(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2008-43175
(P2008-43175A)
(43)公開日　平成20年2月21日(2008.2.21)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H02P 21/00	(2006.01)	H02P	5/408	C	5H505
H02P 27/04	(2006.01)				

審査請求 未請求　請求項の数 5　ＯＬ　（全 21 頁）

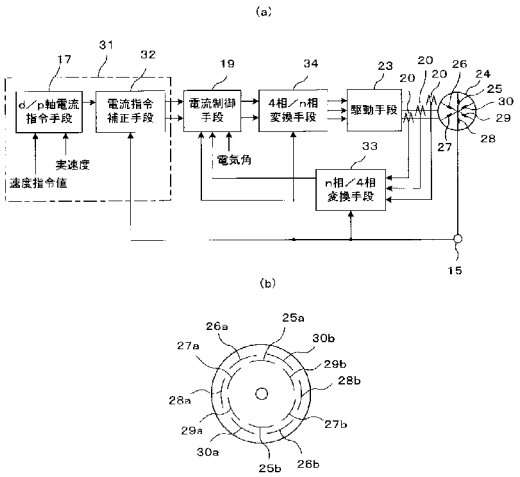
(21)出願番号　特願2006-218249 (P2006-218249)
(22)出願日　平成18年8月10日 (2006.8.10)

(71)出願人　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100100516
弁理士　三谷　恵
(72)発明者　渡並　洋介
東京都府中市東芝町１番地　株式会社東芝内
(72)発明者　野田　伸一
東京都府中市東芝町１番地　株式会社東芝内

Ｆターム(参考)　5H505 BB04 DD03 DD08 EE41 GG02 GG04 JJ22 JJ25 LL01 LL22 LL41

(54)【発明の名称】電動機の制御装置

(57)【要約】
【課題】振動・騒音低減性能が高く、ラジアル力が変化した場合でも振動・騒音低減性能が劣化しない電動機の制御装置を提供することである。
【解決手段】６相電動機２４の回転角を検出すると共に６相電動機２４に供給されるｎ相電流を検出する。ｎ相／４相変換手段３３でｎ相電流からｄ／ｑ軸電流および倍角ｄ／ｑ軸電流を演算して電流制御手段１９に入力する。一方、ｄ／ｑ軸電流指令手段１７でｄ／ｑ軸電流指令値を演算し、電流指令補正手段３２でｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を回転角に対応して補正する。そして、電流制御手段１９においてｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電流がそれぞれ電流指令値となるような電圧指令値を演算し、４相／ｎ相変換手段３４でｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電圧指令値からｎ相電圧指令値を演算する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
５相以上のｎ相電動機をｎ相電圧指令値で駆動する駆動手段と、
前記電動機の回転角を検出する回転角検出手段と、
前記電動機に供給されるｎ相電流を検出する電流検出手段と、
前記電流検出手段が検出したｎ相電流からｄ／ｑ軸電流および倍角ｄ／ｑ軸電流を演算するｎ相／４相変換手段と、
ｄ／ｑ軸電流指令値を演算する電流指令手段と、
前記回転角検出手段で検出される回転角に対応してｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正する電流指令補正手段と、
ｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電流がそれぞれ電流指令値となるような電圧指令値を演算する電流制御手段と、
前記電流制御手段で演算されたｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電圧指令値からｎ相電圧指令値を演算する４相／ｎ相変換手段と、
を具備することを特徴とする電動機の制御装置。
【請求項２】
１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないようにした３相２線式電動機を２線の３相電圧指令値で駆動する駆動手段と、
前記３相２線式電動機の回転角を検出する回転角検出手段と、
前記３相２線式電動機の２線の３相電流を検出する電流検出手段と、
前記電流検出手段で検出した２線の３相電流からｄ／ｑ軸電流および２倍角ｄ／ｑ軸電流を演算する２倍３相／４相変換手段と、
ｄ／ｑ軸電流指令値を演算する電流指令手段と、
前記回転角検出手段で検出される回転角に対応してｄ／ｑ軸および２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正する電流指令補正手段と、
ｄ／ｑ軸および２倍角ｄ／ｑ軸の電流が前記補正されたｄ／ｑ軸および２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値となるようなｄ／ｑ軸および２倍角ｄ／ｑ軸の電圧指令値を演算する電流制御手段と、
前記ｄ／ｑ軸および２倍角ｄ／ｑ軸の電圧指令値から２線の３相電圧指令値を演算する４相／２倍３相変換手段と、
を具備することを特徴とする電動機の制御装置。
【請求項３】
１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないようにした２分割巻線式の３相電動機を３相電圧指令値で駆動する駆動手段と、
前記２分割巻線式の電動機の回転角を検出する回転角検出手段と、
前記２分割巻線式の電動機の２分割巻線の３相電流を検出する電流検出手段と、
前記電流検出手段で検出した２分割巻線の３相電流からｄ／ｑ軸電流および半角ｄ／ｑ軸電流を演算する半３相／４相変換手段と、
ｄ／ｑ軸電流指令値を演算する電流指令手段と、
前記回転角検出手段で検出される回転角に対応してｄ／ｑ軸および半角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正する電流指令補正手段と、
前記ｄ／ｑ軸および半角ｄ／ｑ軸の電流が前記ｄ／ｑ軸および半角ｄ／ｑ軸電流指令値となるようなｄ／ｑ軸および半角ｄ／ｑ軸の電圧指令値を演算する電流制御手段と、
前記ｄ／ｑ軸および半角ｄ／ｑ軸の電圧指令値から２分割巻線の３相電圧指令値を演算する４相／半３相変換手段と、
を具備することを特徴とする電動機の制御装置。
【請求項４】
前記回転角検出信号の回転角から回転周波数を計算し、計算された回転周波数により前記電流指令補正手段における電流指令補正パラメータを変更するパラメータ変更手段を具備することを特徴とする請求項１ないし３のいずれかに記載の電動機の制御装置。

【請求項５】
前記電流指令補正手段で補正対象とされる電流指令値を高調波で補正する高調波電流指令補正手段を具備したことを特徴とする請求項１ないし４のいずれかに記載の電動機の制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電動機のベクトル制御において電流指令値を補正して電磁力リップルを抑制する電動機の制御装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
例えば、電動機のベクトル制御では、電動機の回転角及び出力電流を検出し、磁束電流指令値及びトルク電流指令値と出力電流との偏差を比例積分し、その比例積分結果と電気角とから各相に対する電圧指令値を生成し、その電圧指令値に基づいて電動機を駆動している。
【０００３】
図７（ａ）は、電動機及びその制御装置の機能ブロック図である。同図に示す電動機１１は、回転子と固定子とを備えた一般的なものであり、回転子が軸受に支持された回転軸に固定され、固定子が回転子と対向すると共に回転子の軸心と同心状に配置され、固定子及び軸受がフレームに保持された構造を有する。図７（ｂ）に示すように、電動機１１の固定子に、３相巻線１２、１３、１４が巻かれ、各相の対向する巻線（１２ａ，１２ｂ）（１３ａ，１３ｂ）（１４ａ，１４ｂ）は並列又は直列に接続されている。固定子の３相巻線１２、１３、１４に供給される電流によって回転磁界が発生し、回転子に回転力が与えられる。
【０００４】
電動機１１の回転角はエンコーダ等のパルスジェネレータで構成された回転角検出手段１５で検出されて速度制御系１６へ入力される。速度制御系１６において回転角検出信号から電動機１１の実速度が計算される。速度制御系１６を構成するｄ／ｑ軸電流指令手段１７が、速度指令値と計算された実速度との速度偏差信号から直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}を演算する。ｄ軸電流指令値I_{dc}は磁束を発生させる磁束電流指令値であり、ｑ軸電流指令値I_{qc}はトルクを発生させるトルク電流指令値である。ｑ軸電流指令補正手段１８は、ｑ軸電流指令値I_{qc}を実速度から求めた電気角に基づいて補正する。ｄ軸電流指令値I_{dc}及び補正されたｑ軸電流指令値I_{qc}は電流制御手段１９へ入力される。
【０００５】
一方、電動機１１の３相巻線１２，１３，１４に供給される出力電流I_{uf}、I_{wf}、I_{Vf}は電流検出手段２０で検出される。３相／２相変換手段２１は、電流検出手段２０から３相電流信号I_{uf}、I_{wf}、I_{Vf}を取り込んで３相／２相変換する。すなわち、静止座標系において３相で示される電流信号I_{uf}、I_{wf}、I_{Vf}は回転角検出信号の電気角θ_eに基づき、直交回転座標系のｄ／ｑ軸電流信号I_{df}、I_{qf}に変換される。ｄ／ｑ軸電流信号I_{df}、I_{qf}は電流制御手段１９へ入力される。静止座標系の電流信号I_{uf}、I_{wf}、I_{Vf}から直交回転座標系のｄ／ｑ軸電流信号I_{df}、I_{qf}への変換は（数１）及び（数２）による。
【数１】

$$I_{vf} = -I_{uf} - I_{wf}$$

【数２】

$$\begin{pmatrix} I_{df} \\ I_{qf} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{uf} \\ I_{vf} \\ I_{wf} \end{pmatrix}$$

【０００６】

なお、上式において、添字ｄはｄ軸成分、ｑはｑ軸成分を表す。

【０００７】

電流制御手段１９において、ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$とｄ／ｑ軸電流信号Ｉ$_{df}$、Ｉ$_{qf}$との偏差は、ＰＩコントローラに入力されてＰＩ演算（比例積分演算）され、直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$として出力される。電流制御手段１９における比例積分演算は（数３）で表すことができる。

【数３】

$$\begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Kp_d + \frac{Ki_d}{s} & 0 \\ 0 & Kp_q + \frac{Ki_q}{s} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{dc} - I_{df} \\ I_{qc} - I_{qf} \end{pmatrix}$$

【０００８】

ここで、Kpは比例ゲイン、Kiは積分ゲイン、ｓはラプラス演算子である。

【０００９】

電流制御手段１９のＰＩコントローラから出力されるｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$は、２相／３相変換手段２２に入力される。２相／３相変換手段２２では、ｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$が、電気角θ$_{e}$に基づき、３相で示される直交静止座標系の電圧指令値Ｖ$_{u}$、Ｖ$_{v}$、Ｖ$_{w}$に変換される。２相／３相変換手段２２は（数４）に基づいてｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$から３相で示される直交静止座標系の電圧指令値Ｖ$_{u}$、Ｖ$_{v}$、Ｖ$_{w}$への変換を行う。

【数４】

$$\begin{pmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \end{pmatrix}$$

【００１０】

駆動手段２３は、直交静止座標系の電圧指令値Ｖ$_{u}$、Ｖ$_{v}$、Ｖ$_{w}$に基づいて電動機１１の各相の巻線１２，１３，１４に駆動信号となる電流信号Ｉ$_{uf}$、Ｉ$_{wf}$、Ｉ$_{Vf}$を供給する。このように、駆動手段２３から電圧指令に基づいた出力電流が電動機１１に供給される。

【００１１】

ところで、電動機１１の回転軸には負荷が接続されるため、回転軸から負荷に回転が伝えられる一方、負荷から回転軸に対してラジアル力が加えられる。電動機の回転軸にラジアル力が加わった場合、回転軸が偏心して固定子と回転子のギャップが不均一となり、半径方向の電磁力リップルが発生する。半径方向の電磁力リップルは、振動・騒音の主な原因となる。

【００１２】

電動機における振動・騒音を低減するための対策として種々のものが提案されている。

例えば、電磁力変動情報又は電磁力高調波成分を基に駆動電流波形を補正するもの（例えば、特許文献１参照）、トルクを発生するための２分割の巻線に流す電流を制御するもの（例えば、特許文献２参照）、固定子の対向する巻線を異なる巻線数にするもの（例えば、特許文献３参照）がある。

【００１３】

上記特許文献１のように、駆動電流波形を、電磁力高調波成分を基に補正する場合について検討する。

【００１４】

トルク電流を２ｆ高調波成分で補正した場合のｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$は（数５）及び（数６）となる。

【数５】

$$\begin{pmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dco} \\ I_{qco} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ dI_{qc} \end{pmatrix}$$

【数６】

$$dI_{qc} = A_q \times \sin\left(2 \times \theta_e + p_q\right)$$

【００１５】

ここで、Ａ$_{q}$は補正振幅、ｐ$_{q}$は補正位相を表す。

【００１６】

ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$が入力された場合の偏心方向電磁力Ｆ$_{x}$、トルクＴは、（数７）及び（数８）のような回転角の定数項、２ｆ正弦成分、２ｆ余弦成分、４ｆ正弦成分、４ｆ余弦成分の和となる。

【数７】

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\partial W}{\partial x} \\ &= F_{x0}\left(A_q, p_q, x\right) \\ &\quad + F_{x2s}\left(A_q, P_q, x\right) \times \sin\left(2 \times \theta_e\right) + F_{x2c}\left(A_q, P_q, x\right) \times \cos\left(2 \times \theta_e\right) \\ &\quad + F_{x4s}\left(A_q, p_q, x\right) \times \sin\left(4 \times \theta_e\right) + F_{x4c}\left(A_q, p_q, x\right) \times \cos\left(4 \times \theta_e\right) \end{aligned}$$

【数８】

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial W}{\partial \theta_e} \\ &= T_0\left(A_q, p_q, x\right) \\ &\quad + T_{2s}\left(A_q, p_q, x\right) \times \sin\left(2 \times \theta_e\right) + T_{2c}\left(A_q, p_q, x\right) \times \cos\left(2 \times \theta_e\right) \\ &\quad + T_{4s}\left(A_q, p_q, x\right) \times \sin\left(4 \times \theta_e\right) + T_{4c}\left(A_q, p_q, x\right) \times \cos\left(4 \times \theta_e\right) \end{aligned}$$

【００１７】

ここで、Ｗは電動機内部の磁気エネルギー、ｘは偏心方向、添字ｓは正弦成分、ｃは余弦成分を表す。

【００１８】

インダクタンスが一定とした場合の電動機内部の磁気エネルギーＷは（数９）となる。

【数９】

$$W = \sum \psi_i \times I_i$$

【００１９】

ここで、ψ$_{i}$は固定子との鎖交磁束、Ｉ$_{i}$は固定子の電流を表す。

【００２０】

鎖交磁束は、パーミアンスと起磁力分布から、（数１０）となる。

【数１０】

$$\psi_i = \iint f_i(\xi) \times P_g(\xi) \times f_{mag}(\xi) \times r \, dz d\xi$$

【００２１】

ここで、f_iは固定子のコイルによる起磁力分布、f_{mag}は回転子の永久磁石による起磁力分布、P_gは回転子と固定子とのパーミアンス、ｒは回転子と固定子の平均半径、ｚは電動機の軸（スラスト）方向を表す。

【００２２】

パーミアンスP_gは、偏心がある場合、（数１１）のように近似できる。

【数１１】

$$P_g(\xi) \approx \frac{k_g}{g^3} \times \left(g^2 + \cos(\xi + \eta) \times g \times x + (\cos(\xi + \eta) \times x)^2 \right)$$

【００２３】

ここで、ｇは固定子と回転子の平均ギャップを表す（ｘ≪ｇ）。

【００２４】

起磁力分布f_iは、例えば以下のような余弦関数の和で近似できる。

【数１２】

$$f_i(\xi) = f_{i1} \times \cos\left(\xi - \frac{2\pi}{n} \times (i-1) \right) + f_{i2} \times \cos\left(2 \times \left(\xi - \frac{2\pi}{n} \times (i-1) \right) \right) + \cdots$$

【特許文献１】特開平１１－３４１８６４号公報
【特許文献２】特開平１１－２７５８０２号公報
【特許文献３】特開平１０－３１３５５７号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００２５】

しかしながら、特許文献１のように駆動電流波形を補正するものは、トルク電流の２ｆ高調波では、４ｆ電磁力リップルを低減することができるが、２ｆ電磁力リップルを低減することができない。そのため電動機の偏心に起因した振動・騒音を十分に低減することはできない。

【００２６】

また、特許文献２のようにトルクを発生するための２分割の巻線に流す電流を制御するものは、１２０°通電方式をとる電動機におけるものであり、１８０°通電方式をとる電動機におけるものではないため、その適用範囲が制限される。また、巻線の中心方向と回転軸へのラジアル力の方向とが一致した場合、偏心方向と９０°ずれた（直交）電磁力リップルを低減することができないといった問題もある。

【００２７】

また、特許文献３のように不平衡巻線にするものは、回転軸へのラジアル力が変化した場合、偏心の大きさも変化するため、振動・騒音低減性能の劣化を招くといった問題がある。

【００２８】

本発明は、振動・騒音低減性能が高く、また、ラジアル力が変化した場合でも振動・騒音低減性能が劣化しない電動機の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００２９】

本発明に係わる電動機の制御装置は、５相以上のｎ相電動機をｎ相電圧指令値で駆動する駆動手段と、前記電動機の回転角を検出する回転角検出手段と、前記電動機に供給されるｎ相電流を検出する電流検出手段と、前記電流検出手段が検出したｎ相電流からｄ／ｑ

軸電流および倍角ｄ／ｑ軸電流を演算するｎ相／４相変換手段と、ｄ／ｑ軸電流指令値を演算する電流指令手段と、前記回転角検出手段で検出される回転角に対応してｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正する電流指令補正手段と、ｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電流がそれぞれ電流指令値となるような電圧指令値を演算する電流制御手段と、前記電流制御手段で演算されたｄ／ｑ軸および倍角ｄ／ｑ軸の電圧指令値からｎ相電圧指令値を演算する４相／ｎ相変換手段とを具備することを特徴とする。

【発明の効果】

【００３０】

本発明によれば、振動・騒音低減性能が高く、電動機の回転軸に加わるラジアル力が変化した場合でも振動・騒音低減性能が劣化しない電動機の制御装置を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３１】

（第１の実施の形態）

図１（ａ）は第１の実施の形態に係わる５相以上のｎ相電動機の制御装置の構成図である。本実施の形態では、ｎ相電動機２４の相数ｎを６として説明する。以下の説明では、ｎ相電動機２４のことを６相電動機２４と呼称することとする。図７（ａ）と同一要素には同一符号を付し重複する説明は省略する。

【００３２】

６相電動機２４は、固定子と回転子とを備え、固定子に６相巻線２５，２６，２７，２８，２９，３０が巻かれている。図１（ｂ）に示す６相巻線２５～３０の各相の対向する巻線（ａ，ｂ）は並列または直列に接続されている。

【００３３】

６相電動機２４の回転角は回転角検出手段１５により検出され、回転角検出信号がパルス信号形式で出力される。回転角検出手段１５から出力される回転角検出信号は６相電動機２４の速度を制御する速度制御系３１に入力される。

【００３４】

速度制御系３１において、回転角検出信号から６相電動機２４の実速度が算出され、６相電動機２４の実速度に基づいて電気角θ_eが演算される。なお、回転角検出手段１５で演算された電気角θ_eを速度制御系３１に取り込むようにしても良い。

【００３５】

ｄ／ｑ軸電流指令手段１７は、６相電動機２４の実速度と速度指令値との速度偏差信号からｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}を演算する。また、電流指令補正手段３２は、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}及び倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正する。このため、電流指令補正手段３２において、電気角θ_eに基づいて、６相電動機２４の発生する電磁力リップルを打ち消すように電流指令値を補正するｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}を演算する。電流指令補正手段３２は、（数１３）により演算されたｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、及び倍角ｄ／ｑ軸電流指令値となるｄ２／ｑ２軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}を電流制御手段１９へ出力する。

【数１３】

$$\begin{pmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \\ I_{d2c} \\ I_{q2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dco} \\ I_{qco} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ dI_{d2c} \\ dI_{q2c} \end{pmatrix}$$

【００３６】

ここで、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、ｄ２／ｑ２軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}は、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}を電流指令補正手段３２で補正した値である。電流制御手段１９へのｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}は、６相電動機２４をベクトル制御する場合の直交回転座標系におけるｄ軸電流指令値（磁束電流指令値）I_{dc}

、ｑ軸電流指令値（トルク電流指令値）I_{qc}である。

【００３７】

電流制御手段１９は、速度制御系３１から直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、ｄ２／ｑ２軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}、および電気角θ_eが入力され、ｎ相／４相変換手段３３からｄ／ｑ軸及び倍角ｄ／ｑ軸の４相の出力電流検出信号が入力する。電流制御手段１９では、電流検出手段２０で検出される出力電流が、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、ｄ２／ｑ２軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}、および電気角θ_eを満たすように駆動手段２３への駆動信号を制御する。

【００３８】

すなわち、電流検出手段２０で検出されたｎ相の出力電流はｎ相／４相変換手段３３に入力される。ｎ相／４相変換手段３３において電流検出手段２０からの静止座標系での６相で示される電流信号I_{pnf}を（数１４）により直交回転座標系の４相で示される電流信号I_{df}、I_{qf}、I_{d2f}、I_{q2f}に変換する。

【数１４】

$$\begin{pmatrix} I_{df} \\ I_{qf} \\ I_{d2f} \\ I_{q2f} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{6}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e-\frac{2\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{6\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{10\pi}{6}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e-\frac{2\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{6\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{10\pi}{6}\right) \\ \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{12\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{16\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{20\pi}{6}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{12\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{16\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{20\pi}{6}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{p1f} \\ I_{p2f} \\ I_{p3f} \\ I_{p4f} \\ I_{p5f} \\ I_{p6f} \end{pmatrix}$$

【００３９】

電流制御手段１９は、電流指令補正手段３２で補正された電流指令値とｎ相／４相変換手段３３でｄ／ｑ軸及びｄ２／ｑ２軸に変換された出力電流検出信号との偏差をＰＩコントローラに入力してＰＩ演算（比例積分演算）を実行し、直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}およびｄ２／ｑ２軸電圧指令値V_{d2c}、V_{q2c}を出力する。電流制御手段１９のＰＩコントローラからのｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}およびｄ２／ｑ２軸電圧指令値V_{d2c}、V_{q2c}は、４相／ｎ相変換手段３４に入力される。

【００４０】

４相／ｎ相変換手段３３では、ｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}およびｄ２／ｑ２軸電圧指令値V_{d2c}、V_{q2c}を、電気角θ_eに基づき、（数１５）により６相で示される直交静止座標系の電圧指令値V_{pn}に変換する。

【数１５】

$$\begin{pmatrix} V_{p1} \\ V_{p2} \\ V_{p3} \\ V_{p4} \\ V_{p5} \\ V_{p6} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{6}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \cos\left(\theta_e-\frac{2\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{2\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) \\ \cos\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{4\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) \\ \cos\left(\theta_e-\frac{6\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{6\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{12\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{12\pi}{6}\right) \\ \cos\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{8\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{16\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{16\pi}{6}\right) \\ \cos\left(\theta_e-\frac{10\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{10\pi}{6}\right) & \cos\left(\theta_e-\frac{20\pi}{6}\right) & -\sin\left(\theta_e-\frac{20\pi}{6}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \\ V_{d2c} \\ V_{q2c} \end{pmatrix}$$

【００４１】

ここで、電流指令補正手段３２では、電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}を演算

したが、電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}で電流指令値を補正した場合の偏心方向電磁力F_x、偏心方向と９０°ずれた（直交）電磁力F_y、トルクＴは、（数１６）（数１７）のような回転角の定数項、２ｆ正弦成分、２ｆ余弦成分の和となる。

【数１６】

$$F_x = \frac{\partial W}{\partial x} = F_{x0}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) + F_{x2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \sin(2 \times \theta_e) + F_{x2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \cos(2 \times \theta_e)$$

【数１７】

$$F_y = \frac{\partial W}{\partial y} = F_{y0}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) + F_{y2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \sin(2 \times \theta_e) + F_{y2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \cos(2 \times \theta_e)$$

【数１８】

$$T = \frac{\partial W}{\partial \theta_e} = T_0(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) + T_{2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \sin(2 \times \theta_e) + T_{2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \cos(2 \times \theta_e)$$

【００４２】

ここで、Ｗは電動機内部の磁気エネルギー、ｘは偏心方向、ｙは偏心方向の直交方向、添字ｓは正弦成分、ｃは余弦成分を表す。

【００４３】

上式より、偏心方向電磁力F_xの２ｆリップルを低減するｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}を、例えば（数１９）を満たすように求める。

【数１９】

$$\begin{pmatrix} F_{x2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}) \\ F_{x2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００４４】

このように、倍角ｄ／ｑ軸（ｄ２軸及びｑ２軸）の２軸の電流指令値を補正することにより、偏心方向電磁力の２ｆリップルを低減することができる。

【００４５】

第１の実施の形態によれば、５相以上のｎ相電動機の倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正するようにしたので、振動・騒音を低減することができる。

【００４６】

なお、第１の実施の形態では、２ｆ電磁力リップルの低減について説明したが、相数ｎによっては４ｆ電磁力リップル等を低減することができる。

【００４７】

なお、４ｆ電磁力リップル等を低減する場合のｎ相／４相変換手段と、４相／ｎ相変換手段における変換式は（数２０）（数２１）となる。

【数２０】

$$\begin{pmatrix} I_{df} \\ I_{qf} \\ I_{d4f} \\ I_{q4f} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{n}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{n}\right) & \cdots & \cos\left(\theta_e - \frac{2(n-1)\pi}{n}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{n}\right) & \cdots & -\sin\left(\theta_e - \frac{2(n-1)\pi}{n}\right) \\ \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{16\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{24\pi}{n}\right) & \cdots & \cos\left(\theta_e - \frac{8(n-1)\pi}{n}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{16\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{24\pi}{n}\right) & \cdots & -\sin\left(\theta_e - \frac{8(n-1)\pi}{n}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{p1f} \\ I_{p2f} \\ I_{p3f} \\ I_{p4f} \\ \vdots \\ I_{pnf} \end{pmatrix}$$

【数２１】

$$\begin{pmatrix} V_{p1} \\ V_{p2} \\ V_{p3} \\ V_{p4} \\ \vdots \\ V_{pn} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{n}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{n}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{16\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{16\pi}{n}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{24\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{24\pi}{n}\right) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos\left(\theta_e - \frac{2(n-1)\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2(n-1)\pi}{n}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8(n-1)\pi}{n}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8(n-1)\pi}{n}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \\ V_{d4c} \\ V_{q4c} \end{pmatrix}$$

【００４８】

（第２の実施の形態）

図２（ａ）は本発明の第２の実施の形態に係わる３相２線式電動機の制御装置の構成図である。この第２の実施の形態は、図１（ａ）に示した第１の実施の形態に対し、６相電動機２４に代えて、３相２線式電動機３５を制御対象としたものである。図１と同一要素には同一符号を付し重複する説明は省略する。

【００４９】

３相２線式電動機３５は、固定子と回転子とを備え、固定子には３相巻線１２，１３，１４が１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないように巻かれ、図２（ｂ）に示す各相の対向する巻線（ａ，ｂ）と（ｃ，ｄ）の２線は並列または直列に接続されている。

【００５０】

電流指令補正手段３２は、ｄ／ｑ軸電流指令手段１７からｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}が入力し、回転角検出信号の電気角θ_eに基づいて、３相２線式電動機３５の発生する電磁力リップルを打ち消すように電流指令値を補正する２倍角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}を演算する。そして、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}と２倍角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}とを用いて、（数２２）によりｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、及び２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}を演算する。

【数２２】

$$\begin{pmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \\ I_{d2c} \\ I_{q2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dco} \\ I_{qco} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ dI_{d2c} \\ dI_{q2c} \end{pmatrix}$$

【００５１】

ここで、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値I_{d2c}、I_{q2c}は、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}を電流指令補正手段３２で補正した値である。

【００５２】

電流制御手段１９では、直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$、２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{d2c}$、Ｉ$_{q2c}$、および電気角θ$_{e}$が入力され、３相２線式電動機３５に供給される出力電流が、ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$、２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{d2c}$、Ｉ$_{q2c}$、および電気角θ$_{e}$を満たすように駆動手段２３への駆動信号を制御する。

【００５３】

すなわち、３相２線式電動機３５に供給される出力電流が電流検出手段２０で検出され、２倍３相／４相変換手段３６に入力される。２倍３相／４相変換手段３６では、電流検出手段２０から入力する静止座標系において６相で示される電流信号Ｉ$_{u1f}$、Ｉ$_{v1f}$、Ｉ$_{w1f}$、Ｉ$_{u2f}$、Ｉ$_{v2f}$、Ｉ$_{w2f}$を、（数２３）により直交回転座標系の４相で示されるｄ／ｑ軸電流Ｉ$_{df}$、Ｉ$_{qf}$、及び２倍角ｄ／ｑ軸電流Ｉ$_{d2f}$、Ｉ$_{q2f}$に変換する。

【数２３】

$$\begin{pmatrix} I_{df} \\ I_{qf} \\ I_{d2f} \\ I_{q2f} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) \\ \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{12\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{16\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{20\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{12\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{16\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{20\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{u1f} \\ I_{v1f} \\ I_{w1f} \\ I_{u2f} \\ I_{v2f} \\ I_{w2f} \end{pmatrix}$$

【００５４】

電流制御手段１９は、電流指令補正手段３２からｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{q}$及び２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{d2c}$、Ｉ$_{q2c}$を入力する一方、２倍３相／４相変換手段３６からｄ／ｑ軸電流Ｉ$_{df}$、Ｉ$_{qf}$、及び２倍角ｄ／ｑ軸電流Ｉ$_{d2f}$、Ｉ$_{q2f}$を入力する。そして、それら電流指令値と電流信号との偏差をＰＩコントローラでＰＩ演算（比例積分演算）する。その結果、直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$および２倍角ｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{d2c}$、Ｖ$_{q2c}$が電流制御手段１９から出力される。

【００５５】

電流制御手段１９から出力されるｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$および２倍角ｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{d2c}$、Ｖ$_{q2c}$は、４相／２倍３相変換手段３７に入力される。４相／２倍３相変換手段３７では、ｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{dc}$、Ｖ$_{qc}$および２倍角ｄ／ｑ軸電圧指令値Ｖ$_{d2c}$、Ｖ$_{q2c}$を、電気角θ$_{e}$に基づき、（数２４）により６相で示される直交静止座標系の電圧指令値Ｖ$_{u1}$、Ｖ$_{v1}$、Ｖ$_{w1}$、Ｖ$_{u2}$、Ｖ$_{v2}$、Ｖ$_{w2}$に変換する。

【数２４】

$$\begin{pmatrix} V_{u1} \\ V_{v1} \\ V_{w1} \\ V_{u2} \\ V_{v2} \\ V_{w2} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{12\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{12\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{16\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{16\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{20\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{20\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \\ V_{d2c} \\ V_{q2c} \end{pmatrix}$$

【００５６】

ここで、電流指令補正手段３２では、電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$を演算するが、電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$で電流指令値を補正した場合の偏心方向電磁力Ｆ$_x$、偏心方向と９０°ずれた（直交）電磁力Ｆ$_y$は、（数２５）（数２６）のような回転角の定数項、２ｆ正弦成分、２ｆ余弦成分の和となる。

【数２５】

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\partial W}{\partial x} \\ &= F_{x0}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \\ &\quad + F_{x2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \sin(2 \times \theta_e) + F_{x2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \cos(2 \times \theta_e) \end{aligned}$$

【数２６】

$$\begin{aligned} F_y &= \frac{\partial W}{\partial y} \\ &= F_{y0}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \\ &\quad + F_{y2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \sin(2 \times \theta_e) + F_{y2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \times \cos(2 \times \theta_e) \end{aligned}$$

【００５７】

ここで、Ｗは電動機内部の磁気エネルギー、ｘは偏心方向、ｙは偏心方向の直交方向、添字ｓは正弦成分、ｃは余弦成分を表す。

【００５８】

上式より、偏心方向電磁力Ｆ$_x$の２ｆリップルを低減する２倍角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$を、例えば（数２７）を満たすように求める。

【数２７】

$$\begin{pmatrix} F_{x2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}) \\ F_{x2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００５９】

このように、２倍角ｄ／ｑ軸の２軸の電流指令値を補正することにより、偏心方向電磁力の２ｆリップルを低減することができる。

【００６０】

なお、１相の巻線の中心とラジアル力の加わる方向とが一致した場合、偏心方向と直交電磁力Ｆ$_y$の２ｆ正弦成分及び２ｆ余弦成分は２倍角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$に依らなくなる。

【００６１】
第２の実施の形態によれば、１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないようにした３相２線式電動機３５の２倍角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正するようにしたので、２ｆ電磁力リップルに起因した振動・騒音を低減することができる。
【００６２】
（第３の実施の形態）
図３（ａ）は本発明の第３の実施の形態に係わる２分割巻線式の３相電動機の制御装置の構成図である。この第３の実施の形態は、図１（ａ）に示した第１の実施の形態に対し、２分割巻線式の３相電動機３８を制御対象としたものである。図１と同一要素には同一符号を付し重複する説明は省略する。
【００６３】
２分割巻線式の３相電動機３８は、固定子と回転子とを備え、固定子には３相巻線１２，１３，１４が１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないように巻かれ、図３（ｂ）に示す各相の対向する巻線（ａ，ｂ）は分割されて接続されている。
【００６４】
電流指令補正手段３２は、ｄ／ｑ軸電流指令手段１７からｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}が入力され、回転角検出信号の電気角θ_eに基づいて、２分割巻線式の電動機３８の発生する電磁力リップルを打ち消すように電流指令値を補正する半角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号$dI_{d1/2c}$、$dI_{q1/2c}$を演算する。そして、ｄ／ｑ軸及び半角ｄ／ｑ軸電流指令値を（数２８）により補正する。
【数２８】

$$\begin{pmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \\ I_{d\frac{1}{2}c} \\ I_{q\frac{1}{2}c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dco} \\ I_{qco} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ dI_{d\frac{1}{2}c} \\ dI_{q\frac{1}{2}c} \end{pmatrix}$$

【００６５】
ここで、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、半角ｄ／ｑ軸電流指令値$I_{d1/2c}$、$I_{q1/2c}$は、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dco}、I_{qco}を電流指令補正手段３２で補正した値である。
【００６６】
電流制御手段１９は、電流指令補正手段３２から直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、半角ｄ／ｑ軸電流指令値$I_{d1/2c}$、$I_{q1/2c}$、および電気角θ_eを入力する一方、半３相／４相変換手段３９から電動機３８の出力電流検出信号が入力される。そして、電動機３８に供給される出力電流が、ｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、半角ｄ／ｑ軸電流指令値$I_{d1/2c}$、$I_{q1/2c}$、および電気角θ_eを満たすように駆動手段２３への駆動信号を制御する。
【００６７】
すなわち、電動機３８に供給される各相の出力電流が電流検出手段２０で検出され、半３相／４相変換手段３９に入力される。半３相／４相変換手段３９は、電流検出手段２０から入力する静止座標系において６相で示される電流信号I_{ua}、I_{va}、I_{wa}、I_{ub}、I_{vb}、I_{wb}を、（数２９）により直交回転座標系において４相で示される電流信号I_{df}、I_{qf}、$I_{d1/2f}$、$I_{q1/2f}$に変換する。

【数２９】

$$\begin{pmatrix} I_{qf} \\ I_{qf} \\ I_{d\frac{1}{2}f} \\ I_{q\frac{1}{2}f} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) \\ \cos(\theta_e) & \cos\left(\theta_e - \frac{1\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{3\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{5\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta_e) & -\sin\left(\theta_e - \frac{1\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{3\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{5\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{uaf} \\ I_{vaf} \\ I_{waf} \\ I_{ubf} \\ I_{vbf} \\ I_{wbf} \end{pmatrix}$$

【００６８】

電流制御手段１９では、電流指令補正手段３２で補正されたｄ／ｑ軸電流指令値I_{dc}、I_{qc}、半角ｄ／ｑ軸電流指令値$I_{d1/2c}$、$I_{q1/2c}$と、半３相／４相変換手段３９から出力される４相で示される電流信号I_{df}、I_{qf}、$I_{d1/2f}$、$I_{q1/2f}$との偏差がＰＩコントローラでＰＩ演算（比例積分演算）される。その結果、直交回転座標系におけるｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}および半角ｄ／ｑ軸電圧指令値$V_{d1/2c}$、$V_{q1/2c}$が電流制御手段１９から出力される。

【００６９】

電流制御手段１９から出力されたｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}および半角ｄ／ｑ軸電圧指令値$V_{d1/2c}$、$V_{q1/2c}$は、４相／半３相変換手段４０に入力される。４相／半３相変換手段４０では、ｄ／ｑ軸電圧指令値V_{dc}、V_{qc}および半角ｄ／ｑ軸電圧指令値$V_{d1/2c}$、$V_{q1/2c}$を、電気角θ_eに基づき、（数３０）により６相で示される直交静止座標系の電圧指令値V_{ua}、V_{va}、V_{wa}、V_{ub}、V_{vb}、V_{wb}に変換する。

【数３０】

$$\begin{pmatrix} V_{ua} \\ V_{va} \\ V_{wa} \\ V_{ub} \\ V_{vb} \\ V_{wb} \end{pmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) & \cos(\theta_e) & -\sin(\theta_e) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{1\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{1\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{6\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{3\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{3\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{8\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{10\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_e - \frac{5\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_e - \frac{5\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{dc} \\ V_{qc} \\ V_{d\frac{1}{2}c} \\ V_{q\frac{1}{2}c} \end{pmatrix}$$

【００７０】

ここで、電流指令補正手段３２では、電流指令補正信号$dI_{d1/2c}$、$dI_{q1/2c}$を演算するが、電流指令補正信号$dI_{d1/2c}$、$dI_{q1/2c}$で補正された場合の偏心方向電磁力F_x、偏心方向と９０°ずれた（直交）電磁力F_yは、（数３１）（数３２）のような回転角の定数項、２ｆ正弦成分、２ｆ余弦成分の和となる。

【数３１】

$$F_x = \frac{\partial W}{\partial x} = F_{x0}\left(dI_{d\frac{1}{2}c}, dI_{q\frac{1}{2}c}, x\right) + F_{x2s}\left(dI_{d\frac{1}{2}c}, dI_{q\frac{1}{2}c}, x\right)\times\sin(2\times\theta_e) + F_{x2c}\left(dI_{d\frac{1}{2}c}, dI_{q\frac{1}{2}c}, x\right)\times\cos(2\times\theta_e)$$

【数３２】

$$F_y = \frac{\partial W}{\partial y} = F_{y0}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) + F_{y2s}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\sin(2\times\theta_e) + F_{y2c}(dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\cos(2\times\theta_e)$$

【００７１】

ここで、Ｗは電動機内部の磁気エネルギー、ｘは偏心方向、ｙは偏心方向の直交方向、添字ｓは正弦成分、ｃは余弦成分を表す。

【００７２】

上式より、偏心方向電磁力F_xの２ｆリップルを低減する半角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号$dI_{d1/2c}$、$dI_{q1/2c}$を、例えば（数３３）を満たすように求める。

【数３３】

$$\begin{pmatrix} F_{x2s}\left(dI_{d\frac{1}{2}c}, dI_{q\frac{1}{2}c}\right) \\ F_{x2c}\left(dI_{d\frac{1}{2}c}, dI_{q\frac{1}{2}c}\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００７３】

このように、半角ｄ／ｑ軸の２軸の電流指令値を補正することにより、偏心方向電磁力の２ｆ電磁力リップルを低減することができる。

【００７４】

なお、１相の巻線の中心とラジアル力の加わる方向と一致した場合、偏心方向と直交電磁力F_yの２ｆ正弦成分及び２ｆ余弦成分は半角ｄ／ｑ軸電流指令補正信号$dI_{d1/2c}$、$dI_{q1/2c}$に依らなくなる。

【００７５】

第３の実施の形態によれば、１相の巻線の中心をラジアル力の加わる方向と一致させないようにした２分割巻線式の３相電動機３８の２分割巻線の半角ｄ／ｑ軸電流指令値を補正するようにしたので、２ｆ電磁力リップルによる振動・騒音を低減することができる。

【００７６】

（第４の実施の形態）

図４は本発明の第４の実施の形態に係わる電動機の制御装置の構成図である。この第４の実施の形態は、図１（ａ）に示した第１の実施の形態に対し、パラメータ変更手段４２を設けたものである。図１と同一要素には同一符号を付し重複する説明は省略する。

【００７７】

速度制御系４１は、ｄ／ｑ軸電流指令手段１７及び電流指令補正手段３２に加え、電流指令補正手段３２の電流指令補正のパラメータを変更するパラメータ変更手段４２を備える。パラメータ変更手段４２は、回転角検出信号から回転周波数を計算し、回転周波数により電流指令補正手段３２の電流指令補正のパラメータを変更する。

【００７８】
回転角検出手段１５の回転角検出信号から演算された電気角θ$_e$の時間微分等から回転周波数を計算することができるが、この回転周波数が共振周波数に近い場合に共振して、振動・騒音が大きくなる。
【００７９】
そこで、ｘ方向の共振周波数に近い場合は、偏心方向電磁力Ｆ$_x$の２ｆ電磁力リップルを低減するｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$を、例えば（数３４）を満たすように求める。
【数３４】

$$\begin{pmatrix} F_{x2s}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \\ F_{x2c}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００８０】
また、ｙ方向の共振周波数に近い場合は、偏心方向電磁力Ｆ$_y$の２ｆ電磁力リップルを低減するｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$を、例えば（数３５）を満たすように求める。
【数３５】

$$\begin{pmatrix} F_{y2s}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \\ F_{y2c}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００８１】
また、図５に共振周波数と回転周波数の２ｆ及び４ｆとの関係を示す。同図に示すように、回転数により共振する次数が異なることから、２ｆと共振周波数が近い場合では、偏心方向電磁力Ｆ$_x$の２ｆ電磁力リップルを低減するｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d2c}$、ｄＩ$_{q2c}$を例えば（数３６）を満たすように求める。
【数３６】

$$\begin{pmatrix} F_{x2s}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \\ F_{x2c}\left(dI_{d2c}, dI_{q2c}\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００８２】
また、４ｆと共振周波数が近い場合では、偏心方向電磁力Ｆ$_y$の４ｆ電磁力リップルを低減するｄ４／ｑ４軸電流指令補正信号ｄＩ$_{d4c}$、ｄＩ$_{q4c}$を例えば（数３７）を満たすように求める。
【数３７】

$$\begin{pmatrix} F_{y4s}\left(dI_{d4c}, dI_{q4c}\right) \\ F_{y4c}\left(dI_{d4c}, dI_{q4c}\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００８３】
このように、パラメータ変更手段４２は、６相電動機２４の回転周波数に応じて、偏心方向電磁力の電磁力リップルが低減するように、電流指令補正のパラメータとなる電流指令補正手段３２で演算すべき電流指令補正信号を変更する。
【００８４】
第４の実施の形態によれば、６相電動機２４の回転周波数により、電流指令補正のパラメータを変更するようにしたので、２つの方向（ｘ方向、ｙ方向）の振動・騒音を低減することができ、また次数の異なるリップル（２電磁力ｆリップル、４ｆ電磁力リップル）に起因した振動・騒音を低減することができる。
【００８５】
（第５の実施の形態）

図６は本発明の第５の実施の形態に係わる電動機の制御装置の構成図である。この第５の実施の形態は、図４に示した第４の実施の形態に対し、パラメータ変更手段４２に代えて、電流指令補正手段３２で補正対象とされる電流指令値を高調波成分で補正する高調波電流指令補正手段４４を設けたものである。図４と同一要素には同一符号を付し重複する説明は省略する。

【００８６】

速度制御系４３は、ｄ／ｑ軸電流指令手段１７及び電流指令補正手段３２に加え、例えばｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$を２ｆ高調波成分で補正する高調波電流指令補正手段４４を備える。高調波電流指令補正手段４４は、（数３８）（数３９）によりｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$を２ｆ高調波成分で補正する。

【数３８】

$$\begin{pmatrix} I_{dc} \\ I_{qc} \\ I_{d2c} \\ I_{q2c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{dco} \\ I_{qco} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dI_c \\ 0 \\ dI_{d2c} \\ dI_{q2c} \end{pmatrix}$$

【数３９】

$$dI_{dc} = A_d \times \sin(2\times\theta_e + p_d)$$

【００８７】

ここで、Ａ$_{d}$は補正振幅、ｐ$_{d}$は補正位相を表す。

【００８８】

ｄ／ｑ軸電流指令値Ｉ$_{dc}$、Ｉ$_{qc}$が入力された場合の偏心方向電磁力Ｆ$_{x}$、偏心方向と９０°ずれた（直交）電磁力Ｆ$_{y}$、トルクＴは、（数４０）（数４１）（数４２）のような回転角の定数項、２ｆ正弦成分、２ｆ余弦成分、４ｆ正弦成分、４ｆ余弦成分の和となる。

【数４０】

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\partial W}{\partial x} \\ &= F_{x0}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}x) \\ &\quad + F_{x2s}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}x)\times\sin(2\times\theta_e) \\ &\quad + F_{x2c}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}x)\times\cos(2\times\theta_e) \\ &\quad + F_{x4s}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}x)\times\sin(4\times\theta_e) \\ &\quad + F_{x4c}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}x)\times\cos(4\times\theta_e) \end{aligned}$$

【数４１】

$$\begin{aligned} F_y &= \frac{\partial W}{\partial y} \\ &= F_{y0}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}, x) \\ &\quad + F_{y2s}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\sin(2\times\theta_e) \\ &\quad + F_{y2c}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\cos(2\times\theta_e) \\ &\quad + F_{y4s}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\sin(4\times\theta_e) \\ &\quad + F_{y4c}(A_d, p_d, dI_{d2c}, dI_{q2c}, x)\times\cos(4\times\theta_e) \end{aligned}$$

【数４２】

$$T=\frac{\partial W}{\partial \theta_e}$$
$$=T_0\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)$$
$$+T_{2s}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\times\sin\left(2\times\theta_e\right)$$
$$+T_{2c}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\times\cos\left(2\times\theta_e\right)$$
$$+T_{4s}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\times\sin\left(4\times\theta_e\right)$$
$$+T_{4c}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\times\cos\left(4\times\theta_e\right)$$

【００８９】

ここで、Ｗは電動機内部の磁気エネルギー、ｘは偏心方向、添字ｓは正弦成分、ｃは余弦成分を表す。

【００９０】

上式より、偏心方向電磁力F_x、F_yの２ｆリップルを低減する補正振幅A_d、補正位相p_d、ｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号dI_{d2c}、dI_{q2c}を例えば（数４３）を満たすように求める。

【数４３】

$$\begin{pmatrix}F_{x2s}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\\F_{x2c}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\\F_{y2c}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\\F_{y2c}\left(A_d,p_d,dI_{d2c},dI_{q2c},x\right)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\0\\0\\0\end{pmatrix}$$

【００９１】

このように、ｄ／ｑ軸電流指令補正信号、ｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号を補正することにより、偏心方向及び直交電磁力の２ｆリップルを低減することができる。

【００９２】

第５の実施の形態によれば、６相電動機２４のｄ／ｑ軸電流指令値を高調波で補正するようにしたので、２ｆ電磁力リップルによる振動・騒音を低減することができる。

【００９３】

なお、高調波電流指令補正手段４４では、（数４４）（数４５）（数４６）のように、例えばdI_{d2c}、I_{q2c}を２ｆ高調波成分で補正してもよい。この場合、電磁力の４ｆリップルを低減することができる。

【数４４】

$$\begin{pmatrix}I_{dc}\\I_{qc}\\I_{d2c}\\I_{q2c}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}I_{dco}\\I_{qco}\\0\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\0\\dI_{d2c}\\dI_{q2c}\end{pmatrix}$$

【数４５】

$$dI_{d2c}=dI_{d2co}+A_{d2}\times\sin\left(2\times\theta_e+p_{d2}\right)$$

【数４６】

$$dI_{q2c}=dI_{q2co}$$

【００９４】

ここで、Ａは補正振幅、ｐは補正位相を表す。

【００９５】

電磁力リップルF_x、F_yの２ｆ電磁力リップルを低減する補正振幅Ａ、補正位相ｐ、ｄ２／ｑ２軸電流指令補正信号dI_{d2co}、dI_{q2co}を、例えば（数４７）を満たすように求める。

【数４７】

$$\begin{pmatrix} F_{x4s}\left(A_{q2}, p_{q2}, dI_{d2co}, dI_{q2co}, x\right) \\ F_{x4c}\left(A_{q2}, p_{q2}, dI_{d2co}, dI_{q2co}, x\right) \\ F_{y4s}\left(A_{q2}, p_{q2}, dI_{d2co}, dI_{q2co}, x\right) \\ F_{y4c}\left(A_{q2}, p_{q2}, dI_{d2co}, dI_{q2co}, x\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

【００９６】

なお、上記高調波電流指令補正手段４４を、第２の実施の形態又は第３の実施の形態の電動機の制御装置に備えても良い。

【図面の簡単な説明】

【００９７】

【図１】本発明の第１の実施の形態に係わる電動機の制御装置のシステム構成図。

【図２】本発明の第２の実施の形態に係わる電動機の制御装置のシステム構成図。

【図３】本発明の第３の実施の形態に係わる電動機の制御装置のシステム構成図。

【図４】本発明の第４の実施の形態に係わる電動機の制御装置のシステム構成図。

【図５】共振周波数と回転周波数の２ｆ及び４ｆとの関係を示す説明図。

【図６】本発明の第５の実施の形態に係わる電動機の制御装置のシステム構成図。

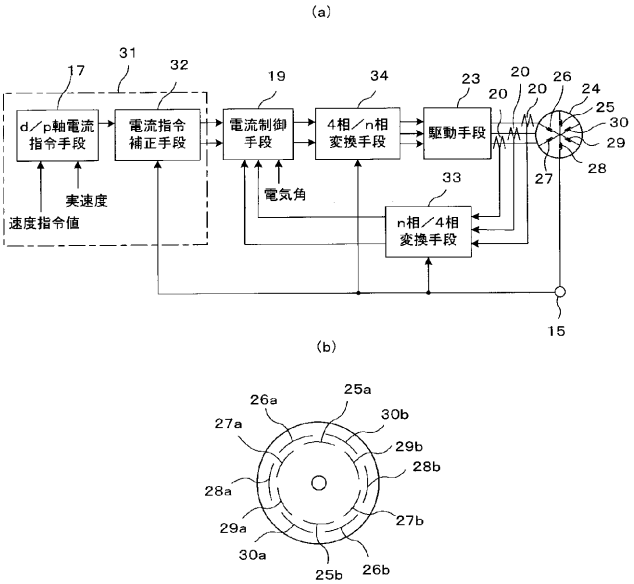
【図７】従来の電動機の制御装置のシステム構成図。

【符号の説明】

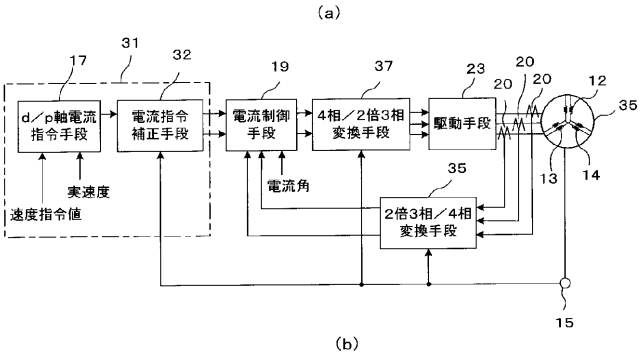
【００９８】

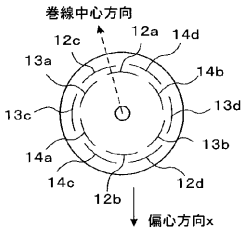
１１…３相電動機、１２～１４…三相巻線、１５…回転角検出手段、１６、３１、４１、４３…速度制御系、１７…ｄ／ｑ軸電流指令手段、１８…ｑ軸電流指令補正手段、１９…電流制御手段、２０…電流検出手段、２１…３相／２相変換手段、２２…２相／３相変換手段、２３……駆動手段、２４…６相電動機、２５～３０…６相巻線、３２…電流指令補正手段、３３…ｎ相／４相変換手段、３４…４相／ｎ相変換手段、３５…３相２線式電動機、３６…２倍３相／４相変換手段、３７…４相／２倍３相変換手段、３８…２分割巻線式の３相電動機、３９…半３相／４相変換手段、４０…４相／半３相変換手段、４２…パラメータ変更手段、４４…高調波電流指令補正手段

【図１】

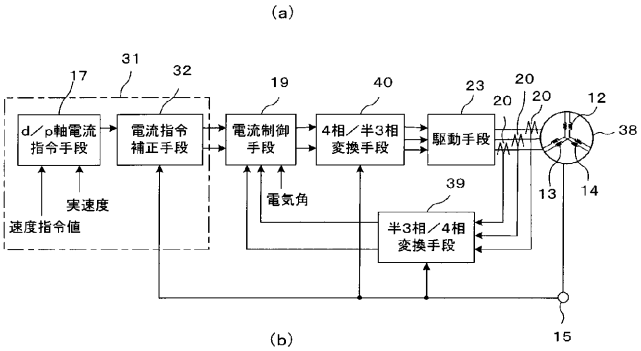


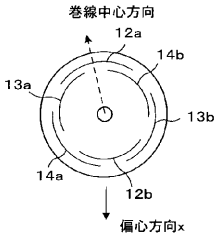
【図２】



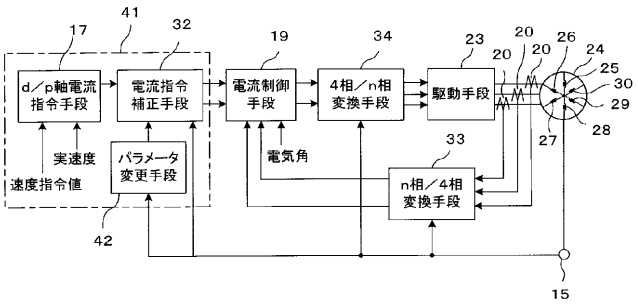


【図３】

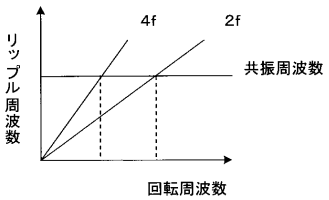




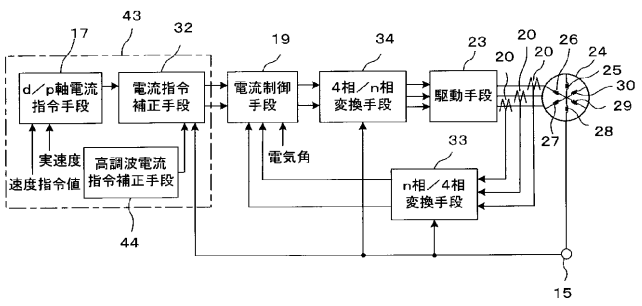
【図４】



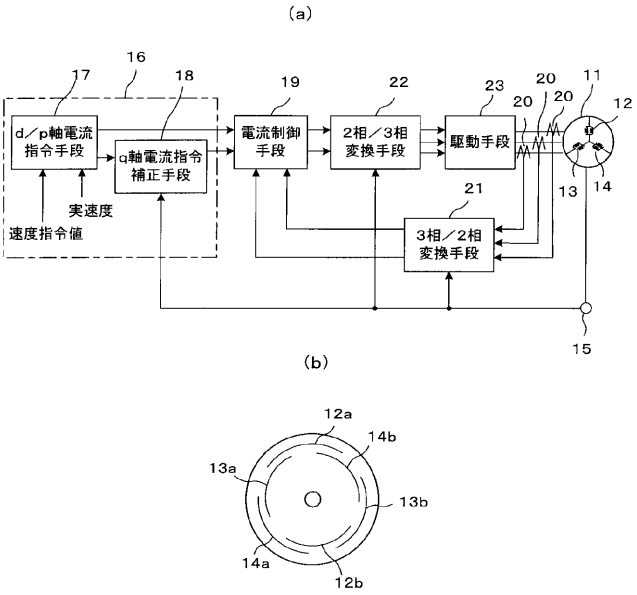
【図５】



【図６】



【図７】


(a)
16
17
18
19
22
23
20
20
20
11
12
d／p軸電流
指令手段
q軸電流指令
補正手段
電流制御
手段
2相／3相
変換手段
駆動手段
実速度
速度指令値
21
3相／2相
変換手段
13
14
15
(b)
12a
14b
13a
13b
14a
12b