

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5160060号
(P5160060)

(45) 発行日 平成25年3月13日(2013.3.13)

(24) 登録日 平成24年12月21日(2012.12.21)

(51) Int.Cl.

HO2P 25/08 (2006.01)

F 1

HO2P 7/00 501

請求項の数 10 外国語出願 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2006-273301 (P2006-273301)
 (22) 出願日 平成18年10月4日 (2006.10.4)
 (65) 公開番号 特開2007-104897 (P2007-104897A)
 (43) 公開日 平成19年4月19日 (2007.4.19)
 審査請求日 平成21年10月2日 (2009.10.2)
 (31) 優先権主張番号 0520178.5
 (32) 優先日 平成17年10月4日 (2005.10.4)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(73) 特許権者 596039176
 ニデック エスアール ドライブス リミテッド
 N i d e c S R D r i v e s L i m i t e d
 イギリス国 エイチジー3 1ピーアール
 ノース ヨークシャー ハロゲイト オツリー ロード イースト パーク ハウス(番地なし)
 E a s t P a r k H o u s e, O t t l e y R o a d, H a r r o g a t e, N o r t h Y o r k s h i r e H G 3 1 P R, E n g l a n d

(74) 代理人 100075812
 弁理士 吉武 賢次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電気機械におけるロータ位置検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロータと、ロータ位置トランステューサと、前記ロータ位置トランステューサから信号を受けるように構成されるとともに、前記信号或いはロータ位置検出アルゴリズムのいずれかからロータ位置情報を得るように動作可能な制御手段と、を備え、

前記制御手段は、機械の速度の上限範囲においては前記信号からロータ位置情報を得るとともに、機械の速度の下限範囲においては前記ロータ位置検出アルゴリズムのみからロータ位置情報を得るように動作可能となつており、

前記機械は、可変リラクタンスマシンであり、

前記ロータ位置トランステューサは、前記ロータの動きに反応して前記可変リラクタンスマシンの単一の相における前記ロータ位置を示す前記信号を生成する単一のセンサを備えている電気機械システム。

【請求項 2】

前記機械が少なくとも2つの相を有し、前記制御手段は、機械の速度の上限範囲においては前記信号からロータ位置情報を得るとともに、機械の速度の下限範囲においては少なくとも1つの相に関して前記信号からロータ位置情報を得ると同時に前記機械の残りの相に関して前記ロータ位置検出アルゴリズムからロータ位置情報を得るように動作可能となつてている請求項1記載のシステム。

【請求項 3】

前記速度の範囲が部分的にオーバラップしている請求項1または2記載のシステム。

【請求項 4】

前記機械の前記单一の相を除き、相電流を感知するために各相に関連して電流センサが設けられている請求項1記載のシステム。

【請求項 5】

前記制御手段は、高速範囲において前記位置検出アルゴリズムからの信号からロータ位置情報を得ることができないプロセッサ手段を含んでいる請求項1乃至4のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 6】

ロータと、ロータ位置トランスデューサと、前記ロータ位置トランスデューサから信号を受けるとともに、前記信号あるいはロータ位置検出アルゴリズムのいずれかからロータ位置情報を得る制御手段とを備え、前記制御手段は、機械の速度の上限範囲においては前記信号からロータ位置情報を得るとともに、機械の速度の下限範囲においては前記ロータ位置検出アルゴリズムのみからロータ位置情報を得るように動作可能となっており、前記機械は、可変リラクタンスマシンであり、前記ロータ位置トランスデューサは、前記ロータの動きに反応して前記可変リラクタンスマシンの单一の相における前記ロータ位置を示す前記信号を生成する单一のセンサを備えている電気機械システムにおいてロータ位置情報を得る方法。10

【請求項 7】

前記機械が少なくとも2つの相を有し、前記制御手段は、機械の速度の上限範囲においては前記信号からロータ位置情報を得るとともに、機械の速度の下限範囲においては少なくとも1つの相に関して前記信号からロータ位置情報を得ると同時に機械の残りの相に関して前記ロータ位置検出アルゴリズムからロータ位置情報を得るようになっている請求項6記載の方法。20

【請求項 8】

前記速度の範囲が部分的にオーバラップしている請求項6または7記載の方法。

【請求項 9】

前記機械の前記单一の相を除き、相電流を感知するために各相に関連して電流センサが設けられている請求項6記載の方法。

【請求項 10】

前記制御手段は、前記高速範囲において前記位置検出アルゴリズムからの信号から前記ロータ位置情報を得ることができないプロセッサ手段を含んでいる請求項6乃至9のいずれか一項に記載の方法。30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気機械、特に切換式リラクタンスマシンにおけるロータ位置の検出に関する。

【背景技術】

【0002】

切換式リラクタンスマシンの一般的な処理は、様々な教科書、例えば参考することにより本願に組み込まれるTJE Millerによる「Electronic Control of Switched Reluctance Machines」(Newnes, 2001年)において見出すことができる。これらのシステムの制御および動作の更なる内容は、ドイツのニュルンベルクで開催されたPCIM '93会議・展示会において配布され且つ参考することにより本願に組み込まれるJ. M. StephensonおよびR. J. Blakeによる論文「The Characteristics, Design and Applications of Switched Reluctance Motors and Drives」(21 - 24頁、1993年6月)に記載されている。この論文には、低速および高速のそれぞれにおける機械の動作に関して、切換式リラクタンスマシンの給電の「ショッピング」モードおよび「単一パルス」モードが記載されている。

【0003】

10

20

30

40

50

一般的な従来技術のドライブが図 1 に概略的に示されている。このドライブは、例えばバッテリあるいは整流されてフィルタ処理された AC コンセント電源であっても良い DC 電源 11 を有している。電源 11 により供給される DC 電圧は、電子制御ユニット 14 の制御下で、電力変換器 13 によりモータ 12 の相巻線 16 間で切り換えられる。多くの既知の変換器の形態のうちの 1 つが図 2 に示されている。この図において、機械の相巻線 16 は、バスバー 26, 27 間で 2 つの切り換えデバイス 21, 22 と直列に接続されている。バスバー 26, 27 については変換器の「DC リンク」として集合的に説明されている。スイッチ 21, 22 が開かれたときに巻線電流を元の DC リンクに流すことができるよう、巻線にはエネルギー回収ダイオード 23, 24 が接続されている。電源から引き出すことができない或いは電源に戻すことができない DC リンク電流（いわゆる「リップル電流」）の任意の交流成分を調達し或いは投入するため、DC リンク間には「DC リンクコンデンサ」として知られるコンデンサ 25 が接続されている。実際の問題として、コンデンサ 25 は、直列および / または並列に接続される幾つかのコンデンサを備えていても良い。並列接続が使用される場合、素子の一部が変換器の全体にわたって分布されても良い。電流フィードバック信号を供給するために、下側スイッチ 22 と直列にレジスタ 28 を接続することができる。多相システムは、一般に、電気機械の相に給電するため、並列に接続された図 2 の幾つかの「相レッグ (phase leg)」を使用する。

【0004】

切換式リラクタンス機械の性能は、ロータ位置に対する相給電の正確なタイミングに大きく依存している。ロータ位置の検出は、従来、図 1 に概略的に示されるトランスデューサ 15、例えば機械ロータ上に装着され且つステータ上に装着された光センサ、磁気センサあるいは他のセンサの組と協働する回転歯付きディスクを使用して行なわれる。図 3 は、4 極ロータを使用する 3 相システムにおける一般的な構成を示している。ステータに対するロータ位置を示す信号は、図 4 に示されるように各センサによって生成される。これらの信号は、正確な相給電を行なえるように、図示のように組み合わされて制御回路へ供給されても良い。米国特許第 5 6 5 2 4 9 4 号 (Sugden) 明細書には、これらの信号を使用してデジタルランプをトリガし、それにより給電および給電停止の正確な瞬間を決定できる方法が開示されている。このシステムは、簡単であり、ロータ速度が十分に高い場合には多くの用途でうまく機能する。しかしながら、各相毎に 1 つのセンサが必要であることから、ディスクの周囲の正確な場所に各センサを位置決めするための空間を見つけなければならず、そのため、小型システムの機械的レイアウトおよび設計が複雑になる可能性があり、また、余計な費用をかけなければ、センサを小型化することができない。この構成の他の欠点は、角度分解能が限られており、それにより低速でトルクリップルが生成されてしまうという点である。

【0005】

ロータ位置トランスデューサ（「rpt」）を省いて、ソフトウェアコントローラで実行する位置検出アルゴリズムを使用するための様々な方法が提案してきた。これらの方法のうちの幾つかは、参照することにより本願に組み込まれ且つ欧州パワーエレクトロニクス会議（英国、ブライトン、1993 年 9 月 13 から 16 日）の議事録で発表された W F Ray および I H Al-Bahadly による「Sensorless Methods for Determining the Rotor Position of Switched Reluctance Motors」（第 6 刊、第 7 頁 - 第 13 頁）において概説されている。これらの方法の多くは、相磁束鎖交（すなわち、印加電圧を時間に関して積分したもの）および 1 つ以上の相における電流（例えば、図 1 の電流トランスデューサ 18 から得られる）の測定値を使用する。位置は、角度および電流に応じた機械（マシン）のインダクタンスの変化の知識を使用することにより計算される。この特性は、磁束鎖交 / 角度 / 電流テーブルとして記憶することができ、図 5 に図式的に示されている。このデータの記憶は、大きなメモリアレイの使用を伴いおよび / または記憶点間でデータを補間するために更なるシステムオーバヘッドを使用する必要があるため不都合である。

【0006】

一部の方法は、「チョッピング」電流制御が、生み出されたトルクを変えるための支配

10

20

30

40

50

的な制御方法である場合、このデータを低速で利用する。これらの方法は、通常、トルクを生成しない相において診断パルスを使用する。低速動作に適する方法は、参考することにより本願に組み込まれ且つ欧州パワーエレクトロニクス会議（イタリア、フィレンツエ、1991年）の議事録で発表された N. M. Mvungi および J. M. Stephenson による「Accurate Sensorless Rotor Position Detection in an S R Motor」（第1刊、第390頁 - 第393頁）において提案された方法である。

【0007】

他の方法は、高速において「単一パルス」給電モードで動作する。これらの方法は、通常の動作を妨げることなく、アクティブ相の作動電圧および電流を監視する。典型的な高速方法は、参考することにより本願に組み込まれる国際公開第91/02401号パンフレットに記載されている。10

【0008】

ロータ位置トランスデューサ無しで動作させるためにマシンデータの2次元配列を記憶しなければならないことは、明らかな欠点である。大部分の角度基準情報の必要性を回避し、代わりに1つの角度だけでデータを記憶する他の方法が提案された。そのような方法の1つは、参考することにより本願に組み込まれる欧州特許公開第0573198号（Ray）明細書に記載されている。この方法は、計算された所望の点からの偏差にしたがって診断点を調整することにより所定の角度で相磁束鎖交および電流を感知することを目的としている。磁束鎖交は、相に印加された電圧の測定値を（時間に関して）積分することにより評価される。好ましい実施形態では2つの1次元テーブルが記憶される。この場合、一方のテーブルは、所定の基準ロータ角度における磁束鎖交と電流との間の関係に関するものであり、他方のテーブルは、ロータ角度に関する磁束鎖交の微分と電流との間の関係に関するものである。相の電圧および電流を監視することにより、ルックアップテーブルを用いて予測基準角度からの偏差を評価することができ、また、それに応じてシステム動作を調整することができる。20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

この方法は、位置検出アルゴリズムにより必要とされるときにはいつでも磁束鎖交を十分な精度をもって決定できる場合には、信頼できることが分かってきた。磁束鎖交積分器のドリフト（システムにおける望ましくないノイズおよび積分器の欠陥に起因する）を回避するため、電流がゼロまで低下し且つ相巻線がもはや磁束を何ら鎖交させていない場合には、各伝導サイクルの最後にそれがゼロに設定される。この方法は、ロータが基準位置にいる時期を最初に予測し、基準位置に達したと思われるときにマシンのパラメータを測定し、これらの測定結果を使用して予測の誤りを検出し、したがって次の基準位置のための新たな予測を採用することにより修正措置を講じるという点で「予測器／修正器」方法である。30

【0010】

現在、そのような方法はごく普通に使用されるが、これらの方法は、一般に、通常はマイクロプロセッサまたはデジタル信号プロセッサにより与えられるコントローラの処理能力をかなり必要とする。そのような能力を与えるコストは、多くの場合、コントローラの部品コストのかなりの部分である。なぜなら、最高動作速度で計算を処理するためのサイクル時間は、機械のインダクタンス周期を行き来するために要する時間よりもかなり短くなければならないからである。したがって、高速で且つ高価なプロセッサが使用されなければ、プロセッサの速度がドライブの最高速度を制限する場合がある。40

【課題を解決するための手段】

【0011】

したがって、幅広い速度範囲にわたって動作可能な電気ドライブのためのロータ位置検出を行なう費用効率が高い方法が必要である。

【0012】

10

20

30

40

50

本発明は添付の独立請求項に規定されている。幾つかの好ましい特徴が従属請求項に記載されている。

【0013】

本発明の実施形態は、ロータと、ロータ位置トランスデューサと、前記ロータ位置トランスデューサから信号を受けるようになっているとともに、前記信号或いはロータ位置検出アルゴリズムのいずれかからロータ位置情報を得るように動作可能な制御手段とを備えている電気機械システムを提供する。

【0014】

本発明は、ハードウェアおよびソフトウェアのそれぞれで表わされる2つのロータ位置検出技術の有利な組み合わせである。ロータ位置検出アルゴリズムだけが専ら使用された場合に必要とされる処理電力と比べて大幅な節約を行なうことができる。

10

【0015】

ハードウェアロータ位置トランスデューサの役割およびソフトウェア位置検出アルゴリズムの役割は、機械の上限速度範囲と下限速度範囲との間でそれぞれ分けられることが好ましい。しかしながら、本発明の更なる形態は、低速範囲における役割を多相機械の相間で分ける。この技術により、ロータ位置トランスデューサを1つの相のみに関して専ら使用することができ、それにより、その相において電流トランスデューサを排除できる。

【0016】

本発明の実施形態は、制御手段においてグレードが比較的低いプロセッサを使用する。その理由は、プロセッサに関する需要を低速に制限できるからである。これは、プロセッサの能力が信頼できない場合に $r_p t$ が排他的なロータ位置検出の役割を引き継ぐようになっているため、高いロータ速度で以前に必要とされた程度の処理速度をもはや与える必要がないことから可能となる。

20

【0017】

本発明は多くの方法で実現することができ、ここでは、そのうちの一部について添付図面を参照しながら一例として説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

切換式リラクタンス機械の相インダクタンスサイクルは、ステータ極および関連するそれぞれのロータ極が完全に位置合わせされるときのその相または各相における例えば最大値間のインダクタンス変動の周期である。説明される図示の実施形態は、モータリングモードで3相切換式リラクタンスドライブを使用するが、モータリングモードまたは発電モードのいずれかにおけるドライブに関して、3相よりも多い任意の相数を使用することができる。

30

【0019】

図6は、本発明の一態様を具現化する切換式リラクタンスドライブを示している。このドライブは、図1に示されるドライブを発展させたものであり、同様の部品が同様の数字で示されている。コントローラ14'は、モータ12の速度範囲の一部にわたって動作できる位置検出アルゴリズムに専用の部分62を有している。部分62内に組み込まれたプロセッサは、低コストバージョンであり、モータ12の速度範囲の上端でロータ位置を決定するために十分に高速で動作できない。位置検出アルゴリズムに加え、ドライブは、図7に更に詳しく略示されるハードウェアロータ位置トランスデューサ60を有している。トランスデューサは、羽根72の周囲にわたって特徴的構成の4つの組（マシンの4つのロータ極に対応している）を有しているという点で図3に示されるトランスデューサと基本的に類似しているが、特徴の動きに反応する光センサまたは磁気センサ70（スイッチの形態を成す）を1つだけ有している。従来技術の構成と比べてセンサの数が減少しているため、部品コストおよびトランスデューサを収容するために必要なスペースの両方が節約される。センサは、ロータ角度の基部にプロットされる図8に示されるような出力を有している。

40

【0020】

50

図 7 のトランステューサからの信号は、マシンにおける 3 つの相のうちの 1 つを制御するための十分な情報を含んでいるが、他の 2 つの相に関する情報を全く有していない。機械が未知の位置から始動している場合、正しい相に給電してフルトルクを生み出すことができるようになるには情報が不十分である。同じ問題は、ロータ速度が比較的低く或いは急速に変化している場合に存在する。- 高加速または高減速下では、トランステューサ出力の半サイクル内で非常に著しい速度変化が起こる可能性があり、それにより、間違った切り換え角度が相に対して適用されてしまう。

【 0 0 2 1 】

しかしながら、比較的高い速度では、ロータおよび任意の密結合負荷の蓄積エネルギーが速度の突然の変化を防止し、その結果、トランステューサ波形の周期内で補間して、他の相に関する波形における予想開始点を見つけることができる。そのため、速度が十分に高い場合には、図 3 に示されるトランステューサ出力に対応する全ての組のトランステューサ出力を合成することができる。前述したように、米国特許第 5 6 5 2 4 9 4 号 (S u g d e n) 明細書に開示されるようなシステムは、相のための正しい切り換え角度を決定するためには使用できる。

【 0 0 2 2 】

図 6 のドライブの動作方法では、ゼロ速度および比較的低い速度（一実施形態においては、ドライブの速度範囲の最大で半分までの速度）において、ロータ位置が位置検出アルゴリズムによって決定される。このアルゴリズムは、随意的に、トルクリップルを最小にするためのトルク平滑化アルゴリズムを組み入れることができる。コントローラのプロセッサがインダクタンス周期内で必要な動作の全てを殆ど実行できない場合の機械の速度に関連する所定の閾値へと速度が上昇すると、コントローラは、ハードウェアロータ位置検出方法の結果とソフトウェアロータ位置検出方法の結果との間で比較を行なうことにより、ハードウェアトランステューサが信頼できるロータ位置情報を供給していることをチェックする。比較により、許容できる限度内で一致する結果が生じる場合、コントローラは、使用しているハードウェア位置検出だけへと切り換える。速度が最高速度へと上昇するにつれて、ソフトウェア検出器からの位置情報は益々信頼できなくなるが、ロータ位置検出のための役割が $r_p t$ に預けられる場合、それは重大なことではない。その後に速度が下降して閾値を過ぎると、コントローラは、ソフトウェア検出器からの使用している位置情報へと戻る。

【 0 0 2 3 】

更なる実施形態においては、2 つのロータ位置検出技術における速度範囲が重なり合うように、閾値に関してヒステリシスが導入される。これより、2 つのモード間でのコントローラのチャタリングが回避される。図 9 は、ロータ位置検出技術を実施するために使用される制御動作の適した状態チャート図を示している。このように、コントローラは、2 つのタイプの検出器を一緒に融合させ、許容できる正確な情報を検出器が生成する速度範囲においてそれぞれの検出器を使用する。

【 0 0 2 4 】

可変速度ドライブシステムにおいてハードウェア位置検出およびソフトウェア位置検出の両方を行なうことは直観で分かるものではない。しかしながら、低速範囲用の低コストプロセッサを用いたソフトウェア検出、および、更に高い速度範囲のための単一のセンサを用いたハードウェア検出を使用することにより、本発明の実施形態は、従来技術のシステムよりも低いコストで、優れた性能をもってドライブを行なう。

【 0 0 2 5 】

1 つの相におけるハードウェア $r_p t$ の存在により、その相のための $r_p t$ から位置検出が可能となり、したがって、その相のための電流センサを排除できるという事実をうまく利用することにより、更にコストを節約できる。これは、低速範囲でマシンサイクルにおいてハードウェアまたはソフトウェアのいずれかがロータ位置検出を担う本発明のハイブリッド形態である。例えば、3 相システムは、1 つの相（例えば相 A）に関連付けられたハードウェア $r_p t$ と、他の 2 つの相（例えば相 B および相 C）に関連し且つこれらの

10

20

30

40

50

2つの相のためのソフトウェア位置検出アルゴリズムに対して情報を供給する電流センサとを有している。機械の始動および低速駆動は、異なる相に関するハードウェアシステムおよびソフトウェアシステムの両方からの情報を使用する。コントローラのプロセッサがうまく処理できない高速において、 $r p t$ の出力は、前述したように他の相に関して多重化される。当業者であれば分かるように、相数の高いシステムでは、ハードウェア検出器およびソフトウェア検出器の異なる組み合わせが可能である。

【0026】

以上の説明は、切換式リラクタンス機械に基づくドライブを基本としてきたが、本発明がこのタイプの機械に限定されず、ハードウェア位置検出またはソフトウェア位置検出を伴って作動できる任意の電気ドライブ、例えば誘導機械、同期機械または永久磁石機械に基づくドライブに対して同等の利益をもって本発明を適用できることは言うまでもない。

10

【0027】

また、当業者であれば分かるように、本発明から逸脱することなく、特にコントローラにおけるアルゴリズムの実施の内容において、開示された構成の変形も可能である。したがって、幾つかの実施形態に関する前述した説明は、単なる一例であり、限定を目的としたものではない。当業者であれば明らかなように、前述した動作に対して著しい変更を行なうことなく、ドライブに対して軽微な変更を行なうことができる。例えば、方法は、リニア機械および回転機械に対して適用されても良い。本発明は、以下の請求項の範囲によつてのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

20

【0028】

【図1】典型的な従来技術の切換式リラクタンスドライブを示している。

【図2】図1の変換器の1つの相の既知の形態を示している。

【図3】3相4極システムにおける従来の位置トランスデューサを示している。

【図4】図3のトランスデューサからの出力を示している。

【図5】ロータ位置をパラメータとした典型的な磁束鎖交および相電流曲線を示している。

【図6】本発明の一態様を組み込んだドライブシステムを示している。

【図7】本発明と共に使用するのに適した位置トランスデューサを示している。

【図8】図7のトランスデューサからの出力を示している。

30

【図9】本発明の一態様の状態チャート図を示している。

【符号の説明】

【0029】

1 1 電源

1 2 モータ

1 3 電力変換器

1 4 コントローラ

1 4' コントローラ

1 6 相巻線

1 9 負荷

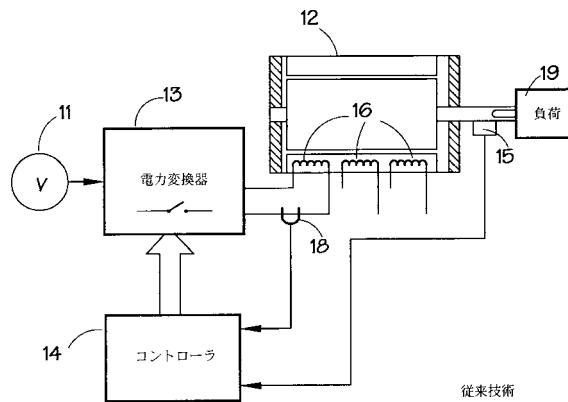
6 0 ハードウェアロータ位置検出トランスデューサ

7 0 センサ

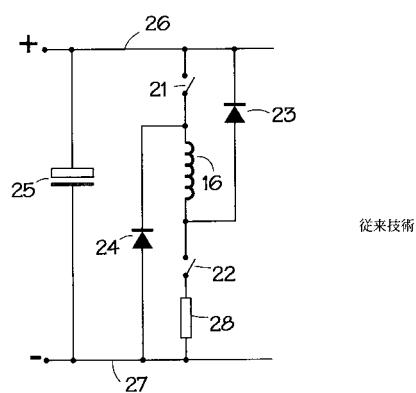
7 2 羽根

40

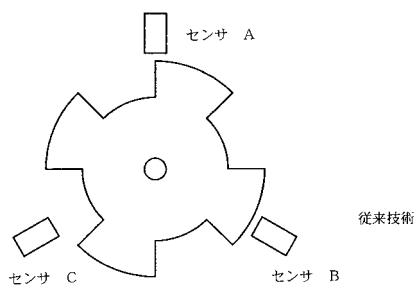
【図1】



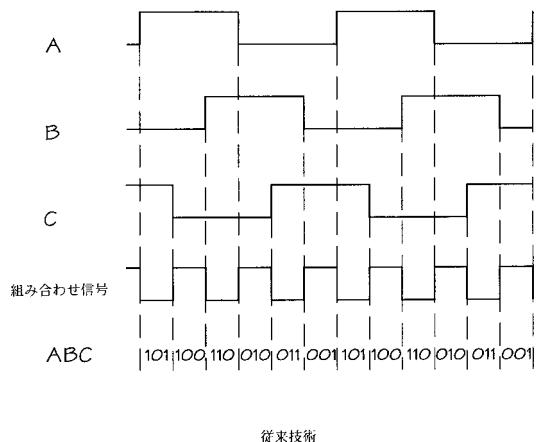
【図2】



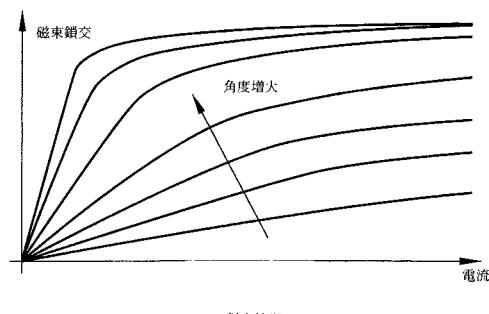
【図3】



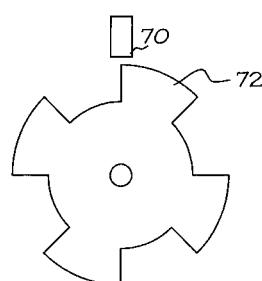
【図4】



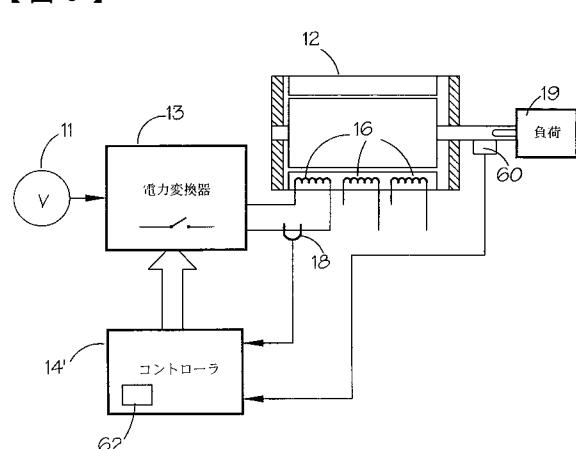
【図5】



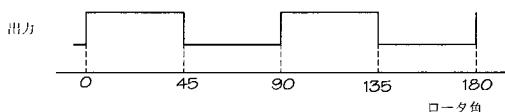
【図7】



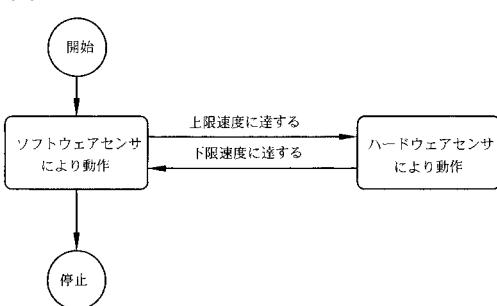
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(74)代理人 10008889
弁理士 橘谷 英俊
(74)代理人 100082991
弁理士 佐藤 泰和
(74)代理人 100096921
弁理士 吉元 弘
(74)代理人 100103263
弁理士 川崎 康
(72)発明者 マイケル、レオ、マクレランド
イギリス国リーズ、カルバリー、ソーンヒル、ストリート、75

審査官 尾家 英樹

(56)参考文献 特開2005-318724(JP, A)
特開2004-112939(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 4/00 - 8/42
H02P 21/00 - 31/00