

(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2018-142210

(P2018-142210A)

(43) 公開日 平成30年9月13日(2018.9.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 5 B 11/36 (2006.01)	G 0 5 B 11/36	5 H 0 0 4
H 0 2 P 29/00 (2016.01)	H 0 2 P 29/00	5 H 5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2017-36559 (P2017-36559)	(71) 出願人	000004260
(22) 出願日	平成29年2月28日 (2017.2.28)		株式会社デンソー
		(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	榎並 達也
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		(72) 発明者	秋田 浩伸
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
			社デンソー内
		Fターム(参考)	5H004 GA07 HA08 HB08 JB15 KB01
			MA18
			5H501 BB05 DD01 GG03 JJ25 JJ26
			LL01

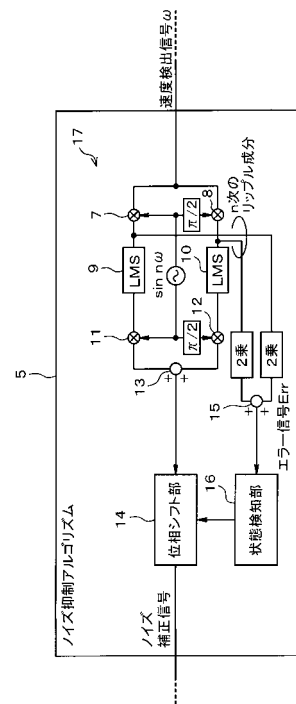
(54) 【発明の名称】 信号処理システム

(57) 【要約】

【課題】複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制する。

【解決手段】信号処理システムは、その制御対象であるモータの動作を制御するための制御信号に対し補償信号であるノイズ補正信号を重畳することにより制御対象で生じるノイズであるトルクリップルを低減する。このようなノイズ補正信号を生成するためのノイズ抑制アルゴリズム5は、信号生成部17、状態検知部16および位相シフト部14を備える。信号生成部17は、所定のアルゴリズムに則ってノイズ補正信号を生成する。状態検知部16は、アルゴリズムの状態を検知するもので、少なくとも発散状態を検知する。位相シフト部14は、状態検知部16により発散状態が検知されるとノイズ補正信号の位相を所定角度だけシフトする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御対象（２）の動作を制御するための制御信号に対し補償信号を重畳することにより前記制御対象で生じるノイズを低減する信号処理システム（１）であって、

所定のアルゴリズムに則って前記補償信号を生成する信号生成部（１７）と、

前記アルゴリズムの状態を検知するもので、少なくとも発散状態を検知する状態検知部（１６）と、

前記状態検知部により前記発散状態が検知されると前記補償信号の位相を所定角度だけシフトする位相シフト部（１４）と、

を備える信号処理システム。

10

【請求項 2】

前記状態検知部は、前記アルゴリズムが安定状態および前記発散状態のいずれでもない状態である準安定状態も検知し、

前記位相シフト部は、前記状態検知部により前記発散状態または前記準安定状態が検知されると前記補償信号の位相を所定角度だけシフトする請求項 1 に記載の信号処理システム。

【請求項 3】

前記位相シフト部は、前記状態検知部により前記発散状態または前記準安定状態が検知されると前記補償信号の位相を 90 度シフトする請求項 2 に記載の信号処理システム。

【請求項 4】

20

前記位相シフト部は、前記状態検知部により前記発散状態が検知されると前記補償信号の位相を 180 度シフトし、前記状態検知部により前記準安定状態が検知されると前記補償信号の位相を 90 度シフトする請求項 2 に記載の信号処理システム。

【請求項 5】

前記位相シフト部は、前記状態検知部により前記発散状態が検知されると前記補償信号の位相を 180 度シフトする請求項 1 または 2 に記載の信号処理システム。

【請求項 6】

前記状態検知部は、前記制御対象の状態に応じて変化する物理量を検出する検出部（３）から出力される検出信号を用いて計算されるエラー信号を用いた判定を行い、その判定結果に基づいて前記アルゴリズムの状態を検知する請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

30

【請求項 7】

前記状態検知部は、前記エラー信号のレベルと複数の閾値とを比較し、それらの比較結果に基づいて前記アルゴリズムの状態を検知する請求項 6 に記載の信号処理システム。

【請求項 8】

前記複数の閾値は、第 1 閾値と、第 1 閾値よりも大きい第 2 閾値と、前記第 2 閾値よりも大きい第 3 閾値とを含み、

前記状態検知部は、前記エラー信号のレベルが前記第 1 閾値を下回る場合には前記アルゴリズムが収束状態であり、前記エラー信号のレベルが前記第 2 閾値を上回る場合には前記アルゴリズムが前記準安定状態であり、前記エラー信号のレベルが前記第 3 閾値を上回る場合には前記アルゴリズムが前記発散状態であると判定する請求項 7 に記載の信号処理システム。

40

【請求項 9】

前記状態検知部は、前記発散状態を検知した後、前記第 3 閾値を一定量だけ高くする請求項 8 に記載の信号処理システム。

【請求項 10】

前記閾値にヒステリシスが設けられている請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

【請求項 11】

前記エラー信号は、前記検出信号から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成

50

分を二乗和することで得られる請求項 6 から 10 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

【請求項 12】

前記エラー信号は、前記検出信号から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するローパスフィルタ (22、23) の出力を二乗和することで得られる請求項 6 から 10 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

【請求項 13】

前記エラー信号は、前記検出信号から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するローパスフィルタ (22、23) の出力の絶対値和することで得られる請求項 6 から 10 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

10

【請求項 14】

前記制御対象は、モータ (2) であり、

前記ノイズは、前記モータで生じるトルクリップルである請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の信号処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御対象で生じるノイズを低減する信号処理システムに関する。

【背景技術】

【0002】

20

制御対象の動作を制御するための制御信号に対し補償信号を重畳することにより制御対象で生じるノイズを低減する、といった信号処理システムが存在する。そのような信号処理システムの一例としては、例えばモータの制御信号に対し補償信号に相当するノイズ補正信号を重畳することによりトルクリップルと逆相のトルクを発生させ、トルクリップルを低減させるモータ制御システムを挙げることができる。

【0003】

上記システムでは、モータ入力から速度センサまでの経路である二次経路の伝達関数を考慮してノイズ補正信号を生成するノイズ抑制アルゴリズムを設計する必要があるため、二次経路モデルが必要となる。二次経路モデルの誤差は、アルゴリズムの収束特性に影響を与える。具体的には、二次経路モデルの位相回転と実際の二次経路の位相回転の間に $\pm 90^\circ$ 以上の位相誤差があるときにアルゴリズムが発散することが知られている。

30

【0004】

二次経路モデルを作成する手法としては、対象システムの計測により作成する手法が一般的である。ただし、この手法は、動作状態や経年劣化により特性が大きく変化するシステムを対象とする場合には適用することができない。例えば自動車に用いられるモータなどでは、回転数や総走行距離に応じて特性が大きく変動するため、上記手法を適用することができない。

【0005】

そのため、二次経路の伝達関数を適応的に推定する手法が提案されている (例えば、特許文献 1 参照)。二次経路の推定方法としては、適応信号処理とトレーニング信号を用いて二次経路を推定する、という手法が一般的である。しかし、このような手法は、自動車の主機モータなど、トレーニングが困難なアプリケーションには適用することができない。

40

【0006】

そこで、二次経路の伝達特性も含めて適応信号処理にて同定することにより、 $\pm 90^\circ$ 以上の位相誤差であっても収束可能とする技術が提案されている (例えば、非特許文献 1 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

50

【特許文献1】特開2016-057603号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】Scott Pigg and Marc Bodson, "Adaptive Algorithms for the Rejection of Sinusoidal Disturbances Acting on Unknown Plants", Control Systems Technology, IEEE Transactions on, vol.18, no.4, pp.822-836, 2010.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかし、上記した技術では、演算処理が複雑となるため、抑制ノイズの次数が増えるほど、その実装コストが増大する、という問題がある。

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができる信号処理システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

請求項1に記載の信号処理システム(1)は、制御対象(2)の動作を制御するための制御信号に対し補償信号を重畳することにより制御対象で生じるノイズを低減するシステムであり、信号生成部(17)、状態検知部(16)および位相シフト部(14)を備える。信号生成部は、所定のアルゴリズムに則って補償信号を生成する。状態検知部は、アルゴリズムの状態を検知するもので、少なくとも発散状態を検知する。位相シフト部は、状態検知部により発散状態が検知されると補償信号の位相を所定角度だけシフトする。

【0011】

このような構成によれば、±90度以上の位相誤差があるためにアルゴリズムが発散すると、状態検知部により、その発散状態が検知される。そうすると、位相シフト部は、補償信号の位相を所定角度だけシフトする。このような位相シフトの結果、アルゴリズムが収束する安定状態に遷移すれば、その後は、ノイズの低減効果を安定して得ることができる。また、位相シフトの結果、未だアルゴリズムが安定せずに発散状態のままである場合、状態検知部による発散検知および位相シフト部による位相のシフトが再度実行される。

【0012】

つまり、上記構成によれば、アルゴリズムが安定するまで位相シフトが繰り返し実施され、やがてはアルゴリズムが安定状態へと遷移し、その結果、ノイズの低減効果を安定して得ることができる。さらに、上記構成では、複雑な演算を必要とすることなく、簡素な回路での実装が可能であるため、抑制ノイズの次数が増えたとしても、その実装コストが大幅に増加することはない。このように、上記構成によれば、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1実施形態に係るモータ制御システムの構成を模式的に示す図

【図2】第1実施形態に係るノイズ抑制アルゴリズムの構成を模式的に示す図

【図3】第1実施形態に係るエラー信号と各閾値との関係を説明するための図

【図4】第1実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移図

【図5】第1実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移表

【図6】第1実施形態に係る状態遷移の具体例を説明するための図

【図7】第2実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移図

【図8】第2実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移表

【図9】第2実施形態に係る状態遷移の具体例を説明するための図

【図10】第3実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移図

【図11】第3実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移表

【図12】第3実施形態に係る状態遷移の具体例を説明するための図

10

20

30

40

50

【図 1 3】第 4 実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移図
【図 1 4】第 4 実施形態に係る状態検知および位相シフト動作を表す状態遷移表
【図 1 5】第 4 実施形態に係る状態遷移の具体例を説明するための図
【図 1 6】第 5 実施形態に係るノイズ抑制アルゴリズムの構成を模式的に示す図
【図 1 7】第 6 実施形態に係るノイズ抑制アルゴリズムの構成を模式的に示す図
【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の複数の実施形態について図面を参照して説明する。なお、各実施形態において実質的に同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

(第 1 実施形態)

以下、本発明の第 1 実施形態について図 1 ～図 6 を参照して説明する。

【0015】

図 1 に示すモータ制御システム 1 は、モータ 2 を制御するものであり、制御対象であるモータ 2 で生じるノイズ、具体的にはトルクリップルを低減する信号処理システムとなっている。モータ制御システム 1 は、速度センサ 3、速度制御器 4、ノイズ抑制アルゴリズム 5 などを備えている。

【0016】

この場合、実際のモータ 2 の出力は、理想のモータ $G(s)$ の出力に対しトルクリップルが重畳されたものとなる。速度センサ 3 は、このようなモータ 2 の出力から、その回転速度を検出する。速度センサ 3 から出力されるモータ 2 の回転速度を表す速度検出信号 ω は、速度制御器 4 およびノイズ抑制アルゴリズム 5 に与えられている。なお、速度センサ 3 は、制御対象であるモータ 2 の状態に応じて変化する物理量である回転速度を検出する検出部に相当する。また、速度検出信号 ω は、検出信号に相当する。

【0017】

速度制御器 4 は、速度センサ 3 から与えられる速度検出信号 ω と上位の制御装置などから与えられるモータ 2 の回転速度を指令する速度指令値を表す速度指令信号 ω^* との偏差がゼロに近付くように、モータ 2 の速度制御、つまりトルク制御を行う。詳細は後述するが、ノイズ抑制アルゴリズム 5 は、モータ 2 で生じるトルクリップルを低減するためのノイズ補正信号を生成する。速度制御器 4 から出力される制御信号は、加算器 6 によりノイズ抑制アルゴリズム 5 から出力されるノイズ補正信号が重畳されたうえでモータ 2 に入力される。

【0018】

このように、モータ制御システム 1 では、制御対象であるモータ 2 の動作を制御するための制御信号に対して補償信号に相当するノイズ補正信号が重畳されることでトルクリップルと逆相のトルクを発生させ、トルクリップルを低減させるようになっている。

【0019】

上述したノイズ抑制アルゴリズム 5 の具体的な構成としては、例えば図 2 に示すような構成を採用することができる。この場合、ノイズ抑制アルゴリズム 5 は、速度センサ 3 から与えられるモータ 2 の回転速度を表す情報である速度検出信号 ω から、各次数のリップル成分を取得する。ノイズ抑制アルゴリズム 5 は、そのリップル成分から計算されるエラー信号 E_{rr} を用いることで発散検知を行うようになっている。

【0020】

図 2 に示すように、乗算器 7 は、速度検出信号 ω に対してノイズ抑制の対象となる対象次数（以下、 n 次とも称す）の $\sin$ 波を乗算し、乗算器 8 は、速度検出信号 ω に対して n 次の $\cos$ 波を乗算する。これら乗算器 7、8 の出力は、それぞれ n 次の $\sin$ 成分、 n 次の $\cos$ 成分であり、 n 次のリップル成分に相当する。

【0021】

LMS 9、10 は、フィードバック制御と同様のアルゴリズムであり、前段で求められた n 次の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分がゼロになるように、出力する補正信号の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を計算する。すなわち、LMS 9、10 は、 $\sin$ 成分および $\cos$

10

20

30

40

50

成分と目標値である 0 との差分を求め、その差分を定数 (μ) 倍して前回の値に積算する積分制御と同様の演算を繰り返すことにより、 $\sin$ 成分および $\cos$ 成分が 0 になるような補正信号を出力する。

【0022】

例えば、出力信号の $\cos$ 成分を Q_{out} とし、速度検出信号 ω の n 次の $\cos$ 成分を Q_{in} とすると、下記 (1) 式に基づいて出力信号の $\cos$ 成分 Q_{out} が更新される。

$$Q_{out}(n+1) = Q_{out}(n) + \mu(0 - Q_{in}) \quad \cdots (1)$$

同様に、出力信号の $\sin$ 成分は、下記 (2) 式に基づいて求められる。

$$I_{out}(n+1) = I_{out}(n) + \mu(0 - I_{in}) \quad \cdots (2)$$

したがって、補正信号は、下記 (3) 式により表される。

$$Q_{out} \cdot \sin(n\omega t) + I_{out} \cdot \cos(n\omega t) \quad \cdots (3)$$

【0023】

乗算器 11 は、LMS9 により求められた n 次の回転リップルを 0 にする補正信号の $\sin$ 成分に $\sin$ 波を乗算し、乗算器 12 は、上記補正信号の $\cos$ 成分に $\cos$ 波を乗算する。加算器 13 は、乗算器 11、12 の各出力を加算して得られる補正信号を位相シフト部 14 に出力する。

【0024】

乗算器 7、8 の各出力、つまり n 次の $\sin$ 成分、 n 次の $\cos$ 成分は、それぞれ 2 乗された後、加算器 15 に入力される。加算器 15 は、乗算器 7、8 の各出力を 2 乗したものを加算して得られるエラー信号 E_{rr} を出力する。このように、エラー信号 E_{rr} は、速度検出信号 ω を用いて計算されるものであり、具体的には、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を二乗和することで得られる信号である。

【0025】

状態検知部 16 は、詳細は後述するが、エラー信号 E_{rr} と複数の閾値とを比較し、それらの比較結果に基づいてアルゴリズムの状態を検知する。この場合、状態検知部 16 は、発散状態、準安定状態および安定状態（以下、収束状態とも呼ぶ）のいずれの状態であるかを検知する。なお、これら各状態（発散状態、準安定状態および安定状態）は、二次経路モデルの位相回転の値と実際の二次経路の位相回転の値との差である位相誤差に依存して決まるものである。また、本明細書において、準安定状態は、安定してノイズ（トルクリップル）を抑制することはできないものの発散はしていない状態、つまり安定状態および発散状態のいずれでもない状態のこととする。

【0026】

状態検知部 16 は、検知したアルゴリズムの状態を表す信号を出力する。位相シフト部 14 は、状態検知部 16 の出力信号に基づいてアルゴリズムの状態を検出し、その検出した状態に応じて、加算器 13 から与えられる補正信号の位相をシフトする。なお、位相シフト部 14 は、検出した状態によっては、補正信号の位相をシフトしないこともある。位相シフト部 14 は、補正信号の位相をシフトした信号を、ノイズ補正信号として出力する。

【0027】

なお、本実施形態では、乗算器 7、8、11、12、LMS9、10 および加算器 13 などにより、所定のアルゴリズムに則ってモータ 2 で生じるトルクリップルを低減するためのノイズ補正信号を生成する信号生成部 17 が構成されている。

【0028】

次に、上記構成の作用について説明する。

[1] 状態検知部 16 によるアルゴリズムの状態検知

図 3 に示すように、状態検知部 16 は、エラー信号 E_{rr} について 3 つの閾値 Th_h 、 Th_m 、 Th_l を用いた判定を行うようになっている。各閾値 Th_h 、 Th_m 、 Th_l の関係は、下記 (4) 式に示すようになっている。

$$Th_l < Th_m < Th_h \quad \cdots (4)$$

この場合、閾値 Th_l は、第 1 閾値に相当し、閾値 Th_m は第 1 閾値よりも大きい

10

20

30

40

50

第2閾値に相当し、閾値 Th_h は第2閾値よりも大きい第3閾値に相当する。

【0029】

状態検知部16は、エラー信号 Err のレベルが閾値 Th_l を下回る場合、アルゴリズムが収束状態 $S1$ であると判定する。状態検知部16は、エラー信号 Err のレベルが閾値 Th_m を上回る場合、アルゴリズムが準安定状態 $S2$ であると判定する。状態検知部16は、エラー信号 Err のレベルが閾値 Th_h を上回る場合、アルゴリズムが発散状態 $S3$ であると判定する。なお、図3における $S0$ は、初期状態を表している。

【0030】

本実施形態では、エラー信号 Err に重畳する高調波やノイズなどの影響を抑えるため、各閾値にはヒステリシスが設けられている。なお、上記閾値による判定について、一定時間内に所定回数だけ閾値を上回ること、または下回ること、判定条件を満たしたことにすれば、さらにノイズなどの影響を抑制することが可能となる。

【0031】

また、閾値 Th_m 、 Th_h は、アルゴリズム収束時におけるエラー信号 Err のレベルよりも十分に高い値となるように設定されている。閾値をこのように設定する理由は、次の通りである。すなわち、アルゴリズム収束時であっても、最初はノイズの影響などによりエラー信号 Err のレベルが変動することがある。このような変動が原因でエラー信号 Err が閾値 Th_m 、 Th_h を上回ると、本来は位相をシフトする必要がないにもかかわらず、ノイズ補正信号の位相をシフトしてしまうおそれがある。上述したように、閾値 Th_m 、 Th_h を設定しておけば、このような問題の発生を防止することができる。

【0032】

また、本実施形態では、エラー信号 Err が閾値 Th_h を上回った場合、閾値 Th_h を一定量 dTh だけ高めるようにしている。このようにする理由は、次の通りである。すなわち、アルゴリズムが一旦発散すると、エラー信号 Err のレベルは高くなる一方である。そのため、エラー信号 Err が閾値 Th_h を上回って発散が検知され、位相シフトが行われたものの、発散状態が解消しなかった場合、閾値 Th_h が一定値であると、その後、再び閾値 Th_h を上回るという判定がされず、アルゴリズムの状態が誤判定されるおそれがある。上述したように、閾値 Th_h を一定量 dTh だけ高めることにより、このような問題の発生を防止することができる。

【0033】

なお、上記問題の発生を防止するため、閾値 Th_h を一定量 dTh だけ高める方法（以下、第1の方法と呼ぶ）に代えて、次のような方法（以下、第2の方法と呼ぶ）を行ってもよい。すなわち、エラー信号 Err が閾値 Th_h を上回った場合、所定時間が経過した後に、再度エラー信号 Err と閾値 Th_h との比較を行ってもよい。このような第2の方法によっても、発散状態が解消しないという問題の発生を防止することができる。ただし、第2の方法に比べ、第1の方法は、発散をより早く検知することができるというメリットがある。そこで、第1の方法および第2の方法を組み合わせ実施してもよい。

【0034】

〔2〕位相シフト部14による補正信号の位相シフト

位相シフト部14は、状態検知部16の出力信号に基づいてアルゴリズムの状態を検出し、その検出した状態に応じて、補正信号の位相をシフトする。具体的には、位相シフト部14は、発散状態または準安定状態であることが検出されると、補正信号の位相を所定角度 θ 度シフトする。所定角度 θ は、プラスまたはマイナスの任意の角度であればよい。

【0035】

〔3〕状態検知部16および位相シフト部14による全体動作

状態検知部16による状態検知の動作および位相シフト部14による位相シフトの動作をまとめると、図4に示す状態遷移図および図5に示す状態遷移表として表すことができる。なお、以下では、エラー信号 Err が閾値 Th_h を上回ると判定された場合のことを「 $Err > Th_h$ 」と省略し、エラー信号 Err が閾値 Th_m を上回ると判定され

10

20

30

40

50

た場合のことを「 $E r r > T h_m$ 」と省略し、エラー信号 $E r r$ が閾値 $T h_l$ を下回ると判定された場合のことを「 $E r r < T h_l$ 」と省略する。

【0036】

（初期状態 $S 0$ における動作）

初期状態 $S 0$ において、 $E r r > T h_h$ と判定されると、発散状態 $S 3$ に遷移するとともに、補正信号の位相が θ 度シフトされる。また、この際、閾値 $T h_h$ が一定量 $d T h$ だけ高められる。初期状態 $S 0$ において、 $E r r > T h_m$ と判定されると、状態は遷移しない。初期状態 $S 0$ において、 $E r r < T h_l$ と判定されると、収束状態 $S 1$ に遷移するとともに、閾値 $T h_h$ が初期化される。

【0037】

（収束状態 $S 1$ における動作）

収束状態 $S 1$ において、 $E r r > T h_h$ と判定された場合における動作および $E r r < T h_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 $S 0$ における各動作と同様の動作となる。収束状態 $S 1$ において、 $E r r > T h_m$ と判定されると、準安定状態 $S 2$ に遷移するとともに、補正信号の位相が θ 度シフトされる。

【0038】

（準安定状態 $S 2$ における動作）

準安定状態 $S 2$ において、 $E r r > T h_h$ と判定された場合における動作および $E r r < T h_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 $S 0$ における各動作と同様の動作となる。準安定状態 $S 2$ において、 $E r r > T h_m$ と判定されると、状態は遷移しない。また、このとき、補正信号の位相シフトも行われぬ。この理由は、次の通りである。

【0039】

すなわち、準安定状態 $S 2$ では、エラー信号 $E r r$ は、増加または減少のいずれかの方向に変化することになる。そのため、位相シフトを行わなくとも、発散状態 $S 3$ または収束状態 $S 1$ に遷移する。このときに位相シフトを行うと、このような状態遷移を妨げてしまい、その結果、準安定状態 $S 2$ をループしてしまうといった事態が生じかねない。上述したように、位相シフトを行わないようにすれば、このような問題の発生を防止することができる。

【0040】

（発散状態 $S 3$ における動作）

発散状態 $S 3$ において、 $E r r > T h_h$ と判定された場合における動作および $E r r < T h_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 $S 0$ における各動作と同様の動作となる。発散状態 $S 3$ において、 $E r r > T h_m$ と判定された場合における動作は、収束状態 $S 1$ における動作と同様の動作となる。

【0041】

〔4〕 $\theta = -45$ 度とした場合の状態遷移の例

図 6 に示すように、 90 度が位相誤差無しである場合、 0 度～ 45 度の範囲 $< 1 >$ および 135 度～ 180 度の範囲 $< 4 >$ が準安定状態となり、 45 度～ 135 度の範囲 $< 2 >$ および $< 3 >$ が安定状態（収束状態）となり、 180 度～ 360 度の範囲 $< 5 > \sim < 8 >$ が発散状態（不安定状態）となる。

【0042】

ここで、初期の位相が範囲 $< 6 >$ の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、本実施形態によれば、3 回の位相シフトによりアルゴリズムが収束状態へと遷移する。すなわち、1 回目の位相シフトにより範囲 $< 6 >$ から範囲 $< 5 >$ へと移行し、2 回目の位相シフトにより範囲 $< 5 >$ から範囲 $< 4 >$ へと移行し、3 回目の位相シフトにより収束状態である範囲 $< 3 >$ へと移行する。

【0043】

以上説明した本実施形態によれば、次のような効果が得られる。

本実施形態のモータ制御システム 1 は、アルゴリズムの状態を検知する状態検知部 16

10

20

30

40

50

と、状態検知部 16 により発散状態または準安定状態が検知されるとノイズ補正信号の位相を所定角度だけシフトする位相シフト部 14 を備えている。このような構成によれば、アルゴリズムが発散状態または準安定状態になると、ノイズ補正信号の位相が所定角度 θ だけシフトされる。このような位相シフトの結果、アルゴリズムが収束する安定状態に遷移すれば、その後は、ノイズの低減効果を安定して得ることができる。

【0044】

なお、準安定状態では、アルゴリズムは発散しないものの、安定したノイズキャンセルの効果が得られないことがある。そこで、本実施形態では、位相シフト部 14 は、準安定状態であることが検出された場合にも、ノイズ補正信号の位相をシフトしてアルゴリズムを安定状態に遷移させるようにしている。

10

【0045】

また、上記構成によれば、1 回の位相シフトの結果、未だアルゴリズムが安定せずに発散状態または準安定状態のままである場合でも、アルゴリズムが安定するまで位相シフトが繰り返し実施されるため、やがてはアルゴリズムが安定状態へと遷移し、その結果、ノイズの低減効果を安定して得ることができる。

【0046】

さらに、上記構成では、複雑な演算を必要とすることなく、簡素な回路での実装が可能であるため、抑制ノイズの次数が増えたとしても、その実装コストが大幅に増加することはない。このように、上記構成によれば、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。

20

【0047】

また、上述した状態検知および位相シフトの動作を、トルクリップル（ノイズ）抑制の対象とする各次数のリップル成分（高調波ノイズ）に対して実施することにより、例えばモデルの分からない二次経路についても発散することなく、ノイズ抑制を行うことが可能となる。

【0048】

状態検知部 16 は、速度センサ 3 から出力される速度検出信号 ω を用いて計算されるエラー信号 E_{rr} と閾値とを比較し、その比較結果に基づいてアルゴリズムの状態を検知するため、比較的簡単な回路構成により検知精度を良好に維持することができる。また、エラー信号 E_{rr} は、具体的には、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を二乗和して得られた信号となっている。このようにすれば、エラー信号 E_{rr} のレベルが高くなり、検知の感度が良好となり、検知精度が向上する効果が得られる。

30

【0049】

ただし、エラー信号 E_{rr} のレベルが高くなるということは、そのエラー信号 E_{rr} に重畳する高調波やノイズも同様に大きくなり、それらが検知精度に悪影響を及ぼす可能性が高くなることを意味する。そこで、本実施形態では、閾値にヒステリシスを持たせることにより、このような高調波、ノイズなどの影響を抑制するようにしている。

【0050】

（第 2 実施形態）

40

以下、第 2 実施形態について図 7～図 9 を参照して説明する。

本実施形態は、第 1 実施形態に対し、位相シフト部 14 による位相シフトの具体的な方法が異なっている。なお、本実施形態の構成については、第 1 実施形態の構成と共通するので、以下では図 1 および図 2 も参照しながら説明する。

【0051】

本実施形態の位相シフト部 14 は、状態検知部 16 の出力信号に基づいて発散状態であることが検出されると、補正信号の位相を 180 度シフトする。本実施形態の状態検知部 16 による状態検知の動作および位相シフト部 14 による位相シフトの動作をまとめると、図 7 に示す状態遷移図および図 8 に示す状態遷移表として表すことができる。

【0052】

50

(初期状態 S 0 における動作)

初期状態 S 0 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定されると、発散状態 S 3 に遷移するとともに、補正信号の位相が 180 度シフトされる。また、この際、閾値 Th_h が一定量 dTh だけ高められる。初期状態 S 0 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、状態は遷移しない。初期状態 S 0 において、 $E_{rr} < Th_l$ と判定されると、収束状態 S 1 に遷移するとともに、閾値 Th_h が初期化される。

【0053】

(収束状態 S 1 における動作)

収束状態 S 1 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 S 0 における各動作と同様の動作となる。収束状態 S 1 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、準安定状態 S 2 に遷移する。なお、このとき、補正信号の位相シフトは行われない。

【0054】

(準安定状態 S 2 および発散状態 S 3 における動作)

準安定状態 S 2 および発散状態 S 3 における各動作は、いずれも収束状態 S 1 における各動作と同様の動作となる。

【0055】

続いて、本実施形態による状態遷移の具体例について図 9 を参照して説明する。この場合も、第 1 実施形態の図 6 と同様、90 度が位相誤差無しとなっている。図 9 (a) に示すように、初期の位相が範囲<6>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、1 回の位相シフトにより収束状態である範囲<2>へと移行する。

【0056】

図 9 (b) に示すように、初期の位相が範囲<5>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、1 回の位相シフトにより準安定状態である範囲<1>へと移行する。図 9 (c) に示すように、初期の位相が範囲<8>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、1 回の位相シフトにより準安定状態である範囲<4>へと移行する。このように、本実施形態によれば、1 回の位相シフトによりアルゴリズムが収束状態または準安定状態へと遷移する。

【0057】

本実施形態によっても、第 1 実施形態と同様、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。さらに、本実施形態によれば、次のような効果が得られる。すなわち、準安定状態は、必ずしも問題となるわけではなく、準安定状態をも許容する信号処理システムは数多く存在する。このようなシステムに本実施形態の位相シフトの手法を適用すれば、1 回の位相シフトにより、必ず許容される状態、つまり収束状態または準安定状態へと移行させることができる。したがって、本実施形態によれば、準安定状態をも許容するシステムにおいて、システムをより素早く安定化させることができるという優れた効果が得られる。

【0058】

(第 3 実施形態)

以下、第 3 実施形態について図 10 ～図 12 を参照して説明する。

本実施形態は、第 1 実施形態に対し、位相シフト部 14 による位相シフトの具体的な方法が異なっている。なお、本実施形態の構成については、第 1 実施形態の構成と共通するので、以下では図 1 および図 2 も参照しながら説明する。

【0059】

本実施形態の位相シフト部 14 は、状態検知部 16 の出力信号に基づいて発散状態または準安定状態であることが検出されると、補正信号の位相を +90 度または -90 度シフトする。本実施形態の状態検知部 16 による状態検知の動作および位相シフト部 14 による位相シフトの動作をまとめると、図 10 に示す状態遷移図および図 11 に示す状態遷移表として表すことができる。

【0060】

(初期状態 S 0 における動作)

初期状態 S 0 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定されると、発散状態 S 3 に遷移するとともに、補正信号の位相が 90 度シフトされる。また、この際、閾値 Th_h が一定量 dTh だけ高められる。初期状態 S 0 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、状態は遷移しない。初期状態 S 0 において、 $E_{rr} < Th_l$ と判定されると、収束状態 S 1 に遷移するとともに、閾値 Th_h が初期化される。

【0061】

(収束状態 S 1 における動作)

収束状態 S 1 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 S 0 における各動作と同様の動作となる。収束状態 S 1 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、準安定状態 S 2 に遷移するとともに、補正信号の位相が 90 度シフトされる。

【0062】

(準安定状態 S 2 における動作)

準安定状態 S 2 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 S 0 における各動作と同様の動作となる。準安定状態 S 2 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、状態は遷移しない。また、このとき、補正信号の位相シフトも行われない。

【0063】

(発散状態 S 3 における動作)

発散状態 S 3 において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態 S 0 における各動作と同様の動作となる。発散状態 S 3 において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定された場合における動作は、収束状態 S 1 における動作と同様の動作となる。

【0064】

続いて、本実施形態による状態遷移の具体例について図 12 を参照して説明する。この場合も、第 1 実施形態の図 6 と同様、90 度が位相誤差無しとなっている。また、この場合、90 度の位相シフトは、プラス方向となっている。図 12 (a) に示すように、初期の位相が範囲<7>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、1 回目の位相シフトにより準安定状態である範囲<1>へと移行し、2 回目の位相シフトにより収束状態である範囲<3>へと移行する。

【0065】

図 12 (b) に示すように、初期の位相が範囲<5>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、1 回目の位相シフトにより範囲<7>へと移行し、2 回目の位相シフトにより準安定状態である範囲<1>へと移行し、3 回目の位相シフトにより収束状態である範囲<3>へと移行する。図 12 (c) に示すように、初期の位相が範囲<1>の値であり、アルゴリズムが準安定状態となっている場合、1 回の位相シフトにより収束状態である範囲<3>へと移行する。このように、本実施形態によれば、最大でも 3 回の位相シフトによりアルゴリズムが収束状態へと遷移する。

【0066】

本実施形態によっても、第 1 実施形態と同様、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。また、本実施形態によれば、最大でも 3 回の位相シフトにより確実に収束状態へと移行させることができるため、システムを素早く安定化させることができるという優れた効果が得られる。

【0067】

(第 4 実施形態)

以下、第 4 実施形態について図 13 ～図 15 を参照して説明する。

本実施形態は、第 1 実施形態に対し、位相シフト部 14 による位相シフトの具体的な方法が異なっている。なお、本実施形態の構成については、第 1 実施形態の構成と共通するので、以下では図 1 および図 2 も参照しながら説明する。

【0068】

本実施形態の位相シフト部14は、状態検知部16の出力信号に基づいて発散状態であることが検出されると、補正信号の位相を180度シフトする。また、本実施形態の位相シフト部14は、状態検知部16の出力信号に基づいて準安定状態であることが検出されると、補正信号の位相を+90度または-90度シフトする。本実施形態の状態検知部16による状態検知の動作および位相シフト部14による位相シフトの動作をまとめると、図13に示す状態遷移図および図14に示す状態遷移表として表すことができる。

【0069】

(初期状態S0における動作)

初期状態S0において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定されると、発散状態S3に遷移するとともに、補正信号の位相が180度シフトされる。また、この際、閾値 Th_h が一定量 dTh だけ高められる。初期状態S0において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、状態は遷移しない。初期状態S0において、 $E_{rr} < Th_l$ と判定されると、収束状態S1に遷移するとともに、閾値 Th_h が初期化される。

【0070】

(収束状態S1における動作)

収束状態S1において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態S0における各動作と同様の動作となる。収束状態S1において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、準安定状態S2に遷移するとともに、補正信号の位相が90度シフトされる。

【0071】

(準安定状態S2における動作)

準安定状態S2において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態S0における各動作と同様の動作となる。準安定状態S2において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定されると、状態は遷移しない。また、このとき、補正信号の位相シフトも行われない。

【0072】

(発散状態S3における動作)

発散状態S3において、 $E_{rr} > Th_h$ と判定された場合における動作および $E_{rr} < Th_l$ と判定された場合における動作は、初期状態S0における各動作と同様の動作となる。発散状態S3において、 $E_{rr} > Th_m$ と判定された場合における動作は、収束状態S1における動作と同様の動作となる。

【0073】

続いて、本実施形態による状態遷移の具体例について図15を参照して説明する。この場合も、第1実施形態の図6と同様、90度が位相誤差無しとなっている。また、この場合、90度の位相シフトは、プラス方向となっている。図15(a)に示すように、初期の位相が範囲<6>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、180度の位相シフトが行われて収束状態である範囲<2>へと移行する。

【0074】

図15(b)に示すように、初期の位相が範囲<5>の値であり、アルゴリズムが発散状態となっている場合、180度の位相シフトが行われて準安定状態である範囲<1>へと移行し、続いて90度の位相シフトが行われて収束状態である範囲<3>へと移行する。

【0075】

図15(c)に示すように、初期の位相が範囲<8>の値であり、アルゴリズムが準安定状態となっている場合、180度の位相シフトが行われて準安定状態である範囲<4>へと移行し、続いて90度の位相シフトが行われて発散状態である範囲<6>へと移行し、続いて180度の位相シフトが行われて収束状態である範囲<2>へと移行する。このように、本実施形態によれば、最大でも3回の位相シフトによりアルゴリズムが収束状態へと遷移する。

10

20

30

40

50

【0076】

本実施形態によっても、第1実施形態と同様、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。また、本実施形態によれば、最大でも3回の位相シフトにより確実に収束状態へと移行させることができるため、システムを素早く安定化させることができるという優れた効果が得られる。

【0077】

(第5実施形態)

以下、第5実施形態について図16を参照して説明する。

図16に示すように、本実施形態のノイズ抑制アルゴリズム21は、第1実施形態のノイズ抑制アルゴリズム5に対し、ローパスフィルタ22、23（以下、LPF22、23と省略する）が追加されている点が異なる。

10

【0078】

この場合、乗算器7、8の各出力、つまり n 次の $\sin$ 成分、 n 次の $\cos$ 成分は、それぞれLPF22、23に入力されている。LPF22、23は、速度検出信号 ω に重畳する n 次より大きな高調波ノイズなどを除去できるように設計されている。LPF22、23の各出力は、それぞれ2乗された後、加算器15に入力される。このように、本実施形態では、エラー信号 E_{rr} は、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するLPF22、23の各出力を二乗和することで得られる信号となっている。

【0079】

20

このような本実施形態の構成によっても、第1実施形態と同様、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。また、エラー信号 E_{rr} は、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するLPF22、23の各出力を二乗和して得られた信号となっている。このようにすれば、第1実施形態と同様、エラー信号 E_{rr} のレベルが高くなり、検知の感度が良好となり、検知精度が向上する効果が得られる。さらに、本実施形態によれば、LPF22、23を設けているため、ノイズの影響を受け難くなるという効果も得られる。

【0080】

(第6実施形態)

以下、第6実施形態について図17を参照して説明する。

30

図17に示すように、本実施形態のノイズ抑制アルゴリズム31は、第5実施形態のノイズ抑制アルゴリズム21に対し、エラー信号 E_{rr} の生成手法が異なる。この場合、LPF22、23の各出力の絶対値が求められ、それら各絶対値が加算器15に入力される。このように、本実施形態では、エラー信号 E_{rr} は、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するLPF22、23の各出力を絶対値和することで得られる信号となっている。

【0081】

このような本実施形態の構成によっても、第1実施形態と同様、複雑な演算を必要とすることなく、安定してノイズを抑制することができるという優れた効果が得られる。また、エラー信号 E_{rr} は、速度検出信号 ω から抽出される対象次数の $\sin$ 成分および $\cos$ 成分を入力するLPF22、23の各出力を絶対値和して得られた信号となっている。したがって、本実施形態によれば、第5実施形態に比べ、エラー信号 E_{rr} のレベルが低くなるものの、回路規模を小さくすることができるという効果が得られる。

40

【0082】

(その他の実施形態)

なお、本発明は上記し且つ図面に記載した各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で任意に変形、組み合わせ、あるいは拡張することができる。

本発明は、モータ2を制御するモータ制御システム1に限らずともよく、制御対象の動作を制御するための制御信号に対し補償信号を重畳することにより制御対象で生じるノイズを低減する信号処理システム全般に適用することができる。例えば、本発明は、周期信

50

号により制御されるシステムにおいて発生する周期的なノイズを抑制するといった用途全般に適用することができる。

【0083】

状態検知部16は、アルゴリズムの状態を検知できるものであればよく、その具体的な構成や検知方法については適宜変更することができる。例えば、3つの閾値を用いた判定に限らずともよく、1つ、2つまたは4つ以上の閾値を用いた判定でもよい。また、発散状態を検知した後、閾値 T_{h_h} を一定量 dT_h だけ高くしなくともよい。また、閾値にヒステリシスを設けなくともよい。さらに、状態検知部16は、少なくともアルゴリズムの発散状態を検知する構成であればよい。その場合、位相シフト部14は、状態検知部16により発散状態が検知されると補償信号の位相を所定角度だけシフトする構成とすれば

10

【0084】

本開示は、実施例に準拠して記述されたが、本開示は当該実施例や構造に限定されるものではないと理解される。本開示は、様々な変形例や均等範囲内の変形をも包含する。加えて、様々な組み合わせや形態、さらには、それらに一要素のみ、それ以上、あるいはそれ以下、を含む他の組み合わせや形態をも、本開示の範疇や思想範囲に入るものである。

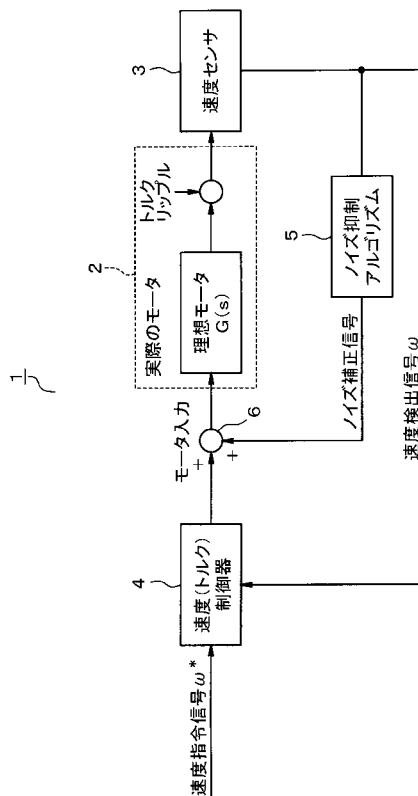
【符号の説明】

【0085】

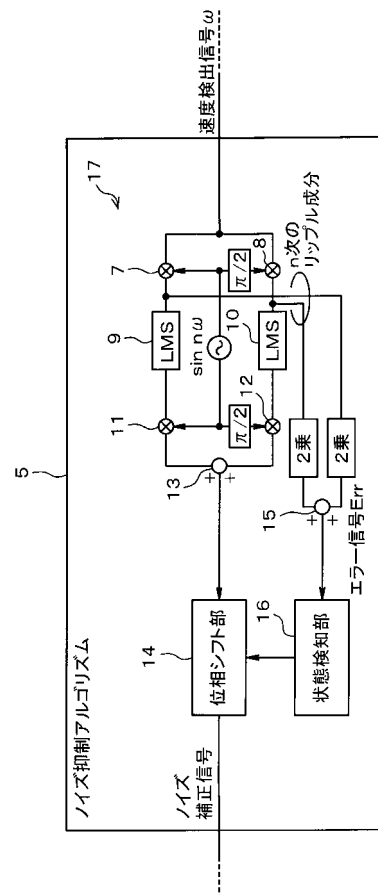
1…モータ制御システム、2…モータ、14…位相シフト部、16…状態検知部、17…信号生成部、22、23…ローパスフィルタ。

20

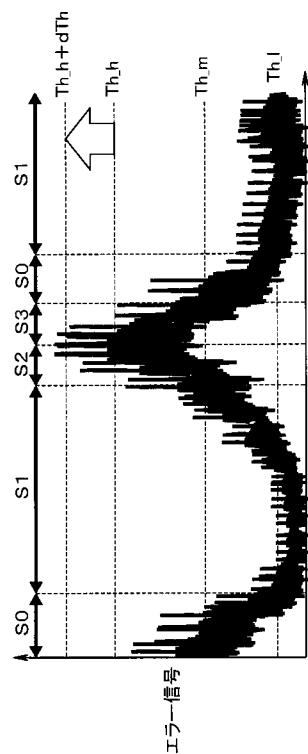
【図1】



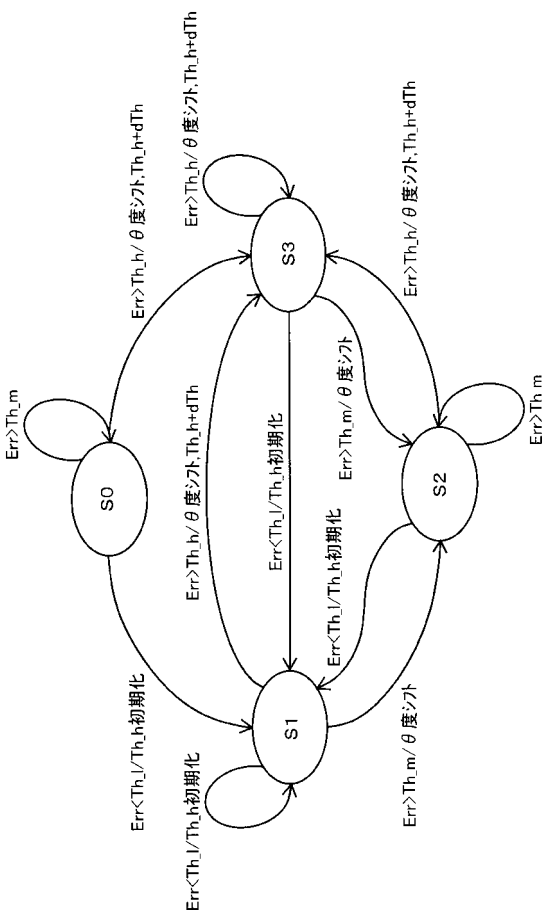
【図2】



【図 3】



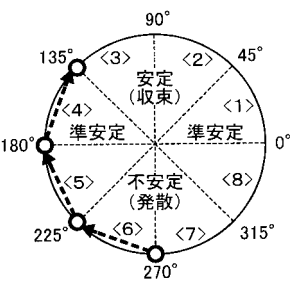
【図 4】



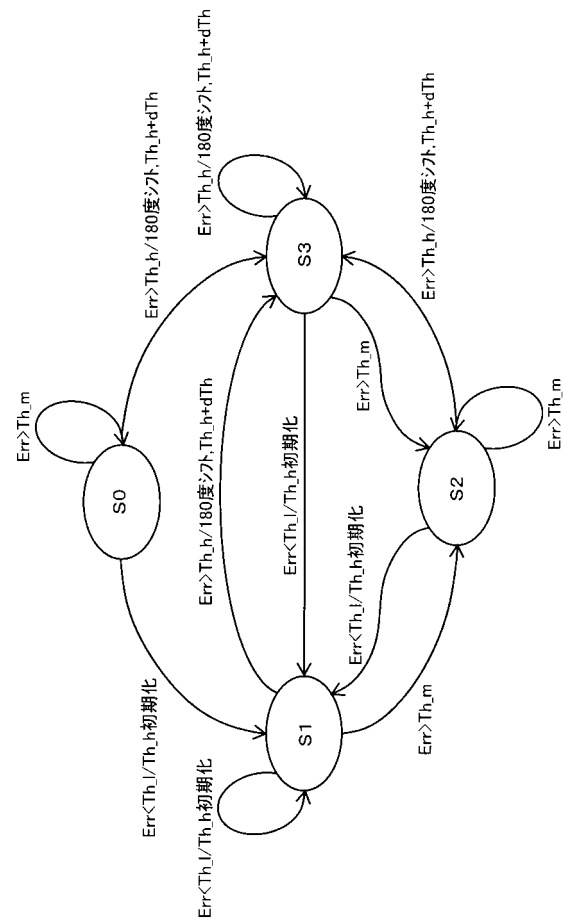
【図 5】

		イベント		
		Th_h上回る	Th_m上回る	Th_l下回る
状態	S0	S3/θ度シフト, Th_h+dTh	S0/ー	S1/Th_h初期化
	S1	S3/θ度シフト, Th_h+dTh	S2/θ度シフト	S1/Th_h初期化
	S2	S3/θ度シフト, Th_h+dTh	S2/ー	S1/Th_h初期化
	S3	S3/θ度シフト, Th_h+dTh	S2/θ度シフト	S1/Th_h初期化

【図 6】



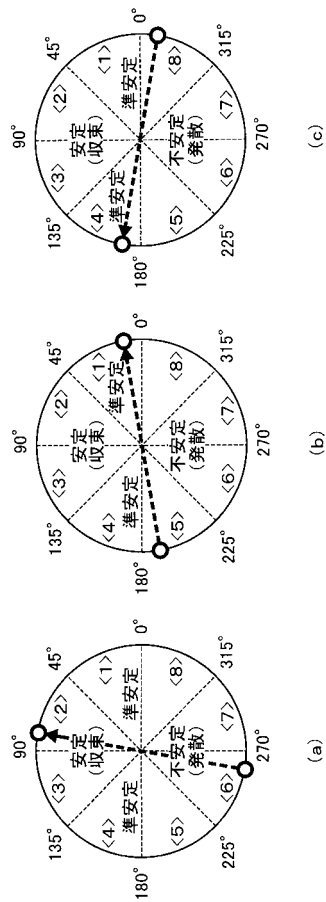
【図 7】



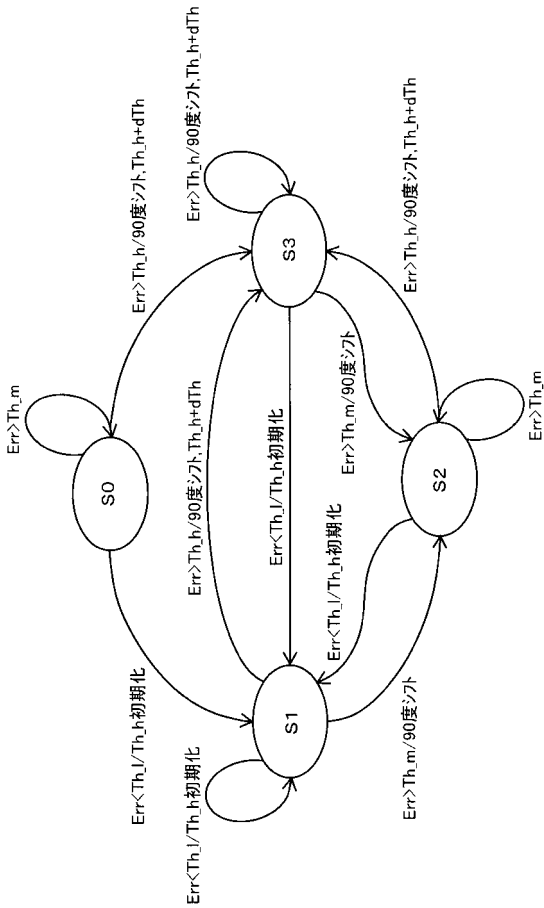
【図 8】

		イベント		
		Th _h 上回る	Th _m 上回る	Th _l 下回る
状態	S0	S3 / 180度シフト Th _h +dTh	S0 / —	S1 / Th _h 初期化
	S1	S3 / 180度シフト Th _h +dTh	S2 / —	S1 / Th _h 初期化
	S2	S3 / 180度シフト Th _h +dTh	S2 / —	S1 / Th _h 初期化
	S3	S3 / 180度シフト Th _h +dTh	S2 / —	S1 / Th _h 初期化

【図 9】



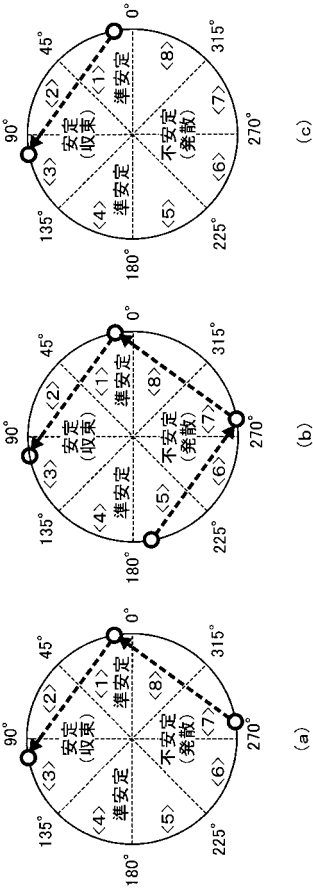
【図 10】



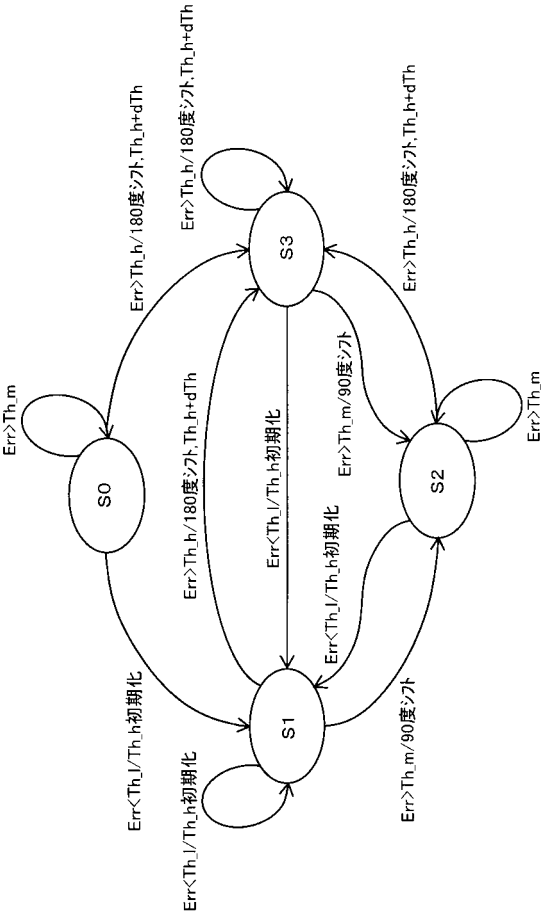
【図 1 1】

		イベント		
		Th _h 上回る	Th _m 上回る	Th _l 下回る
状態	S0	S3／90度シフト, Th _h +dTh	S0／－	S1／Th _h 初期化
	S1	S3／90度シフト, Th _h +dTh	S2／90度シフト	S1／Th _h 初期化
	S2	S3／90度シフト, Th _h +dTh	S2／－	S1／Th _h 初期化
	S3	S3／90度シフト, Th _h +dTh	S2／90度シフト	S1／Th _h 初期化

【図 1 2】



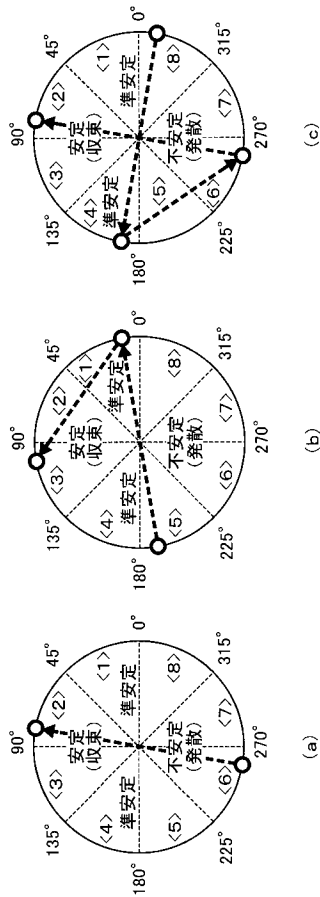
【図 1 3】



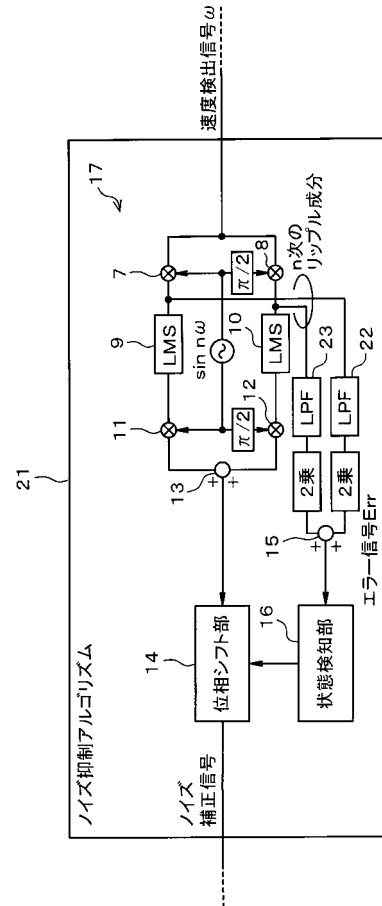
【図 1 4】

		イベント		
		Th _h 上回る	Th _m 上回る	Th _l 下回る
状態	S0	S3／180度シフト, Th _h +dTh	S0／－	S1／Th _h 初期化
	S1	S3／180度シフト, Th _h +dTh	S2／90度シフト	S1／Th _h 初期化
	S2	S3／180度シフト, Th _h +dTh	S2／－	S1／Th _h 初期化
	S3	S3／180度シフト, Th _h +dTh	S2／90度シフト	S1／Th _h 初期化

【図 15】



【図 16】



【図 17】

