

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6367332号
(P6367332)

(45) 発行日 平成30年8月1日(2018.8.1)

(24) 登録日 平成30年7月13日(2018.7.13)

(51) Int.Cl.		F 1
HO2P 6/182	(2016.01)	HO2P 6/182
HO2P 25/089	(2016.01)	HO2P 25/089
HO2P 21/18	(2016.01)	HO2P 21/18

請求項の数 13 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2016-535264 (P2016-535264)	(73) 特許権者	000003078
(86) (22) 出願日	平成28年1月26日 (2016.1.26)		株式会社東芝
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/052161		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02016/121751	(73) 特許権者	598076591
(87) 国際公開日	平成28年8月4日 (2016.8.4)		東芝インフラシステムズ株式会社
審査請求日	平成28年6月22日 (2016.6.22)		神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34
(31) 優先権主張番号	特願2015-14722 (P2015-14722)	(74) 代理人	100091982
(32) 優先日	平成27年1月28日 (2015.1.28)		弁理士 永井 浩之
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100091487
			弁理士 中村 行孝
		(74) 代理人	100082991
			弁理士 佐藤 泰和
		(74) 代理人	100105153
			弁理士 朝倉 悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インバータ制御装置及びモータ駆動システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シンクロナスリラクタンスモータの回転子を駆動するインバータ主回路と、
前記インバータ主回路から出力される電流値を検出する電流検出器と、
前記インバータ主回路から出力される電流で生じる鎖交磁束により前記シンクロナスリラクタンスモータの固定子で発生する出力電圧が、所定値以上となるための電流指令値を算出する電流指令値算出部と、

前記電流値が、前記電流指令値と等しくなるように電圧指令値を算出する電圧指令値算出部と、

前記電圧指令値及び前記電流値に基づいて、前記シンクロナスリラクタンスモータの回転子の推定回転位相角を算出する推定部と、
を備えるインバータ制御装置。

【請求項2】

前記電流指令値算出部は、トルク指令値に基づいて第1電流指令値を、前記トルク指令値及び推定速度に基づいて第2電流指令値をそれぞれ算出し、前記第1電流指令値に応じた前記出力電圧が前記所定値より低いか判定し、前記所定値以上のとき、前記第1電流指令値を前記電流指令値として出力し、前記所定値より低いとき、前記第2電流指令値を前記電流指令値として出力する

請求項1に記載のインバータ制御装置。

【請求項3】

10

20

前記第 2 電流指令値に応じた前記出力電圧は前記所定値である請求項 2 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 4】

前記電流指令値算出部は、トルク指令値に基づいて第 1 電流指令値を、前記トルク指令値及び推定速度に基づいて第 2 電流指令値をそれぞれ算出し、前記第 1 電流指令値及び前記第 2 電流指令値のうち、電流位相角が q 軸に近い方を前記電流指令値として出力する請求項 1 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 5】

前記電流指令値算出部は、トルク指令値に基づいて第 1 電流指令値を、前記トルク指令値及び推定速度に基づいて第 2 電流指令値をそれぞれ算出し、前記第 1 電流指令値及び前記第 2 電流指令値のうち、q 軸成分が大きい方を前記電流指令値として出力する請求項 1 に記載のインバータ制御装置。

10

【請求項 6】

前記電流指令値算出部は、前記第 1 電流指令値に基づいて算出した前記出力電圧の電圧値と、前記所定値と、を比較することにより前記判定を行う請求項 2 又は請求項 3 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 7】

前記電流指令値算出部は、前記第 1 電流指令値の d 軸成分と、前記第 2 電流指令値の d 軸成分と、を比較することにより前記判定を行う請求項 2 に記載のインバータ制御装置。

20

【請求項 8】

前記電流指令値算出部は、前記第 1 電流指令値の電流位相角と、前記第 2 電流指令値の電流位相角と、を比較することにより判定を行う請求項 4 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 9】

前記電流指令値算出部は、前記出力電圧が前記所定値より低いとき、前記出力電圧と前記所定値との誤差に基づいて補正值を算出し、前記電流指令値に前記補正值を加算する請求項 1 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 10】

速度指令値及び推定速度に基づいて、前記トルク指令値を算出するトルク指令値算出部を更に備える請求項 2 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載のインバータ制御装置。

30

【請求項 11】

前記電流指令値算出部は、前記電流指令値の下限をリミットする下限リミッタを備える請求項 1 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 12】

前記下限リミッタは、最低速度における前記出力電圧が前記所定値となるように設定される請求項 11 に記載のインバータ制御装置。

【請求項 13】

シンクロナスリラクタンスモータと、
前記シンクロナスリラクタンスモータを駆動するインバータ主回路と、
前記インバータ主回路から出力される電流値を検出する電流検出器と、
前記インバータ主回路から出力される電流で生じる鎖交磁束により前記シンクロナスリラクタンスモータの固定子で発生する出力電圧が、所定値以上となるための電流指令値を算出する電流指令値算出部と、

40

前記電流値が、前記電流指令値と等しくなるように電圧指令値を算出する電圧指令値算出部と、

前記電圧指令値及び前記電流値に基づいて、前記シンクロナスリラクタンスモータの回転子の推定回転位相角を算出する推定部と、

50

を備えるモータ駆動システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、インバータ制御装置及びモータ駆動システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、永久磁石同期モータ(PMSM)やシンクロナスリラクタンスモータ(SynRM)の回転位相角センサレス制御装置において、高速域では誘起電圧を利用した回転位相角の推定方法が利用されている。しかしながら、SynRMや、磁石磁束が小さいPMSMでは、高速域であっても、低負荷の状態では誘起電圧が小さいため、回転位相角の推定精度が悪化するという問題があった。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-250293号公報

【特許文献2】特開2006-74902号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

20

高速かつ低負荷の状態におけるモータの回転位相角を精度よく推定できるインバータ制御装置及びモータ駆動システムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一実施形態に係るインバータ制御装置は、インバータ主回路と、電流検出器と、電流指令値算出部と、電圧指令値算出部と、推定部と、を備える。インバータ主回路は、所定の回転駆動対象と電氣的に接続可能である。電流検出器は、インバータ主回路から出力される電流値を検出する。電流指令値算出部は、インバータ主回路から出力される出力電圧が所定の目標値以上となる電流指令値を算出する。電圧指令値算出部は、電流値が、電流指令値と等しくなる電圧指令値を算出する。推定部は、電圧指令値及び電流値に基づいて、回転駆動対象の推定回転位相角を算出する。

30

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】第1実施形態に係るモータ駆動システムの構成を示す図。

【図2】三相固定座標系及びd-q軸回転座標系を説明する図。

【図3】図1の速度・回転位相角推定部の構成を示す図。

【図4】図1の電流指令値算出部の構成を示す図。

【図5】電流指令値の算出方法を説明する図。

【図6】図1の制御装置のトルク指令値 T^* と出力電圧との関係を示す図。

【図7】電流指令値算出部の変形例1の構成を示す図。

40

【図8】電流指令値算出部の変形例2の構成を示す図。

【図9】変形例2における電流指令値の算出方法を説明する図。

【図10】変形例2における電流指令値の算出方法を説明する図。

【図11】電流指令値算出部の変形例3の構成を示す図。

【図12】補正部の構成を示す図。

【図13】電流指令値算出部の変形例4の構成を示す図。

【図14】第2実施形態に係るモータ駆動システムの構成を示す図。

【図15】図14のトルク指令値算出部の構成を示す図。

【図16】図14の電流指令値算出部の構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 0 7 】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【 0 0 0 8 】

(第1実施形態)

第1実施形態に係るモータ駆動システム(以下、「システム」という)について、図1~図13を参照して説明する。図1は、本実施形態に係るシステムの構成を示す図である。図1に示すように、本実施形態に係るシステムは、モータ1と、インバータ制御装置2と、を備える。

【 0 0 0 9 】

モータ1は、制御装置2の回転駆動対象であり、制御装置2に接続される。以下では、モータ1がシンクロナスリラクタンスモータ(以下、「SynRM1」という)である場合を例として説明する。SynRM1は、固定子と、回転子と、を備える。固定子は、3つの励磁相(U相、V相、及びW相)を有する。固定子は、各励磁相に流れる3相交流電流によって磁界を発生させる。回転子は、永久磁石を有さない。回転子は、固定子が発生させた磁界との磁氣的相互作用により回転する。

10

【 0 0 1 0 】

インバータ制御装置2(以下、「制御装置2」という)は、SynRM1の回転位相角を、センサレスで制御する。図1に示すように、本実施形態に係る制御装置2は、インバータ21と、電流検出器22と、座標変換部23と、電流指令値算出部24と、電圧指令値算出部25と、座標変換部26と、PWM変調部27と、速度・回転位相角推定部28と、を備える。

20

【 0 0 1 1 】

インバータ21は、スイッチング素子(トランジスタ)を備える回路である。インバータ21は、スイッチング素子のON/OFFを切替えることにより、電源(図示省略)からの電力を交流に変換して、SynRM1に供給する。インバータ21は、各スイッチング素子のON/OFFを制御する制御信号をPWM変調部22から入力される。

【 0 0 1 2 】

電流検出器22は、SynRM1の固定子に流れる3相交流電流のうち、2相又は3相の電流値を検出する。図1は、2相(U相及びW相)の電流値 i_u 、 i_w を検出する構成を示している。

30

【 0 0 1 3 】

座標変換部23は、電流検出器22が検出した電流値 i_u 、 i_w を、三相固定座標系からdcqc軸回転座標系に座標変換する。ここで、三相固定座標系及びdcqc軸回転座標系について、図2を参照して説明する。

【 0 0 1 4 】

図2に示すように、三相固定座標系は、 u 軸と w 軸とからなる固定座標系である。図2において、 u 軸は、U相方向に設定され、 w 軸は、 u 軸と垂直な方向に設定されている。電流検出器22により検出された電流値 i_u 、 i_w は、このような三相固定座標上で表される。

【 0 0 1 5 】

これに対して、dcqc軸回転座標系は、 d 軸と q 軸とからなる回転座標系である。 d 軸は、制御装置2が d 軸方向(回転子のインダクタンスが最小の方向)と推定した方向に設定され、 q 軸は、制御装置2が q 軸方向(回転子のインダクタンスが最大の方向)と推定した方向に設定される。図2のインダクタンス楕円は、回転子のインダクタンスを示している。

40

【 0 0 1 6 】

図2に示すように、dcqc軸と、dq軸と、は必ずしも一致するとは限らない。回転子の実際の回転位相角 θ は、 d 軸から d 軸までの角度で表される。また、制御装置2が推定した回転子の推定回転位相角 $\hat{\theta}$ は、 d 軸から d 軸までの角度で表される。回転位相角 θ と推定回転位相角 $\hat{\theta}$ との角度が近いほど、回転位相角の推定精度が高いこ

50

とを意味する。

【0017】

座標変換部23は、速度回転位相角推定部28が出力した推定回転位相角 $e s t$ を用いることにより、三相固定座標系を $d c q c$ 軸回転座標系に変換することができる。以下では、座標変換部23が座標変換した電流値 $i u$, $i w$ を、電流値 $i d c$, $i q c$ という。電流値 $i d c$ は、固定子に流れる電流の $d c$ 軸成分であり、電流値 $i q c$ は、固定子に流れる電流の $q c$ 軸成分である。

【0018】

電流指令値算出部24は、トルク指令値 T^* 及び推定速度 $e s t$ に基づいて、電流指令値 $i d c^*$, $i q c^*$ を算出する。トルク指令値 T^* とは、回転子に発生させるトルク値である。本実施形態では、トルク指令値 T^* は、外部装置から入力されるものとする。推定速度 $e s t$ とは、制御装置2が推定した回転子の角速度のことである。電流指令値 $i d c^*$ とは、 $S y n R M 1$ に流す電流の $d c$ 軸成分である。電流指令値 $i q c^*$ とは、 $S y n R M 1$ に流す電流の $q c$ 軸成分である。電流指令値算出部24の詳細については後述する。

10

【0019】

電圧指令値算出部25（電流制御部）は、 $S y n R M 1$ の電流値 $i d c$, $i q c$ が、電流指令値 $i d c^*$, $i q c^*$ と等しくなる電圧指令値 $v d c^*$, $v q c^*$ を算出する。電圧指令値 $v d c^*$ は、 $S y n R M 1$ の固定子に印加する電圧の $d c$ 軸成分である。電圧指令値 $v q c^*$ は、 $S y n R M 1$ の固定子に印加する電圧の $q c$ 軸成分である。

20

【0020】

座標変換部26は、電圧指令算出部25が出力した電圧指令値 $v d c^*$, $v q c^*$ を、 $d c q c$ 軸回転座標系から三相固定座標系に座標変換する。座標変換部26は、座標変換部23と同様、推定回転位相角 $e s t$ を用いることにより、 $d c q c$ 軸回転座標系を三相固定座標系に変換することができる。以下では、座標変換部26が座標変換した電圧指令値 $v d c^*$, $v q c^*$ を、電圧指令値 $v u^*$, $v v^*$, $v w^*$ という。電圧指令値 $v u^*$ は、固定子のU相に印加する電圧であり、電圧指令値 $v v^*$ は、固定子のV相に印加する電圧であり、電圧指令値 $v w^*$ は、固定子のW相に印加する電圧である。

【0021】

PWM変調部27は、電圧指令値 $v u^*$, $v v^*$, $v w^*$ を、三角波を用いたPWM（Pulse-Width Modulation）によって変調し、インバータ21の各スイッチング素子のON又はOFFに対応した2値の制御信号を生成する。PWM変調部27は、生成した制御信号をインバータ21に入力する。

30

【0022】

速度・回転位相角推定部28（以下、「推定部28」という）は、トルク指令値 T^* 、電圧指令値 $v d c^*$, $v q c^*$ 、及び電流値 $i d c$, $i q c$ に基づいて、 $S y n R M 1$ の回転子の速度及び回転位相角を推定し、推定速度 $e s t$ 及び推定回転位相角 $e s t$ を算出する。

【0023】

図3は、推定部28の構成を示す図である。図3に示すように、推定部28は、位相差設定部31と、電圧算出部32と、電圧推定部33と、減算器34と、PI制御器35と、積分器36と、を備える。

40

【0024】

位相差設定部31は、予め記憶した複数の位相差の中から、トルク指令値 T^* に応じた位相差を出力する。位相差とは、回転位相角と推定回転位相角 $e s t$ との誤差の影響による、電圧の変化が一番大きくなる位相差の値又は範囲のことである。複数の位相差は、トルク値毎に解析的又は実験的に予め算出され、位相差設定部31に記憶される。

【0025】

電圧算出部32は、電圧指令値 $v d c^*$, $v q c^*$ と、位相差設定部31が設定（

50

出力)した位相差 δ と、に基づいて、電圧の電圧値 v を算出する。電圧とは、誤差に応じて変化する特徴量である。電圧値 v は、例えば、以下の式により算出される。

【0026】

【数1】

$$v_y = v_{dc}^* \cos(\delta) + v_{qc}^* \sin(\delta) \cdot \cdot \cdot (1)$$

【0027】

電圧算出部32が算出した電圧値 v は、減算器34に入力される。

10

【0028】

電圧推定部33は、電圧値 v_{dcest} , v_{qcest} と、位相差 設定部31が設定(出力)した位相差 δ と、に基づいて、電圧の推定電圧値 v_{est} を算出する。

【0029】

まず、電圧推定部33は、電流値 i_{dc} , i_{qc} と、推定速度 ω_{est} と、に基づいて、電圧値 v_{dcest} , v_{qcest} を算出する。電圧値 v_{dcest} は、SynRM1の固定子に印加された電圧のdc軸成分の推定値である。電圧値 v_{qcest} は、SynRM1の固定子に印加された電圧のqc軸成分の推定値である。電圧値 v_{dcest} , v_{qcest} は、以下の式により算出される。

20

【0030】

【数2】

$$\begin{bmatrix} v_{dcest} \\ v_{qcest} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_m + pL_d & -\omega_{est}L_q \\ \omega_{est}L_d & R_m + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (2)$$

【0031】

式(2)において、 R_m は固定子の巻線抵抗、 L_d はd軸方向のインダクタンス、 L_q はq軸方向のインダクタンス、 p は微分演算子(d/dt)である。電圧推定部33は、これらの値を予め記憶する。

30

【0032】

次に、電圧推定部33は、電圧値 v_{dcest} , v_{qcest} と、位相差 δ と、に基づいて、電圧の推定電圧値 v_{est} を算出する。推定電圧値 v_{est} は、例えば、以下の式により算出される。

【0033】

【数3】

$$v_{est} = v_{dcest} \cos(\delta) + v_{qcest} \sin(\delta) \cdot \cdot \cdot (3)$$

40

【0034】

電圧推定部33が算出した推定電圧値 v_{est} は、減算器34に入力される。

【0035】

減算器34は、推定電圧値 v_{est} から電圧値 v を減算し、電圧の誤差 v_e を算出する。電圧は、誤差 v_e に応じて変化するため、誤差 v_e は、誤差 v_e に比例する。減算器34が算出した誤差 v_e は、PI制御器35に入力される。

【0036】

なお、電圧を式(1)で算出することにより、誤差 v_e に対する誤差 v_e の線形性を向上させることができる。すなわち、誤差 v_e が誤差 v_e に比例する誤差 v_e の範囲

50

を広げることができる。

【0037】

PI制御器35は、誤差 v が0となるようにPI制御を行うことで、回転子の速度を推定し、推定速度 e_{st} を算出する。PI制御器35が算出した推定速度 e_{st} は、電圧推定部33に逐次フィードバックされると共に、積分器36に入力される。

【0038】

積分器36は、PI制御器35が算出した推定速度 e_{st} を積分し、推定回転位相角 e_{st} を算出する。

【0039】

以上のような構成により、推定部28は、推定速度 e_{st} 及び推定回転位相角 e_{st} を算出することができる。推定部28が算出した推定速度 e_{st} は、電流指令値算出部24に入力される。また、推定回転位相角 e_{st} は、座標変換部23, 26に入力され、座標変換に利用される。

10

【0040】

なお、推定部28による速度及び回転位相角の推定方法はこれに限られず、既知の推定方法から任意に選択可能である。例えば、推定部28は、鎖交磁束により生じる電圧を利用する他の方法により回転位相角を推定してもよいし、鎖交磁束自体を利用して回転位相角を推定してもよいし、電流値のq軸成分の偏差が0になるようにPI制御することにより回転位相角を推定してもよい。

【0041】

ここで、電流指令値算出部24について詳細に説明する。本実施形態に係る電流指令値算出部24は、SynRM1の出力電圧が所定の目標値 V_{SET} 以上となるように、電流指令値を算出する。目標値 V_{SET} は、速度及び回転位相角を精度よく推定可能な出力電圧として、実験的又は解析的に予め求められた電圧値である。

20

【0042】

ここで、図4は、電流指令値算出部24の構成を示す図である。図4に示すように、電流指令値算出部24は、第1算出部41と、第2算出部42と、選択部43と、を備える。

【0043】

第1算出部41は、トルク指令値 T^* に基づいて、第1電流指令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* を生成する。第1電流指令値 i_{d1}^* とは、SynRM1に流す電流のdc軸成分である。第1電流指令値 i_{q1}^* とは、SynRM1に流す電流のqc軸成分である。第1算出部41は、SynRM1のトルクがトルク指令値 T^* となるように、第1電流指令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* を算出する。

30

【0044】

図5は、電流指令値の算出方法を説明する図である。図5において、横軸は i_{dc} 、縦軸は i_{qc} 、矢印51は第1電流ベクトル、矢印52は第2電流ベクトル、曲線53はトルク指令値 T^* の等トルク曲線、及び曲線62は目標値 V_{SET} の等電圧楕円である。

【0045】

第1電流ベクトル51は、第1電流指令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* に対応するベクトルである。以上の説明では、第1電流指令値は、 (i_{d1}^*, i_{q1}^*) の2値で表されたが、電流の大きさ $(i_{d1}^{*2} + i_{q1}^{*2})^{1/2}$ と、電流位相角 θ_1 と、で表すことも可能である。これらの表現は、相互に変換可能である。図5の平面上から任意の点を選択することは、第1電流指令値を算出(選択)することと対応する。

40

【0046】

図5に示すように、第1算出部41は、第1電流指令値として、トルク指令値 T^* の等トルク曲線53上の任意の点を選択する。第1算出部41は、制御装置2により実現したい制御に応じた任意の方法で、等トルク曲線53上から第1電流指令値を選択することができる。

【0047】

50

例えば、第1算出部41は、固定子に流す電流の大きさ（第1電流ベクトルの大きさ）が最小となるように、第1電流指令値を選択する。この場合、第1算出部41は、磁気飽和を無視して、電流位相角 θ_1 が135度となる第1電流指令値を選択してもよいし、磁気飽和を考慮して、電流位相角 θ_1 が135度より進んだ角度となる第1電流指令値を選択してもよい。また、第1算出部41は、SynRM1の効率や力率が最大となるように第1電流指令値を選択してもよい。

【0048】

第1算出部41は、上記のような第1電流指令値を、トルク値毎の第1電流指令値が記憶されたテーブルを参照して選択してもよいし、計算により求めてもよい。第1算出部41により算出された第1電流指令値は、選択部43に入力される。

10

【0049】

第2算出部42は、トルク指令値 T^* 及び推定速度 ω_{est} に基づいて、第2電流指令値 i_{d2}^* 、 i_{q2}^* を算出する。第2電流指令値 i_{d2}^* とは、SynRM1に流す電流のdc軸成分である。電流指令値 i_{q2}^* とは、SynRM1に流す電流のqc軸成分である。第2算出部42は、SynRM1のトルクがトルク指令値 T^* となるように、かつ、SynRM1の出力電圧が目標値 V_{SET} となるように、第2電流指令値 i_{d2}^* 、 i_{q2}^* を算出する。

【0050】

図5の第2電流ベクトル52は、第2電流指令値 i_{d2}^* 、 i_{q2}^* に対応するベクトルである。以上の説明では、第2電流指令値は、 (i_{d2}^*, i_{q2}^*) の2値で表されたが、電流の大きさ $(i_{d2}^{*2} + i_{q2}^{*2})^{1/2}$ と、電流位相角 θ_2 と、で表すことも可能である。これらの表現は、相互に変換可能である。図5の平面上から任意の点を選択することは、第2電流指令値を算出（選択）することと対応する。

20

【0051】

図5に示すように、第2算出部42は、第2電流指令値として、トルク指令値 T^* の等トルク曲線53と、目標値 V_{SET} の等電圧楕円54と、の交点のいずれか1つを選択する。第2算出部42は、2つの交点A、Bが存在する場合、図5に示すように、交点Aを選択するのが好ましい。

【0052】

交点Aとは、2つの交点のうち、 i_{qc} 軸側（q軸側）の交点のことである。一般に、等電圧楕円54は、d軸方向に広く、q軸方向に狭くなるため、q軸側の交点Aを選択すると、d軸側の交点Bを選択した場合より、固定子に流す電流の大きさ（第2電流ベクトルの大きさ）が小さくなる。このため、第2算出部42が交点Aを選択することにより、制御装置2を省電力することができる。以下では、第2電流指令値は交点Aであるものとする。

30

【0053】

なお、第2算出部42は、上記のような第2電流指令値を、トルク値毎の第2電流指令値が記憶されたテーブルを参照して選択してもよいし、以下の式を解くことにより求めてもよい。

【0054】

【数4】

40

$$V_{SET} = \omega_{est} \sqrt{L_q^2 i_{q2}^2 + L_d^2 i_{d2}^2} \cdots (4)$$

【0055】

第2算出部42により算出された第2電流指令値は、選択部43に入力される。

【0056】

選択部43は、第1電流指令値 i_{d1}^* 、 i_{q1}^* 又は第2電流指令値 i_{d2}^* 、 i_{q2}^* を電流指令値 i_{dc}^* 、 i_{qc}^* として出力する。まず、選択部43は、第1電流指

50

令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* に応じた出力電圧 V_1 が、目標値 V_{SET} より低いかなどが判定する。出力電圧 V_1 とは、電流指令値として第 1 電流指令値を出力した場合の SynRM1 の出力電圧のことである。判定方法については後述する。

【0057】

次に、選択部 43 は、判定結果に応じて第 1 電流指令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* 及び第 2 電流指令値 i_{d2}^* , i_{q2}^* の一方を選択し、電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* として出力する。

【0058】

出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低い場合 ($V_1 < V_{SET}$)、選択部 43 は、第 2 電流指令値 i_{d2}^* , i_{q2}^* を電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* として選択する。出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低い場合とは、図 5 に示すように、第 1 電流指令値が、等電圧楕円 54 に含まれる場合である。

10

【0059】

このとき、第 2 電流指令値は、第 1 電流指令値より i_{qc} 軸 (q 軸) に近い。すなわち、第 2 電流指令値の電流位相角 θ_2 は、第 1 電流指令値の電流位相角 θ_1 より i_{qc} 軸 (q 軸) 側である。また、第 2 電流指令値の q 軸成分 i_{q2}^* は、第 1 電流指令値の q 軸成分 i_{q1}^* より大きく、第 2 電流指令値の d 軸成分 i_{d2}^* は、第 1 電流指令値の d 軸成分 i_{d1}^* より小さい。

【0060】

一方、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上の場合 ($V_1 > V_{SET}$)、選択部 43 は、第 1 電流指令値 i_{d1}^* , i_{q1}^* を電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* として選択する。出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上の場合とは、第 2 電流指令値が、等電圧楕円 54 上又は等電圧楕円 54 の外側にある場合である。

20

【0061】

このとき、第 1 電流指令値は、第 2 電流指令値より i_{qc} 軸 (q 軸) に近い。すなわち、第 1 電流指令値の電流位相角 θ_1 は、第 2 電流指令値の電流位相角 θ_2 より i_{qc} 軸 (q 軸) 側である。また、第 1 電流指令値の q 軸成分 i_{q1}^* は、第 2 電流指令値の q 軸成分 i_{q2}^* より大きく、第 1 電流指令値の d 軸成分 i_{d1}^* は、第 2 電流指令値の d 軸成分 i_{d2}^* より小さい。

【0062】

選択部 43 は、選択した第 1 電流指令値又は第 2 電流指令値を電流指令値として出力する。選択部 43 により出力された電流指令値は、電圧指令算出部 25 に入力される。

30

【0063】

次に、選択部 43 による、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低いかなどかの判定方法について説明する。

【0064】

選択部 43 は、例えば、出力電圧 V_1 を取得し、目標値 V_{SET} と比較することにより、判定を行う。選択部 43 は、第 1 電流指令値毎の出力電圧が記憶されたテーブルを参照して出力電圧 V_1 を選択してもよいし、以下の式により算出してもよい。

【0065】

【数 5】

$$V_1 = \omega_{est} \sqrt{L_q^2 i_{q1}^2 + L_d^2 i_{d1}^2} \cdot \cdot \cdot (5)$$

40

【0066】

また、選択部 43 は、第 1 電流指令値の電流位相角 θ_1 と、第 2 電流指令値の電流位相角 θ_2 と、を比較することにより、判定を行なってもよい。選択部 43 は、電流位相角 θ_2 が電流位相角 θ_1 より q 軸側の場合、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低いと判定する。

50

【0067】

さらに、選択部43は、第1電流指令値のq軸成分 i_{q1}^* と、第2電流指令値のq軸成分 i_{q2}^* と、を比較することにより、判定を行なってもよい。選択部43は、q軸成分 i_{q1}^* がq軸成分 i_{q2}^* より小さい場合、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低いと判定する。

【0068】

またさらに、選択部43は、第1電流指令値のd軸成分 i_{d1}^* と、第2電流指令値のd軸成分 i_{d2}^* と、を比較することにより、判定を行なってもよい。選択部43は、d軸成分 i_{d1}^* がd軸成分 i_{d2}^* より大きい場合、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低いと判定する。

10

【0069】

電流指令値算出部24がこのように電流指令値 i_{dc}^* 、 i_{qc}^* を算出することにより、図6に実線で示すように、任意のトルク指令値 T^* に対して、SynRM1の出力電圧を目標値 V_{SET} 以上とすることができる。

【0070】

従来の制御装置では、SynRM1が高速域で動作しても、トルク指令値 T^* が小さい低負荷の状態では、図6に破線で示すように、SynRM1の出力電圧(誘起電圧)が小さくなった。このため、誘起電圧を利用して精度よく速度や回転位相角を推定することが困難であった。

【0071】

しかしながら、本実施形態に係る制御装置2は、低負荷の場合であっても、出力電圧を目標値 V_{SET} 以上とすることができるため、SynRM1の出力電圧に基づいて、SynRM1の速度や回転位相角を精度よく推定することができる。

20

【0072】

なお、以上の説明では、制御装置2がSynRM1の動作を制御する場合について説明したが、この制御装置2は、磁石磁束が小さいPMSMの制御装置として利用することもできる。磁石磁束が小さいPMSMは、SynRM1と同様に、低負荷時の誘起電圧が小さい。このようなPMSMに本実施形態に係る制御装置2を適用することにより、PMSMの速度や回転位相角の低負荷時における推定精度を向上させることができる。

【0073】

(第1実施形態の変形例1)

本実施形態に係る電流指令値算出部24の変形例1について、図7を参照して説明する。図7は、電流指令値算出部24の変形例1の構成を示す図である。図7に示すように、第2算出部43は、q軸成分算出部44と、d軸成分算出部45と、を備える。電流指令値算出部24の他の構成は図4と同様である。

30

【0074】

q軸成分算出部44は、推定速度 ω_{est} に基づいて第2電流指令値のq軸成分 i_{q2}^* を算出する。具体的には、q軸成分算出部44は、電流値 i_{q2}^* が推定速度 ω_{est} と反比例するようにq軸成分 i_{q2}^* を算出する。q軸成分 i_{q2}^* は、例えば、以下の式により算出される。

40

【0075】

【数6】

$$i_{q2}^* = \frac{V_{SET}}{\omega_{est} L_q} \cdots (6)$$

【0076】

d軸成分算出部45は、トルク指令値 T^* 及びq軸成分 i_{q2}^* に基づいて、第2電流指令値のd軸成分 i_{d2}^* を算出する。d軸成分 i_{d2}^* は、例えば、以下の式により算出される。

50

【 0 0 7 7 】

【 数 7 】

$$i_{d2}^* = \frac{(L_d - L_q)T^*}{i_{q2}^*} \dots (7)$$

【 0 0 7 8 】

このような構成により、制御装置 2 は、低負荷時の出力電圧を目標値 $V_{SE T}$ 以上とすることができる。また、高速域における電流損失を抑制することができる。

【 0 0 7 9 】

10

(第 1 実施形態の変形例 2)

本実施形態に係る電流指令値算出部 2 4 の変形例 2 について、図 8 ~ 図 1 0 を参照して説明する。図 8 は、電流指令値算出部 2 4 の変形例 2 の構成を示す図である。図 8 に示すように、この電流指令値算出部 2 4 は、トルク指令値 T^* 及び推定速度 est に基づいて、電流指令値 i_{qc}^* 、 i_{dc}^* を算出する。

【 0 0 8 0 】

本変形例において、電流指令値算出部 2 4 は、図 9 に示すように、電流指令値の q 軸成分 i_{qc}^* が所定の目標値 $I_{qSE T}$ 以上となるように、q 軸成分 i_{qc}^* を算出する。また、電流指令値算出部 2 4 は、図 1 0 に示すように、推定速度 est が大きくなるほど、目標値 $I_{qSE T}$ が小さくなるように、q 軸成分 i_{qc}^* を生成する。

20

【 0 0 8 1 】

このような構成により、低負荷時のモータ出力電圧を目標値 $V_{SE T}$ 以上とすることができる。また、高速域における電流損失を抑制することができる。

【 0 0 8 2 】

(第 1 実施形態の変形例 3)

本実施形態に係る電流指令値算出部 2 4 の変形例 3 について、図 1 1 及び図 1 2 を参照して説明する。以上で説明した電流指令値算出部 2 4 は、2 つの電流指令値から一方を選択することにより、出力電圧が目標値 $V_{SE T}$ 以上となる電流指令値を算出した。これに対して、本変形例では、1 つの電流指令値を補正することにより、出力電圧が目標値 $V_{SE T}$ 以上となる電流指令値を算出する。

30

【 0 0 8 3 】

図 1 1 は、電流指令値算出部 2 4 の変形例 3 の構成を示す図である。図 1 1 に示すように、電流指令値算出部 2 4 は、q 軸成分算出部 4 6 と、補正部 4 7 と、加算器 4 8 と、d 軸成分算出部 4 9 と、を備える。

【 0 0 8 4 】

q 軸成分算出部 4 6 は、トルク指令値 T^* に基づいて、電流指令値 i_{q3}^* を算出する。電流指令値 i_{q3}^* は、電流指令値の q 軸成分の補正前の値である。本変形例における電流指令値算出部 2 4 は、電流指令値 i_{q3}^* を補正することにより、電流指令値の q 軸成分を算出する。電流指令値 i_{q3}^* は、SynRM1 のトルクがトルク指令値 T^* となるように、制御装置で実現したい制御に応じた任意の方法で算出される。

40

【 0 0 8 5 】

例えば、q 軸成分算出部 4 6 は、固定子に流す電流の大きさが最小となるように、電流指令値 i_{q3}^* を算出する。この場合、q 軸成分算出部 4 6 は、磁気飽和を無視して、電流位相角 θ が 1 3 5 度となる電流指令値 i_{q3}^* を算出してもよいし、磁気飽和を考慮して、電流位相角 θ が 1 3 5 度より進んだ角度となる電流指令値 i_{q3}^* を算出してもよい。また、q 軸成分算出部 4 6 は、SynRM1 の効率や力率が最大となるように電流指令値 i_{q3}^* を算出してもよい。

【 0 0 8 6 】

q 軸成分算出部 4 6 が算出した電流指令値 i_{q3}^* は、加算器 4 8 に入力される。

【 0 0 8 7 】

50

補正部 47 は、電圧指令値算出部 25 から、電圧指令値 v_{dc}^* 、 v_{qc}^* を入力される。補正部 47 は、電圧指令値 v_{dc}^* 、 v_{qc}^* に基づいて、補正值 i_q^* を算出する。補正值 i_q^* は、電流指令値 i_{q3}^* を補正して、電流指令値の q 軸成分 i_{qc}^* を算出するための電流指令値である。補正部 47 の詳細については後述する。補正部 47 が算出した補正值 i_q^* は、加算器 48 に入力される。

【0088】

加算器 48 は、電流指令値 i_{q3}^* に補正值 i_q^* を加算し、電流指令値 i_{qc}^* を算出する。加算器 48 が算出した電流指令値 i_{qc}^* は、d 軸成分算出部 49 に入力される。

【0089】

d 軸成分算出部 49 は、トルク指令値 T^* と、電流指令値 i_{qc}^* と、に基づいて、SynRM1 のトルクがトルク指令値 T^* となるように、電流指令値の d 軸成分 i_{dc}^* を算出する。d 軸成分 i_{dc}^* は、例えば、以下の式により算出される。

【0090】

【数 8】

$$i_{dc}^* = \frac{(L_d - L_q) T^*}{i_{qc}^*} \dots (8)$$

【0091】

ここで、補正部 47 について、図 12 を参照して説明する。図 12 は、補正部 47 の構成を示す図である。図 12 に示すように、補正部 47 は、出力電圧算出部 61 と、減算器 62 と、リミッタ 63 と、PI 制御器 64 と、を備える。

【0092】

出力電圧算出部 61 は、電圧指令値算出部 25 が算出した電圧指令値 v_{dc}^* 、 v_{qc}^* を入力される。出力電圧算出部 61 は、電圧指令値 v_{dc}^* 、 v_{qc}^* に基づいて、SynRM1 の出力電圧 V_1 を算出する。出力電圧 V_1 は、例えば、以下の式により算出される。

【0093】

【数 9】

$$V_1 = \sqrt{v_{dc}^{*2} + v_{qc}^{*2}} \dots (9)$$

【0094】

出力電圧算出部 61 が算出した出力電圧 V_1 は、減算器 62 に入力される。

【0095】

減算器 62 は、出力電圧の目標値 V_{SET} から出力電圧 V_1 を減算し、出力電圧の誤差 V を算出する。減算器 62 が算出した誤差 V は、リミッタ 63 に入力される。

【0096】

リミッタ 63 は、誤差 V を 0 以上にリミットする。すなわち、0 以上の誤差 V だけ

【0097】

PI 制御器 64 は、0 以上にリミットされた誤差 V に基づいて PI 制御を行い、SynRM1 の出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上となる補正值 i_q^* を算出する。PI 制御器 64 が算出した補正值 i_q^* は、加算器 48 に入力される。

【0098】

このような構成により、電流指令値に応じた出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} より低い場合すなわち、 V が 0 以上の場合、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上となるように、電流指令値に補正值 i_q^* がオフセット電流として追加される。これにより、低負荷時の出力電圧 V_1 を目標値 V_{SET} 以上とすることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 9 】

(第1実施形態の変形例4)

本実施形態に係る電流指令値算出部24の変形例4について、図16を参照して説明する。本変形例では、変形例3と同様に、1つの電流指令値を補正することにより、出力電圧が目標値 V_{SET} 以上となる電流指令値を算出する。変形例3では、補正部47によって補正值 i_{q^*} を生成し、これを加算器48で電流指令値 i_{q3^*} に加算することで、電流指令値 i_{qc^*} を生成した。これに対して、本変形例では、下限リミッタ91によって、電流指令値 i_{q3^*} の下限をリミットすることで、電流指令値 i_{qc^*} を生成する。

【 0 1 0 0 】

下限リミッタ91は、図9のように、 i_{qc^*} が $i_{q_{SET}}$ 以上になるように、 i_{q3^*} を補正(リミット)する。 $i_{q_{SET}}$ は、例えば本実施例が使用される最小速度 ω_{MIN} と、出力電圧の目標値 V_{SET} と、から次式で計算される。

【 0 1 0 1 】

【数10】

$$i_{qSET} = \frac{V_{SET}}{L_q \omega_{MIN}} \cdots (10)$$

【 0 1 0 2 】

このような構成により、低負荷時であっても出力電圧 V_1 を目標値 V_{SET} 以上とすることができる。本変形例では、第1実施形態および変形例1~3に対して、下限リミッタ91を追加するだけという簡単な構成で、出力電圧 V_1 を目標値 V_{SET} 以上とすることができる。

【 0 1 0 3 】

(第2実施形態)

次に、第2実施形態に係る制御装置2について、図14~図16を参照して説明する。図14は、本実施形態に係るシステムの構成を示す図である。図14に示すように、本実施形態に係る制御装置2は、トルク指令値算出部29を更に備える。他の構成は、第1実施形態と同様である。

【 0 1 0 4 】

トルク指令値算出部(速度制御器)29は、速度指令値 ω^* 及び推定速度 e_{st} に基づいて、トルク指令値 T^* を算出する。速度指令値 ω^* とは、SynRM1の回転子を回転させる角速度である。本実施形態において、電流指令値算出部24には、トルク指令値算出部29が算出したトルク指令値 T^* が入力される。なお、本実施形態では、速度指令値 ω^* は、外部装置から入力されるものとする。

【 0 1 0 5 】

図15は、トルク指令値算出部29の構成を示す図である。図15に示すように、トルク指令値算出部29は、減算器71と、PI制御器72と、を備える。

【 0 1 0 6 】

減算器71は、速度指令値 ω^* と推定速度 e_{st} とを入力される。減算器71は、速度指令値 ω^* から推定速度 e_{st} を減算し、回転子の角速度の誤差 e を算出する。減算器71が算出した誤差 e は、PI制御器72に入力される。

【 0 1 0 7 】

PI制御器72は、誤差 e に基づいてPI制御を行い、誤差 e が0となるトルク指令値 T^* を算出する。PI制御器72が算出したトルク指令値 T^* は、電流指令値算出部24に入力される。

【 0 1 0 8 】

上述の通り、電流指令値算出部24は、第1実施形態で説明した構成としてもよいが、他の構成とすることもできる。図16は、電流指令値算出部24の他の構成を示す図である。この電流指令値算出部24は、トルク指令値 T^* 及び位相角指令値 θ^* に基づいて、

10

20

30

40

50

電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* を算出する。

【0109】

図16に示すように、この電流指令値算出部24は、出力電圧算出部81と、減算器82と、リミッタ83と、PI制御器84と、位相角指令値算出部85と、減算器86と、電流指令値取得部87と、を備える。

【0110】

出力電圧算出部81は、電圧指令値算出部25が算出した電圧指令値 v_{dc}^* , v_{qc}^* を入力される。出力電圧算出部81は、電圧指令値 v_{dc}^* , v_{qc}^* に基づいて、SynRM1の出力電圧 V_1 を算出する。出力電圧算出部81が算出した出力電圧 V_1 は、減算器82に入力される。

10

【0111】

減算器82は、出力電圧の目標値 V_{SET} から出力電圧 V_1 を減算し、出力電圧の誤差 V を算出する。減算器82が算出した誤差 V は、リミッタ83に入力される。

【0112】

リミッタ83は、誤差 V を0以上にリミットする。すなわち、0以上の誤差 V だけを出力する。リミッタ83が出力した誤差 V は、PI制御器84に入力される。

【0113】

PI制御器84は、0以上にリミットされた誤差 V に基づいてPI制御を行い、SynRM1の出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上となる補正值 V_{corr}^* を算出する。補正值 V_{corr}^* は、位相角指令値 θ_1^* を補正して位相角指令値 θ^* を算出するための位相角指令値である。PI制御器84が算出した補正值 V_{corr}^* は、減算器86に入力される。

20

【0114】

位相角指令値算出部85は、トルク指令値 T^* に基づいて、位相角指令値 θ_1^* を算出する。位相角指令値 θ_1^* は、位相角指令値 θ^* の補正前の値である。位相角指令値 θ_1^* は、SynRM1のトルクがトルク指令値 T^* となるように、制御装置で実現したい制御に応じた任意の方法で算出される。

【0115】

例えば、位相角指令値算出部85は、固定子に流す電流の大きさが最小となるように、位相角指令値 θ_1^* を算出する。この場合、位相角指令値算出部85は、磁気飽和を無視して、位相角指令値 θ_1^* を135度としてもよいし、磁気飽和を考慮して、位相角指令値 θ_1^* を135度より進んだ角度としてもよい。また、位相角指令値算出部85は、SynRM1の効率や力率が最大となるように位相角指令値 θ_1^* を算出してもよい。

30

【0116】

位相角指令値算出部85が算出した位相角指令値 θ_1^* は、減算器86に入力される。

【0117】

減算器86は、位相角指令値 θ_1^* から補正值 V_{corr}^* を減算して、位相角指令値 θ^* を算出する。減算器86が算出した位相角指令値 θ^* は、電流指令値取得部87に入力される。

【0118】

電流指令値取得部87は、トルク指令値 T^* 及び位相角指令値 θ^* に基づいて、電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* を算出する。具体的には、電流指令値取得部87は、トルク指令値 T^* の等トルク曲線上の、電流位相角が位相角指令値 θ^* となる点の座標を取得すればよい。電流指令値取得部87により取得された電流指令値 i_{dc}^* , i_{qc}^* は、電圧指令値算出部25に入力される。

40

【0119】

以上説明した通り、図16の電流指令値算出部24は、出力電圧 V_1 が目標値 V_{SET} 以上となるように、電流位相角を補正する。具体的には、電流指令値がq軸側に移動するように、電流位相角を遅れ方向に補正する。これにより、低負荷時の出力電圧 V_1 を目標値 V_{SET} 以上とすることができる。

【0120】

50

また、本実施形態に係る制御装置 2 は、要求されるトルク制御の精度が第 1 実施形態に比べて低い。これは、本実施形態に係る制御装置 2 は、SynRM1 の速度 が速度指令値 * となるように制御するためである。

【0121】

このため、電流指令値算出部 24 は、SynRM1 のトルクを正確に制御するためのテーブル（電流指令値毎の出力電圧が記憶されたテーブルなど）を用いずに電流指令値を算出することができる。

【0122】

なお、本発明は上記各実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記各実施形態に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせることによって種々の発明を形成できる。また例えば、各実施形態に示される全構成要素からいくつかの構成要素を削除した構成も考えられる。さらに、異なる実施形態に記載した構成要素を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

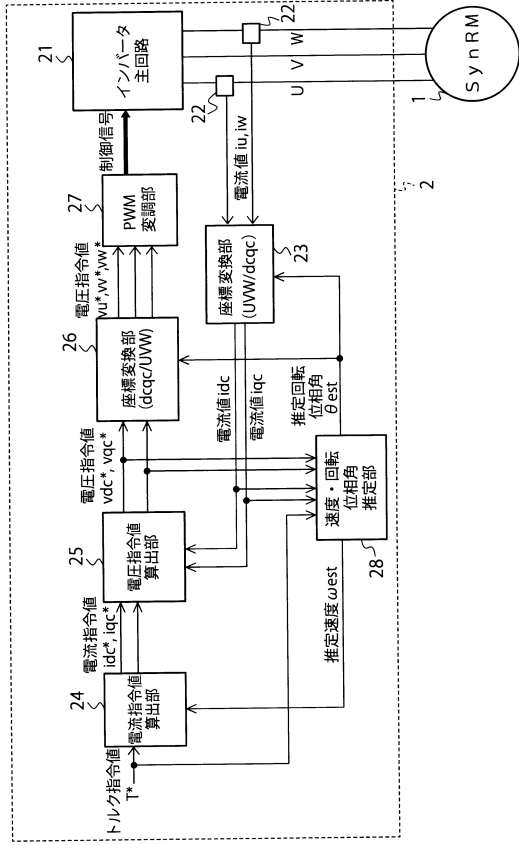
【0123】

1：シンクロナスリラクタンスモータ（SynRM）、2：インバータ制御装置、21：インバータ、22：電流検出器、23：座標変換部、24：電流指令値算出部、25：電圧指令値算出部、26：座標変換部、27：PWM変調器、28：速度・回転位相角推定部、29：トルク指令値算出部、31：位相差 設定部、32：電圧算出部、33：電圧推定部、34：減算器、35：PI制御器、36：積分器、41：第1算出部、42：第2算出部、43：選択部、44：q軸成分算出部、45：d軸成分算出部、46：q軸成分算出部、47：補正部、48：加算器、49 d軸成分算出部、51：第1電流ベクトル、52：第2電流ベクトル、53：等トルク曲線、54：等電圧楕円、61：出力電圧算出部、62：減算器、63：リミッタ、64：PI制御器、71：減算器、72：PI制御器、81：出力電圧算出部、82減算器、83：リミッタ、84：PI制御器、85：位相角指令値算出部、86：減算器、87：電流指令値取得部

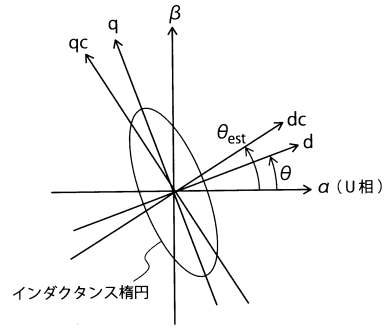
10

20

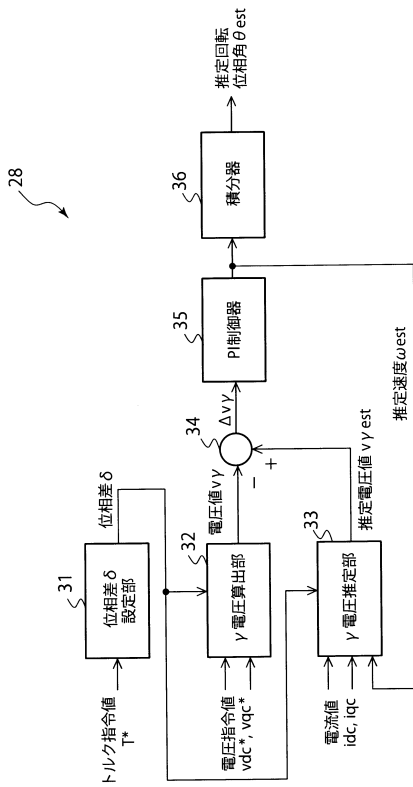
【図1】



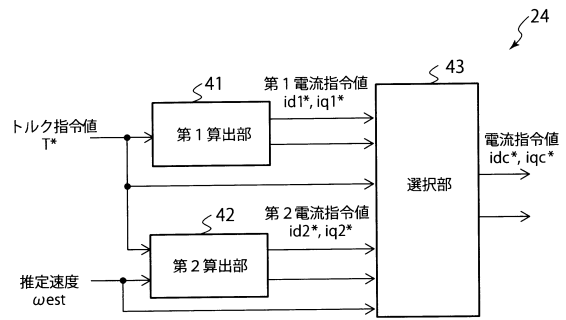
【図2】



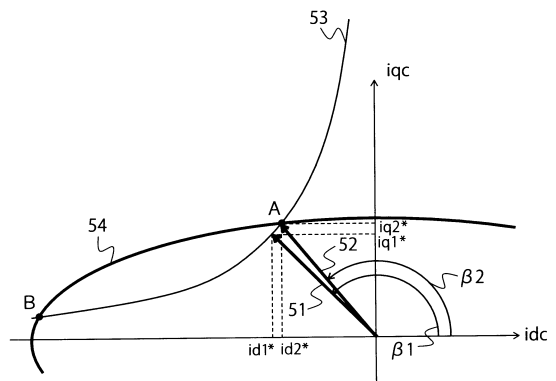
【図3】



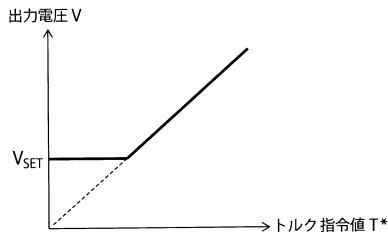
【図4】



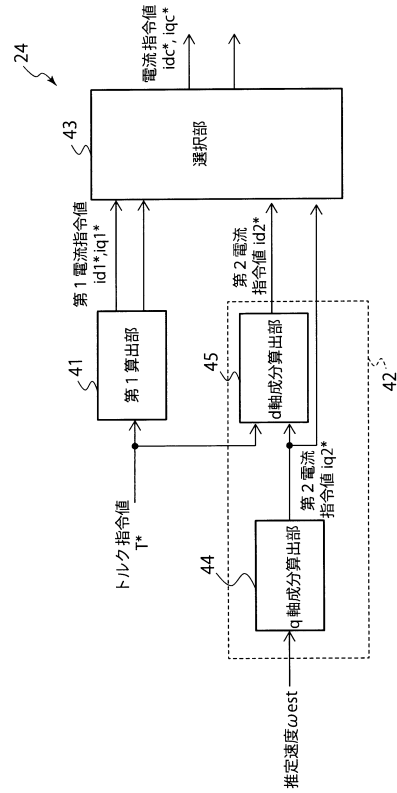
【図5】



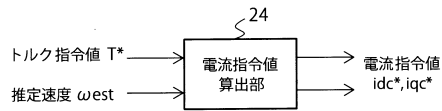
【図6】



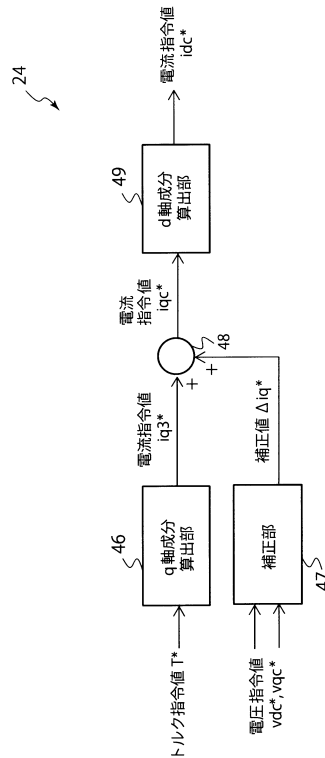
【図7】



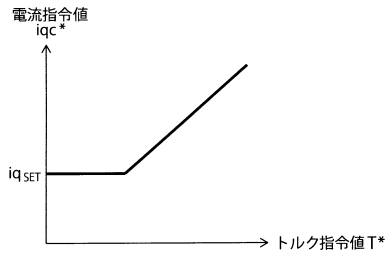
【図8】



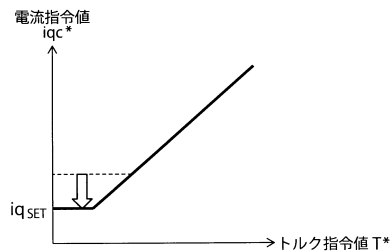
【図11】



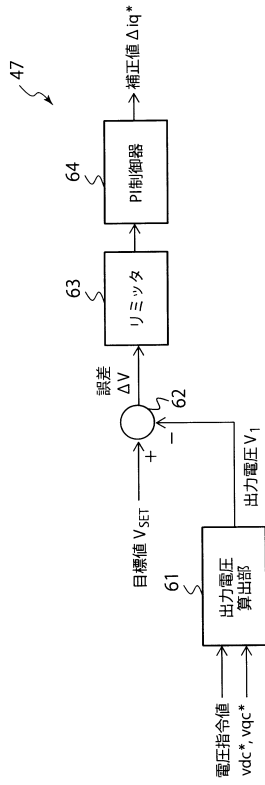
【図9】



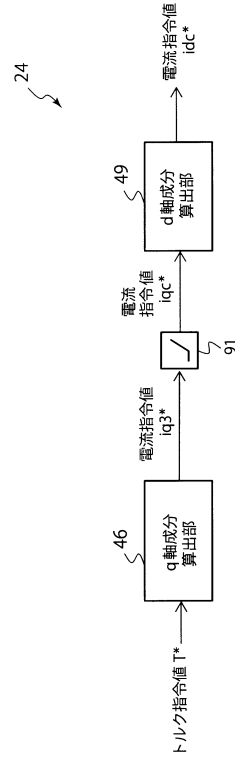
【図10】



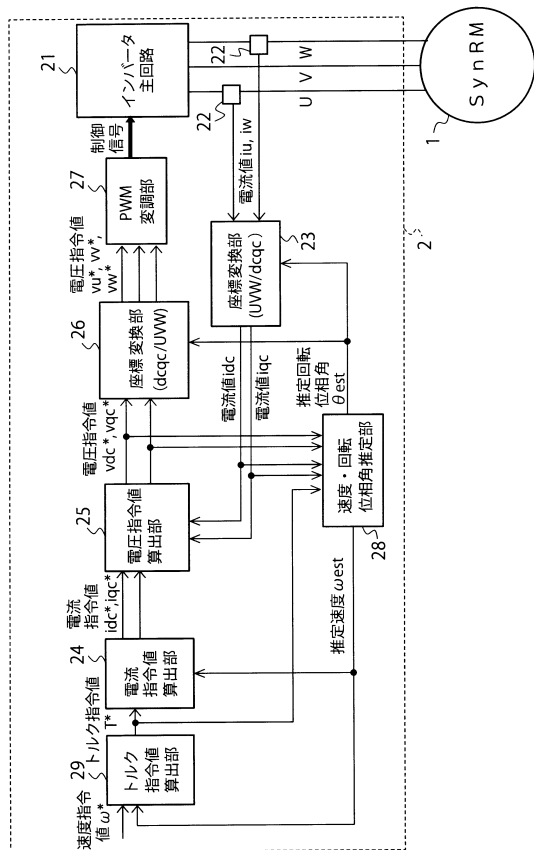
【図 1 2】



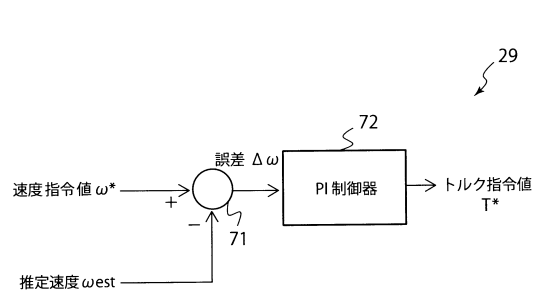
【図 1 3】



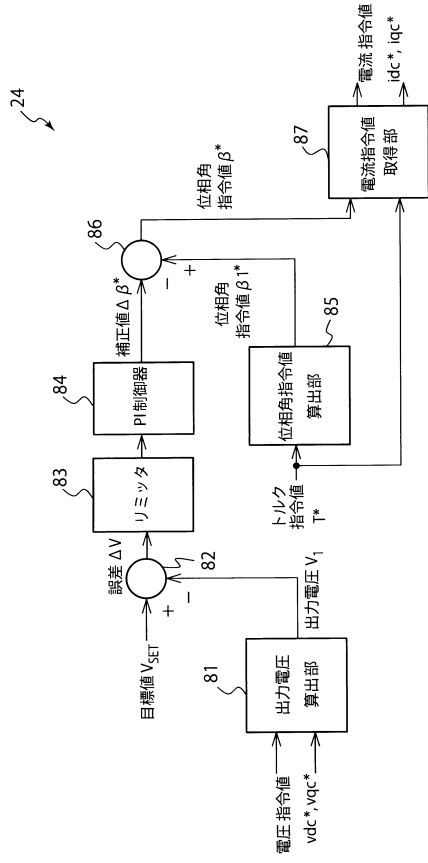
【図 1 4】



【図 1 5】



【図16】



フロントページの続き

- (74)代理人 100107582
弁理士 関根 毅
- (74)代理人 100118843
弁理士 赤岡 明
- (72)発明者 谷口 峻
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内
- (72)発明者 結城 和明
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内
- (72)発明者 鈴木 健太郎
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内
- (72)発明者 茂田 智秋
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内

審査官 上野 力

- (56)参考文献 特開2010-119284(JP,A)
国際公開第2014/157628(WO,A1)
国際公開第2003/081765(WO,A1)
特開2010-136586(JP,A)
特開2009-261103(JP,A)
特開2000-037099(JP,A)
特開2010-130751(JP,A)
特開2006-121768(JP,A)
特開2015-006067(JP,A)
国際公開第2010/070723(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 6/182
H02P 21/18
H02P 25/089