

明 細 書

発明の名称：

ロータ、ロータコア、誘導モータ、及び誘導モータの設計方法

技術分野

[0001] 本発明は、ロータ、ロータコア、誘導モータ、及び誘導モータの設計方法に関する。

本願は、2022年12月12日に、日本に出願された特願2022-197759号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来から、例えば下記特許文献1～3に記載の誘導モータが知られている。

特許文献1の誘導モータは、二重かご形二次導体を形成した回転子により、起動トルクを高めると共に、通常運転時の効率を向上できるように構成されている。

特許文献2の誘導モータは、二次導体の断面形状を歪ませることで遠心力を面で受け、高速回転駆動が可能となるように構成されている。

特許文献3の誘導モータは、軸方向に通気孔を設けることで冷却性能を確保するように構成され、さらにロータにスロットが形成されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2009-093345号

特許文献2：特開2015-35870号公報

特許文献3：特開2020-10510号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 一般的に、誘導モータにおけるトルク向上が望まれている。なお、特許文献1～3の誘導モータには、二次導体の径方向外側に形成されたスロットの

形状と、トルクの向上と、の関係について開示がない。

[0005] 本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、スロットの形状変化によりトルクを向上させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] <1>本発明の一態様に係るロータは、ロータコアと、前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に間隔をあけて複数配置された二次導体と、を備え、前記ロータコアには、前記ロータコアを、前記ロータコアの軸方向に貫通するとともに前記二次導体が挿入された挿入孔が複数形成され、前記ロータコアのうち、前記二次導体に対して前記ロータコアの径方向の外側に位置する部分には、前記径方向の外側に開口するスロットが設けられ、前記二次導体は、前記スロットを通して前記径方向の外側に露出し、前記ロータコアには、前記スロットを前記周方向に挟んで対向する一对の端面が設けられ、前記ロータコアの中心軸に交差し、かつ、前記二次導体の前記周方向における中央を通過する基準線を規定したときに、前記二次導体および前記挿入孔のうちの少なくとも一方の形状は、前記基準線を基準として前記周方向に対称であり、前記一对の端面は、前記基準線を基準として前記周方向に非対称である。

[0007] <2>本発明の一態様に係るロータコアは、誘導モータ用のロータコアであって、前記ロータコアには、前記ロータコアを、前記ロータコアの軸方向に貫通するとともに二次導体が挿入される挿入孔が複数形成され、前記ロータコアのうち、前記挿入孔に対して前記ロータコアの径方向の外側に位置する部分には、前記ロータコアの径方向の外側に開口するスロットが設けられ、前記ロータコアには、前記スロットを前記ロータコアの周方向に挟んで対向する一对の端面が設けられ、前記ロータコアの中心軸に交差し、かつ、前記挿入孔の前記周方向における中央を通過する基準線を規定したときに、前記挿入孔は、前記基準線を基準として前記周方向に対称であり、前記一对の端面は、前記基準線を基準として前記周方向に非対称である。

[0008] <3>本発明の一態様に係る誘導モータは、環状のステータと、前記ステ

ータ内に配置された上記<1>に記載のロータと、を備える。

[0009] <4>上記<3>に係る誘導モータでは、前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記スロットの回転前方端部の回転前方への離間角を θf 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記スロットの回転後方端部の回転後方への離間角を θb とすると、 θf は、 $0 \leq \theta f \leq 0.45 \theta s$ であり、 θb は、 $0 \leq \theta f \leq 0.25 \theta s$ の時、 $-0.8 \theta f \leq \theta b < 0$ となり、 $0.25 \theta s < \theta f \leq 0.45 \theta s$ の時、 $\theta f - 0.45 \theta s \leq \theta b < 0$ となってもよい。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θs は、 $\theta s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータのスロット数を意味する。

[0010] <5>上記<3>に係る誘導モータでは、前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記スロットの回転前方端部の回転前方への離間角を θf 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記スロットの回転後方端部の回転後方への離間角を θb とすると、 θb は、 $0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ であり、 θf は、 $0 \leq \theta b < 0.45 \theta s$ の時、 $-0.45 \theta b \leq \theta f \leq 0$ となり、 $0.45 \theta s \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ の時、 $4 \theta b - 2 \theta s \leq \theta f \leq 0$ となってもよい。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次

導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θ_s は、 $\theta_s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータの-slot数を意味する。

[0011] <6>上記<3>に係る誘導モータでは、前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記-slotの回転前方端部の回転前方への離間角を θ_f 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記-slotの回転後方端部の回転後方への離間角を θ_b とすると、 θ_f は、 $0 \leq \theta_f \leq 0.45 \theta_s$ であり、 θ_b は、 $0 \leq \theta_f \leq 0.25 \theta_s$ の時、 $-0.8 \theta_f \leq \theta_b$ となり、 $0.25 \theta_s < \theta_f \leq 0.35 \theta_s$ の時、 $-0.25 \theta_s \leq \theta_b$ となり、 $0.35 \theta_s < \theta_f \leq 0.45 \theta_s$ の時、 $2 \theta_f - 0.9 \theta_s \leq \theta_b$ となってもよい。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θ_s は、 $\theta_s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータの-slot数を意味する。

- [0012] <7>上記<3>に係る誘導モータでは、前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記-slotの回転前方端部の回転前方への離間角を θ_f 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記-slotの回転後方端部の回転後方への離間角を θ_b とすると、 θ_b は、 $0 \leq \theta_b \leq 0.5 \theta_s$ であり、 θ_f は、 $0 \leq \theta_b \leq 0.25 \theta_s$ の時、 $-0.8 \theta_b \leq \theta_f$ となり、 $0.25 \theta_s < \theta_b \leq 0.5 \theta_s$ の時、 $-0.2 \theta_s \leq \theta_f$ となってもよい。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一対の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一対の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θ_s は、 $\theta_s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータの-slot数を意味する。

- [0013] <8>本発明の一態様に係る誘導モータの設計方法は、上記<3>から上記<7>のいずれか1つに記載の誘導モータの設計方法であって、前記一対の端面の位置、前記ステータに形成されたステータ-slotの数、前記二次導体の本数に応じて前記誘導モータにおける磁束を計算し、計算結果に基づいて前記誘導モータを設計する。

- [0014] 誘導モータでは、ステータ電流による磁束と、磁束の時間変化によりロータの二次導体に生じる二次電流と、から発生するローレンツ力によりトルクを得る。また、ロータとステータとの間のマクスウェル応力もトルクに寄与

する。誘導モータでは二次導体に誘導電流を発生させる必要があるため、ステータ電流の周波数とロータ回転周波数が異なる。すなわち、ロータとステータ磁界の相対的な位置関係は時々刻々と変化する。そのため、従来技術では、スロットの形状変化による特性向上例はほとんど見られない。一部、二次導体の形状を変化させた例があるが、スロットによる特性向上は例がない。

本願発明者は、この構造の誘導モータにおいて、トルクを向上させることを目的として、特開 2021-114099 号公報記載の内容に基づく解析を実施して、ロータ形状の最適化を検討した。その結果、スロットに加えて二次導体の両側に新たなフラックスバリアを追加することでトルクを向上させることが示唆された。さらに検討を進めたところ、新たなフラックスバリアをロータコアの外周に開口することによりトルクが一層向上することが確認された。その結果、新たなフラックスバリアを追加するというよりも、単に既存のスロットの開口位置を変えることによりトルクの向上を実現できることが示唆された。

誘導モータのトルクは、二次導体の電流が受けるローレンツ力と、二次電流から生じる磁束によるマクスウェル応力で構成され、マクスウェル応力の割合が一般に大きい。そのため、スロットの開口位置を変えて二次電流磁束とステータ磁束との導通経路を変化させることにより、特にマクスウェル応力が高められて誘導モータのトルクが向上すると考えられる。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、スロットの形状変化によりトルクを向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の参考例に係る誘導モータを示す図であって、一部断面を含む平面図である。

[図2]図 1 に示す誘導モータに含まれるロータの後方基準位置および前方基準位置を説明する模式図である。

[図3]本発明の実施形態における離間角を説明する模式図である。

[図4]ロータコアが積層コアの場合の側面視である。

[図5]本発明の第1実施形態の第1例に係る誘導モータを示す図であって、一部断面を含む平面図である。

[図6]図5に示す誘導モータに含まれるロータの拡大平面図である。

[図7]図6に示す離間角を説明する模式図である。

[図8]本発明の第1実施形態の第2例に係る誘導モータを示す図であって、一部断面を含む平面図である。

[図9]図8に示す誘導モータに含まれるロータの拡大平面図である。

[図10]図1に示す参考例の誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図11]図6に示す第1例の誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図12]図1に示す参考例の誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図13]図9に示す第2例の誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図14]図6に示す第1例の誘導モータにおいてスロットの位置変化に対するトルクの増加率を説明するグラフである。

[図15]図9に示す第2例の誘導モータにおいてスロットの位置変化に対するトルクの増加率を説明するグラフである。

[図16]本発明の第1実施形態に係る誘導モータにおけるスロットによる位置変化に対するトルクの増加範囲を説明するグラフである。

[図17]本発明の第2実施形態に係る誘導モータにおけるスロットによる位置変化に対するトルクの増加範囲を説明するグラフである。

[図18]第1実施形態の誘導モータおよび第2実施形態の誘導モータにおいて図9に示すロータのスロットによるトルクの増加範囲の違いを説明するグラフである。

[図19]第2実施形態の誘導モータにおいて図9に示すロータを含む誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図20]第1実施形態の誘導モータにおいて図9に示すロータを含む誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図21]第1実施形態の誘導モータおよび第2実施形態の誘導モータにおいて図6に示すロータの-slotによるトルクの増加範囲の違いを説明するグラフである。

[図22]第2実施形態の誘導モータにおいて図6に示すロータを含む誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

[図23]第1実施形態の誘導モータにおいて図6に示すロータを含む誘導モータの磁束の解析結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図1から図23を参照し、本発明の一実施形態に係るロータ、誘導モータ、及び誘導モータの設計方法を説明する。誘導モータは、例えば、電気自動車などに好適に採用される。なお、誘導モータにおいて、ステータコア21およびロータコア31に通常材を採用した誘導モータを第1実施形態とし、高 B_s 材を採用した誘導モータを第2実施形態として説明する。なお、通常材は、例えば、磁束飽和密度 B_s が $B_s < 2.0\text{ T}$ を満たす鋼板である。高 B_s 材は、例えば、磁束飽和密度 B_s が $B_s \geq 2.0\text{ T}$ を満たす鋼板である。

[0018] [誘導モータの基本構成（参考例）]

まず、誘導モータの基本構成について、図1～図4を用いて説明する。

図1に示すように、誘導モータ10は、ステータ20と、ロータ30と、ケース50と、回転軸60と、を備える。ステータ20およびロータ30は、ケース50に収容される。ステータ20は、ケース50に固定される。誘導モータ10は、ロータ30がステータ20内に配置されたインナーロータ型である。

[0019] なお図示の例では、誘導モータ10が、8極24-slotの三相交流モータである。しかしながら、例えば極数やslot数、相数などは適宜変更することができる。

また誘導モータ10において、ステータ20およびロータ30の軸線は共通軸上にある。以下では、この共通軸を中心軸線O（ロータ30の中心軸）

という。中心軸線O方向（後述するロータコア31の軸方向）を軸方向といい、中心軸線Oに直交する方向（後述するロータコア31の径方向）を径方向といい、中心軸線O周りに周回する方向（後述するロータコア31の周方向）を周方向という。

[0020] ステータ20は、ステータコア21と、図示しない巻線と、を備える。

ステータコア21は、筒状（円筒状）のコアバック22（ヨーク）と、複数のティース23と、を備える。

[0021] コアバック22は、誘導モータ10を軸方向から見た平面視において円環状に形成されている。

複数のティース23は、コアバック22から径方向の内側に向けて（径方向に沿ってコアバック22の中心軸線Oに向けて）突出する。複数のティース23は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。図示の例では、中心軸線Oを中心とする中心角15度おきに24個のティース23が設けられている。複数のティース23は、互いに同等の形状で、かつ同等の大きさに形成されている。周方向に隣り合うティース23の間は、ステータスロット24である。

前記巻線は、ティース23に巻き回されている。前記巻線は、集中巻きされていてよく、分布巻きされていてよい。

[0022] ロータ30は、ステータ20（ステータコア21）に対して径方向の内側に配置されている。ロータ30は、ロータコア31と、複数の二次導体32と、を備える。

ロータコア31は、ステータ20と同軸に配置される筒状（円筒状）に形成されている。ロータコア31内には、前記回転軸60が配置されている。回転軸60は、ロータコア31と一緒に回転するように、ロータコア31に固定されている。

複数の二次導体32は、ロータコア31に固定されている。複数の二次導体32は、周方向に同等の間隔をあけて配置されている。図示の例では、複数の二次導体32は、19個設けられている。

[0023] ロータコア 3 1 には、ロータコア 3 1 を軸方向に貫通する複数の挿入孔 3 4 が形成されている。複数の挿入孔 3 4 は、複数の二次導体 3 2 に対応して設けられている。各二次導体 3 2 は、対応する挿入孔 3 4 内に配置された状態でロータコア 3 1 に固定されている。各二次導体 3 2 のロータコア 3 1 への固定は、例えば二次導体 3 2 の外面と挿入孔 3 4 の内面とを接着剤により接着することなどにより、実現することができる。

[0024] なお、ステータコア 2 1 およびロータコア 3 1 としては、積層コアを採用することが可能である。図 4 は、ロータコア 3 1 が積層コア 1 0 0 の場合の側面視である。図 4 は、概略を示す図であり、実際とは積層コア 1 0 0 の寸法、後述するスロット 3 5 の数などは異なる。積層コア 1 0 0 は、複数の電磁鋼板が積層されることで形成されている。積層された電磁鋼板同士は、例えば、かしめや接着、溶接などにより固定されている。ステータコア 2 1 およびロータコア 3 1 として、積層コア 1 0 0 を採用する場合、積層コア 1 0 0 を構成する全ての電磁鋼板の平面視形状が同形状である。

ステータコア 2 1 およびロータコア 3 1 を形成する各電磁鋼板は、例えば、母材となる電磁鋼板を打ち抜き加工することなどにより形成される。電磁鋼板としては、公知の通常材で形成された電磁鋼板を用いることができる。電磁鋼板の化学組成は特に限定されない。図示の例では、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板を採用している。無方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2 5 5 2 : 2 0 1 4 の無方向性電磁鋼帯を採用することができる。しかしながら、電磁鋼板として、無方向性電磁鋼板に代えて方向性電磁鋼板を採用することも可能である。方向性電磁鋼板としては、例えば、J I S C 2 5 5 3 : 2 0 1 2 の方向性電磁鋼帯を採用することができる。

[0025] 電磁鋼板の加工性や、積層コア 1 0 0 の鉄損を改善するため、電磁鋼板の両面には、絶縁被膜が設けられている。絶縁被膜を構成する物質としては、例えば、(1) 無機化合物、(2) 有機樹脂、(3) 無機化合物と有機樹脂との混合物、などが適用できる。無機化合物としては、例えば、(1) 重クロム酸塩とホウ酸の複合物、(2) リン酸塩とシリカの複合物、などが挙げ

られる。有機樹脂としては、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、アクリルスチレン系樹脂、ポリエステル系樹脂、シリコン系樹脂、フッ素系樹脂などが挙げられる。

[0026] なお図示の例では、ステータコア21およびロータコア31いずれも積層コア100である。これらのステータコア21およびロータコア31は、電磁鋼板として前述の通常材が用いられている。

[0027] 以下、ロータ30の詳細について説明する。

複数の二次導体32は、前述したようにロータコア31に埋め込まれている。複数の二次導体32における軸方向の一方の端部は、ロータコア31に対して軸方向の外側（ロータコア31の外部）で互いに連結され、他方の端部も、ロータコア31に対して軸方向の外側（ロータコア31の外部）で互いに連結されている。図示の例では、二次導体32は、直方体状である。二次導体32は、平面視において矩形状である。

[0028] ここで、誘導モータ10においては、ロータ磁束を効率的にステータ20に伝達するために、複数の二次導体32の外周部（外周側）にそれぞれオープンスロット35と呼ばれる空隙（開口部）を設けられている。以下、オープンスロット35を単にスロット35という。複数のスロット35は、ロータコア31のうち複数の二次導体32に対してロータコア31の径方向の外側に配置されている。複数のスロット35は、複数の二次導体32の径方向の外側においてロータコア31の外周に開口している。複数のスロット35は、ロータコア31を軸方向に貫通する空隙部である。複数のスロット35は、ロータコア31の軸方向の全長にわたって連続している。複数の二次導体32は、複数のスロット35を通して径方向の外側に露出している。スロット35は、例えば、ロータコア31からステータ20（複数のティース23）へ向かう磁束の流入経路（磁束経路）を適切に分布させるために設けられるフラックスバリアとして機能する。これにより、ロータコア31からステータ20に磁束が効果的に伝達され、トルク増大や応力低減といった効果を得ることができる。スロット35の周方向の幅は、挿入孔34の周方向の

幅よりも大きいことが好ましい。

ロータコア 31 として積層コア 100 を採用する場合、ロータコア 31 を構成する全ての電磁鋼板のスロット 35 および挿入孔 34 を含めた平面視形状は、同形状であることが好ましい。ロータコア 31 を構成する全ての電磁鋼板において、各スロット 35 および各挿入孔 34 の形状および配置が一致することが好ましい。また、ロータコア 31 の側面視でスロット 35 の開口部が軸方向（ロータコア 31 が積層コア 100 である場合は、積層コア 100 の積層方向）に平行、または電磁鋼板の平面方向に垂直に連続するように形成されることが好ましい。ロータコア 31 を構成する全ての電磁鋼板におけるスロット 35 の配置および形状が軸方向に一致することが好ましい。即ち、ロータコア 31 の側面視でスロット 35 が軸方向全長にわたって連通し、一部も分断されていないことが好ましい。また、各スロット 35 の形状は同一であることが好ましい。

[0029] 図 2 に示すように、ロータコア 31 にはスロット後端面 36 およびスロット前端面 37 が設けられている。スロット後端面 36 およびスロット前端面 37 は、スロット 35 の一对の端面を形成している。スロット後端面 36 およびスロット前端面 37 は、スロット 35 を周方向（回転方向）に挟んで対向するように設けられている。スロット後端面 36 は、基準線 Lc を基準として誘導モータ 10 の回転方向（周方向）の後方に位置する。スロット後端面 36 は、スロット 35 における回転後方側の端面である。スロット前端面 37 は、基準線 Lc を基準として誘導モータ 10 の回転方向の前方に位置する。スロット前端面 37 は、スロット 35 における回転前方側の端面である。図示の例では、スロット後端面 36 およびスロット前端面 37 は、互いに平行である。

[0030] 基準線 Lc は、ロータコア 31 の中心軸線 O に交差し、かつ、二次導体 32 の周方向における中央を通過するように規定された線である。二次導体 32 および挿入孔 34 の形状は、基準線 Lc を基準として周方向に対称である。本実施形態では、二次導体 32 および挿入孔 34 は、平面視において同等

の形状かつ同等の大きさである。二次導体 3 2 および挿入孔 3 4 は、平面視において、一对の辺が径方向に沿って（径方向に平行に）延び、かつ、径方向に長い矩形状である。なお本実施形態では、二次導体 3 2 および挿入孔 3 4 の両方の形状が、基準線 L_c を基準として周方向に対称であるが、二次導体 3 2 および挿入孔 3 4 の一方の形状のみが、基準線 L_c を基準として周方向に対称であってもよい。ロータ 3 0 では、二次導体 3 2 および挿入孔 3 4 の少なくとも一方の形状が、基準線 L_c を基準として周方向に対称である。

[0031] 以下において誘導モータ 1 0 の回転方向（周方向）の前方を、単に前方 F とし、回転方向の後方を、単に後方 R とする。なお、中心軸線 O 回りの両方向に回転可能な誘導モータ 1 0 の場合、上記回転方向とは、誘導モータ 1 0 が主に回転する回転方向を意味する。また図示の例では、紙面を見たときにおける反時計回りを前方 F とし、時計回りを後方 R とする。

[0032] ここで、スロット 3 5 の形状を決めるために必要とする基準位置として後方基準位置（回転後方基準位置） P_r および前方基準位置（回転前方基準位置） P_f について説明する。

二次導体 3 2 において後方 R 側の第 1 側面 3 2 a のうち径方向外側（径方向に沿ってロータコア 3 1 の外周側）の端部を第 1 外側端部 3 2 b とする。また、二次導体 3 2 において前方 F 側の第 2 側面 3 2 c のうち径方向外側の端部を第 2 外側端部 3 2 d とする。また、スロット後端面 3 6 のうち径方向外側の端部を回転後方端部 3 6 a とする。また、スロット前面 3 7 のうち径方向外側の端部を回転前方端部 3 7 a とする。

また、ロータコア 3 1 の中心軸線 O を中心として第 1 外側端部 3 2 b および回転後方端部 3 6 a の周方向における離間角を θ_1 とする。ロータコア 3 1 の中心軸線 O を中心として第 2 外側端部 3 2 d および回転前方端部 3 7 a の周方向における離間角を θ_4 とする。さらに、ロータコア 3 1 の中心軸線 O を中心として基準線 L_c および回転後方端部 3 6 a の周方向における離間角を θ_2 とする。ロータコア 3 1 の中心軸線 O を中心として基準線 L_c および回転前方端部 3 7 a の周方向における離間角を θ_3 とする。

この条件において、離間角 $\theta 1 = \theta 2 = \theta 3 = \theta 4$ となる時のスロット後端面 3 6 における径方向外側の端部（回転後方端部 3 6 a）を後方基準位置 P_r とし、スロット前端面 3 7 における径方向外側の端部（回転前方端部 3 7 a）を前方基準位置 P_f とする。

言い換えると、中心軸線 O に交差するとともに二次導体 3 2 の第 1 外側端部 3 2 b を通過する直線と、基準線 L c と、が成す中心角を $\theta 1 = \theta 2$ に二等分する直線と、ロータコア 3 1 の外周円と、が交差する点を、後方基準位置 P_r とする。また、中心軸線 O に交差するとともに二次導体 3 2 の第 2 外側端部 3 2 d を通過する直線と、基準線 L c と、が成す中心角を $\theta 3 = \theta 4$ に二等分する直線と、ロータコア 3 1 の外周円と、が交差する点を、前方基準位置 P_f とする。さらに言い換えると、後方基準位置 P_r は、離間角 $\theta 1 = \theta 2 = \theta 3 = \theta 4$ となる時の回転後方端部 3 6 a の周方向位置（ロータコア 3 1 の中心軸線 O と、回転後方端部 3 6 a と、を通る直線）である。また、前方基準位置 P_f は、離間角 $\theta 1 = \theta 2 = \theta 3 = \theta 4$ となる時の回転前方端部 3 7 a の周方向位置（ロータコア 3 1 の中心軸線 O と、回転前方端部 3 7 a と、を通る直線）である。

[0033] なお、参考例に係る誘導モータ 1 0 では、離間角 $\theta 1 = \theta 2 = \theta 3 = \theta 4$ である。この場合、ロータコア 3 1 に、第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 が設けられている。第 1 支持部 4 1 は、ロータコア 3 1 のうち、二次導体 3 2 の径方向外側であって、かつ、スロット後端面 3 6 の後方に位置する部分である。第 2 支持部 4 2 は、ロータコア 3 1 のうち、二次導体 3 2 の径方向外側であって、かつ、スロット前端面 3 7 の前方に位置する部分である。これらの第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 は、二次導体 3 2 に作用する遠心力を受け持ち、例えば、二次導体 3 2 の径方向外側への膨出などを規制する。

[0034] ここで、離間角 $\theta 1$ が小さすぎた場合、周方向においてスロット後端面 3 6 が第 1 外側端部 3 2 b に近づきすぎる。よって、第 1 支持部 4 1 が小さくなりすぎる。また、離間角 $\theta 4$ が小さすぎた場合、周方向においてスロット

前端面 3 7 が第 2 外側端部 3 2 d に近づきすぎる。よって、第 2 支持部 4 2 が小さくなりすぎる。このため、二次導体 3 2 に作用する遠心力を第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 で担保することが難しい。このため、離間角 $\theta 1$ 、 $\theta 4$ の大きさを、図 2 に示す離間角 $\theta 1 = \theta 2 = \theta 3 = \theta 4$ となる時の離間角 $\theta 1$ および離間角 $\theta 4$ 以上として、二次導体 3 2 に作用する遠心力を第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 により担保する構成とすることが好ましい。

一方、離間角 $\theta 1$ 、 $\theta 4$ の大きさが図 2 に示す離間角 $\theta 1$ 、 $\theta 4$ より小さくなる構成は、二次導体 3 2 に作用する遠心力を担保する観点からは好ましくない。

[0035] つぎに、スロット 3 5 の形状を決めるために必要とするスロット 3 5 の離間角 θb および離間角 θf を図 3 に基づいて説明する。

図 3 に示すように、後方基準位置 $P r$ に対する回転後方端部 3 6 a の回転後方への離間角を θb とする。離間角 θb は、後方基準位置 $P r$ に対する後方 R を正 (+)、前方 F を負 (-) とする。前方基準位置 $P f$ に対する回転前方端部 3 7 a の回転前方への離間角を θf とする。離間角 θf は、前方基準位置 $P f$ に対する前方 F を正 (+)、後方 R を負 (-) とする。

よって、離間角 θb および離間角 θf を正の範囲とする構成は、二次導体 3 2 のうち径方向の外側の外端部 3 2 e から第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 が周方向に退避した位置に配置される。つまり、第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 に対応する領域が小さくなる。このため、離間角 θb および離間角 θf を正の範囲とする構成は、二次導体 3 2 に作用する遠心力を第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 で担保する観点からは好ましくない。

[0036] [第 1 実施形態]

ここで、図 5 から図 9 に示す本実施形態に係る誘導モータ 1 0 A、1 0 B では、トルク向上の観点から、スロット後端面 3 6 およびスロット前端面 3 7 を、あえて、基準線 $L c$ を基準として周方向に非対称とした。ロータコア 3 1 として積層コア 1 0 0 を採用する場合、ロータコア 3 1 を構成する全て

の電磁鋼板のスロット 35 A、35 B を、基準線 L c を基準として周方向に非対称とした。なおその他の点は、参考例に係る誘導モータ 10 と同一である。

[0037] (第 1 例)

まず、図 5 から図 7 に示す第 1 例の誘導モータ 10 A では、スロット 35 A が、スロット後端面 36 を後方 R 側に変位させて基準線 L c に対して非対称となっている。図 7 は、図 6 に示す離間角を説明する模式図である。

図 5 から図 7 に示すように、スロット 35 A の開口部の形状は以下のように決められる。

すなわち、後方基準位置 P r に対する回転後方端部 36 a の周方向における離間角 θb は、後方基準位置 P r を 0 とすると、 $0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ である。

ここで、 θs は、 $\theta s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、ステータスロット 24 の数（図示の例では、24）を意味する。

$0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ において、前方基準位置 P f に対する回転前方端部 37 a の周方向における離間角 θf は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θf は、前方基準位置 P f を 0 とすると、 $0 \leq \theta b < 0.45 \theta s$ の時、 $-0.45 \theta b \leq \theta f \leq 0$ となる。さらに、離間角 θf は、 $0.45 \theta s \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ の時、 $4 \theta b - 2 \theta s \leq \theta f \leq 0$ となる。

なお図示の例では、 $\theta f = 0$ であり、 $\theta b = 0.45 \theta s$ である。

離間角 θf は、例えば、積層コア 100 から 1 枚の電磁鋼板を抜き出し、スロット 35 A の形状をスキャンして画像データとし、CAD により測定する。

[0038] このように、離間角 θb および離間角 θf の関係を満たすことにより、後述するように、スロット 35 A の形状変化により誘導モータ 10 A のトルクを向上（増加）させることができる。

[0039] (第 2 例)

つぎに、図8、図9に示す第2例の誘導モータ10Bでは、スロット35Bが、スロット前端面37を前方F側に変位させて基準線Lcに対して非対称となっている。

図8、図9に示すように、スロット35Bは開口部の形状が以下のように決められる。

すなわち、前方基準位置Pfに対する回転前方端部37aの周方向における離間角 θf は、前方基準位置Pfを0とすると、 $0 \leq \theta f \leq 0.45\theta s$ である。

$0 \leq \theta f \leq 0.45\theta s$ において、後方基準位置Prに対する回転後方端部36aの周方向における離間角 θb は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θb は、後方基準位置Prを0とすると、 $0 \leq \theta f \leq 0.25\theta s$ の時、 $-0.8\theta f \leq \theta b < 0$ となる。さらに、離間角 θb は、 $0.25\theta s < \theta f \leq 0.45\theta s$ の時、 $\theta f - 0.45\theta s \leq \theta b < 0$ となる。

なお図示の例では、 $\theta b = 0$ であり、 $\theta f = 0.25\theta s$ である。

[0040] このように、離間角 θb および離間角 θf の関係を満たすことにより、後述するように、スロット35Bの形状変化により誘導モータ10Bのトルクを向上（増加）させることができる。

[0041] （参考例と第1例との磁束の比較）

つぎに、参考例の誘導モータ10と、実施形態の第1例のスロット35Aが形成された誘導モータ10Aと、のトルクを図10、図11に基づいて検討した。図10は参考例の誘導モータ10における磁束の流れを示し、図11は実施形態の第1例の誘導モータ10Aにおける磁束の流れを示す。図10、図11に示す磁束（矢印）は、ソフトウェアによるシミュレーションの結果に基づく。

[0042] 図10および図11では、誘導モータ10、10Aそれぞれにおいて、4つのティース23それぞれにおける磁束密度と、各ティース23からロータコア31への磁束の流れと、を示している。

[0043] 図10に示すように、参考例の誘導モータ10では、磁束密度が1.92 T、1.96 T、1.83 Tとされた前方3つのティース23において、実線矢印Aで示す磁束密度ベクトルのロータコア31への入射角度が小さく抑えられている。また、これらの3つに後方から続き磁束密度が1.92 Tとされたティース23において、破線矢印Bで示す磁束密度ベクトルのロータコア31への入射角度も比較的小さく抑えられている。

[0044] 図11に示すように、実施形態の誘導モータ10Aでは、参考例の誘導モータ10と比較して、最も前方に位置するティース23の磁束密度が参考例の1.92 Tから1.89 Tに下がっている。また、その他のティース23も、前方から後方に向けて順に、1.96 Tから1.87 Tに下がり、1.83 Tから1.70 Tに下がり、1.29 Tから1.26 Tに下がっている。すなわち、実施形態の誘導モータ10Aは、参考例の誘導モータ10と比較して磁束密度が全体に下がっている。

一方、実施形態の誘導モータ10Aでは、前方2つのティース23において、実線矢印Cで示す磁束密度ベクトルのロータコア31への入射角度が大きくなっている。これにより、マクスウェル応力が大きくなり、実施形態のスロット35Aが形成された誘導モータ10Aにおいてトルクの向上が実現されたと考えられる。

ここで、破線矢印Dで示す磁束密度ベクトルの部分は磁束経路が遮断されている。磁束経路の遮断は、トルクの低下につながるが、この部分はティース23の磁束密度が低いため、トルクの低下に与える影響が小さいと考えられる。

[0045] (参考例と第2例との磁束の比較)

つぎに、参考例の誘導モータ10と、実施形態の第2例のスロット35Bが形成された誘導モータ10Bと、のトルクを図12、図13に基づいて検討した。図12は参考例の誘導モータ10における磁束の流れを示し、図13は実施形態の第2例の誘導モータ10Bにおける磁束の流れを示す。図12、図13に示す磁束(矢印)は、ソフトウェアによるシミュレーションの

結果に基づく。

[0046] 図12および図13では、誘導モータ10、10Bそれぞれにおいて、4つのティース23それぞれにおける磁束密度と、各ティース23からロータコア31への磁束の流れと、を示している。以下では説明のため、これらの4つのティース23を前方から順にティース23A、23B、23C、23Dとする。

[0047] 図12に示すように、参考例の誘導モータ10では、ティース23Bから、ロータコア31においてティース23Bに対して（スロット35を跨いで）前方に位置する部分に磁束密度0.51Tの磁束が流れている。また、ティース23Cから、ロータコア31においてティース23Cに対して（スロット35を跨いで）前方に位置する部分に磁束密度0.33Tの磁束が流れている。この磁束により実線矢印Eで示す負の大きなトルクが発生する。

[0048] 図13に示すように、実施形態の誘導モータ10Bでは、ティース23Bからロータコア31に流れる磁束経路がスロット35Bにより妨げられ、各ティース23から、各ティース23Aの前方に位置するティース23に磁束が流れている。具体的には、ティース23Bからティース23Aに磁束密度0.37Tが流れ、ティース23Cからティース23Bに磁束密度0.24Tの磁束が流れている。よって、ティース23からロータコア31に流れる磁束経路を妨げることができる。

ここで、ティース23から隣のティース23（前方のティース23）に流れる磁束によっては負のトルクを生じない。一方、ティース23から、ロータコア31においてティース23に対して（スロット35を跨いで）前方に位置する部分に流れる磁束は負のトルクに寄与する。よって、ティース23から隣のティース23に磁束を流して、ティース23からロータコア31に流れる磁束経路を妨げることにより、実線矢印で示す前方Fの負のトルクを小さく抑えることができる。

[0049] また、実施形態の誘導モータ10Bでは、破線矢印Gに示すように、正のトルクに寄与する磁束密度も参考例の誘導モータ10に比べて若干大きな

っている。具体的は、破線矢印Gで示す正のトルクに寄与する磁束密度は、ティース23B、ティース23C、ティース23Dの順に、1.76T、1.81T、1.92Tである。一方、図12に示す参考例の誘導モータ10の磁束密度は、ティース23B、ティース23C、ティース23Dの順に、1.75T、1.79T、1.90Tである。正のトルクに寄与する磁束密度が若干大きくなる理由として、負のトルクに寄与する磁束経路が妨げられることにより、妨げられた磁束が正のトルクに寄与する経路に流れ込んだと考えられる。これにより、実施形態の-slot35Bが形成された誘導モータ10Bにおいてトルクの向上が実現されたと考えられる。

[0050] (slot後端面36およびslot前端面37の好適な位置の検討)

つぎに、slot35Aが形成された誘導モータ10Aにおいてslot後端面36の回転後方端部36aの位置変化とトルク増加率との関係を解析した結果を図14のグラフに基づいて説明する。図14は、slot35Aにおいて回転後方端部36aの位置変化に対するトルクの増加率を説明するグラフである。図14は、縦軸にトルク増加率(%)を示し、横軸に回転後方端部36aの位置を θ_b/θ_s (%)で示す。なお、解析条件は表1に基づく。

[0051] [表1]

電流	5.0Arms
すべり	10%
周波数	50Hz
ロータ径	27mm
ステータslot数	24
二次導体本数	19

[0052] 図14において、グラフG1は、slot前端面37の回転前方端部37aを $\theta_f/\theta_s=0\%$ の位置に固定した状態において、回転後方端部36aの位置を θ_b/θ_s を0~60%の範囲で移動させてトルクの増加率を解析

した結果を示す。

グラフG2は、回転前方端部37aを $\theta_f / \theta_s = -7.9\%$ の位置に固定した状態において、回転後方端部36aの位置を θ_b / θ_s を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG3は、回転前方端部37aを $\theta_f / \theta_s = -15.8\%$ の位置に固定した状態において、回転後方端部36aの位置を θ_b / θ_s を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG4は、回転前方端部37aを $\theta_f / \theta_s = -23.7\%$ の位置に固定した状態において、回転後方端部36aの位置を θ_b / θ_s を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG1～G4の解析結果から、回転前方端部37aの位置が $\theta_f / \theta_s = 0 \sim -15.8\%$ の範囲においてトルクが増加している範囲が少なくとも一部あることが認められる。すなわち、スロット35を、図6に示すスロット35Aのようにスロット後端面36が基準位置に対して後方R側に位置し、スロットが基準線Lcに対して非対称な開口形状に形成する場合は、 $\theta_f / \theta_s = 0 \sim -15.8\%$ 、且つ、 $\theta_b / \theta_s = 0 \sim 60\%$ の範囲とすることにより、トルクが向上（増加）する範囲が少なくとも一部あることがわかる。

[0053] つぎに、スロット35Bが形成された誘導モータ10Bにおいてスロット前端面37の回転前方端部37aの位置変化とトルク増加率との関係を解析した結果を図15のグラフに基づいて説明する。図15は、スロット35Bにおいて回転前方端部37aの位置変化に対するトルクの増加率を説明するグラフである。図15は、縦軸にトルク増加率（％）を示し、横軸に回転前方端部37aの位置を θ_f / θ_s （％）で示す。なお、解析条件は表1に基づく。

[0054] 図15において、グラフG5は、スロット後端面36の回転後方端部36aを $\theta_b / \theta_s = 0\%$ の位置に固定した状態において、回転前方端部37aの位置を θ_f / θ_s を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析

した結果を示す。

グラフG6は、回転後方端部36aを $\theta b / \theta s = -7.9\%$ の位置に固定した状態において、回転前方端部37aの位置を $\theta f / \theta s$ を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG7は、回転後方端部36aを $\theta b / \theta s = -15.8\%$ の位置に固定した状態において、回転前方端部37aの位置を $\theta f / \theta s$ を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG8は、回転後方端部36aを $\theta b / \theta s = -23.7\%$ の位置に固定した状態において、回転前方端部37aの位置を $\theta f / \theta s$ を $0 \sim 60\%$ の範囲で移動させてトルクの増加率を解析した結果を示す。

グラフG5～G8の解析結果から、回転後方端部36aの位置を $\theta b / \theta s = 0 \sim -15.8\%$ の範囲においてトルクが増加している範囲が少なくとも一部あることが認められる。すなわち、スロット35を図9に示すスロット35Bのようにスロット前端面37が基準位置に対して前方F側に位置し、スロットが基準線Lcに対して非対称な開口形状に形成する場合は、 $\theta b / \theta s = 0 \sim -15.8\%$ 、且つ、 $\theta f / \theta s = 0 \sim 60\%$ の範囲とすることにより、トルクが向上（増加）する範囲が少なくとも一部あることがわかる。

[0055] つぎに、スロット35Aおよびスロット35Bによるトルク増加範囲を図16のグラフに基づいて説明する。図16は、図14の解析結果および図15の解析結果に基づいて作成したグラフである。図16は、スロット35Aの回転後方端部36aおよびスロット35Bの回転前方端部37aによる位置変化に対するトルクの増加範囲を説明するグラフである。図16は、縦軸に回転後方端部36aの位置を $\theta b / \theta s (\%)$ で示し、横軸に回転前方端部37aの位置を $\theta f / \theta s (\%)$ で示す。

[0056] 図16において、グラフG9は、参考例の誘導モータ10と比較してトルクが増加していない（トルク増加量が0となる）等高線を示す。グラフG9の枠内は、トルク増加の範囲を示す。

ここで、図2に示す離間角 θ_1 および離間角 θ_4 が小さすぎた場合、二次導体32に作用する遠心力を第1支持部41および第2支持部42で担保することが難しい。よって、二次導体32に作用する遠心力を第1支持部41および第2支持部42で担保するために、離間角 θ_f を零から負の値の範囲とし、離間角 θ_b を零から負の値の範囲とすることが好ましい。

そこで、グラフG9において、図6に示すスロット35Aのように、スロット後端面36が基準位置に対して後方R側に位置し、スロットが基準線Lcに対して非対称となっている場合の実施に好ましい許容範囲を網掛け部E1で示す。また、グラフG9において、図9に示すスロット35Bのように、スロット前端面37が基準位置に対して前方F側に位置し、スロットが基準線Lcに対して非対称となっている場合の実施に好ましい許容範囲を網掛け部E2で示す。E1、E2は、 $\theta_f/\theta_s=0$ 、且つ、 $\theta_b/\theta_s=0$ と後述する白抜き部E3の外縁で囲まれる範囲のうち、E2は $\theta_f/\theta_s \geq 0$ 且つ $\theta_b/\theta_s \leq 0$ の範囲、および、E1は $\theta_f/\theta_s \leq 0$ 且つ $\theta_b/\theta_s \geq 0$ の範囲である。また、スロットが基準線Lcに対して非対称となっている為、E1およびE2には、 $\theta_f/\theta_s = \theta_b/\theta_s = 0$ となる点は含まれない。

[0057] なお、グラフG9において、白抜き部E3で示す範囲もトルク増加を示す範囲である。白抜き部E3は、図6に示すスロット35Aにおいて離間角 θ_f が正の範囲であり、図8に示すスロット35Bにおいて離間角 θ_b が正の範囲である（いわゆる第1象限に位置する）。このため、二次導体32に作用する遠心力を第1支持部41および第2支持部42で担保することが難しい。そこで、白抜き部E3をスロット35Aおよびスロット35Bの実施に好ましい範囲から外す。しかし、例えば二次導体32の遠心力を他の手段で担保可能とすることにより、白抜き部E3の範囲においてスロット35Aおよびスロット35Bを実施してもよい。

[0058] つぎに、図16において、直線G10、直線G11、および $\theta_f/\theta_s=0$ で囲まれた範囲E4について説明する。範囲E4は、網掛け部E1の内部

に位置し、図5、図6で説明した以下の関係を満たす範囲である。

すなわち、後方基準位置 P_r に対する回転後方端部 36a の周方向における離間角 θ_b は、後方基準位置 P_r を 0 とすると、 $0 \leq \theta_b \leq 0.5\theta_s$ である。

$0 \leq \theta_b \leq 0.5\theta_s$ において、前方基準位置 P_f に対する回転前方端部 37a の周方向における離間角 θ_f は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θ_f は、前方基準位置 P_f を 0 とすると、 $0 \leq \theta_b < 0.45\theta_s$ の時、 $-0.45\theta_b \leq \theta_f \leq 0$ となる。さらに、離間角 θ_f は、 $0.45\theta_s \leq \theta_b \leq 0.5\theta_s$ の時、 $4\theta_b - 2\theta_s \leq \theta_f \leq 0$ となる。

以上説明した離間角 θ_b および離間角 θ_f の関係を満たすこと、すなわち、第1実施形態の第1例の条件を満たすことで、スロット 35A の形状変化により誘導モータ 10A のトルクを向上させることができる。

[0059] また、図16において、直線 G12、直線 G13、および $\theta_b / \theta_s = 0$ で囲まれた範囲 E5 について説明する。範囲 E5 は、網掛け部 E2 の内部に位置し、図8、図9で説明した以下の関係を満たす範囲である。

すなわち、前方基準位置 P_f に対する回転前方端部 37a の周方向における離間角 θ_f は、前方基準位置 P_f を 0 とすると、 $0 \leq \theta_f \leq 0.45\theta_s$ である。

$0 \leq \theta_f \leq 0.45\theta_s$ において、後方基準位置 P_r に対する回転後方端部 36a の周方向における離間角 θ_b は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θ_b は、後方基準位置 P_r を 0 とすると、 $0 \leq \theta_f \leq 0.25\theta_s$ の時、 $-0.8\theta_f \leq \theta_b < 0$ となる。さらに、離間角 θ_b は、 $0.25\theta_s < \theta_f \leq 0.45\theta_s$ の時、 $\theta_f - 0.45\theta_s \leq \theta_b < 0$ となる。

以上説明した離間角 θ_f および離間角 θ_b の関係を満たすこと、すなわち、第1実施形態の第2例の条件を満たすことで、スロット 35B の形状変化により誘導モータ 10B のトルクを向上させることができる。

[0060] 以上のように、スロット後端面 36 およびスロット前端面 37 の位置、ステータ 20 に形成されたステータスロット 24 の数、二次導体 32 の本数に応じて誘導モータ 10A、10B における磁束を計算し、計算結果に基づいて誘導モータ 10A、10B を設計することで、高トルクの誘導モータ 10A、10B を設計することができる。

[0061] 本願発明者がこのような着想に至った背景は以下の通りである。

誘導モータ 10A、10B では、ステータ 20 電流による磁束と、磁束の時間変化によりロータ 30 の二次導体に生じる二次電流と、から発生するローレンツ力によりトルクを得る。また、ロータ 30 とステータ 20 との間のマクスウェル応力もトルクに寄与する。誘導モータ 10A、10B では二次導体に誘導電流を発生させる必要があるため、ステータ 20 電流の周波数とロータ 30 回転周波数が異なる。すなわち、ロータ 30 とステータ 20 磁界の相対的な位置関係は時々刻々と変化する。そのため、従来技術では、スロット 35A、35B の形状変化による特性向上例はほとんど見られない。一部、二次導体の形状を変化させた例があるが、スロット 35A、35B による特性向上は例がない。

本願発明者は、この構造の誘導モータ 10A、10B において、トルクを向上させることを目的として、特開 2021-114099 号公報記載の内容に基づく解析を実施して、ロータ 30 形状の最適化を検討した。その結果、スロット 35A、35B に加えて二次導体の両側に新たなフラックスバリアを追加することでトルクを向上できることが示唆された。さらに検討を進めたところ、新たなフラックスバリアをロータ 30 コアの外周に開口することによりトルクが一層向上することが確認された。その結果、新たなフラックスバリアを追加するというよりも、単に既存のスロット 35A、35B の開口位置を変えることによりトルクの向上を実現できることが示唆された。

誘導モータ 10A、10B のトルクは、二次導体の電流が受けるローレンツ力と、二次電流から生じる磁束によるマクスウェル応力で構成され、マクスウェル応力の割合が一般に大きい。そのため、スロット 35A、35B の

開口位置を変えて二次電流磁束とステータ 20 磁束との導通経路を変化させることにより、特にマクスウェル応力が高められて誘導モータ 10 A、10 B のトルクが向上すると考えられる。

[0062] [第 2 実施形態]

ここで、第 1 実施形態において、誘導モータ 10 A、10 B のステータコア 21 およびロータコア 31 に通常材を採用する（積層コアの電磁鋼板に通常材を採用する）例について説明したが、ステータコア 21 およびロータコア 31 の材質はこれに限らない。ステータコア 21 およびロータコア 31 の材質（積層コアの電磁鋼板）として、例えば高 B s 材（高飽和磁束密度材）を採用してもよい。

[0063] 以下、高 B s 材を採用する誘導モータ 15 A、15 B を第 2 実施形態として説明する。

なお、以下の説明において、高 B s 材を採用する第 2 実施形態の誘導モータ 15 A、15 B であって、参考例の誘導モータ 10 のスロット 35 に対して後方側にずらされたスロット 35 A を有する構成を誘導モータ 15 A とし、参考例の誘導モータ 10 のスロット 35 に対して前方側にずらされたスロット 35 B を有する構成を誘導モータ 15 B とする。

[0064] まず、誘導モータ 15 A、15 B のスロット 35 A およびスロット 35 B によるトルク増加範囲を図 17 のグラフに基づいて説明する。図 17 は、誘導モータ 15 A、15 B においてスロット 35 A の回転後方端部 36 a およびスロット 35 B の回転前方端部 37 a による位置変化に対するトルクの増加範囲を説明するグラフである。図 17 は、縦軸に回転後方端部 36 a の位置を $\theta b / \theta s$ (%) で示し、横軸に回転前方端部 37 a の位置を $\theta f / \theta s$ (%) で示す。

[0065] 図 17 において、グラフ G14 は、参考例の誘導モータ 10 と比較してトルクが増加していない（トルク増加量が 0 となる）等高線を示す。グラフ G14 の枠内はトルク増加の範囲を示す。

ここで、図 2 に示す離間角 $\theta 1$ および離間角 $\theta 4$ が小さすぎた場合、二次

導体 3 2 に作用する遠心力を第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 で担保することが難しい。よって、第 1 実施形態と同様に、離間角 θf を零から負の値の範囲とし、離間角 θb を零から負の値の範囲とすることが好ましい。

そこで、グラフ G 1 4 において、図 6 に示すスロット 3 5 A の実施に好ましい許容範囲を網掛け部 E 6 で示す。また、グラフ G 1 4 において、図 9 に示すスロット 3 5 B の実施に好ましい許容範囲を網掛け部 E 7 で示す。

[0066] ここで、直線 G 1 5 において、白抜き部 E 8 で示す範囲もトルク増加を示す範囲である。しかしながら、白抜き部 E 8 では、第 1 実施形態と同様に、二次導体 3 2 に作用する遠心力を第 1 支持部 4 1 および第 2 支持部 4 2 で担保することが難しい。そこで、白抜き部 E 8 をスロット 3 5 A およびスロット 3 5 B の実施に好ましい範囲から外す。しかし、例えば二次導体 3 2 の遠心力を他の手段で担保可能とすることにより、白抜き部 E 8 の範囲においてスロット 3 5 A およびスロット 3 5 B を実施してもよい。

[0067] つぎに、図 1 7 において、直線 G 1 5、直線 G 1 6、直線 G 1 7、および $\theta f / \theta s = 0$ で囲まれた範囲 E 9 について説明する。範囲 E 9 は、誘導モータ 1 5 B におけるスロット後端面 3 6 およびスロット前端面 3 7 の好適位置を示す範囲である。範囲 E 9 は、網掛け部 E 6 の内部に位置し、以下の関係を満たす範囲である。

すなわち、後方基準位置 $P r$ に対する回転後方端部 3 6 a の周方向における離間角 θb は、後方基準位置 $P r$ を 0 とすると、 $0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ である。

$0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ において、前方基準位置 $P f$ に対する回転前方端部 3 7 a の周方向における離間角 θf は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θf は、前方基準位置 $P f$ を 0 とすると、 $0 \leq \theta b < 0.25 \theta s$ の時、 $-0.8 \theta b \leq \theta f$ となる。さらに、離間角 θf は、 $0.25 \theta s < \theta b \leq 0.5 \theta s$ の時、 $-2 \theta s \leq \theta f$ となる。

[0068] このように、離間角 θb および離間角 θf の関係を満たすことにより、スロット 3 5 A の形状変化により誘導モータ 1 5 B のトルクを向上（増加）さ

せることができる。

[0069] また、図17において、直線G18、直線G19、直線G20、および $\theta b / \theta s = 0$ で囲まれた範囲E10について説明する。範囲E10は、誘導モータ15Aにおけるスロット後端面36およびスロット前端面37の好適位置を示す範囲である。範囲E10は、網掛け部E7の内部に位置し、以下の関係を満たす範囲である。

すなわち、前方基準位置Pfに対する回転前方端部37aの周方向における離間角 θf は、前方基準位置Pfを0とすると、 $0 \leq \theta f \leq 0.45\theta s$ である。

$0 \leq \theta f \leq 0.45\theta s$ において、後方基準位置Prに対する回転後方端部36aの周方向における離間角 θb は、以下のように決められる。

すなわち、離間角 θb は、後方基準位置Prを0とすると、 $0 \leq \theta f \leq 0.25\theta s$ の時、 $-0.8\theta f \leq \theta b$ となる。さらに、離間角 θb は、 $0.25\theta s < \theta f \leq 0.35\theta s$ の時、 $-0.25\theta s \leq \theta b$ となる。加えて、離間角 θb は、 $0.35\theta s < \theta f \leq 0.45\theta s$ の時、 $2\theta f - 0.9\theta s \leq \theta b$ となる。

[0070] このように、離間角 θb および離間角 θf の関係を満たすことにより、スロット35Bの形状変化により誘導モータ15Aのトルクを向上（増加）させることができる。

[0071] [第1実施形態と第2実施形態との比較]

つぎに、通常材を採用した第1実施形態の誘導モータ10A、10Bと高Bs材を採用した第2実施形態の誘導モータ15A、15Bとのトルクの増加範囲を図18から図23に基づいて説明する。

まず、図9に示すスロット35Bを採用した誘導モータ10Bおよび誘導モータ15Bによるトルクの増加範囲を図18から図20に基づいて説明する。図18は、図16のグラフと図17のグラフとを重ね合わせたグラフである。図18は、誘導モータ10A、10Bおよび誘導モータ15A、15Bにおいてスロット35Bによるトルクの増加範囲の違いを説明するグラフ

である。図18は、縦軸に回転後方端部36aの位置を $\theta b / \theta s$ (%)で示し、横軸に回転前方端部37aの位置を $\theta f / \theta s$ (%)で示す。

[0072] 図18に示すように、誘導モータ10Bおよび誘導モータ15Bにおいてスロット35Bによるトルクを比較する箇所を第1比較箇所Pc1とする。第1比較箇所Pc1は、誘導モータ15BのグラフG14において図9に示すスロット35Bの実施に好ましい範囲に含まれている。一方、第1比較箇所Pc1は、誘導モータ10BのグラフG9においてスロット35Bの実施に好ましい範囲から外れている。

[0073] 図19は、第1比較箇所Pc1における誘導モータ15B（第2実施形態）の解析結果であり、図20は、第1比較箇所Pc1における誘導モータ10B（第1実施形態）の解析結果である。図19、図20に示す磁束（矢印）は、ソフトウェアによるシミュレーションの結果に基づく。

[0074] 図19および図20では、誘導モータ10B、15Bそれぞれにおいて、2つのティース23それぞれにおける磁束密度と、ロータコア31から各ティース23への磁束の流れと、を示している。以下では説明のため、これらの2つのティース23を前方から順にティース23A、23Bとする。

[0075] 図19に示すように、誘導モータ15Bは、ロータコア31から前方のティース23Aへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23A上の部分P1において2.35Tである。また、ロータコア31から、後方のティース23Bへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23B上の部分P2において1.44Tである。誘導モータ15Bは、高Bs材を採用しているので磁束飽和密度が高い。よって、部分P1において磁束密度が上がり、磁束密度によるトルクへの寄与が大きくなる。これにより、誘導モータ15Bは、図18に示す第1比較箇所Pc1がスロット35Bの実施に好ましい範囲に含まれる。

[0076] 図20に示すように、誘導モータ10Bは、ロータコア31から、前方のティース23Aへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23A上の部分P1において2.04Tである。また、ロータコア31から、後方のティース23Bへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23B上の部分P2において1.3

5 Tである。誘導モータ 10 Bは、通常材を採用しているので磁束飽和密度が高 B s 材に比べて低い。よって、部分 P 1 において磁束密度が 2.04 T で飽和状態となり高 B s 材に比べて磁束密度が下がり、磁束密度によるトルクへの寄与が小さい。なお、磁束の一部は、後方のティース 23 Bに侵入する。磁束密度によるトルクへの寄与が小さいことにより、誘導モータ 10 は、図 18 に示す第 1 比較箇所 P c 1 がスロット 35 B の実施に好ましい範囲から外れる。

[0077] つぎに、図 6 に示すスロット 35 A を採用した誘導モータ 10 A および誘導モータ 15 A によるトルクの増加範囲を図 21 から図 23 に基づいて説明する。

[0078] 図 21 は、図 18 と同様に、図 16 のグラフと図 17 のグラフとを重ね合わせたグラフである。図 21 に示すように、誘導モータ 10 A および誘導モータ 15 A においてスロット 35 A によるトルクを比較する箇所を第 2 比較箇所 P c 2 とする。第 2 比較箇所 P c 2 は、誘導モータ 15 A のグラフ G 14 において図 6 に示すスロット 35 A の実施に好ましい範囲に含まれている。一方、第 2 比較箇所 P c 2 は、誘導モータ 10 A のグラフ G 9 においてスロット 35 A の実施に好ましい範囲から外れている。

[0079] 図 22 は、第 2 比較箇所 P c 2 における誘導モータ 15 A（第 2 実施形態）の解析結果であり、図 23 は、第 2 比較箇所 P c 2 における誘導モータ 10 A（第 1 実施形態）の解析結果である。図 22、図 23 に示す磁束（矢印）は、ソフトウェアによるシミュレーションの結果に基づく。

[0080] 図 22 および図 23 では、誘導モータ 10 A、15 A それぞれにおいて、2 つのティース 23 それぞれにおける磁束密度と、ロータコア 31 から各ティース 23 への磁束の流れと、を示している。以下では説明のため、これらの 2 つのティース 23 を前方から順にティース 23 A、23 B とする。

[0081] 図 22 に示すように、誘導モータ 15 A は、ロータコア 31 から、前方のティース 23 A へ向かう磁束の磁束密度が、ティース 23 A 上の部分 P 1 において 2.07 T である。また、ロータコア 31 から、後方のティース 23

Bへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23B上の部分P2において0.99Tである。誘導モータ15Aは、高Bs材を採用しているので磁束飽和密度が高い。よって、部分P1において磁束密度が上がり、磁束密度によるトルクへの寄与が大きくなる。これにより、誘導モータ15Aは、図21に示す第2比較箇所Pc2がスロット35Aの実施に好ましい範囲に含まれる。

[0082] 図23に示すように、誘導モータ10Aは、ロータコア31から、前方のティース23Aへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23A上の部分P1において1.87Tである。また、ロータコア31から、後方のティース23Bへ向かう磁束の磁束密度が、ティース23B上の部分P2において0.95Tである。誘導モータ10Aは、通常材を採用しているので磁束飽和密度が高Bs材に比べて低い。よって、部分P1において磁束密度が1.87Tで飽和状態となり高Bs材に比べて磁束密度が下がり、磁束密度によるトルクへの寄与が小さい。なお、磁束の一部は、後方のティース23Bに侵入する。磁束密度によるトルクへの寄与が小さいことにより、誘導モータ10Aは、図21に示す第2比較箇所Pc2がスロット35Aの実施に好ましい範囲から外れる。

[0083] なお、本発明の技術的範囲は前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

[0084] 前記実施形態では、スロット後端面36およびスロット前端面37が平行（形状が基準線Lcを基準に対称）であり、かつ、スロット後端面36およびスロット前端面37の周方向の位置が、基準線Lcに対して周方向に非対称である。スロット後端面36の周方向の位置は、スロット後端面36の径方向外側の端部（回転後方端部36a）である。スロット前端面37の周方向の位置は、スロット前端面37の径方向外側の端部（回転前方端部37a）である。しかしながら、本発明はこれに限られず、一对の端面が基準線を基準として周方向に非対称であればよい。一对の端面が基準線を基準として周方向に非対称であるとは、スロット後端面36およびスロット前端面37

の形状および周方向位置の両方が基準線L cを基準に非対称である場合のみならず、スロット後端面3 6およびスロット前端面3 7の形状または周方向位置のいずれか一方が基準線L cを基準に非対称である場合を指す。例えば、スロット後端面3 6およびスロット前端面3 7が平行でなくてもよい。この場合、スロット後端面3 6の回転後方端部3 6 aおよびスロット前端面3 7の回転前方端部3 7 aの周方向位置がそれぞれ、基準線L cに対して周方向に非対称となるように、スロット後端面3 6およびスロット前端面3 7が形成されていることが好ましい。トルクを向上する観点からは、スロット後端面3 6およびスロット前端面3 7の形状が基準線L cを基準に対称であり、且つ、周方向位置が基準線L cを基準に非対称であることが好ましい。

スロット3 5の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。例えば、スロット3 5の後端が、二次導体3 2に対して後方に突出している場合、スロット3 5の後端が、径方向の内側に向けて延びていて、二次導体3 2における外端部3 2 eよりも径方向の内側に位置していてもよい。スロット3 5の前端が、二次導体3 2に対して前方に突出している場合、スロット3 5の前端が、径方向の内側に向けて延びていて、二次導体3 2における外端部3 2 eよりも径方向の内側に位置していてもよい。

[0085] ステータ2 0の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ステータコア2 1の外径および内径の寸法、積厚、スロット数、ティース2 3の周方向と径方向の寸法比率、ティース2 3とコアバック2 2との径方向の寸法比率、などは所望の誘導モータ1 0の特性に応じて任意に設計可能である。

[0086] ロータ3 0の形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ロータコア3 1の外径および内径の寸法、積厚、極数などは所望の誘導モータ1 0の特性に応じて任意に設計可能である。

[0087] 前記実施形態では、ステータコア2 1およびロータコア3 1がいずれも積層コアであるとしたが、積層コアでなくてもよい。

[0088] その他、本発明の趣旨に逸脱しない範囲で、前記実施形態における構成要

素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能であり、また、前記した変形例を適宜組み合わせてもよい。

産業上の利用可能性

[0089] 本発明によれば、スロットの形状変化によりトルクを向上させることができる。よって、産業上の利用可能性は大である。

符号の説明

[0090] 10、10A、10B、15A、15B 誘導モータ

20 ステータ

21 ステータコア

22 コアバック

23、23A、23B、23C、23D ティース

24 ステータスロット

30 ロータ

31 ロータコア

32 二次導体

32a 第1側面

32b 第1外側端部

32c 第2側面

32d 第2外側端部

32e 外端部

34 挿入孔

35、35A、35B スロット

36 スロット後端面

37 スロット前端面

36a 回転後方端部

37a 回転前方端部

41 第1支持部

42 第2支持部

5 0 ケース

6 0 回転軸

1 0 0 積層コア

F 前方

L c 基準線

O 中心軸線（ロータの中心軸）

P f 前方基準位置（回転前方基準位置）

P r 後方基準位置（回転後方基準位置）

R 後方

$\theta 1 \sim \theta 4$ 、 θb 、 θf 離間角

請求の範囲

[請求項1]

ロータコアと、

前記ロータコアに、前記ロータコアの周方向に間隔をあけて複数配置された二次導体と、を備え、

前記ロータコアには、前記ロータコアを、前記ロータコアの軸方向に貫通するとともに前記二次導体が挿入された挿入孔が複数形成され、

前記ロータコアの、前記二次導体に対して前記ロータコアの径方向の外側には、前記径方向の外側に開口するスロットが設けられ、

前記二次導体は、前記スロットを通じて前記径方向の外側に露出し、

前記ロータコアには、前記スロットを前記周方向に挟んで対向する一対の端面が設けられ、

前記ロータコアの中心軸に交差し、且つ、前記二次導体の前記周方向における中央を通過する基準線を規定したときに、

前記二次導体および前記挿入孔のうちの少なくとも一方の形状は、前記基準線を基準として前記周方向に対称であり、

前記一対の端面は、前記基準線を基準として前記周方向に非対称である、ロータ。

[請求項2]

誘導モータ用のロータコアであって、

前記ロータコアには、前記ロータコアを、前記ロータコアの軸方向に貫通するとともに二次導体が挿入される挿入孔が複数形成され、

前記ロータコアのうち、前記挿入孔に対して前記ロータコアの径方向の外側に位置する部分には、前記ロータコアの径方向の外側に開口するスロットが設けられ、

前記ロータコアには、前記スロットを前記ロータコアの周方向に挟んで対向する一対の端面が設けられ、

前記ロータコアの中心軸に交差し、かつ、前記挿入孔の前記周方向

における中央を通過する基準線を規定したときに、

前記挿入孔は、前記基準線を基準として前記周方向に対称であり、

前記一对の端面は、前記基準線を基準として前記周方向に非対称である、ロータコア。

[請求項3]

環状のステータと、

前記ステータ内に配置された請求項1に記載のロータと、を備える誘導モータ。

[請求項4]

前記二次導体の回転前方基準位置に対する 前記スロットの回転前方端部の 回転前方への離間角を θf 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記スロットの回転後方端部の 回転後方への離間角を θb とすると、

θf は、 $0 \leq \theta f \leq 0.45 \theta s$ であり、

θb は、 $0 \leq \theta f \leq 0.25 \theta s$ の時、 $-0.8 \theta f \leq \theta b < 0$ となり、 $0.25 \theta s < \theta f \leq 0.45 \theta s$ の時、 $\theta f - 0.45 \theta s \leq \theta b < 0$ となる、請求項3に記載の誘導モータ。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θs は、 $\theta s = 360 [\text{deg}] / N s l o t$ を満たし、 $N s l o t$ は、前記ステータのスロット数を意味する。

[請求項5]

前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記スロットの回転前方端部の回転前方への離間角を θf 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記スロットの回転後方端部の回転後方への離間角を θb とすると、

θb は、 $0 \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ であり、

θf は、 $0 \leq \theta b < 0.45 \theta s$ の時、 $-0.45 \theta b \leq \theta f \leq 0$ となり、 $0.45 \theta s \leq \theta b \leq 0.5 \theta s$ の時、 $4 \theta b - 2 \theta s \leq \theta f \leq 0$ となる、請求項3に記載の誘導モータ。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θs は、 $\theta s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータのスロット数を意味する。

[請求項6]

前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記スロットの回転前方端部の回転前方への離間角を θf 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記スロットの回転後方端部の回転後方への離間角を θb とすると、

θf は、 $0 \leq \theta f \leq 0.45 \theta s$ であり、

θb は、 $0 \leq \theta f \leq 0.25 \theta s$ の時、 $-0.8 \theta f \leq \theta b$ となり、 $0.25 \theta s < \theta f \leq 0.35 \theta s$ の時、 $-0.25 \theta s \leq \theta b$ と

なり、 $0.35\theta_s < \theta_f \leq 0.45\theta_s$ の時、 $2\theta_f - 0.9\theta_s \leq \theta_b$ となる、請求項3に記載の誘導モータ。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θ_s は、 $\theta_s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータの-slot数を意味する。

[請求項7]

前記二次導体の回転前方基準位置に対する前記-slotの回転前方端部の回転前方への離間角を θ_f 、前記二次導体の回転後方基準位置に対する前記-slotの回転後方端部の回転後方への離間角を θ_b とすると、

θ_b は、 $0 \leq \theta_b \leq 0.5\theta_s$ であり、

θ_f は、 $0 \leq \theta_b \leq 0.25\theta_s$ の時、 $-0.8\theta_b \leq \theta_f$ となり、 $0.25\theta_s < \theta_b \leq 0.5\theta_s$ の時、 $-0.2\theta_s \leq \theta_f$ となる、請求項3に記載の誘導モータ。

ただし、前記回転前方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転前方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転前方端部は、前記一对の端面における回転前方側の

端面のうち径方向外側の端部である。前記回転後方基準位置は、前記中心軸に交差し、かつ、前記二次導体において回転後方側の側面のうち径方向外側の端部を通過する直線と、前記基準線が成す中心角を二等分し、かつ前記ロータコアの中心軸に交差する直線と、前記ロータコアの外周円が交差する点である。前記回転後方端部は、前記一对の端面における回転後方側の端面のうち径方向外側の端部である。

ここで、 θ_s は、 $\theta_s = 360 [\text{deg}] / N_{\text{slot}}$ を満たし、 N_{slot} は、前記ステータの-slot 数を意味する。

[請求項8]

請求項3から請求項7のいずれか1項に記載の誘導モータの設計方法であって、

前記一对の端面の位置、前記ステータに形成されたステータ-slot の数、前記二次導体の本数に応じて前記誘導モータにおける磁束を計算し、計算結果に基づいて前記誘導モータを設計する誘導モータの設計方法。