

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5127800号
(P5127800)

(45) 発行日 平成25年1月23日(2013.1.23)

(24) 登録日 平成24年11月9日(2012.11.9)

(51) Int.Cl. F I
 HO2P 21/00 (2006.01) HO2P 5/408 C
 HO2P 27/04 (2006.01) HO2P 6/02 371S
 HO2P 6/18 (2006.01)

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-217225 (P2009-217225)
 (22) 出願日 平成21年9月18日(2009.9.18)
 (65) 公開番号 特開2011-67054 (P2011-67054A)
 (43) 公開日 平成23年3月31日(2011.3.31)
 審査請求日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(73) 特許権者 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 110000567
 特許業務法人 サトー国際特許事務所
 (72) 発明者 前川 佐理
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 審査官 内藤 真徳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の半導体スイッチング素子を複数相接続して構成され、直流電源と、着磁量を変更可可能な程度に低保磁力である永久磁石がロータに複数配置される永久磁石モータの巻線との間に接続されるインバータ回路と、

前記永久磁石モータについて成立する電圧方程式に基づいて、前記ロータの回転位置を推定する位置推定手段と、

前記推定された回転位置に基づいて d 軸電流及び q 軸電流を演算し、前記永久磁石モータを制御するために与えられる d 軸電流指令及び q 軸電流指令と、前記演算結果との差分を P I 制御して d 軸電圧指令及び q 軸電圧指令を生成出力し、前記永久磁石モータをベクトル制御するベクトル制御手段と、

前記インバータ回路を介して前記モータの巻線に通電を行うことで、前記永久磁石を着磁する着磁制御手段と、

この着磁制御手段が前記永久磁石を着磁するために着磁電流を通電する期間において、前記ベクトル制御における電流指令に基づく制御と、前記電流指令に替えて電圧指令を直接出力する制御とを切り替える制御指令切替え手段とを備えたことを特徴とするモータ制御装置。

【請求項2】

前記制御指令切替え手段は、前記着磁制御手段が d 軸電流を増加させる指令を出力する期間は、d 軸については前記 d 軸電流を増加させる極性の電圧指令を直接与え、q 軸につ

いては電流制御指令を与えることを特徴とする請求項 1 記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記制御指令切替え手段は、何れかの相のモータ電流値、又は前記 d 軸電流値が、前記前記着磁制御手段により与えられる着磁電流指令値に達すると、d 軸電流を減少させるように、前記電圧指令を与えることを特徴とする請求項 2 記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記制御指令切替え手段は、前記着磁制御手段が d 軸電流を減少させる指令を出力する期間は、d 軸については前記 d 軸電流を減少させる極性の電圧指令を直接与え、q 軸については電流制御指令を与えることを特徴とする請求項 1 ないし 3 の何れかに記載のモータ制御装置。

10

【請求項 5】

前記制御指令切替え手段は、何れかの相のモータ電流値の絶対値、又は前記 d 軸電流値の絶対値が、一定の閾値未満に減少すると、d q 軸共に電流制御指令を与えるように切り替えることを特徴とする請求項 3 又は 4 記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石モータのロータに配置される低保磁力の永久磁石の磁化状態を、電機子反作用磁界により調整できる手段を備えたモータ制御装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

近年、洗濯機においては、ダイレクトドライブ方式の永久磁石モータと、ベクトル制御を採用したモータ制御装置との組み合わせにより、モータの制御精度や洗濯性能の向上を図ると共に、消費電力の低減や洗濯運転中の振動低減などの効果が得られている。従来の一般的な制御方式では、脱水運転等でモータを高速回転させる場合はトルクに寄与しない d 軸電流 I_d を通電してモータの誘起電圧を減少させる弱め界磁制御を行っている。この場合、脱水運転ではトルクに寄与しない電流を常時流すことで銅損を増加させており、効率の低下を招いている。

【0003】

これに対し、特許文献 1 に開示されている技術では、保磁力が低い永久磁石に d 軸電流を一瞬流すことで不可逆的に減磁現象を起こさせて、永久磁石の磁束を減少させてモータの巻線に発生する誘起電圧を減少させ、d 軸電流を常時通電することなく高速運転を可能としている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2006 - 280195 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

40

特許文献 1 では、ロータの位置を検出するためにレゾルバを備えている。しかしながら、家電機器などのようにコストが重視される製品では、レゾルバのように高価な位置検出器を用いることが困難であり、位置センサレス制御を採用するものが一般的である。位置センサレス制御としては、一般的にモータの誘起電圧とロータ位置との関係を用いて位置推定を行う方式がある。

【0006】

例えば (1) 式の d 軸電圧方程式を変形した (2) 式の左辺、d 軸誘起電圧 E_d をゼロにするように (3) 式で P I 補償演算を行い、モータ速度 を推定し、(4) 式による積分からロータ位置 を推定する。

【0007】

50

$$V_d = R \cdot I_d + L_q \cdot I_q + E_d \quad \dots (1)$$

$$E_d = V_d - R \cdot I_d + L_q \cdot I_q \quad \dots (2)$$

$$= 0 - E_d \cdot (K_p + 1/s + K_i) \quad \dots (3)$$

$$= 1/s \cdot \quad \dots (4)$$

尚、(3)式における 0 は、演算周期において前回に演算されたモータ速度であり、s は微分演算子、K_p、K_i は、P I 制御におけるゲインである。

【0008】

ここで、(2)式の演算にはd軸電流I_d、d軸電圧V_dが含まれている。そして、永久磁石の磁束を変化させるために増減磁通電を行う場合は、d軸電流をパルス状に通電するのでd軸電流I_d及びd軸電圧V_dが急激に変化する。また、磁束を変化させるため通電は、モータの回転制御中に行うのが効率的であるため、この時の電流変化率は、数ms～数10msの間にモータ定格電流の2～3倍程度の大きさとなる。

10

【0009】

このように、増減磁電流をモータの回転中に通電するには、短い時間内で急激に電流波形の立ち上げと立ち下げとを行う必要がある。一般にモータ電流の制御にもP I 制御が用いられることが多い。その場合、d軸電流I_dの制御は、(5)式のようにd軸電流指令I_{d_ref}と検出したd軸電流I_dの偏差であるI_{d_dev}を演算し、(6)式でP I 補償することでd軸電圧指令V_{d_ref}を算出する。

$$I_{d_dev} = I_{d_ref} - I_d \quad \dots (5)$$

$$V_{d_ref} = I_{d_dev} \cdot (K_p + 1/s + K_i) \quad \dots (6)$$

20

【0010】

しかし、上記の制御系は、通常のモータ制御を想定したものであるため、短時間内に増減磁通電を行った場合には、P I 制御でその変化に追従させることは難しい。実際にP I 制御によってd軸電流の制御を行うと、発散しない程度に制御ゲインを上げた状態であっても、図11に示すように電流指令I_{d_ref}に対してd軸電流I_dが遅れてしまう。このような遅れが生じると適正な位置で増減磁電流が通電できず、永久磁石の磁束量を所期通りに変化させることができなくなってしまう。

【0011】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、位置センサレス方式で永久磁石モータを制御すると共に、永久磁石の磁束を変化させるために通電を行う構成において、増減磁電流を遅れ無しに通電できるモータ制御装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するため、請求項1記載のモータ制御装置は、複数の半導体スイッチング素子を複数相接続して構成され、直流電源と、着磁量を変更可能な程度に低保磁力である永久磁石がロータに複数配置される永久磁石モータの巻線との間に接続されるインバータ回路と、

前記永久磁石モータについて成立する電圧方程式に基づいて、前記ロータの回転位置を推定する位置推定手段と、

前記推定された回転位置に基づいてd軸電流及びq軸電流を演算し、前記永久磁石モータを制御するために与えられるd軸電流指令及びq軸電流指令と、前記演算結果との差分をP I 制御してd軸電圧指令及びq軸電圧指令を生成出力し、前記永久磁石モータをベクトル制御するベクトル制御手段と、

40

前記インバータ回路を介して前記モータの巻線に通電を行うことで、前記永久磁石を着磁する着磁制御手段と、

この着磁制御手段が前記永久磁石を着磁するために着磁電流を通電する期間において、前記ベクトル制御における電流指令に基づく制御と、前記電流指令に替えて電圧指令を直接出力する制御とを切り替える制御指令切替え手段とを備えたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

50

請求項 1 記載のモータ制御装置によれば、ベクトル制御に P I 制御が組み込まれている制御系において、着磁制御を行う期間に突発的に大きな電流が流れた場合でも、制御指令切替え手段が、ベクトル制御における電流指令に基づく制御を、その電流指令に替えて電圧指令を直接出力する制御に切り替えるので、増減磁電流を遅れ無しに通電することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】第 1 実施例であり、モータ制御装置の構成を示すブロック図

【図 2】電流制御部の d 軸側比例積分器の内部構成を示す図

【図 3】増減磁処理を行う場合の一例を示すタイミングチャート

10

【図 4】着磁制御部を中心とする着磁制御の内容を示すフローチャート

【図 5】着磁制御切替え部を中心とする制御内容を示すフローチャート

【図 6】位置推定補正部を中心とする制御内容を示すフローチャート

【図 7】永久磁石モータのロータ構成を示す平面図

【図 8】ドラム式洗濯乾燥機の内部構成を示す縦断側面図

【図 9】ヒートポンプの構成を示す図

【図 10】第 2 実施例であり、空調機の構成を概略的に示す図

【図 11】従来技術において、電流の制御指令に対し、実電流が遅れて流れる状態を説明する図

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 1 5 】

(第 1 実施例)

以下、第 1 実施例について図 1 ないし図 9 を参照して説明する。図 7 は、永久磁石モータ 1 (アウトロータ型ブラシレスモータ) のロータの構成を示す平面図である。永久磁石モータ 1 は、ステータ 2 と、これの外周に設けたロータ 3 とから構成されている。ステータ 2 は、ステータコア 4 とステータ巻線 5 とから構成されている。ステータコア 4 は、打ち抜き形成した軟磁性体であるケイ素鋼板を多数枚積層し、かしめて構成したもので、環状のヨーク部 4 a と、当該ヨーク部 4 a の外周部から放射状に突出する多数のティース部 4 b とを有している。ステータコア 4 の表面は、各ティース部 4 b の先端面を除き、PET 樹脂 (モールド樹脂) により覆われている。

30

また、この PET 樹脂から成る複数の取付部 6 が、ステータ 2 の内周部に一体的に成形されている。これら取付部 6 には複数のねじ穴 6 a が設けられており、これら取付部 6 をねじ止めすることで、ステータ 2 が、この場合、ドラム式洗濯乾燥機 2 1 の水槽 2 5 (図 9 参照) の背面に固着される。ステータ巻線 5 は三相からなり、各ティース部 4 b に巻装されている。

【 0 0 1 6 】

ロータ 3 は、フレーム 7 とロータコア 8 と複数の永久磁石 9 とを図示しないモールド樹脂により一体化した構成となっている。フレーム 7 は、磁性体である例えば鉄板をプレス加工することにより扁平な有底円筒状に形成したものである。ロータコア 8 は、ほぼ環状に打ち抜き形成した軟磁性体であるケイ素鋼板を多数枚積層してかしめて構成したもので、フレーム 7 の内周部に配置されている。このロータコア 8 の内周面 (ステータ 2 の外周面 (ステータコア 4 の外周面) と対向し当該ステータ 2 との間に空隙を形成する面) は、内方に向けて円弧状に突出する複数の凸部 (磁極チップ) 8 a を有した凹凸状に形成されている。

40

【 0 0 1 7 】

これら複数の凸部 8 a の内部には、ロータコア 8 を軸方向 (ケイ素鋼板の積層方向) に貫通する矩形の挿入穴が形成されており、これら複数の挿入穴がロータコア 8 において環状に配置された構成となっている。永久磁石 9 は、挿入穴に挿入された矩形のネオジウム磁石 9 a (高保磁力永久磁石) と、同じく矩形のアルニコ磁石 9 b (低保磁力永久磁石) とから構成されている。この場合、ネオジウム磁石 9 a の保磁力は約 900 k A / m、

50

アルニコ磁石 9 b の保磁力は約 100 kA/m であり、保磁力が 9 倍程度異なっている。永久磁石 9 は全数 48 であり、それらの内 6 個がアルニコ磁石 9 b であり、42 個がネオジム磁石 9 a となっている。

【0018】

図 7 では、アルニコ磁石 9 b が配置されている位置に A ~ F を付しており、A - B 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 5 個、B - C 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 9 個、C - D 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 5 個、D - E 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 9 個、E - F 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 5 個、F - A 間に配置されているネオジム磁石 9 a は 9 個となっている。この配置形態は、同じ相について発生する誘起電圧の平均値を何れも同じ値にすることで、コギングトルクの発生を抑制するようにしたものである。そして、永久磁石モータ 1 は、48 極 / 36 スロット構成となっており、3 スロット当たりでは 4 極が対応する (4 極 / 3 スロット)。

10

尚、ネオジム磁石 9 a が高保磁力であり、アルニコ磁石 9 b が低保磁力であるというのは、後述するようにステータ 2 を介して着磁電流を通電した場合に、アルニコ磁石 9 b の着磁量を変化させることができる程度の電流ではネオジム磁石 9 a の着磁量が変わらないという基準において、前者を高保磁力、後者を低保磁力と称している。

【0019】

次に、上記のように構成された永久磁石モータ 1 を備えたドラム式洗濯乾燥機 21 の構成について説明する。図 8 は、ドラム式洗濯乾燥機 21 の内部構成を概略的に示す縦断側面図である。ドラム式洗濯乾燥機 21 の外殻を形成する外箱 22 は、前面に円形状に開口する洗濯物出入口 23 を有しており、この洗濯物出入口 23 は、ドア 24 により開閉される。外箱 22 の内部には、背面が閉鎖された有底円筒状の水槽 25 が配置されており、この水槽 25 の背面中央部には上述の永久磁石モータ 1 (ステータ 2) がねじ止めにより固着されている。この永久磁石モータ 1 の回転軸 26 は、後端部 (図 8 では右側の端部) が永久磁石モータ 1 (ロータ 3) の軸取付部 10 に固定されており、前端部 (図 8 では左側の端部) が水槽 25 内に突出している。

20

【0020】

回転軸 26 の前端部には、背面が閉鎖された有底円筒状のドラム 27 が水槽 25 に対して同軸状となるように固定されており、このドラム 27 は、永久磁石モータ 1 の駆動によりロータ 3 および回転軸 26 と一体的に回転する。なお、ドラム 27 には、空気および水を流通可能な複数の流通孔 28 と、ドラム 27 内の洗濯物の掻き上げやほぐしを行うための複数のパッフル 29 が設けられている。水槽 25 には給水弁 30 が接続されており、当該給水弁 30 が開放されると、水槽 25 内に給水される。また、水槽 25 には排水弁 31 を有する排水ホース 32 が接続されており、当該排水弁 31 が開放されると、水槽 25 内の水が排出される。

30

【0021】

水槽 25 の下方には、前後方向へ延びる通風ダクト 33 が設けられている。この通風ダクト 33 の前端部は前部ダクト 34 を介して水槽 25 内に接続されており、後端部は後部ダクト 35 を介して水槽 25 内に接続されている。通風ダクト 33 の後端部には、送風ファン 36 が設けられており、この送風ファン 36 の送風作用により、水槽 25 内の空気が、矢印で示すように、前部ダクト 34 から通風ダクト 33 内に送られ、後部ダクト 35 を通して水槽 25 内に戻される。

40

【0022】

通風ダクト 33 内部の前端側には蒸発器 37 が配置されており、後端側には凝縮器 38 が配置されている。これら蒸発器 37 および凝縮器 38 は、コンプレッサ 39 および絞り弁 40 とともにヒートポンプ 41 を構成しており (図 9 参照)、通風ダクト 33 内を流れる空気は、蒸発器 37 により除湿され凝縮器 38 により加熱されて、水槽 25 内に循環される。絞り弁 40 は膨張弁から成り、開度調整機能を有している。

【0023】

外箱 22 の前面にはドア 24 の上方に位置して操作パネル 42 が設けられており、この

50

操作パネル 4 2 には運転コースなどを設定するための複数の操作スイッチ（図示せず）が設けられている。操作パネル 4 2 は、マイクロコンピュータを主体として構成されドラム式洗濯乾燥機 2 1 の運転全般を制御する制御回路部（図示せず）に接続されており、当該制御回路部は、操作パネル 4 2 を介して設定された内容に従って、永久磁石モータ 1、給水弁 3 0、排水弁 3 1、コンプレッサ 3 9、絞り弁 4 0 などの駆動を制御しながら各種の運転コースを実行する。また、図示しないが、コンプレッサ 3 9 を構成するコンプレッサモータも、永久磁石モータ 1 と同様の構成を採用している。

【 0 0 2 4 】

図 1 は、永久磁石モータ 1 の回転をベクトル制御するモータ制御装置 5 0 の構成をブロック図で示したものである。尚、上記コンプレッサモータも同様の構成によって制御される。ベクトル制御では、電機子巻線に流れる電流を、界磁である永久磁石の磁束方向と、それに直交する方向とに分離してそれらを独立に調整し、磁束と発生トルクとを制御する。電流制御には、モータ 1 のロータと共に回転する座標系、いわゆる $d - q$ 座標系で表わした電流値が用いられるが、 d 軸はロータに取り付けた永久磁石の作る磁束方向であり、 q 軸は d 軸に直交する方向である。巻線に流れる電流の q 軸成分である q 軸電流 I_q は回転トルクを発生させる成分であり（トルク成分電流）、同 d 軸成分である d 軸電流 I_d は磁束を作る成分である（励磁または磁化成分電流）。

【 0 0 2 5 】

電流センサ 5 1（ U, V, W ）は、モータ 1 の各相（ U 相、 V 相、 W 相）に流れる電流 I_u, I_v, I_w を検出するセンサである。尚、電流センサ 5 1（電流検出手段）に替えて、インバータ回路 5 2（駆動手段）を構成する下アーム側のスイッチング素子とグランドとの間に 3 個のシャント抵抗を配置し、それらの端子電圧に基づいて電流 I_u, I_v, I_w を検出する構成としても良い。

電流センサ 5 1 により検出された電流 I_u, I_v, I_w は、 A / D 変換器 5 3 により A / D 変換されると uvw / dq 座標変換器 5 4 により 2 相電流 I_u, I_v に変換された後、更に d 軸電流 I_d, q 軸電流 I_q に変換される。尚、 θ は、モータ 1 のステータに固定された 2 軸座標系の座標軸である。ここでの座標変換の計算には、速度・位置推定部 5 4 により推定されるロータの回転位置推定値（ θ 軸と d 軸との位相差の推定値）が用いられる。

【 0 0 2 6 】

速度・位置推定部（位置推定手段）5 5 は、内部に E_d 演算器 5 6、比例積分器 5 7、減算器 5 8、遅延器 5 9 及び積分器 6 0 を備えている。 E_d 演算器 5 6 は、前述した（2）式により d 軸誘起電圧 E_d を演算し、比例積分器 5 7 は、 d 軸誘起電圧 E_d に対して比例積分演算を施して減算器 5 8 に減算値として出力する。減算器 5 8 の出力は、1 演算周期分の遅延を付与する遅延器 5 9 を介して被減算値としてフィードバックされると共に、積分器 6 0 に出力される。そして、減算器 5 8 の出力がモータ 1 の回転速度（角速度）となり、積分器 6 0 の出力が回転位置 θ となる。

【 0 0 2 7 】

着磁制御部 6 1 は、洗濯乾燥機 2 1 の運転を制御する制御回路部（上位システム）より与えられる運転シーケンス信号を参照して、洗い、脱水、すすぎ、乾燥等の運転状態の変化に従い、永久磁石モータ 1 のロータ 3 に配置されているアルニコ磁石 9 b を着磁するための着磁指令（増磁指令又は減磁指令）を位置推定補正部（補正手段）6 2 及び着磁制御切替え部（制御指令切替え手段）6 3 に出力する。

位置推定補正部 6 2 は、着磁制御部 6 1 より着磁指令が与えられると、速度・位置推定部 5 5 に対して E_d 保持指令を出力する。速度・位置推定部 5 5 は、 E_d 保持指令が与えられると、 E_d 演算器 5 6 より出力される d 軸誘起電圧 E_d の値を、その時点で得ている値に保持する。

【 0 0 2 8 】

着磁制御切替え部 6 3 には、着磁制御部 6 1 より上記着磁指令と共に増減磁電流値が与えられており、また、 uvw / dq 座標変換器 5 4 より d 軸電流 I_d が与えられている。

10

20

30

40

50

そして、着磁制御切替え部 63 は、電流制御部 67 の比例積分器 69 d に対し、制御切替え指令と、d 軸電圧指令 V_{d_ref} とを出力する。

【0029】

上記制御回路部より与えられる回転数指令値 ω_{ref} は、速度制御部 64 の減算器 65 において回転速度 ω との差が求められると、その差が比例積分器 66 で比例積分演算され、q 軸電流指令値 I_{q_ref} として電流制御部 67 に出力される。d 軸電流指令出力部 68 は、上記制御回路部より与えられる運転シーケンス信号を参照し、弱め界磁制御を行う必要がある場合は、電流制御部 67 に出力する d 軸電流指令値 I_{d_ref} を負の値に設定し、それ以外の場合は、d 軸電流指令値 I_{d_ref} を「0」に設定する。

【0030】

電流制御部 67 では、減算器 69 d, 69 q において d 軸電流指令値 I_{d_ref} , q 軸電流指令値 I_{q_ref} と d 軸電流 I_d , q 軸電流 I_q との差がそれぞれ求められ、その差が比例積分器 70 d, 70 q で比例積分演算される。そして、比例積分演算の結果は、d - q 座標系で表わされた出力電圧指令値 V_d, V_q として、d q / u v w 座標変換器 71 に出力される。

【0031】

ここで、図 2 は、比例積分器 70 d の内部構成を示す。減算器 69 d の減算結果は、比例器 72 及び積分器 73 に入力される。そして、比例器 72, 積分器 73 の出力は、加算器 74 により加算されると、切替えスイッチ 75 の入力端子の一方に与えられる。切替えスイッチ 75 の入力端子の他方には、上述したように、着磁制御切替え部 63 からの d 軸電圧指令 V_{d_ref} が与えられている。そして、切替えスイッチ 75 は、着磁制御切替え部 63 より与えられる制御切替え指令によって、入力端子の何れを選択して d 軸電流 V_d として出力するかが切り替えられる。通常のモータ制御時には、切替えスイッチ 75 は加算器 74 側を選択しており、着磁制御部 61 がアルニコ磁石 9 b を着磁するため、着磁指令を出力すると、制御切替え指令により、切替えスイッチ 75 は d 軸電圧指令 V_{d_ref} 側を選択するようになっている。

【0032】

d q / u v w 座標変換器 71 では、電圧指令値 V_d, V_q は、d - q 座標系で表わした値に変換された後、更に各相電圧指令値 V_u, V_v, V_w に変換される。d q / u v w 座標変換器 71 における座標変換の計算にも、回転位置 θ が用いられる。

各相電圧指令値 V_u, V_v, V_w は電力変換部 76 に入力され、指令値に一致する電圧を供給するためのパルス幅変調されたゲート駆動信号が形成される。インバータ回路 52 は例えば IGBT などのスイッチング素子を三相ブリッジ接続して構成され、図示しない直流電源回路より直流電圧の供給を受けるようになっている。電力変換部 76 で形成されたゲート駆動信号は、インバータ回路 52 を構成する各スイッチング素子のゲートに与えられ、それにより各相電圧指令値 V_u, V_v, V_w に一致する PWM 変調された三相交流電圧が生成されてモータ 1 の巻線 5 に印加される。

【0033】

上記の構成において、電流制御部 67 では比例積分 (PI) 演算によるフィードバック制御が行なわれ、d 軸電流 I_d , q 軸電流 I_q はそれぞれ d 軸電流指令値 I_{d_ref} , q 軸電流指令値 I_{q_ref} に一致するように制御される。その制御結果としての角速度推定値が減算器 65 にフィードバックされ、比例積分器 65 は、比例積分演算により偏差 e をゼロに収束させる。その結果、回転速度 ω は指令値 ω_{ref} に一致するようになる。

以上の構成において、モータ制御装置 50 に永久磁石モータ 1 を加えたものが、モータ制御システム 77 を構成している。また、インバータ回路 52, 電力変換部 76 を除く部分は、モータ制御装置 50 を構成するマイクロコンピュータのソフトウェアにより実現されている機能である。

【0034】

次に、永久磁石モータ 1 を備えたドラム式洗濯乾燥機 21 の作用について説明する。制御回路部が着磁制御部 58 を介してインバータ回路 52 によりステータ巻線 5 に通電する

10

20

30

40

50

と、電機子反作用による外部磁界（ステータ巻線 5 を流れる電流により発生する磁界）が、ロータ 3 の永久磁石 9 a , 9 b に作用する。そして、保磁力が小さいアルニコ磁石 9 b の磁化状態が、上記外部磁界により減磁または増磁され、その結果、ステータ巻線 5 に鎖交する磁束量（鎖交磁束量）が増減される。

【 0 0 3 5 】

洗濯運転では、制御回路部は、給水弁 3 0 を開放して水槽 2 5 内に給水を行い、続いてドラム 2 7 を回転させて洗濯を行う。この場合、アルニコ磁石 9 b の磁化状態を増磁させる。これにより、ステータ巻線 5 に作用する磁束量が多く（磁力が強くなる）ので、ドラム 2 7 を高トルク低速度で回転させるのに適した特性となる。

【 0 0 3 6 】

脱水運転では、制御回路部は、排水弁 3 1 を開放して水槽 2 5 内の水を排出し、続いてドラム 2 7 を高速回転させて洗濯物に含まれる水分を脱水する。この場合、アルニコ磁石 9 b の磁化状態を減磁させる。これにより、ステータ巻線 5 に作用する磁束量が少なく（磁力が弱くなる）ことから、ドラム 2 7 を低トルク高速度で回転させるのに適した特性となる。最後に、乾燥運転では、制御回路部は、送風ファン 3 6 およびヒートポンプ 4 1 を駆動させると共にドラム 2 7 を回転させて洗濯物の乾燥を行う。この場合、次回の洗濯運転に備えて、アルニコ磁石 9 b の磁化状態を増磁させる。

【 0 0 3 7 】

次に、本実施例の作用について図 3 ないし図 6 も参照して説明する。先ず、処理の概要について、図 3 のタイミングチャートを参照しながら説明する。上述のようにアルニコ磁石 9 b を増減磁する場合は、ロータ 3 の位置が、アルニコ磁石 9 b に対して、d 軸電流の通電による磁束を効果的に鎖交させることが可能な位置関係になった場合に処理（増減磁シーケンス）を開始する。

【 0 0 3 8 】

通常のリモータ制御を行っている期間（ 0 ）から増減磁シーケンスを開始すると、最初は d 軸電流を増加させる [シーケンス（ 1 ）, （ d ）参照]（尚、q 軸電流 I_q は、図 3 の全期間に亘って一定である）。このとき、着磁制御部 6 1 は、上位システム（洗濯機の制御回路部）から受けた指令が増磁であれば増磁指令を、減磁であれば減磁指令を位置推定補正部 6 2 及び着磁制御切替え部 6 3 に出力する。着磁制御切替え部 6 3 は、増磁指令（減磁指令）が与えられると、電流制御部 6 7 に増磁（減磁）電圧指令を出力する。すると、（以下、増磁の場合）d 軸電流 I_d は正の電圧指令 V_{d_ref} によって制御され [（ e ）参照]、q 軸電流 I_q は電流指令 I_{q_ref} によって制御される。

【 0 0 3 9 】

また、位置推定補正部 6 2 は、増磁指令が与えられると、d 軸誘起電圧 E_d を保持させる指令を速度・位置推定部 5 5 に出力する。すると、速度・位置推定部 5 5 は、d 軸誘起電圧 E_d を、前回の演算結果のまま保持して一定値とし、その値に基づいて速度及び角度を推定する。

そして、d 軸電流 I_d が、着磁制御部 6 1 より与えられる増減電流値 I_1 に達すると、次のシーケンス（ 2 ）に移行して d 軸電流 I_d を減少させる。このとき、着磁制御切替え部 6 3 は、d 軸電圧指令 V_{d_ref} を負の値（或いはゼロに固定し [（ e ）参照]、d 軸電流 I_d を急激に減少させる [（ d ）参照]。

【 0 0 4 0 】

d 軸電流 I_d が減少して所定値 I_2 （ > 0 ）以下まで減少すると、次のシーケンス（ 3 ）に移行する。この時点で、着磁制御切替え部 6 3 は、d 軸側を電流指令 I_{d_ref} 、 I_{q_ref} に基づく制御となる。さらに時間が経過して、d 軸電流 I_d がゼロになると、着磁制御部 6 1 は増磁指令の出力を停止し、通常のリモータ制御に戻る [期間（ 4 ）]。増磁指令の出力が停止すると、位置推定補正部 6 2 は、 E_d 保持指令の出力を停止して、速度・位置推定部 5 5 の E_d 演算器 5 6 による d 軸誘起電圧 E_d の演算を再開させる。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

図4は、着磁制御部61を中心とする着磁制御の内容を示すフローチャートであり、一定周期毎に実行される。着磁制御部61は、上記制御回路部(洗濯機システム)より増減磁指令を受けていない間は、ステップS1からS11に移行して、着磁動作カウンタをゼロクリアする。そして、増減磁指令を受けるとステップS2に移行し、その時点での着磁動作カウンタ値が、増減磁終了時間(例えば、10m秒)に一定時間を加えた時間に相当する値よりも小さいか否かを判断する。

【0042】

ステップS2で、(着磁動作カウンタ) < (増減磁終了時間) + (一定時間) であれば(YES)着磁動作カウンタをインクリメントして(ステップS3)、位置推定補正指令を出力する(ステップS4)。ここで、(増減磁終了時間) + (一定時間)は、

10

【0043】

次のステップS5で(着磁動作カウンタ) < (増減磁終了時間)であり(YES)、制御回路部より受けた指令が増磁指令の場合は(ステップS6: YES)、位置推定補正部62及び着磁制御切替え部63に対して増磁指令と共に増磁電流指令値を出力する(ステップS7, S8)。また、制御回路部より受けた指令が減磁指令の場合は(ステップS6: NO)、減磁指令と共に減磁電流指令値を出力する(ステップS9, S10)。

【0044】

図6は、位置推定補正部62を中心とする制御内容を示すフローチャートである。着磁制御部61より位置推定補正指令が与えられている場合は(ステップS31: YES)、補正モードが、速度・位置推定部55において前回値を使用するタイプか否かを判断する(ステップS32)。尚、補正モードについては、予めユーザが設定可能となっており、上記の前回値使用タイプ/前回値不使用タイプに加えて、前回値使用タイプについては、ステップS33で判断されるモード(1~3)がある。

20

【0045】

すなわち、前回値使用タイプであれば(ステップS32: YES)、モード(1~3)の設定に応じてステップS33からS34~35に移行する。モード(1)は、Ed演算器56より出力されるd軸誘起電圧Ed(演算結果)を「0」にするモードであり(ステップS34)、モード(2)は、d軸誘起電圧Edの前回値を保持して、今回の値に使用するモードである(ステップS35, 図3で説明したケース)。また、モード(3)は、

30

【0046】

一方、ステップS32において、前回値不使用タイプである場合は(NO)、Ed演算器56が実行する演算式:(2)式を、一時的に(7)式のように変更する(ステップS37)。

$$E_d = V_d - R \cdot I_d - s \cdot L_d \cdot I_d + \dots \cdot L_q \cdot I_q \dots (7)$$

すなわち、右辺第3項の微分項[-s・Ld・Id]を付加して、d軸誘起電圧Edを求めるようにする。この場合、d軸電流Idを例えば正側に急激に変化させる場合、右辺第1項のVdが非常に大きくなるが、右辺第3項の微分項[-s・Ld・Id]が負側に大きくなるため、左辺のd軸誘起電圧Edが急変することはなくなる。

40

【0047】

図5は、着磁制御切替え部63を中心とする制御内容を示すフローチャートであり、この処理は、図4の処理に引き続き実行される。先ず、ステップS12でステップS5と同じ判断、又は着磁動作カウンタ=0か否かを判断する。ここで「NO」と判断する場合は、永久磁石モータ1を通常通りに駆動制御しているケースであるから、上述したように、比例積分器70d内部の切替えスイッチ75が加算器74側を選択するように、すなわち、d軸電流指令Id_refに基づき制御を行うようにする(ステップS17)。

50

【 0 0 4 8 】

ステップ S 1 2 で「 Y E S 」と判断する場合は、増減磁処理が行われているケースであるから、d 軸電流の上昇が開始された後、その d 軸電流又は U , V , W 何れかの相電流が、増減磁電流指令値 (図 3 の I 1) に達していないか否かを判断する (ステップ S 1 3) 。前記指令値に達していない場合 (Y E S) 、増磁指令であれば (ステップ S 1 4 : Y E S) 、切替えスイッチ 7 5 に d 軸電圧指令 V d _ref 側を選択させて、アルニコ磁石 9 b を増磁させる d 軸電圧指令を出力する (ステップ S 1 5) 。また、減磁指令であれば (ステップ S 1 4 : N O) 、アルニコ磁石 9 b を減磁させる d 軸電圧指令を出力する (ステップ S 1 6) 。すなわち、ステップ S 1 5 , S 1 6 は、図 3 のシーケンス (1) に対応する処理である。

10

【 0 0 4 9 】

一方、ステップ S 1 3 で「 N O 」と判断する場合は、図 3 のシーケンス (2) に移行したケースであり、d 軸電流 I d 又は U , V , W 何れかの相電流が、制御切替え電流値 (図 3 の I 2) に達していないか否かを判断する (ステップ S 1 8) 。前記電流値に達していなければ (Y E S) 、増磁指令であれば (ステップ S 1 9 : Y E S) 、d 軸電流 I d を減少させるように d 軸電圧指令 V d _ref を出力する (ステップ S 2 0) 。また、減磁指令であれば (ステップ S 1 9 : N O) 、減磁方向の d 軸電流 I d を減少させるように d 軸電圧指令 V d _ref を出力する (ステップ S 2 1) 。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 8 で「 N O 」と判断する場合は、d 軸電流 I d 等が制御切替え電流値に達して図 3 のシーケンス (3) に移行したケースである。したがって、着磁制御切替え部 6 3 は、比例積分器 7 0 d 内部の切替えスイッチ 7 5 が加算器 7 4 側を選択するように、d 軸電流指令 I d _ref に基づき制御を行うように切替えさせる (ステップ S 2 2) 。

20

【 0 0 5 1 】

以上のように本実施例によれば、モータ制御装置 5 0 は、速度・位置推定部 5 5 が永久磁石モータ 1 について成立する電圧方程式に基づいて、ロータ 3 の回転位置 を推定し、その推定された回転位置 に基づいて d 軸電流及び q 軸電流を演算することで、永久磁石モータ 1 をベクトル制御する。そして、位置推定補正部 6 2 は、着磁制御部 6 1 が、インバータ回路 5 2 を介してモータ 1 の巻線 5 に通電を行いアルニコ磁石 9 b を着磁する期間に、電圧方程式により得られる演算結果を一時的に固定値に置換することで、推定されるロータ位置 を補正するようにした。具体的には、位置推定補正部 6 2 は、ユーザの選択に応じて、d 軸誘起電圧 E d を着磁制御が開始される直前に演算された値に保持したり、又はゼロに保持したり、或いは、電圧方程式の演算結果より得られる回転速度 を、着磁制御が開始される直前に演算された値に保持するようにして、演算結果を一時的に固定値に置換する。

30

【 0 0 5 2 】

すなわち、電流制御においては、q 軸側は電流指令に基づく制御を継続し、d 軸側の制御を電流指令に基づく制御と電圧指令直値による制御を切り替えることで、増減磁電流が急激に上昇、下降する場合でも、脱調等することなくモータ 1 の運転を継続することができ、高速な電流の制御が可能になる。そして、このように位置センサレス方式で増減磁を行うことで、洗濯乾燥機 2 1 のように低コストが要求される家電用途においても永久磁石モータ 1 のような可変磁束モータを適用し、モータ 1 に要求される回転数・トルクの特性に応じて行う増減磁の効果を大きくすることができ、運転領域の全域にわたって高効率な運転が可能となる。したがって、位置センサレス方式で制御する場合でも、モータ 1 が脱調すること無しに増減磁通電を行うことができる。

40

【 0 0 5 3 】

また、位置推定補正部 6 2 は、ユーザの選択により、着磁制御部 6 1 が着磁制御を行う期間は、d 軸電圧方程式に一時的に微分項 $s \cdot L d \cdot I d$ を加えて d 軸誘起電圧 E d を算出するので、着磁制御を行う期間に突発的に大きな電流が流れた場合でも、位置推定演算に用いられる d 軸電圧方程式に、瞬時的な変化に対する追従性が良好な微分項 $s \cdot L d \cdot$

50

I_d を一時的に加えてd軸誘起電圧 E_d を算出するので、誘起電圧 E_d の急変を抑制することができる。

【0054】

そして、着磁制御切替え部63は、モータ制御装置50が、ベクトル制御のフィードバックループ内にPI制御を組み込んでいる場合、着磁制御部61が着磁制御を行う期間は、ベクトル制御における電流指令 I_d_ref を電流制御部67のd軸側に与える制御と、電流指令 I_d_ref に替えて電圧指令 V_d_ref をdq/uvw座標変換器71に直接出力する制御とを切り替えるようにした。したがって、着磁制御を行う期間に突発的に大きな電流が流れた場合でも、増減磁電流を遅れ無しに通電することができる。

【0055】

また、着磁制御切替え部63は、着磁制御部61がd軸電流を増加させる指令を出力する期間は、d軸については前記d軸電流を増加させる極性の電圧指令 V_d_ref を直接与え、q軸については電流制御指令 I_q_ref を与えるので、d軸電流の通電量を迅速に上昇させることができる。

【0056】

そして、着磁制御切替え部63は、U、V、W何れかの相電流値、又はd軸電流 I_d の値が、着磁制御部61により与えられる着磁電流指令値 I_1 に達すると、d軸電流 I_d を減少させるように電圧指令 V_d_ref を与え、着磁制御部61がd軸電流 I_d を減少させる指令を出力する期間は、d軸についてはd軸電流 I_d を減少させる極性の電圧指令 V_d_ref を直接与え、q軸については電流制御指令 I_q_ref を与えるので、d軸電流 I_d の通電量を迅速に下降させることができる。

また、着磁制御切替え部63は、U、V、W何れかの相電流値（絶対値）、又はd軸電流 I_d （絶対値）が一定の閾値 I_2 未滿に減少すると、dq軸共に電流制御指令を与えるように切り替えるので、d軸電流 I_d がゼロに到達するよりも早いタイミングで電流制御指令に基づく制御に切り替えることにより、d軸電流 I_d が逆極性側にアンダーシュートすることを防止できる。

【0057】

また、モータ電流を、電流センサ（例えば、カレントトランス）51を用いて検出する場合は問題ないが、上述のようにインバータ回路51の下アーム側にシャント抵抗を挿入して電流を検出する場合は、以下のような問題が生じる。この場合、電流検出は、下アーム側のスイッチング素子がオンしている期間中にシャント抵抗の端子電圧を検出することで行う。すると、着磁制御部61が着磁制御を行う場合は、d軸電流 I_d を通電する期間が非常に短くなるため、それに伴い、下アーム側スイッチング素子がオンしている時間もPWMデューティが0%に近い状態になることから、電流検出が困難になる。

そして、本実施例によれば、位置推定補正部62の作用により、上記のようなケースにおいても、速度・位置推定部55はモータ電流が検出されない期間に位置推定を行うことが可能となる。したがって、電流センサ51に替えてシャント抵抗を用いることで、製品のコストダウンに寄与することができる。

【0058】

（第2実施例）

図10は第2実施例であり、第1実施例のモータ制御装置50を空調機（エアコンディショナ）に適用した場合を示す。ヒートポンプ101を構成するコンプレッサ（負荷）102は、圧縮部103とモータ104を同一の鉄製密閉容器105内に収容して構成され、モータ104のロータシャフトが圧縮部103に連結されている。そして、コンプレッサ102、四方弁106、室内側熱交換器107、減圧装置108、室外側熱交換器109は、冷媒通路たるパイプにより閉ループを構成するように接続されている。尚、コンプレッサ102は、例えばロータリ型のコンプレッサであり、モータ104は、第1実施例のモータ1と同様に構成される永久磁石モータである。

【0059】

暖房時には、四方弁106は実線で示す状態にあり、コンプレッサ102の圧縮部10

10

20

30

40

50

3で圧縮された高温冷媒は、四方弁106から室内側熱交換器107に供給されて凝縮し、その後、減圧装置108で減圧され、低温となって室外側熱交換器109に流れ、ここで蒸発してコンプレッサ102へと戻る。一方、冷房時には、四方弁106は破線で示す状態に切り替えられる。このため、コンプレッサ102の圧縮部103で圧縮された高温冷媒は、四方弁106から室外側熱交換器109に供給されて凝縮し、その後、減圧装置108で減圧され、低温となって室内側熱交換器107に流れ、ここで蒸発してコンプレッサ102へと戻る。そして、室内側、室外側の各熱交換器107, 109には、それぞれファン110, 111により送風が行われ、その送風によって各熱交換器107, 109と室内空気、室外空気の熱交換が効率良く行われるように構成されている。

【0060】

以上のように構成される第2実施例によれば、永久磁石モータ104とインバータ装置50とで構成されるモータ制御システムを空調機に適用して、コンプレッサ102を駆動するようにしたので、空調機の運転を安定して行うことができると共に、消費電力を低減することができる。

【0061】

本発明は上記し又は図面に記載した実施例にのみ限定されるものではなく、以下のような変形又は拡張が可能である。

着磁電流指令値(I_1)は、低保持力永久磁石を十分に着磁できる電流値であれば良く、適宜設定が可能である。

また、閾値(I_2)は、着磁を行う際に通電するd軸電流 I_d を減少させる過程において、逆極性側にアンダーシュートが発生することを防止できる値とすれば良く、適宜設定が可能である。

補正モードについては、予め設定した何れか1つのモードだけを実行しても良い。

位置推定を行う際にq軸電圧方程式も用いる場合は、増減磁通電の間、d軸誘起電圧 E_d だけでなくq軸誘起電圧 E_q も同時に保持してもよい。

【0062】

ネオジム磁石9a, アルニコ磁石9bの配置個数比は、個別の設計に応じて適宜変更すれば良い。

低保磁力の永久磁石は、アルニコ磁石に限ることなく、その他例えばサマリウム・コバルト磁石を用いても良い。また、高保磁力の永久磁石もネオジム磁石に限ることはない。

補正については、回転速度を補正せずに、ロータ位置だけを補正しても良い。

洗濯機や空調機に限ることなく、ロータに低保磁力永久磁石が配置される永久磁石モータを制御対象とするものであれば適用が可能である。

【符号の説明】

【0063】

図面中、1は永久磁石モータ、3はロータ、9aはネオジム磁石、9bはアルニコ磁石(低保磁力永久磁石)、21はドラム式洗濯乾燥機、50はモータ制御装置(ベクトル制御手段)、52はインバータ回路、55は速度・位置推定部(位置推定手段)、61は着磁制御部(着磁制御手段)、62は位置推定補正部(補正手段)、63は着磁制御切替え部(制御指令切替え手段)、77はモータ制御システムを示す。

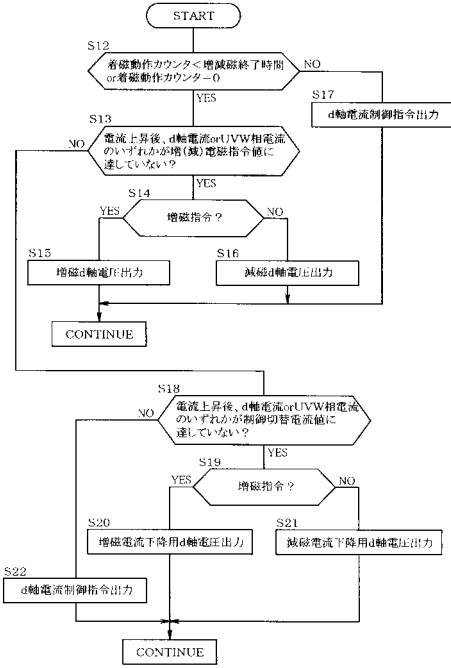
10

20

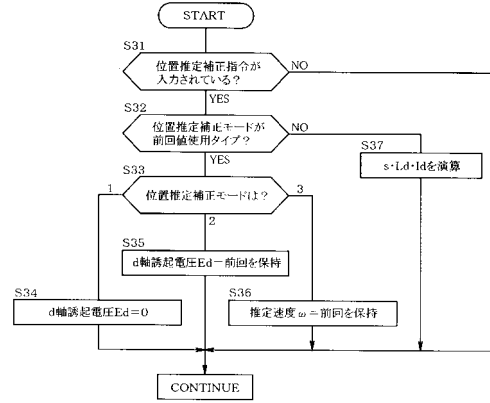
30

40

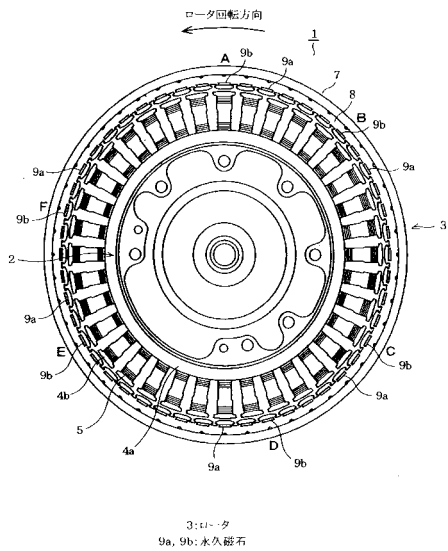
【図5】



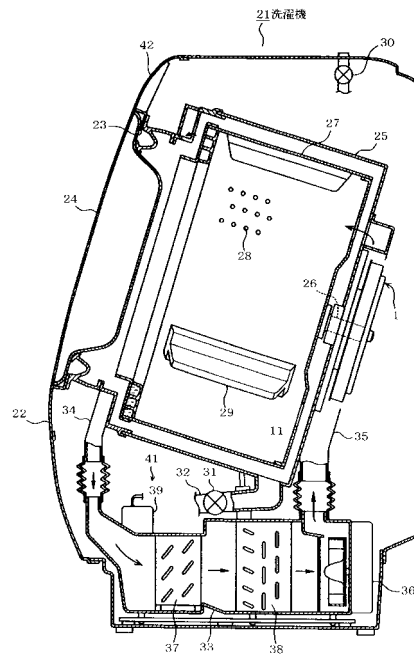
【図6】



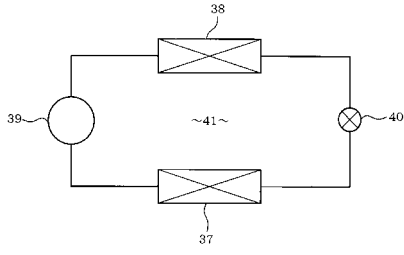
【図7】



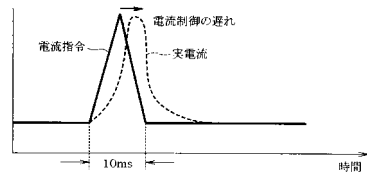
【図8】



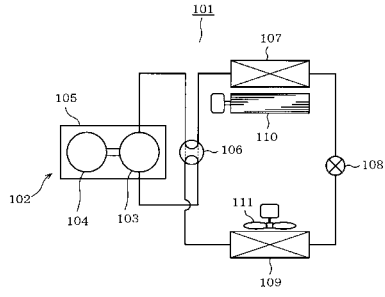
【図9】



【図11】



【図10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-153296(JP,A)
特開2009-118663(JP,A)
特開2003-299400(JP,A)
特開2003-033097(JP,A)
特開2008-029148(JP,A)
特開2005-304204(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/00 - 29/04
H02K 21/00 - 21/48