

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3711955号

(P3711955)

(45) 発行日 平成17年11月2日(2005.11.2)

(24) 登録日 平成17年8月26日(2005.8.26)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

H02P 7/74

H02P 7/74

G

H02K 16/02

H02K 16/02

H02P 21/00

H02P 5/408

C

請求項の数 12 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2002-98149 (P2002-98149)  
 (22) 出願日 平成14年4月1日(2002.4.1)  
 (65) 公開番号 特開2003-299391 (P2003-299391A)  
 (43) 公開日 平成15年10月17日(2003.10.17)  
 審査請求日 平成14年12月25日(2002.12.25)

(73) 特許権者 000003997  
 日産自動車株式会社  
 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地  
 (74) 代理人 100072051  
 弁理士 杉村 興作  
 (72) 発明者 赤津 観  
 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
 自動車株式会社内

審査官 牧 初

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複合電流で各々のロータが独自に駆動され1つのステータを共用する同一の軸上に設けられた2つのロータからなる回転電機、或いは、各々が1つのロータを具え前記複合電流で各々のロータが独自に駆動される一対の回転電機の制御装置であって、

前記複合電流の最大値が低くなるように、前記ロータの各々を駆動している電流の間の位相差を制御する、  
 回転電機の制御装置。

【請求項2】

請求項1に記載の回転電機の制御装置において、

前記複合電流の最大値が低くなるように、前記2つのロータ間の位相差指令値を計算する位相差発生器と、

前記2つのロータ間の位相差を検出する位相差検出器と、

前記位相差指令値および前記検出された位相差に基づき、速度指令値からトルク指令値を求めるトルク指令値発生器と、

前記発生したトルク指令値に基づき、前記ロータの各々に通電されるべき各電圧指令値を出力するベクトル制御器と、  
 を具えることを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載の回転電機の制御装置において、

10

20

前記複合電流は、前記ロータの各々に通電されるべき各電流指令値から生成され、前記各電流指令値はそれぞれ振幅および周波数を含み、

前記位相差発生器は、

前記各電流指令値に含まれる各振幅および各周波数に基づき、リアルタイムで前記位相差指令値を計算する、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の回転電機の制御装置において、

前記複合電流は、前記ロータの各々に通電されるべき各電流指令値から生成され、前記各電流指令値はそれぞれ振幅および周波数を含み、

10

前記位相差発生器は、

前記位相差に対する前記複合電流の最大値が予め計算された所定のマップを参照して、前記位相差指令値を計算する、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 5】

請求項 3 または 4 に記載の回転電機の制御装置において、

前記ベクトル制御器で作成された前記各電流指令値を一定期間保持し、この保持した各電流指令値に含まれる各振幅および各周波数に基づき、前記位相差指令値を計算する、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 6】

20

請求項 4 に記載の回転電機の制御装置において、

前記所定のマップは、

一方のロータの前記電流指令値の振幅をもう一方のロータの電流指令値の振幅で除した値、および、各ロータの前記電流指令値の周波数からなる 3 次元マップである、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の回転電機の制御装置において、

前記除した値（即ち振幅比）が、所定の最大閾値よりも大きい場合、或いは、所定の最小閾値よりも小さい場合は、前記ロータの位置の制御を行わない、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

30

【請求項 8】

請求項 4 に記載の回転電機の制御装置において、

前記位相差発生器は、

前記各ロータ用の各電流指令値に含まれる各周波数に基づき、各周期を算出し、各周期の最小公倍数までの内部時間ループを時間刻みが最小公倍数周期に比例するように構成し、前記ロータのうちの一方のロータの位相を変化させて、複合電流の最大値を算出して、この算出した最大値が低くなる前記位相差指令値を計算する、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 9】

請求項 2 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置において、

40

前記位相差検出器は、

前記各ロータに設置された位置センサからの出力を用いて、電気角周波数の低い方の前記ロータが電気角 1 周毎に出力する信号の立下がりエッジと、もう一方の前記ロータが電気角 1 周毎に出力する信号の立下がりエッジとのうち、前記電気角周波数の低い方の前記ロータの出力信号の次に出力された立下がりエッジに基づき前記ロータの位相差を検出する、

ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 10】

請求項 3 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置において、

前記トルク指令値発生器は、

50

前記位相差発生器から出力された位相差指令値と、前記位相差検出器から出力された位相差との差をとり、その差を比例制御器からなる位相制御器に入力し、制御対象が速度制御される場合は、前記位相制御器の出力を速度指令値に加えたものを速度指令値とし、さらにこれを速度制御器に入力してトルク指令値を発生する、  
ことを特徴とする回転電機の制御装置。

【請求項 1 1】

請求項 3 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置において、前記トルク指令値発生器は、前記位相差発生器から出力された位相差指令値と、前記位相差検出器から出力された位相差とに基づき、位相制御対象の位相指令値を出力し、別途速度指令値から算出した位置指令値に、前記位相指令値を加えたものを新たな位置指令値として位置制御器に入力し、さらにこの位置制御器から出力された位置指令値を速度制御器に入力してトルク指令値を発生する、  
ことを特徴とする回転電機の制御装置。

10

【請求項 1 2】

請求項 3 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置において、前記ロータの 1 つが速度制御されており、もう一方のロータがトルク制御されている場合、前記トルク指令値に基づき、前記速度制御されているロータの位置を変化させる位置変化ステップを実行し、前記ロータの位相差を検出し、検出した位相差と前記位相差指令値とを比較して偏差を発生する偏差発生ステップを実行し、これらの間の偏差を前記トルク指令値発生器にフィードバックして新たなトルク指令値を発生し、さらに前記位置変化ステップおよび前記偏差発生ステップを実行し、前記偏差がなくなるまで前記フィードバックを繰り返す、  
ことを特徴とする回転電機の制御装置。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複合電流を用いる回転電機の制御装置に関するものであり、特に、複合電流で各々のロータが独自に駆動され 1 つのステータを共用する同一の軸上に設けられた 2 つロータからなる回転電機用、或いは、前記複合電流で各々のロータが独自に駆動され各々が 1 つのロータを具える一対の回転電機の制御装置に関する。

30

【0002】

【従来の技術】

近年、内燃機関および電機モータとを用いたハイブリッド車や電機モータのみの電気自動車実用化されつつある。このようなハイブリッド車や電気自動車では、従来、「走行動力用モータ」と「発電用モータ」の 2 つのモータを搭載していた。しかし、2 つのモータを搭載することは、スペース、重量、発熱対策、コストなどの面から問題があった。即ち、2 個のモータではこれらの問題がすべて 2 倍になってしまう。そこで、ハイブリッド車や電気自動車に好適なモータとして、下記のような「1 つのモータ」で個別に制御可能な 2 系統の出力が可能であるモータが提案されている。即ち、複合電流で各々のロータが独自に駆動され 1 つのステータを共用する同一の軸上に設けられた 2 つロータからなる回転電機（モータ）が提案されている。或いは、モータ数は 2 個であるがモータ以外の部品を共用化し得るシステムとして、複合電流で各々のロータが独自に駆動され各々が 1 つのロータを具える一対の回転電機が提案されている。また、このような複合電流を使用する回転電機の制御装置が開平 11 - 356015 号で開示されている。

40

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

上述した回転電機では、各ロータに通電されるべき（即ち、各ロータへ別個に作用すべくステータのコイルへ通電されるべき）各交流電流の単純和を複合電流として使用する。このとき、複合電流の位相差を考慮しなければ、元の各電流の振幅の和が複合電流の最大の

50

振幅になり得る。例えば、ロータ1用の電流が100A振幅であり、ロータ2用の電流が50A振幅である場合に、これら2つの電流を複合すると最大150Aの振幅になり得る。しかしながら、複合電流の最大振幅値は、各ロータ用に通電されるべき各電流の位相差によって変化する。従来の制御では、各ロータの各電流の位相が考慮されていなかったため、複合電流の最大値が、位相差によっては各電流の最大値の和にまで達することを想定して、当該複合電流が流れる後段の装置（例えばインバータなど）の定格電流を考える必要があった。

#### 【0004】

図1は、位相差45度における複合電流波形を示すグラフである。この複合電流は、振幅100A、周波数50Hzであるロータ1用の電流1と、振幅100A、周波数100Hz

10

であるロータ2用の電流2とを複合したものである。図2は、位相差90度における複合電流波形を示すグラフである。同じく、この複合電流は、振幅100A、周波数50Hzであるロータ1用の電流1と、振幅100A、周波数100Hzであるロータ2用の電流2とを複合したものである。即ち、図1と図2では、同じ複合電流であるが位相差のみが異なる。

図に示すように、位相差45度のときは振幅の最大値が200A（図1）、位相差90度のときは振幅の最大値が170A（図2）になっていることが分かる。このように、位相差によって電流最大値が変化する。

#### 【0005】

図3は、電流振幅最大値の位相差依存性を示すグラフである。

20

このとき、図1および図2の複合電流と同じものを用い、位相差のみを変化させて振幅最大値を取得した。図に示すように、この条件では位相差によって、電流最大値は、200A（位相差約45度）から約175A（位相差約90度）まで変化し得ることが分かる。即ち、この現象を利用して各電流間の位相差を制御することで、同じモータ出力を発揮しつつも、複合電流の最大電流値を低く抑え得ることが可能である。この条件では、位相差を90度の倍数に制御すれば、最大電流値を最小化することが可能であることが図から見て取れる。

本発明の目的は、それぞれのロータ用の電流の位相差を制御することにより、複合電流の電流最大値を低く抑えた（望ましくは、位相差を変化させたときの平均値以下、より好適には最小化する）状態にし、複合電流が通電されるデバイスの有効利用、通電電流の低減

30

#### 【0006】

##### 【課題を解決するための手段】

第1の発明は、複合電流で各々のロータが独自に駆動され1つのステータを共用する同一の軸上に設けられた2つのロータからなる回転電機用、或いは、各々が1つのロータを具え前記複合電流で各々のロータが独自に駆動される一対の回転電機の制御装置であって、前記複合電流の最大値が低く（望ましくは位相差を変化させたときの平均値以下、より好適には最も低く）なるように、前記ロータの少なくとも一方のロータの位置を制御することを特徴とする。

#### 【0007】

40

第2の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記複合電流の最大値が低く（望ましくは位相差を変化させたときの平均値以下、より好適には最も低く）なるような前記ロータの位相差指令値（計算値）を計算する位相差発生器と、

前記ロータの位置および位相をそれぞれ検出し、検出された位置および位相に基づきロータの位相差を検出する位相差検出器と、

前記位相差指令値および前記検出された位相差に基づきトルク指令値を発生するトルク指令値発生器と、

前記発生したトルク指令値に基づき、前記ロータの各々に通電されるべき各電圧指令値を出力するベクトル制御器と、

50

を具えることを特徴とする

【0008】

第3の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記複合電流が、前記ロータの各々に通電されるべき各電流指令値から生成され、この各電流指令値はそれぞれ振幅および周波数を含み、前記位相差発生器は、前記各電流指令値に含まれる各振幅および各周波数に基づき、リアルタイムで前記位相差指令値を計算することを特徴とする。

【0009】

第4の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記複合電流が、前記ロータの各々に通電されるべき各電流指令値から生成され、前記各電流指令値はそれぞれ振幅および周波数を含み、前記位相差発生器は、前記位相差に対する前記複合電流の最大値が予め計算された所定のマップを参照して、前記位相差指令値を計算することを特徴とする。

10

【0010】

第5の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記ベクトル制御器で作成された前記各電流指令値を一定期間保持し、この保持した各電流指令値に含まれる各振幅および各周波数に基づき、前記位相差指令値を計算することを特徴とする。

20

【0011】

第6の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記所定のマップは、一方のロータの前記電流指令値の振幅をもう一方のロータの電流指令値の振幅で除した値（振幅比）、および、各ロータの前記電流指令値の周波数からなる3次元マップであることを特徴とする。

【0012】

第7の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記除した値（振幅比）が、所定の最大閾値よりも大きい場合、或いは、所定の最小閾値よりも小さい場合は、前記ロータの位置の制御を行わないことを特徴とする。

30

【0013】

第8の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記位相差発生器は、前記各ロータ用の各電流指令値に含まれる各周波数に基づき、各周期を算出し、各周期の最小公倍数までの内部時間ループを時間刻みが最小公倍数周期に比例するように構成し、前記ロータのうち一方のロータの位相を変化させて、複合電流の最大値を算出して、この算出した最大値が低く（望ましくは位相差を変化させたときの平均値以下、より好適には最も低く）なるような前記位相差指令値を計算することを特徴とする。

40

【0014】

第9の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記位相差検出器は、前記各ロータに設置された位置センサからの出力を用いて、電気角周波数の低い方の前記ロータが電気角1周毎に出力する信号の立下がりエッジと、もう一方の前記ロータが電気角1周毎に出力する信号の立下がりエッジとのうち、前記電気角周波数の低い方の前記ロータの出力信号の次に出力された立下がりエッジに基づきロータの位相差を検出することを特徴とする。

【0015】

50

第10の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記トルク指令値発生器は、前記位相差発生器から出力された位相差指令値と、前記位相差検出器から出力された位相差との差をとり、その差を比例制御器からなる位相制御器に入力し、制御対象が速度制御される場合は、前記位相制御器の出力を速度指令値に加えたものを速度指令値とし、さらにこれを速度制御器に入力してトルク指令値を発生する、ことを特徴とする。

【0016】

第11の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記トルク指令値発生器は、前記位相差発生器から出力された位相差指令値と、前記位相差検出器から出力された位相差とに基づき、位相制御対象の位相指令値を出力し、別途速度指令値から算出した位置指令値に、前記位相指令値を加えたものを新たな位置指令値として位置制御器に入力し、さらにこの位置制御器から出力された位置指令値を速度制御器に入力してトルク指令値を発生する、ことを特徴とする。

10

【0017】

第12の発明は、上記回転電機の制御装置において、前記ロータの1つが、速度制御されており、もう一方のロータがトルク制御されている場合、前記トルク指令値に基づき、前記速度制御されているロータの位置を変化させる位置変化ステップを実行し、前記ロータの位相差を検出し、検出した位相差と前記位相差指令値とを比較して偏差を発生する偏差発生ステップを実行し、これらの間の偏差を前記トルク指令値発生器にフィードバックして新たなトルク指令値を発生し、さらに前記位置変化ステップおよび偏差発生ステップを実行し、前記偏差がなくなるまで前記フィードバックを繰り返す、ことを特徴とする。

20

【0018】

【発明の効果】

第1の発明によれば、各ロータの各電流間の位相差を制御することで、モータ出力を損なうことなく、複合電流の最大電流値を低く抑え得ることが可能である。このことにより、インバータデバイスの定格電流を下げることができ、逆に言うならば、インバータデバイスの限界まで電流を上げることができるので、モータの出力を上げることができる。

30

【0019】

第2の発明によれば、各ロータ用の電流の位相差を制御するには、制御時の各位相情報から、どちらか一方のロータのみを制御することで既存の制御系に簡易に、本発明による位相差制御系を付加することができ、しかも、既存のベクトル制御系には何ら影響を及ぼさずに実現できる。

【0020】

第3および第4の発明によれば、複合電流の電流最大値が低くなる（好適には最小値になる）位相差は、図3に示すような各電流の各振幅値と各周波数から一意におよび簡便に求めることができるので、予め計算してテーブルを作成しておけば計算時間の短縮が可能であり、リアルタイムで計算する場合でも、計算時間の増加が少なく済み、また、メモリの短縮にも寄与する。また、電流実測値を使用せずに電流指令値を用いることで、電流の検出ノイズの影響を受けることなく、位相差を計算することができる。

40

【0021】

この制御系においては、電流指令値が生成されるのは位相差発生器の後工程であるベクトル制御器内部で出力されるものであるため、事前にこの電流指令値を入手して位相差を計算することが困難である。これを解決すべく第5の発明によれば、ベクトル制御器内部で出力された電流指令値を、例えば制御周期1サンプル前の値（1サンプル前の値）を保持して、これを代用として用いることで、位相差を簡易、ほぼ正確に求めることができる。

50

即ち、短時間（1サンプル、或いは数サンプル程度）であれば、電流指令値は大きく変化することがないため、安定な制御器を構成することが可能である。

【0022】

位相差を求める場合には、2つの電流振幅、2つの周波数の4入力が必要となり、4次元マップになってしまうが、位相差のみを求めるならば電流の絶対値は必要なく、振幅の比だけ分かれば良い。従って、第6の発明の構成を取れば、振幅比（ $I_1 / I_2$ ）の値、および、2つの周波数の3入力を用いれば3次元マップとなり、メモリの削減、探索時間の短縮（即ち計算時間、計算量の短縮）が可能となる。さらに、振幅比（ $I_1 / I_2$ ）の値が非常に大きい、または非常に小さい場合は、位相差を変化させても、電流最大値の低減効果が少ないため、第7の発明のように、予め所定の最大閾値および最小閾値を設けて、電流最大値の低減効果が少ない場合には、ロータの位相の制御を行わないことが好適である。これによって、さらなるメモリの削減が可能である。

10

【0023】

リアルタイム（オンライン）計算において、疑似時間刻みが一定の場合、各周波数の最小公倍数周期が非常に長い場合には計算時間が長くなってしまふ。従って、第8の発明のように、疑似時間刻みを可変させ、計算点を一定にすることで、周期の長短にかかわらず一定の計算速度を維持することができる。

【0024】

第9の発明によれば、電気角一周の信号を用いることで、信号はパルスとして処理できるので、デジタル処理が可能であり、エンコーダやレゾルバのデジタル出力をそのまま利用することができる。また、立下がりエッジを用いることで、簡単なロジックで位相差検出回路を構成することができる。

20

【0025】

第10の発明によれば、制御対象が速度制御される場合は、希望する速度指令値に対して、位相差指令値と実位相差との偏差を比例制御器に通した出力を加えることで、偏差が大きいときには速度指令値が上がり、要求の位相差を実現できる。

【0026】

第11の発明によれば、位置指令値から位置制御器、速度制御器、トルク制御器と直列に配置して制御器を構成することで、制御器の制御次数が上がるので、摩擦や速度変動などの外乱に対してより強固な制御系を構成することができる。

30

【0027】

モータの運転時には、片方のロータが速度制御され、もう片方のロータがトルク制御される場合があるが、第12の発明によれば、既存の制御系に簡易に、本発明による位相差制御系を付加することができ、しかも、既存のベクトル制御系には何ら影響を及ぼさずに実現できる。

【0028】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を諸図面を参照しつつ詳細に説明する。

本発明の説明の前に、本発明の制御装置で制御する回転電機について説明する。

図4は、本発明の制御装置の制御対象である回転電機本体1の一例の断面図である。

40

図に示すように、円筒状のステータ2の外側と内側に所定のギャップを有してインナーロータ3、アウターロータ4が配置され（3層構造）、内側と外側の各ロータ3、4は全体を被覆する外枠（図示しない）に対して回転可能にかつ同軸に設けられている。

【0029】

この場合、ステータ2の内と外にロータ3、4があるから、各ロータに対する回転磁界を発生させる電流を流すため、ステータ2にコイル5を配置しなければならないのであるが、図4に示す12個のコイル5の配置は、図5を参照しての考察の結果、得られるものであるため、まず図5を先に説明する。

【0030】

図5において、インナーロータ3に対する回転磁界を発生させる電流（三相交流）を流す

50

ため、ステータ2の内周側に3組のコイル5a (U相、V相、W相のコイル) を等分に、またアウターロータ4に対する回転磁界を発生させる電流 (三相交流) を流すため、ステータ2の外周側にも3組のコイル5b (A相、B相、C相のコイル) を等分に円周上に沿って配置している。ただし、ステータ2の外周側コイル5bの総数 (12個) は内周側コイル5aの総数 (6個) の倍である。

【0031】

一方、ステータ2の内周側と外周側の各コイル5a、5bに対向して、各ロータ3、4に3組の誘導コイル6、7が配置される。すなわち、インナーロータ3にはステータ2の内周側コイル5aと同数 (6個) の誘導コイル6 (u相、v相、w相のコイル) がロータ3の外周側に沿って等分に、またアウターロータ4にステータ2の外周側コイル5bと同数 (12個) の誘導コイル7 (a相、b相、c相のコイル) がロータ4の内周側に沿って等分に配置される。

10

【0032】

なお、ステータとロータとでコイルの各相の対応関係が見やすいように、大文字のアルファベットを割り振ったステータコイル5a、5bに対して、各ロータの誘導コイル6、7には小文字のアルファベットを割り振っている。

【0033】

図においてアルファベットの下につけたアンダーラインは反対方向に電流を流すことを意味させている。たとえば、180度離れた2つのA相コイルに図で紙面裏側に向け電流を流すとすれば、180度離れた2つのA相コイルには図で紙面表側に向かう電流を流すことになる。

20

【0034】

このように、2つのステータコイル5a、5bを配置して三相交流を流すとき、内周側コイル5aに流す電流によりインナーロータ3の誘導コイル6に回転磁界 (内側回転磁界) が、また外周側コイル5bに流す電流によりアウターロータ4の誘導コイル7に回転磁界 (外側回転磁界) が与えられる。このとき、インナーロータ3の極対数は1、アウターロータ4の極対数は2となり、2つのロータの極対数の比が2:1の誘導モータが構成される。なお、一例として誘導モータを挙げたが、本発明による制御装置は正弦波駆動型のモータに適用可能であり、例えば、同期モータ、誘導同期モータなどにも適用可能である。

【0035】

さて、ステータ2の内周側と外周側にそれぞれ配置した3組のコイル5a、5bは、各ロータ3、4に対して専用に設けたコイルであり、ステータ2に2つの専用コイルを設けたのでは、各専用コイルに流す電流を制御するインバータを2つ備えさせなければならない。

30

【0036】

これに対処するため、2つの専用コイル5a、5bを、図4に示したように1つにする (共用させる) ことを考える。図5において互いに近接する2つのコイル (コイルAとU、コイルBとW、コイルCとV、コイルAとU、コイルBとW、コイルCとV) を1つにまとめることができるので、図5と図4のステータコイルを対照させると、図4のステータコイル5に流す複合電流I1~I12は、

【0037】

〔数1〕

$I1 = IA + UI$   $I2 = IC$   $I3 = IB + WI$   $I4 = IA$   $I5 = IC + VI$   $I6 = IB$   $I7 = IA + UI$   $I8 = IC$   $I9 = IB + WI$   $I10 = IA$   $I11 = IC + VI$   $I12 = IB$  であればよいことが分かる。

40

【0038】

ただし、数1式において電流記号の下につけたアンダーラインは逆向きの電流であることを表している。

【0039】

この場合、I1、I3、I5、I7、I9、I11の各複合電流を流すコイルの負担が、I2、I4、I6、I8、I10、I12の各複合電流を流す残りのコイルよりも大きくなるため、残りのコイルにも負担を分散させて内側回転磁界を形成させることを考える。

【0040】

50



たとえば、図5と図4を対照すると、コイル5のうち図4で1、2を割り振ったコイルに対応する部分は、図5では外周側コイル5bのうちのA、Cおよび内周側コイル5aのうちのUである。この場合に、Uのコイルの位相を図で時計回りに少しずらした状態を考え、そのずらしたものを新たにU'のコイルとすると、U'のコイルに流す電流IU'の半分ずつをAとCのコイルに割り振る。残りも同様である。

【0041】

このようにすることで、別の電流設定として

〔数2〕

$$\begin{aligned} I1 &= IA+(1/2)IU' \quad I2 = IC+(1/2)IU' \quad I3 = IB+(1/2)IW' \quad I4 = IA+(1/2)IW' \quad I5 = IC+(1/2)IV' \\ I6 &= IB+(1/2)IV' \quad I7 = IA+(1/2)IU' \quad I8 = IC+(1/2)IU' \quad I9 = IB+(1/2)IW' \quad I10 = IA+(1/2)IW' \\ I11 &= IC+(1/2)IV' \quad I12 = IB+(1/2)IV' \end{aligned} \quad 10$$

が得られる。

【0042】

さらに考えると、

〔数3〕

$$\begin{aligned} I1 &= IA+Ii1 \quad I2 = IC+Ii1 \quad I3 = IB+Ii1 \quad I4 = IA+Ivi1 \quad I5 = IC+Ivi1 \quad I6 = IB+Ivi1 \quad I7 = IA+Ivii1 \quad I8 = IC+Ivii1 \\ I9 &= IB+Ilix1 \quad I10 = IA+Ilix1 \quad I11 = IC+Ilix1 \quad I12 = IB+Ilix1 \end{aligned}$$

でもかまわない。つまり、数3式の右辺第2項の電流Ii ~ Ixiiは12相交流となるわけで、この12相交流で内側回転磁界を形成するようにすればよいのである。

【0043】

このように電流設定を行うと、単一のコイルでありながら、内側回転磁界と外側回転磁界の2つの回転磁界が同時に発生するが、インナーロータ3の誘導コイル6は外側回転磁界により回転力を与えられることがなく、またアウターロータ4の誘導コイル7が内側回転磁界により回転力を与えられることもない。 20

【0044】

図6は、本発明の制御装置の制御対象である、一对の通常回転電機本体20a, 20bの一例の断面図である。

図において、それぞれロータを具える通常回転電機本体20a, 20bは、インバータから供給される複合電流で個別に制御され得る。この一对の通常回転電機本体20a, 20bの制御方法は、細部は若干異なるが基本原理は上述の回転電機と同様である。

これで、本発明の制御装置の制御対象である回転電機の概説を終える。 30

【0045】

図7は、本発明による回転電機の制御装置の基本構成を示すブロック図である。

図に示すように、本発明による回転電機の制御装置100は、位相差発生器110、位相差検出器120、トルク指令値130から構成される。位相差発生器110は、位相差指令値 $\theta^*$ を出力し、位相差検出器120は、各ロータから検出された位相に基づき実位相差 $\theta$ を出力し、位相差指令値 $\theta^*$ から位相差 $\theta$ を引いたものをトルク指令値発生器の入力とし、これに基づきトルク指令値 $T_1^*$ を出力する。このトルク指令値 $T_1^*$ に基づきベクトル制御器140は、片方のロータ用のベクトル $v_1^*$ を出力する。なお、もう一方のロータ用のベクトル制御器141の出力ベクトル $v_2^*$ をベクトル $v_1^*$ に加算してベクトル $v^*$ としたものをPWM発生器150でPWM波形を出力し、インバータ160を介してステータの各コイルに供給し、それぞれのロータ(或いはモータ)に対して個別に作用し、ロータを回転させる。 40

【0046】

図8は、図7の位相差発生器110の機能を説明するブロック図である。

位相差発生器110は、各ロータの振幅 $I_{1p}^*$ , 振幅 $I_{2p}^*$ , 周波数 $w_1, w_2$ の4入力から位相差指令値 $\theta^*$ をオンラインで計算する。

なお、 $I_{1p}$ は、計算式

【外1】

$$I_{1p} = \sqrt{i_d^{*2} + i_q^{*2}} / \sqrt{\frac{\text{相数}}{2}}$$

で求めることができる。

#### 【0047】

ここで、位相差指令値のオンライン計算の一例について説明する。

各周波数  $w_1$ 、 $w_2$  から電機角一周期  $T_1$ 、 $T_2$  をそれぞれ算出する。一周期  $T_1$ 、 $T_2$  の最小公倍数を  $T_s$  を算出する。そして、疑似時間  $t$  で  $T_s$  まで以下を計算する。 $i_1 = I_1 \sin w_1 t$ 、 $i_2 = I_2 \sin(w_2 t + \theta)$  として  $i_1 + i_2$  の  $t = 0 \sim T_s$  間のピーク  $I_p [0]$  を計算する。 10

次に、 $n = 1, 2, 3, \dots, n$  として  $I_p [n]$  ( $n = 1, 2, 3, \dots, n$ ) を計算する。この計算値のうちで、 $I_p [k]$  が最小な値を取る  $k$  を位相差指令値  $\theta^*$  として出力する。

#### 【0048】

図9は、位相差を導き出すときに用いる所定の3次元マップの一例である。

図に示すように、振幅比 ( $I_{2p} I_1^* / I_{1p} I_2^*$ ) と、インナーロータとアウターロータの各周波数  $w_1$ 、 $w_2$  の3軸からなる3次元マップを作成しておき、これを参照して予め計算された位相差を出力することも可能である。

#### 【0049】

図10は、図7のトルク指令値発生器130をより詳細に説明するブロック線図である。図に示すように、位相差指令値  $\theta^*$  と実測した位相差  $\theta$  との差を、伝達関数  $K_p$  を持つ比例制御器132で処理し、これの出力と所望の速度指令値 ( $w_1^*$ ) とを加算したものを新たな速度指令値  $w_1^{*'}$  として、さらにこれから実速度  $w_1$  を差し引き偏差を求め、これを比例要素  $K_{pw}$  と積分要素  $K_{pw} / s$  とからなる伝達関数を持つ速度制御器 (比例積分制御器) 134で処理して、 $T_1^*$  を得る。

ちなみに位相の制御を開始すると、最適な位相差に達するまで片方のロータの速度指令値を増加 (或いは減少) し、最適な位相差 (即ち、複合電流の最大値が最小になる位相差) に近づくに従い、速度指令値は元の値へ徐々に戻る。

このとき、 $w_1^{*'} = w_1$  (速度指令値と実速度とが等しい) である場合は、比例制御器をなくして、速度制御器のみで処理することもできる。 30

#### 【0050】

図11は、トルク指令値発生器の変形例を示すブロック線図である。

図に示すように、速度指令値 ( $w_1^*$ ) から位相情報を持たない位置指令 ( $\theta_1$ ) を求める。また、位相差検出器および位相差発生器の出力に基づき、位相指令値 ( $\theta^*$ ) を求める。位相指令値 ( $\theta^*$ ) に位置指令 ( $\theta_1$ ) を加える、さらに、位置制御器136、速度制御器138を直列に接続し、強固な制御系を構成する。これにより、よりロバスト性を向上させた (即ち外乱に強い) 2次制御系が構成される。

#### 【0051】

図12は、位相検出器の原理を説明する模式図である。

図に示すように、各ロータに装着されたエンコーダからのエンコーダ信号に基づき、各ロータの位相を求め、式  $\theta = (\theta_2 - \theta_1) \times 360$  度により位相差を求め得る。

#### 【0052】

図13は、本発明による回転電機の制御方法の一例を示すフローチャートである。

図に示すように、エンコーダなどにより各ロータの位置をそれぞれ検出し、それに基づきロータ間の位相差を検出する。次に、各ロータの1サンプル前の電流指令値に基づき、電流振幅を最小にする位相差指令値を発生する。発生させた位相差指令値と、検出された位相差とを比較し、これに応じた偏差を発生する。発生させた偏差をトルク指令発生器に入力してトルク指令値を発生する。次に、トルク制御のロータと速度制御のロータとのうち速度制御のロータの位置を変化させる。その後、各ロータの位相を検出する。検出した位 50

相に基づき位相差検出値を求め、これと位相差指令値とを比較し、同じ場合（偏差無し）は制御を終了する。異なる場合（偏差あり）は、偏差をトルク指令値発生器にフィードバックし、新たなトルク指令値を発生し、偏差がなくなるまで処理を繰り返す。

### 【0053】

本明細書では、様々な実施態様で本発明の原理を説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき本発明に様々な修正や変更を加えることができることに留意されたい。例えば、回転電機のロータには永久磁石や電磁石を設けることも可能であり、さらに、ロータやステータの配置を変更することも可能である。即ち、本発明は、複合電流を用いて複数のロータを駆動させる1つまたは特開2001-231227号公報にある複数の回転電機であれば広く応用可能なものであることに注意されたい。

10

### 【図面の簡単な説明】

【図1】 位相差45度における複合電流波形を示すグラフである。

【図2】 位相差90度における複合電流波形を示すグラフである。

【図3】 電流振幅最大値の位相差依存性を示すグラフである。

【図4】 本発明の制御装置の制御対象である回転電機本体1の一例の断面図である。

【図5】 本発明の制御装置の制御対象である回転電機本体1の一例の断面図である。

【図6】 本発明の制御装置の制御対象である、一对の通常の回転電機本体20a, 20bの一例の断面図である。

【図7】 本発明による回転電機の制御装置の基本構成を示すブロック図である。

【図8】 図7の位相差発生器110の機能を説明するブロック図である。

20

【図9】 位相差を導き出すときに用いる所定の3次元マップの一例である。

【図10】 図7のトルク指令値発生器130をより詳細に説明するブロック線図である。

【図11】 トルク指令値発生器の変形例を示すブロック線図である。

【図12】 位相検出器の原理を説明する模式図である。

【図13】 本発明による回転電機の制御方法の一例を示すフローチャートである。

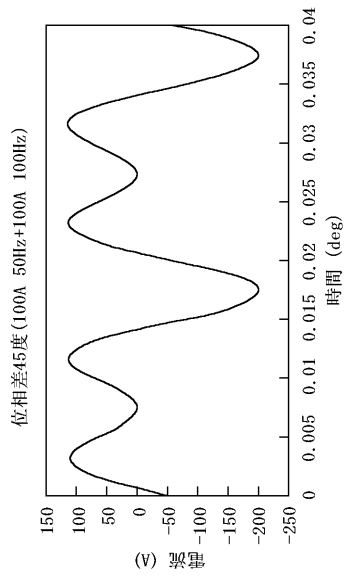
### 【符号の説明】

- 1 回転電機本体
- 2 ステータ
- 3 インナーロータ
- 4 アウターロータ
- 5 コイル
- 6, 7 誘導コイル
- 20a, 20b 通常の回転電機本体
- 100 回転電機の制御装置
- 110 位相差発生器
- 120 位相差検出器
- 130 トルク指令値
- 132 比例制御器
- 134 速度制御器
- 136 位置制御器
- 138 速度制御器
- 140, 141 ベクトル制御器
- 150 PWM発生器
- 160 インバータ

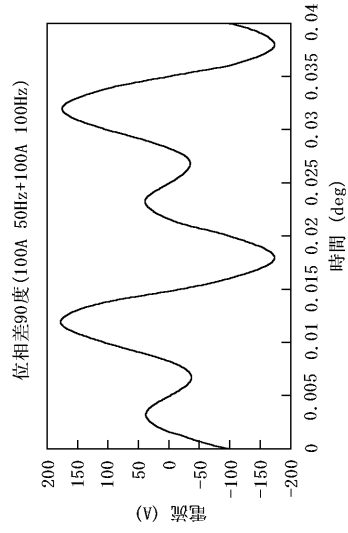
30

40

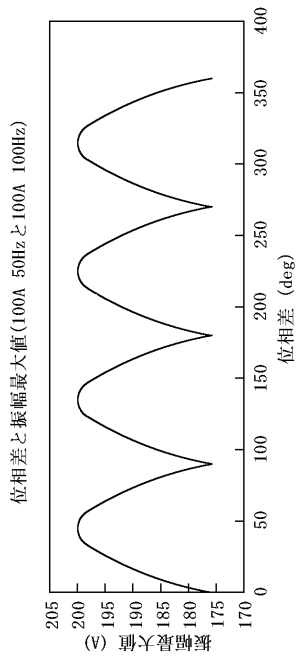
【 図 1 】



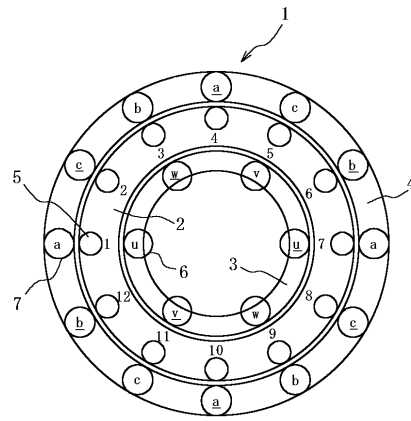
【 図 2 】



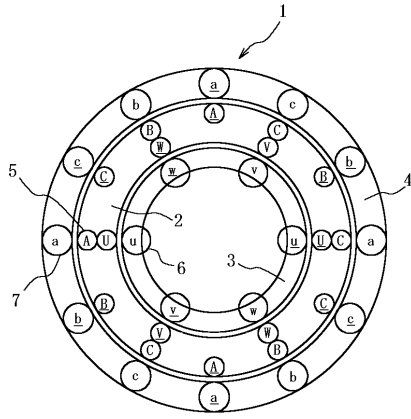
【 図 3 】



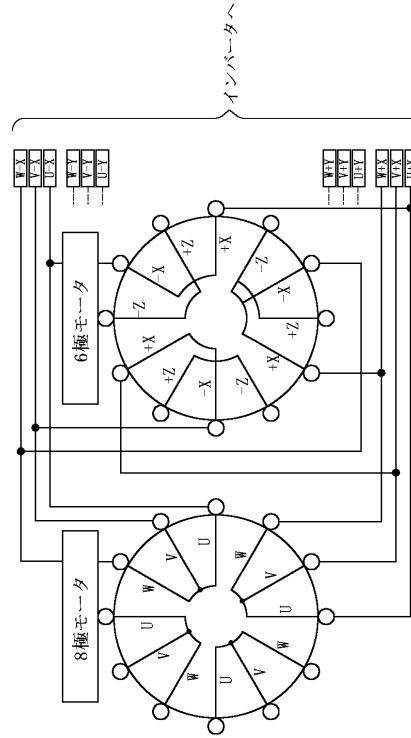
【 図 4 】



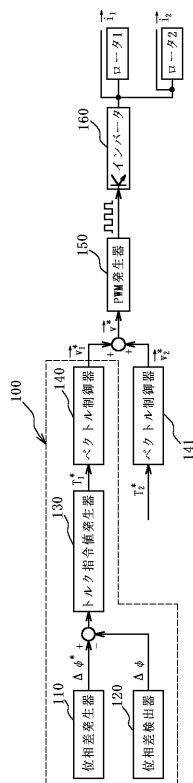
【 図 5 】



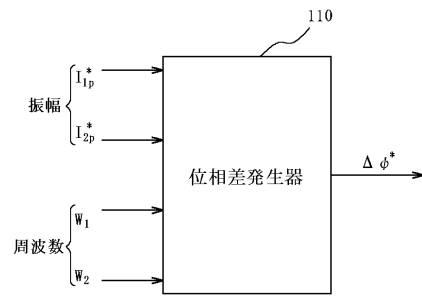
【 図 6 】



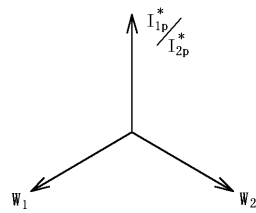
【 図 7 】



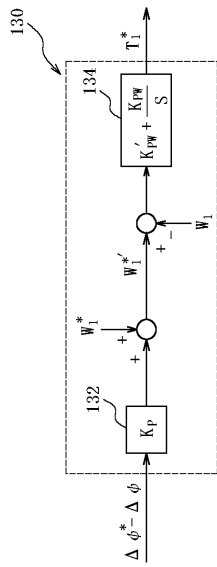
【 図 8 】



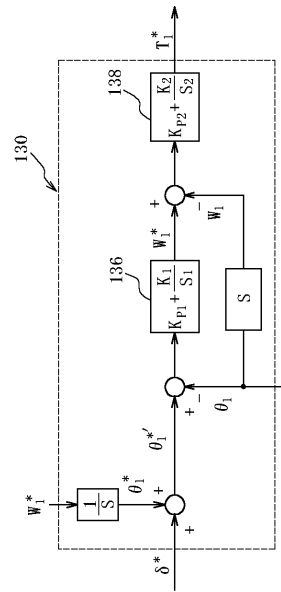
【 図 9 】



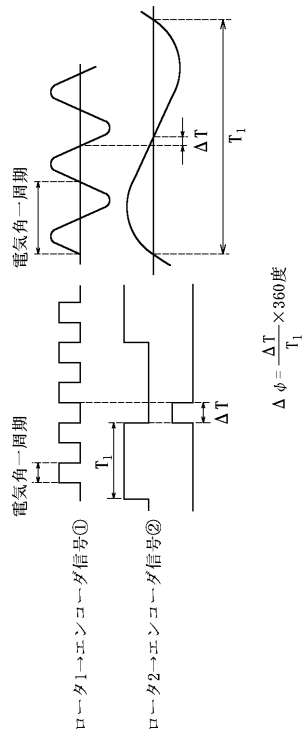
【図10】



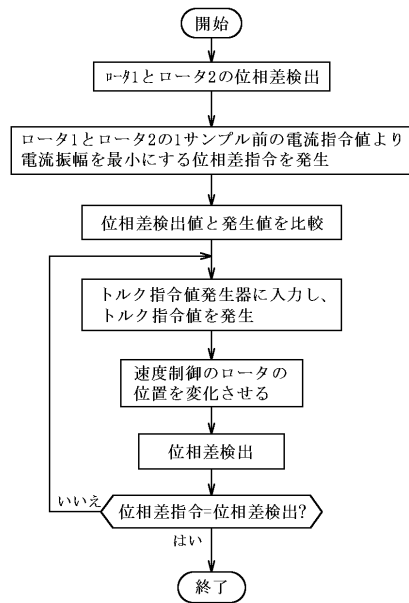
【図11】



【図12】



【図13】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平11-356100(JP,A)  
特開2001-169516(JP,A)  
特開2000-217316(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H02P 7/00

H02K 16/00

H02P 21/00