ティースにより発生するトルクを最大にすることができるので全体のトルクを高めることができる。

【0150】

なお、図17、図18では永久磁石による発生するマグネットトルクのみを考慮していたので、固定子ティースの中心と回転子磁極間とが一致して対向した位置関係において固定子巻線に流れる電流が最大となるように電流の位相を調整している。しかしながら本実施形態の同期電動機は、回転子コア内部に永久磁石を配置した、いわゆる磁石埋込み型同

期電動機であり、磁石によるマグネットトルクに加えて、磁気抵抗の差によるリラクタンストルクを利用することができる同期電動機である。そのためマグネットトルクとリラクタンストルクの両者を生かして最大トルクを得るために、固定子ティースの中心と回転子磁極間とが一致して対向する位置で最大電流となる位相よりも電流位相を進めることができ場合もある。

【0151】

また、本実施形態では、固定子ヨーク部分に固定子巻線を巻回するのに集中巻を採用している。そのため固定子の端面の巻線いわゆるコイルエンドの小型化がはかれ、同期電動機の小型化ができる。また、固定子巻線のコイルエンドは、電流を流してもトルクに寄与しない部分であり、通電時の巻線抵抗によるジュール損である銅損を低下することができ高効率である。10

【0152】

また、本実施形態では、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型を採用している。そのため同じ体積で比較した場合、回転子が固定子の内周側に配置されたインナーロータ型に比べて、回転子径を大きくすることができる。したがって本実施形態のような極数が20となるような同期電動機でも、永久磁石の大きさを小さくする必要がないので有効磁束の低下を防ぐことができる。

【0153】

また、本実施形態では、回転子磁極の数が20個、固定子ティースの数が18個の同期電動機であるが、固定子ティースが9個や27個といった9の倍数に対して、回転子の磁極数が10の倍数の組み合わせ、すなわち $10q$ 極 $9q$ ティース（ q は正の整数）の組み合わせであれば、電気角で上記の関係が成立する配置関係として、同様の効果が得られる。また、 $8q$ 極 $9q$ ティース（ q は正の整数）や $10q$ 極 $12q$ ティース（ q は正の整数）でも同様の効果を得られる構成とすることができる。20

【0154】

また、本実施形態では、中性点接続された固定子ティース組 $8a$ 、 $8b$ 、 $8c$ と、固定子ティース組 $8a'$ 、 $8b'$ 、 $8c'$ のグループが2個、軸に対して対称な配置となるので、固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。したがって、軸受寿命に悪影響を与えることがなくなり、長寿命の同期電動機が得られる。同様に30極27ティースでは、中性点接続された固定子ティース組が3個軸に対して機械角で120°ごとの配置となるため、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。30

【0155】

以上、本実施形態によれば、トルクの減少を抑えつつトルク脈動も低減することができる、小型、高出力、低振動、低騒音、高効率な同期電動機駆動システムを提供することができる。

【0156】

6. 変形例その他

(1) 上記実施形態では、10q極9qティースの構成を挙げているが、本発明はこれに限らない磁極とティース数の組み合わせが可能である。例えば、8q極9qティース、10q極12qティース（ q は正の整数）、16q極15qティースの構成でも構わない。なお、各固定子ヨーク部分に巻回されている第1巻線および第2巻線の比率は、基準の固定子ティースからみたときの位相差を打ち消すように設定されている。そうすることで固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができる。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができます。

(2) なお、各固定子ヨーク部分に巻回されている第1の巻線および第2の巻線の比率は、隣接する固定子ティースの位相差を打ち消すように設定されている。そうすることで固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁

界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができます。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができます。

(3) 実施形態では3相駆動の同期電動機を例示しているが、本発明は、例えば5相や7相など多相駆動と等価の同期電動機にも適用可能である。

(4) 実施形態では固定子巻線は固定子ヨーク部分に巻回されているが、固定子ティースに巻回した巻線と組み合わせることも可能である。

(5) 実施形態では特に説明していないが、固定子巻線が回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子巻線の配置間隔だけずれしていくスキュー配置を施すこととしてもよい。

(6) 実施形態では、回転子が固定子の外側に配置されたアウターロータ型の同期電動機で説明しているが、回転子を固定子の内側に配置したインナーロータ型の同期電動機や、回転子と固定子とが軸方向に空隙を持って配置された、いわゆる面対向のアキシャルギヤップ式同期電動機や、それらを複数組み合わせた構造の同期電動機でも同じ効果があることは言うまでもない。

(7) 実施形態では、回転子の磁極を永久磁石により構成したが、磁気抵抗の差で構成したりラクタンストルクを利用した同期電動機、回転子に両者を組み合わせた同期電動機でも適用可能である。

(8) 本発明は、同期回転機に限らず、同期発電機、また、直動駆動されるリニア同期電動機、リニア同期発電機にも適用できる。

(9) 本発明は、小型、高出力、低振動、低騒音、高効率な同期電動機を提供することができ、低振動、低騒音性が要求される自動車用途に特に有用である。また、この同期電動機は、径が大きく薄型であるためインホイールモータとして特に有用である。

(10) 上記実施の形態及び上記変形例をそれぞれ組み合わせるとてもよい。例えば、第3の実施形態として説明した図7に示す巻線を、第2の実施形態として説明した図5に示す固定子23の巻線として用いてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0157】

本発明は、小型高効率で低振動低騒音性が要求される、コンプレッサ用、電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等の同期電動機に利用可能である。

【符号の説明】

【0158】

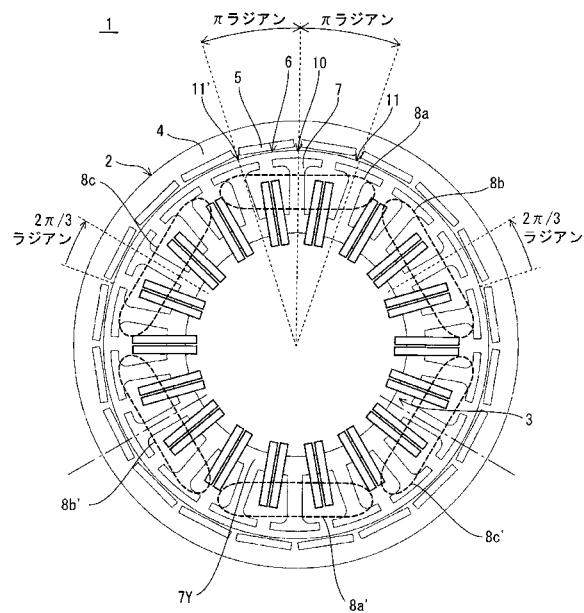
- 1 同期電動機
- 2 回転子
- 3 固定子
- 4 回転子コア
- 5 永久磁石
- 7 固定子ティース
- 8a、8b、8c、8a'、8b'、8c' 固定子ティース組
- 10、11、11' 磁極間

10

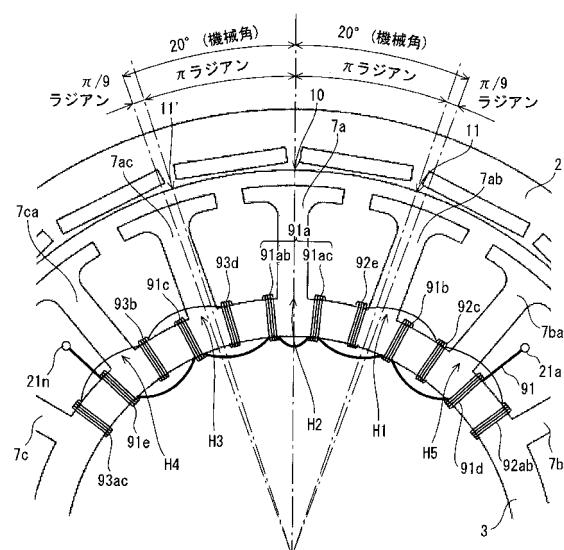
20

30

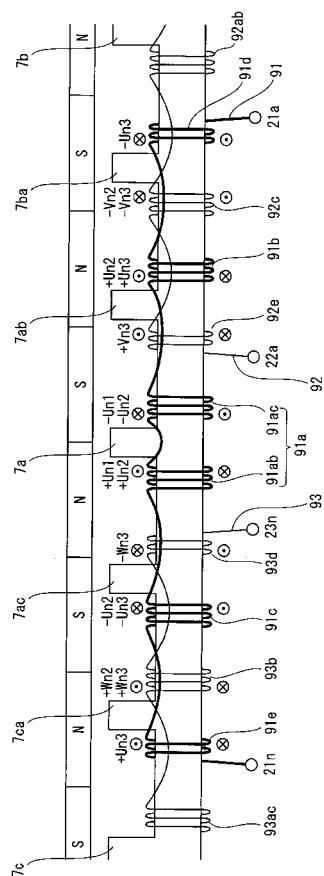
【図1】



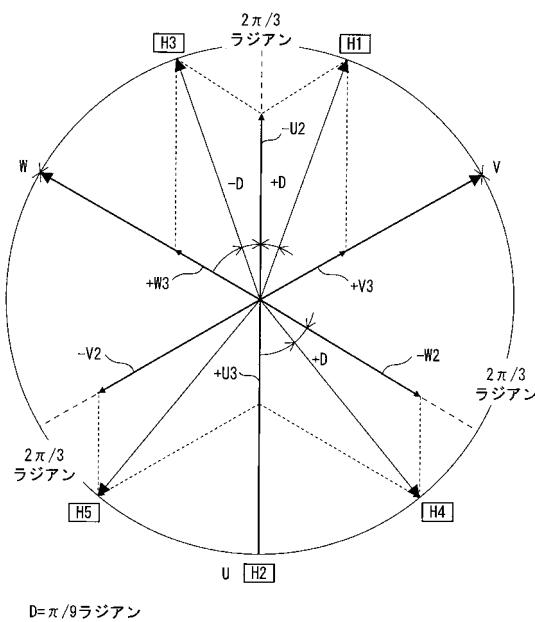
【 図 2 】



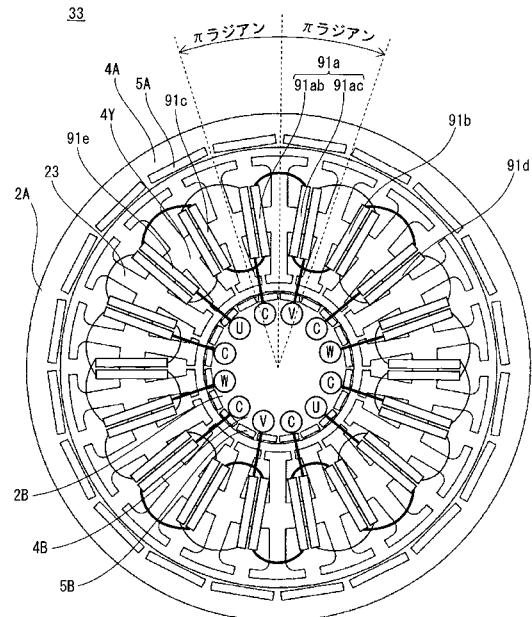
【 図 3 】



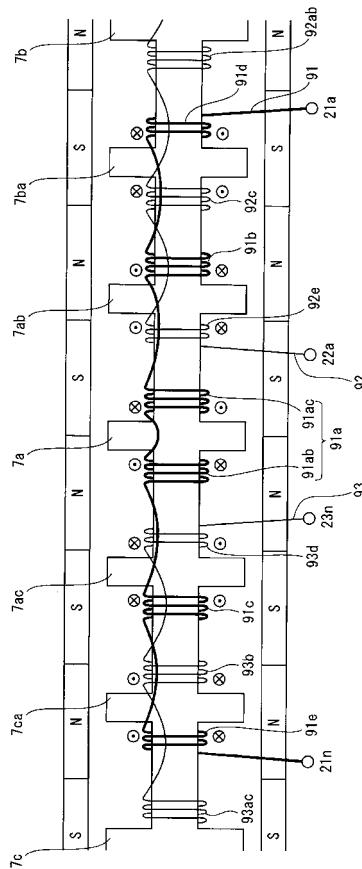
【 四 4 】



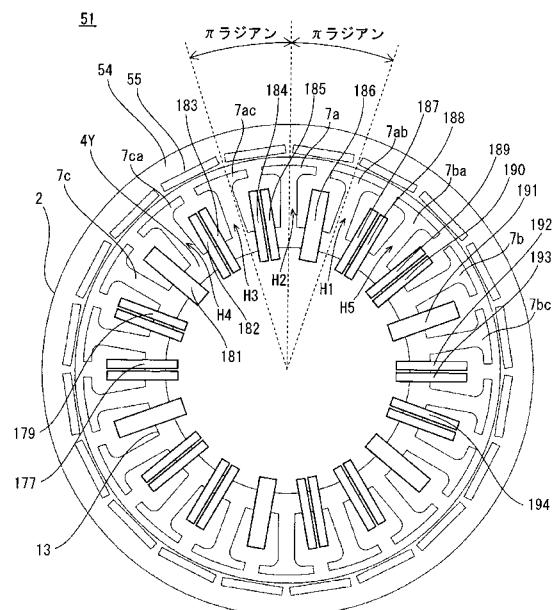
【図5】



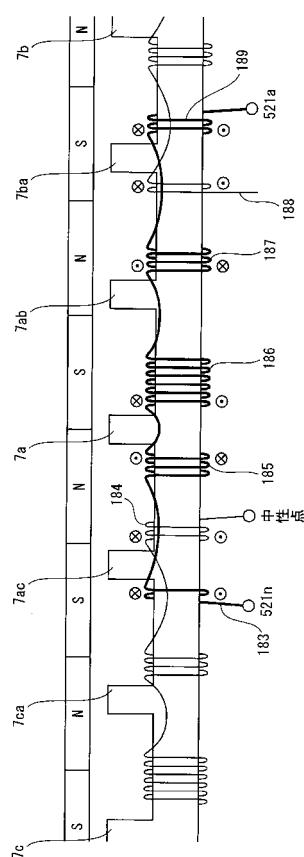
【図6】



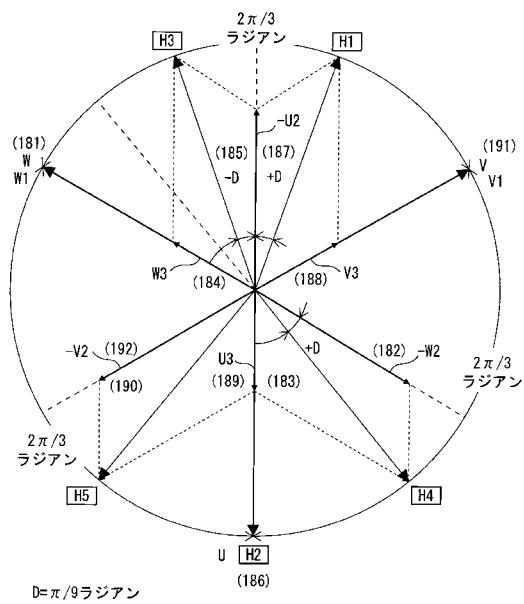
【図7】



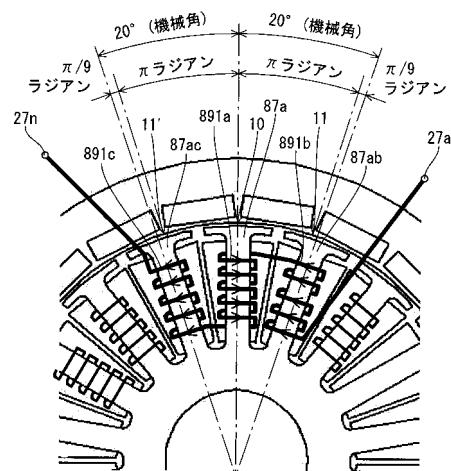
【図8】



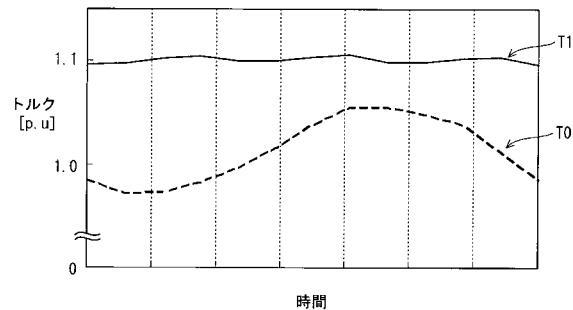
【図 9】



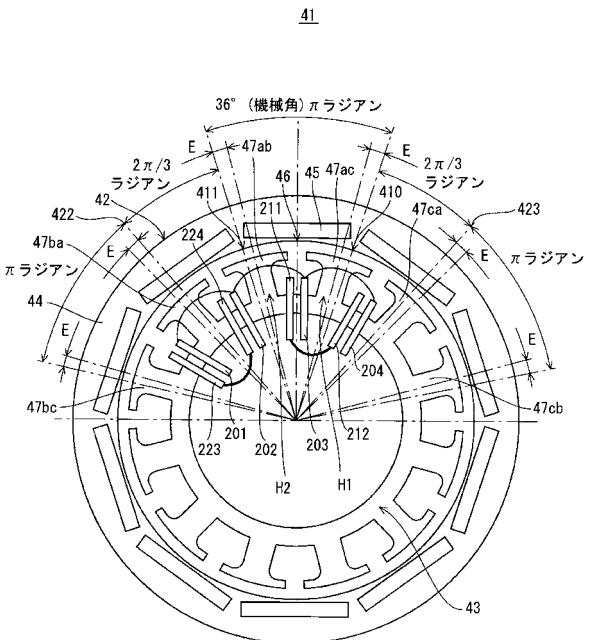
【図 10】



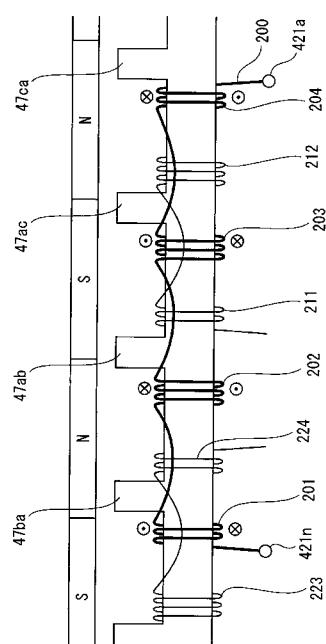
【図 11】



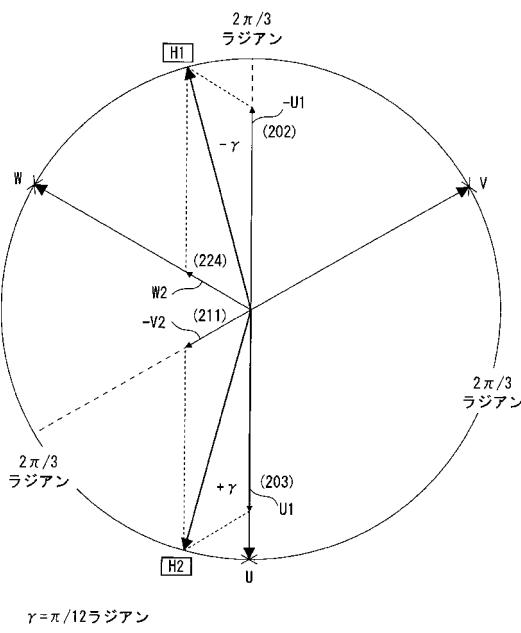
【図 12】

E = $\pi/12$ ラジアン

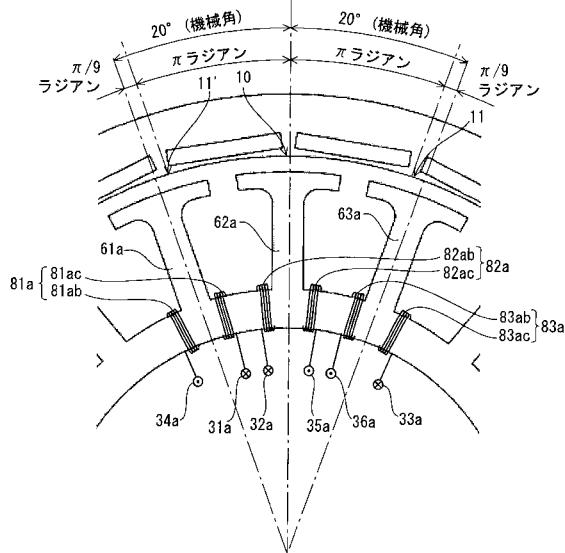
【図 1 3】



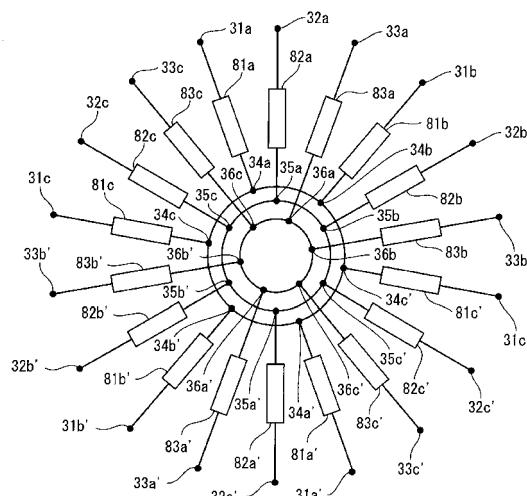
【図 1 4】



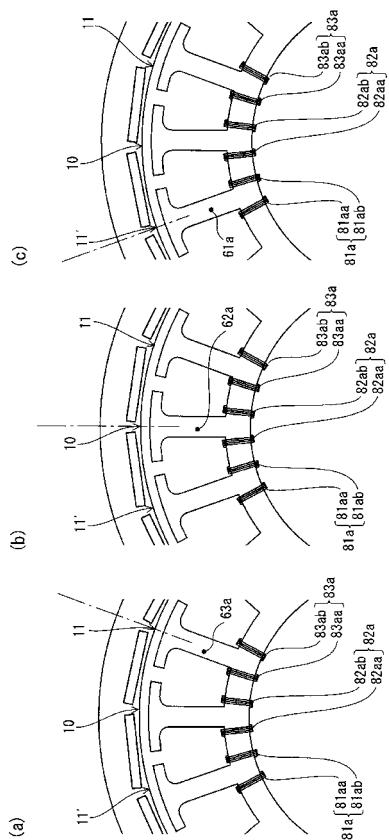
【図 1 5】



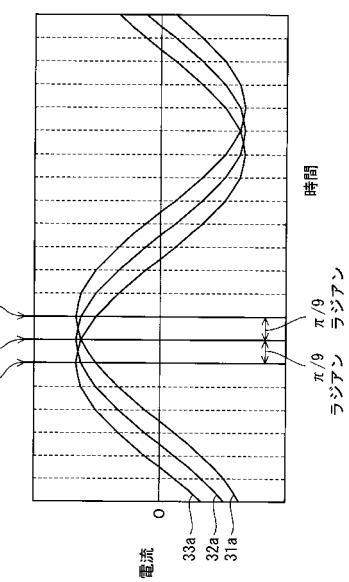
【図 1 6】



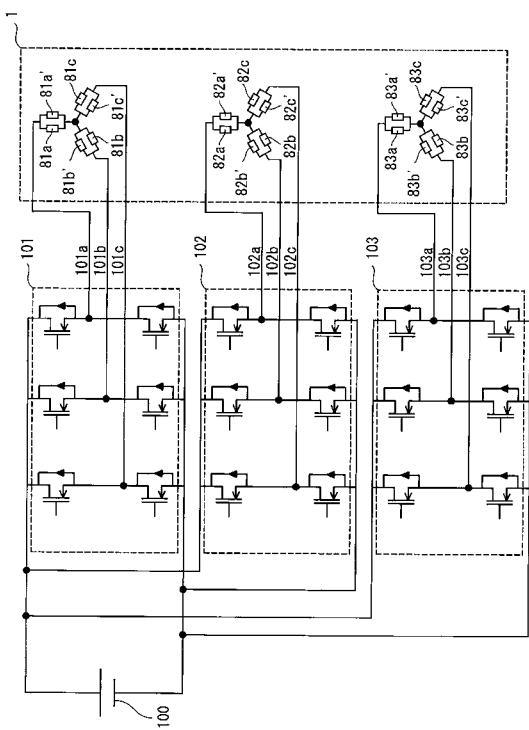
【図17】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【手続補正書】

【提出日】平成23年2月21日(2011.2.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースは、それぞれ周方向に並ぶ所定個数の固定子ティース単位で、複数の固定子ティース組を構成し、当該複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、

前記所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、

前記所定個数の固定子ティースのそれれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する少なくとも一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に、ひとつの相の巻線を構成するメイン巻線がそれぞれ巻回されており、

前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつにおいて、前記固定子ヨーク部分に、前記メイン巻線に加えて、前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線がさらに巻回されており、

前記サブ巻線は、当該サブ巻線を含む前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれる他のメイン巻線に直列に結線されており、

各巻線に加えられた交流電流によって各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている

ことを特徴とする同期電動機。

【請求項2】

前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組は、当該固定子ティース組に隣接する固定子ティース組であること

を特徴とする請求項1記載の同期電動機。

【請求項3】

各固定子ティース組において、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくとも二つには、これらに対応づけてサブ巻線が巻回されており、

前記ひとつの相の巻線は、固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するメイン巻線全てと、当該固定子ティース組からみて電気角で進んだ位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線と、前記固定子ティース組からみて電気角で遅れた位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線とを直列に結線して構成されていること

を特徴とする請求項1記載の同期電動機。

【請求項4】

各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースのうちの第1の固定子ティースに対応づけてメイン巻線のみが巻回され、これに隣接する第2の固定子ティースに対応づけてメイン巻線およびサブ巻線が巻回されており、

前記第1の固定子ティースと前記回転子の磁極とが所定の位置関係になったときに当該第1の固定子ティースから生じる磁界が最大となり、前記回転子が回転して前記第2の固定子ティースと前記回転子の磁極とが前記所定の位置関係と同一の位置関係になったときに当該第2の固定子ティースから生じる磁界が最大となるように、前記第2の固定子ティ

ースに対応づけて巻回されているメイン巻線およびサブ巻線の巻線比率が定められていること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 5】

各固定子ティース組において、前記第 1 の固定子ティースに生じる磁界の最大値と前記第 2 の固定子ティースに生じる磁界の最大値とが同じになるように、前記第 1 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線および前記第 2 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線及びサブ巻線のそれぞれの巻数が定められていること

を特徴とする請求項 4 に記載の同期電動機。

【請求項 6】

磁極の数を A (但し、A は 2 以上の偶数)、固定子ティースの数を B (但し、B は A と等しくない 3 の倍数) とし、 $A / 2$ とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、 $B / 3$ とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

$k = 3m$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P \text{ となり、}$$

$k = 3m + 1$ 、または $k = 3m + 2$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \text{ となる巻線比係数 を定義し、}$$

同相の巻線が、隣接する 6 個の固定子ヨーク部分それぞれに 1 個づつ巻回され、前記 6 個の巻線が直列に接続されており、その巻線の巻数の比率を順に $+N_1$ 、 $-N_2$ 、 $+N_3$ 、 $-N_3$ 、 $+N_2$ 、 $-N_1$ としたとき (但し、 $+N_n$ (n は 1、2、3 のいずれか) と、 $-N_n$ とは、巻数が同じで巻回する向きが逆である)、

N_1 は、 $\sin(\)$ にほぼ等しく、

N_2 は、 $\sin(\) + \sin(\ / 3 - \)$ にほぼ等しく、

N_3 は、 $\sin(\ / 3) + \sin(\ / 3 - \)$ にほぼ等しいこと

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 7】

前記回転子は、前記固定子を中心にその外周を回転し、

前記複数の固定子ティースは、前記固定子ヨークの外周面から径方向外側に放射状に突出しており、

前記固定子ヨークからは、さらに、各固定子ティースが突出する径方向の内側に向けて、前記外側に突出する固定子ティースと同数の固定子ティースが前記固定子ヨーク内周面から突出しており、

前記同期電動機は、さらに、前記固定子の内周を回転する回転子を備えることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 8】

前記複数の固定子ティースのうち少なくとも 1 つは、前記回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子ティースの配置間隔だけずれしていくスキュー配置が施されていることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 9】

前記同期電動機は永久磁石埋め込み型であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 10】

前記複数の固定子ヨーク部分は、3 相のうちの 1 相の巻線を一芯状に集中巻された第 1 の固定子ヨーク部分と、3 相のうちの 2 相の巻線を一芯状に集中巻された第 2 の固定子ヨーク部分とを含み、

第 1 の固定子ヨーク部分に隣接した第 2 の固定子ヨーク部分に巻回された複数の巻線のうちいずれか 1 つの巻線の相は、隣接する第 1 の固定子ヨーク部分の巻線と同じ相の巻線であること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 11】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティース数を k とした場合に、

k = 3 m のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 1 相の巻線又は 3 相のうちの 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数を N1 としたとき、第 1 の固定子ヨーク部分と隣接した第 2 の固定子ヨーク部分の巻線は、第 1 の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しく、$$

他の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しいこと$$

を特徴とした請求項 10 に記載の同期電動機。

【請求項 12】

第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数と、第 2 の固定子ヨーク部分における 2 種類の巻線の巻数の和とが等しいこと

を特徴とする請求項 10 記載の同期電動機。

【請求項 13】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

k = 3 m のとき

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の相の巻線と第 2 の相の巻線の巻数比率が、

$$\sin(\theta) / \sin(\theta / 3) と \sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3) との比に
ほぼ等しくなること$$

を特徴とした請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 14】

前記サブ巻線は、前記メイン巻線よりも巻数が少ない、請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 15】

同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、

前記同期電動機は、

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースのそれぞれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に巻回された巻線と、当該固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する他方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に前記巻線の逆方向に巻回された巻線とが直列に結線された固定子巻線をさらに備え、

複数の固定子巻線は、周方向に並ぶ m 個単位で (m は 2 以上の整数) 固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、

各固定子巻線組において、固定子巻線組に含まれる複数の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のうち 1 つの固定子巻線を構成する巻線が巻回された前記固定子ヨーク部分の少なくとも一方に、前記 1 つの固定子巻線に隣り合う固定子巻線を構成する巻線がさらに巻回されており、

前記駆動装置は、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれぞれに、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする同期電動機駆動システム。

【請求項 1 6】

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれは、その一端はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続され、他端は当該固定子巻線を含む固定子巻線組とは異なる固定子巻き線組に含まれる他の固定子巻線に接続されている、

請求項 1 5 に記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 7】

前記複数の固定子巻線組は、隣り合う固定子巻線組の間隔が電気角で $2 / 3$ ラジアンに相当する間隔となるように並んでおり、

前記他端は当該固定子巻線と電気角が $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位置の他の固定子巻線に接続されており、

前記駆動装置は、

任意の固定子巻線組に含まれる任意の固定子巻線と、前記任意の固定子巻線組に隣り合う固定子巻線組に含まれる前記任意の固定子巻線に対応する固定子巻線とに、互いに $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 6 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 8】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 9】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには同極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 0】

各固定子巻線組は、第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線から構成され、

前記第 1 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で π ラジアンよりも進んだ位置に配され、

前記第 3 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で π ラジアンよりも遅れた位置に配されており、

前記第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線は、それぞれ独立した個別の外部端子に接続され、かつ、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには隣り合う固定子巻線が互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記第 1 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が遅れた電流を供給し、前記第 3 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が進んだ電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 1】

前記第 1 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみ

て回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ進んでおり、前記第3の固定子巻線が配された位置は、前記第2の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ遅れており、前記第1の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第2の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ遅れており、前記第3の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第2の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ進んでいることを特徴とする請求項20記載の同期電動機駆動システム。

【請求項22】

各固定子巻線組において、m個の固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で等間隔に並んでいることを特徴とする請求項15記載の同期電動機駆動システム。

【請求項23】

各固定子巻線組において、m個の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されていることを特徴とする請求項15記載の同期電動機駆動システム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

[0024]

回転子2は、回転子コア4および複数の永久磁石5を含み、永久磁石5は回転子コア4に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石5によって構成される磁極6は、固定子3に対してN極、S極が交互に配置された磁極対を構成している。磁極対N極、S極は電気角で $2\pi / 3$ ラジアンとなり、隣り合う磁極の配置間隔は電気角で $\pi / 3$ ラジアンとなる。本実施形態では、回転子の磁極は20極であり、機械角に対して電気角が10倍の関係となっている。

[0025]

固定子3は、環状の固定子ヨーク7Y、固定子ヨーク7Yから半径方向に回転子2に向かって突出して成る18個の固定子ティース7(7a、7ac、7ab...)及び固定子ヨーク7Yにおける隣接した固定子ティースに挟まれた部分(以下、固定子ヨーク部分という。)それに巻回された固定子巻線(91a、91c、91b、93d、92e...)を含む。固定子ヨーク部分に巻回された固定子巻線は、メイン巻線及びサブ巻線を含む。巻数の多い方をメイン巻線と称し、巻数の少ない方をサブ巻線と称している。

[0026]

また、複数の固定子ティース7は、固定子の周方向に並ぶ3個単位で固定子ティース組8(8a、8b、8c、8a'、8b'、8c')を構成している。回転子2の周方向に並べられた磁極数は全部で20極であり、固定子ティースの数は全部で18となっており、半周当たり10/9でずれて配置されている。

[0027]

図1において、反時計回転方向を+方向とすると、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8bは機械角で -60° 、電気角で $+2\pi / 3$ ラジアンずれて配置されている。また、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8cは機械角で $+60^\circ$ 、電気角で $+4\pi / 3$ ラジアン($-2\pi / 3$ ラジアン)ずれて配置されている。よって、固定子ティース組8a、固定子ティース組8b、固定子ティース組8cは互いに電気角で $2\pi / 3$ ラジアンの間隔の配置となる。なお、本実施形態の同期電動機は、固定子ティース組8a、固定子ティース組8b、固定子ティース組8cの組み合わせ

【手続補正書】

【提出日】平成23年4月28日(2011.4.28)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、同期電動機の巻線構成に関し、特に、トルク性能を向上させる技術に関する。

【背景技術】

【0002】

コンプレッサ、電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等に用いられる同期電動機には、小型軽量、高出力、低振動、低騒音、高効率の要請から、特に高トルクかつ低トルク脈動であることが求められる。

【0003】

永久磁石を回転子鉄心の表面に配置した、いわゆる表面磁石型同期電動機の場合、永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が90°であるとき、すなわち、回転子の磁極間と、固定子巻線が巻回された固定子ティースとが対向した位置関係でその固定子巻線に供給される電流が最大になるとき、永久磁石によるトルク（マグネットトルク）が最大となる。永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が90°からずれるとトルクは減少する。

【0004】

また、永久磁石を鉄心の内部に配置した、いわゆる永久磁石埋込み型同期電動機の場合、永久磁石によるマグネットトルクに加え、回転子と固定子の位置による磁気抵抗の差による突極性に基づくリラクタンストルクが発生する。リラクタンストルクは、永久磁石による界磁と電機子電流との位相差が45°近傍であるときに最大となる。従って、永久磁石埋込み型同期電動機のトルクは、マグネットトルクとリラクタンストルクとを合わせたトルクとなり、界磁と電機子電流との位相差0°から45°近傍で最大トルクとなる。

【0005】

一般に同期電動機のトルクは、永久磁石による界磁の高調波成分の影響や、電機子電流の高調波成分の影響等に基づく脈動成分をもつ。そこでトルク脈動を低減するために、同じ位相の電流が流れる固定子巻線の配置間隔（角度）を回転子の磁極間隔（角度）から機械的にずらす技術がある。このようにすると、互いの固定子巻線に生じるトルク脈動の位相がずれ、トルク脈動を打消すことができ、その結果、低振動、低騒音を実現することができる。低振動、低騒音の実現に関して下記の技術が開示されている。

【0006】

特許文献1は、環状のヨーク部の内側ティース部と、外側ティース部に、トロイダル巻きを施した複数のコイル部と、前記内側ティース部に対応する内側ロータと、前記外側ティース部に対応する外側ロータとを備えて構成された電動機であって、外側ロータと内側ロータの極の変わり目を任意の角度にずらして取り付けていることで低振動な電動機を開示している。

【0007】

また、特許文献2は、外側ロータ部の磁気突極部と内側ロータ部の磁気突極部とを周方向同位置とし、内周側スロット部と外周側スロット部とを周方向同位置とすることにより、固定子の外周側ティースと内周側ティースとに働く磁気突極部との間の電磁力の径方向成分は相殺されるため、その周期変動による振動が減ることを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2007-209199号公報

【特許文献2】特開2001-268866号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0009】**

上記の通り、回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で配置された固定子ティースに、それぞれ固定子巻線を巻回し、これらの固定子巻線に同じ位相の電流を供給することとした場合、各固定子ティースから生じるトルク脈動の位相をずらすことができ、その結果、全体としてのトルク脈動を低減することができる。

【0010】

しかしながら、上記構成では、ある固定子ティースが回転子の磁極との関係で最大トルクを生みだす位置にあるとき、その固定子ティースから回転子の磁極間隔と異なる間隔で配置された固定子ティースは、最大トルクを生みだす位置からはずれた位置にあることとなり、最大トルクを生みだすことができない。すなわち従来の技術では、トルク脈動を低減しようとすると全体のトルクが減少してしまうという課題がある。

【0011】

そこで本発明は、上記課題に鑑み、トルク脈動を低減しつつ、トルクの減少を抑制することができる技術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】**【0012】**

本発明に係る同期電動機は、周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、前記複数の固定子ティースは、周方向に並ぶ所定個数単位で固定子ティース組を構成し、当該構成された複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、各固定子ティース組において、固定子ティース組に含まれる所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、前記所定個数の固定子ティースそれぞれに対応づけて、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分の少なくとも一方にひとつの相の巻線を構成するメイン巻線が巻回されており、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつについては、当該固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれるメイン巻線に直列に結線されて前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線が前記固定子ヨーク部分にさらに巻回されており、前記全ての巻線それぞれに三相交流電流のいずれかが加えられることにより各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている。

【発明の効果】**【0013】**

本発明の同期電動機によれば、以下のような効果を得ることができる。

上記構成では、各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースは回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並んでいるので、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。

【0014】

また、上記構成によれば、ひとつの固定子ティースに対応づけて巻回されたメイン巻線およびサブ巻線は、それぞれ異なる相の巻線の一部分となる。そのため、当該固定子ティースに生じる磁界は、メイン巻線に基づく磁界とサブ巻線に基づく磁界とをベクトル合成したものとなる。このベクトル合成により得られる磁界の大きさおよび位相は、メイン巻線およびサブ巻線の巻数を調整することにより任意に調整することができる。したがって、固定子ティースが回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で配置されていても、何れの固定

子ティースも最大トルクを生みださせることができ、その結果、全体としてのトルクを高めることができる。

【0015】

なお、上記構成では、メイン巻線およびサブ巻線に集中巻が採用されているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって、小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

【0016】

また、本発明の同期電動機駆動システムは、同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、前記同期電動機は、周方向に等間隔に配設された複数の磁極を含む回転子と、環状の固定子ヨークから前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが突出し、当該固定子ティースと、隣接する両固定子ティースに挟まれた両固定子ヨーク部分に当該固定子ティースに対応する固定子巻線が分けて巻回された固定子とを備え、前記複数の固定子巻線は、周方向に並ぶm個単位で（mは2以上の整数）固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、各固定子巻線組において、m個の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、かつ、それぞれ独立した外部端子に個別に接続されており、前記駆動装置は、前記複数の固定子巻線に電流を供給するにあたり、各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、それぞれが個別に接続された外部端子を通じて、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとの磁極の配置間隔と固定子ティースの配置間隔との相違に起因するタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給する。

【0017】

上記構成では、前記一対の固定子巻線は回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並んでいるので、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。さらに前記一対の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されており、これらの固定子巻線には互いに位相が異なる電流が供給される。すなわち回転子の磁極による界磁と固定子巻線に供給される電機子電流との位相差を個別に制御することが可能である。これらよりトルクの減少を抑えつつトルク脈動を低減することができる。

【0018】

なお上記構成では固定子巻線に集中巻を採用しているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

【0019】

また、上記構成によれば、磁極の数と固定子ティースの数の組み合わせの自由度が高くなる。例えば、20極であれば、一般的に30ティースであるが、磁極数に対して固定子ティース数を小さくした、例えば、20極18ティースの組み合わせが成立し、極数の割りにティース数を少なくでき、電動機の小型化に有効であり、また巻線の工数を低減できる。

【0020】

なお、上記構成では、第1の巻線および第2の巻線は何れも固定子ヨーク部分に集中巻に巻回されているので、分布巻を採用した同期電動機に比べてコイルエンド部を低く、かつ、巻線の配線長を短くすることができる。したがって、小型で高効率な同期電動機を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の平面図

【図2】第1の実施形態に係る同期電動機の平面図

【図3】第1の実施形態に係る固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図

- 【図4】第1の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図
- 【図5】第2の実施形態に係る同期電動機の平面図
- 【図6】第2の実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図
- 【図7】第3の実施形態に係る同期電動機の平面図
- 【図8】第3の実施形態に係る同期電動機の巻線構成図
- 【図9】第3の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図
- 【図10】従来の同期電動機の詳細図
- 【図11】トルクの時間変化を示す図
- 【図12】第4の実施形態に係る同期電動機の平面図
- 【図13】第4の実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図
- 【図14】第4の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相をベクトルで表したベクトル図
- 【図15】第5の実施形態に係る同期電動機の詳細図
- 【図16】第5の実施形態に係る同期電動機の固定子巻線の結線を説明するための図
- 【図17】第5の実施形態に係る固定子と回転子の位置関係を示す図
- 【図18】第5の実施形態に係る各固定子巻線に流した電流の時間変化を示した図
- 【図19】第5の実施形態に係る同期電動機駆動システムの全体構成を示す図
- 【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明の一実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

1. 第1の実施形態

図1は、本発明の第1の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の平面図、図2は、図1の同期電動機の詳細図である。同期電動機1は、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型の同期電動機であり、回転子2及び固定子3から構成される。

【0023】

回転子2は、回転子コア4および複数の永久磁石5を含み、永久磁石5は回転子コア4に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石5によって構成される磁極6は、固定子3に対してN極、S極が交互に配置された磁極対を構成している。磁極対N極、S極は電気角で2ラジアンとなり、隣り合う磁極の配置間隔は電気角で1ラジアンとなる。本実施形態では、回転子の磁極は20極であり、機械角に対して電気角が10倍の関係となっている。

【0024】

固定子3は、環状の固定子ヨーク7Y、固定子ヨーク7Yから半径方向に回転子2に向かって突出して成る18個の固定子ティース7(7a、7ac、7ab...)及び固定子ヨーク7Yにおける隣接した固定子ティースに挟まれた部分(以下、固定子ヨーク部分という。)それぞれに巻回された固定子巻線(91a、91c、91b、93d、92e...)を含む。固定子ヨーク部分に巻回された固定子巻線は、メイン巻線及びサブ巻線を含む。巻数の多い方をメイン巻線と称し、巻数の少ない方をサブ巻線と称している。

【0025】

また、複数の固定子ティース7は、固定子の周方向に並ぶ3個単位で固定子ティース組8(8a、8b、8c、8a'、8b'、8c')を構成している。回転子2の周方向に並べられた磁極数は全部で20極であり、固定子ティースの数は全部で18となっており、半周当り10/9でずれて配置されている。

【0026】

図1において、反時計回転方向を+方向とすると、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8bは機械角で-60°、電気角で+2/3ラジアンずれて配置されている。また、固定子ティース組8aに対して、固定子ティース組8cは機械角で+60°、電気角で+4/3ラジアン(-2/3ラジアン)ずれて配置されている。よって、固定子ティース組8a、固定子ティース組8b、固定子ティース組8cは互いに電気角で2/3ラジアンの間隔の配置となる。なお、本実施形態の同期電動機は、固定子ティ-

ス組 8 a、固定子ティース組 8 b、固定子ティース組 8 c の組み合わせが周方向に 2 組、(固定子ティース組 8 a'、固定子ティース組 8 b'、固定子ティース組 8 c') 繰り替えされた配置となる。

【0027】

次に、図 2 を用いて、固定子ティース組 8 a の構成を詳細に述べる。

図 2 に示すように、固定子ティース組 8 a は、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティース 7 a と、これに隣接する固定子ティース 7 a b, 7 a c とから構成されている。反時計回転方向を + 方向とすると、固定子ティース 7 a b は、固定子ティース 7 a からみて電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン遅れた位置に配置されており、固定子ティース 7 a c は、固定子ティース 7 a からみて電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン進んだ位置に配置されている。

【0028】

図 3 は、固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図である。

同期電動機 1 は、三相交流電源を 1 個用いて U 相、V 相、W 相の三相で駆動され、各固定子巻線には、3 相の電流のいずれかが流されることになる。以下、第 1 の相 (U 相) の電流が流される固定子巻線を U 相巻線、第 2 の相 (V 相) の電流が流される固定子巻線を V 相巻線、第 3 の相 (W 相) の電流が流される固定子巻線を W 相巻線ということがある。

【0029】

図 3 に示すように、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティースには、同相の電流が流される固定子巻線が両隣の固定子ヨーク部分に巻回されている。そして、これに隣接する固定子ティースには、両隣の固定子ヨーク部分の一方に基準の固定子ティースの固定子巻線と同相の電流が流される固定子巻線が巻回され、他方には異なる相の電流が流される固定子巻線が巻回されている。具体的には、回転子との位相関係を示す基準の固定子ティース 7 a の左隣の固定子ヨーク部分には、U 相巻線 9 1 a b が巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には U 相巻線 9 1 a c が巻回されている。ここで、U 相巻線 9 1 a b と U 相巻線 9 1 a c を合わせて U 相巻線 9 1 a という。

【0030】

また、固定子ティース 7 a b の右隣の固定子ヨーク部分には U 相巻線 9 1 b が巻回され、左隣の固定子ヨーク部分には V 相巻線 9 2 e が巻回されている。固定子ティース 7 a c の左隣の固定子ヨーク部分には U 相巻線 9 1 c が巻回され、右隣の固定ヨーク部分には W 相巻線 9 3 d が巻回されている。また、固定子ティース 7 b a の右隣の固定子ヨーク部分には U 相巻線 9 1 d が巻回され、左隣の固定ヨーク部分には V 相巻線 9 2 c が巻回されている。また、固定子ティース 7 c a の左隣の固定子ヨーク部分には U 相巻線 9 1 e が巻回され、右隣の固定ヨーク部分には W 相巻線 9 3 b が巻回されている。各巻線の巻数及び巻回方向については後述する。

【0031】

固定子ティース組 8 a に含まれる U 相巻線 9 1 a, 9 1 b, 9 1 c と、固定子ティース組 8 b に含まれる U 相巻線 9 1 d と、固定子ティース組 8 c に含まれる U 相巻線 9 1 e とが、直列に結線され 1 つの U 相巻線 9 1 を構成している。ここで、U 相巻線 9 1 a, 9 1 b, 9 1 c は、メイン巻線であり、U 相巻線 9 1 d, 9 1 e はサブ巻線である。U 相巻線 9 1 の端部 2 1 a は U 相の入力端子に接続され、U 相巻線 9 1 の端部 2 1 n は中性点に接続される。なお、便宜上「直列に結線」と表現しているが、固定子ティース毎に線材を個別に巻回して事後的に接続することに限らず、一本の線材を連続的に各固定子ティースに巻回して構成することも含むものとする。

【0032】

U 相巻線 9 1 と同様に、V 相巻線 9 2 は、固定子ティース組 8 b に含まれる V 相巻線 (固定子ティース 7 b の左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線 (9 2 a b) 及び右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線、固定子ティース 7 b の右側の固定子ティースの右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線、固定子ティース 7 b の左側の固定子ティース (7 b a) の左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線 (9 2 c)) と、固定子ティース組 8

c' に含まれる V 相巻線と、固定子ティース組 8 a に含まれる V 相巻線 (92e) とを直列に結線して構成されている。V 相巻線 92 の一方の端部 22a は V 相の入力端子に接続され、V 相巻線 92 の他方の端部は中性点に接続される。

【0033】

同様に、W 相巻線 93 は、固定子ティース組 8c に含まれる W 相巻線 (固定子ティース 7c の左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線及び右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線 (93ac))、固定子ティース 7c の右側の固定子ティース (7ca) の右隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線 (93b) 、固定子ティース 7c の左側の固定子ティースの左隣の固定子ヨーク部分に巻回された巻線) と、固定子ティース組 8b' に含まれる W 相巻線と、固定子ティース組 8a に含まれる W 相巻線 (93d) とを直列に結線して構成されている。W 相巻線 93 の一方の端部は W 相の入力端子に接続され、固定子巻線 93 の他方の端部 (23n) は中性点に接続される。

【0034】

同期電動機 1 では、固定子巻線 91, 92, 93 の組み合わせが周方向に 2 組繰り返された配置となる。

1.1. 固定子ティースに生じる磁界

図 4 は、本発明の第 1 の実施形態に係る磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図である。図 2、図 3 及び図 4 を用いて固定子ティースに生じる磁界について説明する。

【0035】

同期電動機 1 は三相同期電動機であり、U 相、V 相、W 相の電流の位相差は電気角で $2\pi/3$ ラジアンである。U 相の電流が最大値のとき、固定子ティース 7a に係る U 相巻線 91 (91a) に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図 4 に H2 で示す。U 相の電流が最大値のとき、固定子ティース 7ab に係る U 相巻線 91 (91b) に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図 4 に -U2 で示し、固定子ティース 7ab に係る V 相巻線 92 (92e) に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図 4 に V3 で示す。これらを合成して得られる磁界のベクトルを図 4 に H1 で示す。また、U 相の電流が最大値のとき、固定子ティース 7ac の U 相の巻線 91 (91c) に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図 4 に -U2 で示し、固定子ティース 7ac の W 相の巻線 93 (93d) に流れる電流により生じる磁界のベクトルを図 4 の W3 で示す。これらを合成して得られる磁界のベクトルを図 4 に H3 で示す。

【0036】

図 2において、固定子ティース 7a からみて固定子ティース 7ab は、電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン遅れた位置にある。このような位置関係にある固定子ティース 7ab に、磁界 H2 に対して電気角で $\pi/9$ ラジアンから $\pi/9$ ラジアンだけ進んだ磁界 H1 が生じるので、固定子ティース 7ab の軸と回転子の磁極間 11 とが一致したときに固定子ティース 7ab に最大の磁界を生じさせると共に、固定子ティース 7a の軸と回転子の磁極間 10 とが一致したときに固定子ティース 7 に最大の磁界を生じさせることができる。

【0037】

また、図 2において、固定子ティース 7a からみて固定子ティース 7ac は、電気角で $\pi/9$ ラジアンずれた位置から $\pi/9$ ラジアン進んだ位置にある。このような位置関係にある固定子ティース 7ac に、磁界 H2 に対して電気角で $\pi/9$ ラジアンから $\pi/9$ ラジアンだけ遅れた磁界 H3 が生じるので、固定子ティース 7a の軸と回転子の磁極間 10 とが一致したときに固定子ティース 7a に最大の磁界を生じさせると共に、固定子ティース 7ac の軸と回転子の磁極間 11' とが一致したときに固定子ティース 7ac に最大の磁界を生じさせることができる。

【0038】

このように本実施形態では、固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができます。また、

各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができる。

【0039】

1.2.巻数の詳細説明

上記の磁界を発生するための各巻線の巻数、巻回方向の一例について図3及び図4を用いて説明する。

【0040】

固定子ティース7aにU相磁界H2を発生するためのU相巻線91abの巻数を+Un1とし、U相巻線91acの巻数を-Un1とする。ここで、巻数に+/-の符号を付しているが、+は固定子ヨーク部に時計方向の磁界を発生する巻方向(以下、+方向という。)で巻回していることを表し、-はヨーク部に反時計方向の磁界を発生する巻方向(以下、-方向という。)に巻回していることを表す。 $+Un1$ と $-Un1$ とは、巻回方向が逆であるが、巻数自体は $Un1$ で等しい。

【0041】

固定子ティース7abについては、U相磁界-U2とV相磁界+V3とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7abの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7abに最大の磁界を生じさせることができる。具体的には、固定子ティース7abにU相磁界-U2を発生するためのU相巻線91acの巻数を-Un2とし、U相巻線91bの巻数を+Un2とする。固定子ティース7abにV相磁界+V3を発生するためのV相巻線92eの巻数を+Vn3とし、V相巻線92cの巻数を-Vn3とする。

【0042】

また、固定子ティース7acについては、U相磁界-U2とW相磁界+W3とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7acの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7acに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7a cにU相磁界-U2を発生するためのU相巻線91cの巻数を-Un2とし、U相巻線91abの巻数を+Un2とする。固定子ティース7acにW相磁界+W3を発生するためのW相巻線93bの巻数を+Wn3とし、W相巻線93dの巻数を-Wn3とする。

【0043】

また、固定子ティース7caについては、U相磁界+U3とW相磁界-W2とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7caの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7caに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7caにU相磁界+U3を発生するためのU相巻線91eの巻数を+Un3とし、U相巻線91cを-Un3とする。固定子ティース7caにW相磁界-W2を発生するためのW相巻線93acの巻数を-Wn2とし、W相巻線93bの巻数を+Wn2とする。

【0044】

また、固定子ティース7baについては、U相磁界+U3とV相磁界-V2とを合成した磁界を発生させることで、固定子ティース7baの軸と回転子の磁極間とが一致したときに固定子ティース7baに最大の磁界を生じさせることができる。固定子ティース7baにU相磁界+U3を発生するためのU相巻線91bの巻数を+Un3とし、U相巻線91dを-Un3とする。固定子ティース7baにV相磁界-V2を発生するためのV相巻線92cの巻数を-Vn2とし、V相巻線92abの巻数を+Vn2とする。

【0045】

ここで、上記の巻線においてU相巻線に着目すると、巻線91eの巻数は+Un3であり、巻線91cの巻数は-Un2と-Un3の和であり、巻線91abの巻数は+Un1と+Un2の和である。また、巻線91acの巻数は-Un1と-Un2の和であり、巻線91bの巻数は+Un2と+Un3との和であり、巻線91dの巻数は-Un3である。

【0046】

また、本実施の形態では、磁極の数は20であり、固定子ティースの数は18であり、

磁極対数は $20 / 2 = 10$ である。1相当りの固定子ティースの数は、 $18 / 3 = 6$ であり、3の倍数である。よって、巻線比係数 K は以下の式で計算できる。

【0047】

$$\begin{aligned} &= |2 / A - 2 / B| \times P \\ &= |2 / 20 - 2 / 18| \times 10 \\ &= / 9 \text{ ラジアン} \end{aligned}$$

また、 U_{n2} と U_{n1} の関係、及び V_{n3} と V_{n1} の関係は、以下の通りである。

【0048】

$$\begin{aligned} U_{n2} &= (U_{n1}) \times \sin(/ 3 -) / \sin(/ 3) \\ &= (U_{n1}) \times \sin(2 / 9) / \sin(/ 3) \\ V_{n3} &= (V_{n1}) \times \sin() / \sin(/ 3) \\ &= (V_{n1}) \times \sin(/ 9) / \sin(/ 3) \end{aligned}$$

図4に示す通り、以上の巻数でベクトル合成された固定子ティース7abに発生する磁界は、固定子ティース7aで示したU相に対して反転した（ラジアンずれた）-U相に対して / 9 ラジアン進んだ位相の電流のみを通電することで固定子ティース7abに発生する磁界と等価となる。

【0049】

ここで、比例係数を $K = (U_{n1}) / \sin(/ 3)$ とすると、U相巻線91eの巻数は $+U_{n3}$ であり、下式が成り立つ。

$$\begin{aligned} +U_{n3} &= (U_{n1}) \times \sin() / \sin(/ 3) \\ &= \{ (U_{n1}) / \sin(/ 3) \} \times \sin() \\ &= \{ \sin() \} \times K \end{aligned}$$

また、U相巻線91cの巻数は $-U_{n3} - U_{n2}$ であり、下式が成り立つ。

【0050】

$$\begin{aligned} -U_{n3} - U_{n2} &= - (U_{n1}) \times \sin() / \sin(/ 3) \\ &\quad - (U_{n1}) \times \sin(/ 3 -) / \sin(/ 3) \\ &= - \{ (U_{n1}) / \sin(/ 3) \} \{ \sin() + \sin(/ 3 \\ &\quad) \} \\ &= - \{ \sin() + \sin(/ 3 -) \} \times K \end{aligned}$$

また、U相巻線91abの巻数は、 $+U_{n2} + U_{n1}$ であり、下式が成り立つ。

【0051】

$$\begin{aligned} +U_{n2} + U_{n1} &= (U_{n1}) \times \sin(/ 3 -) / \sin(/ 3) + (U_{n1} \\ &\quad) \\ &= (U_{n1}) \times \{ 1 + \sin(/ 3 -) / \sin(/ 3) \} \\ &= \{ (U_{n1}) / \sin(/ 3) \} \times \{ 1 \times \sin(/ 3) + \sin(/ 3 - \\ &\quad) \} \\ &= \{ \sin(/ 3) + \sin(/ 3 -) \} \times K \end{aligned}$$

また、U相巻線91acの巻数は、 $-U_{n1} - U_{n2}$ であり、下式が成り立つ。

【0052】

$$\begin{aligned} -U_{n1} - U_{n2} &= - \{ \sin(/ 3) + \sin(/ 3 -) \} \times K \\ \text{また、U相巻線91bの巻数は、} &+U_{n2} + U_{n3} \text{ であり、下式が成り立つ。} \end{aligned}$$

$$+U_{n2} + U_{n3} = \{ \sin(/ 3 -) + \sin() \} \times K$$

また、U相巻線91dの巻数は、 $-U_{n3}$ であり、下式が成り立つ。

【0053】

$$-U_{n3} = - \{ \sin() \} \times K$$

ここで、U相巻線91e、91c、91ab、91ac、91b、91dの巻数をそれぞれ $+N_1$ 、 $-N_2$ 、 $+N_3$ 、 $-N_3$ 、 $+N_2$ 、 $-N_1$ とし、 $= / 9$ ラジアン、 $K = 100$ とした場合、 N_1 、 N_2 、 N_3 の具体的な値は下記のようになる。

【0054】

$$N_1 = \{ \sin() \} \times 100 \quad 34 \text{ (ターン)}$$

$$N_2 = \{ \sin(\theta / 3 - \phi) + \sin(\theta / 3) \} \times 100 \quad 98 \text{ (ターン)}$$

$$N_3 = \{ \sin(\theta / 3) + \sin(\theta / 3 - \phi) \} \times 100 \quad 151 \text{ (ターン)}$$

なお、上記の式では、右辺と左辺とがほぼ等しいことを示す記号()を用いているが、これは実際には完全に一致させることが困難な場合が多いのである。上記の記号は、右辺が小数になる場合にはその小数に近い整数を採用する程度の一致を含み、さらには、設計上誤差として無視できる程度の一致を含むこととする。U相の場合と同様に、U相に対して各々 $2\pi / 3$ ラジアンずれた位置に配置したV相、W相についても巻数を決定できる。固定子ヨーク部分に巻回された巻線の巻数は上記3相の内2種類の巻線で構成され($N_1 + N_3$)ターン、($N_2 + N_3$)ターン、($N_3 + N_1$)ターンが繰り返されることになる。

【0055】

また、本実施形態では、固定子ヨーク部分に固定子巻線を巻回するのに集中巻を採用している。そのため、固定子の端面の巻線いわゆるコイルエンドの小型化が図れ、同期電動機の小型化ができる。また、巻線のコイルエンドは、電流を流してもトルクに寄与しない部分であり、通電時の巻線抵抗によるジュール損である銅損を低下できることで高効率である。

【0056】

また、本実施形態では、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型を採用している。そのため、同じ体積で比較した場合、回転子が固定子の内周側に配置されたインナーロータ型に比べて、回転子径を大きくすることができる。したがって、本実施形態のような極数が20となるような同期電動機でも、永久磁石の大きさを小さくする必要がないので有効磁束の低下を防ぐことができる。

【0057】

また、本実施形態では、回転子磁極の数が20個、固定子ティースの数が18個の同期電動機について説明しているが、固定子ティースが9個や27個といった9の倍数に対して、回転子の磁極数が10の倍数の組み合わせ、すなわち $10q$ 極 $9q$ ティース (q は正の整数) の組み合わせであれば、電気角で上記の関係が成立する配置関係とすることで同様の効果が得られる。

【0058】

また、固定子ティースおよび回転子の磁極のいずれか、または両者を回転軸方向で旋回した構成とすることで、磁束変化がより滑らかになり、さらなる低振動な同期電動機とすることができる。

【0059】

また、固定子の磁性材を圧粉鉄心材や、薄板の磁性材や、アモルファス磁性材を用いることで鉄損を大幅に低減することができ、より高効率な同期電動機とすることができます。

また、1極を構成する永久磁石を複数個で構成することにより永久磁石に発生する渦電流損を低減でき、より高効率な同期電動機とすることができます。

【0060】

また、巻線の複数の細い径の巻線や、扁平な平角線とすることで巻線の表面積を拡大し、高周波駆動時の表皮効果を低減して高効率な同期電動機とすることができます。

2. 第2の実施形態

本実施形態が第1の実施形態と異なるのは、回転子が固定子の外周側だけでなく内周側にも配置され、それに伴い、固定子が、固定子ティースを固定子外径側だけでなく固定子内径側に備えている点である。

【0061】

図5は、本実施形態に係る同期電動機の平面図である。

図6は、本実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図である。

同期電動機33は、回転子2A、2Bおよび固定子23から構成される。

【0062】

固定子23の外側の回転子2Aは、回転子コア4Aおよび20個の永久磁石5Aを含み

、永久磁石 5 A は回転子コア 4 A に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石 5 A によって構成される N 極、S 極が交互に配置された磁極対は電気角で 2 ラジアンとなり、図 5 に破線で示した隣り合う磁極の配置間隔は電気角で ラジアンである。同様に、固定子 2 3 の内側の回転子 2 B は、回転子コア 4 B および 20 個の永久磁石 5 B を含み、永久磁石 5 B は回転子コア 4 B に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石 5 B によって構成される N 極、S 極が交互に配置された磁極対は電気角で 2 ラジアンとなり、図 5 に破線で示した隣り合う磁極の配置間隔は電気角で ラジアンである。

【 0 0 6 3 】

巻線に関しては、第 1 の実施形態と同様である。

以上の構成によれば、固定子ティースが固定子外径側だけでなく、固定子内径側にもあり、固定子ヨークの巻線に通電して発生する磁束が、固定子の外径側の回転子と内径の回転子に流れる。固定子の外周と内周に回転子を用いたので、巻線の利用率も高く、高トルクな同期電動機を容易に実現できる。

【 0 0 6 4 】

3 . 第 3 の実施形態

本実施形態は、第 1 の実施形態と巻線の巻数および結線が異なる。

巻線については、隣接する 2 つの固定子ヨーク部分それぞれに 2 種類ずつ固定子巻線を巻回し、この連続する 2 つの固定子ヨーク部分の両隣の固定子ヨーク部分それぞれには 1 種類の固定子巻線を巻回した構成としている。以下、第 1 の実施形態との相違点を中心に説明する。

【 0 0 6 5 】

3 . 1 . 構成

図 7 は、本実施形態に係る同期電動機の平面図、図 8 は、同期電動機の巻線構成図、図 9 は、磁界の大きさおよび位相を示すベクトル図である。

【 0 0 6 6 】

同期電動機 5 1 は回転子 2 、および固定子 1 3 から構成される。

回転子 2 については第 1 の実施形態と同じであり、固定子 1 3 についても固定子巻線の構成以外は第 1 の実施形態と同じである。

【 0 0 6 7 】

図 8 において、U 相巻線 1 8 6 が固定子ティース 7 a に対応づけて + 方向に巻回されている。

U 相巻線 1 8 7 は、固定子ティース 7 a b の右隣の固定子ヨーク部分に - 方向に巻回され、U 相巻線 1 8 5 は、固定子ティース 7 a c の右隣の固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。さらに、U 相巻線 1 8 9 が固定子ティース 7 b a の右隣の固定子ヨーク部分に + 方向に巻回されており、U 相巻線 1 8 3 が固定子ティース 7 c a の右隣の固定子ヨーク部分に + 方向に巻回されている。

【 0 0 6 8 】

U 相巻線について、巻線 1 8 6 は、固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

V 相巻線 1 8 8 、 1 9 0 、 1 9 1 、 1 9 2 、 1 9 4 についても、V 相巻線 1 8 8 、 1 9 1 、 1 9 4 が各固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、V 相巻線 1 9 0 、 1 9 2 が各固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。V 相巻線についても、巻線 1 9 1 は、固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

【 0 0 6 9 】

また、W 相巻線 1 7 7 、 1 7 9 、 1 8 1 、 1 8 2 、 1 8 4 についても、W 相巻線 1 7 7 、 1 8 1 、 1 8 4 が各固定子ヨーク部分に + 方向に巻回され、W 相巻線 1 7 9 、 1 8 2 が各固定子ヨーク部分に - 方向に巻回されている。また W 相巻線についても、W 相巻線 1 8 1 は固定子ヨーク部分に 1 種だけ巻回されており、他の巻線については、巻回されている固定子ヨーク部分に他種の巻線と共に巻回されている。

【0070】

例えば、図7に示すように、W相巻線182と、U相巻線183が同一の固定子ヨーク部分に巻回され、W相巻線184と、U相巻線185が同一の固定子ヨーク部分に巻回されている。U相巻線186は、単独で固定子ヨーク部分に巻回されており、U相巻線187と、V相巻線188が同一の固定子ヨーク部分に巻回され、U相巻線189と、V相巻線190とが同固定子ヨーク部分に巻回されている。

【0071】

3.2.発生磁界

以下、上述のように巻回された巻線構成によって各固定子ティースに生じさせる磁界について説明する。なお、固定子ティースと回転子磁極との位置関係が理解しやすいように、固定子ヨーク部分の左隣に位置する固定子ティースの中央と、回転子磁極間の関係に着目している。また、回転子は、反時計方向に回転するものとする。

【0072】

図7において、U相巻線186に対応する固定子ティース7aと回転子磁極間とが対向している。このとき固定子ティース7aは最大トルクを生み出し、このときのU相巻線186が生じさせる磁界を図9にH2として示している。

【0073】

U相巻線187とV相巻線188が巻回された固定子ヨーク部分の左隣の固定子ティース7abは、固定子ティース7aと対向した磁極に対して、ラジアン+ / 9ラジアン進んでいる。図9では、U相巻線187による磁界-U2とV相巻線188による磁界V3を示すベクトルの合成ベクトルH1を、U相に対してラジアン+ / 9ラジアン進んだ固定子ティース7abに発生する磁界を示すベクトルとして表している。

【0074】

同様に、U相巻線185とW相巻線184とが巻回された固定子ヨーク部分の左隣の固定子ティース7acは、固定子ティース7aと対向した磁極に対してラジアン+ / 9ラジアン遅れている。これは、位相関係においてラジアン- / 9ラジアン進んでいると等価である。図9では、W相巻線184による磁界W3と、U相巻線185による磁界-U2を示すベクトルの合成ベクトルH3を、U相に対してラジアン- / 9ラジアン遅れた固定子ティース7acに発生する磁界を示すベクトルとして表している。その他の固定子ヨーク部分に巻回された巻線による磁界（例えばH4、H5等）も同様である。このようなベクトルで表されるよう、巻数、巻方向を調整することで電流位相を各々トルクが最大となる位相に制御でき、高トルクかつ低振動な同期電動機を提供できる。

【0075】

3.3.トルクの比較

次に、本実施形態の同期電動機から得られるトルクと、従来の同期電動機から得られるトルクとを比較する。図10は、従来の同期電動機の詳細図である。従来の同期電動機は、本実施形態の同期電動機と巻線の構成が異なる。図10に示すように、固定子ティース87a, 87ab, 87acには、それぞれ巻線891a, 891b, 891cが巻回され、これらは直列に結線されており、巻線の一方の端部27aはU相の入力端子に接続され、他方の端部27nは中性点に接続される。各固定子ティースにはU相の巻線しか巻回されていないため、各固定子ティースに生じる磁界は同位相となる。すなわち固定子ティース87aの軸と回転子の磁極間10とが一致したときに固定子ティース87aに最大の磁界を生じさせることとすれば、固定子ティース87abと回転子の磁極間11とがずれたときに固定子ティース87abに最大の磁界が生じ、同様に固定子ティース87acと回転子の磁極間11'とがずれたときに固定子ティース87acに最大の磁界が生じる。そのため固定子ティース87aが生み出すマグネットトルクについては最大とすることができますが、固定子ティース87ab, 87acがそれぞれ生み出すマグネットトルクについては最大とすることができない。したがって、本実施形態に比べて、全体のトルクは低く、トルク脈動も大きい。

【0076】

図11は、トルクの時間変化を示す図である。

本実施形態の同期電動機から得られるトルク波形をT1で示し、従来の同期電動機から得られるトルク波形をT0で示す。トルクの大きさについては、本実施形態は従来に比べて105%高めることができた。また、平均トルクに対するトルク脈動の比であるトルク脈動率については、本実施形態は従来に比べて5.3%から0.5%まで大幅に低減させることができた。このように本実施形態によれば、従来トレードオフの関係と考えられていた高トルク化とトルク脈動の低減とを両立させることができた。

【0077】

4. 第4の実施形態

本実施形態は、 $10q$ 極 $12q$ ティース（ q は正の整数）の同期電動機である点が第1の実施形態と異なる。

【0078】

4.1. 構成

図12は、本実施形態に係る同期電動機の平面図であり、図13は、本実施形態に係る同期電動機の巻線構成模式図である。

【0079】

同期電動機41は、回転子42と固定子43から構成される。

回転子42は、回転子コア44および10個の永久磁石45を含み、永久磁石45は回転子コア44に回転子の周方向に等間隔に配置されている。永久磁石45によって構成される磁極46は、固定子43に対してN極、S極が交互に配置された磁極対を構成している。磁極対N極、S極は電気角で $2\pi/12$ ラジアンとなり、隣り合う磁極の配置間隔は電気角で $\pi/12$ ラジアンとなる。本実施形態では、回転子の磁極は10極であり、機械角に対して電気角が5倍の関係となっている。このように、磁極の個数が10であり、固定子ティースの個数が12であるため、固定子ティース47は円周に沿って半円あたり $5/6$ ずれて配置されている。なお、固定子ティース47は、固定子ティース47a b、47a c、47c a、47b a、47c b、47b cなど「固定子ティース47+添え字」で表したものと含めた固定子ティースの総称である。回転子磁極間410、411は、回転子に配置された永久磁石で構成された磁極Nと磁極Sとの間の磁気中立点の位置を意味する。ここでは、機械的にも磁石と磁石との間の位置となっている。反時計回転方向にみてN極からS極に変わる磁極間を411、反時計回転方向にみてS極からN極に変わる磁極間を410と示している。

【0080】

固定子43は、回転子42に対向配置されている複数の固定子ティース47および各固定子ティース47を挟む両隣の固定子ヨーク部分に集中巻に巻回されたメイン巻線およびサブ巻線を含む。

【0081】

反時計回転方向を+とした場合、固定子ティース47a cが、回転子の磁極間410に対して電気角で $2\pi/12$ ラジアン進んだ位置に配置されるときに、固定子ティース47a bは、回転子の磁極間411に対して電気角で $\pi/12$ ラジアン遅れた位置に配置される。

【0082】

また、固定子ティース47b aは回転子磁極間411に対して $2\pi/3$ ラジアン進んだ位置422から電気角でさらに $\pi/12$ ラジアン進んだ位置に配置され、固定子ティース47b cは位置422からみて電気角で $\pi/3$ ラジアンずれた位置から $\pi/12$ ラジアン遅れた位置に配置される。

【0083】

また、固定子ティース47c aは、回転子磁極間410に対して $2\pi/3$ ラジアン遅れた位置423から電気角でさらに $\pi/12$ ラジアン遅れた位置に配置され、固定子ティース47c bは位置423からみて電気角で $\pi/3$ ラジアンずれた位置から $\pi/12$ ラジアン進んだ位置に配置されている。

【0084】

よって、固定子ティース47a cと固定子ティース47a bに対して、固定子ティース47b aと固定子ティース47b c、固定子ティース47c bと固定子ティース47c aは、それぞれ電気角で $\frac{2}{3}$ ラジアンの等間隔で配置されている。

【0085】

4.2. 固定子ティース組の構成

次に、固定子ティース組の構成について説明する。12個の固定子ティース47は、周方向に並ぶ2個単位で固定子ティース組を構成している。ひとつの固定子ティース組のなかで回転子との位相関係を示す基準の固定子ティースは、メイン巻線の巻数が最も多い固定子ティースとする。例えば、固定子ティース47a b, 47a cから構成される固定子ティース組に着目すると、基準の固定子ティースは固定子ティース47a b, 47a cである。図12に示すように、固定子ティース47a cおよび固定子ティース47a bのそれぞれが、磁極間隔であるラジアンに対して $\frac{1}{12}$ ラジアンずれて配置される。

【0086】

4.3. 固定子巻線の構成

固定子巻線の構成について説明する。

図13は、固定子ティースに巻回されている固定子巻線の構成を示す概念図である。

【0087】

図13に示すように、U相巻線200は、U相巻線201、202、203、204を直列に結線して構成されている。U相巻線200の端部421aはU相の入力端子に接続され、U相巻線200の端部421nは中性点に接続される。

【0088】

U相巻線201は、+方向に巻回されている。U相巻線203は+方向に巻回され、U相巻線202、204は-方向に巻回されている。

図13中のW相巻線については、W相巻線223が、U相巻線201の巻回された固定子ヨーク部分に+方向に巻回され、W相巻線224が、U相巻線202の巻回された固定子ヨーク部分に-方向に巻回されている。

【0089】

図13中のV相巻線については、V相巻線211が、U相巻線203の巻回された固定子ヨーク部分に+方向に巻回され、V相巻線212が、U相巻線203の巻回された固定子ヨーク部分に-方向に巻回されている。

【0090】

4.4. 固定子ティースに生じる磁界

次に、これらの固定子ティースに生じる磁界について説明する。なお、回転子は、反時計方向に回転するものとする。

【0091】

図14は、磁界の大きさおよび位相をベクトルで表したベクトル図である。

固定子ティースと回転子磁極との位置関係が理解しやすいように、巻線が巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース中央と、回転子磁極間の関係に着目する。また、当該固定子ヨーク部分に巻かれた巻線が、当該右隣の固定子ティースに磁界を生じるものとする。

【0092】

図12の位置関係の場合、U相巻線202とW相巻線224とが巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース47a bの中心は磁極間411に対して $\frac{1}{12}$ ラジアン遅れた位置に配置されている。図14では、固定子ティース47a bに発生する磁界をU相巻線202による磁界-U1とW相巻線224による磁界W2を示すベクトルの合成ベクトルベクトルH1として示している。

【0093】

同様に、図12で、U相巻線203とV相巻線211とが巻回された固定子ヨーク部分の右隣の固定子ティース47a cの中心は、磁極間410に対して $\frac{1}{12}$ ラジアン進ん

だ位置に配置されている。図14では、固定子ティース47a cに発生する磁界をU相巻線203による磁界U1とV相巻線211による磁界-V2を示すベクトルの合成ベクトルをH2で示す。

【0094】

このように、回転子と固定子の位置関係に適した磁界を構成することで、高トルクかつトルク脈動も低減でき滑らかな駆動を実現できる。

ここで、このベクトル図で表された磁界を発生する巻線の巻数について、具体例を挙げて説明する。磁極の数が10、ティースの数が12であり、電気角で $2\pi/3$ ラジアン毎に配置された3種類の巻線のいずれか2種類の巻線を隣接したティース間の環状ヨーク部に一芯状に集中巻に巻回し、磁極対数が5、1相当りのティース数4であり、 $4 = 3m + 1$ のとき、巻数比係数は以下の式で計算できる。

【0095】

$$\begin{aligned} &= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \\ &= |2 / 10 - 2 / 12| \times 5 / 2 \\ &= / 12 \text{ ラジアン} \end{aligned}$$

また、固定子ティース47a bに対応するU相の巻線202の巻数をN112、固定子ティース47a bに対応するV相の巻線224の巻数をN212とし、それらの巻線の巻数の和をN1とすると下式が成り立つ。

【0096】

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{112} + N_{212} \\ N_{112} &= (N_1) \times \sin(\pi/12) / \sin(\pi/3) \\ N_{212} &= (N_1) \times \sin(\pi/3 - \pi/12) / \sin(\pi/3) \\ &\quad (N_1) \times \sin(\pi/4) / \sin(\pi/3) \end{aligned}$$

各巻線の巻数をこのように調整すれば、固定子ティース47a bに生じる磁界H2は、U相に対して電気角で $\pi/12$ ラジアン進んだ位相をもつこととなる。

【0097】

また、固定子ティース47a cに対応するU相の巻線203の巻数をN113、固定子ティース47a cに対応するW相の巻線211の巻数をN313とし、それらの巻線の巻き数の和をN1とすると下式が成り立つ。

【0098】

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{113} + N_{313} \\ N_{113} &= (N_1) \times \sin(\pi/12) / \sin(\pi/3) \\ N_{313} &= (N_1) \times \sin(\pi/3 - \pi/12) / \sin(\pi/3) \\ &\quad (N_1) \times \sin(\pi/4) / \sin(\pi/3) \end{aligned}$$

各巻線の巻数をこのように調整すれば、固定子ティース47a cに生じる磁界H1は、U相に対して電気角で $\pi/12$ ラジアン遅れた位相をもつこととなる。

【0099】

図12において、回転子磁極間410からみて固定子ティース47a cは、電気角で $\pi/12$ ラジアン進んだ位置にある。このような位置関係にある固定子ティース47a cに、-U相から $\pi/12$ ラジアンだけ遅れた磁界H1が生じるので、固定子ティース47a cの軸と回転子の磁極間410とが一致したときに固定子ティース47a cに最大の磁界を生じさせることができる。

【0100】

また、図12において、回転子磁極間411からみて固定子ティース47a bは、電気角で $\pi/12$ ラジアン遅れた位置にある。このような位置関係にある固定子ティース47a bに、U相から $\pi/12$ ラジアンだけ進んだ磁界H2が生じるので、固定子ティース47a bの軸と回転子の磁極間411とが一致したときに固定子ティース47a bに最大の磁界を生じさせることができる。

【0101】

このように本実施形態では、固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに

、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができます。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができます。

【0102】

また、本実施例は $10q$ 極 $12q$ ティース(q は正の整数)の構成であるが、 20 極 24 ティースでも同じ効果が得られる。 $10q$ 極 $12q$ ティースでは、U相、V相、W相が軸に対して対称な配置となるので、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。したがって、軸受寿命に悪影響を与えることがなくなり、長寿命の同期電動機が得られる。同様に 24 極 27 ティースでは、中性点接続された隣接したティースに巻回された4個の巻線が軸に対して機械角で 90° ごとの配置となるため、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。

【0103】

5. 第5の実施形態

第1の実施形態と異なるのは、巻線及び供給する電流であり、この点を中心に説明する。第1の実施形態では、三相交流電源を1個用いU相、V相、W相の三相で駆動していたのに対し、本実施形態では、三相交流電源を3個用い、U1相、U2相、U3相、V1相、V2相、V3相、W1相、W2相、W3相の9相で駆動する。

【0104】

本実施形態の同期電動機の平面図は、第1の実施形態と共に図1で示される。

図15は、同期電動機の詳細図である。

固定子ティース組8aは、3個の隣接した固定子ティース61a、62a、63aから構成されている。固定子ティース61aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線81abが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線81acが+方向に巻回されている。固定子巻線81abと固定子巻線81acとは、直列に結線されて、U1相の電流が流されるU1相巻線81aを構成する。また、固定子ティース62aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線82abが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線82acが+方向に巻回されている。固定子巻線82abと固定子巻線82acとは、直列に結線されて、U2相の電流が流されるU2相巻線82aを構成する。また、固定子ティース63aの左隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線83abが-方向に巻回され、右隣の固定子ヨーク部分には、固定子巻線83acが+方向に巻回されている。固定子巻線83abと固定子巻線83acとは、直列に結線されて、U3相の電流が流されるU3相巻線83aを構成する。

【0105】

ここで、固定子ティース62aに対して、固定子ティース61aは、機械角で $+20^\circ$ の位置に配置されている。すなわち磁極間隔である電気角 ラジアン(機械角 18°)からさらに $+ / 9$ ラジアンずれて配置されている。また、同様に固定子ティース62aに対して、固定子ティース63aは、機械角で -20° の位置に配置されている。すなわち磁極間隔である電気角 ラジアンからさらに $- / 9$ ラジアンずれて配置されている。ここで、固定子ティースは、周方向に等間隔で $360 / 18 = 20^\circ$ の間隔で並べられている。一方、回転子の磁極は周方向に等間隔で20個並べられており、 $360 / 20 = 18^\circ$ の間隔となる。図1に示した他の2組の固定子ティース組8b、8cも上記固定子ティース組8a同様に、固定子ティース組内において、3個の巻線が磁極間隔である電気角ラジアンから電気角で $+ / 9$ ラジアンと $- / 9$ ラジアンずれて配置されている。

【0106】

図16は、図1に示した同期電動機の固定子巻線の結線を説明するための図である。

図示した巻線端子番号末尾のa、b、cは、それぞれ固定子ティース組8a、8b、8cを構成する巻線に対応している。

【0107】

固定子ティース組 8 a 内の 3 個の固定子巻線 8 1 a、8 2 a、8 3 a のそれぞれの巻線端子 3 1 a、3 2 a、3 3 a は、個別に外部に出されていて、駆動装置であるインバータの接続端子に個別に接続されている。固定子ティース組 8 b 内の 3 個の巻線端子 3 1 b、3 2 b、3 3 b、および、固定子ティース組 8 c の 3 個の巻線端子 3 1 c、3 2 c、3 3 c も同様に、個別に外部に出されていて、駆動装置であるインバータの接続端子に個別に接続されている。

【 0 1 0 8 】

また、異なる固定子ティース組 8 a、8 b、8 c で位相差が $2\pi/3$ ラジアンとなる固定子巻線の端子は共通に中性点に接続されている。すなわち巻線端子 3 4 a と巻線端子 3 4 b と巻線端子 3 4 c は第 1 の中性点に接続され、巻線端子 3 5 a と巻線端子 3 5 b と巻線端子 3 5 c は第 2 の中性点に接続され、巻線端子 3 6 a と巻線端子 3 6 b と巻線端子 3 6 c は第 3 の中性点に接続されている。この例では第 1、第 2 および第 3 の中性点を電気的に分離させているが、このうちのいずれか 2 つの中性点あるいは全ての中性点を電気的に接続することとしてもよい。

【 0 1 0 9 】

また、本実施形態では固定子ティース組 8 a、固定子ティース組 8 b、固定子ティース組 8 c が 2 組ずつあり、末尾の a、b、c が同じ固定子ティース組どうしは回転子の磁極に対して電気角で同じ位置関係にある。そのため 6 組の固定子ティース組のうち隣接した 3 組の固定子ティース組どうしで中性点接続を構成してもよいし、一つ置きの 3 組の固定子ティース組どうしで中性点接続を構成してもよい、また、6 組の全ての固定子ティース組で中性点接続を構成してもよい。

【 0 1 1 0 】

以上、本発明の第 1 の実施形態に係る同期電動機駆動システムを構成する同期電動機の構成について説明した。18 個の固定子ティースは、回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、かつ、周方向に並ぶ 3 個単位で固定子ティース組を構成している。また各固定子ティース組内の 3 個の固定子巻線は、それぞれ独立した外部端子に個別に接続されている。

【 0 1 1 1 】

ここで「個別」とは、ひとつの固定子ティース組に含まれている固定子巻線どうしの関係を示すものであり、異なる固定子ティース組にそれぞれ含まれている固定子巻線どうしの関係を示すものではない。従って、異なる固定子ティース組に含まれる固定子巻線どうしは、条件が許せば共通に接続される場合もある。例えば、固定子ティース組 8 a に含まれている固定子巻線 8 1 a と固定子ティース組 8 a' に含まれている固定子巻線 8 1 a' には同じ位相の電流が供給されるため、これらを共通の外部端子に接続することとしてもよい。もちろん個別に外部端子に接続することとしても何ら問題はない。

【 0 1 1 2 】

本発明の第 1 の実施形態に係る同期電動機駆動システムは、上記同期電動機の複数の巻線端子に亘りに位相の異なる電流を供給する駆動装置を備えている。次に、駆動装置および通電方法に関して説明する。

【 0 1 1 3 】

図 17 は、本発明の第 1 の実施形態の固定子と回転子の位置関係を示し、図 17 (a)、図 17 (b)、図 17 (c) は回転子 2 が反時計方向に各々機械角で 2° (電気角で $/9$ ラジアン) 回転したときの固定子および回転子の位置関係を示している。また、図 18 は、本実施形態において各固定子巻線に流した電流の時間変化を示した図である。図 18 中の (a) (b) (c) で示される時間は、それぞれ図 17 (a)、図 17 (b)、図 17 (c) に示される位置関係に対応している。

【 0 1 1 4 】

図 1、図 17 に、回転子の磁極間を 10、11 で示した。回転子の磁極間 10、11 は、回転子に配置された永久磁石で構成された磁極 N と磁極 S との間の磁気中立点の位置を意味する。ここでは、機械的にも磁石と磁石との間の位置となっている。反時計方向にみ

て N 極から S 極に変わる磁極間を 1 0 、反時計方向にみて S 極から N 極に変わる磁極間を 1 1 と示している。なお、磁極間 1 1 ' は、磁極間 1 1 に対して電気角では同じ位置であるが機械角では異なる位置にある。

【 0 1 1 5 】

図 1 7 (a) では、一点鎖線で示したように、固定子ティース 6 3 a の中心と回転子磁極間 1 1 とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときに U 3 相巻線 8 3 a に流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。なお図 1 5 で説明したように隣接する磁極どうしのなす角度 (18 °) と隣接する固定子ティースどうしのなす角度 (20 °) が異なるため、固定子ティース 6 3 a の中心と回転子磁極間 1 1 とが一致する位置関係で対向していれば、固定子ティース 6 2 a の中心および回転子磁極間 1 0 、ならびに固定子ティース 6 1 a の中心および回転子磁極間 1 1 ' はずれた位置関係で対向することになる。

【 0 1 1 6 】

図 1 7 (b) では、図 1 7 (a) から回転子が反時計方向に機械角で 2 ° (電気角で / 9 ラジアン) 回転しており、一点鎖線で示したように、固定子ティース 6 2 a の中心と回転子磁極間 1 0 とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときに U 2 相巻線 8 2 a に流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。このとき固定子ティース 6 3 a の中心および回転子磁極間 1 1 、ならびに固定子ティース 6 1 a の中心および回転子磁極間 1 1 ' はずれた位置関係で対向している。

【 0 1 1 7 】

図 1 7 (c) では、図 1 7 (b) から回転子が反時計方向に機械角で 2 ° (電気角で / 9 ラジアン) 回転しており、一点鎖線で示したように、固定子ティース 6 1 a の中心と回転子磁極間 1 1 ' とが一致する位置関係で対向している。この位置関係のときに U 1 相巻線 8 1 a に流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給すると、永久磁石によるトルクであるマグネットトルクが最大となる。このとき固定子ティース 6 3 a の中心および回転子磁極間 1 1 、ならびに固定子ティース 6 2 a の中心および回転子磁極間 1 0 はずれた位置関係で対向している。

【 0 1 1 8 】

図 1 7 (a) 、 (b) 、 (c) に示した位置関係となる各時間に、すなわち、固定子ティース 6 1 a 、 6 2 a 、 6 3 a の固定子ティース中心が回転子磁極間と対向している各時間に、U 1 相巻線 8 1 a 、 U 2 相巻線 8 2 a 、 U 3 相巻線 8 3 a に流れる電流がそれぞれ最大になるように位相を調整して電流を供給する。そうすると固定子ティース毎にマグネットトルクを最大とすることができます、全体として高トルク化を図ることができる。

【 0 1 1 9 】

図 1 8 では、巻線端子 3 1 a 、 3 2 a 、 3 3 a に流した電流 (U 1 相巻線 8 1 a 、 U 2 相巻線 8 2 a 、 U 3 相巻線 8 3 a に流した電流) が縦軸に、時間が横軸に示されている。図 1 8 に示すように、巻線端子 3 2 a に流す電流に対して巻線端子 3 3 a に流す電流は / 9 ラジアン進めてあり、巻線端子 3 2 a に流す電流に対して巻線端子 3 1 a に流す電流は / 9 ラジアン遅らせてある。

【 0 1 2 0 】

各固定子巻線の配置関係と各固定子巻線に流す電流とは以下の関係がある。

U 2 相巻線 8 2 a に対して U 3 相巻線 8 3 a は、電気角で - / 9 ラジアンずれて配置されている。このような配置関係であれば、U 2 相巻線 8 2 a に流す電流に対して U 3 相巻線 8 3 a に流す電流は、 + / 9 ラジアン進めることとする。一方、U 2 相巻線 8 2 a に対して U 1 相巻線 8 1 a は、電気角で + / 9 ラジアンずれて配置されている。このような配置関係であれば、U 2 相巻線 8 2 a に流す電流に対して U 1 相巻線 8 1 a に流す電流は、 - / 9 ラジアン遅らせることとする。

【 0 1 2 1 】

図 1 9 は、本発明の第 1 の実施形態に係る同期電動機駆動システムの全体構成を示す図

である。

同期電動機駆動システムは、駆動装置としての直流電源100およびインバータ101、102、103と、同期電動機1とから構成されている。インバータ101、102、103は、それぞれ三相交流を生成して同期電動機1に供給する。インバータ101の出力電流101a、101b、101cはそれぞれ $\pi/3$ ラジアンずつ位相がずれている。インバータ102の出力電流102a、102b、102cについても同様であり、インバータ103の出力電流103a、103b、103cについても同様である。また出力電流101a、102a、103aはそれぞれ $\pi/9$ ラジアンずつ位相がずれている。出力電流101b、102b、103bについても同様であり、出力電流101c、102c、103cについても同様である。

【0122】

図15で示したように、固定子ティースは電気角 $\pi/9$ ラジアンずれて配置されているので、これらの固定子ティースに巻回された固定子巻線に流す電流を $\pi/9$ ラジアンずらすこととしている。すなわち図17(a)の位置関係では、U3相巻線83aに流れる電流が最大になるように位相を調整し、図17(b)の位置関係では、U2相巻線82aに流れる電流が最大になるように位相を調整し、図17(c)の位置関係では、U1相巻線81aに流れる電流が最大になるように位相を調整して電流を供給している。そうするとそれぞれの固定子ティースが生じさせるマグネットトルクがそれぞれ最大となり、全体として高トルク化を実現することができる。

【0123】

以上説明したとおり、本実施形態の同期電動機では、回転子磁極の間隔が機械角18°(電気角 $\pi/9$ ラジアン)であるのに対し、固定子ティース組内の3個の固定子ティースの間隔は機械角18°度からずれた機械角20°としている。このように機械的な位相差をもたせることにより、無通電時のトルク脈動であるコギングトルクを低減することができる。

【0124】

また本実施形態の同期電動機では、固定子ティース組内の固定子ティースは電気角 $\pi/9$ ラジアンに対して各々 $\pi/9$ ラジアンの位相差をもつ配置となっており、各固定子ティースに巻回された固定子巻線には $\pi/9$ ラジアンの位相差を持たせた電流を流している。そのため、各々の固定子ティースにより発生するトルクを同じにすることができるので $\pi/3$ ラジアンを基本周期とするトルク脈動を打ち消すことができ、かつ、各々の固定子ティースにより発生するトルクを最大にすることができるので全体のトルクを高めることができる。

【0125】

なお、図17、図18では永久磁石による発生するマグネットトルクのみを考慮していたので、固定子ティースの中心と回転子磁極間とが一致して対向した位置関係において固定子巻線に流れる電流が最大となるように電流の位相を調整している。しかしながら本実施形態の同期電動機は、回転子コア内部に永久磁石を配置した、いわゆる磁石埋込み型同期電動機であり、磁石によるマグネットトルクに加えて、磁気抵抗の差によるリラクタンストルクを利用することができる同期電動機である。そのためマグネットトルクとリラクタンストルクの両者を生かして最大トルクを得るために、固定子ティースの中心と回転子磁極間とが一致して対向する位置で最大電流となる位相よりも電流位相を進めることができ場合もある。

【0126】

また、本実施形態では、固定子ヨーク部分に固定子巻線を巻回するのに集中巻を採用している。そのため固定子の端面の巻線いわゆるコイルエンドの小型化がはかれ、同期電動機の小型化ができる。また、固定子巻線のコイルエンドは、電流を流してもトルクに寄与しない部分であり、通電時の巻線抵抗によるジュール損である銅損を低下することができ高効率である。

【0127】

また、本実施形態では、回転子が固定子の外周側に配置された、いわゆるアウターロータ型を採用している。そのため同じ体積で比較した場合、回転子が固定子の内周側に配置されたインナーロータ型に比べて、回転子径を大きくすることができる。したがって本実施形態のような極数が20となるような同期電動機でも、永久磁石の大きさを小さくする必要がないので有効磁束の低下を防ぐことができる。

【0128】

また、本実施形態では、回転子磁極の数が20個、固定子ティースの数が18個の同期電動機であるが、固定子ティースが9個や27個といった9の倍数に対して、回転子の磁極数が10の倍数の組み合わせ、すなわち $10q$ 極 $9q$ ティース(q は正の整数)の組み合わせであれば、電気角で上記の関係が成立する配置関係とすることで、同様の効果が得られる。また、 $8q$ 極 $9q$ ティース(q は正の整数)や $10q$ 極 $12q$ ティース(q は正の整数)でも同様の効果を得られる構成とすることができます。

【0129】

また、本実施形態では、中性点接続された固定子ティース組 $8a$ 、 $8b$ 、 $8c$ と、固定子ティース組 $8a'$ 、 $8b'$ 、 $8c'$ のグループが2個、軸に対して対称な配置となるので、固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。したがって、軸受寿命に悪影響を与えることがなくなり、長寿命の同期電動機が得られる。同様に30極27ティースでは、中性点接続された固定子ティース組が3個軸に対して機械角で120°ごとの配置となるため、巻線に通電した固定子ティースによるラジアル方向の合成吸引力が0となり、回転子に磁気吸引力が作用しない。

【0130】

以上、本実施形態によれば、トルクの減少を抑えつつトルク脈動も低減することができ、小型、高出力、低振動、低騒音、高効率な同期電動機駆動システムを提供することができる。

【0131】

6. 变形例その他

(1) 上記実施形態では、 $10q$ 極 $9q$ ティースの構成を挙げているが、本発明はこれに限らない磁極とティース数の組み合わせが可能である。例えば、 $8q$ 極 $9q$ ティース、 $10q$ 極 $12q$ ティース(q は正の整数)、 $16q$ 極 $15q$ ティースの構成でも構わない。なお、各固定子ヨーク部分に巻回されている第1巻線および第2巻線の比率は、基準の固定子ティースからみたときの位相差を打ち消すように設定されている。そうすることで固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができます。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができます。

(2) なお、各固定子ヨーク部分に巻回されている第1の巻線および第2の巻線の比率は、隣接する固定子ティースの位相差を打ち消すように設定されている。そうすることで固定子ティースの軸と回転子の磁極間とが一致したときに、その固定子ティースに生じる磁界が最大となるので、各固定子ティースが生み出すマグネットトルクを最大とすることができます、全体のトルクを向上させることができます。また、各固定子ティースから生み出されるトルクがほぼ一定となるので、トルク脈動を低減させることができます。

(3) 実施形態では3相駆動の同期電動機を例示しているが、本発明は、例えば5相や7相など多相駆動と等価の同期電動機にも適用可能である。

(4) 実施形態では固定子巻線は固定子ヨーク部分に巻回されているが、固定子ティースに巻回した巻線と組み合わせることも可能である。

(5) 実施形態では特に説明していないが、固定子巻線が回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子巻線の配置間隔だけずれていくスキュー配置を施すこととしてもよい。

(6) 実施形態では、回転子が固定子の外側に配置されたアウターロータ型の同期電動機で説明しているが、回転子を固定子の内側に配置したインナーロータ型の同期電動機や、回転子と固定子とが軸方向に空隙を持って配置された、いわゆる対面向のアキシャルギヤ

ップ式同期電動機や、それらを複数組み合わせた構造の同期電動機でも同じ効果があることは言うまでもない。

(7) 実施形態では、回転子の磁極を永久磁石により構成したが、磁気抵抗の差で構成したりラクタンストルクを利用した同期電動機、回転子に両者を組み合わせた同期電動機でも適用可能である。

(8) 本発明は、同期回転機に限らず、同期発電機、また、直動駆動されるリニア同期電動機、リニア同期発電機にも適用できる。

(9) 本発明は、小型、高出力、低振動、低騒音、高効率な同期電動機を提供することができ、低振動、低騒音性が要求される自動車用途に特に有用である。また、この同期電動機は、径が大きく薄型であるためインホイールモータとして特に有用である。

(10) 上記実施の形態及び上記変形例をそれぞれ組み合わせるとしてもよい。例えば、第3の実施形態として説明した図7に示す巻線を、第2の実施形態として説明した図5に示す固定子23の巻線として用いてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0132】

本発明は、小型高効率で低振動低騒音性が要求される、コンプレッサ用、電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池自動車等の同期電動機に利用可能である。

【符号の説明】

【0133】

- 1 同期電動機
- 2 回転子
- 3 固定子
- 4 回転子コア
- 5 永久磁石
- 7 固定子ティース
- 8a、8b、8c、8a'、8b'、8c' 固定子ティース組
- 10、11、11' 磁極間

【手続補正2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースは、それぞれ周方向に並ぶ所定個数の固定子ティース単位で、複数の固定子ティース組を構成し、当該複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、

前記所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、

前記所定個数の固定子ティースのそれぞれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する少なくとも一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に、ひとつの相の巻線を構成するメイン巻線がそれぞれ巻回されており、

前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつにおいて、前記固定子ヨーク部分に、前記メイン巻線に加えて、前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線がさらに巻回されており、

前記サブ巻線は、当該サブ巻線を含む前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれる他のメイン巻線に直列に結線されており、

各巻線に加えられた交流電流によって各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている

ことを特徴とする同期電動機。

【請求項 2】

前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組は、当該固定子ティース組に隣接する固定子ティース組であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 3】

各固定子ティース組において、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくとも二つには、これらに対応づけてサブ巻線が巻回されており、

前記ひとつの相の巻線は、固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するメイン巻線全てと、当該固定子ティース組からみて電気角で進んだ位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線と、前記固定子ティース組からみて電気角で遅れた位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線とを直列に結線して構成されていること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 4】

各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースのうちの第 1 の固定子ティースに対応づけてメイン巻線のみが巻回され、これに隣接する第 2 の固定子ティースに対応づけてメイン巻線およびサブ巻線が巻回されており、

前記第 1 の固定子ティースと前記回転子の磁極とが所定の位置関係になったときに当該第 1 の固定子ティースから生じる磁界が最大となり、前記回転子が回転して前記第 2 の固定子ティースと前記回転子の磁極とが前記所定の位置関係と同一の位置関係になったときに当該第 2 の固定子ティースから生じる磁界が最大となるように、前記第 2 の固定子ティースに対応づけて巻回されているメイン巻線およびサブ巻線の巻線比率が定められていること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 5】

各固定子ティース組において、前記第 1 の固定子ティースに生じる磁界の最大値と前記第 2 の固定子ティースに生じる磁界の最大値とが同じになるように、前記第 1 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線および前記第 2 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線及びサブ巻線のそれぞれの巻数が定められていること

を特徴とする請求項 4 に記載の同期電動機。

【請求項 6】

磁極の数を A (但し、A は 2 以上の偶数)、固定子ティースの数を B (但し、B は A と等しくない 3 の倍数) とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

$k = 3m$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P \text{ となり、}$$

$k = 3m + 1$ 、または $k = 3m + 2$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \text{ となる巻線比係数 を定義し、}$$

同相の巻線が、隣接する 6 個の固定子ヨーク部分それぞれに 1 個づつ巻回され、前記 6 個の巻線が直列に接続されており、その巻線の巻数の比率を順に +N1、-N2、+N3、-N3、+N2、-N1 としたとき (但し、+Nn (n は 1、2、3 のいずれか) と、-Nn とは、巻数が同じで巻回する向きが逆である)、

N1 は、 $\sin(\theta)$ にほぼ等しく、

N2 は、 $\sin(\theta) + \sin(\theta / 3 - \phi)$ にほぼ等しく、

N3 は、 $\sin(\theta / 3) + \sin(\theta / 3 - \phi)$ にほぼ等しいこと

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 7】

前記回転子は、前記固定子を中心にその外周を回転し、

前記複数の固定子ティースは、前記固定子ヨークの外周面から径方向外側に放射状に突出しており、

前記固定子ヨークからは、さらに、各固定子ティースが突出する径方向の内側に向けて、前記外側に突出する固定子ティースと同数の固定子ティースが前記固定子ヨーク内周面から突出しており、

前記同期電動機は、さらに、前記固定子の内周を回転する回転子を備える

ことを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 8】

前記複数の固定子ティースのうち少なくとも 1 つは、前記回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子ティースの配置間隔だけずれていくスキー配置が施されていることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 9】

前記同期電動機は永久磁石埋め込み型であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 10】

前記複数の固定子ヨーク部分は、3 相のうちの 1 相の巻線を一芯状に集中巻された第 1 の固定子ヨーク部分と、3 相のうちの 2 相の巻線を一芯状に集中巻された第 2 の固定子ヨーク部分とを含み、

第 1 の固定子ヨーク部分に隣接した第 2 の固定子ヨーク部分に巻回された複数の巻線のうちいずれか 1 つの巻線の相は、隣接する第 1 の固定子ヨーク部分の巻線と同じ相の巻線であること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 11】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティース数を k とした場合に、

k = 3 m のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 1 相の巻線又は 3 相のうちの 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数を N1 としたとき、第 1 の固定子ヨーク部分と隣接した第 2 の固定子ヨーク部分の巻線は、第 1 の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しく、$$

他の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しいこと$$

を特徴とした請求項 10 に記載の同期電動機。

【請求項 12】

第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数と、第 2 の固定子ヨーク部分における 2 種類の巻線の巻数の和とが等しいこと

を特徴とする請求項 10 記載の同期電動機。

【請求項 13】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

k = 3 m のとき

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の相の巻

線と第 2 の相の巻線の巻数比率が、

$\sin(\) / \sin(\ / 3)$ と $\sin(\ / 3 - \) / \sin(\ / 3)$ との比に
ほぼ等しくなること

を特徴とした請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 14】

前記サブ巻線は、前記メイン巻線よりも巻数が多い、請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 15】

同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、

前記同期電動機は、

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースのそれぞれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に巻回された巻線と、当該固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する他方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に前記巻線の逆方向に巻回された巻線とが直列に結線された固定子巻線をさらに備え、

複数の固定子巻線は、周方向に並ぶ m 個単位で (m は 2 以上の整数) 固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、

各固定子巻線組において、固定子巻線組に含まれる複数の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のうち 1 つの固定子巻線を構成する巻線が巻回された前記固定子ヨーク部分の少なくとも一方に、前記 1 つの固定子巻線に隣り合う固定子巻線を構成する巻線がさらに巻回されており、

前記駆動装置は、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれぞれに、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする同期電動機駆動システム。

【請求項 16】

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれは、その一端はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続され、他端は当該固定子巻線を含む固定子巻線組とは異なる固定子巻き線組に含まれる他の固定子巻線に接続されている、

請求項 15 に記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 17】

前記複数の固定子巻線組は、隣り合う固定子巻線組の間隔が電気角で $2 / 3$ ラジアンに相当する間隔となるように並んでおり、

前記他端は当該固定子巻線と電気角が $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位置の他の固定子巻線に接続されており、

前記駆動装置は、

任意の固定子巻線組に含まれる任意の固定子巻線と、前記任意の固定子巻線組に隣り合う固定子巻線組に含まれる前記任意の固定子巻線に対応する固定子巻線とに、互いに $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする請求項 16 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 18】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範

囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること
を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 9】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには同極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 0】

各固定子巻線組は、第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線から構成され、

前記第 1 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも進んだ位置に配され、

前記第 3 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも遅れた位置に配されており、

前記第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線は、それぞれ独立した個別の外部端子に接続され、かつ、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには隣り合う固定子巻線が互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記第 1 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が遅れた電流を供給し、前記第 3 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が進んだ電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 1】

前記第 1 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ進んでおり、

前記第 3 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ遅れており、

前記第 1 の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第 2 の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ遅れており、

前記第 3 の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第 2 の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $/ 3$ m ラジアンだけ進んでいること

を特徴とする請求項 2 0 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 2】

各固定子巻線組において、m 個の固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で等間隔に並んでいること

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 3】

各固定子巻線組において、m 個の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されていること

を特徴とする請求項 1 4 記載の同期電動機駆動システム。

【手続補正 3】

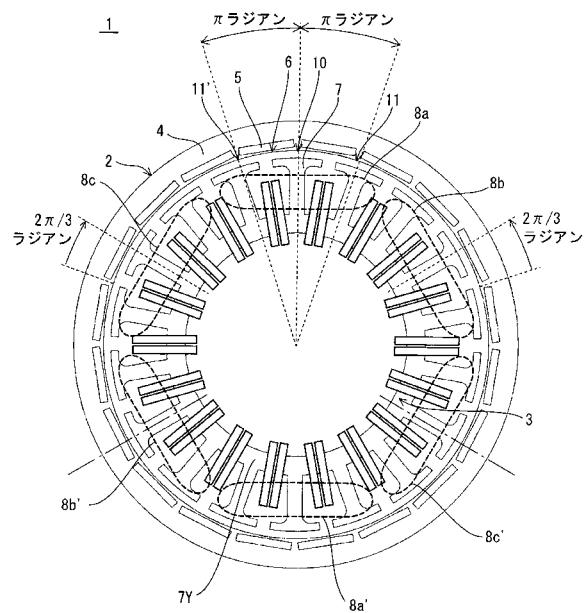
【補正対象書類名】 図面

【補正対象項目名】 全図

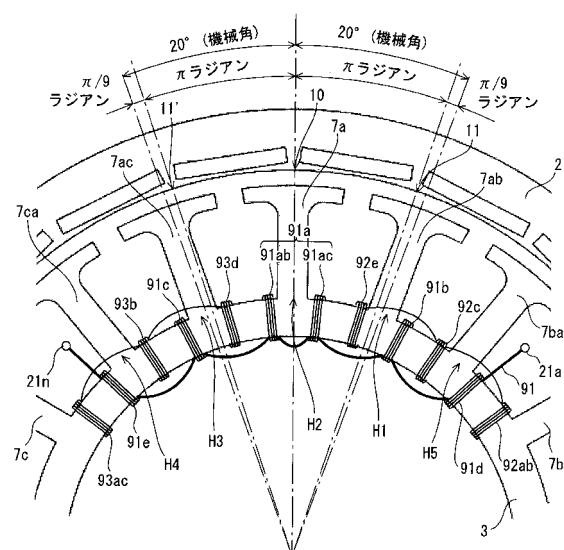
【補正方法】 変更

【補正の内容】

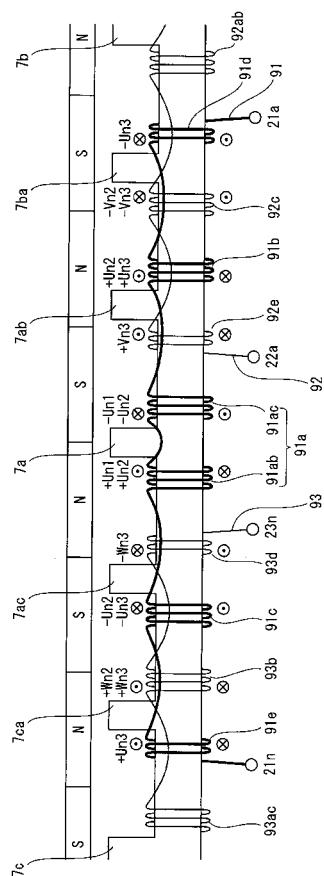
【 図 1 】



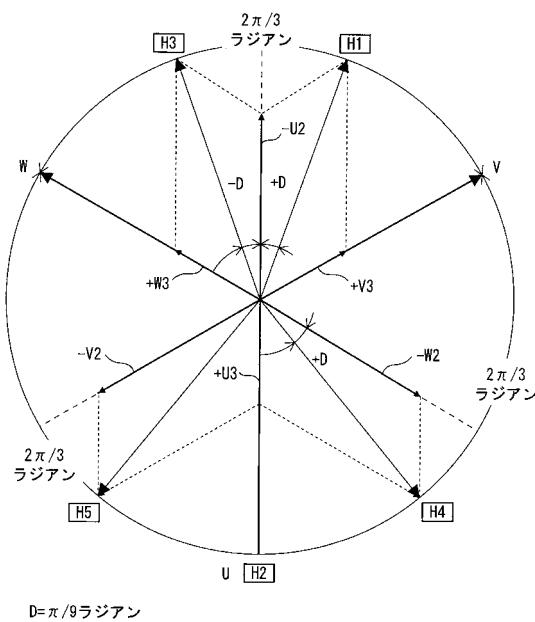
【 図 2 】



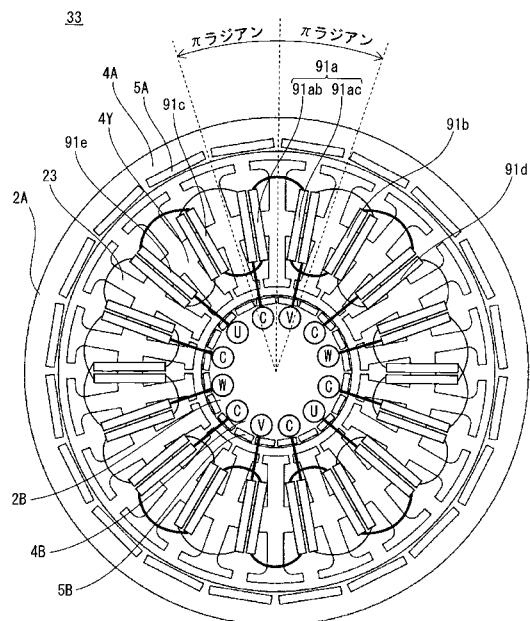
【 図 3 】



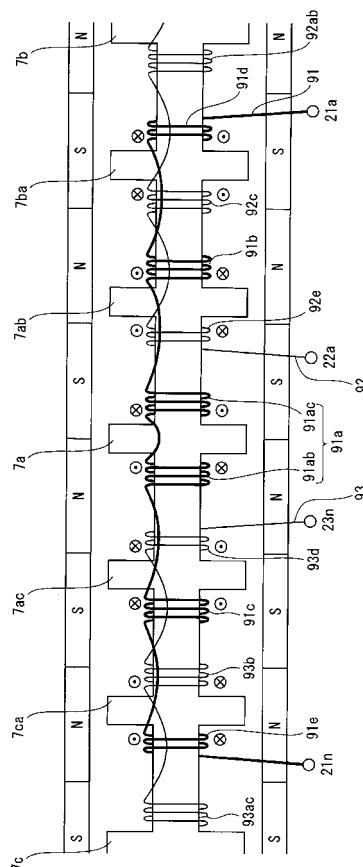
【 四 4 】



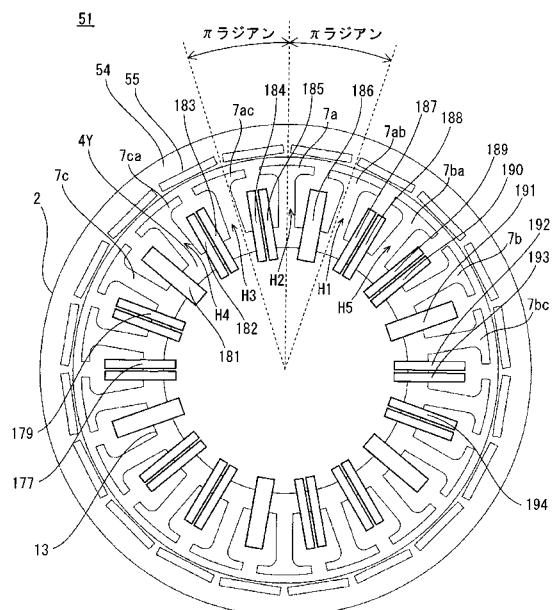
【図5】



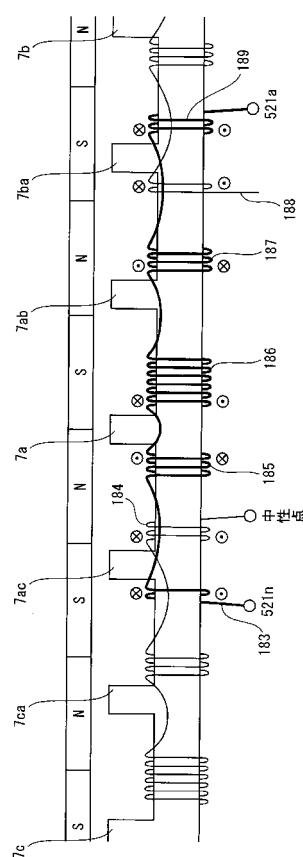
【 図 6 】



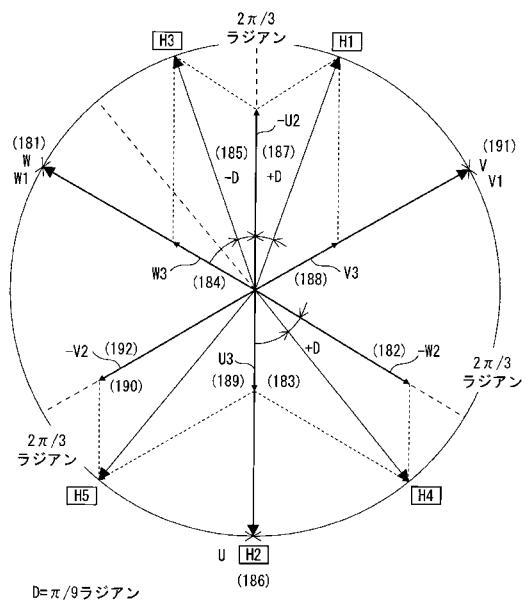
【図7】



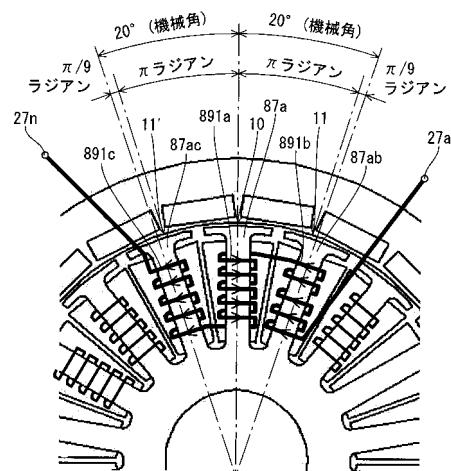
【 図 8 】



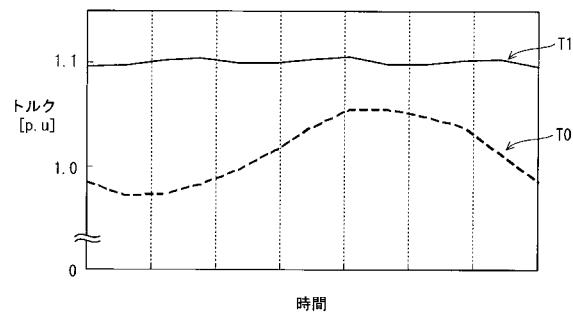
【図 9】



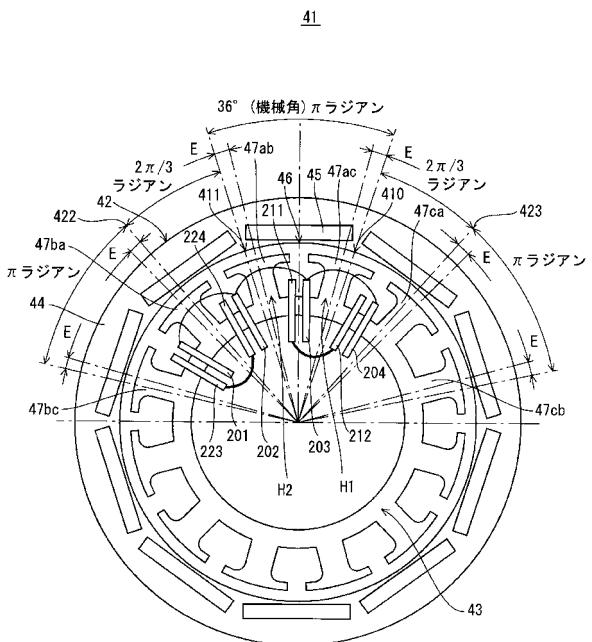
【図 10】



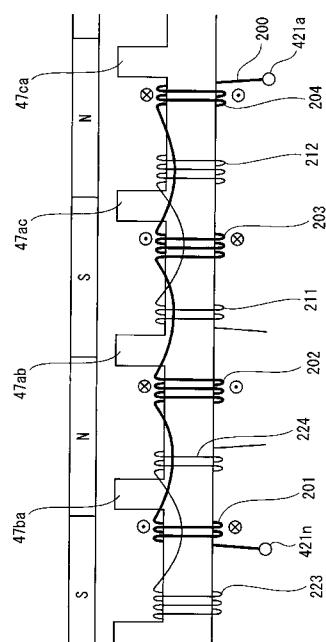
【図 11】



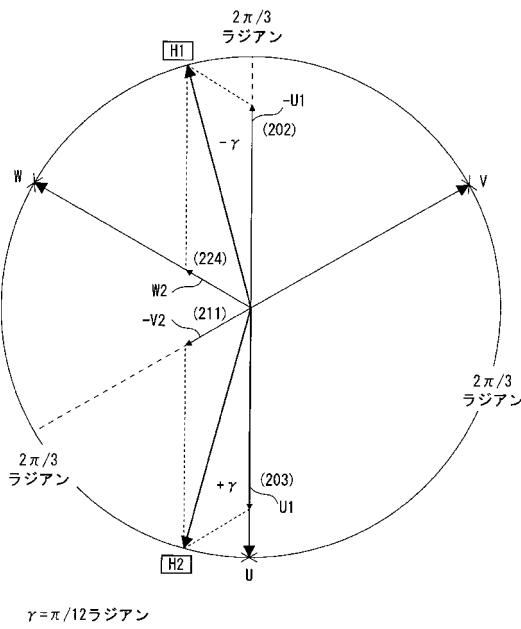
【図 12】

 $E = \pi/12$ ラジアン

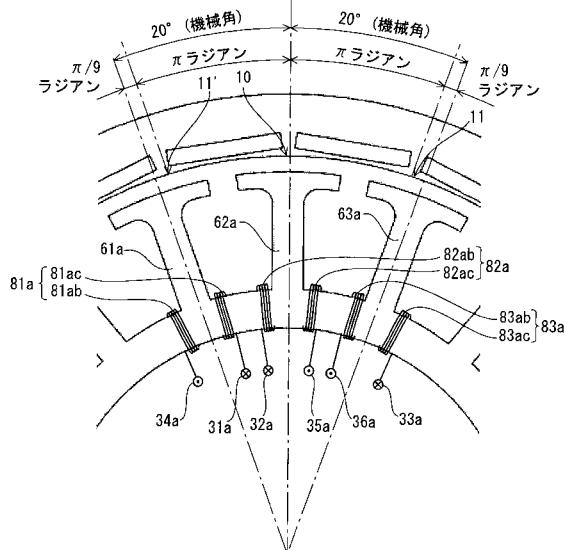
【図 1 3】



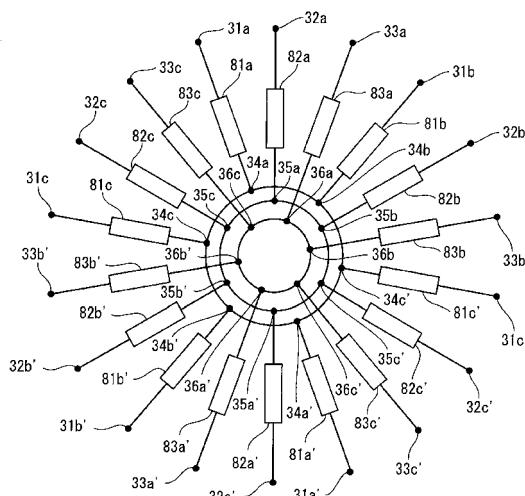
【図 1 4】



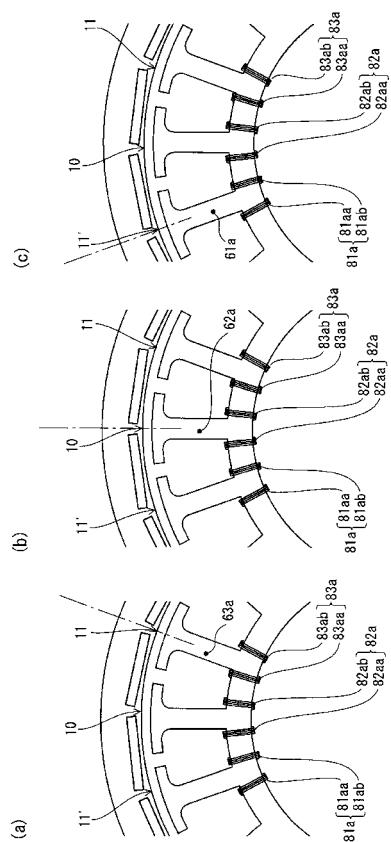
【図 1 5】



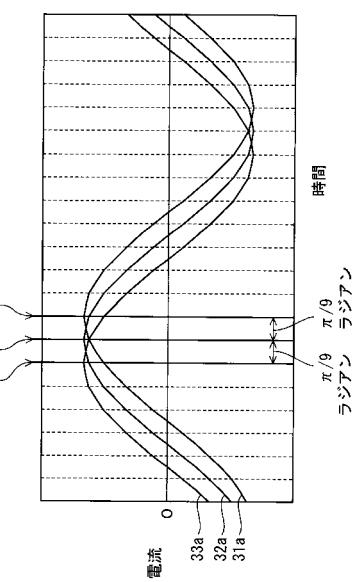
【図 1 6】



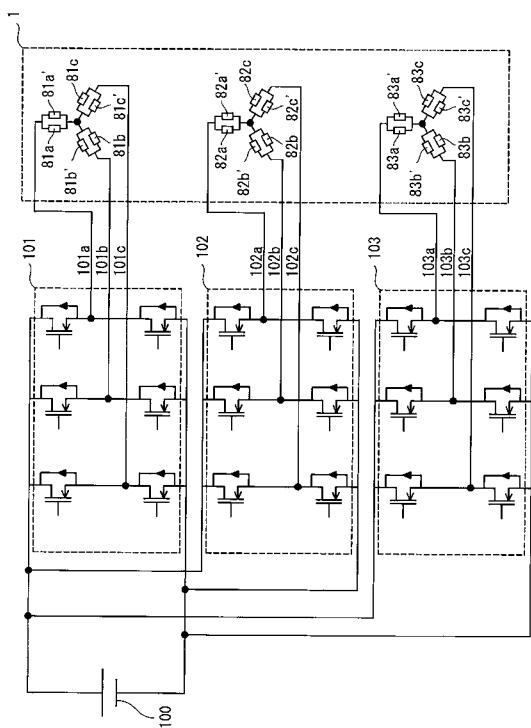
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【手続補正書】

【提出日】平成23年8月3日(2011.8.3)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースは、それぞれ周方向に並ぶ所定個数の固定子ティース単位で、複数の固定子ティース組を構成し、当該複数の固定子ティース組の周方向の間隔は等しく、

前記所定個数の固定子ティースは、前記回転子の磁極の配置間隔と異なる配置間隔で並設され、

前記所定個数の固定子ティースのそれれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する少なくとも一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に、ひとつの相の巻線を構成するメイン巻線がそれぞれ巻回されており、

前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくともひとつにおいて、前記固定子ヨーク部分に、前記メイン巻線に加えて、前記相とは異なる相の巻線を構成するサブ巻線がさらに巻回されており、

前記サブ巻線は、当該サブ巻線を含む前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組に含まれる他のメイン巻線に直列に結線されており、

各巻線に加えられた交流電流によって各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する巻数及び向きで巻回されている

ことを特徴とする同期電動機。

【請求項2】

前記固定子ティース組とは電気角で異なる位置にある他の固定子ティース組は、当該固定子ティース組に隣接する固定子ティース組であること

を特徴とする請求項1記載の同期電動機。

【請求項3】

各固定子ティース組において、前記所定個数の固定子ティースのうちの少なくとも二つには、これらに対応づけてサブ巻線が巻回されており、

前記ひとつの相の巻線は、固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するメイン巻線全てと、当該固定子ティース組からみて電気角で進んだ位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線と、前記固定子ティース組からみて電気角で遅れた位置にある固定子ティース組に含まれる固定子ティースに対応するサブ巻線とを直列に結線して構成されていること

を特徴とする請求項1記載の同期電動機。

【請求項4】

各固定子ティース組において、所定個数の固定子ティースのうちの第1の固定子ティースに対応づけてメイン巻線のみが巻回され、これに隣接する第2の固定子ティースに対応づけてメイン巻線およびサブ巻線が巻回されており、

前記第1の固定子ティースと前記回転子の磁極とが所定の位置関係になったときに当該第1の固定子ティースから生じる磁界が最大となり、前記回転子が回転して前記第2の固定子ティースと前記回転子の磁極とが前記所定の位置関係と同一の位置関係になったときに当該第2の固定子ティースから生じる磁界が最大となるように、前記第2の固定子ティ

ースに対応づけて巻回されているメイン巻線およびサブ巻線の巻線比率が定められていること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 5】

各固定子ティース組において、前記第 1 の固定子ティースに生じる磁界の最大値と前記第 2 の固定子ティースに生じる磁界の最大値とが同じになるように、前記第 1 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線および前記第 2 の固定子ティースに対応づけられているメイン巻線及びサブ巻線のそれぞれの巻数が定められていること

を特徴とする請求項 4 に記載の同期電動機。

【請求項 6】

磁極の数を A (但し、A は 2 以上の偶数)、固定子ティースの数を B (但し、B は A と等しくない 3 の倍数) とし、 $A / 2$ とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、 $B / 3$ とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

$k = 3m$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P \text{ となり、}$$

$k = 3m + 1$ 、または $k = 3m + 2$ のとき、

$$= |2 / A - 2 / B| \times P / 2 \text{ となる巻線比係数 を定義し、}$$

同相の巻線が、隣接する 6 個の固定子ヨーク部分それぞれに 1 個づつ巻回され、前記 6 個の巻線が直列に接続されており、その巻線の巻数の比率を順に $+N_1$ 、 $-N_2$ 、 $+N_3$ 、 $-N_3$ 、 $+N_2$ 、 $-N_1$ としたとき (但し、 $+N_n$ (n は 1、2、3 のいずれか) と、 $-N_n$ とは、巻数が同じで巻回する向きが逆である)、

N_1 は、 $\sin(\)$ にほぼ等しく、

N_2 は、 $\sin(\) + \sin(\ / 3 - \)$ にほぼ等しく、

N_3 は、 $\sin(\ / 3) + \sin(\ / 3 - \)$ にほぼ等しいこと

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 7】

前記回転子は、前記固定子を中心にその外周を回転し、

前記複数の固定子ティースは、前記固定子ヨークの外周面から径方向外側に放射状に突出しており、

前記固定子ヨークからは、さらに、各固定子ティースが突出する径方向の内側に向けて、前記外側に突出する固定子ティースと同数の固定子ティースが前記固定子ヨーク内周面から突出しており、

前記同期電動機は、さらに、前記固定子の内周を回転する回転子を備えることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 8】

前記複数の固定子ティースのうち少なくとも 1 つは、前記回転子の軸方向に進むほど周方向に最大で固定子ティースの配置間隔だけずれしていくスキュー配置が施されていることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 9】

前記同期電動機は永久磁石埋め込み型であること

を特徴とする請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 10】

前記複数の固定子ヨーク部分は、3 相のうちの 1 相の巻線を一芯状に集中巻された第 1 の固定子ヨーク部分と、3 相のうちの 2 相の巻線を一芯状に集中巻された第 2 の固定子ヨーク部分とを含み、

第 1 の固定子ヨーク部分に隣接した第 2 の固定子ヨーク部分に巻回された複数の巻線のうちいずれか 1 つの巻線の相は、隣接する第 1 の固定子ヨーク部分の巻線と同じ相の巻線であること

を特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

【請求項 11】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティース数を k とした場合に、

k = 3 m のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 1 相の巻線又は 3 相のうちの 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数を N1 としたとき、第 1 の固定子ヨーク部分と隣接した第 2 の固定子ヨーク部分の巻線は、第 1 の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しく、$$

他の相の巻線の巻数が、

$$(N1) \times \sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3) にほぼ等しいこと$$

を特徴とした請求項 10 に記載の同期電動機。

【請求項 12】

第 1 の固定子ヨーク部分の巻線の巻数と、第 2 の固定子ヨーク部分における 2 種類の巻線の巻数の和とが等しいこと

を特徴とする請求項 10 記載の同期電動機。

【請求項 13】

磁極の数を A、固定子ティースの数を B とし、A / 2 とした磁極対数を P、正の整数 m を用いて、B / 3 とした 1 相当りの固定子ティースの数を k とした場合に、

k = 3 m のとき

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P$$

k = 3 m + 1、または k = 3 m + 2 のとき、

$$= | 2 / A - 2 / B | \times P / 2 となる巻線比係数 を用いて、$$

3 相のうちいずれか 2 相の巻線を固定子ヨーク部分に一芯状に集中巻し、第 1 の相の巻線と第 2 の相の巻線の巻数比率が、

$\sin(\theta) / \sin(\theta / 3)$ と $\sin(\theta / 3 - \phi) / \sin(\theta / 3)$ との比に
ほぼ等しくなること

を特徴とした請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 14】

前記サブ巻線は、前記メイン巻線よりも巻数が多い、請求項 1 記載の同期電動機。

【請求項 15】

同期電動機とその駆動装置により構成される同期電動機駆動システムであって、

前記同期電動機は、

周方向に等間隔に並設された複数の磁極を含む回転子と、

周方向に並設された前記磁極の数とは異なる複数の固定子ティースが環状の固定子ヨークから径方向に突出した固定子とを備え、

前記複数の固定子ティースのそれぞれにおいて、固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する一方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に巻回された巻線と、当該固定子ティースと当該固定子ティースに隣接する他方の固定子ティースとに挟まれた固定子ヨーク部分に前記巻線の逆方向に巻回された巻線とが直列に結線された固定子巻線をさらに備え、

複数の固定子巻線は、周方向に並ぶ m 個単位で (m は 2 以上の整数) 固定子巻線組を構成し、このように構成された複数の固定子巻線組は周方向に等間隔に並んでおり、

各固定子巻線組において、固定子巻線組に含まれる複数の固定子巻線のうち少なくとも一対の隣り合う固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で並び、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のうち 1 つの固定子巻線を構成する巻線が巻回された前記固定子ヨーク部分の少なくとも一方に、前記 1 つの固定子巻線に隣り合う固定子巻線を構成する巻線がさらに巻回されており、

前記駆動装置は、

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれぞれに、各固定子ティースに生じる磁界が最大となるタイミングと、前記回転子の回転において磁極間が当該固定子ティースを通過するタイミングとのタイミングずれを補償する互いに異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする同期電動機駆動システム。

【請求項 1 6】

前記少なくとも一対の隣り合う固定子巻線のそれは、その一端はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続され、他端は当該固定子巻線を含む固定子巻線組とは異なる固定子巻き線組に含まれる他の固定子巻線に接続されている、

請求項 1 5 に記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 7】

前記複数の固定子巻線組は、隣り合う固定子巻線組の間隔が電気角で $2 / 3$ ラジアンに相当する間隔となるように並んでおり、

前記他端は当該固定子巻線と電気角が $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位置の他の固定子巻線に接続されており、

前記駆動装置は、

任意の固定子巻線組に含まれる任意の固定子巻線と、前記任意の固定子巻線組に隣り合う固定子巻線組に含まれる前記任意の固定子巻線に対応する固定子巻線とに、互いに $2 / 3$ ラジアンだけ異なる位相の電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 6 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 8】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 1 9】

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線は、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには同極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記一対の隣り合う固定子巻線に、 $\pm 2 / 3$ m ラジアンの範囲内で互いに位相が異なる電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 0】

各固定子巻線組は、第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線から構成され、

前記第 1 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で π ラジアンよりも進んだ位置に配され、

前記第 3 の固定子巻線は、前記第 2 の固定子巻線からみて回転方向に電気角で π ラジアンよりも遅れた位置に配されており、

前記第 1、第 2 および第 3 の固定子巻線は、それぞれ独立した個別の外部端子に接続され、かつ、個別に接続された外部端子に同位相の電流が供給されたときには隣り合う固定子巻線が互いに逆極性の磁場を発生させる特性を有し、

前記駆動装置は、

各固定子巻線組における前記第 1 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が遅れた電流を供給し、前記第 3 の固定子巻線に前記第 2 の固定子巻線に供給する電流よりも位相が進んだ電流を供給すること

を特徴とする請求項 1 5 記載の同期電動機駆動システム。

【請求項 2 1】

前記第 1 の固定子巻線が配された位置は、前記第 2 の固定子巻線が配された位置からみ

て回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ進んでおり、
前記第3の固定子巻線が配された位置は、前記第2の固定子巻線が配された位置からみて回転方向に電気角で ラジアンよりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ遅れており、
前記第1の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第2の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ遅れており、
前記第3の固定子巻線に供給される電流の位相は、前記第2の固定子巻線に供給される電流の位相よりも最大で $\pi / 3$ m ラジアンだけ進んでいること
を特徴とする請求項20記載の同期電動機駆動システム。

【請求項22】

各固定子巻線組において、m個の固定子巻線は、前記回転子の磁極間隔と異なる配置間隔で等間隔に並んでいること

を特徴とする請求項15記載の同期電動機駆動システム。

【請求項23】

各固定子巻線組において、m個の固定子巻線はそれぞれ独立した外部端子に個別に接続されていること

を特徴とする請求項15記載の同期電動機駆動システム。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2010/004920
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H02K21/16(2006.01)i, H02K3/16(2006.01)i, H02K3/18(2006.01)i, H02K3/28 (2006.01)i, H02K16/02(2006.01)i, H02P23/00(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>H02K21/16, H02K3/16, H02K3/18, H02K3/28, H02K16/02, H02P23/00</i>		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2007-209199 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 16 August 2007 (16.08.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-3, 7-9, 14-21 4-6, 10-13
Y A	JP 2001-268866 A (Denso Corp.), 28 September 2001 (28.09.2001), entire text; all drawings & US 6590312 B1 & EP 1102385 A2	1-3, 7-9, 14-21 4-6, 10-13
Y	JP 2007-259541 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 October 2007 (04.10.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-3, 7-9, 14-21
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 01 November, 2010 (01.11.10)		Date of mailing of the international search report 09 November, 2010 (09.11.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 P C T / J P 2 0 1 0 / 0 0 4 9 2 0										
<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H02K21/16(2006.01)i, H02K3/16(2006.01)i, H02K3/18(2006.01)i, H02K3/28(2006.01)i, H02K16/02(2006.01)i, H02P23/00(2006.01)i</p>												
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H02K21/16, H02K3/16, H02K3/18, H02K3/28, H02K16/02, H02P23/00</p>												
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table> <tr><td>日本国実用新案公報</td><td>1 9 2 2 - 1 9 9 6 年</td></tr> <tr><td>日本国公開実用新案公報</td><td>1 9 7 1 - 2 0 1 0 年</td></tr> <tr><td>日本国実用新案登録公報</td><td>1 9 9 6 - 2 0 1 0 年</td></tr> <tr><td>日本国登録実用新案公報</td><td>1 9 9 4 - 2 0 1 0 年</td></tr> </table>				日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年	日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年	日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年	日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年	
日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年											
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年											
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年											
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年											
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>												
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2007-209199 A (松下電器産業株式会社) 2007.08.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)</td> <td>1 - 3, 7 - 9, 1 4 - 2 1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4 - 6, 1 0 - 1 3</td> </tr> </tbody> </table>				引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	Y	JP 2007-209199 A (松下電器産業株式会社) 2007.08.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 3, 7 - 9, 1 4 - 2 1	A		4 - 6, 1 0 - 1 3
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号										
Y	JP 2007-209199 A (松下電器産業株式会社) 2007.08.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 3, 7 - 9, 1 4 - 2 1										
A		4 - 6, 1 0 - 1 3										
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</p> <p>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p> <p>の日の後に公表された文献</p> <p>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>「&」同一パテントファミリー文献</p>												
国際調査を完了した日 0 1 . 1 1 . 2 0 1 0	国際調査報告の発送日 0 9 . 1 1 . 2 0 1 0											
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (I S A / J P) 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 大山 広人	3 V	3 0 2 6									
	電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8											

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2010/004920
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2001-268866 A (株式会社デンソー) 2001.09.28, 全文, 全図 & US 6590312 B1 & EP 1102385 A2	1-3, 7-9, 14-21
A		4-6, 10-13
Y	JP 2007-259541 A (三菱電機株式会社) 2007.10.04, 全文, 全図 (アミリーなし)	1-3, 7-9, 14-21

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,S,E,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,I,L,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

F ターム(参考) 5H621 AA02 BB10 GA11 GB00 HH01

(注) この公表は、国際事務局（W I P O）により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願（日本語実用新案登録出願）の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項（実用新案法第48条の13第2項）により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。