

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-254572
(P2006-254572A)

(43) 公開日 平成18年9月21日(2006.9.21)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO2P 6/06 (2006.01)	HO2P 6/02 341C	5H505
HO2P 21/00 (2006.01)	HO2P 5/408 C	5H560
HO2P 27/04 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2005-65830 (P2005-65830)	(71) 出願人	000006622 株式会社安川電機
(22) 出願日	平成17年3月9日(2005.3.9)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
特許法第30条第1項適用申請有り	2004年11月12日 社団法人電気学会主催の「半導体電力変換、産業電力電気応用 合同研究会」において文書をもって発表	(74) 代理人	100105647 弁理士 小栗 昌平
		(74) 代理人	100105474 弁理士 本多 弘徳
		(74) 代理人	100108589 弁理士 市川 利光
		(74) 代理人	100115107 弁理士 高松 猛
		(72) 発明者	久恒 正希 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内

最終頁に続く

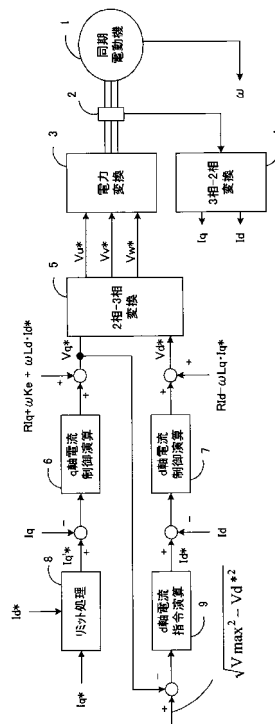
(54) 【発明の名称】 同期電動機の制御方法および制御装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な方法で最適なd軸電流指令を作ることができるようにする。

【解決手段】 同期電動機に与える3相電流値をd軸電流とq軸電流に変換する3相-2相変換器4と、q軸電流指令と前記q軸電流の差が0になるように制御を行なうq軸電流制御演算部6と、d軸電流指令と前記d軸電流の差が0になるように制御を行なうd軸電流制御演算部7と、q軸電圧指令とd軸電圧指令を3相の電圧指令に変換する2相-3相変換器5と、3相の電圧指令により同期電動機に電力を供給する電力変換部3と、を備えた同期電動機制御装置において、d軸電流指令演算部9で、電力変換装置の電圧最大値Vmaxの二乗からd軸電圧指令Vd*の二乗を引いたもの平方根とq軸電圧指令Vq*との差(Vmax² - Vd*²)^{1/2} - Vq*を求め、その差分によりd軸電流指令を制御する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

永久磁石を使用した同期電動機に与える 3 相電流値を 3 相 - 2 相変換して前記同期電動機の界磁方向である d 軸とそれと直交する方向でトルクを発生する q 軸に分離した d 軸電流と q 軸電流に変換し、各々 q 軸電流指令と d 軸電流指令との差が 0 になるようにそれぞれ制御出力される q 軸電圧指令と d 軸電圧指令を 2 相 - 3 相変換して 3 相電圧指令にし、該 3 相電圧指令で電力変換により前記同期電動機に電力を供給する同期電動機制御方法において、前記同期電動機の電圧飽和時における d 軸電流制御方法が、電力変換装置の電圧最大値の二乗から前記 d 軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と前記 q 軸電圧指令との差分により前記 d 軸電流指令を演算制御するようにしたことを特徴とする同期電動機制御方法。

10

【請求項 2】

前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記 d 軸電流制御方法において、q 軸電流指令が、同期電動機の最大電流の二乗から d 軸電流指令の二乗を引いたものの平方根以下になるように、q 軸電流指令にリミットを掛けることを特徴とする請求項 1 記載の同期電動機制御方法。

【請求項 3】

前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記 d 軸電流制御方法において、q 軸電圧指令を監視し、電圧変換装置の電圧最大値の二乗から d 軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と前記 q 軸電圧指令との差分が 0 になるように d 軸電流指令を制御するようにしたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の同期電動機制御方法。

20

【請求項 4】

永久磁石を使用した同期電動機に与える 3 相電流値を前記同期電動機の界磁方向である d 軸とそれと直交する方向でトルクを発生する q 軸に分離した各 d 軸電流と q 軸電流に変換する 3 相 - 2 相変換器と、q 軸電流指令と前記 q 軸電流の差が 0 になるように制御を行なう q 軸電流制御演算部と、d 軸電流指令と前記 d 軸電流の差が 0 になるように制御を行なう d 軸電流制御演算部と、前記 q 軸電流制御演算部および q 軸電流制御演算部から出力される q 軸電圧指令と d 軸電圧指令を 3 相の電圧指令に変換する 2 相 - 3 相変換器と、前記 3 相の電圧指令により同期電動機に電力を供給する電力変換部と、を備えた同期電動機制御装置において、

30

同期電動機の電圧飽和時における d 軸電流制御で、電力変換装置の電力最大値の二乗から d 軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と q 軸電圧指令との差を求める差分器と、前記差分器の出力により前記 d 軸電流指令を演算し前記 d 軸電流制御演算部に出力する d 軸電流指令演算部とを備えたことを特徴とする同期電動機制御装置。

【請求項 5】

前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記 d 軸電流制御で、前記 q 軸電流指令が同期電動機の最大電流の二乗から d 軸電流指令の二乗を引いたものの平方根以下になるように、前記 d 軸電流指令にリミットを掛けるリミット処理部を備えたことを特徴とする請求項 4 記載の同期電動機制御装置。

【請求項 6】

前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記 d 軸電流制御において、前記 q 軸電圧指令を監視し、電圧変換装置の電圧最大値の二乗から d 軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と前記 q 軸電圧指令との差分が 0 になるように d 軸電流指令を制御するようにしたことを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の同期電動機制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、同期電動機を制御する制御装置の d 軸電流制御方法および制御装置に関する。

【背景技術】

50

【0002】

図を用いて、従来のd軸電流制御を説明する。

図2において、1は同期電動機である。2は電流検出器であり、U相、V相、W相の電流値を検出し、4の3相-2相変換器により、d軸電流とq軸電流に変換される。U相、V相、W相の電流値の和は0になるので、U相、V相の電流値を検出し、W相は、式(1)として求めることもできる。

$$I_w = -I_u - I_v \quad \dots \quad (1)$$

3は電力変換部で、電圧指令 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を受けて実際の電圧を発生する。5は2相-3相変換器で、同期機の界磁方向であるd軸に与える電圧指令 V_d^* とそれと直交する方向でトルクを発生するq軸に与える電圧指令 V_q^* で表された2相の電圧指令を、モータの各相に与える電圧指令である V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* で表される3相の電圧指令に変換する。

6はq軸電流制御演算部で、q軸電流指令 I_q^* とフィードバック電流 I_q の差が0になるように例えばPI制御を行っている。7はd軸電流制御演算部で、q軸電流制御演算部と同様な例えばPI制御をd軸電流について行っている。10はq軸電流制限処理部で、d軸電流の増加により、q軸電流の最大値が減少していくので、q軸電流指令 I_q^* をq軸電流の最大値に制限するものである。11はd軸電流指令処理部で、q軸電流指令や電圧飽和積分器からの入力を基にd軸電流指令を計算する。12は最大d軸電流演算部で、モータ回転速度や電力変換装置の最大電圧 V_{max} などからd軸電流の最大値を計算する。13は電圧飽和検出器で、電力変換装置の最大電圧 V_{max} と電力変換装置で検出した実電圧との比較を行い、電圧飽和を起こしているかどうかの判断を行う。14は飽和積分器で、13の電圧飽和検出器で電圧飽和が検出されたときに負の固定値の積分を行い、負のd軸電流指令を作成する。

【0003】

次に、永久磁石を使用した同期電動機の電圧飽和について説明する。

永久磁石を使用した同期電動機は、回転速度に比例した誘起電圧が、同期電動機のトルクを発生するq軸に発生するので、高速になればなるほど同期電動機のトルクを発生するq軸電流を流す電圧 V_q の最大値が減少する。つまり、高回転速度では、同期電動機のトルクの最大値が減少することになる。この領域を電圧飽和領域と言う。

本発明でも利用しているが、この電圧飽和領域でトルクの減少を抑える方法として、適当な負のd軸電流を流して電圧飽和を押さえると言う公知技術がある。以下に原理を説明する。永久磁石を使用した同期電動機の電圧電流方程式とトルクは、次の2式で与えられる。

【0004】

【数1】

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K\omega \end{bmatrix}$$

$$T = K_t I_q + P(L_d - L_q) I_d I_q$$

ただし、 I_d 、 I_q ：同期電動機のd、q軸電流、
 V_d 、 V_q ：同期電動機のd、q軸電圧、
 ω ：電気角速度、
 R ：電気子抵抗、
 L_d 、 L_q ：d、q軸インダクタンス、
 $p = d/dt$ 、
 K ：誘起電圧定数、
 K_t ：トルク定数、
 P ：極対数。

10

20

30

40

50

ここで、同期電動機は非突極構造であるとし、定常状態で考えるとすると、同期電動機の q 軸電圧 V_q は、

$$V_q = R I_q + K + L I_d$$

となる。

この式より、同期電動機の q 軸電圧 V_q は回転速度に応じて誘起電圧が高くなるが、負の d 軸電流 - I_d を流すと、誘起電圧の増加量を抑える方向に働くことが分かる。

【0005】

つぎに、図 2 に基づいて従来技術の動作を説明する。

電圧飽和領域に入ると電圧飽和検出器 13 が電圧飽和を検出し、飽和積分器 14 で負の一定値を積分し、この飽和積分器 14 の値を d 軸電流指令 I_d^* とすることで、d 軸電流が増加し誘起電圧の増加量を抑える方向に働く。誘起電圧の増加量が押さえられ電圧飽和領域でなくなると、今度は正の一定値を飽和積分器 14 に積分していくことで d 軸電流を減少させていく。

10

そして、また電圧飽和領域に入ると、負の一定値を飽和積分器 14 に積分していく。この繰り返しで、d 軸電流指令を調整することができる。

上記方法でのみで行うと、電圧飽和領域でない場合、正の一定値を積分していくので d 軸電流指令に余分な正の値がたまることになる。このため、電圧飽和領域でない場合、d 軸指令処理 11 において最適な d 軸電流を計算する方法がとられている。計算式としてはいろいろなものがあるが、厳密に解く場合には複雑な式を解かなければならないため、CPU に負担がかかり、処理時間も長くなる問題がある。近似式で解く場合には、今度は誤差が大きくなるという問題が浮上してくる。

20

従来技術では、負の d 軸電流を流すための d 軸電流指令をモータ回転速度や電力変換装置の最大電圧、q 軸電流指令を基に複雑な計算をして導出してきた。

例えば、特許文献 1 においては、

【0006】

【数 2】

$$\left(-2Ld^2I_d - 2LdK\right)\left[K - (Lq - Ld)I_d\right]^2 - 2(Lq - Ld)\left[K - (Lq - Ld)I_d\right]\left[\phi m^2 - K^2 - Ld^2I_d^2 - 2LdKI_d\right] = 0$$

30

を用いて最適な d 軸電流指令の最大値を計算したりしている。

また、非特許文献 1 においては、

【0007】

【数 3】

$$I_d^2 + \frac{2\omega^2 K}{R^2 + (\omega L)^2} I_d + I_q^2 + \frac{2RK\omega}{R^2 + (\omega L)^2} I_q + \frac{(K\omega)^2 - V_{\max}}{R^2 + (\omega L)^2} \leq 0$$

を用いている。ただし、非特許文献 1 においては、複雑な計算過程を省くため、d 軸電流指令の値をトルクと回転速度の関数となるようにあらかじめ計算しておき、その数値をテーブルとして RAM に記憶しておくことで、最適な d 軸電流指令を作っている。

40

このように、従来の同期電動機の d 軸電流制御方法では、モータ回転速度や電力変換装置の最大電圧値や q 軸電流指令などから d 軸電流指令を複雑な計算で導出したり、複雑な計算過程を省くためにあらかじめ計算した値を RAM の中にテーブルとして記憶しておき、モータの回転速度と q 軸電流指令に応じた値をテーブルから導出していた。

【特許文献 1】特開 2003 - 209996 号公報

【非特許文献 1】「電力変換装置による同期電動機の弱め界磁の一手法」IEA - 03 - 62

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来のd軸電流制御方法では、モータ回転速度や電力変換装置の最大電圧、q軸電流指令などからd軸電流指令を計算するという手順をとっているため、複雑な計算が必要になり、CPUに負担がかかり、処理時間も長くなるという問題があった。

また、複雑な計算を省くために、事前に計算してRAMに記憶しておく場合は、その分、RAM容量がたくさん必要になるという問題もあった。また、電圧飽和を検出するための電圧飽和検出器が必要であり、機器の構成が増えるという問題もあった。

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、同期電動機の弱め界磁制御においてq軸電圧指令と電力変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根との比較を行い、その差分によりd軸電流指令を制御することで、簡単な方法かつ簡単な機器構成で誘起電圧の増加を抑制する最適なd軸電流指令を作ることができる同期電動機制御方法および制御装置を提供することを目的とする。

10

また、電圧飽和検出器を不要にすると共に、電圧飽和時に最適なd軸指令を短い処理時間内に求めることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記問題を解決するため、請求項1記載の発明は、永久磁石を使用した同期電動機に電力を供給する電力変換器で、同期電動機の界磁方向であるd軸とそれと直交する方向でトルクを発生するq軸に分離し各々を制御するように構成された制御部を備え、同期電動機の電圧飽和時におけるd軸電流制御方法が、q軸電圧指令と電力変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根との比較を行い、その差分によりd軸電流指令をPI制御等とすることを特徴とする。

20

また、請求項2記載の発明は、前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記d軸電流制御方法において、q軸電流指令が、同期電動機の最大電流の二乗からd軸電流指令の二乗を引いたものの平方根以下になるように、q軸電流指令にリミットを掛けることを特徴とする。

また、請求項3記載の発明は、前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記d軸電流制御方法において、q軸電圧指令を監視し、電圧変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と前記q軸電圧指令との差分が0になるようにd軸電流指令を制御するようにしたことを特徴とする。

30

また、請求項4記載の発明は、永久磁石を使用した同期電動機に与える3相の電流値を電流検出器により検出して3相-2相変換器によりd軸電流とq軸電流に変換しq軸電流制御演算部およびd軸電流制御演算部において夫々q軸電流指令とd軸電流指令との差が0になるように制御を行い出力されるq軸電圧指令とd軸電圧指令を2相-3相変換器により3相の電圧指令に変換して電力変換部により実際の電圧を発生して同期電動機を駆動制御する同期電動機制御装置において、同期電動機の電圧飽和時におけるd軸電流制御で、q軸電圧指令と電力変換装置の電力最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根との比較を行い、その差分によりd軸電流指令をPI制御等により出力するd軸電流指令演算部を備えたことを特徴とする。

40

また、請求項5記載の発明は、前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記d軸電流制御で、前記q軸電流指令が同期電動機の最大電流の二乗からd軸電流指令の二乗を引いたものの平方根以下になるように、前記d軸電流指令にリミットを掛けるリミット処理部を備えたことを特徴とする。

また、請求項6記載の発明は、前記同期電動機の前記電圧飽和時における前記d軸電流制御において、前記q軸電圧指令を監視し、電圧変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と前記q軸電圧指令との差分が0になるようにd軸電流指令を制御するようにしたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

50

請求項 1 および 2 記載の発明によれば、最適な d 軸電流を求めるための複雑な計算で CPU に負担が掛かったり、処理時間が延びたりすることなく、また、処理時間の短縮のため、あらかじめ計算した数値をテーブルとして RAM に記憶させておくための RAM 容量を増やすことなく、簡単な方法で電圧飽和時に誘起電圧の増加を抑える最適な d 軸電流指令を作ることができる。

また、請求項 3 記載の発明によると、電圧飽和検出器が不要となり、簡単な機器の構成で最適な d 軸電流指令を作ることができる。

請求項 4 および 5 記載の発明によれば、q 軸電流指令を監視して電圧飽和時に誘起電圧の増加を抑えるための最適な d 軸電流を求める d 軸電流指令演算部とリミット処理部を備えたので、電圧飽和時の最適な d 軸電流を求める複雑な計算で CPU に負担が掛かったり、処理時間が延びたりすることなく、又処理時間の短縮のために予め計算した数値をテーブルとして記憶させて置くための RAM 容量を増やすこともなく、簡単に電圧飽和時に誘起電圧の増加を抑えられる最適な d 軸電流指令を作ることが可能な同期電動機制御装置を得ることができる。

10

また、請求項 6 記載の発明によれば、電圧飽和を検出する電圧飽和検出器が不要になり削減できるので、機器構成を削減した簡単な構成により最適な d 軸電流指令をつくることのできる同期電動機制御装置が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。

20

【実施例 1】

【0012】

図 1 は、本発明の方法を実施する電力変換装置の構成を示すブロック図である。

図において、1 は同期電動機である。2 は電流検出器であり、U 相、V 相、W 相の電流値を検出し、4 の 3 相 - 2 相変換器により、d 軸電流と q 軸電流に変換される。3 は電力変換部で、電圧指令 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を受けて実際の電圧を発生する。5 は 2 相 - 3 相変換器で、同期機の界磁方向である d 軸に与える電圧指令 V_d^* とそれと直交する方向でトルクを発生する q 軸に与える電圧指令 V_q^* で表された 2 相の電圧指令を、モータの各相に与える電圧指令である V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* で表される 3 相の電圧指令に変換する。6 は q 軸電流制御演算部で、q 軸電流指令 I_q^* とフィードバック電流 I_q の差が 0 になるように例えば PI 制御を行っている。7 は d 軸電流制御演算部で、q 軸電流制御演算部と同様な例えば PI 制御を d 軸電流について行っている。8 はリミット処理部で、q 軸電流指令 I_q^* を d 軸電流のフィードバックにより制限する。

30

9 は d 軸電流指令演算部で、電力変換装置の電圧最大値 V_{max} の二乗 V_{max}^2 から d 軸電圧指令 V_d^* の二乗 V_d^{*2} を引いたもの $(V_{max}^2 - V_d^{*2})$ の平方根 $(V_{max}^2 - V_d^{*2})^{1/2}$ と q 軸電流指令 V_q^* との差分、すなわち、
 $(V_{max}^2 - V_d^{*2})^{1/2} - V_q^*$

により d 軸電流指令の例えば PI 制御を行っている。

つぎに、図 1 に基づいて本発明の動作を説明する。

非突極構造の同期電動機のトルクは q 軸電流 I_q に比例する。そのため、q 軸電流指令 I_q^* を大きくしていくと、トルクも q 軸電流指令に比例して大きくなる。ところが、高回転速度領域では同期電動機の特徴である誘起電圧が大きくなってしまい、q 軸電流を流すための q 軸電圧の最大値が制限されてしまう（電圧飽和領域）。d 軸電流を流すと、誘起電圧の増加分を押さえることができる事は前述したが、本発明では、簡単な方法で最適な d 軸電流指令を作るために q 軸電圧指令 V_q^* に着目した。

40

図 1 に示すように、電力変換装置の電圧最大値の二乗から d 軸電圧指令の二乗を引いたものの平方根と q 軸電圧指令との比較を行い、その差分により d 軸電流指令を例えば PI 制御することにより、電圧飽和領域で q 軸電圧指令 V_q^* が大きくなり、電力変換装置の最大電圧 V_{max} を越えてしまった時に、d 軸電流指令演算部 9 の入力に負の値が入力され、負の d 軸電流指令が作られ、負の d 軸電流指令により負の d 軸電流を同期電動機に流

50

すことで誘起電圧の増加分を押さえる事ができ、q軸電圧指令 Vq^* が電力変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたもの平方根 $(V_{max}^2 - Vd^{*2})^{1/2}$ と等しくなるように、d軸電流を調整する事ができる。

ここで、d軸電流指令演算部9の入力の最大値は0で制限しておく必要がある。電圧飽和でないときには、常に正の値がd軸電流指令演算部9に入力されている。この正の値は、電圧飽和になっていないかの判断には利用できるが、実際のd軸電流指令値には必要ない値である。そのため、d軸電流指令演算部9の入力の最大値は0で制限しておく。

図1のq軸電流指令のリミット処理部8について説明する。同期電動機のq軸最大電流は、

【0013】

【数4】

$$Iq^* \leq \sqrt{Imax^2 - Id^{*2}}$$

によって制限される。ただし、 I_{max} ：同期電動機の最大電流。

電圧飽和の状態の中でも、より高回転速度、高トルクの境域では大きなd軸電流が必要となるため、最適なd軸電流指令を作るためにはq軸電流を減少させてd軸電流を増やす必要がある。このため、d軸電流指令とq軸電流指令をリミット処理部に入力し、上記式によりq軸電流指令にリミットを掛けることによって、最適なd軸電流指令 Iq^* を作る

10

20

ことができる。

以上のように、本発明では、同期電動機の電圧飽和時におけるd軸電流制御方法が、q軸電圧指令と電力変換装置の電圧最大値の二乗からd軸電圧指令の二乗を引いたもの平方根との比較を行い、その差分によりd軸電流指令を例えばPI制御するとしたので、簡単な方法かつ簡単な機器構成で最適なd軸電流指令を作ることができる。

【産業上の利用可能性】

【0014】

高回転速度における電圧飽和領域で簡単な構成によって、与える最適なd軸電流値を求めることができるという実際的な方法なので、多くの同期電動機、特に、非突極性の同期電動機を用いた各種機器システムに好適に適用される。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の方法を適用する同期電動機の電流制御装置のブロック図である。

【図2】従来の方法を適用する同期電動機の電流制御装置のブロック図である。

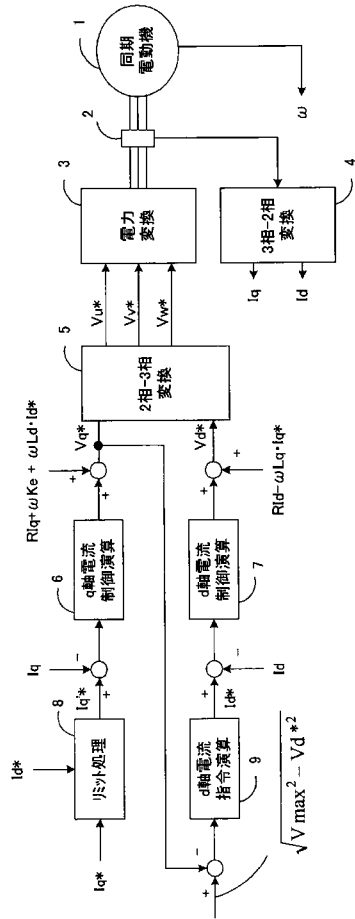
【符号の説明】

【0016】

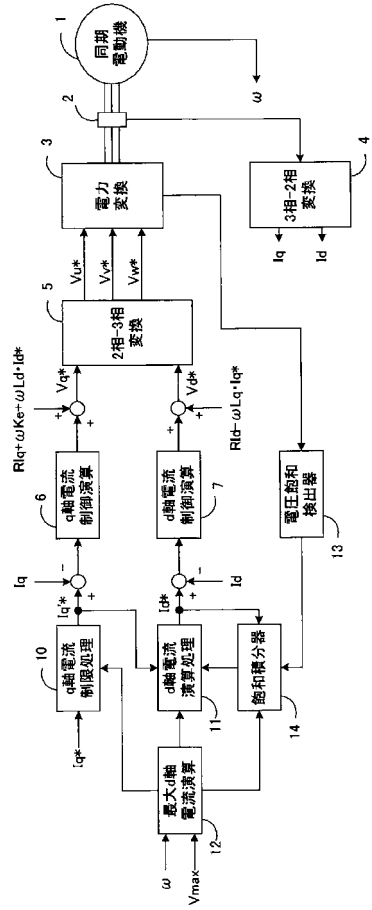
- 1 同期電動機
- 2 同期電動機のU, V, W相電流検出部
- 3 電力変換部
- 4 3相 - 2相変換部
- 5 2相 - 3相変換部
- 6 q軸電流演算部
- 7 d軸制御演算部
- 8 リミット処理部
- 9 d軸電流指令演算部

40

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 沢村 光次郎

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内

F ターム(参考) 5H505 DD08 EE41 GG04 HA07 HB02 JJ03 KK06 LL01 LL22
5H560 BB04 BB12 DB00 DC12 DC13 EB01 GG04 XA13 XA15