

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4687846号
(P4687846)

(45) 発行日 平成23年5月25日(2011.5.25)

(24) 登録日 平成23年2月25日(2011.2.25)

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

請求項の数 4 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-87228 (P2001-87228)	(73) 特許権者	000006622
(22) 出願日	平成13年3月26日(2001.3.26)		株式会社安川電機
(65) 公開番号	特開2002-291283 (P2002-291283A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43) 公開日	平成14年10月4日(2002.10.4)	(74) 代理人	100123788
審査請求日	平成20年2月19日(2008.2.19)		弁理士 官崎 昭夫
		(74) 代理人	100127454
			弁理士 緒方 雅昭
		(74) 代理人	100106297
			弁理士 伊藤 克博
		(74) 代理人	100106138
			弁理士 石橋 政幸
		(72) 発明者	井手 耕三
			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】 同期電動機の磁極位置推定方法および制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

同期電動機を制御するための電圧指令値の励磁成分に、駆動周波数とは異なる周波数の高周波電圧を重畳することにより、高周波領域におけるインピーダンスに電氣的突極性を生じさせ、

該突極性に基づいて磁極位置を推定して第1の磁極位置とし、

電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、前記第1の磁極位置から、算出された前記内部相差角補償角を差し引いて第2の磁極位置とする同期電動機の磁極位置推定方法。

【請求項2】

同期電動機を制御するための電流指令値の励磁成分に、駆動周波数とは異なる周波数の高周波電流を重畳することにより、高周波領域におけるインピーダンスに電氣的突極性を生じさせ、

該突極性に基づいて磁極位置を推定して第1の磁極位置とし、

電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、前記第1の磁極位置から、算出された前記内部相差角補償角を差し引いて第2の磁極位置とする同期電動機の磁極位置推定方法。

【請求項3】

磁極位置の推定値に基づき同期電動機の電流値を磁束成分とトルク成分とに分離し、それぞれの電流値を独立に制御することによって同期電動機の制御を行う、同期電動機の制御

装置であって、

同期電動機の制御軸（軸）の電圧指令値に高周波電圧を重畳する高周波電圧発生器と、同期電動機の電流値の位相を、前記制御軸を挟んで電気角45度の位置に変換する座標変換器と、

前記高周波発生器により重畳した高周波電圧の周波数成分と同じ周波数成分の信号を前記座標変換器の出力電流から抽出する高周波成分抽出器と、

前記高周波成分抽出器により抽出された電流と前記高周波電圧に基づいて前記制御軸から電気角45度進んだ点と遅れた点の2点でそれぞれ高周波インピーダンスを推定し、該2点間でのインピーダンスの偏差を推定する高周波インピーダンス偏差推定器と、

前記2つの高周波インピーダンス間の偏差がゼロとなるような磁極位置を第1の磁極位置として推定する第1の磁極位置推定器と、

電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、前記第1の磁極位置から、算出された前記内部相差角補償角を差し引いて第2の磁極位置とする第2の磁極位置推定器と、

を備えている同期電動機の制御装置。

【請求項4】

磁極位置の推定値に基づき同期電動機の電流値を磁束成分とトルク成分とに分離し、それぞれの電流値を独立に制御することによって同期電動機の制御を行う、同期電動機の制御装置であって、

同期電動機の制御軸（軸）の電流指令値に高周波電流を重畳する高周波電流発生器と、同期電動機の電圧値の位相を、前記制御軸を挟んで電気角45度の位置に変換する座標変換器と、

前記高周波発生器により重畳した高周波電流の周波数成分と同じ周波数成分の信号を前記座標変換器の出力電圧から抽出する高周波成分抽出器と、

前記高周波成分抽出器により抽出された電圧と前記高周波電流に基づいて前記制御軸から電気角45度進んだ点と遅れた点の2点でそれぞれ高周波インピーダンスを推定し、該2点間でのインピーダンスの偏差を推定する高周波インピーダンス偏差推定器と、

前記2つの高周波インピーダンス間の偏差がゼロとなるような磁極位置を第1の磁極位置として推定する第1の磁極位置推定器と、

電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、前記第1の磁極位置から、算出された前記内部相差角補償角を差し引いて第2の磁極位置とする第2の磁極位置推定器と、

を備えている同期電動機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、同期電動機の制御を速度センサレスベクトル制御により行う同期電動機の制御装置に関し、特に同期電動機の磁極位置推定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

同期電動機の制御を行うための方法のうちの一つにベクトル制御がある。ベクトル制御とは、一定に保たれた励磁電流（d軸電流）と必要なトルクに応じたトルク電流（q軸電流）との位相差を電気角90度に保つことにより直流機相当あるいはそれ以上の効率および応答性を得ることを目的とした制御である。

【0003】

一般に同期電動機のベクトル制御を行うためには、速度センサを用いて同期電動機の速度を測定することが必要となる。しかし、コスト、信頼性等の観点からは速度センサが無い方が有利であるため、速度センサで同期電動機の速度を実際に測定せずに同期電動機の速度を推定し、この推定値を用いてベクトル制御を行う速度センサレスベクトル制御が用いられている。速度センサレスベクトル制御では、同期電動機の速度を推定するために、先

10

20

30

40

50

ず磁極位置を推定し、この磁極位置から速度の推定が行われている。

【0004】

従来、同期電動機の駆動周波数がほぼゼロとなるゼロ周波数領域、つまり超低速運転時においても同期電動機の磁極位置を推定し、負荷に適したトルクを出力することを可能とする同期電動機の制御方法が、下記に示す文献により報告されている。

【0005】

参考文献1：M.Schroedl、"Sensorless control of induction motors at low speed and standstill、" in Proceedings ICEM' 92 (International Conference on Electrical Machines September 1992),pp.863-867.

参考文献2：M.J.Corley and R.D.Lorenz、"Rotor Position and Velocity Estimation for a Salient-Pole Permanent Magnet Synchronous Machine at Standstill and High Speeds", IEEE Transactions on Industry Applications、Volume 34, Number 4, July/August,pp.784-789, 1998.

参考文献3：山野、野口、近藤、"低速領域を含む突極形PMモータの位置センサレス速度制御法"、電気学会半導体電力変換研究会、SPC-97-13,pp.75-82,1997.

これらの手法の特徴は、同期電動機に駆動周波数とは異なる周波数の高周波電圧あるいは高周波電流を重畳し、回転子構造の電機学的突極性に基づいて推定される磁極位置を用いて同期電動機を制御するというものである。

【0006】

上記に示したような従来の方法磁極位置を推定し同期電動機を制御する制御装置の一例を図3に示す。

【0007】

この従来の同期電動機の制御装置は、PWM電圧型インバータ装置(PWM Voltage Source Inverter)2と、高周波発生器4と、2相3相変換器3と、電流制御器5と、ローパスフィルタ(LPF)6と、d-q変換器7、8と、バンドパスフィルタ(BPF)9と、高周波インピーダンス推定器10と、磁極位置推定器21と、電流検出器12と、加算器38と、減算器39~41とから構成されていて、同期電動機1のベクトル制御を行っている。

【0008】

減算器39、40は、電流指令 i^* 、 i^* から、実際の電流値 i 、 i をそれぞれ減算している。電流制御器5は、減算器39、40から出力された電流値 i 、 i と、電流指令値 i^* 、 i^* の偏差がゼロとなるような電圧指令 V^* 、 V^* を生成して出力することにより電流制御を実施している。

【0009】

高周波発生器4は、駆動周波数と異なる周波数 f_{inj} の高周波電圧 V_{inj} を生成している。加算器38は、電流制御器5からの出力である電圧指令値の成分(磁束成分) V^* に、高周波発生器4により生成された高周波電圧 V_{inj} を加算している。

【0010】

2相3相変換器3では、加算器38における加算結果と電圧指令値の成分(トルク成分) V^* とを3相の電圧指令値に変換し、PWM電圧型インバータ装置2に指令している。PWM電圧型インバータ装置2は、2相3相変換器3からの指令に基づいて同期電動機1の制御を行っている。

【0011】

また、電流検出器12は、同期電動機1の電流値 i_s を検出している。d-q変換器7は、電流検出器12により検出された電流値 i_s を推定磁極位置 $\hat{\theta}$ を用いて制御軸に座標変換している。

【0012】

ローパスフィルタ(LPF)6は、d-q変換器7により制御軸に座標変換された電流値から、加算器38により重畳した高周波電圧 V_{inj} と同じ周波数成分 f_{inj} を除去したものを減算器39にそれぞれフィードバックしている。このような構成となっていることによ

10

20

30

40

50

り、励磁成分 (i^*)、トルク成分 (i^*) の各々の電流指令値との偏差を電流制御器 5 でゼロとするように電流制御を実施する。

【0013】

減算器 41 は、推定磁極位置 $\hat{\theta}$ から 45 度 ($\pi/4$ ラジアン) の減算を行っている。d - q 変換器 8 は、検出電流値 i_s の位相を減算器 41 の位相に変換することにより、検出電流値 i_s を推定磁極位置 $\hat{\theta}$ から 45 度ずれたところに位置するインピーダンス観測軸に変換する。

【0014】

バンドパスフィルタ (BPF) 9 では、加算器 38 により重畳した高周波電圧指令値 V_{inj} と同じ周波数成分 f_{inj} の成分を抽出し、抽出された高周波電流成分 i_{dm} 、 i_{qm} と高周波電圧指令値 V_{inj} とを高周波インピーダンス推定器 10 に入力する。高周波インピーダンス推定器 10 は、 θ 軸から電気角 45 度進んだ点と遅れた点の 2 点で高周波インピーダンス Z_{dm} と Z_{qm} を推定する。

【0015】

磁極位置推定器 13 は、2 つの高周波インピーダンス Z_{dm} 、 Z_{qm} の大きさが等しくなるような磁極位置 $\hat{\theta}$ を推定している。また、磁極位置推定器 13 は、図 4 に示すように、減算器 31 と、乗算器 32 と、積分器 33 とから構成されている。減算器 31 は、高周波インピーダンス Z_{qm} と Z_{dm} の差を求めている。乗算器 32 は、減算器 31 からの出力に、制御ゲイン ($K_p + K_i/s$) を乗算した値を出力している。ここで、 K_p は比例ゲインであり、 K_i は積分ゲインである。積分器 33 は、乗算器 32 の出力値を積分して、推定磁極位置 $\hat{\theta}$ として出力している。つまり、磁極位置推定器 13 では Z_{dm} と Z_{qm} が一致するように減算器 31 と積算器 32 とからなる PI 調整器を調整し、その出力を積分器 33 により積分することによって磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ を得ている。

【0016】

次に、この従来の同期電動機の制御装置の動作について説明する。

【0017】

図 3 に示したこの従来の同期電動機の制御装置では、高周波発生器 4 で駆動周波数とは異なる高周波電圧を発生し、電流制御器 5 の出力である電圧指令値の励磁成分 (磁束成分) に加算する。その加算結果と電圧指令値のトルク成分とを 2 相 3 相変換器 3 において 3 相の電圧指令値に変換し、PWM 電圧形インバータ装置に指令し同期電動機 1 に供給する。そのときの同期電動機 1 に流れる電流を d - q 変換器 7 で推定磁極位置を用いて制御軸に座標変換し、ローパスフィルタ (LPF) 6 において重畳した高周波電圧と同じ種は成分を除去したものをフィードバックし、励磁成分 (i^*)、トルク成分 (i^*) の各々の電流指令値との偏差を電流制御器 5 でゼロとするように電流制御を実施する。一方、d - q 変換器 8 では、検出電流を推定磁極位置から 45 度ずれたところに位置するインピーダンス観測軸に変換し、バンドパスフィルタ (BPF) 9 において重畳した高周波成分を抽出し、抽出された高周波電流成分と高周波電圧指令値とを高周波インピーダンス推定器 10 に入力する。高周波インピーダンス推定器 10 において、 θ 軸から電気角 45 度進んだ点と遅れた点の 2 点で高周波インピーダンス Z_{dm} 、 Z_{qm} を推定し、図 2 に示すように磁極位置推定器 11 により、その 2 つのインピーダンスの大きさが等しくなるように磁極位置を推定する。

【0018】

この従来の同期電動機の制御装置では、重畳した高周波成分においてインピーダンスを観測すると回転子構造あるいは磁気飽和の影響により、図 5 に示すようにインピーダンスの大きさが主磁束方向 (d 軸) とそれに対し電気角 90 度の方向 (q 軸) とで異なるという現象 (電氣的突極性) を利用する。そして、図 6 のようにこのインピーダンス偏差がゼロとなるように推定磁束軸 ($\hat{\theta}$ 軸) を調整すれば、最終的に $\hat{\theta}$ 軸が実際の磁束軸である d 軸に一致し、磁極位置を推定することができる。

【0019】

しかしながら、この磁極位置推定方法は磁石による磁束と電機子反作用による磁束とで合

10

20

30

40

50

成された主磁束の位置を推定することができるが、磁極位置を推定するものではなかった。従って、高負荷時や負荷が急変した場合には磁極位置と推定磁極位置との誤差が増加し、制御不能になることがあった。

【0020】

実際には、図7に示すように、電動機の負荷が増加した場合は、主磁束は回転子の回転方向と反対側にずれ、電氣的突極性も主磁束のずれと同方向にずれることとなる。これは、負荷が増加すると電気子電流によって生じる磁束が増加し、磁石による磁束との合成された主磁束は、磁極位置により内部相差角分だけ遅れることによるものである。したがって、従来の磁極位置推定方法では、電動機に負荷が与えられている状態で磁極位置を推定する場合には、推定された磁極位置は合成された主磁束の位置であって、常に内部相差角分のオフセットが軸とd軸との間に存在することになる。このため、軸とd軸を一致させようとしてもすぐに内部相差角分ずれるため、急激に負荷が与えられた場合には制御不能になることも考えられる。

10

【0021】

【発明が解決しようとする課題】

上述した従来の同期電動機の制御装置では、大きな負荷が与えられたり急激に負荷が与えられると、磁極位置の検出ができなくなり制御不能となる可能性を有しているという問題点があった。

【0022】

本発明の目的は、高負荷時、負荷急変時でも確実に磁極位置を検出することにより、安定した制御を行うことのできる同期電動機の制御装置を提供することである。

20

【0023】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の同期電動機の制御装置は、同期電動機を制御するための電圧指令値又は電流指令値の励磁成分に、駆動周波数とは異なる周波数の高周波電圧を重畳することにより、高周波領域におけるインピーダンスに電氣的突極性を生じさせ、該突極性に基づいて磁極位置を推定して第1の磁極位置とし、電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、前記第1の磁極位置から、算出された前記内部相差角補償角を差し引いて第2の磁極位置とする。

30

【0024】

本発明では、先ず、同期電動機に駆動周波数とは異なる周波数の高周波電圧あるいは高周波電流を重畳し、主磁束による磁気飽和と高周波による表皮効果とにより、高周波領域におけるインピーダンスに電氣的突極性を生じさせ、その突極性に基づいて推定される磁極位置を第1の磁極位置とする。同期電動機に負荷が与えられていない上代では、この第1の磁極位置が推定された時点で制御軸(軸)とd軸とは一致した状態となっている。しかしながら、同期電動機に負荷が与えられた上では、d軸は制御軸に対し内部相差角分のオフセットを持つことになる。そのため、電流指令値のトルク成分に比例定数を乗算することにより内部相差角補償角を算出し、第1の磁極位置から、算出された内部相差角補償角を差し引くことにより真のd軸の位置である第2の磁極位置を推定することができる。

40

【0025】

そして、この第2の磁極位置を用いてベクトル制御を実施することにより高負荷が与えられたり、負荷が急変した場合でも、その負荷に応じて、電氣的突極性のずれる方向にインピーダンス観測軸を移動させ、常に制御が安定する範囲内に制御軸を置くように補正することになる。したがって、安定な制御が可能となり、従来問題であった高負荷時や負荷急変時の磁束位置検出が不能となる問題を解決することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0027】

50

図1は本発明の一実施形態の同期電動機の制御装置の構成を示すブロック図である。図1において、図3中の構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略するものとする。

【0028】

本実施形態の同期電動機の制御装置は、図3に示した従来の同期電動機の制御装置に対して、磁極位置推定器13により推定された磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ を第1の磁極位置推定値とし、この第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ から内部相差角を差し引いて第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ とする磁極位置推定器14を新たに設けたものである。

【0029】

本実施形態の同期電動機の制御装置では、磁極位置推定装置14を新たに設けたことにより、d-q変換器7、減算器41は、第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ の代わりに第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ を用いて、変換又は演算等の処理を行う。

10

【0030】

磁極位置推定器13は、高周波インピーダンス Z_{dm} 、 Z_{qm} の偏差がなくなるように第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ を推定している。

【0031】

磁極位置推定器14は、電流指令値 i^* に基づいて内部相差角補償角 r を算出し、磁極位置推定器13により算出された第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ から、算出された内部相差角補償角 r を差し引くことにより第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ を算出している。

【0032】

次に、図2を参照して、磁極位置推定器14の構成をさらに詳細に説明する。

20

【0033】

磁極位置推定器14は、図2に示されるように、乗算器34と、減算器37とから構成されている。

【0034】

乗算器34は、トルク成分電流指令値(i^*)に比例定数 K を乗算した値を内部相差角補償角 r^{\wedge} として出力する。減算器37は、磁極位置推定器13により推定された第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ から、乗算器34により求められた内部相差角補償角 r^{\wedge} を引いた値を第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ として出力する。

【0035】

本実施形態の同期電動機の制御装置によれば、先ず磁極位置推定器13により高周波インピーダンス Z_{dm} 、 Z_{qm} の偏差が無くなるようにすることにより第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ を求め、次に、磁極位置推定器14によりトルク成分電流指令値(i^*)から第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ に含まれる内部相差角補償角 r^{\wedge} を求め、第1の磁極位置推定値 $\hat{\theta}$ から内部相差角補償角 r^{\wedge} を引いた値を第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ とする。そして、第2の磁極位置推定値 $\hat{\theta}_c$ を用いて同期電動機の制御を行えば、高負荷が与えられたり、負荷が急変した場合でも、それに適したトルクを出力することができるのでゼロ周波数領域においても同期電動機を安定して制御することができる。

30

【0036】

本実施形態では、励磁成分電圧指令値 V^* に高周波電圧 V_{inj} を重畳し、同期電動機1の電流値を検出して高周波インピーダンスを測定することにより磁極位置の推定を行っているが、本発明はこのような場合に限定されるものではなく、励磁成分電流指令値 i^* に高周波電圧 V_{inj} を重畳し、同期電動機1の電圧値を検出して高周波インピーダンスを測定することにより磁極位置の推定を行うようにしても同様な効果を得ることができる。

40

【0037】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、ゼロ周波数領域においても同期電動機の磁極位置を精度良く推定し、高負荷が与えられたり、負荷が急変した場合でも、それに適したトルクを出力することができ、安定したセンサレスベクトル制御を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

50

【図 1】本発明の一実施形態の同期電動機の制御装置の構成を示す制御ブロック図である。

【図 2】図 1 中の磁極位置推定器 1 3 と磁極位置推定器 1 4 の構成を説明するためのブロック図である。

【図 3】従来の同期電動機の制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】図 3 中の磁極位置推定器 1 3 の構成を説明するためのブロック図である。

【図 5】無負荷時の高周波インピーダンス軌跡を示す図である。

【図 6】2 次磁束軸、制御軸、d 軸、インピーダンス観測軸 q_m 、 d_m の関係を説明するための図である。

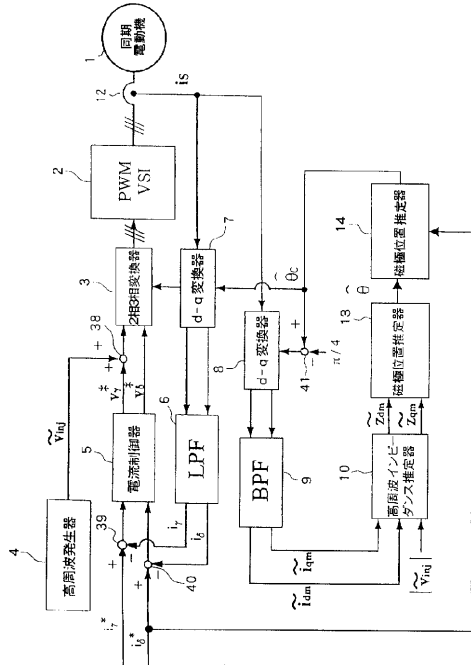
【図 7】同期電動機に負荷が与えられた場合の高周波インピーダンス軌跡を示す図である

10

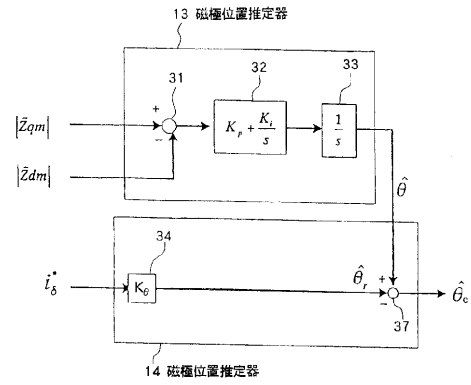
【符号の説明】

1	同期電動機	
2	PWM 電圧型インバータ装置	
3	2 相 3 相変換器	
4	高周波発生器	
5	電流制御器	
6	ローパスフィルタ (LPF)	
7	d - q 変換器 (制御軸への座標変換器)	
8	d - q 変換器 (インピーダンス観測軸への座標変換器)	20
9	バンドパスフィルタ (BPF)	
1 0	高周波インピーダンス推定器	
1 2	電流検出器	
1 3	磁極位置推定器	
1 4	磁極位置推定器	
3 1	減算器	
3 2	乗算器	
3 3	積分器	
3 4	除算器	
3 7	減算器	30
3 8	加算器	
3 9、4 0、4 1、4 2	減算器	

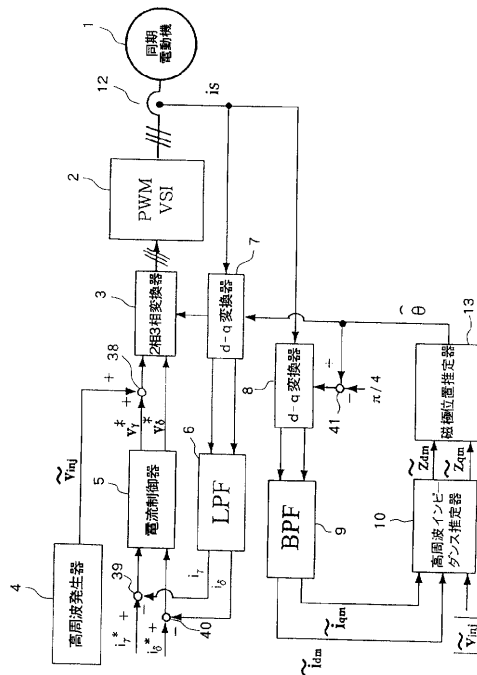
【図1】



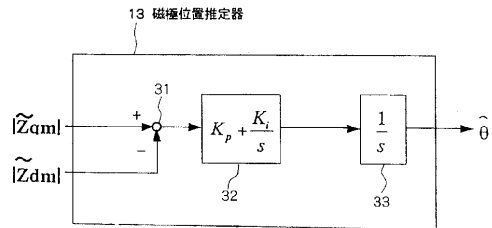
【図2】



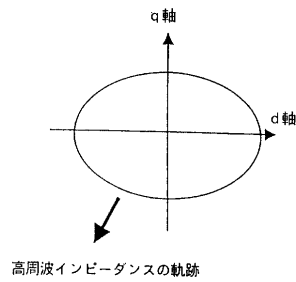
【図3】



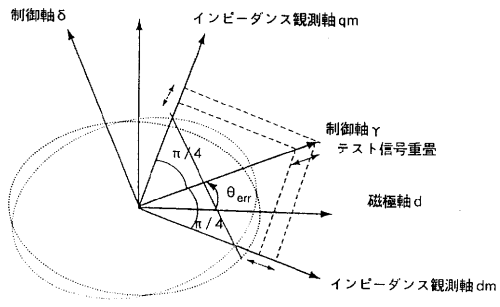
【図4】



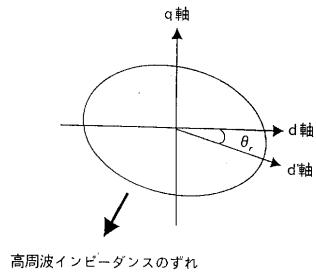
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

審査官 牧 初

(56)参考文献 特開2001-286198(JP,A)
特開2001-268974(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 21/00-27/18
H02P 6/00- 6/24