

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7617291号
(P7617291)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類	F I		
H 0 2 K 16/00 (2006.01)	H 0 2 K 16/00		
H 0 2 K 1/22 (2006.01)	H 0 2 K 1/22	Z	
H 0 2 K 21/24 (2006.01)	H 0 2 K 21/24	M	

請求項の数 18 (全30頁)

(21)出願番号	特願2023-545893(P2023-545893)	(73)特許権者	523126881
(86)(22)出願日	令和3年10月6日(2021.10.6)		ディーアールエス ネイバル パワー シ
(65)公表番号	特表2023-546532(P2023-546532 A)		ステムズ, インコーポレイテッド
(43)公表日	令和5年11月2日(2023.11.2)		アメリカ合衆国, ウィスコンシン州 5
(86)国際出願番号	PCT/US2021/053735		3 2 1 6, ミルウォーキー, ノース 3 0
(87)国際公開番号	WO2022/076531	(74)代理人	ストリート 4 2 6 5
(87)国際公開日	令和4年4月14日(2022.4.14)		100137969
審査請求日	令和6年10月4日(2024.10.4)	(74)代理人	弁理士 岡部 憲昭
(31)優先権主張番号	63/088,388		100104824
(32)優先日	令和2年10月6日(2020.10.6)	(72)発明者	弁理士 穂場 仁
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		コリー サード, カルビン エイチ .
早期審査対象出願		(72)発明者	アメリカ合衆国, ウィスコンシン州 5
			3 2 1 6, ミルウォーキー, ノース 3 0
			ストリート 4 2 6 5
			サクストン, エドガー エス .
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ハイブリッドラジアルアキシャルモータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ハウジングと、

前記ハウジングの内側に配置されたラジアルモータであって、前記ラジアルモータは、第 1 の方向にラジアル磁束を生成するように構成され、前記ラジアル磁束は、第 1 の磁気ユニットに影響を与えて、共通モータシャフトに取り付けられたロータアームに第 1 のトルクを生成する、ラジアルモータと、

前記ハウジングの内側の前記ラジアルモータの第 1 の側及び前記ラジアルモータの内側に配置されたアキシャルモータであって、前記アキシャルモータは、第 2 の方向にアキシャル磁束を生成するように構成され、前記アキシャル磁束は、第 2 の磁気ユニットに影響を与えて、前記共通モータシャフトに取り付けられた前記ロータアームに第 2 のトルクを生成する、アキシャルモータと、

前記ハウジングの内側の前記ラジアルモータの第 2 の反対側に配置されたギアセットであって、前記ギアセットは前記共通モータシャフトと前記共通モータシャフトに位置合わせされた出力シャフトの両方に固定されている、ギアセットと、

前記出力シャフトに固定されたプロペラと、

前記第 1 のトルクおよび前記第 2 のトルクを独立して制御するように構成されたコントローラまたは負荷と

を備える、電気機械。

【請求項 2】

前記コントローラが、前記共通モータシャフト上のトルク振動を低減するために、前記ラジアルモータ、前記アキシャルモータ、またはそれらの組み合わせの少なくとも１つに印加される d 軸電流および q 軸電流を制御する、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 3】

前記ラジアルモータが、誘導モータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 4】

前記ラジアルモータが、巻線界磁同期モータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 5】

前記ラジアルモータが、DC モータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 6】

前記ラジアルモータが、ユニバーサルモータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 7】

前記ラジアルモータが、リラクタンスモータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 8】

前記アキシャルモータが、誘導モータを含む、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 9】

前記電気機械が、前記ハウジング内にトランスバース磁束モータをさらに備え、前記トランスバース磁束モータは第 3 の方向にトランスバース磁束を生成し、前記トランスバース磁束は第 3 の磁気ユニットに影響を与えて、前記共通モータシャフトに取り付けられた前記ロータアームに第 3 のトルクを発生させる、請求項 1 に記載の電気機械。

【請求項 10】

ハウジングと、

前記ハウジング内に配置されたラジアルモータであって、前記ラジアルモータは、第 1 の方向にラジアル磁束を生成するように構成され、前記ラジアル磁束は、第 1 の磁気ユニットに影響を与えて、共通モータシャフトに取り付けられたロータアームに第 1 のトルクを生成する、ラジアルモータと、

前記ハウジング内の前記ラジアルモータの第 1 の側及び前記ラジアルモータの内側に配置されたアキシャルモータであって、前記アキシャルモータは、第 2 の方向にアキシャル磁束を生成するように構成され、前記アキシャル磁束は、第 2 の磁気ユニットに影響を与えて、前記共通モータシャフトに取り付けられた前記ロータアームに第 2 のトルクを生成する、アキシャルモータと、

前記ハウジングの内側の前記ラジアルモータの第 2 の反対側に配置されたギアセットであって、前記ギアセットは前記共通モータシャフトと前記共通モータシャフトに位置合わせされた出力シャフトの両方に固定されている、ギアセットと、

前記出力シャフトに固定されたプロペラと、

前記第 1 のトルクおよび前記第 2 のトルクを独立して制御するように構成されたコントローラと

を備える、推進システム。

【請求項 11】

前記コントローラが、前記共通モータシャフト上のトルク振動を低減または増幅するために、前記ラジアルモータ、前記アキシャルモータ、またはそれらの組み合わせの少なくとも１つに印加される d 軸電流および q 軸電流を制御する、請求項 10 に記載の推進システム。

【請求項 12】

前記ラジアルモータが、誘導モータを含む、請求項 10 に記載の推進システム。

【請求項 13】

前記アキシャルモータが、誘導モータを含む、請求項 10 に記載の推進システム。

【請求項 14】

前記推進システムが、前記ハウジング内にトランスバース磁束モータをさらに備え、前記トランスバース磁束モータは第 3 の方向にトランスバース磁束を生成し、前記トランス

10

20

30

40

50

ベース磁束は第3の磁気ユニットに影響を与えて、前記共通モータシャフトに取り付けられた前記ロータアームに第3のトルクを発生させる、請求項10に記載の推進システム。

【請求項15】

前記ハウジングが、車両、船舶、または航空機に取り付けられる、請求項1に記載の電気機械。

【請求項16】

前記出力シャフトが、前記ハウジングの内側の前記ギアセットに固定されている、請求項1に記載の電気機械。

【請求項17】

前記ハウジングが、車両、船舶、または航空機に取り付けられる、請求項10に記載の推進システム。

【請求項18】

前記出力シャフトが、前記ハウジングの内側の前記ギアセットに固定されている、請求項10に記載の推進システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

[0001]本出願は、2020年10月6日に出願された「A Hybrid Radial-Axial Motor」という名称の米国仮出願第63/088,388号の利益を主張し、その開示は、その全体があらゆる目的のために参照により組み込まれる。

【背景技術】

【0002】

[0002]統合型電気推進は、商用船舶および海上船舶にとって魅力的な解決策になりつつある。統合型電気推進システムは、ガスタービンおよびディーゼルエンジンから船舶の推進力を切り離し、より従来の機械的駆動の解決策と比較して、プラントのレイアウトの柔軟性および燃料経済性を高める。さらに、統合型電気推進システムは、大きな減速ギアボックスに関連する音特性を大幅に低減する。典型的には、統合型電気推進プラントは、定格速度でのピーク負荷に対応するようなサイズである。単一のシャフトを使用することにより、電力機械を高速で動作させることができ、高い出力密度を達成することができる。しかしながら、より大きな推進プラントの効率が低い低速低出力モードが存在する可能性がある（例えば、パトロールモードまたはクルーズモード）。

【0003】

[0003]統合型電気推進の分野での進歩にもかかわらず、電気システムに関連する改善された方法およびシステムが当技術分野で必要とされている。

【発明の概要】

【0004】

[0004]本出願は、一般に、電気モータの分野に関し、より詳細には、ハイブリッドラジアルアキシャル磁束モータに関する。いくつかの実施形態では、ロータは、ラジアル磁束モータ用の磁気要素およびアキシャル磁束モータ用の磁気要素を含む。ラジアル磁束モータおよびアキシャル磁束モータは、従来の技術では利用できない利点を提供するために独立して動作する。本発明の実施形態は、船舶ベース、車両ベース、および航空システムを含む、電気モータを含む様々なシステムに適用可能である。

【0005】

[0005]様々な態様において、電気機械は、ハウジングと、ハウジングの内側に配置されたラジアルモータであって、ラジアルモータは、第1の方向のラジアル磁束を生成するように構成され、ラジアル磁束は、第1の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第1のトルクを生成する、ラジアルモータと、ハウジングの内側に配置されたアキシャルモータであって、アキシャルモータは、第2の方向にアキシャル磁束を生成するように構成され、アキシャル磁束は、第2の磁気ユニットに影響を与えて

10

20

30

40

50

、シャフトに取り付けられたロータアームに第2のトルクを生成する、アキシャルモータと、第1のトルクおよび第2のトルクを独立して制御するように構成されたコントローラまたは負荷と、を含む。

【0006】

[0006]様々な実施形態において、コントローラは、シャフト上のトルク振動を低減するために、ラジアルモータ、アキシャルモータ、またはそれらの組み合わせの少なくとも1つに印加されるd軸電流およびq軸電流を制御する。

【0007】

[0007]様々な実施形態において、ラジアルモータまたはアキシャルモータは、ギアセットに置き換えられる。

【0008】

[0008]様々な実施形態において、ラジアルモータは、誘導モータを含む。

【0009】

[0009]様々な実施形態において、ラジアルモータは、巻線界磁同期モータで構成される。

【0010】

[0010]様々な実施形態において、ラジアルモータは、DCモータで構成される、請求項1に記載の電気機械。

【0011】

[0011]様々な実施形態において、ラジアルモータは、ユニバーサルモータで構成される。

【0012】

[0012]様々な実施形態において、ラジアルモータは、リラクタンスモータで構成される。

【0013】

[0013]様々な実施形態において、2つ以上のアキシャルモータがハウジング内にある。

【0014】

[0014]様々な実施形態において、アキシャルモータは、誘導モータを含む。

【0015】

[0015]様々な実施形態において、電気機械はハウジング内にトランスバース磁束モータを含み、トランスバース磁束モータは第3の方向にトランスバース磁束を生成し、トランスバース磁束は第3の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第3のトルクを発生させる。

【0016】

[0016]本開示の一態様では、推進システムは、ハウジングと、ハウジング内に配置されたラジアルモータであって、ラジアルモータは、第1の方向のラジアル磁束を生成するように構成され、ラジアル磁束は、第1の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第1のトルクを生成する、ラジアルモータと、ハウジング内に配置されたアキシャルモータであって、アキシャルモータは、第2の方向にアキシャル磁束を生成するように構成され、アキシャル磁束は、第2の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第2のトルクを生成する、アキシャルモータと、第1のトルクおよび第2のトルクを独立して制御するように構成されたコントローラと、を含む。

【0017】

[0017]様々な実施形態において、コントローラは、シャフト上のトルク振動を低減または増幅するために、ラジアルモータ、アキシャルモータ、またはそれらの組み合わせの少なくとも1つに印加されるd軸電流およびq軸電流を制御する。

【0018】

[0018]様々な実施形態において、ラジアルモータまたはアキシャルモータは、ギアセットに置き換えられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

[0019]様々な実施形態において、ラジアルモータは、誘導モータを含む。

【 0 0 2 0 】

[0020]様々な実施形態において、アキシャルモータは、誘導モータを含む。

【 0 0 2 1 】

[0021]様々な実施形態において、推進システムは、ハウジング内に2つ以上のアキシャルモータを含む。

【 0 0 2 2 】

[0022]様々な実施形態では、推進システムはハウジング内にトランスバース磁束モータを含み、トランスバース磁束モータは第3の方向にトランスバース磁束を生成し、トランスバース磁束は第3の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第3のトルクを発生させる。

10

【 0 0 2 3 】

[0023]本開示の一態様では、推進システム用のシャフトにトルクを生成する方法は、シャフトに取り付けられたロータアームを有するラジアルモータで第1の電流を受け取るステップを含み、ラジアルモータはハウジング内に位置決めされる。本方法は、第1の電流に応答して第1の方向にラジアル磁束を生成するステップを含むことができる。本方法は、第1の磁気ユニットと相互作用するラジアル磁束に基づいてロータアームに第1のトルクを発生させるステップを含むことができる。本方法は、アキシャルモータで第2の電流を受け取るステップを含むことができ、アキシャルモータはハウジング内に位置決めされる。本方法は、第2の方向にアキシャル磁束を生成するステップを含むことができる。本方法は、第2の磁気ユニットと相互作用するアキシャル磁束に基づいてロータアームに第2のトルクを発生させるステップを含むことができる。

20

【 0 0 2 4 】

[0024]様々な実施形態において、第1の電流は、ラジアルモータに印加される第1の組のd軸電流およびq軸電流を含む。

【 0 0 2 5 】

[0025]様々な実施形態において、第2の電流は、アキシャルモータに印加される第2の組のd軸電流およびq軸電流を含む。

【 0 0 2 6 】

30

[0026]様々な実施形態において、第1のトルクは、第1の振動振幅によって特徴付けられ、第2のトルクは、第2の振動振幅によって特徴付けられ、第1のトルクと第2のトルクとの和は、第1の振動振幅および第2の振動振幅の両方よりも小さい積算振動振幅によって特徴付けられる。

【 0 0 2 7 】

[0027]様々な実施形態において、本方法は、第1の電流を第1の最大値に設定するステップと、第2の電流を第2の最大値に設定するステップと、によって推進システムをブーストモードで動作させるステップを含む。

【 0 0 2 8 】

[0028]様々な実施形態において、本方法は、第1もしくは第2の電流、またはそれらの組み合わせを選択的に低減または非励磁することによって、推進システムをコーストモードで動作させるステップを含む。

40

【 0 0 2 9 】

[0029]本発明により、従来の技術よりも多くの利点が達成される。例えば、本発明の実施形態は、改善された効率（特に低電力要件）、より大きな柔軟性、および推進システムのトルク変動の改善された制御を提供することができる。

【 0 0 3 0 】

[0030]ラジアルアキシャル磁束（RADAX）ハイブリッドモータ構成は、1つまたは複数の磁気的および電気的に絶縁されたアキシャル磁束永久磁石（AFPM）機械を統合型電気推進モータに統合することによってシステム効率の低下に対抗する。これにより、

50

二次巻線が推進負荷を運ぶ一方で、一次巻線がオフピーク負荷条件（例えば、パトロール、低速トランシット、コースト）中に消磁することが可能になる。RADAX構成は、AFPMモータが一次推進モータ内に配置され、そうでなければ未使用の空間を占めるので、体積密度の改善を提供する。本明細書に開示されるRADAX構成は、新しいハイブリッド誘導永久磁石モータを生み出すハイブリッド永久磁石解決策を形成する。開示されたRADAX構成は、耐故障性、ならびに推進シャフト内のアキシャルスラストおよび推進力由来の船舶サービスパワーを打ち消す能力などの二次的な利点を提供する。

【0031】

【0031】RADAXの概念は、最も普及している2つの推進モータタイプ、すなわちラジアル磁束誘導モータ（RFIM）およびラジアル磁束永久磁石（RFPM）推進モータに適用することができる。

10

【0032】

【0032】RADAXの概念は、複数の電磁トポロジを単一の推進システムに統合することを可能にし、設計者が負荷シナリオごとに最良のトポロジを混合して適合させることを可能にする。その結果、コンパクトで高効率の推進システムが実現し、推進システムの耐故障性だけでなく、能力も向上する。

【0033】

【0033】本開示のこれらおよび他の実施形態は、その利点および特徴の多くとともに、以下の本文および添付の図面に関連してより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

20

【0034】

【図1】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル永久磁石推進モータの例示的な断面斜視図である。

【図2】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第1の構成の例示的な断面斜視図である。

【図3】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第1の構成の等角図である。

【図4】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第2の構成の例示的な断面斜視図である。

【図5】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第2の構成の等角図である。

30

【図6】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第3の構成の例示的な断面斜視図である。

【図7】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第3の構成の等角図である。

【図8】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第4の構成の例示的な断面斜視図である。

【図9】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第4の構成の等角図である。

【図10】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第5の構成の例示的な断面斜視図である。

40

【図11】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第5の構成の等角図である。

【図12】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第6の構成の例示的な断面斜視図である。

【図13】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第6の構成の等角図である。

【図14】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第7の構成の例示的な断面斜視図である。

【図15】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第7の構成の等角

50

図である。

【図 1 6】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 1 の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す図である。

【図 1 7】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 2 の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す図である。

【図 1 8】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 3 の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す図である。

【図 1 9】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 4 の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す図である。

【図 2 0】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 1 の状態の経時的な力プロットを示す図である。

10

【図 2 1】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 2 の状態の経時的な力プロットを示す図である。

【図 2 2】本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータの第 3 の状態の経時的な力プロットを示す図である。

【図 2 3】本発明の一実施形態による船舶用の簡略化された電気推進システムを示す図である。

【図 2 4】本発明の一実施形態によるハイブリッドラジアルアキシャルモータでトルクを生成するための例示的なプロセスのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

20

【0035】

[0058]様々な図面における同様の参照および符号は、特定の例示的な実装形態に従って、同様の要素を示す。さらに、要素の複数のインスタンスは、文字またはハイフンを有する要素の第 1 の番号および第 2 の番号に続くことによって示されてもよい。

【0036】

[0059]例示的な実装形態の以下の詳細な説明は、添付の図面を参照する。異なる図面における同じ参照番号は、同じまたは類似の要素を識別し得る。

【0037】

[0060]開示されたラジアルアキシャル磁束 (RADAX) ハイブリッドモータ構成は、1 つまたは複数の磁気的および電気的に絶縁されたアキシャル磁束永久磁石 (AFPM) 機械をハイブリッド電気モータに統合することによるシステム効率の低下に対抗し、二次巻線が推進負荷を運ぶ一方で、オフピーク負荷条件 (例えば、バトロール速度、低速ランシットなど) 中に一次巻線が消磁することを可能にする。RADAX 構成は、AFPM モータが一次推進モータ内に配置され、そうでなければ未使用の空間を占めるので、体積密度の改善を提供する。開示された RADAX 構成は、耐故障性、ならびに推進シャフト内のアキシャルスラストおよび推進力由来の車両 / 船舶 / 航空機サービスパワーなどの二次的な利点を提供する。

30

【0038】

[0061]本明細書で使用する場合、ラジアルモータは、機械のアキシャルシャフトの半径に沿って、機械の軸方向に垂直に流れるラジアル磁束を生成する。アキシャル磁束モータは、機械の軸方向に流れるアキシャル磁束を生成する。

40

【0039】

[0062]従来の電気モータおよび発電機は、モータがモータシャフトに結合された負荷にトルクおよび回転運動を提供するだけである単一動作モードに制限される。一次モータと二次モータの両方、一次モータもしくは二次モータ、または一次モータと二次モータの何らかの組み合わせが共通のシャフトを駆動する RADAX 構成には、いくつかの動作モードを使用することができる。

【0040】

[0063]図 1 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル永久磁石推進モータの例示的な断面斜視図を示す。例示的な構成では、一次モータはラジアル磁束永久磁石を含む

50

ことができ、二次モータは２つのアキシャル磁束永久磁石モータを含むことができる。

【００４１】

[0064]ラジアル磁束モータでは、磁場または磁束は、ロータシャフトの方向に対して半径方向に延びる。図１において、ロータシャフトは、共通ロータシャフト１０２である。

【００４２】

[0065]アキシャル磁束モータは、ロータとステータとの間にギャップを有するモータ構造の幾何学的形状であり、したがって、両者の間の磁束の方向は、ラジアル磁束モータのように半径方向ではなく、回転軸と平行に位置合わせされる。

【００４３】

[0066]アキシャル磁束モータは、いくつかの理由により、著しく高い出力密度をもたらすことができる。第１に、アキシャル磁束機械では、トルク生成磁石はロータディスクに沿って半径方向に横断する。これにより、ロータ構造の半径方向部分が電磁トルクを生成し、同心ロータフープの必要性を排除し、モータアセンブリの重量および体積を最小にする。第２に、ラジアル磁束機械の場合、巻線の多く（５０％程度）が有効ではない（ループを形成するためにのみ使用されるステータ歯の外側に位置する部分（いわゆる「コイルオーバーハング」）。コイルオーバーハングは、モータの両方の範囲で幾何学的に一貫しており、トルク生成に寄与せずに追加の電気抵抗（例えば、放熱）をもたらす。逆に、アキシャル磁束ステータの端部ターンは、モータ固有の「ドーナツ形状」に起因して、幾何学的に一貫していない。アキシャル磁束機械では、内径端部ターンは、外径端部ターンよりも小さい接線方向距離を横断し、端部ターン抵抗および結果として生じる熱負荷を最小限に抑える。その結果、ラジアル磁束モータは、アキシャル磁束機械と比較した場合、全体的に低い出力／重量比を有する。

【００４４】

[0067]図１に示すラジアルアキシャルモータは、ラジアルモータおよびアキシャルモータの両方の利点を組み合わせ、より効率的でより電力密度の高い機械をもたらす。さらに、ラジアルモータおよびアキシャルモータの各々を独立して制御して、モータ性能を微調整し、共通シャフト１０２の望ましくないトルク変動を低減することができる。共通シャフトのトルク変動を低減することによって、振動も制御（増加または減少）することができる。機器の振動は機器を摩耗させ、その音特性を介して船舶の検出可能性および識別性を高める。したがって、ラジアルアキシャルモータの利点の１つは、特に低速でより効率的な動作を可能にし、シャフトの望ましくない出力変動を低減することである。

【００４５】

[0068]図１は、RADAXモータ端壁１０１およびモータフレーム１０３を示す。モータフレーム１０３の内部で、１つまたは複数のロータアセンブリを共通モータシャフト１０２に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ１０４は、円形ディスク１０８の中心付近の内側部分と、円形ディスク１０８の円周に沿った外側部分１１０とを有する円形ディスク１０８を含むことができる。ロータアセンブリ１０４の外側部分１１０は、Ｔ字形とすることができ、ロータアセンブリ表面１１１を含むことができる。一次ロータアセンブリを、内側部分１０６において共通モータシャフト１０２に取り付けることができる。永久磁石１０５を、ロータアセンブリ１０４のＴ字形端部のロータアセンブリ表面１１１上の外側部分１１０上に固定することができる。いくつかの実施形態では、永久磁石１０５の代わりに、いくつかのロータ巻線を含む誘導ロータが一次ロータに使用される。一次モータステータ１１２を、円形のRADAXモータ端壁１０１の内面に取り付けることができる。一次モータステータ１１２を、一次ロータアセンブリ１０４と一次モータステータ１１２との間にエアギャップ１１３が存在するように設置することができる。第１の電流は、磁場１１５を発生させるために一次ステータアセンブリ１１２を通過することができる。一次ステータアセンブリ１１２によって生成された磁場１１５は、一次モータロータ１０４の表面１１１に固定された永久磁石１０５に影響を及ぼし、共通モータシャフト１０２を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。ベアリング１０７を、共通モータシャフト１０２の周りに設置することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

[0069] R A D A X モータフレーム 1 0 3 は、R A D A X モータ端壁 1 0 1 を含むことができる。二次モータステータ 1 1 4 を、R A D A X モータ端壁 1 0 1 の各々の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ 1 1 4 は、共通モータシャフト 1 0 2 を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。第 2 の電流を円形ステータアセンブリ 1 1 4 に印加して磁場 1 2 1 を発生させることができる。二次ロータアセンブリ 1 1 6 の外面と二次モータステータアセンブリ 1 1 4 の内面との間にエアギャップ 1 1 7 が存在するように、二次ロータアセンブリ 1 1 6 を共通モータシャフト 1 0 2 に固定することができる。永久磁石 1 1 9 が二次モータステータアセンブリ 1 1 4 によって生成される磁場 1 2 1 の影響を受けるように、1 つまたは複数の永久磁石 1 1 9 を二次ロータアセンブリ 1 1 6 の外面に固定することができる。二次ロータアセンブリ 1 1 6 を、共通モータシャフト 1 0 2 上の二次モータステータアセンブリ 1 1 4 の内側に取り付けることができる。二次モータステータアセンブリ 1 1 4 によって生成された磁場 1 2 1 は、二次ロータアセンブリ 1 1 6 上の永久磁石 1 1 9 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 1 0 2 を回転させる接線力を引き起こすことができる。

10

【 0 0 4 7 】

[0070] 第 1 の電流は、第 2 の独立した電流とは別個かつ独立であり得る。いくつかの実施形態では、追加の独立した電流を印加することができる（例えば、第 3 の電流、第 4 の電流、第 5 の電流など）。独立した電流（例えば、第 1 の電流、第 2 の電流など）の各々を独立して制御することができる。例えば、アンペア数、電圧、ならびに d 軸および q 軸インダクタンスを独立して制御および調整することができる。

20

【 0 0 4 8 】

[0071] d 軸および q 軸インダクタンスは、磁束経路が磁極に対してロータを通過するときに測定されるインダクタンスである。d 軸インダクタンスは、磁束が磁極を通過するときに測定されるインダクタンスである。q 軸インダクタンスは、磁束が磁極間を通過するときのインダクタンス尺度である。

【 0 0 4 9 】

[0072] 誘導機械では、ロータ磁束鎖交は、d 軸と q 軸との間で同じになる。しかしながら、永久磁石機械では、磁石は磁束鎖交に利用可能な鉄を減少させる。磁石の透磁率は空気の透磁率に近い。したがって、磁石をエアギャップとして見ることができる。磁石は、d 軸を通過して移動するときに磁束経路内にある。q 軸を通る磁束経路は磁石と交差しない。そのため、q 軸磁束経路により多くの鉄を結合することができ、その結果、インダクタンスが大きくなる。磁石が埋め込まれたモータは、d 軸インダクタンスよりも大きい q 軸インダクタンスを有する。表面実装磁石を有するモータは、磁石がロータの外側にあり、ステータ界磁によって結合される鉄の量を制限しないため、ほぼ同一の q 軸および d 軸インダクタンスを有する。

30

【 0 0 5 0 】

[0073] 一次モータおよび二次モータの各々は、共通モータシャフト 1 0 2 の軸を中心に同じ方向に共通モータシャフト 1 0 2 を回転させるためのトルクを独立して生成することができる。それぞれの界磁磁束を反転させることにより、一次モータおよび二次モータのそれぞれが独立してトルクを生成して、共通モータシャフト 1 0 2 を反対方向に回転させることができる。ラジアルモータおよびアキシャルモータは、ラジアルモータまたはアキシャルモータのいずれかからの交差磁束を低減するようにハウジング内に位置決めされることができる。

40

【 0 0 5 1 】

[0074] 図 2 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 2 0 0 の第 1 の構成の例示的な断面斜視図を示す。第 1 の構成では、一次モータは、ラジアル磁束永久磁石モータを含むことができる。二次モータは、2 つのアキシャル磁束永久磁石モータを含むことができる。図 2 には示されていないが、R A D A X モータは、図 1 に示すように、モータ端壁 1 0 1 およびモータフレーム 1 0 3 を含むことができる。モータフレーム 1

50

03の内部で、1つまたは複数のロータアセンブリを共通モータシャフト202に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ204は、円形ディスクの中心付近の内側部分206と、円形ディスクの円周に沿った外側部分210とを有する円形ディスクを含むことができる。ロータアセンブリの外側部分210は、T字形とすることができ、ロータアセンブリ表面を含むことができる。一次ロータアセンブリ204を、内側部分206において共通モータシャフト202に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ204のT字形端部の一次ロータアセンブリ表面の外側部分210に、1つまたは複数の永久磁石を固定することができる。一次ステータアセンブリ212を、図1に示すように、円形RADAXモータフレーム103の内面に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ204と一次モータステータ212との間にエアギャップが存在するように、一次ステータアセンブリ212を設置することができる。第1の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ212を通過することができる。一次ステータアセンブリ212によって生成された磁場は、一次モータロータ204の表面に固定された永久磁石に影響を及ぼし、共通モータシャフト202を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

10

【0052】

[0075]RADAXモータフレームは、2つのRADAXモータ端壁を含むことができる。二次モータステータアセンブリ214を、RADAXモータ端壁の各々の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ214は、共通モータシャフト202を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。第2の電流を円形ステータアセンブリ214に印加して磁場を発生させることができる。二次ロータアセンブリ216の外側面と二次モータステータアセンブリ214の内側面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ216を共通モータシャフト202に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ214によって生成される磁場の影響を受けるように、1つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ216の外側に固定することができる。二次ロータアセンブリ216を、共通モータシャフト202上の二次モータステータアセンブリ214の内側に取り付けることができる。

20

【0053】

[0076]図3は、本発明の一実施形態によるモータハウジングが取り外されたラジアルアキシシャル永久磁石推進モータ300の第1の構成の等角図を示す。図3は、一次ロータアセンブリ304を示す。一次ステータアセンブリ312は、ラジアル磁束永久磁石モータ400を取り囲む。2つの二次モータステータアセンブリのうちの二次モータステータアセンブリ314を図3に示す。一次ロータアセンブリ304は、一次ステータアセンブリ312の内側に見ることができる。共通モータシャフト302は、二次モータステータアセンブリ314の凹部から出ているのが分かる。

30

【0054】

[0077]図4は、本発明の一実施形態による共通モータシャフト402を駆動するラジアルアキシシャル推進モータの第2の構成の例示的な断面斜視図を示す。第2の構成では、一次ロータアセンブリ404は、ラジアル磁束永久磁石モータを含むことができる。二次モータは、4つのアキシシャル磁束永久磁石モータを含むことができる。4つのアキシシャル磁束永久磁石モータの各々を、コントローラを使用して個別に制御することができる。2つの追加のアキシシャル磁束永久磁石モータは両方とも、ラジアルアキシシャル推進モータによって生成される総トルクを増加させ、ラジアルアキシシャル推進モータの第1の構成と比較して、共通シャフト上のトルク変動のより大きな制御を可能にする。

40

【0055】

[0078]この構成では、追加の二次モータは、単一のモータハウジング内に収容される。さらに、二次モータを同時に動作させることができ、共通シャフトのトルク生成を増加させる。二次モータは、自動車のギアボックスのように機能する負荷の増減を伴う用途のために、互い違いの配置で動作することができる。このシナリオでは、単一の二次モータが軽負荷、高効率トルク生成のために動作し、負荷がランプアップされると、第2の二次モ

50

ータが作動される。この負荷シナリオは、すべての二次モータまで継続され、一次モータは共通のシャフトにトルクを能動的に生成している。逆に、RADAX構成は、トルク要件が減少するにつれて、同じようにモータを停止させることができる。

【0056】

[0079]図示されていないが、RADAXモータの第2の構成は、RADAXモータ端壁およびモータフレームを含むことができる。モータフレームの内部で、一次ロータアセンブリ404を共通モータシャフト402に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ404は、円形ディスクの中心に内側部分406を有する円形ディスクと、円形ディスクの円周に沿った外側部分410とを含むことができる。一次ロータアセンブリ404の外側部分410は、T字形とすることができ、円形ディスクの表面に垂直なロータアセンブリ表面を含むことができる。一次ロータアセンブリ404を、一次ロータアセンブリ404の内側部分406で共通モータシャフト402に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ404のT字形端部の一次ロータアセンブリ表面に、1つまたは複数の永久磁石を固定することができる。一次ステータアセンブリ412を、円形RADAXモータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ412を、一次ロータアセンブリ404と一次ステータアセンブリ412との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第1の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ412を通過することができる。一次ステータアセンブリ412によって生成された磁場は、一次モータロータの表面に固定された永久磁石に影響を及ぼし、共通モータシャフト402を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

【0057】

[0080]RADAXモータフレームは、2つのRADAXモータ端壁を含むことができる。二次モータステータアセンブリ414を、RADAXモータ端壁の各々の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ414は、共通モータシャフト402を取り囲む円形ステータを含むことができる。二次モータステータアセンブリ414に第2の電流を印加して、軸方向の磁束を発生させる磁場を発生させることができる。二次ロータアセンブリ416の外表面と二次モータステータアセンブリ414の内面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ416を二次モータステータアセンブリ414の内側の共通モータシャフト402に取り付けることができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ414によって生成される磁場の影響を受けるように、1つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ416の外表面に固定することができる。第2のRADAX構成では、第3および第4の二次モータステータアセンブリ414および二次ロータアセンブリ416の対を、第1および第2の二次モータステータアセンブリ414および二次ロータアセンブリ416の対の内側に設置することができる。第3および第4の二次モータステータアセンブリ414の直径は、ステータアセンブリをRADAXモータ端壁に取り付けるための第1の二次モータステータアセンブリの直径よりも大きくすることができる。

【0058】

[0081]図5は、ラジアルアキシャル推進モータ500の第2の構成の等角図を示す。図5は、共通モータシャフト502に取り付けられた一次ロータアセンブリ504を示す。一次ステータアセンブリ512は、ラジアル磁束推進モータ500を取り囲む。図5に示すように、ラジアルアキシャル推進モータの第2の構成は、複数の二次モータステータアセンブリ414を含み、そのうちの2つを図5に見ることができる。一次ロータアセンブリ504は、一次ステータアセンブリ512の内側に見ることができる。共通モータシャフト502は、二次モータステータアセンブリ514の凹部から出ているのが分かる。

【0059】

[0082]図6は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ600の第3の構成の例示的な断面斜視図を示す。ラジアルアキシャル推進モータ600の第3の構成は、一次モータとしてのラジアル磁束誘導モータと、二次モータとしての2つのアキシャル磁束永久磁石モータとを含むことができる。第3の構成では、一次ロータアセンブリ6

04は、共通モータシャフト602に取り付けられたラジアル磁束誘導モータを含むことができる。AC誘導モータの重要な利点は、コストである。AC誘導は、構築するのに比較的安価であり得る。AC誘導設計は、ステータとロータの両方に鋼積層を使用し、これらを、同じ材料シートからほぼ同時にスタンピングすることができる。言い換えれば、スクラップ率は、平均的なスタンピングジョブよりもはるかに低い。AC誘導モータでは、ロータは常に磁場のサイクルよりも低速で回転する。永久磁石モータは、AC誘導モータよりも高価である傾向があり、AC誘導モータよりも始動が困難であることが知られている。しかしながら、永久磁石モータの利点は、より高い効率、より小さいサイズ（永久磁石モータは、ほとんどのACモータサイズの1/3程度にすることができ、設置および保守がはるかに容易になる）、および低速で全トルクを維持する永久磁石モータの能力を含む。

10

【0060】

[0083]一次ラジアル磁束誘導モータの低負荷効率を補うために、二次永久磁石モータを使用することができる。永久磁石モータは、ロータに巻線を有し、したがってロータ巻線損失を生じないため、誘導モータよりも効率的である。さらに、二次モータは、一次ラジアル磁束モータと比較して、より低いトルク動作に最適化される。このように、低トルク動作中に一次モータを非励磁することができ、二次モータの1つまたは複数が共通モータシャフトにトルクを提供することを可能にする。この構成では、最適化された永久磁石モータはトルクをより効率的に生成し、単独で動作する一次ラジアル磁束モータと比較して全体的な電力消費を低減する。

20

【0061】

[0084]一次ロータアセンブリ604は、1つまたは複数のコイルを含む。第1の電流を1つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。一次ステータアセンブリ612を、円形RADAXモータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ612を、一次ロータアセンブリ604と一次ステータアセンブリ612との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第2の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ612を通過することができる。一次ステータアセンブリ412によって生成された磁場は、一次ロータアセンブリ604によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト402を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

30

【0062】

[0085]RADAXモータフレームは、2つのRADAXモータ端壁を含むことができる。二次モータステータアセンブリ614を、2つのRADAXモータ端壁の各々の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ612は、共通モータシャフト602を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。磁場を発生させるために、第3の電流を二次モータステータアセンブリ614に印加することができる。二次ロータアセンブリ616の外表面と二次モータステータアセンブリ614の内表面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ616を共通モータシャフト602に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ614によって生成される磁場の影響を受けるように、1つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ616の外表面に固定することができる。二次ロータアセンブリ616を、共通モータシャフト602上の二次モータステータアセンブリ614の内側に取り付けることができる。

40

【0063】

[0086]図7は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシアル推進モータ700の第3の構成の等角図を示す。図7は、共通モータシャフト702に取り付けられた一次ロータアセンブリ704を示す。一次ステータアセンブリ712は、ラジアル磁束推進モータ700を取り囲む。図7に示すように、ラジアルアキシアル推進モータの第3の構成は、複数の二次モータステータアセンブリ714を含み、そのうちの1つを図7に見ることができる。一次ロータアセンブリ704は、一次ステータアセンブリ712の内側に見ることができる。共通モータシャフト702は、二次モータステータアセンブリ714の凹部が

50

ら出ているのが分かる。

【 0 0 6 4 】

[0087]図 8 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 8 0 0 の第 4 の構成の例示的な断面斜視図を示す。第 4 の構成では、一次モータはラジアル磁束誘導モータとすることができ、二次モータはアキシャル磁束永久磁石モータおよびアキシャル磁束誘導モータを含む。第 4 の構成では、一次ロータアセンブリ 8 0 4 は、共通モータシャフト 8 0 2 に取り付けられたラジアル磁束誘導モータを含むことができる。ラジアル磁束誘導モータの利点は、第 3 の構成を参照して上述されている。追加のアキシャル磁束永久磁石モータおよびアキシャル磁束誘導モータは、ラジアルアキシャル推進モータによって生成される総トルクを増加させ、ラジアルアキシャル推進モータの第 1 の構成と比較して、共通シャフト上のトルク変動のより大きな制御を可能にする。

10

【 0 0 6 5 】

[0088]図 6 と同様に、この構成は、低トルク動作に最適化された 2 つの二次モータを統合する。したがって、この構成は、一次誘導モータが非励磁され、二次モータがより効率的に動作する同様の方法で動作することができる。誘導モータは通常永久磁石モータよりも低コストであるため、追加の利点には低コストの二次モータ、ならびに永久磁石モータに存在する受動コギングトルクの排除が含まれる。作動停止されると、図 6 の二次モータは、「常時オン」の永久磁石に起因して、受動コギングトルクおよび鉄損を発生させ、図 8 では、非励磁モータは、受動コギングトルクも受動鉄損も生成しない。

【 0 0 6 6 】

20

[0089]一次ロータアセンブリ 8 0 4 は、1 つまたは複数のコイルを含むことができる。第 1 の電流を 1 つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。一次ステータアセンブリ 8 1 2 を、円形 R A D A X モータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ 8 1 2 を、一次ロータアセンブリ 8 0 4 と一次ステータアセンブリ 8 1 2 との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第 2 の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ 8 1 2 を通過することができる。一次ステータアセンブリ 8 1 2 によって生成された磁場は、一次ロータアセンブリ 8 0 4 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 8 0 2 を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

【 0 0 6 7 】

30

[0090]R A D A X モータフレームは、2 つの R A D A X モータ端壁を含むことができる。R A D A X モータの一方の側では、二次モータステータアセンブリ 8 1 4 を、2 つの R A D A X モータ端壁の一方の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ 8 1 4 は、共通モータシャフト 8 0 2 を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。磁場を発生させるために、第 3 の電流を二次モータステータアセンブリ 8 1 4 に印加することができる。二次ロータアセンブリ 8 1 6 の外面と二次モータステータアセンブリ 8 1 4 の内面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ 8 1 6 を共通モータシャフト 8 0 2 に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ 8 1 4 によって生成される磁場の影響を受けるように、1 つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ 8 1 6 の外面に固定することができる。二次ロータアセンブリ 8 1 6 を、共通モータシャフト 8 0 2 上の二次モータステータアセンブリ 8 1 4 の内側に取り付けることができる。

40

【 0 0 6 8 】

[0091]R A D A X モータの第 2 の側には、アキシャル磁束誘導モータを設置することができる。二次モータステータアセンブリ 8 1 4 を、2 つの R A D A X モータ端壁の 1 つの内側部分に沿って固定することができる。二次モータロータアセンブリ 8 1 8 は、アキシャル磁束誘導モータを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 8 1 8 は、1 つまたは複数のコイルを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 8 1 8 を、共通モータシャフト 8 0 2 に固定することができる。第 4 の電流を 1 つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。二次モータロータアセンブリ 8 1 8 と二次モータステ

50

ータアセンブリ 8 1 4 との間にエアギャップが存在することができる。第 5 の電流はまた、二次モータステータアセンブリ 8 1 4 を通過して磁場を発生させることができる。二次モータステータアセンブリ 8 1 4 によって生成された磁場は、二次モータロータアセンブリ 8 1 8 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 8 0 2 を回転させる接線を生じさせる可能性がある。

【 0 0 6 9 】

[0092]図 9 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 9 0 0 の第 4 の構成の等角図を示す。図 9 は、共通モータシャフト 9 0 2 に取り付けられた一次ロータアセンブリ 9 0 4 を示す。一次ステータアセンブリ 9 1 2 は、ラジアル磁束推進モータ 9 0 0 を取り囲む。図 9 に示すように、ラジアルアキシャル推進モータの第 3 の構成は、複数の二次モータステータアセンブリ 9 1 4 を含み、そのうちの 1 つを図 9 に見ることができる。一次ロータアセンブリ 9 0 4 は、一次ステータアセンブリ 9 1 2 の内側に見ることができる。共通モータシャフト 9 0 2 は、二次モータステータアセンブリ 9 1 4 の凹部から出ているのが分かる。

10

【 0 0 7 0 】

[0093]図 1 0 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 1 0 0 0 の第 5 の構成の例示的な断面斜視図を示す。第 5 の構成では、一次モータはラジアル磁束誘導モータとすることができ、二次モータはアキシャル磁束永久磁石モータおよび 3 つのアキシャル磁束誘導モータを含むことができる。第 4 の構成について上述したように、アキシャル磁束誘導モータは、同様のサイズのアキシャル磁束永久磁石モータよりも安価であり得る。

20

【 0 0 7 1 】

[0094]この構成では、いくつかの低コスト誘導モータが、高効率のアキシャル磁束永久磁石モータと対にされる。これは、一次低トルク動作のために二次永久磁石モータ、および一次ラジアル磁束モータを必要としない他の低トルク動作点のために低コストの二次誘導モータによってもたらされる高効率を活用する。追加の利点は、一次誘導モータがトルクを生成している間、または共通モータシャフトが制動している間に、二次永久磁石モータを介して受動的に電力を発生させる能力を含む。

【 0 0 7 2 】

[0095]第 5 の構成では、一次ロータアセンブリ 1 0 0 4 は、共通モータシャフト 1 0 0 2 に取り付けられたラジアル磁束誘導モータを含むことができる。一次ロータアセンブリ 1 0 0 4 は、1 つまたは複数のコイルを含むことができる。第 1 の電流を 1 つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。一次ステータアセンブリ 1 0 1 2 を、円形 R A D A X モータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ 1 0 1 2 を、一次ロータアセンブリ 1 0 0 4 と一次ステータアセンブリ 1 0 1 2 との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第 2 の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ 1 0 1 2 を通過することができる。一次ステータアセンブリ 1 0 1 2 によって生成された磁場は、一次ロータアセンブリ 1 0 0 4 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 1 0 0 2 を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

30

40

【 0 0 7 3 】

[0096]R A D A X モータフレームは、2 つの R A D A X モータ端壁を含むことができる。R A D A X モータの一方の側では、二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 を、2 つの R A D A X モータ端壁の一方の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 は、共通モータシャフト 1 0 0 2 を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。磁場を発生させるために、電流を二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 に印加することができる。二次ロータアセンブリ 1 0 1 6 の外面と二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 の内面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ 1 0 1 6 を共通モータシャフト 1 0 0 2 に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 によって生成される磁場の影響を受けるように、1 つ

50

または複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ 1 0 1 6 の外面に固定することができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 6 を、共通モータシャフト 1 0 0 2 上の二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 の内側に取り付けることができる。

【 0 0 7 4 】

[0097] 上述したアキシャル磁束永久磁石モータと同じ側に、アキシャル磁束誘導モータを設置することができる。二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 を、2つの R A D A X モータ端壁の 1 つの内側部分に沿って固定することができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 は、アキシャル磁束誘導モータを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 は、1 つまたは複数のコイルを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 を、共通モータシャフト 1 0 0 2 に固定することができる。第 3 の電流を 1 つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 と二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 との間にエアギャップが存在することができる。第 4 の電流はまた、二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 を通過して磁場を発生させることができる。二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 によって生成された磁場は、二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 1 0 0 2 を回転させる接線を生じさせる可能性がある。

【 0 0 7 5 】

[0098] R A D A X モータの第 2 の側には、2つのアキシャル磁束誘導モータを設置することができる。二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 を、2つの R A D A X モータ端壁の 1 つの内側部分に沿って固定することができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 は、アキシャル磁束誘導モータを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 は、1 つまたは複数のコイルを含むことができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 を、共通モータシャフト 1 0 0 2 に固定することができる。第 1 の電流を 1 つまたは複数のコイルに流して磁場を発生させることができる。二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 と二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 との間にエアギャップが存在することができる。第 2 の電流はまた、二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 を通過して磁場を発生させることができる。二次モータステータアセンブリ 1 0 1 4 によって生成された磁場は、二次モータロータアセンブリ 1 0 1 8 によって生成された磁場に影響を及ぼし、共通モータシャフト 1 0 0 2 を回転させる接線を生じさせる可能性がある。

【 0 0 7 6 】

[0099] 図 1 1 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 1 1 0 0 の第 5 の構成の等角図を示す。図 1 1 は、共通モータシャフト 1 1 0 2 に取り付けられた一次ロータアセンブリ 1 1 0 4 を示す。一次ステータアセンブリ 1 1 1 2 は、ラジアル磁束推進モータ 1 1 0 0 を取り囲む。図 1 1 に示すように、ラジアルアキシャル推進モータの第 3 の構成は、複数の二次モータステータアセンブリ 9 1 4 を含み、そのうちの 2 つを図 1 1 に見ることができる。一次ロータアセンブリ 1 1 0 4 は、一次ステータアセンブリ 1 1 1 2 の内側に見ることができる。共通モータシャフト 1 1 0 2 は、二次モータステータアセンブリ 1 1 1 4 の凹部から出ているのが分かる。

【 0 0 7 7 】

[0100] 図 1 2 は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ 1 2 0 0 の第 6 の構成の例示的な断面斜視図を示す。第 6 の構成では、一次モータはラジアル磁束誘導モータを含むことができ、二次モータはアキシャル磁束永久磁石モータおよびトランスバース磁束モータを含むことができる。高トルク密度の直接駆動電気機械は、電気自動車トラクションモータとして非常に望ましい。直接駆動機械は、低速で高トルクを有し、典型的には効率が低い機械的ギアボックスを排除することによって高い信頼性および低コストを提供する。トランスバース磁束機械 (T F M) は、その高いトルク密度のために、直接駆動用途に本質的に適している。T F M の明確な特徴は、各ステータコアを電機子アンペアターン全体に結合するその「リング」形状の巻線である。その結果、電気負荷を犠牲にすることなく極数を増加させることで高トルクが達成される。

【 0 0 7 8 】

[0101]この構成では、RADAXは、異なる動作モードに対応するように設計されている。低速、高トルクが要求される場合、二次トランスバース磁束モータおよび/または一次ラジアル磁束モータが作動される。負荷トルク要求が低減されると、二次永久磁石モータが低負荷動作のために作動され、RADAXモータの効率が向上する。この構成は、電気自動車および航空機など、大きな離脱トルク要件、または大きな断続トルク要件を有する用途に使用され得る。

【0079】

[0102]一次ロータアセンブリ1204は、円形ディスクの中心付近の内側部分と、円形ディスクの円周に沿った外側部分とを有する円形ディスクを含むことができる。ロータアセンブリの外側部分1210は、T字形とすることができ、ロータアセンブリ表面を含むことができる。一次ロータアセンブリ1204を、内側部分において共通モータシャフト1202に取り付けることができる。永久磁石を、ロータアセンブリ1204のT字形端部のロータアセンブリ表面上の外側部分1210上に固定することができる。一次ステータアセンブリ1212を、円形RADAXモータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ1212を、一次ロータアセンブリ1204と一次ステータアセンブリ1212との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第1の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ1212を通過することができる。一次ステータアセンブリ1212によって生成された磁場は、一次ロータアセンブリ1204の表面に固定された永久磁石に影響を及ぼし、共通モータシャフト1202を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

【0080】

[0103]トランスバース磁束モータを、一次ロータアセンブリ1204の一方の側に含めることができる。二次トランスバース磁束ステータアセンブリ1220を、RADAXモータケースの一方の側に取り付けることができる。トランスバース磁束ステータアセンブリ1220は、いくつかのステータコアを含むことができる。複数のコイルは、ステータコアを通過し、電流が印加されると磁場を発生させる。ロータをステータの中央に設置することができ、永久磁石がステータコアのノッチを通過するように、1つまたは複数の永久磁石をロータの縁部に固定することができる。永久磁石とステータコアとの間にエアギャップが存在し得る。第2の電流は、磁場を発生させるために二次トランスバース磁束ステータアセンブリ1220を通過することができる。二次トランスバース磁束ステータアセンブリ1220によって生成された磁場は、二次ロータアセンブリ1222に固定された永久磁石に影響を及ぼし、共通モータシャフト1202を回転させる横方向の力を引き起こすことができる。

【0081】

[0104]トランスバース磁束モータの反対側に、二次モータステータアセンブリ1214をRADAXモータ端壁の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ1214は、共通モータシャフト1202を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。第3の電流を円形ステータアセンブリ1214に印加して磁場を発生させることができる。二次ロータアセンブリ1216の外周と二次モータステータアセンブリ1214の内面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ1216を共通モータシャフト1202に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ1214によって生成される磁場の影響を受けるように、1つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ1216の外周に固定することができる。二次ロータアセンブリ1216を、共通モータシャフト1202上の二次モータステータアセンブリの内側に取り付けることができる。

【0082】

[0105]図13は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシヤル推進モータ1300の第6の構成の等角図を示す。図13は、共通モータシャフト1302に取り付けられた一次ロータアセンブリ1304を示す。一次ステータアセンブリ1312は、ラジアル磁束推進モータ1300を取り囲む。図13に示すように、ラジアルアキシヤル推進モータの

第3の構成は、二次トランスバース磁束ステータアセンブリ1220を含むことができる。一次ロータアセンブリ1304は、一次ステータアセンブリ1312の内側に見ることができる。共通モータシャフト1302は、二次トランスバース磁束ステータアセンブリ1320の凹部から出ているのが分かる。

【0083】

[0106]図14は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ1400の第7の構成の例示的な断面斜視図を示す。第7の構成では、一次モータはラジアル磁束誘導を含むことができ、二次デバイスはアキシャル磁束永久磁石モータおよび遊星ギアボックスを含むことができる。モータフレームの内部で、一次ロータアセンブリ1404を共通モータシャフト1402に取り付けることができる。

10

【0084】

[0107]この配置は、出力にギアボックスを追加することで、他のRADAXと同様の利点を提供する。統合型ギアボックス（遊星または他の形式）は、ギア選択に応じて共通のRADAXシャフトトルクまたは速度を増幅する。統合型ギアセットを追加することにより、より低トルクのモータを用途に利用することができ、よりコンパクトなRADAX解決策を生み出すことができる。

【0085】

[0108]一次ロータアセンブリ1404は、円形ディスクの中心に内側部分1408を有する円形ディスクと、円形ディスクの円周に沿った外側部分1410とを含むことができる。一次ロータアセンブリ1404の外側部分1410は、T字形とすることができ、円形ディスクの表面に垂直なロータアセンブリ表面を含むことができる。一次ロータアセンブリ1404を、一次ロータアセンブリ1404の内側部分1408で共通モータシャフト1402に取り付けることができる。一次ロータアセンブリ1404のT字形端部の一次ロータアセンブリ表面に、1つまたは複数の永久磁石を固定することができる。一次ステータアセンブリ1412を、円形RADAXモータフレームの内面に取り付けることができる。一次ステータアセンブリ1412を、一次ロータアセンブリ1404と一次ステータアセンブリ1412との間にエアギャップが存在するように設置することができる。第1の電流は、磁場を発生させるために一次ステータアセンブリ1412を通過することができる。一次ステータアセンブリ1412によって生成された磁場は、一次モータロータの表面に固定された永久磁石に影響を及ぼし、共通モータシャフト1402を回転させる半径方向の力を引き起こすことができる。

20

30

【0086】

[0109]図14に示すラジアルアキシャル推進モータ1400の第7の構成では、遊星ギアボックス1424が、一次ロータアセンブリ1404の一方の側に設置される。遊星ギアボックス1424は、入力シャフトと出力シャフトとが位置合わせされたギアボックスである。遊星ギアボックス1424は、最もコンパクトな形態（トルク密度として知られる）で最大トルクを伝達するために使用される。

【0087】

[0110]遊星ギアボックス1424の反対側に、二次モータステータアセンブリ1414をRADAXモータ端壁の内側部分に沿って固定することができる。二次モータステータアセンブリ1414は、共通モータシャフト1402を取り囲む円形ステータアセンブリを含むことができる。第1の電流を円形ステータアセンブリ1414に印加して磁場を発生させることができる。二次ロータアセンブリ1416の外表面と二次モータステータアセンブリ1414の内表面との間にギャップが存在するように、二次ロータアセンブリ1416を共通モータシャフト1402に固定することができる。永久磁石が二次モータステータアセンブリ1414によって生成される磁場の影響を受けるように、1つまたは複数の永久磁石を二次ロータアセンブリ1416の外表面に固定することができる。二次ロータアセンブリ1416を、共通モータシャフト1402上の二次モータステータアセンブリの内側に取り付けることができる。

40

【0088】

50

[0111]図15は、本発明の一実施形態によるラジアルアキシャル推進モータ1500の第7の構成の等角図を示す。図15は、共通モータシャフト1502に取り付けられた一次ロータアセンブリ1504を示す。一次ステータアセンブリ1512は、ラジアル磁束推進モータ1500を取り囲む。図15に示すように、ラジアルアキシャル推進モータの第7の構成は、遊星ギアボックス1424を含むことができる。一次ロータアセンブリ1504は、一次ステータアセンブリ1512の内側に見ることができる。共通モータシャフト1502は、遊星ギアボックス1524の凹部から出ているのが分かる。

【0089】

[0112]図16は、本発明の一実施形態によるラジアル磁束誘導一次モータおよびアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第1の状態についてのトルク対電気角のプロット1600を示す。図16は、図6に示す第4の構成のラジアル磁束誘導モータと同様のラジアル磁束推進モータの基準ラジアル磁束トルク対電気角(度)のプロット1602を示す。図16に示すように、アキシャル磁束推進モータによって生成されるトルクは、ラジアル磁束誘導一次モータによって生成されるトルクと合成し、ラジアルアキシャル推進モータに関連する積算トルク1606を生成することができる。アキシャル磁束推進モータからの積算トルクは、定常合成積算トルク1606を増加させることができる。いくつかの実装形態では、合成積算トルク1606の増加は約10%であり得る。アキシャル磁束推進モータ(複数可)のd-q軸電流に基づいて、合成トルクは非定常である可能性があり、振動をもたらす可能性がある(例えば、約2フィートポンド)。トルクの振動は、振動の増加をもたらす可能性があるため望ましくない。振動の増加は、容器の音特性を高め、船舶をより検出可能かつ識別可能にすることができる。図17に示すように、q軸およびd軸を調整して、これらのトルク振動を低減し、さらに一次ラジアルモータのみにわたって平均トルクを生成および増加させることができる。

【0090】

[0113]図17は、ラジアル磁束誘導一次モータおよびアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第2の状態についてのトルク対電気角のプロット1700を示す。図17は、ラジアル磁束誘導推進モータの基準ラジアル磁束トルク対電気角(度)のプロット1702を示す。図17に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束誘導モータによって生成されるラジアル磁束力と合成して、積算トルク1706を生成することができる。アキシャル磁束推進モータからのトルクは、定常合成RADAXトルク1706を増加させることができる。いくつかの実装形態では、合成RADAXトルク1706の増加は約10%であり得る。図17は、アキシャル磁束推進モータ(複数可)のd軸電流およびq軸電流を調整することによって、合成トルクの不安定性を、図16に示すような2フィートポンドから約0.3フィートポンドに低減することができる一方で、依然として約2フィートポンドの平均積算トルク1706の増加(約10%)を提供することを示している。

【0091】

[0114]図18は、ラジアル磁束誘導一次モータおよびアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第3の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す。図18は、ラジアル推進モータの基準ラジアル磁束トルク対電気角(度)のプロット1802を示す。図18に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束力と合成して、積算トルク1804を生成することができる。アキシャル磁束推進モータからの積算トルクは、定常合成RADAXトルク1806を増加させることができる。d軸およびq軸電流がさらに調整されると、積算トルク1806を約10%増加させることができる。しかしながら、アキシャル磁束推進モータ(複数可)のd軸電流およびq軸電流に起因して、合成トルクは非定常である可能性があり、振動をもたらす可能性がある(例えば、約3フィートポンド)。トルク変動は、上述のように望ましくない可能性がある。したがって、ラジアルモータおよびアキシャルモータを独立して制御することにより、積算トルク変動を低減するための手段を提供することができる。

【0092】

10

20

30

40

50

[0115]図 19 は、ラジアル磁束誘導一次モータおよびアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第 4 の状態についてのトルク対電気角のプロットを示す。図 19 は、ラジアル推進モータの基準ラジアル磁束トルク対電気角（度）のプロット 1902 を示す。図 19 に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束力と合成して、積算トルク 1904 を生成することができる。図 19 に示すように、アキシャル磁束推進モータの寄与は、 $d - q$ 相回転変化に起因して、または統合型アキシャル磁束推進モータを発電機として使用するため、負となり得る。アキシャル磁束推進モータからの積算トルクは、定常合成 $RADAX$ トルク 1906 を低減することができる。いくつかの実装形態では、合成 $RADAX$ トルク 1906 の減少は約 10% であり得る。図 19 は、アキシャル磁束推進モータ（複数可）の $d - q$ 軸電流を調整することによって、合成トルクの不安定性を低減することができ、結果として合成トルクの振動を低減することができる（例えば、約 0.3 フィートポンド）ことを示している。図 19 は、トルク出力を微調整し、トルク変動を低減するためのラジアルアキシャル磁束モータの別の利点を示す。

【0093】

[0116]図 20 は、一次モータ用のラジアル磁束誘導推進モータおよび二次モータ用の 2 つのアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第 1 の状態についての経時的な力プロットを示す。図 20 は、ラジアル磁束誘導推進モータの基準ラジアル磁束トルク対時間のプロット 2002 を示す。第 1 のアキシャル磁束推進モータからの第 1 のアキシャル磁束トルク 2004 を、第 2 のアキシャル磁束推進モータからの第 2 のアキシャル磁束トルク 2006 と合成することができる。第 1 および第 2 のアキシャル磁束推進モータの第 1 の $d - q$ 状態では、第 1 のアキシャル磁束トルク 2004 および第 2 のアキシャル磁束トルク 2006 は同相であるように見える。ラジアル磁束トルク 2002 もまた、第 1 のアキシャル磁束トルク 2004 および第 2 のアキシャル磁束トルク 2006 と同相であるように見える。図 20 に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束トルク 2002 と合成して、積算トルク 2008 を生成することができる。積算トルク 2008 はまた、ラジアル磁束トルク 2002、第 1 のアキシャル磁束トルク 2004、および第 2 のアキシャル磁束トルク 2006 と同相であるように見える。

【0094】

[0117]図 21 は、一次モータ用のラジアル磁束誘導モータおよび二次モータ用の 2 つのアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第 2 の状態についての経時的な力プロットを示す。図 21 は、ラジアル磁束誘導推進モータの基準ラジアル磁束トルク対時間のプロット 2102 を示す。第 1 のアキシャル磁束推進モータからの第 1 のアキシャル磁束トルク 2104 を、第 2 のアキシャル磁束推進モータからの第 2 のアキシャル磁束トルク 2106 と合成することができる。第 1 および第 2 のアキシャル磁束推進モータの第 2 の $d - q$ 状態では、第 1 のアキシャル磁束トルク 2104 および第 2 のアキシャル磁束トルク 2106 は 180 度位相がずれているように見える。ラジアル磁束トルク 2102 もまた、第 1 のアキシャル磁束トルク 2104 と同相であるが、第 2 のアキシャル磁束トルク 2106 とは 180 度位相がずれているように見える。図 21 に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束トルク 2102 と合成して、積算トルク 2108 を生成することができる。第 1 のアキシャル磁束トルク 2104 からの追加のトルクは、第 2 のアキシャル磁束トルク 2106 によって相殺することができる。したがって、積算トルク 2108 は、ラジアル磁束トルク 2104 と大差がない。

【0095】

[0118]図 22 は、一次モータ用のラジアル磁束誘導モータおよび二次モータ用の 2 つのアキシャル磁束永久磁石モータを含むラジアルアキシャル推進モータの第 3 の状態についての経時的な力プロットを示す。図 22 は、ラジアル磁束誘導推進モータの基準ラジアル磁束トルク対時間のプロット 2202 を示す。第 1 のアキシャル磁束推進モータからの第 1 のアキシャル磁束トルク 2204 を、第 2 のアキシャル磁束推進モータからの第 2 のアキシャル磁束トルク 2206 と合成することができる。第 1 および第 2 のアキシャル磁束推進モータの第 3 の $d - q$ 状態では、第 1 のアキシャル磁束トルク 2204 および第 2 の

アキシャル磁束トルク 2206 はほぼ同相であるように見える。第 1 のアキシャル磁束トルク 2204 は正の寄与を生じるように見え、第 2 のアキシャル磁束トルク 2206 は負の寄与を生じるように見える。ラジアル磁束トルク 2202 はまた、第 1 のアキシャル磁束トルク 2204 および第 2 のアキシャル磁束トルク 2206 と 180 度位相がずれているように見える。図 22 に示すように、アキシャル磁束推進モータは、ラジアル磁束トルク 2202 と合成して、積算トルク 2208 を生成することができる。積算トルク 2208 は、統合型アキシャル磁束推進モータの d - q 電流制御に起因する積算トルク 2208 の非定常力を低減または排除することができる。ただし、積算トルク 2208 に対する力は、ラジアル磁束トルク 2202 の平均トルク力と大差はない。

【0096】

[0119]図 23 は、車両、船舶、または航空機用の簡略化された電気推進システム 2300 を示す。電気推進システム 2300 は、ラジアルアキシャルモータ 2302 を含むことができる。ラジアルアキシャルモータ 2302 は、本明細書で説明する一次モータと二次モータとの任意の組み合わせを含むことができる。例えば、図 23 は、一次モータ 2304 および 2 つの二次アキシャル磁束推進モータ 2306 を示す。一次モータ 2304 および二次モータ 2306 は、共通シャフト 2308 を駆動することができる。いくつかの実施形態では、共通シャフト 2308 はプロペラ 2310 を回転させることができる。電気推進システム 2300 は、主配電システムから交流電流を受け取ることができる。コントローラ 2312 は、モータに印加される電流の量および d - q 状態を変化させることができる。AC / DC コンバータ 2314 またはインバータ 2316 を使用して、電流を交流から直流に、または直流から交流にそれぞれ変更することができる。

【0097】

[0120]図 24 は、推進システム（例えば、ハイブリッドラジアルアキシャルモータ）のためのシャフト上にトルクを生成するための例示的なプロセス 2400 のフローチャートである。いくつかの実装形態では、図 24 の 1 つまたは複数のプロセスブロックは、電気機械によって実行され得る。いくつかの実装形態では、図 24 の 1 つまたは複数のプロセスブロックは、電気機械とは別個の、または電気機械を含む別のデバイスまたはデバイスのグループによって実行され得る。

【0098】

[0121]本方法は、シャフトに取り付けられたロータアームを有するラジアルモータで第 1 の電流を受け取るステップ（2410）を含む。一例として、第 1 の電流は、ラジアルモータに印加される第 1 の組の d 軸電流および q 軸電流を含む。ラジアルモータは、ハウジング内に位置決めされる。第 1 の電流は、一次ロータステータを通過する交流電流とすることができる。コントローラを使用して第 1 の電流を独立して制御することができる。第 2 の電流の振幅、サイクル、位相、周波数、ピーク間電圧、および電圧の二乗平均平方根を制御することができる。

【0099】

[0122]本方法は、第 1 の電流に応答して第 1 の方向にラジアル磁束を生成するステップ（2420）を含む。交流電流がラジアルモータのコイルを通過すると、磁場または磁束を発生させることができる。ラジアル磁束は、ロータシャフトの方向に対して半径方向に延びる。

【0100】

[0123]本方法はまた、第 1 の磁気ユニットと相互作用するラジアル磁束に基づいてロータアームに第 1 のトルクを発生させるステップ（2430）を含む。第 1 の磁気ユニットは、永久磁石とすることができる。第 1 の磁気ユニットは、誘導モータとすることができる。様々な実施形態において、ロータモータはラジアルアームを含む。ラジアルアームは、ラジアルアームの面上に 1 つまたは複数の永久磁石を含むことができる。永久磁石は、ラジアルステータの磁場に反応する磁場を生成する。この反作用により、ロータアームにトルクが発生し、これにより、共通ロータシャフトにトルクが発生する。

【0101】

10

20

30

40

50

[0124]様々な実施形態において、ラジアルモータは誘導モータを含むことができる。回転ステータと同様に、誘導モータは、誘導モータロータの一連のコイルに交流電流を印加することによって磁場を発生させることができる。誘導モータロータは、ラジアルステータの磁場に反応する磁場を発生させることができる。この反作用により、ロータアームにトルクが発生し、これにより、共通ロータシャフトにトルクが発生する。

【0102】

[0125]本方法はまた、アキシアルモータで第2の電流を受け取るステップ(2440)を含む。一例として、第2の電流は、ラジアルモータに印加される第2の組のd軸電流およびq軸電流を含む。アキシアルモータは、ハウジング内に位置決めされる。第2の電流は、二次モータステータを通過する交流電流とすることができる。コントローラを使用して第2の電流を独立して制御することができる。第2の電流の振幅、サイクル、位相、周波数、ピーク間電圧、および電圧の二乗平均平方根を制御することができる。

10

【0103】

[0126]本方法はまた、第2の方向にアキシアル磁束を生成するステップ(2450)を含む。交流電流がアキシアルモータのコイルを通過すると、磁場またはアキシアル磁束を発生させることができる。

【0104】

[0127]本方法はまた、第2の磁気ユニットと相互作用するアキシアル磁束に基づいてロータアームに第2のトルクを発生させるステップ(2460)を含む。第2の磁気ユニットは、永久磁石とすることができる。第2の磁気ユニットは、誘導モータとすることができる。様々な実施形態において、二次モータはロータアームを含む。ロータアームは、アキシアルロータアームの面上に1つまたは複数の永久磁石を含むことができる。永久磁石は、アキシアルステータの磁場に反応する磁場を生成する。この反作用により、アキシアルロータアームにトルクが発生し、これにより、共通ロータシャフトにトルクが発生する。

20

【0105】

[0128]様々な実施形態において、アキシアルモータは誘導モータを含むことができる。回転ステータと同様に、誘導モータは、誘導モータロータの一連のコイルに交流電流を印加することによって磁場を発生させることができる。誘導モータロータは、アキシアルステータの磁場に反応する磁場を発生させることができる。この反作用により、アキシアルロータアームにトルクが発生し、これにより、共通ロータシャフトにトルクが発生する。

30

【0106】

[0129]いくつかの実装形態では、ラジアルモータおよびアキシアルモータは、ラジアルモータまたはアキシアルモータのいずれかからの交差磁束を低減するためにハウジング内に位置決めされる。

【0107】

[0130]プロセス2400は、以下に記載されるおよび/または本明細書の他の箇所に記載される1つまたは複数の他のプロセスに関連する任意の単一の実装形態または実装形態の任意の組み合わせなどの追加の実装形態を含むことができる。図24に示す特定のステップは、本開示の様々な実施形態によるハイブリッドラジアルアキシアルモータのための特定の技術を提供することを理解されたい。代替の実装形態によれば、他の順序のステップを実行することもできる。例えば、本開示の代替の実装形態は、異なる順番で上記のステップを実行することができる。さらに、図24に示す個々のステップは、個々のステップに適切であるように様々な順序で実行することができる複数のサブステップを含むことができる。さらに、特定の用途に応じて追加のステップを追加または削除することができる。当業者には、多くの変形、修正、および代替が認識されよう。

40

【0108】

[0131]様々な実施形態において、第1のトルクは、第1の振動振幅によって特徴付けられ、第2のトルクは、第2の振動振幅によって特徴付けられ、第1のトルクと第2のトルクとの和は、第1の振動振幅および第2の振動振幅の両方よりも小さい積算振動振幅によって特徴付けられる。

50

【0109】

[0132]様々な実施形態において、本方法は、第1の電流を第1の最大値に設定するステップと、第2の電流を第2の最大値に設定するステップと、によって推進システムをブーストモードで動作させるステップをさらに含む。

【0110】

[0133]様々な実施形態において、本方法は、第1もしくは第2の電流、またはそれらの組み合わせを選択的に低減または非励磁することによって、推進システムをコーストモードで動作させるステップをさらに含む。

【0111】

[0134]いくつかの実装形態では、プロセス2400は、第3の方向にトランスバース磁束を生成するトランスバース磁束モータで第3の電流を受け取るステップを含むことができ、トランスバース磁束は、第3の磁気ユニットに影響を与えて、シャフトに取り付けられたロータアームに第3のトルクを発生させる。

【0112】

[0135]図24は、プロセス2400の例示的なステップを示しているが、いくつかの実装形態では、プロセス2400は、図24に示されたものに対して追加のステップ、より少ないステップ、異なるステップ、または異なる構成のステップを含むことができる。追加的または代替的に、プロセス2400のステップのうちの2つ以上を並行して実行することができる。

【0113】

[0136]上記の方法、システム、およびデバイスは例である。様々な構成では、必要に応じて様々な手順やコンポーネントを省略、置換、または追加してもよい。例えば、代替の構成では、方法は説明された順序とは異なる順序で実行されてもよく、および/または様々な段階が追加、省略、および/または組み合わされてもよい。また、特定の構成に関して説明された特徴は、様々な他の構成で組み合わされてもよい。構成の異なる態様と要素は、同様の方法で組み合わされてもよい。また、技術は進化しているため、要素の多くは例であり、本開示または特許請求の範囲を限定するものではない。

【0114】

[0137]構成例（実装形態を含む）の完全な理解を提供するために、特定の詳細が説明に記載されている。ただし、これらの特定の詳細なしで構成が実施されてもよい。例えば、よく知られている回路、プロセス、アルゴリズム、構造、および技術は、構成が不明瞭になることを避けるために、不必要な詳細なしで示されている。この説明は構成例のみを提供するものであり、特許請求の範囲、適用可能性、または構成を制限するものではない。むしろ、構成の前述の説明は、記載された技術を実施するための実施可能な説明を当業者に提供するであろう。本開示の趣旨または範囲から逸脱することなく、要素の機能および配置に様々な変更を加えることができる。

【0115】

[0138]また、構成は、フロー図またはブロック図として示されるプロセスとして説明される場合がある。それぞれが動作を順次プロセスとして説明する場合もあるが、動作の多くは並行して、または同時に実行できる。さらに、動作の順序を並べ替えてもよい。プロセスには、図に含まれていない追加のステップがあってもよい。さらに、方法の例は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、ミドルウェア、マイクロコード、ハードウェア記述言語、またはそれらの任意の組み合わせによって実装されてもよい。ソフトウェア、ファームウェア、ミドルウェア、またはマイクロコードで実装される場合、必要なタスクを実行するためのプログラムコードまたはコードセグメントは、記憶媒体などの非一時的コンピュータ可読媒体に格納されてもよい。プロセッサは、説明されているタスクを実行してもよい。

【0116】

[0139]いくつかの例示的な構成を説明してきたが、本開示の趣旨から逸脱することなく、様々な修正、代替構成、および均等物を使用してもよい。例えば、上記の要素は、より

10

20

30

40

50

大きなシステムのコンポーネントであってもよく、他のルールが本開示のアプリケーションよりも優先されるか、さもなければアプリケーションを修正してもよい。また、上記の要素を検討する前、検討中、または検討後に、いくつかのステップを実行してもよい。

【図面】

【図 1】

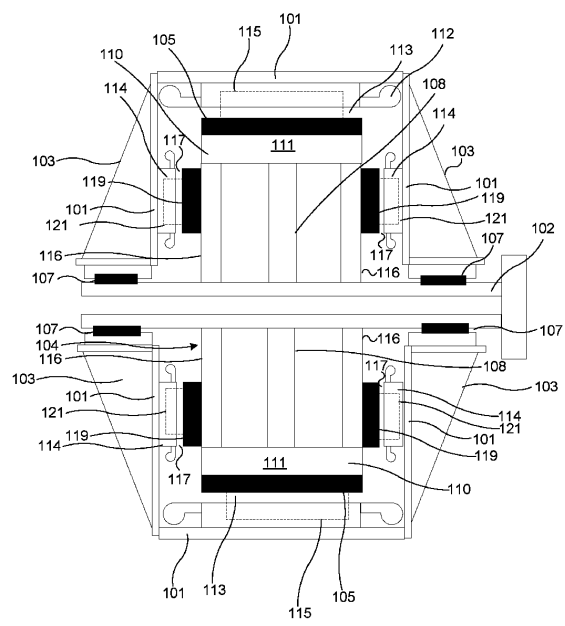


FIG. 1

【図 2】

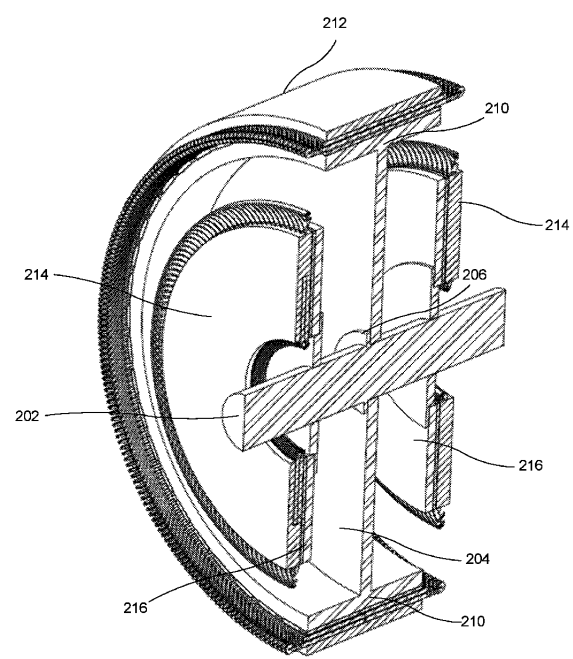


FIG. 2

200

【 図 3 】

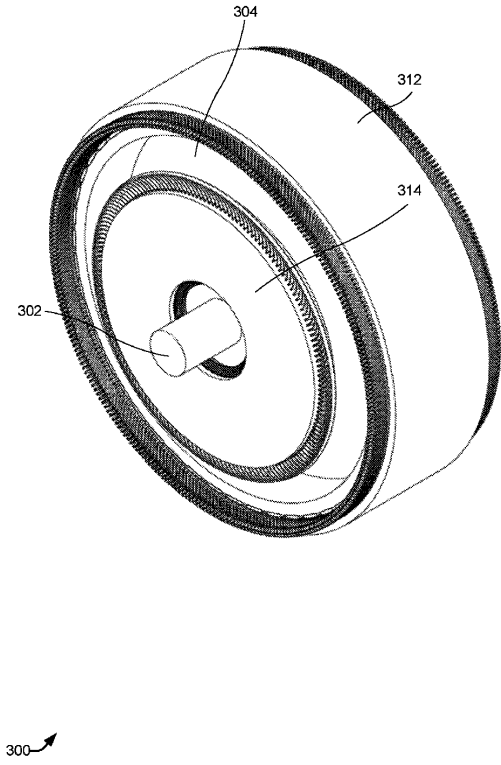


FIG. 3

【 図 4 】

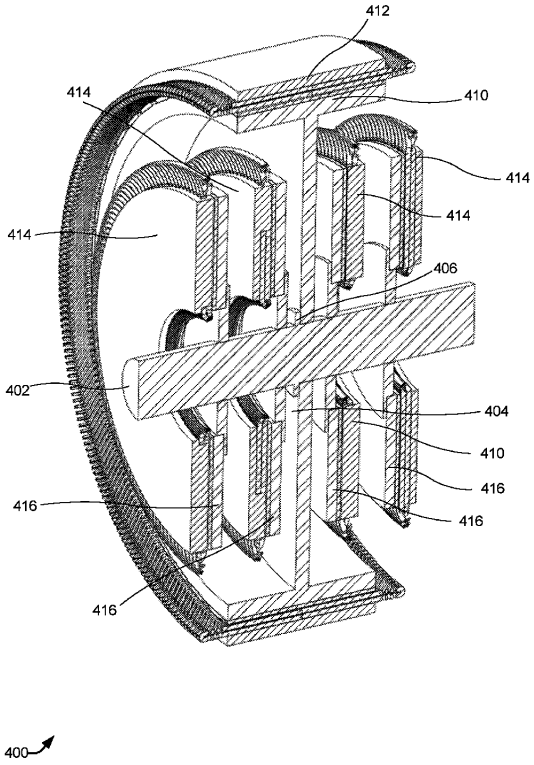


FIG. 4

【 図 5 】

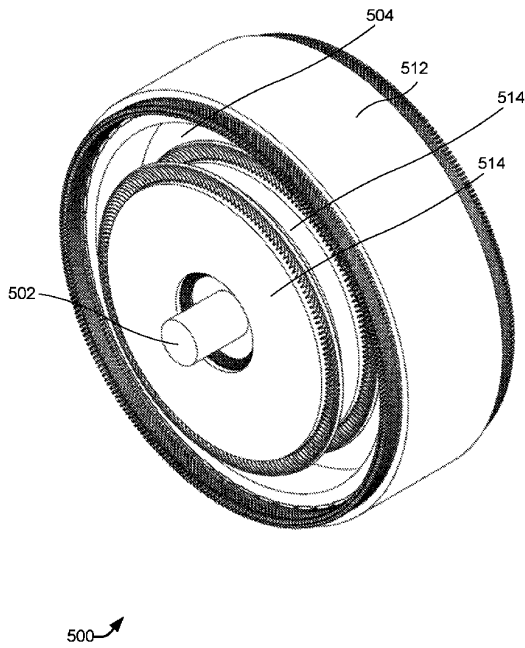


FIG. 5

【 図 6 】

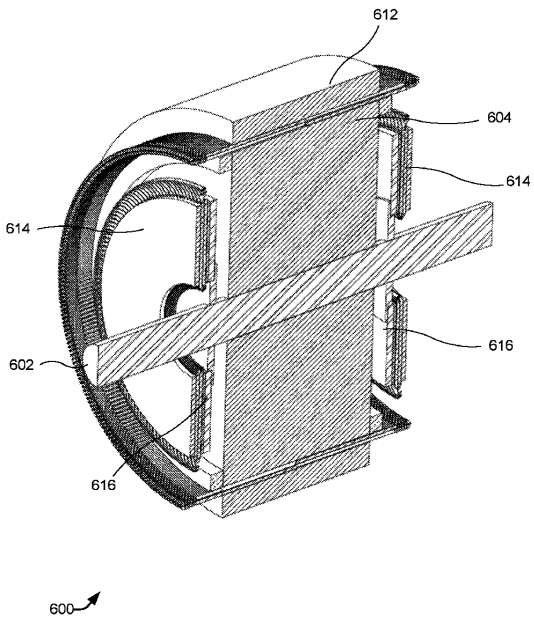


FIG. 6

10

20

30

40

50

【 図 7 】

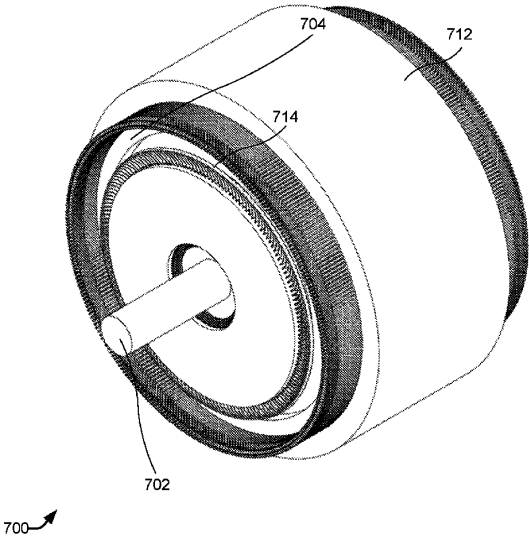


FIG. 7

【 図 8 】

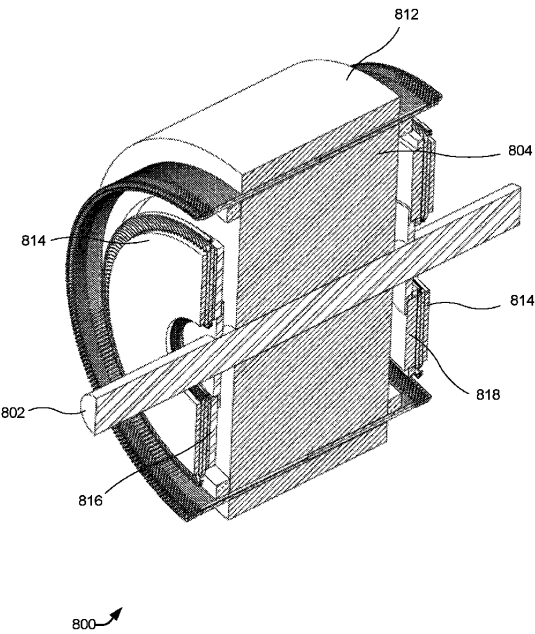


FIG. 8

【 図 9 】

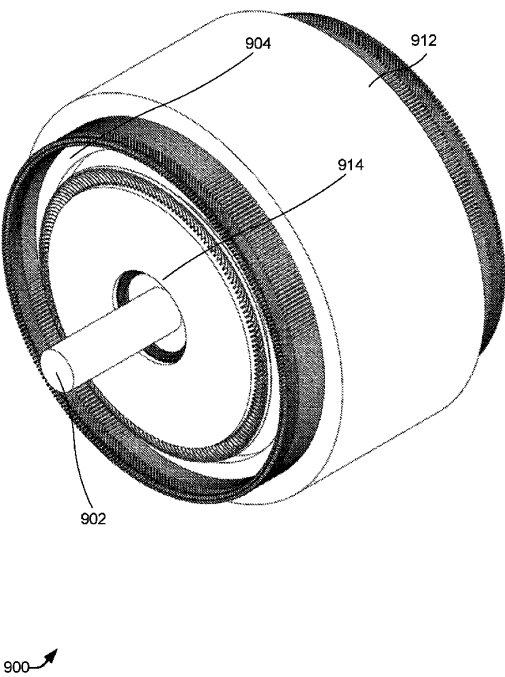


FIG. 9

【 図 10 】

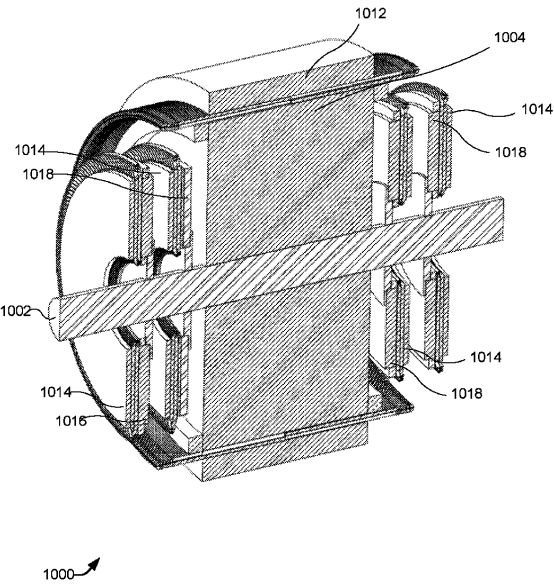


FIG. 10

10

20

30

40

50

【 図 1 1 】

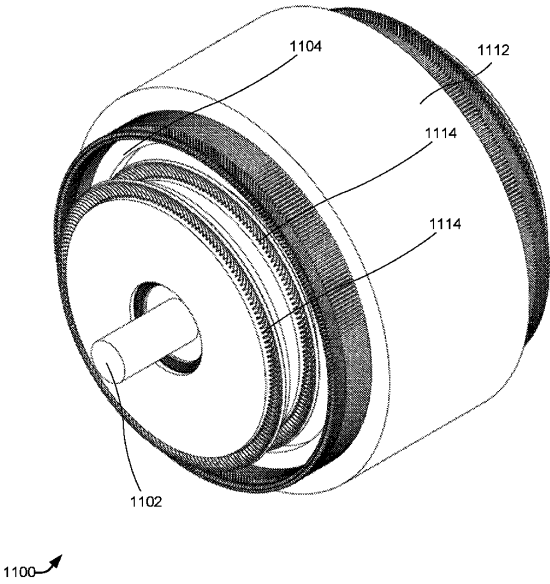


FIG. 11

【 図 1 2 】

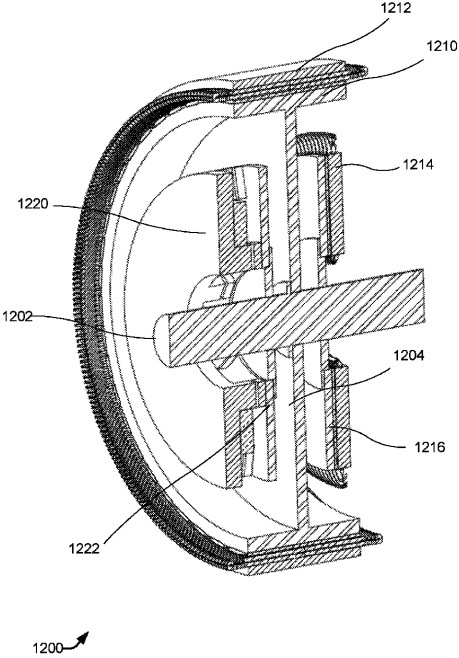


FIG. 12

【 図 1 3 】

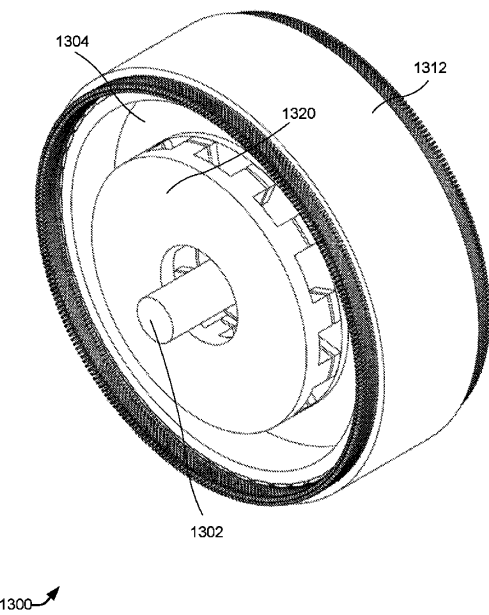


FIG. 13

【 図 1 4 】

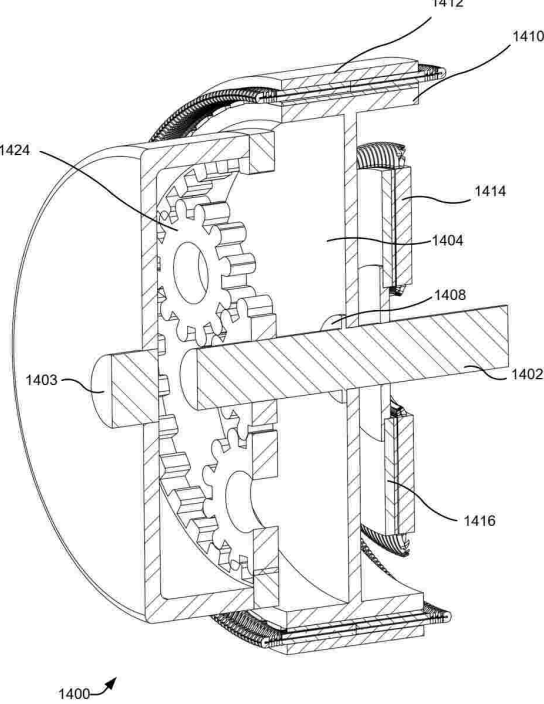


FIG. 14

10

20

30

40

50

【図 15】

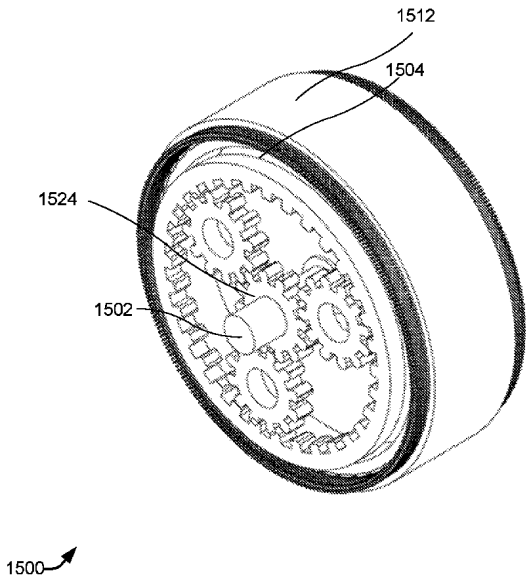


FIG. 15

【図 16】

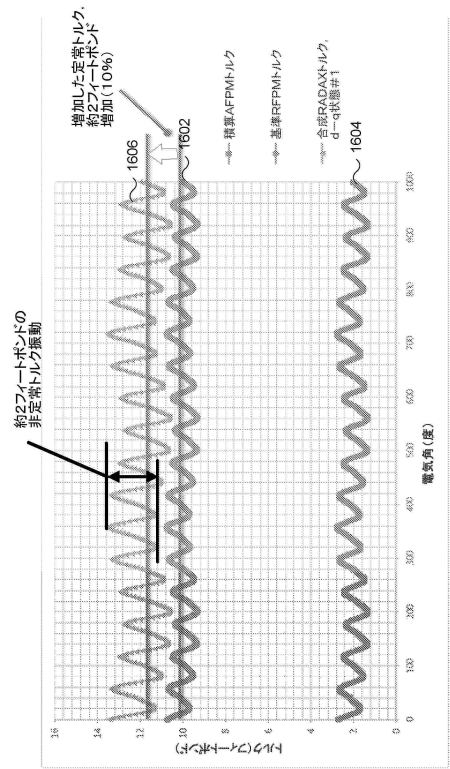


FIG. 16

【図 17】

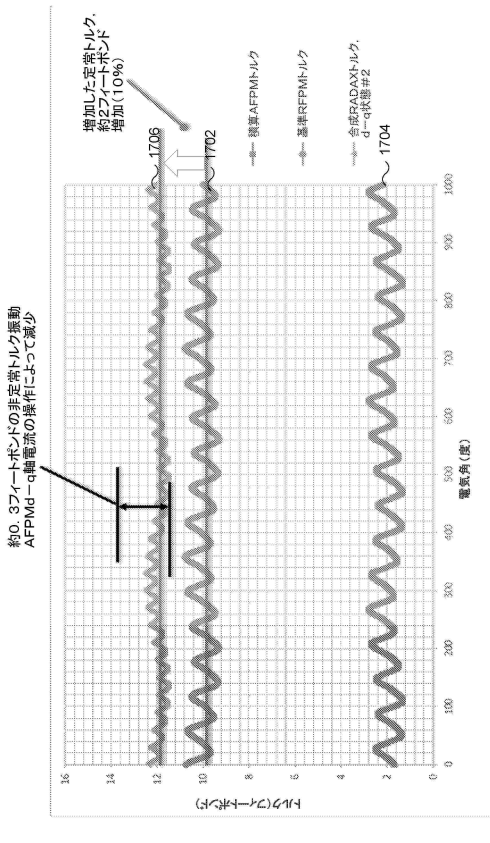


FIG. 17

【図 18】

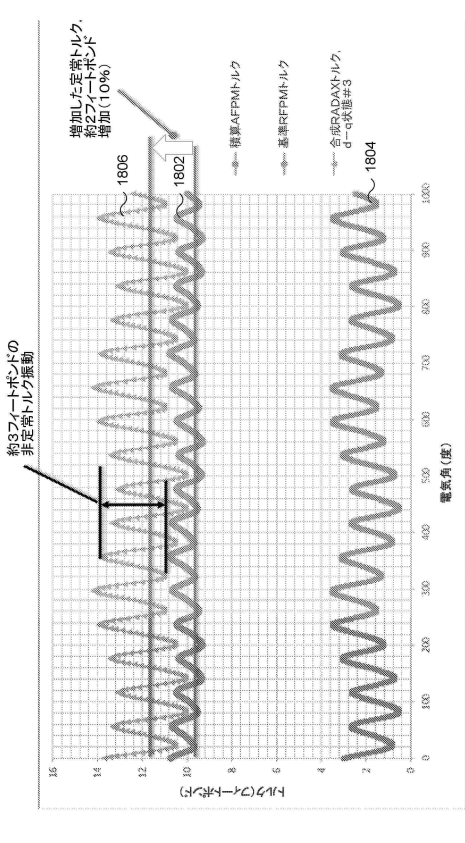


FIG. 18

10

20

30

40

50

【図 19】

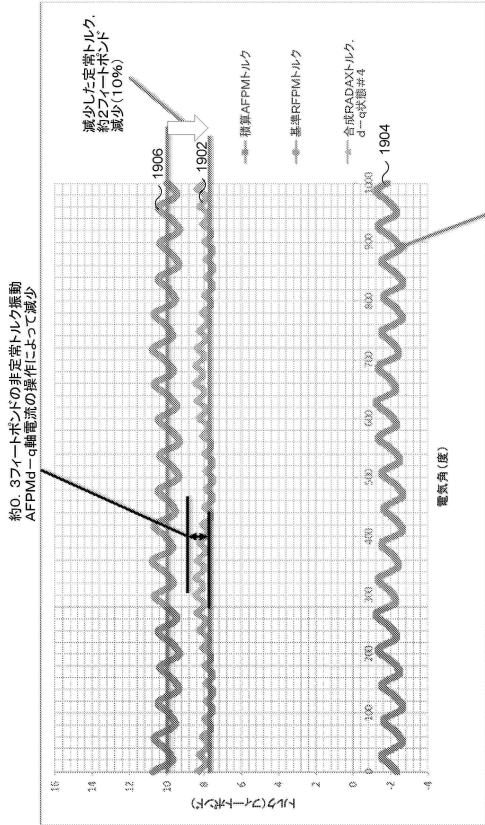


FIG. 19

d-q相回転変化に起因して、または統合型AFPMを
発電機として使用するため、真になる

【図 20】

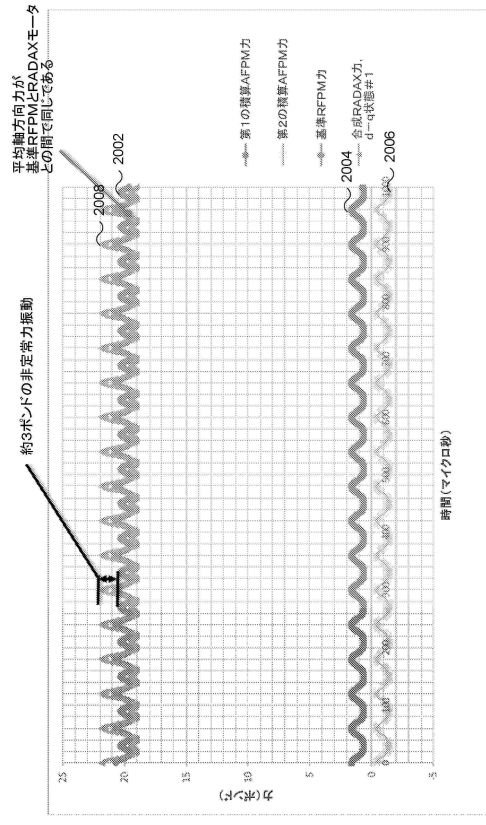


FIG. 20

【図 21】

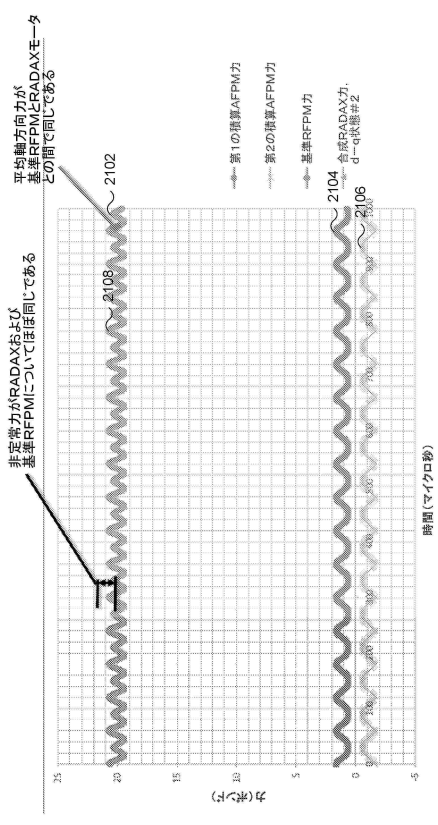


FIG. 21

統合型AFPMモータの
d-q電流制御に起因して
ほぼ併発されるRADAXの非定常力

【図 22】

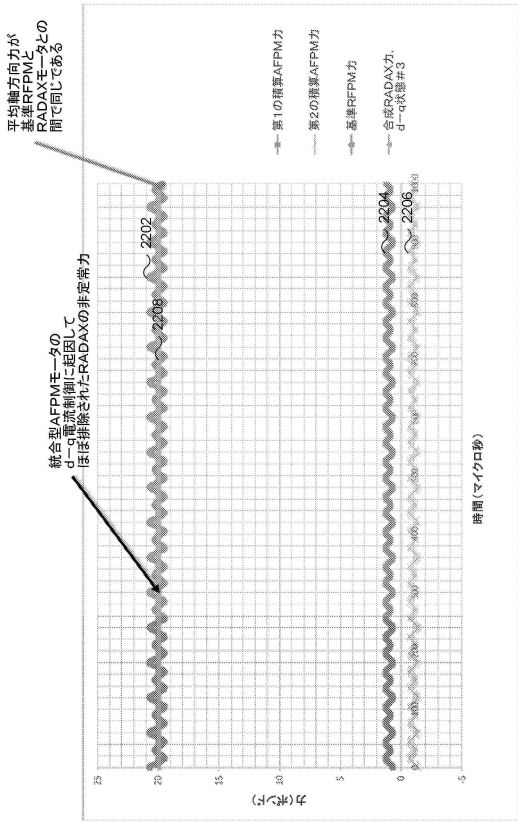


FIG. 22

10

20

30

40

50

【図 2 3】

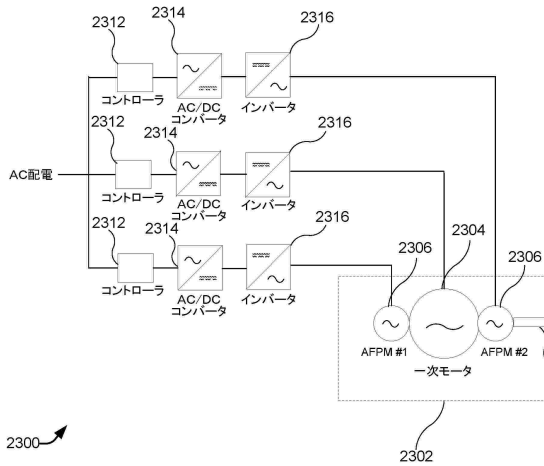


FIG. 23

【図 2 4】

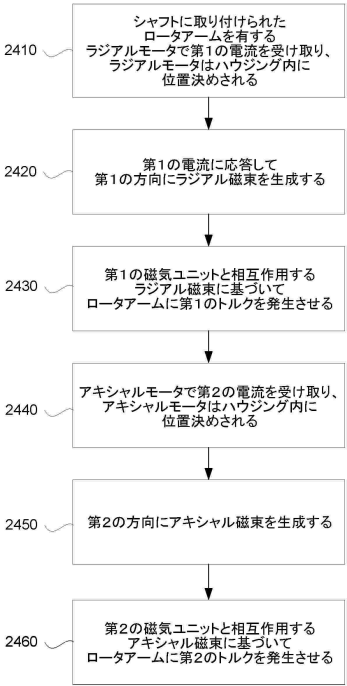


FIG. 24

2400

フロントページの続き

アメリカ合衆国，ウィスコンシン州 5 3 2 1 6 ，ミルウォーキー，ノース 3 0 ストリート 4 2
6 5

審査官 三澤 哲也

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 3 / 0 2 2 3 5 1 (W O , A 1)
米国特許第 8 2 5 8 7 3 7 (U S , B 2)
米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 1 5 1 4 3 7 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 4 8 2 3 7 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 3 2 3 6 6 5 (U S , A 1)
国際公開第 9 7 / 1 8 1 0 1 (W O , A 1)
中国特許出願公開第 1 0 6 5 1 5 4 0 6 (C N , A)
中国特許出願公開第 1 0 4 8 7 5 5 9 4 (C N , A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 K 1 6 / 0 0
H 0 2 K 1 / 2 2
H 0 2 K 2 1 / 2 4