

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2012年4月12日(12.04.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/046410 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 6/12 (2006.01) H02P 27/04 (2006.01)
H02P 21/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/005446
- (22) 国際出願日: 2011年9月28日(28.09.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-228290 2010年10月8日(08.10.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田澤 徹 (TAZAWA, Toru). 西園 勝 (NISHIZONO, Masaru).
- (74) 代理人: 内藤 浩樹, 外 (NAITO, Hiroki et al.); 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 Osaka (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

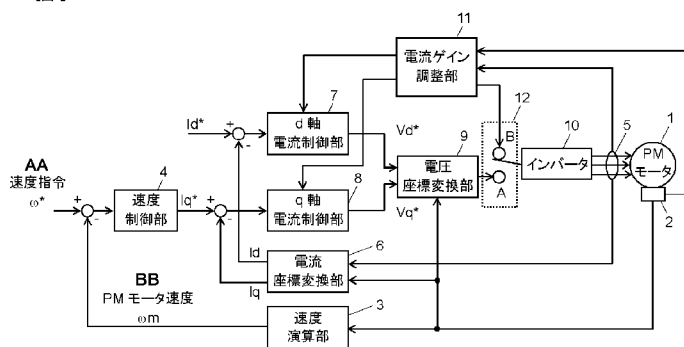
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: CURRENT CONTROL GAIN ADJUSTING METHOD FOR PM MOTOR, CURRENT CONTROL METHOD, AND CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: PMモータの電流制御ゲイン調整方法、電流制御方法および制御装置

[図1]



- 1 PM motor
- 3 Speed calculating unit
- 4 Speed control unit
- 6 Current coordinate converting unit
- 7 d-axis current control unit
- 8 q-axis current control unit
- 9 Voltage coordinate converting unit
- 10 Inverter
- 11 Current gain adjusting unit
- AA Speed command (ω^*)
- BB PM motor speed (ω_m)

(57) Abstract: The present invention involves: a voltage applying step for applying, to a PM motor, an applied voltage containing a direct current component and a plurality of frequency components; a motor current detecting step for detecting the motor current which flows in accordance with the applied voltage; and a current control gain adjusting step for calculating the current control gain on the basis of the frequency characteristics of the applied voltage and the motor current. As a consequence, it is possible to adjust, in a short period of time, a stable current control gain having a high current responsiveness.

(57) 要約: 本発明は、直流成分と複数の周波数成分を含む印加電圧をPMモータに印加する電圧印加ステップと、印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出するモータ電流検出ステップと、印加電圧とモータ電流との周波数特性に基づいて電流制御ゲインを算出する電流制御ゲイン調整ステップと、を有する。これにより、安定で電流応答性の高い電流制御ゲインを短時間で調整できる。

WO 2012/046410 A1

明 細 書

発明の名称：

PMモータの電流制御ゲイン調整方法、電流制御方法および制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、モータ電流を検出して制御する電流制御系を有するPMモータの電流制御ゲイン調整方法、電流制御方法および制御装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、ベクトル制御で速度制御を行うPMモータの制御装置が開発されている。

[0003] 以下に、ベクトル制御により速度制御を行う従来のPMモータの制御装置について、図10を用いて説明する。

[0004] 図10は、従来のPMモータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[0005] 図10に示すように、PMモータのモータ制御装置は、少なくともPMモータ101と、速度演算部103と、速度制御部104と、電流検出器105と、電流座標変換部106と、d軸電流制御部107と、q軸電流制御部108と、電圧座標変換部109と、インバータ110とから構成されている。

[0006] そして、図10に示すPMモータのモータ制御装置は、以下に示す動作により、PMモータ101を駆動する。

[0007] すなわち、PMモータ101には位置検出器102が取り付けられ、PMモータ101の回転位置を検出する。速度演算部103は、位置検出器102で検出された位置情報に基づいて、PMモータ101の速度 ω_m を計算する。速度制御部104は、速度演算部103で計算されたPMモータ101の速度 ω_m が、与えられた速度指令 ω^* に追従するように、速度 ω_m と速度指令 ω^* との偏差を入力として、q軸電流指令 I_q^* を算出する。このとき、速度制御部104は、例えば比例積分制御で動作する。

- [0008] 電流座標変換部106は、電流検出器105で検出したモータ電流の検出値を座標変換して、PMモータ101の磁極軸と同方向の成分であるd軸電流 I_d と、d軸に対し垂直方向の成分であるq軸電流 I_q とを算出し、出力する。そして、d軸電流制御部107は、d軸電流 I_d が予め与えられたd軸電流指令 I_d^* に追従するようにd軸電圧指令 V_d^* を算出し、出力する。また、q軸電流制御部108は、q軸電流 I_q がq軸電流指令 I_q^* に追従するようにq軸電圧指令 V_q^* を算出し、出力する。このとき、d軸電流制御部107およびq軸電流制御部108は、例えば比例積分制御で動作する。
- [0009] そして、電圧座標変換部109は、d軸電圧指令 V_d^* とq軸電圧指令 V_q^* からの三相の電圧指令を作成する。インバータ110は、電圧座標変換部109で作成された電圧指令に基づいて、PMモータ101を駆動する。
- [0010] このとき、従来のPMモータの駆動装置でPMモータを安定に駆動するには、d軸電流制御部107およびq軸電流制御部108の電流制御ゲインを適切に設定して、安定した電流制御を実現する必要がある。また、PMモータの高い速度制御性を得るには、速度制御系のマイナーループである電流制御系の電流制御ゲインをできる限り高く設定することが望ましい。
- [0011] そこで、従来のPMモータの制御装置において、電流制御ゲインを調整する技術がいくつか開示されている（例えば、特許文献1参照）。特許文献1に開示された技術は、誘導電動機を対象とし、負荷を含む等価回路の回路定数（モータ定数）である抵抗値とインダクタンス値、および制御遅れ時間を用いて、演算式に基づいて一意的に電流制御ゲインを定めている。
- [0012] また、抵抗値やインダクタンス値などのモータ定数を求める別の技術は、例えば特許文献2に開示されている。特許文献2によれば、まず、PMモータ101に直流電流を流したときの入力電圧と入力電流から抵抗値を求める。つぎに、PMモータ101に交流電流を流したときの入力電圧と入力電流の基本波成分を抽出して、入力電圧と入力電流のそれぞれの大きさ、および入力電圧と入力電流の位相差からインダクタンス値を求める。そして、求め

た抵抗値とインダクタンス値から電流制御ゲインを求めている。

[0013] しかしながら、特許文献1では、等価回路定数である抵抗値とインダクタンス値を予め調べておく必要がある。また、電流制御の応答性を決めるカットオフ周波数を固定式で算出するため、必ずしも電流応答性を最大限に引き出していない場合があった。

[0014] 一方、特許文献2では、特許文献1の課題であるモータ定数の測定は可能である。しかし、巻線抵抗を求めるためにPMモータ101に流す直流電流が定常状態となるまでに時間が必要になる。また、抵抗値とインダクタンス値を別々の試験信号を用いて計測するため、計測に時間を要するなどの課題があった。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：特開平9-84378号公報

特許文献2：特開2000-312498号公報

発明の概要

[0016] 本発明のPMモータの電流制御ゲイン調整方法は、直流成分と複数の周波数成分を含む電圧をPMモータに印加するステップと、印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出するステップと、印加電圧とモータ電流の関係である周波数特性を用いて安定かつ電流応答性の高い電流制御ゲインを算出するステップと、を有する。

[0017] これにより、安定で電流応答性の高い電流制御ゲインを短時間で調整することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、本発明の実施の形態1におけるPMモータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態1における電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理の流れを示すフローチャートである。

[図3]図3は、PMモータの単相通電状態を説明する等価回路図である。

[図4A]図4Aは、PMモータの伝達関数（ゲイン）の周波数特性を示す図である。

[図4B]図4Bは、PMモータの伝達関数（位相）の周波数特性を示す図である。

[図5A]図5Aは、電流制御オープンループ周波数特性を示す図である。

[図5B]図5Bは、電流制御オープンループ周波数特性を示す図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態2における電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理の流れを示すフローチャートである。

[図7]図7は、同実施の形態におけるモータ電流と電氣的時定数の関係を示す図である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態3におけるPMモータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態3における処理の流れを示すフローチャートである。

[図10]図10は、従来のPMモータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、本実施の形態によって本発明が限定されるものではない。

[0020] （実施の形態1）

以下に、本発明の実施の形態1におけるPMモータの電流制御ゲイン調整方法およびモータ制御装置について、図1を用いて説明する。

[0021] 図1は、本発明の実施の形態1におけるPMモータのモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

[0022] 図1に示すように、本実施の形態のPMモータのモータ制御装置は、少なくともPMモータ1と、速度演算部3と、速度制御部4と、電流検出器5と、電流座標変換部6と、d軸電流制御部7と、q軸電流制御部8と、電圧座

標変換部 9 と、インバータ 10 と、電流ゲイン調整部 11 と、電圧指令切替部 12 と、から構成されている。

[0023] すなわち、図 1 に示す PM モータのモータ制御装置は、以下に示すような動作により、PM モータ 1 を駆動する。

[0024] つまり、PM モータ 1 には位置検出器 2 が取り付けられ、PM モータ 1 の回転位置を検出する。速度演算部 3 は、位置検出器 2 で検出された PM モータ 1 の回転位置情報から PM モータ速度 ω_m を演算する。速度制御部 4 は、速度演算部 3 で演算されたモータ速度 ω_m が速度指令 ω^* に追従するように制御して、q 軸電流指令 I_q^* を算出し、出力する。電流検出器 5 は、PM モータ 1 に流れるモータ電流を検出する。電流座標変換部 6 は、電流検出器 5 が検出したモータ電流を d 軸電流 I_d 、q 軸電流 I_q に変換して、出力する。d 軸電流制御部 7 は、電流座標変換部 6 で変換された d 軸電流 I_d が d 軸電流指令 I_d^* に追従するように制御して、d 軸電圧指令 V_d^* を算出し、出力する。q 軸電流制御部 8 は、電流座標変換部 6 で変換された q 軸電流 I_q が q 軸電流指令 I_q^* に追従するように制御して、q 軸電圧指令 V_q^* を算出し、出力する。電圧座標変換部 9 は、d 軸電圧指令 V_d^* と q 軸電圧指令 V_q^* 指令を、3 相の電圧指令に変換する。インバータ 10 は、入力される 3 相の電圧指令に応じた電圧を PM モータ 1 に印加する。電流ゲイン調整部 11 は、電流制御ゲインの調整処理を行い、d 軸電流制御部 7 と q 軸電流制御部 8 に設定する。

[0025] そして、電圧指令切替部 12 は、インバータ 10 へ入力する 3 相の電圧指令として、電圧座標変換部 9 の出力と電流ゲイン調整部 11 の出力とを切り替える。なお、通常の PM モータ 1 の速度制御時には、電圧指令切替部 12 は、図 1 中に示す A 側に切り替えられ、電流制御ゲイン調整時には図 1 中に示す B 側に切り替えられる。

[0026] つぎに、PM モータ 1 の電流制御ゲイン調整方法について、具体的に説明する。

[0027] まず、PM モータ 1 のモータ駆動装置の電圧指令切替部 12 を B 側に切り

替える。そして、電流ゲイン調整部 11 は、PM モータ 1 に印加されるインバータ 10 の出力の電流制御ゲインを調整する。

[0028] 以下に、電流ゲイン調整部 11 の動作および作用について、図 2 から図 4 B を用いて、図 1 を参照しながら具体的に説明する。

[0029] 図 2 は、本発明の実施の形態 1 における電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理の流れを示すフローチャートである。図 3 は、PM モータの単相通電状態を説明する等価回路図である。図 4 A は、PM モータの伝達関数（ゲイン）の周波数特性を示す図である。図 4 B は、PM モータの伝達関数（位相）の周波数特性を示す図である。

[0030] 図 2 に示すように、まず、電流制御ゲインの調整処理が開始されると PM モータ 1 の回転子を所定の位置に引き込むために引き込み電圧指令を生成し出力する（ステップ S 101）。これは、PM モータ 1 は、回転子に磁石が存在するため電圧印加によって回転子が回転する場合があるので、予め PM モータ 1 の回転子を所定の位置に固定するためである。そのため、モータ定数の算出には、PM モータ 1 の回転子が静止した状態で行うことが好ましい。そこで、まず、PM モータ 1 に引き込み電圧指令に基づいて、例えば U 相に V_a 、V 相、W 相に $-V_a/2$ の直流電圧を印加し、PM モータ 1 の回転子を所定の位置に引き込む。なお、直流電圧 V_a は、PM モータ 1 の回転子が所定の位置に十分引き込まれるように、例えば電圧印加時に PM モータ 1 の定格電流程度の電流が流れるときの電圧として設定される。

[0031] このとき、PM モータ 1 の回転子を所定の位置に引き込んだ後の PM モータ 1 の等価回路は、図 3 に示すようになる。つまり、図 3 に示すように、PM モータ 1 の回転子は回転していないので、PM モータ 1 の等価回路は相抵抗 R と相インダクタンス L からなり、U-VW 間に単相の電圧が印加されることになる。これにより、電流軸（d 軸）と磁極軸が一致した状態となる。

[0032] つぎに、モータ定数を算出するために印加する、印加電圧である電圧指令 $V_s(t)$ を生成する（ステップ S 102）。具体的には、（数 1）に示すような、直流成分 V_0 に複数の周波数成分を持つ $V_n(t)$ を加算した電圧

指令 $V_s(t)$ を生成する。このとき、電圧指令 $V_n(t)$ として、例えば M 系列信号 (Maximum Length Sequence Signal) を用いる。

[0033] なお、 V_0 と V_n を加算した電圧指令 $V_s(t)$ を生成する理由については、後述する。

[0034] [数1]

$$V_s(t) = V_0 + V_n(t)$$

[0035] そして、生成された電圧指令 $V_s(t)$ に基づいて、引き込み時と同様に U-VW 間に単相の電圧が印加されるようにインバータ 10 へ、例えば U 相に $V_s(t)$ 、V 相と W 相に $-V_s(t)/2$ の電圧指令 $V_s(t)$ を出力する。このとき、電圧指令 $V_s(t)$ によって PM モータ 1 に流れるモータ電流は、磁極軸と同じ d 軸に流れるので、PM モータ 1 の回転子を回転させるトルクは発生しない。これにより、PM モータ 1 の回転子を静止させた状態で、モータ定数を算出するためのデータ測定が可能となる。

[0036] つぎに、ステップ S102 で印加された電圧指令 $V_s(t)$ と、電圧指令 $V_s(t)$ の応答となるモータ電流 $I_s(t)$ をサンプリングし、時系列データとして取り込む (ステップ S103)。この場合、モータ電流 $I_s(t)$ は、U-VW 間に印加された単相の印加電圧に対するモータ電流となるため、U 相のモータ電流がサンプリングされることになる。

[0037] つぎに、電圧指令 $V_s(t)$ とモータ電流 $I_s(t)$ との関係として、電圧指令 $V_s(t)$ からモータ電流 $I_s(t)$ への伝達関数 $H(s)$ の周波数特性を求める (ステップ S104)。なお、伝達関数 $H(s)$ の周波数特性は、電圧指令 $V_s(t)$ およびモータ電流 $I_s(t)$ を、FFT (Fast Fourier Transform) 処理などにより得ることができる。

[0038] つぎに、伝達関数 $H(s)$ の周波数特性から PM モータのモータ定数である電氣的時定数 L/R と相抵抗 R を抽出する。電圧指令 $V_s(t)$ が印加されているときの PM モータの等価回路は図 3 に示した通りであり、伝達関数

H (s) は (数 2) 式で表される。

[0039] [数2]

$$\frac{I_s}{V_s} = \frac{(1/R)}{(L/R)s+1} \cdot H_{delay}(s)$$

[0040] なお、(数 2) 式中の $H_{delay}(s)$ は、電流制御系の時間遅れ要素である。

[0041] ここで、(数 2) 式で示される伝達関数 $H(s)$ の時間遅れ要素を除いた部分の周波数特性について、図 4 A と図 4 B を用いて説明する。

[0042] 図 4 A は、PM モータの伝達関数 (ゲイン) の周波数特性を示す図である。図 4 B は、PM モータの伝達関数 (位相) の周波数特性を示す図である。

[0043] 図 4 A と図 4 B に示すように、PM モータの伝達関数の周波数特性である、ゲインおよび位相と周波数との関係を調べることにより、カットオフ周波数 R/L および DC (Direct Current) ゲイン $1/R$ を得ることができる。

[0044] そして、カットオフ周波数 R/L および DC ゲイン $1/R$ の逆数を演算して、PM モータのモータ定数である電氣的時定数 L/R と相抵抗 R を得る (ステップ S 1 0 5) 。なお、上記により得られる電氣的時定数は d 軸における電氣的時定数である。

[0045] つぎに、ステップ S 1 0 5 で得られた PM モータのモータ定数である電氣的時定数 L/R と相抵抗 R とから電流制御ゲインを算出し設定する。

[0046] このとき、d 軸電流制御部 7 の制御は比例積分制御で、例えば比例ゲインを K_{dp} 、積分ゲインを K_{di} とすると、d 軸電流制御部 7 の伝達関数 $H_{cd}(s)$ は (数 3) 式となる。

[0047] [数3]

$$H_{cd}(s) = K_{dp} + \frac{K_{di}}{s}$$

[0048] ここで、比例ゲイン K_{dp} 、積分ゲイン K_{di} を (数 4) 式のように置く

と、

[0049] [数4]

$$K_{dp} = K_{\alpha} \cdot R$$

$$K_{di} = K_{dp} \cdot (L/R)$$

[0050] d軸の電流制御系のオープン伝達関数 $H_{opd}(s)$ は (数5) 式となる。

[0051] [数5]

$$\begin{aligned} H_{opd}(s) &= H_{cd}(s) \cdot \frac{I_s}{V_s} \\ &= \left[K_{\alpha} \cdot R + \frac{K_{\alpha} \cdot L}{s} \right] \cdot \frac{(1/R)}{(L/R)s+1} \cdot H_{delay}(s) \\ &= \frac{K_{\alpha}}{s} \cdot H_{delay}(s) \end{aligned}$$

[0052] ここで、(数5)式で示されるd軸の電流制御系のオープン伝達関数 $H_{opd}(s)$ の周波数特性について、図5Aと図5Bを用いて説明する。

[0053] 図5Aは、電流制御オープンループの周波数特性を示す図である。図5Bは、電流制御オープンループの周波数特性を示す図である。

[0054] 図5Aと図5Bに示すように、電流制御系が安定かつ電流応答性を最大限にするには、電流制御系のオープン伝達関数 $H_{opd}(s)$ の位相が -180 度となる周波数でのゲイン余裕が予め設定した値 β となるように(数5)式の K_{α} を求めればよい。

[0055] そして、得られた K_{α} を、(数4)式に代入して電流制御ゲインを算出して、d軸電流制御部7とq軸電流制御部8に設定する。このとき、d軸の電氣的時定数と、q軸の電氣的時定数が同じPMモータの場合、q軸電流制御部8の電流制御ゲインをd軸電流制御部7の電流制御ゲインと同じ設定にする。

[0056] 以上で説明したように、本実施の形態によれば、直流成分と複数の周波数

成分を含む印加電圧をPMモータに印加し、印加した印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出することにより、印加した印加電圧と検出されたモータ電流との関係を用いてPMモータのモータ定数を算出する。つまり、直流成分と複数の周波数成分を含む印加電圧を印加して、モータ電流を検出するだけでモータ定数を算出できる。これにより、モータ電流が定常状態になるまで待つ時間を不要とするとともに、複数の試験信号を印加してモータ定数を算出する必要がないので、大幅な時間短縮が可能となる。

[0057] また、本実施の形態によれば、電圧指令とモータ電流の関係である周波数特性を用いて理論的に電流制御ゲインを算出する。その結果、電流制御ゲインを、安定でかつ高い電流応答性を有するように調整できる。このとき、特に、周波数特性には、PMモータのモータ制御装置の電流制御系における時間遅れ要素を含んでいるため、モータ制御装置による時間遅れ要素のばらつきを考慮して、電流制御ゲインを安定でかつ高い電流応答性を有するように調整できる。なお、高い電流応答性とは、設定される電流指令に短時間で到達することを意味している。

[0058] (実施の形態2)

本発明の実施の形態2におけるPMモータの電流制御ゲイン調整方法およびPMモータのモータ制御装置について、図を用いて説明する。

[0059] 本実施の形態では、PMモータに、異なる複数の直流成分を含む印加電圧を印加して電流制御ゲインを算出し、設定する点で、実施の形態1とは異なる。他の構成や動作は、実施の形態1と同様であるので、説明を省略する。

[0060] 以下に、PMモータに、異なる複数の直流成分を含む印加電圧を印加して電流制御ゲインを算出する理由について説明する。

[0061] 一般に、モータの種類により、磁気飽和などの影響や、モータ電流の大きさによってモータ定数である電氣的時定数は変化する。しかし、実施の形態1の電流制御ゲインの算出方法では、1つの電流制御ゲインの値しか算出されない。そのため、上記で示す理由により、モータの電氣的時定数が変化した場合には、安定な電流制御ゲインでモータを制御できない場合があるため

である。

[0062] 以下に、本実施の形態の電流ゲイン調整部11の動作および作用について、図6と図7を用いて、図1を参照しながら具体的に説明する。

[0063] 図6は、本発明の実施の形態2における電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理の流れを示すフローチャートである。図7は、同実施の形態におけるモータ電流と電氣的時定数の関係を示す図である。なお、図6において、ステップS101からステップS105は、図2を用いて説明した実施の形態1と同様の処理を行うので、説明を省略する。

[0064] つまり、図6では、図2の各ステップに、さらにステップS206とステップS207の処理が追加されているので、追加されたステップについて詳細に説明する。

[0065] 図6に示すように、ステップS101からステップS105の処理を実行した後、ステップS102での電圧指令の生成において複数ある直流成分V0の印加電圧の全てが設定されたか否かを判断する(ステップS206)。ここで、複数の直流成分V0の印加電圧は、ゼロからPMモータ1の仕様である最大電流が流れるときの電圧値までの間で、予め設定される。

[0066] このとき、複数ある直流成分V0の印加電圧うち、設定していない値(印加電圧)がある場合(ステップS206のYes)、複数ある直流成分V0の印加電圧うち、設定していない値(印加電圧)を1つ選択し、ステップS102に戻る。そして、ステップS102からステップS105の処理を順次繰り返して実行し、複数ある直流成分の各印加電圧に対するPMモータのモータ定数を抽出する。

[0067] 一方、複数ある直流成分V0の印加電圧の全ての値が実行された場合(ステップS206のNo)、ステップS207の処理に移る。

[0068] つまり、ステップS102からステップS206までの処理を繰り返して、直流成分V0を複数設定することにより、図7に示すような各直流成分の印加電圧に対応するモータ電流の平均値と、算出された電氣的時定数との関係が複数得られる。

[0069] そして、図7に示す関係から、PMモータのモータ電流に応じた複数の電氣的時定数が得られる。

[0070] つぎに、ステップS105で得られた複数のPMモータのモータ定数と、ステップS104で求めた複数の周波数特性の各組み合わせに対して、安定かつ電流応答性の高い $K\alpha$ を求めて、電流制御部の比例ゲインと積分ゲインを算出する。このとき、磁気飽和などの影響でモータ電流の大きさによって電氣的時定数が変化する。そこで、電流制御部のゲインが高すぎて不安定になることを避けるために、ステップS102からステップS206の処理の繰り返しで得られた複数の電流制御部の比例ゲインと積分ゲインの組み合わせの中で最小となるものを選択する。その結果、選択された最小の電流制御部の比例ゲインと積分ゲインの組み合わせは、PMモータを安定して駆動する条件のもとで最も電流応答性が高いゲインとなる。そこで、上記から得られた電流制御部の比例ゲインと積分ゲインを設定する（ステップS207）。

[0071] 以上のように、本実施の形態によれば、複数の直流成分と複数の周波数成分を含む印加電圧をPMモータに印加し、印加した複数の印加電圧に応じて流れる複数のモータ電流を検出することにより、複数の印加した印加電圧と検出されたモータ電流の関係を用いてPMモータの電氣的時定数を算出する。

[0072] これにより、変化するモータ電流に応じた電氣的時定数の算出が可能となる。その結果、モータ電流の変化による電氣的時定数の変化まで考慮して、電流制御ゲインを、安定でかつ高い電流応答性で調整をすることができる。

[0073] （実施の形態3）

本発明の実施に形態3におけるPMモータの電流制御ゲイン調整方法、電流制御方法およびモータ制御装置について、図8を用いて説明する。図8の構成やその動作で図1と同じものには同じ番号を付し、その説明を省略する。図8では図1の構成に電流ゲイン設定部13が追加されている。

[0074] 本実施の形態では、PMモータのモータ電流の変化による電氣的時定数の

変化に応じて電流制御ゲインを変化させてモータ電流を制御する点で、電流制御ゲインを固定値として算出、設定する実施の形態2とは異なる。

[0075] つまり、本実施の形態では、異なる複数の直流成分を含む印加電圧をPMモータに印加し、印加した複数の印加電圧に応じて、PMモータに流れるモータ電流に応じた電氣的時定数を抽出する。そして、抽出した電氣的時定数に基づいて、安定でかつ電流応答性の高い電流制御ゲインを算出する。

[0076] つぎに、モータ電流に応じて算出された複数の電流ゲインから、モータ電流の平均値に関連づけて電流制御ゲインマップを作成し、例えば半導体メモリなどに記憶する。そして、PMモータの通常速度制御時には、記憶した電流制御ゲインマップからモータ電流に応じた電流制御ゲインを読み出して、電流ゲイン設定部13を設定し、PMモータのモータ電流を制御する。

[0077] 以下に、本実施の形態の電流ゲイン調整部11および電流ゲイン設定部13の動作および作用について、図8および図9を用いて、具体的に説明する。

[0078] 図9は、本発明の実施の形態3における電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理の流れを示すフローチャートである。なお、図9において、ステップS101からステップS106は、図2を用いて説明した実施の形態1と同様の処理を行うので、説明を省略する。

[0079] つまり、図9では、図2の各ステップに、さらにステップS307とステップS308の処理が追加されているので、追加されたステップについて詳細に説明する。ここで、ステップS308は、図6を用いて説明した実施の形態2のステップS206と同様の処理を行う。

[0080] 図9に示すように、まず、図1で説明した実施の形態1と同様に、ステップS101からステップS105の処理を実行する。

[0081] つぎに、図2で説明した実施の形態1と同様に、ステップS105で得られたPMモータのモータ定数である電氣的時定数 L/R と相抵抗 R とから電流制御ゲインを算出する（ステップS106）。

[0082] つぎに、所定の直流成分 V_0 の印加電圧に対して算出された電流制御ゲイ

ンと、検出されるモータ電流の平均値との関係に基づいて、電流制御ゲインマップを作成する。

[0083] つぎに、ステップS102での電圧指令の生成において複数ある直流成分V0の印加電圧の全てが設定されたか否かを判断する（ステップS308）。ここで、複数の直流成分V0の印加電圧は、ゼロからPMモータ1の仕様である最大電流が流れるときの電圧値までの間で、予め設定される。

[0084] このとき、複数ある直流成分V0の印加電圧のうち、設定していない値（印加電圧）がある場合（ステップS308のYes）、複数ある直流成分V0の印加電圧うち、設定していない値（印加電圧）を1つ選択し、ステップS102に戻る。そして、ステップS102からステップS307の処理を順次繰り返して実行する。これにより、複数ある直流成分V0の各印加電圧に対するPMモータのモータ電流の平均値と、算出される電流制御ゲインとの関係に基づいて、電流制御ゲインマップを複数作成し、例えば半導体メモリなどの記憶媒体に記憶する。

[0085] 一方、複数ある直流成分V0の印加電圧の全ての値が実行された場合（ステップS308のNo）、電流ゲイン調整部の電流制御ゲインを調整する処理を終了する。

[0086] そして、モータ制御装置は、通常の数値制御時において、電流ゲイン設定部13は、上記処理により記憶された電流制御ゲインマップに基づいて、モータ電流に応じて電流制御ゲインを設定し、モータ電流を制御してPMモータを駆動する。

[0087] これにより、電流制御ゲインを、さらに高い電流応答性で調整し、モータ電流を制御できる。

[0088] 以上のように、本実施に形態によれば、モータ電流の変化に応じて、最適な電流制御ゲインでの制御を可能とする電流制御ゲインを算出できる。

[0089] なお、本実施の形態では、モータ電流に応じて電流制御ゲインを変化させる例で説明したが、これに限られない。例えば、モータ電流指令に応じて電流制御ゲインを変化させてモータ電流を制御する構成としてもよい。

- [0090] なお、上記各実施の形態では、PMモータの電流制御ゲインの算出、設定の方法について説明したが、これに限られず、同様の機能を有すれば、どのような構成や具現化方法を用いてもよいことは言うまでもない。例えば、図1のブロック図におけるPMモータ1以外の機能ブロックをPMモータのモータ制御装置の1つの機能として組み込み、設定により機能させる構成としてもよい。また、電流ゲイン調整部11をPMモータのモータ制御装置と連動するPC (Personal Comuputor) のアプリケーションソフトとして構成としてもよい。これにより、モータ制御装置の構成を簡略化できる。
- [0091] また、上記各実施の形態では、引き込み処理 (ステップS101) での印加電圧を V_a としたが、PMモータの回転子が引き込まれるのであれば任意の異なる値でもよい。
- [0092] また、上記各実施の形態では、PMモータ1の回転子を所定の位置に引き込む引き込み処理を行う例で説明したが、これに限られない。例えば、引き込み処理を行わず、位置検出器2の位置情報を用いてモータが回転しない軸の方向に単相の印加電圧を印加してもよい。これにより、電流制御ゲインを調整する処理速度を向上できる。
- [0093] また、上記各実施の形態では、電圧指令 $V_s(t)$ に加算される複数の周波数成分を含む信号としてM系列信号を用いる例で説明したが、これに限られない。例えば、周波数特性を求めることができれば、ホワイトノイズ信号や、正弦波掃引信号など時間的に周波数の変化する信号など、他の信号を用いてもよい。これにより、必要に応じて、任意の信号で周波数特性を求めることができる。
- [0094] また、上記各実施の形態では、印加する電圧指令 $V_s(t)$ からモータ電流 $I_s(t)$ の周波数特性を求める例で説明したが、これに限られない。PMモータ以外の要素、例えばフィルタ処理や遅れ要素などがある場合は、その影響を補償した時系列データを電圧指令 $V_s(t)$ に加算して周波数特性を求めてもよい。これにより、さらに、高い精度でPMモータのモータ定数

を算出することができる。

[0095] また、上記各実施の形態では、引き込み処理の後にモータを所定の位置に固定して、モータ電流を検出する例で説明したが、これに限られない。例えば、引き込み処理後の磁極軸の位置に対して、電気位相が異なる方向に電圧指令 $V_s(t)$ を印加し、同方向に流れるモータ電流を検出してもよい。具体的には、引き込み処理後の磁極軸の位置に対して、電気位相が 90° 異なる電気軸 (q 軸)、すなわち V-W 間に単相の印加電圧が印加されるように、U 相に 0、V 相に $V_s(t)$ 、W 相に $-V_s$ を印加し、同方向である V 相のモータ電流を検出してもよい。これにより、磁極軸の位置によってモータ定数が増減する PM モータ、例えば埋め込み磁石型の PM モータなどにおいて、電圧指令 $V_s(t)$ を印加する電気位相を任意に設定できるので、磁極軸の位置に応じたモータ定数を精度よく算出できる。特に、q 軸に電圧指令 $V_s(t)$ を印加してモータ定数を算出することにより、q 軸の電氣的時定数を算出することができる。

[0096] また、上記各実施の形態では、電流制御系のオープンループの伝達関数が所定のゲイン余裕を持つように電流制御ゲインを算出する例で説明したが、これに限られない。例えば、電流制御系のオープンループの伝達関数が所定の位相余裕を持つ、あるいは電流制御系のクローズループの伝達関数のゲインピークが所定値となるように電流制御ゲインを算出してもよい。

[0097] 本発明は、直流成分と複数の周波数成分を含む印加電圧を PM モータに印加する電圧印加ステップと、印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出するモータ電流検出ステップと、印加電圧とモータ電流との周波数特性に基づいて電流制御ゲインを算出する電流制御ゲイン調整ステップと、を有する。これにより、安定で電流応答性の高い電流制御ゲインを短時間で調整できる。

[0098] また、本発明は、異なる複数の直流成分の印加電圧を用いる。これにより、モータ電流の大きさに応じて PM モータの電氣的時定数などが変化しても、安定で電流応答性の高い電流制御ゲインを短時間で調整できる。

産業上の利用可能性

[0099] 本発明のPMモータの制御装置は、安定でかつ電流応答性の高い電流制御ゲインを短時間で精度良く算出することができるため、電流制御系を有するPMモータなどの制御装置の制御に有用である。

符号の説明

[0100]	1, 101	PMモータ
	2, 102	位置検出器
	3, 103	速度演算部
	4, 104	速度制御部
	5, 105	電流検出器
	6, 106	電流座標変換部
	7, 107	d軸電流制御部
	8, 108	q軸電流制御部
	9, 109	電圧座標変換部
	10, 110	インバータ
	11	電流ゲイン調整部
	12	電圧指令切替部
	13	電流ゲイン設定部

請求の範囲

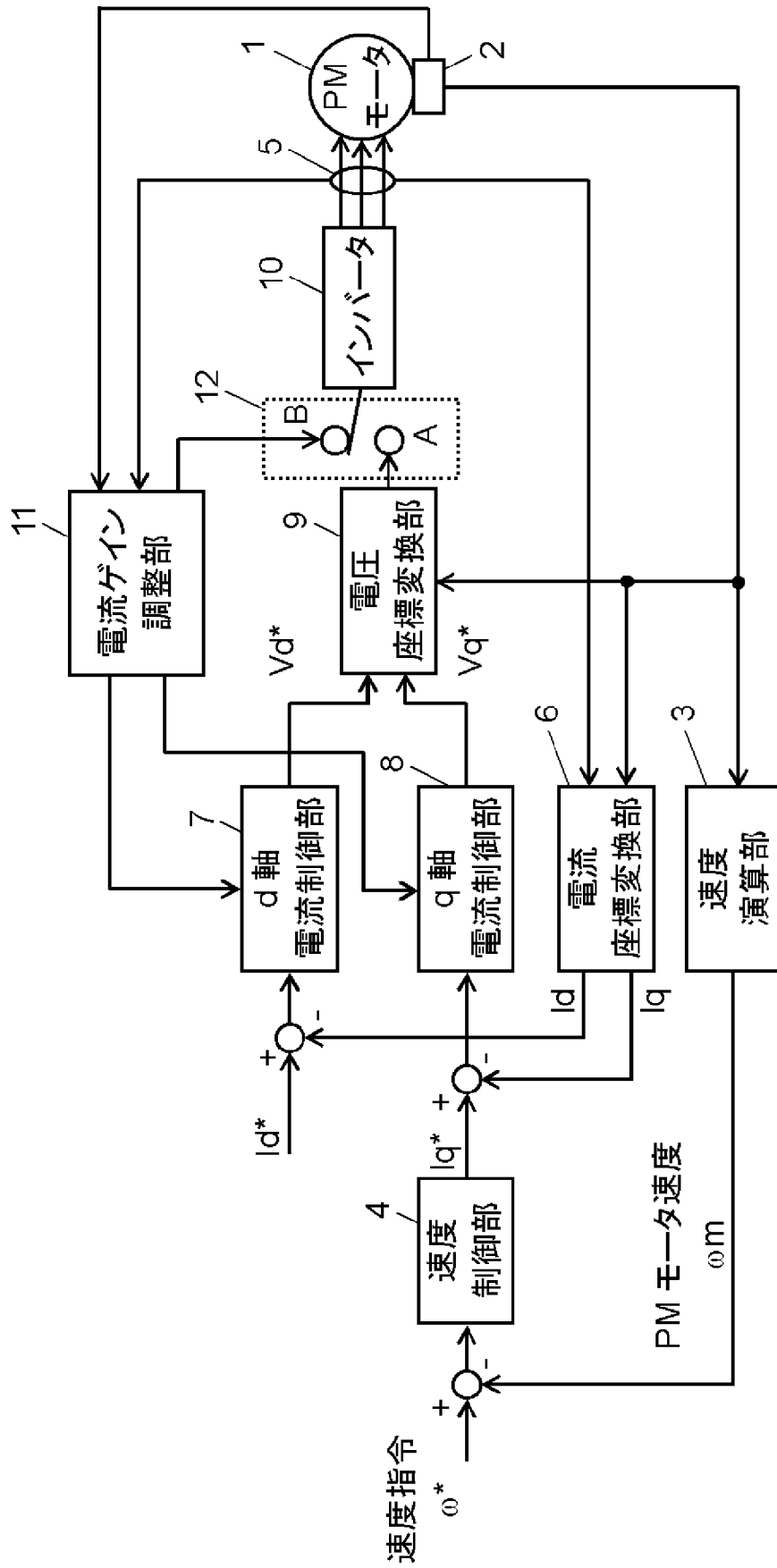
- [請求項1] P Mモータに直流成分に複数の周波数成分を含む印加電圧を印加する電圧印加ステップと、
前記電圧印加ステップで印加した前記印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出するモータ電流検出ステップと、
前記印加電圧と前記モータ電流に基づいて周波数特性を演算するモータ周波数特性演算ステップと、
前記モータ周波数特性演算ステップで得られた周波数特性に基づいて電流制御ゲインを調整する電流制御ゲイン調整ステップと、
を有するP Mモータの電流制御ゲイン調整方法。
- [請求項2] 前記電圧印加ステップは、直流成分の異なる複数の前記印加電圧を印加し、
前記モータ周波数特性演算ステップは、前記電圧印加ステップの結果に基づいて異なる複数の周波数特性を演算し、
前記電流制御ゲイン調整ステップは、前記異なる複数の周波数特性に対して電流制御ゲインを調整する請求項1記載のP Mモータの電流制御ゲイン調整方法。
- [請求項3] P Mモータに直流成分の異なる複数の周波数成分を含む印加電圧を印加する電圧印加ステップと、
前記電圧印加ステップで印加した前記印加電圧に応じて流れるモータ電流を検出するモータ電流検出ステップと、
前記印加電圧と前記モータ電流に基づいて異なる複数の周波数特性を演算するモータ周波数特性演算ステップと、
前記モータ周波数特性演算ステップで得られた前記異なる複数の周波数特性に基づいて電流制御ゲインを調整する電流制御ゲイン調整ステップと、
前記電流制御ゲイン調整ステップで調整した前記電流制御ゲインを、検出した前記モータ電流の平均値に関連づけて記憶して電流制御ゲイ

ンマップを作成する電流制御ゲインマップ作成ステップと、を有し、前記PMモータ駆動時に、記憶した前記電流制御ゲインマップからモータ電流指令または検出された前記モータ電流に関連づけられた前記電流制御ゲインを設定して前記モータ電流を制御するPMモータの電流制御方法。

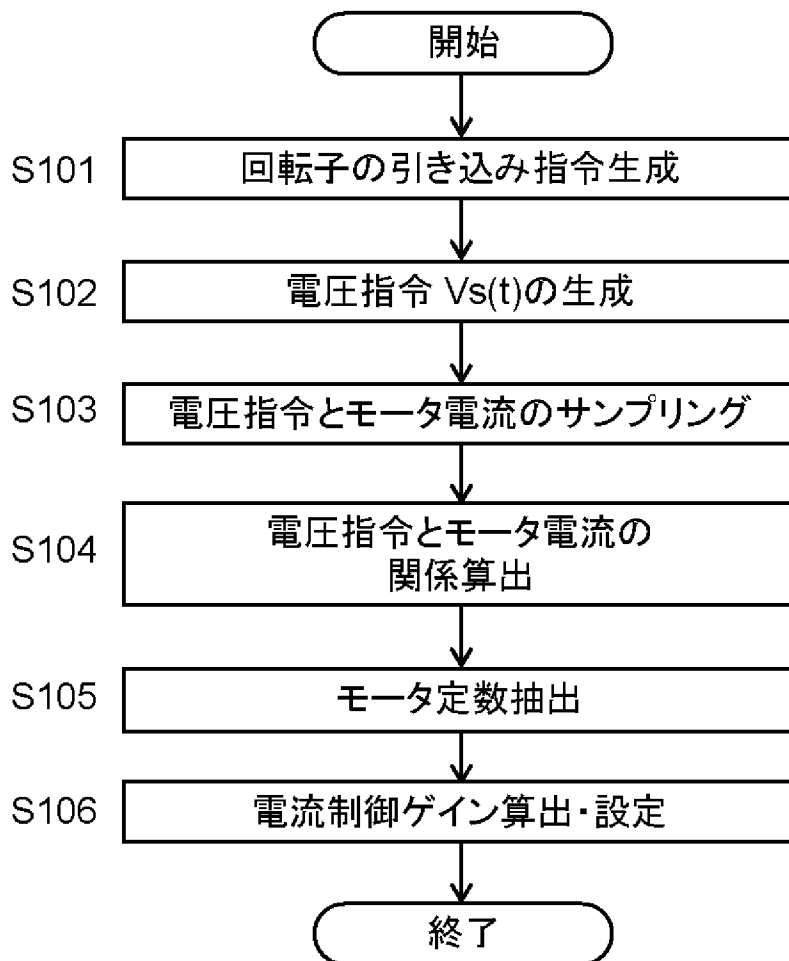
[請求項4] 請求項1または請求項2のいずれか1項に記載のPMモータの電流制御ゲイン調整方法を有するPMモータの制御装置。

[請求項5] 請求項3記載のPMモータの電流制御方法を有するPMモータの制御装置。

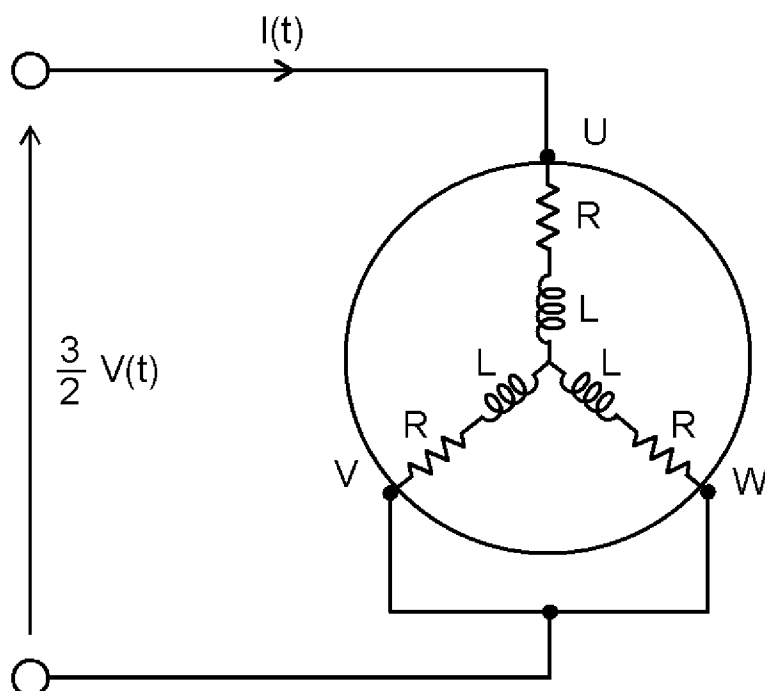
[図1]



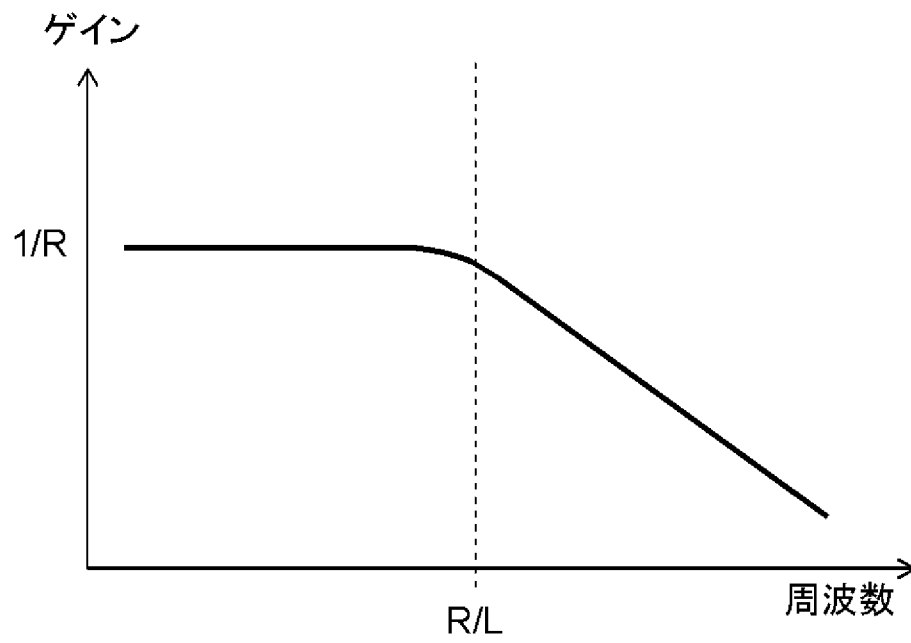
[図2]



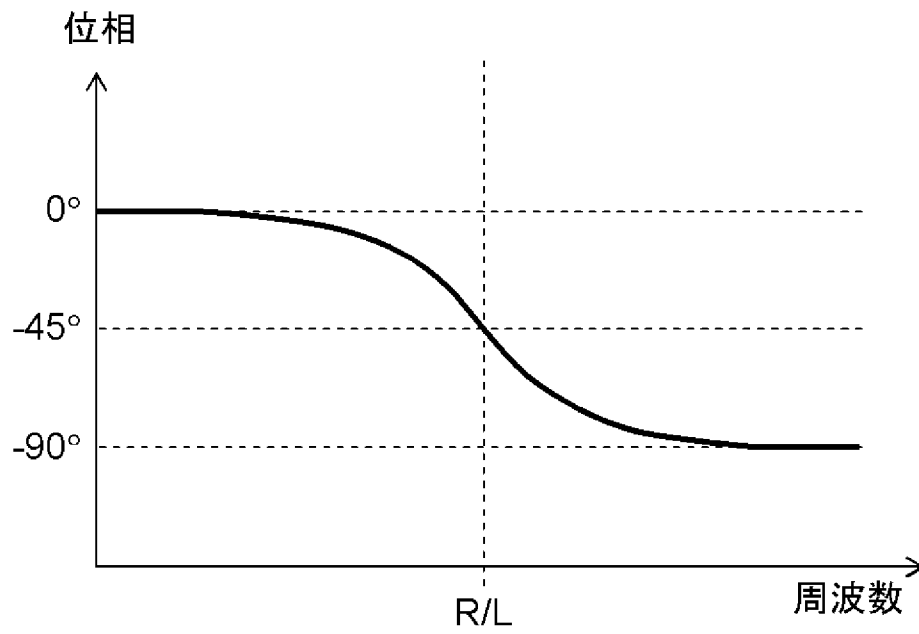
[図3]



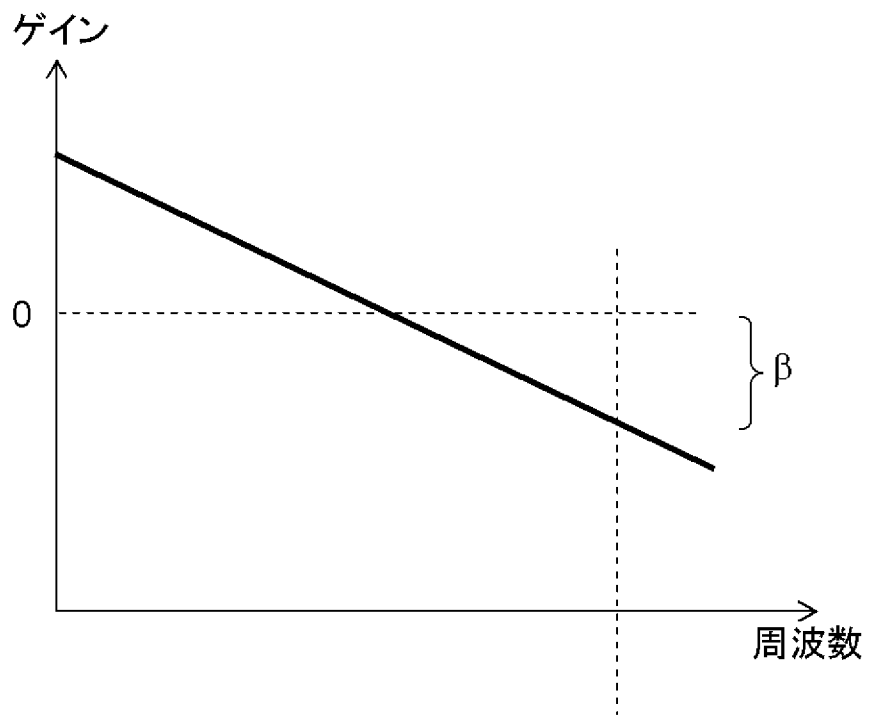
[図4A]



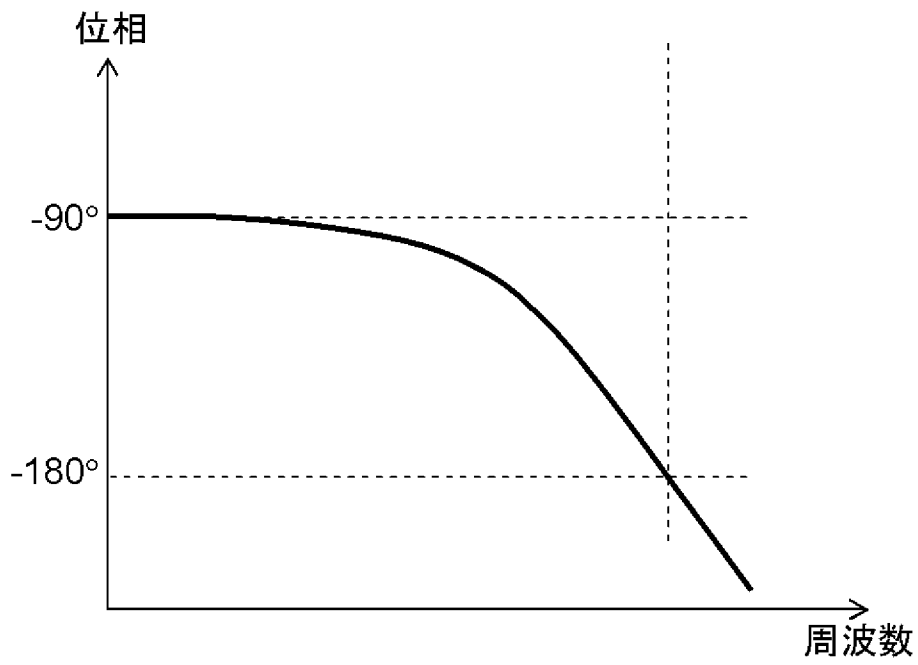
[図4B]



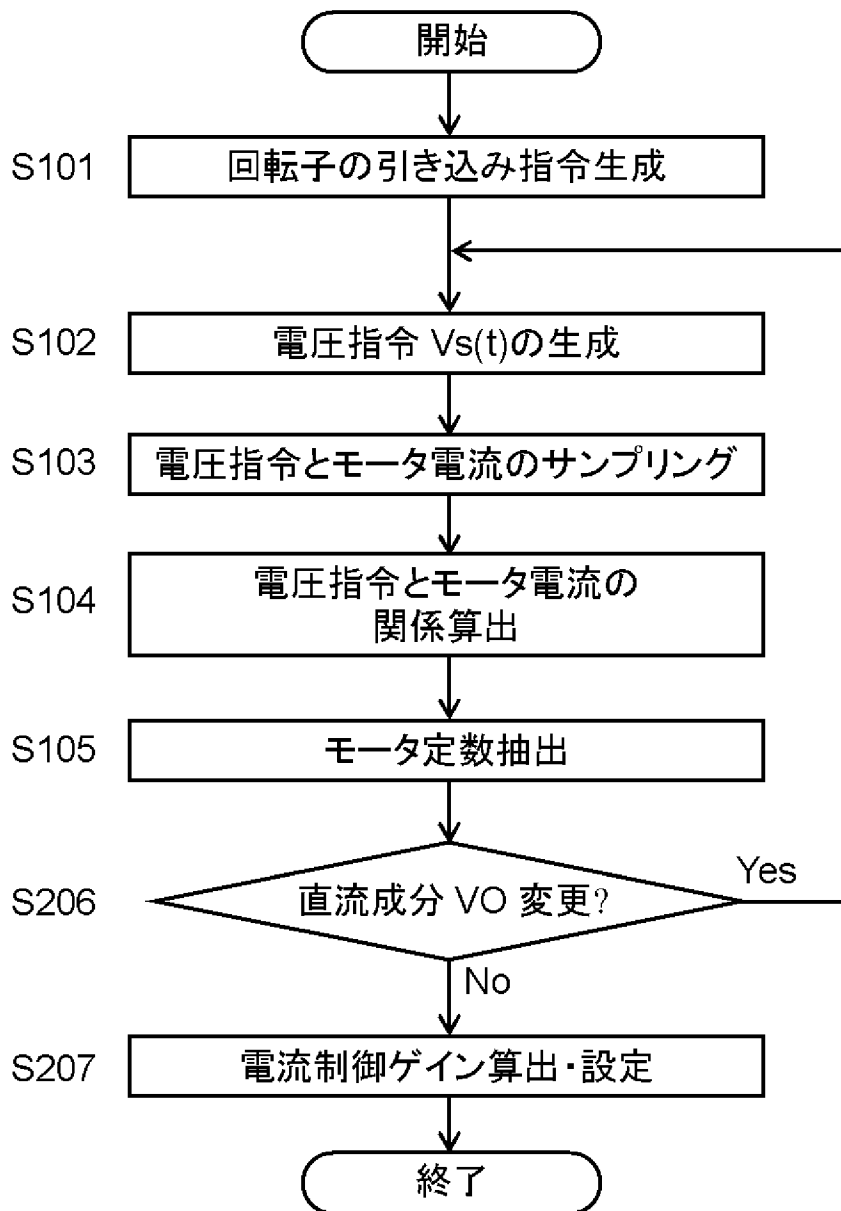
[図5A]



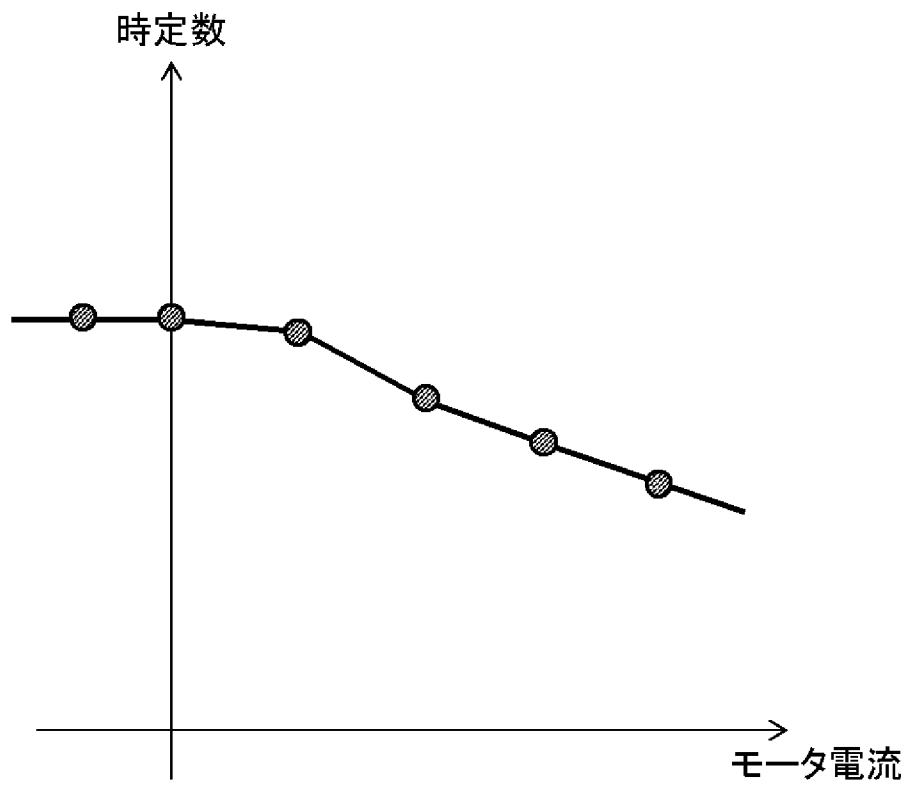
[図5B]



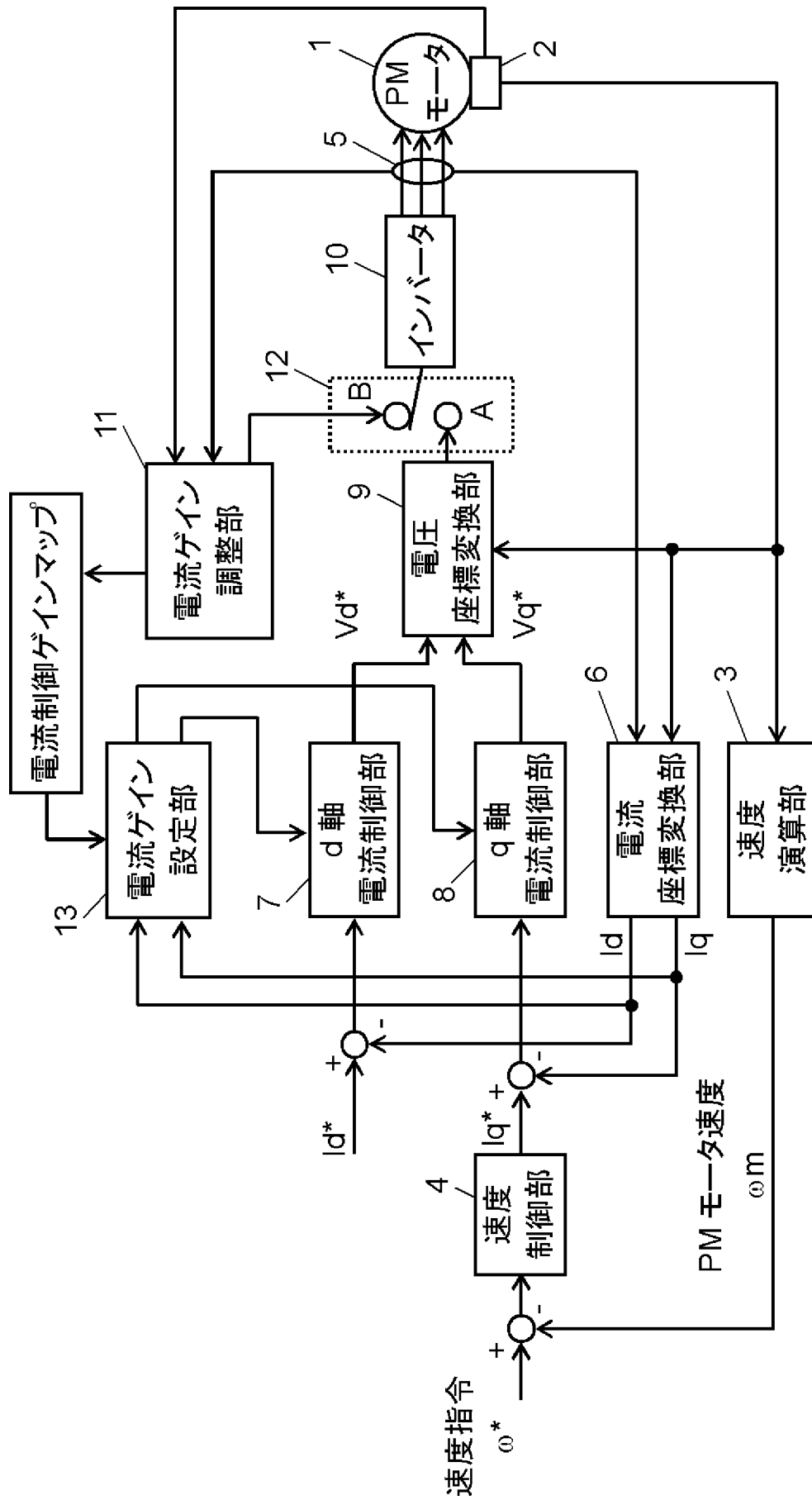
[図6]



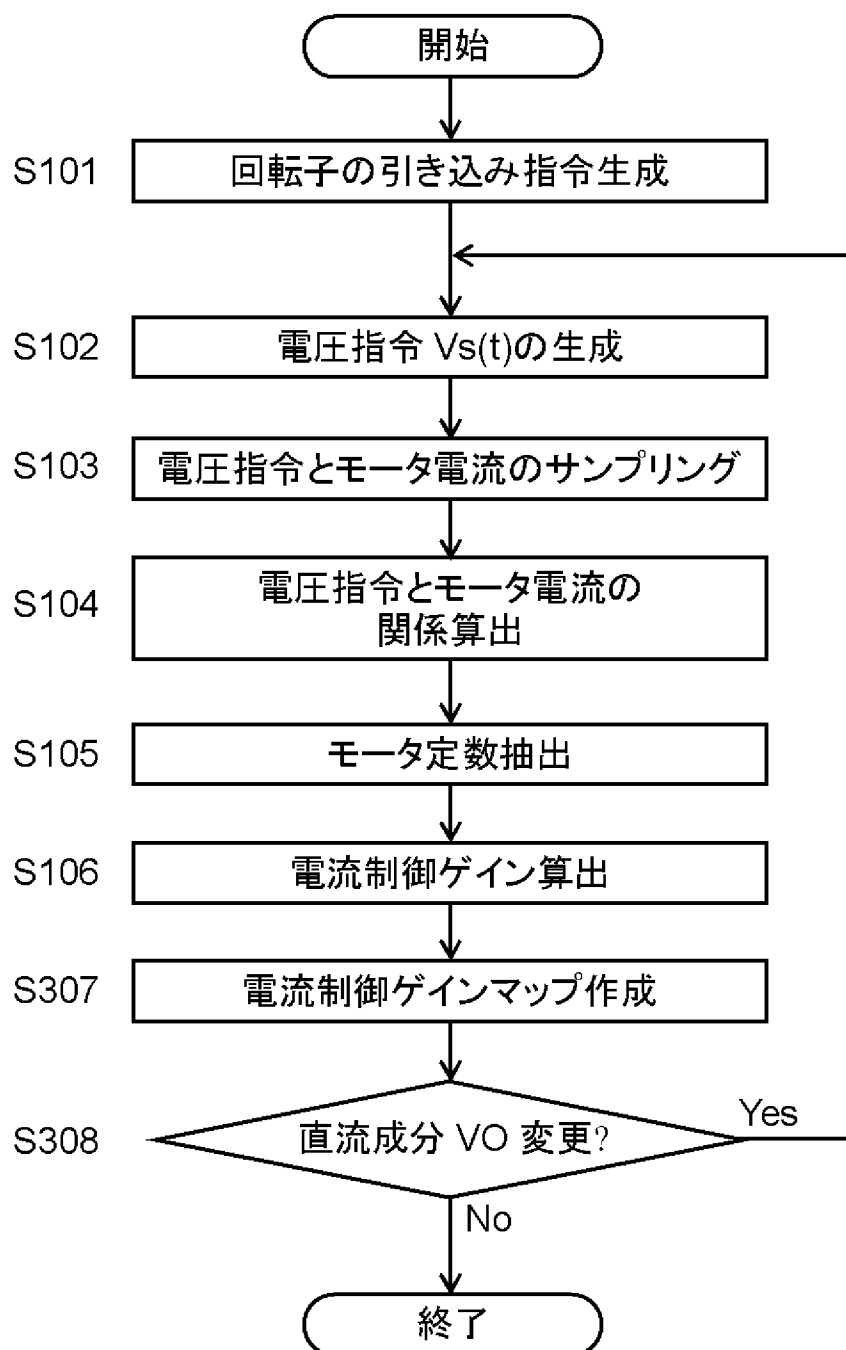
[図7]



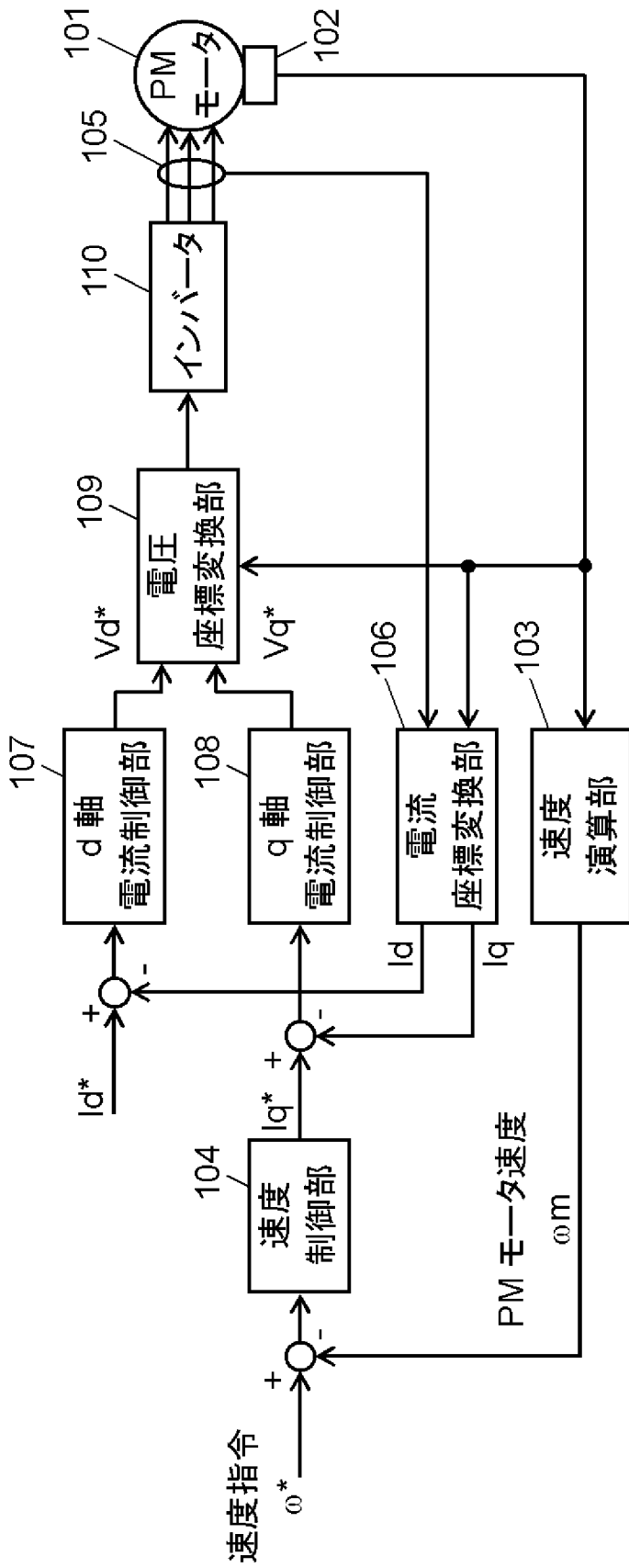
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005446

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P6/12(2006.01)i, H02P21/00(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P6/12, H02P21/00, H02P27/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-55899 A (Hitachi, Ltd.), 03 March 1995 (03.03.1995), entire text (Family: none)	1-5
Y	JP 6-273496 A (Hitachi, Ltd.), 30 September 1994 (30.09.1994), paragraphs [0033] to [0035], [0053] (Family: none)	1-5
Y	JP 2009-183062 A (JTEKT Corp.), 13 August 2009 (13.08.2009), paragraphs [0002] to [0004] (Family: none)	1-5

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 December, 2011 (19.12.11)Date of mailing of the international search report
27 December, 2011 (27.12.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005446

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-70280 A (Hitachi, Ltd.), 07 March 2003 (07.03.2003), abstract (Family: none)	3, 5
A	JP 2008-86129 A (Hitachi, Ltd.), 10 April 2008 (10.04.2008), entire text & US 2008/0079378 A1	1-5
A	JP 2000-50700 A (Toyo Electric Mfg. Co., Ltd.), 18 February 2000 (18.02.2000), entire text (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H02P6/12(2006.01)i, H02P21/00(2006.01)i, H02P27/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H02P6/12, H02P21/00, H02P27/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2011年
 日本国実用新案登録公報 1996-2011年
 日本国登録実用新案公報 1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 7-55899 A (株式会社日立製作所) 1995.03.03, 全文 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 6-273496 A (株式会社日立製作所) 1994.09.30, 段落【0033】 - 【0035】、【0053】 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2009-183062 A (株式会社ジェイテクト) 2009.08.13, 段落【0002】 - 【0004】 (ファミリーなし)	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 19.12.2011	国際調査報告の発送日 27.12.2011		
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 當間 庸裕	3V	4017
電話番号 03-3581-1101 内線 3358			

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2003-70280 A (株式会社日立製作所) 2003.03.07, 【要約】 (ファミリーなし)	3、5
A	JP 2008-86129 A (株式会社日立製作所) 2008.04.10, 全文 & US 2008/0079378 A1	1-5
A	JP 2000-50700 A (東洋電機製造株式会社) 2000.02.18, 全文 (ファミリーなし)	1-5