

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5626306号
(P5626306)

(45) 発行日 平成26年11月19日(2014.11.19)

(24) 登録日 平成26年10月10日(2014.10.10)

(51) Int. Cl. F I
 H O 2 P 21/00 (2006.01) H O 2 P 5/408 A
 H O 2 P 27/04 (2006.01)

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-224373 (P2012-224373)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成24年10月9日(2012.10.9)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2014-79057 (P2014-79057A)	(74) 代理人	110001210 特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(43) 公開日	平成26年5月1日(2014.5.1)	(72) 発明者	山田 英治 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
審査請求日	平成26年1月27日(2014.1.27)	(72) 発明者	平本 健二 愛知県長久手市横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内
		審査官	宮崎 基樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転磁界を発生するステータと、前記ステータに対向配置され、ロータスロットを通過してロータコアに巻装されたロータコイルと、前記ロータコイルに接続されロータコイル電流を一方向に整流する整流部とを有し、前記各ロータコイル電流によってロータ突極が周方向に交互に異なる極性となるロータとを含む回転電機と、

前記回転磁界を発生させる電流ベクトルに電流パルスを重畳させる制御装置とを備え、前記制御装置は、

前記電流パルス重畳前の第1電流ベクトルと、

前記第1電流ベクトルから所定の増加分でd軸電流を増加させ所定の減少分でq軸電流を減少させた第2電流ベクトルとを設定し、

前記電流ベクトルとd軸正方向との間での位相を電流位相として、

前記第1電流ベクトルの第1電流位相と前記第2電流ベクトルの第2電流位相との間にリラクタンストルク最大となる電流位相があるときに、

前記第1電流位相と前記第2電流位相との間の中間位相を有する中間電流ベクトルであって、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ一直線状にベクトル軌跡を変化させる場合の前記中間位相での仮想電流ベクトルよりも大きい前記中間電流ベクトルを設定し、

前記電流ベクトルを、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ変化させ、さらに前記第2電流ベクトルから前記第1電流ベクトルに戻した場合に、前記第1電流ベク

10

20

トルから前記第 2 電流ベクトルへの変化中及び前記第 2 電流ベクトルから前記第 1 電流ベクトルへの変化中の少なくとも一方で、前記電流ベクトルを前記中間電流ベクトルに変化させることで前記電流パルスを生成することを特徴とする回転電機制御システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の回転電機制御システムにおいて、

前記第 1 電流ベクトル及び前記第 2 電流ベクトルの終点は、共通の電流制御円上に設定され、

前記中間電流ベクトルの終点は、前記電流制御円上、または前記電流制御円の内側で、前記第 1 電流ベクトルから前記第 2 電流ベクトルへ一直線状に変化する仮想ベクトル軌跡よりも原点に対し反対側の領域に設定されることを特徴とする回転電機制御システム。 10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

前記中間電流ベクトルは、リラクタンストルク最大となる電流位相を有し、前記中間電流ベクトルの前記終点は前記電流制御円上に設定されることを特徴とする回転電機制御システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の回転電機制御システムにおいて、

前記第 1 電流ベクトルの終点は第 1 電流制御円上に設定され、

前記第 2 電流ベクトルの終点は前記第 1 電流制御円よりも大きい第 2 電流制御円上に設定され、 20

前記中間電流ベクトルの終点は、前記第 2 電流制御円上、または前記第 2 電流制御円の内側で、前記第 1 電流ベクトルから前記第 2 電流ベクトルへ一直線状に変化する仮想ベクトル軌跡よりも原点に対し反対側の領域に設定されることを特徴とする回転電機制御システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の回転電機制御システムにおいて、

前記中間電流ベクトルは、リラクタンストルク最大となる電流位相を有し、前記中間電流ベクトルの終点は前記第 2 電流制御円上に設定されることを特徴とする回転電機制御システム。

【発明の詳細な説明】 30

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御システムに関し、特に電流ベクトルに電流パルスを重畳させる場合の制御に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、回転磁界を発生させるステータと、ステータに対向して回転するロータとを備え、ロータはロータコイルとロータコイルに選択された極性で短絡されるダイオードとを含む電磁石型回転電機の制御装置が記載されている。この制御装置では、所定条件成立時にステータコイルに流れるステータ電流に電流パルスを重畳させる。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2011 - 41433 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 に記載された回転電機において、ステータ電流に電流パルスを重畳させる方法として、回転磁界を発生させる電流ベクトルの d 軸電流に増大してから減少する d 軸パルスを重畳させ、電流ベクトルの q 軸電流に減少してから増大する q 軸パルスを重畳させ 50

ることが考えられる。この構成によれば、電流パルスの重畳時に過度にステータ電流を大きくすることなく、電流パルス重畳後のロータトルクの向上を図れるが、電流パルス重畳中のロータトルクの向上を図る面からは改良の余地がある。

【0005】

本発明の目的は、回転電機制御システムにおいて、回転磁界を発生させる電流ベクトルへの電流パルス重畳中のロータトルクの向上を図ることである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る回転電機制御システムは、回転磁界を発生するステータと、前記ステータに対向配置され、ロータスロットを通してロータコアに巻装されたロータコイルと、前記ロータコイルに接続されロータコイル電流を一方向に整流する整流部とを有し、前記各ロータコイル電流によってロータ突極が周方向に交互に異なる極性となるロータを含む回転電機と、前記回転磁界を発生させる電流ベクトルに電流パルスを重畳させる制御装置とを備え、前記制御装置は、前記電流パルス重畳前の第1電流ベクトルと、前記第1電流ベクトルから所定の増加分でd軸電流を増加させ所定の減少分でq軸電流を減少させた第2電流ベクトルとを設定し、前記電流ベクトルとd軸正方向との間での位相を電流位相として、前記第1電流ベクトルの第1電流位相と前記第2電流ベクトルの第2電流位相との間にリラクタンストルク最大となる電流位相があるときに、前記第1電流位相と前記第2電流位相との間の中間位相を有する中間電流ベクトルであって、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ一直線状にベクトル軌跡を変化させる場合の前記中間位相での仮想電流ベクトルよりも大きい前記中間電流ベクトルを設定し、前記電流ベクトルを、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ変化させ、さらに前記第2電流ベクトルから前記第1電流ベクトルに戻した場合に、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへの変化中及び前記第2電流ベクトルから前記第1電流ベクトルの変化中への少なくとも一方で、前記電流ベクトルを前記中間電流ベクトルに変化させることで前記電流パルスを生成することを特徴とする。

【0007】

本発明に係る回転電機制御システムにおいて、好ましくは、前記第1電流ベクトル及び前記第2電流ベクトルの終点は、共通の電流制御円上に設定され、前記中間電流ベクトルの終点は、前記電流制御円上、または前記電流制御円の内側で、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ一直線状に変化する仮想ベクトル軌跡よりも原点に対し反対側の領域に設定される。

【0008】

本発明に係る回転電機制御システムにおいて、好ましくは、前記中間電流ベクトルは、リラクタンストルク最大となる電流位相を有し、前記中間電流ベクトルの前記終点は前記電流制御円上に設定される。

【0009】

本発明に係る回転電機制御システムにおいて、好ましくは、前記第1電流ベクトルの終点は第1電流制御円上に設定され、前記第2電流ベクトルの終点は前記第1電流制御円よりも大きい第2電流制御円上に設定され、前記中間電流ベクトルの終点は、前記第2電流制御円上、または前記第2電流制御円の内側で、前記第1電流ベクトルから前記第2電流ベクトルへ一直線状に変化する仮想ベクトル軌跡よりも原点に対し反対側の領域に設定される。

【0010】

本発明に係る回転電機制御システムにおいて、好ましくは、前記中間電流ベクトルは、リラクタンストルク最大となる電流位相を有し、前記中間電流ベクトルの終点は前記第2電流制御円上に設定される。

【発明の効果】

【0011】

本発明の回転電機制御システムによれば、回転磁界を発生させる電流ベクトルへの電流

10

20

30

40

50

パルス重畳中に中間電流ベクトルに変化することでリラクタンストルクが大きくなる。このため、電流パルス重畳中のロータトルクの向上を図れる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施形態の回転電機制御システムにおいて、回転電機の周方向一部の断面と回転電機駆動部の構成とを示す図である。

【図2】図1に示した制御装置の機能ブロック図である。

【図3】本発明の実施形態において、 d q 座標系を用いて、電流パルス重畳時の電流ベクトルの変化を示す図である。

【図4】本発明の実施形態において、電流パルス重畳時の d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q と、ロータトルク T_r との時間的変化の1例を示す図である。

【図5】ロータ突極が1つのステータ突極に対しリラクタンストルク最大となる位相でずれた場合の回転電機の周方向一部の模式図である。

【図6】本発明の実施形態において、回転電機のリラクタンストルクと電流ベクトルの電流位相との関係を示す図である。

【図7】本発明の別の実施形態において、図3に対応する図である。

【図8】本発明の別の実施形態において、図4に対応する図である。

【図9】回転電機の別例において、ロータの周方向一部で、ロータコイルにダイオードを接続して示す回路実装図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態を、図面を用いて説明する。以下では、回転電機がモータジェネレータとしての機能を有し、ハイブリッド車両の駆動源として使用される場合を説明するが、これは例示であって、電気自動車等の他の電動車両の駆動源として使用されてもよい。また、回転電機は、単なる電動モータまたは単なる発電機の機能を持つ構成としてもよい。また、以下ではすべての図面において同様の要素には同一の符号を付して説明する。

【0014】

図1は、本実施形態の回転電機制御システム10を示す図であって、回転電機12の周方向一部の断面と回転電機駆動部14の構成とを示す図である。回転電機制御システム10は、回転電機12と、回転電機駆動部14とを備える。回転電機12は、図示しないハイブリッド車両の駆動輪を駆動するモータとしての機能を有するとともに、駆動輪の回生制動によって発電する発電機としての機能を有するモータジェネレータとしての機能を有する。

【0015】

回転電機12は、図示しないケースに固定されたステータ16と、ステータ16に対向配置され、回転するロータ18とを備える。ステータ16は、ステータコア20と、ステータコア20の突極に巻回された u 相、 v 相、 w 相の3相のステータコイル22 u 、22 v 、22 w とを含む。ステータコア20は、電磁鋼板等の金属板の積層体等の磁性材料により形成される。ステータコア20は、周方向に複数の等間隔位置に、ロータ18へ向けて径方向内側へ突出して設けられた複数のステータ突極24と、各ステータ突極24の間に形成されたスロット26とを含む。なお、「径方向」という場合、ロータ18の回転中心軸に対し直交する放射方向をいう。また、「周方向」という場合、ロータ18の回転中心軸を中心とするロータ円周方向をいう。また、「軸方向」という場合、ロータ18の軸方向をいう。

【0016】

ステータコイル22 u 、22 v 、22 w は、スロット26を通過して各ステータ突極24にそれぞれ集中巻きで巻回される。ステータコイル22 u 、22 v 、22 w に3相のステータ電流が流れると各ステータ突極24が磁化し、ステータ16に回転磁界を発生する。

【0017】

10

20

30

40

50

なお、ステータコイルは、ステータコア 20 の環状部分の周方向複数個所に複数相のステータコイルを巻回するトロイダル巻きとしてもよい。

【0018】

ロータ 18 は、ステータ 16 と所定の空隙をあけて径方向内側に対向配置され、ステータ 16 に対し回転可能である。ロータ 18 の中心軸孔には図示しないケースの軸受に支持された回転軸が挿入固定される。ロータ 18 は、ロータコア 30 と、このロータコア 30 に巻回された複数のロータコイル 32n, 32s と、整流部であるダイオード 34, 36 とを含む。

【0019】

ロータコア 30 は、電磁鋼板等の金属板の積層体等の磁性材料により形成され、外周側に周方向等間隔の複数個所に設けられた磁極部であるロータ突極 38n, 38s を含む。ロータ突極 38n は、後述するロータコイル 32n に流れるロータコイル電流によって N 極に磁化される。ロータ突極 38s は、後述するロータコイル 32s に流れるロータコイル電流によって S 極に磁化される。ロータ突極 38n とロータ突極 38s とは、周方向に交互に配置される。ロータコア 30 の外周面の隣り合うロータ突極 38n, 38s 間には、ロータコイル 32n, 32s の配置空間を形成する溝状のスロット 40 が形成される。

【0020】

ロータコイル 32n, 32s は、スロット 40 を通ってロータ 18 の周方向の 1 つおきのロータ突極 38n に集中巻きで巻装されたロータコイル 32n と、ロータ突極 38n と隣り合う別の 1 つおきのロータ突極 38s にスロット 40 を通って集中巻きで巻装されたロータコイル 32s とから構成される。周方向の 1 つおきのロータコイル 32n は直列に接続されるとともに、一方向に短絡するように第 1 ダイオード 34 が接続される。また、周方向の別の 1 つおきのロータコイル 32s も直列に接続されるとともに、他方向に短絡するように第 2 ダイオード 36 が接続される。

【0021】

なお、ロータコイル 32n, 32s をすべて分離して、各ロータコイル 32n に一方向に短絡するように第 1 ダイオードをそれぞれ接続し、各ロータコイル 32s に他方向に短絡するように第 2 ダイオードをそれぞれ接続してもよい。また、各ロータコイル 32n, 32s は、ロータ突極 38n, 38s の周囲に複数層の複数列に整列して巻回される整列巻き型としてもよい。

【0022】

この構成では、後述するようにステータ 16 側からロータコイル 32n, 32s に磁束が鎖交しステータ電流の変化に応じて誘導電流であるロータコイル電流が流れると、ロータコイル電流がダイオード 34, 36 により一方向または他方向に整流され、ロータ突極 38n, 38s が所望の極性に磁化する。ロータコイル 32n は、第 1 ダイオード 34 の整流方向に応じてロータ突極 38n の先端に N 極を形成する。ロータコイル 32s は、第 2 ダイオード 36 の整流方向に応じてロータ突極 38s の先端に S 極を形成する。ロータ突極 38n, 38s が周方向に交互に配置されるので、各ロータコイル電流によってロータ突極 38n, 38s が周方向に交互に異なる極性である N 極及び S 極となる。

【0023】

以上が回転電機 12 の構成であり、次に回転電機駆動部 14 を説明する。回転電機駆動部 14 は、蓄電部 42 と、インバータ 44 と、制御装置 46 とを含む。蓄電部 42 は、直流電源として設けられ、二次電池により構成される。インバータ 44 は、複数のトランジスタ、IGBT等のスイッチング素子を含み、スイッチング素子のスイッチング動作により蓄電部 42 からの直流電力を、u相、v相、w相の交流電力に変換して各相のステータコイル 22u, 22v, 22w に供給する。なお、蓄電部 42 とインバータ 44 との間に蓄電部 42 の電圧を昇圧してインバータ 44 に出力する昇圧装置を設けてもよい。

【0024】

制御装置 46 は、CPU、メモリ等を有するマイクロコンピュータを含むもので、インバータ 44 のスイッチング素子のスイッチングを制御することにより回転電機 12 の駆動

10

20

30

40

50

を制御する。制御装置 46 は、回転電機 12 と一体に結合した構成としてもよいが、車体等において制御装置 46 と回転電機 12 とを分離して配置する構成としてもよい。また、制御装置 46 は、 I_d I_q 生成部 47 と、 I_d I_q パルス生成部 48 と、 I_d パルス重畳部 50 及び I_q パルス重畳部 52 とを有する。これについて、図 2 を用いて詳しく説明する。

【0025】

図 2 は、図 1 に示した制御装置 46 の機能ブロックと、電流センサ 54 及び回転センサ 56 とを示している。電流センサ 54 は、回転電機 12 の v 相、 w 相のステータコイルに流れるステータ電流 I_v 、 I_w を検出して、検出されたステータ電流を制御装置 46 に送信する。 u 相のステータコイルに流れるステータ電流 I_u は、ステータ電流 I_v 、 I_w の検出値から算出できるが、ステータ電流 I_u を別の電流センサにより検出してもよい。

10

【0026】

回転センサ 56 は、回転電機 12 の回転角度 x を検出し、検出した回転角度 x を制御装置 46 に送信する。回転センサ 56 は、レゾルバ等により構成される。また、制御装置 46 には、運転者のアクセルペダルの操作量に基づく目標トルクであるトルク指令値 T_r^* が入力される。

【0027】

制御装置 46 は、 d q 軸ベクトル電流制御によりステータ電流を制御することで回転電機 12 の駆動を制御する。制御装置 46 は、電流指令生成部である I_d I_q 生成部 47 と、 I_d パルス重畳部 50 及び I_q パルス重畳部 52 と、減算器 60、62 と、PI 制御部 64、66 と、2 相 / 3 相変換部 68 と、PWM 生成部 70 と、3 相 / 2 相変換部 72 とを含む。

20

【0028】

I_d I_q 生成部 47 にはトルク指令値 T_r^* が入力される。 I_d I_q 生成部 47 は、トルク指令値 T_r^* に基づいてステータ 16 に回転磁界を発生させる電流ベクトルの d 軸電流指令値 $I_d(0)$ 及び q 軸電流指令値 $I_q(0)$ を生成する。ここで、 d 軸とは、回転電機 12 の周方向に関してロータコイル 32n、32s の巻回中心軸方向である磁極方向をいい、 q 軸とは d 軸に対し電気角で 90 度進んだ方向をいう。例えば、図 1 のようにロータ 18 の回転方向が規定される場合、 d 軸方向、 q 軸方向はそれぞれ図 1 の矢印で示す関係で規定される。

30

【0029】

I_d I_q 生成部 47 で生成された d 軸電流指令値 $I_d(0)$ は I_d パルス重畳部 50 へ出力され、 q 軸電流指令値 $I_q(0)$ は I_q パルス重畳部 52 へ出力される。なお、 I_d I_q 生成部 47 では、回転角度 x の検出値から算出されるモータ回転数と、図示しない電圧センサにより検出されたインバータ 44 の蓄電部 42 側の電圧と、トルク指令値 T_r^* とに基づいて d 軸電流指令値 $I_d(0)$ 及び q 軸電流指令値 $I_q(0)$ を生成してもよい。

【0030】

I_d パルス重畳部 50 には、 I_d I_q パルス生成部 48 で生成された I_d パルスの変化分が入力される。 I_d パルス重畳部 50 は、 d 軸電流指令値 $I_d(0)$ に I_d パルスの変化分を所定タイミングで重畳させて、変化後の d 軸電流指令値 $I_d(1)$ を減算器 60 へ出力する。

40

【0031】

I_q パルス重畳部 52 には、 I_d I_q パルス生成部 48 で生成された I_q パルスの変化分が入力される。 I_q パルス重畳部 52 は、 q 軸電流指令値 $I_q(0)$ に I_q パルスの変化分を所定タイミングで重畳させて、変化後の q 軸電流指令値 $I_q(1)$ を減算器 62 へ出力する。 I_d I_q パルス生成部 48 については後で詳しく説明する。

【0032】

減算器 60 には、3 相 / 2 相変換部 72 から電流値 I_d が入力される。減算器 60 は、変更後の d 軸電流指令値 $I_d(1)$ と電流値 I_d との偏差を算出し、その算出した偏差を

50

PI制御部64に出力する。

【0033】

減算器62には、3相/2相変換部72から電流値 I_q が入力される。減算器62は、変更後のq軸電流指令値 $I_q(1)$ と電流値 I_q との偏差を算出し、その算出した偏差をPI制御部66に出力する。

【0034】

PI制御部64, 66は、入力された偏差に対して予め設定されたPIゲインに基づいてPI制御を行うことでd軸電圧 V_d 及びq軸電圧 V_q をそれぞれ算出し、その算出したd軸電圧 V_d 及びq軸電圧 V_q を2相/3相変換部68に出力する。

【0035】

2相/3相変換部68は、入力されたd軸電圧 V_d 及びq軸電圧 V_q と、回転センサ56から受信した回転角度 x とに基づいて2相/3相変換することで3相電圧 V_u, V_v, V_w を算出し、3相電圧 V_u, V_v, V_w をPWM生成部70に出力する。

【0036】

PWM生成部70は、3相電圧 V_u, V_v, V_w と予め記憶された搬送波との電圧比較によって、インバータ44の各相の上下のスイッチング素子をオンオフするスイッチング制御信号を生成し、インバータ44に出力する。インバータ44は、スイッチング制御信号に応じてインバータ44の各スイッチング素子のオンオフ動作を行う。これにより回転電機12の各相ステータコイルにステータ電流 I_u, I_v, I_w が流れる。

【0037】

3相/2相変換部72には、電流センサ54からステータ電流 I_v, I_w が入力される。3相/2相変換部72は、ステータ電流 I_v, I_w と回転センサ56から受信した回転角度 x とから3相/2相変換してd軸電流 I_d 及びq軸電流 I_q を算出し、d軸電流 I_d 及びq軸電流 I_q をそれぞれ減算器60, 62へ出力する。このような制御装置46では、d軸及びq軸の電流値 I_d, I_q と、変更後のd軸電流指令値 $I_d(1)$ 及びq軸電流指令値 $I_q(1)$ とがそれぞれ一致するようにフィードバック制御が行われる。

【0038】

ここで I_d, I_q パルス生成部48を説明する。 I_d, I_q パルス生成部48は、d軸電流指令 $I_d(0)$ に重畳させる I_d パルスを構成する複数の変化分を複数回の制御周期で分けて生成し、q軸電流指令 $I_q(0)$ に重畳させる I_q パルスを構成する複数の変化分を複数回の制御周期で分けて生成する。

【0039】

図3は、d-q座標系を用いて、電流パルス重畳時の電流ベクトルの変化を示している。なお、図3の二点鎖線Pは、ロータコイル32n、32sにより形成される電磁石を概念的に示している。

【0040】

I_d, I_q パルス生成部48は、電流パルス重畳前の第1電流ベクトル I_1 と、電流パルス重畳中の第2電流ベクトル I_2 とを設定している。第2電流ベクトル I_2 は、第1電流ベクトル I_1 から所定の増加分でd軸電流 I_d を増加させ、所定の減少分でq軸電流 I_q を減少させて設定される。また、電流ベクトルとd軸正方向との間での位相を電流位相として、第1電流ベクトル I_1 の第1電流位相 θ_1 と第2電流ベクトル I_2 の第2電流位相 θ_2 との間にリラクタンストルク最大となる 45° の電流位相 θ_m がある。

【0041】

このときに、 I_d, I_q パルス生成部48は、第1電流位相 θ_1 と第2電流位相 θ_2 との間の中間位相として電流位相 θ_m を有する中間電流ベクトル I_m を設定する。中間電流ベクトル I_m は、第1電流ベクトル I_1 から第2電流ベクトル I_2 へ一直線状にベクトル軌跡を変化させる場合の中間位相 θ_m での仮想電流ベクトル I_{ma} よりも大きくする。

【0042】

I_d, I_q パルス生成部48は、電流ベクトルを第1電流ベクトル I_1 から第2電流ベクトル I_2 へ変化させ、さらに第2電流ベクトル I_2 から第1電流ベクトル I_1 に戻す。I

10

20

30

40

50

d I qパルス生成部48は、この場合に、第1電流ベクトル I_1 から第2電流ベクトル I_2 への変化中と、第2電流ベクトル I_2 から第1電流ベクトル I_1 への変化中との両方で、電流ベクトルを中間電流ベクトル I_m に変化させることでI dパルス及びI qパルスを生成する。

【0043】

電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 の終点A、B、Cは、すべて共通の電流制御円Cr上に設定される。電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 の始点は原点Oである。中間電流ベクトル I_m の終点Bは、電流制御円Cr上で、電流制御円Crと、電流位相が θ_m であるリラクタンストルク最大位相線との交点に設定される。

【0044】

電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 の終点は、電流パルス重畳開始時の点Aから予め設定された第1所定時間 T_1 後に点Bに達し、次の第2所定時間 T_2 後に点Cに達し、同様の第2所定時間 T_2 及び第1所定時間 T_1 で点B、点Aに順に戻る。すなわち、電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 の終点は、A B C B Aの順に変化する。A、B間及びB、C間のそれぞれで、電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 間のベクトル軌跡は直線状となる。第1電流ベクトル I_1 と中間電流ベクトル I_m との間の移行時の第1所定時間 T_1 は、中間電流ベクトル I_m と第2電流ベクトル I_2 との間の移行時の第2所定時間 T_2 以下に設定する($T_1 < T_2$)ことが好ましい。より好ましくは、 $T_1 < T_2$ とする。電流制御円Crの大きさは、インバータ44等の部品で要求される許容電流から決定される。

【0045】

このような電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 のd軸電流I d及びq軸電流I qの変化分は、複数回の制御周期で分けられて、I d I qパルス生成部48からI dパルス重畳部50及びI qパルス重畳部52に出力され、変化前のd軸電流指令I d(0)及びq軸電流指令I q(0)に重畳されて、減算器60、62に出力される。このため、図4の上側のd軸電流I dの時間経過で示すように、d軸電流I dには、点Aに対応する重畳パルスなしの期間 T_a の最後から急激に増大し、点Cを上限として急激に減少するI dパルスが重畳される。なお、図4は、ロータ18が一定速度で回転する場合を示している。

【0046】

また、図4の中間のq軸電流I qの時間経過で示すように、点Aと点Bとではq軸電流I qはあまり変化しないが、点Bから急激に減少し、点Cを下限として急激に増大するI qパルスがq軸電流I qに重畳される。このようなI dパルス及びI qパルスの重畳は、電氣的1周期の予め設定された所定タイミングで行われる。

【0047】

次に、回転電機12の動作と、回転電機制御システム10の作用効果とを順に説明する。図1に示す3相のステータコイル22u、22v、22wに3相の交流電流が流れることでステータ16に回転磁界が形成される。この回転磁界は、起磁力分布として、正弦波分布だけでなく高調波成分を含んでいる。特に、集中巻きにおいては、各相のステータコイル22u、22v、22wが互いに径方向に重なり合わないため、ステータ16の起磁力分布に含まれる高調波成分の振幅レベルが増大する。例えば、3相の集中巻きの場合には、高調波成分としてステータコイル22u、22v、22wの入力電流の周波数の時間的3次で空間的2次の高調波成分の振幅レベルが増大する。このような高調波成分は空間高調波と呼ばれる。ここで、回転磁界の基本波成分がロータ18に作用すると、ステータ16とロータ18との間の磁気抵抗が小さくなるように、ロータ突極38n、38sがステータ突極24に吸引される。これによって、ロータ18にリラクタンストルクが作用する。

【0048】

また、回転磁界がステータ16からロータ18に作用すると、回転磁界に含まれる高調波成分の磁束変動により、ステータ16からロータ18のスロット40内に漏れ出る漏れ磁束が発生し、その漏れ磁束が変動する。漏れ磁束の変動が大きい場合にはスロット40に配置されたロータコイル32n、32sの少なくともいずれかにロータコイル電流が発

10

20

30

40

50

生ずる。ロータコイル電流が発生すると、そのロータコイル電流は、ダイオード42, 44により整流されることで所定の方向となる。そして、ダイオード42, 44で整流された電流が各ロータコイル32n, 32sに流れるのに応じて各ロータ突極38n, 38sが磁化し、各ロータ突極38n, 38sが所望の極性の磁極として機能する。この場合、ダイオード42, 44の整流方向の違いにより、各ロータコイル電流により生じる磁極として、周方向においてN極とS極とが交互に配置される。

【0049】

このような回転電機12では、ステータ電流 I_u, I_v, I_w とロータ回転数とによってロータコイル電流の大きさが決まり、ある回転数以下ではロータ回転数が高くなるほどロータコイル電流は大きくなる。この場合、ロータトルクもロータコイル電流に応じて大きくなる。

10

【0050】

一方、本発明と異なり、d軸電流指令 $I_d(0)$ 及びq軸電流パルス指令 $I_q(0)$ に電流パルスを重畳させない場合、ロータ18の低回転数領域では、ステータ16からロータコイル32n, 32sに鎖交する漏れ磁束の変動周波数が低いのでロータコイル電流が小さくなり、ロータトルクも小さくなる。本発明では、図3、図4に示したようにq軸電流指令 $I_q(0)$ に I_q パルスを重畳させるので、ステータ16からロータ18のスロット40内に漏れ出る漏れ磁束の変動を大きくでき、ロータコイル電流が大きくなる。しかも、d軸電流指令 $I_d(0)$ に I_d パルスを重畳させるので、図1のロータ18及びステータ16間のd軸方向に生成されるd軸磁路を通過する磁束の変動が大きくなる。ロータコイル32n, 32sにはこの変動を妨げるようにロータコイル電流が流れる。このため、ロータコイル電流がより大きくなる。したがって、低回転数領域においてロータトルクを大きくできる。

20

【0051】

しかも、d軸電流指令 $I_d(0)$ に、 I_q パルスと逆方向に変化する I_d パルスを重畳させ、各電流ベクトル I_1, I_m, I_2 の終点A, B, Cをいずれも同一の電流制御円 C_r 上に位置させる。このため、電流ベクトル I_1, I_m, I_2 で規定されるステータ電流を、電流パルス重畳前の電流ベクトル I_1 が収まる電流制御円 C_r に収めることができる。一方、電流ベクトル I_a は、d軸電流 I_d にのみ I_d パルスを重畳させ、q軸電流 I_q には I_q パルスを重畳しない比較例の電流ベクトルである。この電流ベクトル I_a は、電流制御円 C_r から外側にはみ出し、ステータ電流が電流制限範囲を超えることが分かる。

30

【0052】

さらに、制御装置46は、回転磁界を発生させる電流ベクトルへの電流パルスの重畳中に、電流位相が 45° の中間位相である中間電流ベクトル I_m に変化させ、第1電流ベクトル I_1 から第2電流ベクトル I_2 へ一直線状にベクトル軌跡を変化させる場合の中間位相 m での仮想電流ベクトル I_{ma} よりも中間電流ベクトル I_m を大きくするので、電流パルス重畳中のロータトルクを向上できる。これについて、図3から図5を用いて説明する。

【0053】

図5は、回転電機12の周方向一部の模式図であり、ロータ突極38nがQ位置の1つのステータ突極24に対し 45° 位相がずれている。ここでの「位相」は、ロータ18のN極の中心とS極の中心との間の角度を 180° と定義した場合のロータ18の電気角を表しており、これより以前で説明した「電流位相」とは異なるものである。上記の1つのステータ突極24は、ロータ突極38nの回転方向前側に位置する。これは、電流ベクトルの終点が図3のリラクタンストルク最大位相線上に位置する場合に対応する。

40

【0054】

図6は、本実施形態において、回転電機12のリラクタンストルクと電流ベクトルの電流位相との関係を示している。図6で、破線は、電流ベクトルの終点が図3のリラクタンストルク最大位相線上に設定される中間電流ベクトル I_m の中間位相 m に対応し、リラクタンストルクが最大となる。

50

【 0 0 5 5 】

この場合、中間電流ベクトル I_m は、中間位相 m での仮想電流ベクトル I_{ma} よりも大きくなるので、リラクタンストルクが最大となる場合のステータ突極 2 4 の磁力を大きくできる。このため、図 5 に示すように、ロータ突極 3 8 n とステータ突極 2 4 との間で矢印 方向に作用する磁氣的吸引力を大きくして、リラクタンストルクを増大できる。このように、電流ベクトルへの電流パルス重畳中に中間電流ベクトル I_m に変化することで電流パルス重畳中のロータトルクの向上を図れる。

【 0 0 5 6 】

また、中間電流ベクトル I_m の終点 B は、第 1 電流ベクトル I_1 及び第 2 電流ベクトル I_2 の終点 A, C が位置する同一の電流制御円 C_r 上に設定されるので、電流パルス重畳中のステータ電流を電流パルス重畳前のステータ電流と同じ大きさに維持でき、インバータ等の部品を有効に保護できる。しかも、終点 B は、電流制御円 C_r とリラクタンストルク最大位相線 との交点に位置するので、リラクタンストルクが最大となる電流位相での図 5 の Q 位置のステータ突極 2 4 の磁力を許容電流範囲で最大にして、ロータトルクをより高くできる。

【 0 0 5 7 】

図 4 では、下側に d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q に対応するロータトルクを示している。図 4 で破線 $I_d C$ 、 $I_q C$ 、 $T_r C$ は、比較例の場合である。この比較例は、図 3 で破線矢印 R で示すように、電流ベクトルの電流軌跡が終点 A から一直線状に終点 C に達し、終点 C から一直線状に終点 A に戻るように電流ベクトルを変化させる。このような比較例では、A から B への移行時に d 軸電流 I_d の増加するが、これを打ち消すようにロータ電流が急激に減少し 0 となる。また、比較例では電流パルス重畳中のリラクタンストルクの発生は小さいか、または 0 である。このような比較例では、電流パルス重畳中のトルク減少分が大きくなる。一方、本発明によれば、電流パルス重畳中の d 軸電流 I_d が大きくなるが、A から B への移行時のロータ電流が減少する場合のリラクタンストルクが増大するので、斜線部 1 で示すようにロータトルクの減少分を小さくできる。また、C から A への移行時のロータ電流増大時でも、斜線部 2 で示すように、比較例に比べてリラクタンストルクの増大によりロータトルクを増大できる。

【 0 0 5 8 】

なお、回転電機 1 2 では、ロータコイル 3 2 n、3 2 s に鎖交する磁束変動の周波数が回転数の増大に応じて増大することでロータコイル電流が大きくなり、ロータトルクが大きくなるが、図 4 では、この磁束変動周波数によるロータトルクの向上を考慮せず、電流パルスの重畳により発生するロータトルクのみを図示している。言い換えれば、電流パルスを重畳させない場合、図 4 のロータトルクは 0 のままである。また、実際には、ロータトルクは、パルス重畳をさせない時間 T_a でロータコイルの直流抵抗成分に起因して時間的にかなり緩やかに徐々に低下するが、d 軸電流 I_d 及び q 軸電流 I_q に繰り返し電流パルスを重畳させることで電流パルス重畳の後半でロータトルクを回復できる。

【 0 0 5 9 】

また、第 1 電流ベクトル I_1 と中間電流ベクトル I_m との間の移行時の第 1 所定時間 T_1 は、中間電流ベクトル I_m と第 2 電流ベクトル I_2 との間の移行時の第 2 所定時間 T_2 以下とすれば、点 A B 間の d 軸電流 I_d の変化幅を点 B C 間の I_d の変化幅よりも大きくする場合に、点 A B 間の d 軸電流 I_d を急激に変化でき、トルクの減少を小さくできる。

【 0 0 6 0 】

なお、中間電流ベクトル I_m の終点 B は、電流制御円 C_r とリラクタンストルク最大位相線 との交点に設定している。ただし、この交点から外れた電流制御円 C_r 上に終点 B を設定してもよい。また、電流制御円 C_r の内側で、仮想電流ベクトル I_{ma} の終点を通過する点 A、C を結ぶ仮想ベクトル軌跡である直線 AC よりも原点 O とは反対側の図 3 の斜線部である外側領域 AO に終点 B を設定してもよい。例えば、終点 B は、図 3 の点 B 1、点 B 2、点 B 3 のいずれか 1 つの位置に設定されてもよい。終点 B が点 B 1 に設定される場合、ベクトル軌跡は点 A、点 B 1、点 C の間で変化し、リラクタンストルク最大位相

10

20

30

40

50

線 上でも外側領域 A O を通過する。このため、比較例に比べてリラクタンストルクの増大によりロータトルクを向上できる。終点 B が点 B 2、点 B 3 に設定される場合も同様である。

【 0 0 6 1 】

なお、電流ベクトルの第 1 電流ベクトル I_1 から第 2 電流ベクトル I_2 への変化中と、第 2 電流ベクトル I_2 から第 1 電流ベクトル I_1 への変化中との一方のみで中間電流ベクトル I_m に変化させてもよい。この場合も、中間電流ベクトル I_m に変化させる場合にロータトルクを向上できる。

【 0 0 6 2 】

また、制御装置 4 6 は、回転電機 1 2 の予め設定された所定回転数以下でのみ、d 軸電流指令 I_d 及び q 軸電流指令 I_q に電流パルスを重ねさせてもよい。

【 0 0 6 3 】

図 7 は、本発明の別の実施形態において、図 3 に対応する図であり、図 8 は、図 4 に対応する図である。本実施形態では、上記の図 1 から図 6 の実施形態において、図 2 の I_d I_q パルス生成部 4 8 は、d q 座標系で、第 1 電流制御円である連続通電許可制御円 C_{r1} と、連続通電許可制御円 C_{r1} よりも大きい第 2 電流制御円である瞬時通電許可制御円 C_{r2} とを設定し、電流パルス重畳前及び電流パルス重畳中の電流ベクトルを設定している。

【 0 0 6 4 】

この場合、第 1 電流ベクトル I_1 の終点 A は連続通電許可制御円 C_{r1} 上に設定され、第 2 電流ベクトル I_2 の終点 C は瞬時通電許可制御円 C_{r2} 上に設定される。また、中間電流ベクトル I_m の終点 B は、瞬時通電許可制御円 C_{r2} 上で、瞬時通電許可制御円 C_{r2} とリラクタンストルクが最大となる中間位相 m でのリラクタンストルク最大位相線との交点に設定される。このため、中間電流ベクトル I_m は、リラクタンストルク最大となる 45° の電流位相を有する。

【 0 0 6 5 】

電流ベクトル I_1 、 I_m 、 I_2 の終点は、電流パルス重畳開始時の点 A から予め設定された第 1 所定時間 T_1 後に点 B に達し、次の第 2 所定時間 T_2 後に点 C に達し、同様の第 2 所定時間 T_2 及び第 1 所定時間 T_1 で点 B、点 A に順に戻る。このような構成でも、リラクタンストルク最大位相線 上の中間電流ベクトル I_m が仮想電流ベクトル I_{ma} よりも大きくなることで、リラクタンストルクを増大でき、電流パルス重畳中のロータトルクを向上できる。しかも、連続通電許可制御円 C_{r1} の外側に瞬時通電許可制御円 C_{r2} を設定し、パルス重畳時の電流ベクトル I_m 、 I_2 の終点 B、C を瞬時通電許可制御円 C_{r2} 上に設定している。瞬時通電許可制御円 C_{r2} は、インバータ等の部品保護のために短時間通電の許容電流の最大範囲を規定するもので、図 3 の電流制御円 C_r よりも大きく設定できる。このため、中間電流ベクトル I_m 及び第 2 電流ベクトル I_2 を第 1 電流ベクトル I_1 よりも大きくでき、パルス重畳中のロータトルクを図 1 から図 6 の構成の場合に比べて大きくできる。図 7、図 8 の構成によっても、電流パルス重畳時にステータ電流が過度に大きくなることを防止できる。

【 0 0 6 6 】

なお、中間電流ベクトル I_m の終点 B は、瞬時通電許可制御円 C_{r2} とリラクタンストルク最大位相線 との交点に設定している。ただし、この交点から外れた瞬時通電許可制御円 C_{r2} 上に終点 B を設定してもよい。また、瞬時通電許可制御円 C_{r2} の内側で、第 1 電流ベクトル I_1 から第 2 電流ベクトル I_2 へ一直線状に変化する仮想ベクトル軌跡である直線 AC よりも原点 O に対して反対側の領域 A O 1 に終点 B を設定してもよい。この領域 A O 1 の d 軸電流は、第 1 電流ベクトル I_1 の d 軸電流よりも大きくなる。その他の構成及び作用は、図 1 から図 6 の場合と同様である。

【 0 0 6 7 】

なお、上記の各実施形態では、回転電機 1 2 の各ロータ突極 3 8 n、3 8 s にロータコイルが 1 つずつのみ巻装された場合を説明したが、図 9 のロータコイルの配置構成を有す

10

20

30

40

50

る回転電機の制御に本発明を適用してもよい。図9は、回転電機の別例において、ロータ18の周方向一部で、ロータコイル74n、74s、76n、76sにダイオード34、36を接続して示している。ロータコイル74nは、誘導コイルとしてロータ突極38nの径方向外方の先端側に巻回され、ロータコイル74sは、同様にロータ突極38sに巻回される。

【0068】

ロータコイル76nは、共通コイルとしてロータ突極38nの径方向内方の根元側に巻回され、ロータコイル76sは、同様にロータ突極38sに巻回される。ロータコイル74nの一端は、ロータコイル74sの一端に、第1ダイオード34及び第2ダイオード36を介して接続される。両方のダイオード34、36は、互いに順方向を逆向きにして接続点Fで接続される。

10

【0069】

ロータコイル76sの一端は接続点Fに接続され、ロータコイル76sの他端はロータコイル76nの一端に接続される。ロータコイル76nの他端は接続点Gで2つのロータコイル74n、74sの他端に接続される。

【0070】

この構成でも、ステータ側からロータコイル74n、74sに磁束が鎖交してロータコイル電流が流れることで、ロータ突極38nの先端にN極が形成され、ロータ突極38sの先端にS極が形成される。なお、ロータで、すべてのN極のロータコイル74nを直列接続して1つのN極の直列接続の誘導コイルとし、すべてのS極のロータコイル74sを直列接続して1つのS極の直列接続の誘導コイルとして扱ってもよい。この場合、すべてのN極のロータコイル76nを直列接続して1つのN極の直列接続の共通コイルとし、すべてのS極のロータコイル76sを直列接続して1つのS極の直列接続の共通コイルとして扱う。その上で、図9の接続関係を用いることでロータ全体で2つのダイオードを共用することができる。

20

【0071】

以上、本発明を実施するための形態について説明したが、本発明はこうした実施形態に何ら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる形態で実施し得ることは勿論である。例えば、ステータコイルはステータに集中巻きで巻線する場合を説明したが、ステータで高調波成分を含む回転磁界を生成できるのであればステータにステータコイルを分布巻きで巻線する構成としてもよい。

30

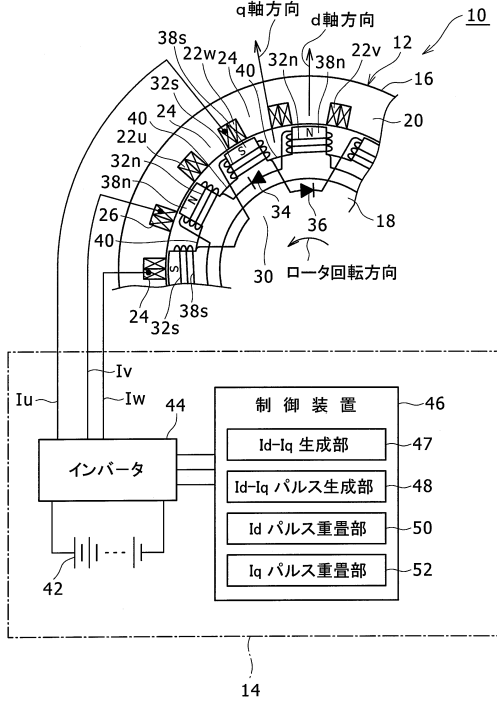
【符号の説明】

【0072】

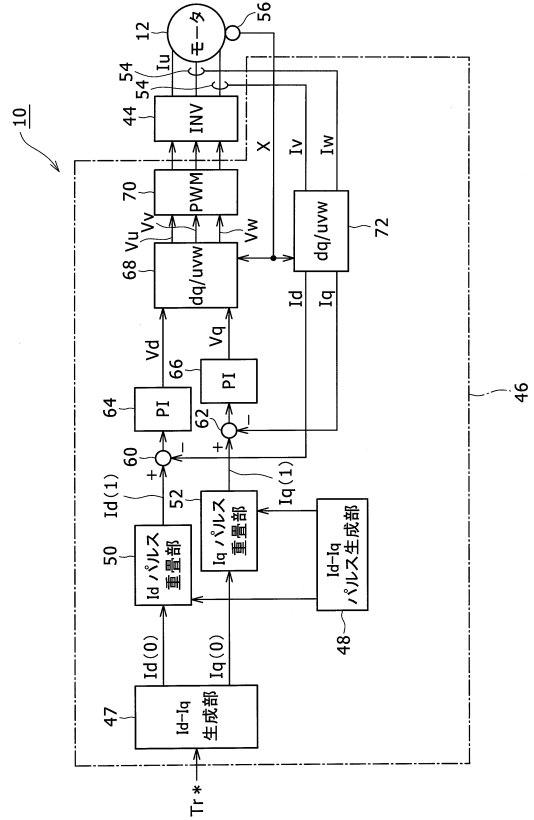
10 回転電機制御システム、12 回転電機、14 回転電機駆動部、16 ステータ、18 ロータ、20 ステータコア、22u、22v、22w ステータコイル、24 ステータ突極、26 スロット、30 ロータコア、32n、32s ロータコイル、34 第1ダイオード、36 第2ダイオード、38n、38s ロータ突極、40 スロット、42 蓄電部、44 インバータ、46 制御装置、47 Id Iq生成部、48 Id Iqパルス生成部、50 Idパルス重畳部、52 Iqパルス重畳部、54 電流センサ、56 回転センサ、60、62 減算器、64、66 PI制御部、68 2相/3相変換部、70 PWM制御部、72 3相/2相変換部、74n、74s、76n、76s ロータコイル。

40

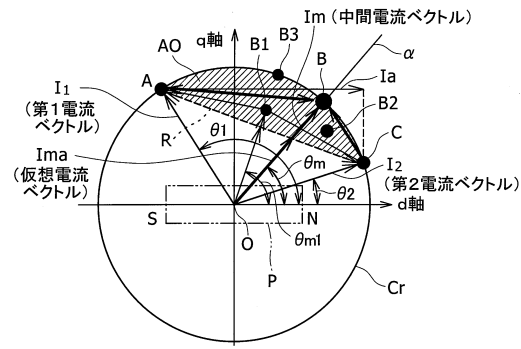
【図1】



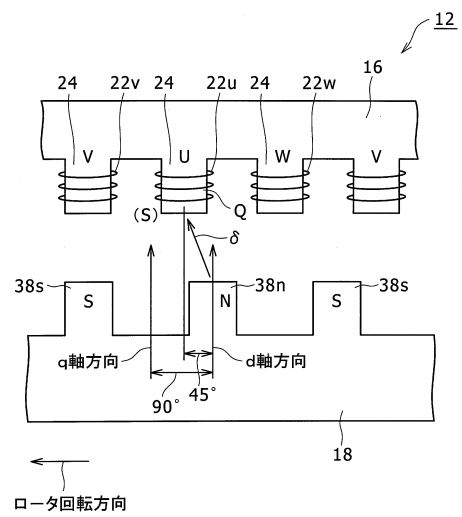
【図2】



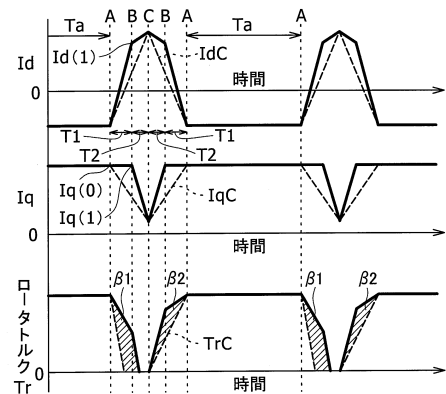
【図3】



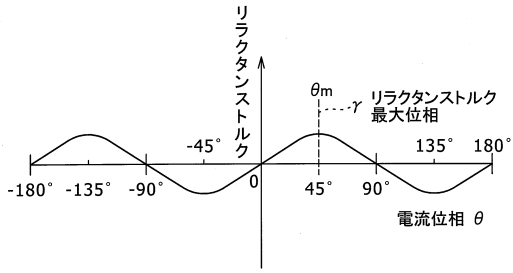
【図5】



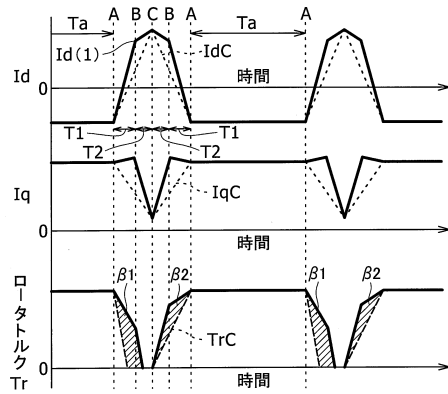
【図4】



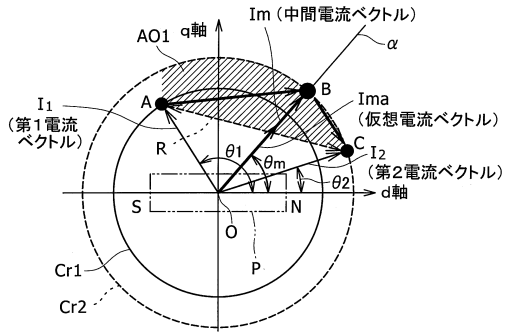
【図6】



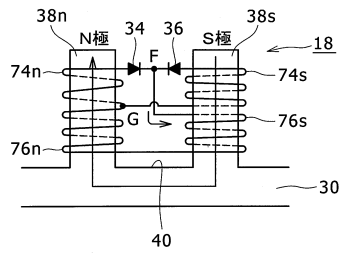
【図8】



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2012-170256(JP,A)
国際公開第2011/102114(WO,A1)
特開2010-110079(JP,A)
特開2011-041433(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 1/00-31/00