

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3602811号

(P3602811)

(45) 発行日 平成16年12月15日(2004.12.15)

(24) 登録日 平成16年10月1日(2004.10.1)

(51) Int.Cl.⁷

F I

G 0 5 B 13/04

G 0 5 B 13/04

F 0 2 D 9/02

F 0 2 D 9/02 3 5 1 M

F 0 2 D 11/10

F 0 2 D 11/10 F

F 0 2 D 41/14

F 0 2 D 41/14 3 2 O C

請求項の数 8 (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2001-184540 (P2001-184540)
 (22) 出願日 平成13年6月19日(2001.6.19)
 (65) 公開番号 特開2003-5804 (P2003-5804A)
 (43) 公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)
 審査請求日 平成14年3月26日(2002.3.26)

(73) 特許権者 000005326
 本田技研工業株式会社
 東京都港区南青山二丁目1番1号
 (74) 代理人 100105119
 弁理士 新井 孝治
 (72) 発明者 安井 裕司
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内
 (72) 発明者 岩城 喜久
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内
 (72) 発明者 高橋 潤
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラントの制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラントをモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置において、

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトルを算出する更新ベクトル算出手段と、前記同定誤差の過去値の影響を減少させるように前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段と、前記プラントの動特性変化を示すパラメータに応じて前記モデルパラメータの基準ベクトルを算出する基準ベクトル算出手段と、前記基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有することを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項2】

前記更新ベクトル算出手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記更新ベクトルの算出を行うことを特徴とする請求項1に記載のプラントの制御装置。

【請求項3】

前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0よ

10

20

り大きく1より小さい所定値を乗算することにより、前記更新ベクトルの修正を行うことを特徴とする請求項1または2に記載のプラントの制御装置。

【請求項4】

前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラントの入力に関わる要素または前記プラントの入出力に関わらない要素については、前記所定値を乗算しないことを特徴とする請求項3に記載のプラントの制御装置。

【請求項5】

プラントをモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて、前記プラントの出力が制御目標値と一致するように前記プラント 10
を制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置において、

前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差を算出する同定誤差算出手段と、前記プラントの出力または制御目標値に応じて不感帯を設定する不感帯設定手段と、
該同定誤差が前記不感帯内にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段と、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有することを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項6】

前記制限手段は、前記モデルパラメータベクトルの複数の要素が所定の関係を満たすよう 20
に、前記複数の要素の値を制限することを特徴とする請求項1から5の何れか1項に記載のプラントの制御装置。

【請求項7】

前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差が前記不感帯内にあるときは、前記同定誤差を0とすることを特徴とする請求項5に記載のプラントの制御装置。

【請求項8】

前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出することを特徴とする請求項1から7の何れか1項に記載のプラントの制御装置。 30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プラントの制御装置に関し、特に制御対象であるプラントをモデル化して得られる制御対象モデルの特性を示すモデルパラメータを、リアルタイムで同定しつつ、そのモデルパラメータを用いて制御を行うものに関する。

【0002】

【従来の技術】

制御対象であるプラントをモデル化し、その制御対象モデルのモデルパラメータをパラメータ調整機構により算出し、このモデルパラメータを用いる適応制御器により、内燃機関 40
に供給する混合気の空燃比を目標空燃比にフィードバック制御する空燃比制御装置が従来より知られている（例えば特開平11-73206号公報）。

【0003】

この制御装置では、モデルパラメータの初期値に、モデルパラメータの同定誤差に応じて算出される更新成分を加算することにより、モデルパラメータが算出される。モデルパラメータの更新成分は、同定誤差の過去値の影響を減少させるように修正され、モデルパラメータが外乱の影響でドリフトし、制御が不安定化することが防止される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

上記公報に記載された装置では、外乱の影響によるモデルパラメータのドリフトは防止さ 50

れる。しかし、パラメータ調整機構により算出されたモデルパラメータが、そのまま適応制御器で使用されるため、適応制御器の安定性を維持する上で改善の余地があった。

【0005】

本発明はこの点に着目してなされたものであり、制御対象のプラントをモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータを同定しつつ、そのモデルパラメータを使用する制御の安定性をより向上させることができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため請求項1に記載の発明は、プラントをモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差 (i d e) を算出する同定誤差算出手段と、該同定誤差に応じて更新ベクトル (d θ) を算出する更新ベクトル算出手段と、前記同定誤差の過去値の影響を減少させるように前記更新ベクトルを修正する更新ベクトル修正手段と、前記プラントの動特性変化を示すパラメータに応じて前記モデルパラメータの基準ベクトルを算出する基準ベクトル算出手段と、前記基準ベクトル (θ b a s e) に修正された更新ベクトルを加算することにより、前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素 (a 1 , a 2 , b 1 , c 1) の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有することを特徴とする。 10 20

【0007】

この構成によれば、モデルパラメータベクトルの同定誤差に応じて更新ベクトルが算出され、同定誤差の過去値の影響を減少させるように更新ベクトルが修正され、モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、モデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。またモデルパラメータの基準ベクトルは、前記プラントの動特性変化を示すパラメータに応じて算出されるので、プラントの動特性変化に応じた適切な基準ベクトルが得られる。その結果、特にプラントに非線形要素が含まれる場合でもモデルパラメータを迅速に収束させることができる。 30

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のプラントの制御装置において、前記更新ベクトル算出手段は、固定ゲインアルゴリズムを用いて前記更新ベクトルの算出を行うことを特徴とする。

この構成によれば、固定ゲインアルゴリズムを用いて更新ベクトルが算出されるので、演算量を低減することができる。

【0009】

請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載のプラントの制御装置において、前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値 (D E L T A i , E P S i) を乗算することにより、前記更新ベクトルの修正を行うことを特徴とする。 40

【0010】

この構成によれば、更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値を乗算することにより、更新ベクトルの修正が行われるので、同定誤差の過去値の影響が減少し、モデルパラメータベクトルのドリフトを防止することができる。

【0011】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載のプラントの制御装置において、前記更新ベクトル修正手段は、前記更新ベクトルの、前記プラントの入力に関わる要素 (b 1 の演算に関わる要素) または前記プラントの入出力に関わらない要素 (c 1 の演算に関わる要素) 50

については、前記所定値（DELTA i、EPS i）を乗算しないことを特徴とする。

【0012】

この構成によれば、更新ベクトルの、プラントの入力に関わる要素またはプラントの入出力に関わらない要素については、0より大きく1より小さい所定値が乗算されないので、更新ベクトルの修正による定常偏差の発生を防止することができる。

【0015】

請求項5に記載の発明は、プラントをモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを、前記プラントの入力及び出力に基づいて同定する同定手段と、該同定手段により同定されたモデルパラメータベクトルを用いて、前記プラントの出力が制御目標値と一致するように前記プラントを制御する制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記同定手段は、前記モデルパラメータベクトルの同定誤差（ide）を算出する同定誤差算出手段と、前記プラントの出力または制御目標値に応じて不感帯を設定する不感帯設定手段と、該同定誤差が前記不感帯内（ $-EIDNRLMT \leq ide \leq EIDNRLMT$ ）にあるときは、前記同定誤差を減少方向に修正する同定誤差修正手段と、該同定誤差修正手段により修正された同定誤差（idenl）を用いて前記モデルパラメータベクトルを算出するモデルパラメータベクトル算出手段と、前記モデルパラメータベクトル算出手段により算出されるモデルパラメータベクトルの要素の値を、所定リミット範囲内に制限する制限手段とを有することを特徴とする。

10

【0016】

この構成によれば、モデルパラメータの同定誤差が不感帯内にあるときは、同定誤差が減少方向に修正され、該修正された同定誤差を用いてモデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。また前記不感帯は、プラントの出力または制御目標値に応じて設定されるので、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、残留同定誤差として無視してしまうことを防止することができる。

20

【0017】

請求項6に記載の発明は、請求項1から5の何れか1項に記載のプラントの制御装置において、前記制限手段は、前記モデルパラメータベクトルの複数の要素（a1, a2）が所定の関係（図18）を満たすように、前記複数の要素の値を制限することを特徴とする。

30

【0018】

この構成によれば、モデルパラメータベクトルの複数の要素が所定の関係を満たすように、複数の要素の値が制限されるので、そのモデルパラメータベクトルを用いる制御の安定性を向上させることができる。

請求項7に記載の発明は、請求項5に記載のプラントの制御装置において、前記同定誤差修正手段は、前記同定誤差（ide）が前記不感帯内（ $-EIDNRLMT \leq ide \leq EIDNRLMT$ ）にあるときは、前記同定誤差（ide）を0とすることを特徴とする。

【0019】

この構成によれば、同定誤差が前記不感帯内にあるときは、同定誤差が0とされるので、モデルパラメータの値に反映されるべきでない同定誤差の影響を無くし、モデルパラメータのドリフト防止効果を高めることができる。

40

請求項8に記載の発明は、請求項1から7の何れか1項に記載のプラントの制御装置において、前記プラントは、内燃機関のスロットル弁と、該スロットル弁を駆動する駆動手段とを有するスロットル弁駆動装置を含み、前記制御手段は、前記スロットル弁の開度を目標開度に一致させるように、前記スロットル弁駆動装置への制御入力を決定するパラメータを算出することを特徴とする。

【0020】

この構成によれば、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させるとともに、スロットル弁開度制御の安定性を向上させることができる。

50

【0021】

【発明の実施の形態】

以下本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(第1の実施形態)

図1は本発明の第1の実施形態にかかるスロットル弁制御装置の構成を示す図である。内燃機関（以下「エンジン」という）1の吸気通路2には、スロットル弁3が設けられている。スロットル弁3には、該スロットル弁3を閉弁方向に付勢する第1付勢手段としてのリターンスプリング4と、該スロットル弁3を開弁方向に付勢する第2付勢手段としての弾性部材5とが取り付けられている。またスロットル弁3は、駆動手段としてのモータ6によりギヤ（図示せず）を介して駆動できるように構成されている。モータ6による駆動力がスロットル弁3に加えられない状態では、スロットル弁3の開度THは、リターンスプリング4の付勢力と、弾性部材5の付勢力とが釣り合うデフォルト開度THDEF（例えば5度）に保持される。

10

【0022】

モータ6は、電子制御ユニット（以下「ECU」という）7に接続されており、その作動がECU7により制御される。スロットル弁3には、スロットル弁開度THを検出するスロットル弁開度センサ8が設けられており、その検出信号は、ECU7に供給される。

【0023】

またECU7には、エンジン1が搭載された車両の運転者の要求出力を検出するアクセルペダルの踏み込み量ACCを検出するアクセルセンサ9が接続されており、その検出信号がECU7に供給される。

20

ECU7は、スロットル弁開度センサ8及びアクセルセンサ9の検出信号が供給される入力回路、入力信号をディジタル信号に変換するAD変換回路、各種演算処理を実行する中央演算ユニット（CPU）、CPUが実行するプログラムやプログラムで参照されるマップやテーブルなどを格納するメモリ、及びモータ6に駆動電流を供給する出力回路を備えている。ECU7は、アクセルペダルの踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを決定し、検出したスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するようにモータ6の制御量DUTを決定し、制御量DUTに応じた電気信号をモータ6に供給する。

【0024】

30

本実施形態では、スロットル弁3、リターンスプリング4、弾性部材5及びモータ6からなるスロットル弁駆動装置10を制御対象とし、該制御対象に対する入力をモータ6に印加する電気信号のデューティ比DUTとし、制御対象の出力をスロットル弁開度センサ8により検出されるスロットル弁開度THとする。

【0025】

スロットル弁駆動装置10の応答周波数特性を実測すると、図2に実線で示すゲイン特性及び位相特性が得られる。そこで、下記式（1）で定義されるモデルを制御対象モデルとして設定した。このモデルの応答周波数特性は、図2に破線で示すようになり、スロットル弁駆動装置10の特性に近似していることが確認されている。

$$DTH(k+1) = a1 \times DTH(k) + a2 \times DTH(k-1)$$

40

$$+ b1 \times DUT(k-d) + c1 \quad (1)$$

ここで、kは離散化された時間を表すパラメータであり、DTH(k)は下記式（2）により定義されるスロットル弁開度偏差量である。

$$DTH(k) = TH(k) - THDEF \quad (2)$$

ここで、THは検出したスロットル弁開度、THDEFは前記デフォルト開度である。

また式（1）のa1, a2, b1, c1は、制御対象モデルの特性を決めるモデルパラメータであり、dはむだ時間である。

【0026】

上記式（1）で定義されるモデルは、適応制御の適用を容易にするために採用した、離散

50

時間系のD A R Xモデル(delayed autoregressive model with exogeneous input:外部入力を持つ自己回帰モデル)である。

式(1)においては、出力の偏差量D T Hに関わるモデルパラメータa 1, a 2、入力のデューティ比D U Tに関わるモデルパラメータb 1の他に、入出力に関わらないモデルパラメータc 1が設定されている。このモデルパラメータc 1は、デフォルト開度T H D E Fのずれやスロットル弁駆動装置に加わる外乱を示すパラメータである。すなわち、モデルパラメータ同定器により、モデルパラメータa 1, a 2, b 1と同時にモデルパラメータc 1を同定することにより、デフォルト開度ずれや外乱を同定できるようにしている。

【0027】

図3は、E C U 7により実現されるスロットル弁制御装置の機能ブロック図であり、この制御装置は、適応スライディングモードコントローラ2 1と、モデルパラメータ同定器2 2と、むだ時間dが経過した後の予測スロットル弁開度偏差量(以下「予測偏差量」という)P R E D T H (k) (=D T H (k + d))を算出する状態予測器2 3と、アクセルペダル踏み込み量A C Cに応じてスロットル弁3の目標開度T H Rを設定する目標開度設定部2 4とからなる。

10

【0028】

適応スライディングモードコントローラ2 1は、検出したスロットル弁開度T Hが目標開度T H Rと一致するように、適応スライディングモード制御によりデューティ比D U Tを算出し、該算出したデューティ比D U Tを出力する。

適応スライディングモードコントローラ2 1を用いることにより、スロットル弁開度T Hの目標開度T H Rへの追従応答特性を、所定のパラメータ(V P O L E)を用いて適宜変更することが可能となり、その結果スロットル弁3を開弁位置から全閉位置に移動させる際の衝撃(スロットル全閉ストoppaへの衝突)の回避、及びアクセル操作に対するエンジンレスポンスの可変性が可能となる。また、モデルパラメータの誤差に対する安定性を確保することが可能となる。

20

【0029】

モデルパラメータ同定器2 2は、修正モデルパラメータベクトル θL ($\theta L^T = [a 1, a 2, b 1, c 1]$)を算出し、適応スライディングモードコントローラ2 1に供給する。より具体的には、モデルパラメータ同定器2 2は、スロットル弁開度T H及びデューティ比D U Tに基づいて、モデルパラメータベクトル θ を算出する。さらに、そのモデルパラメータベクトル θ に対してリミット処理を行うことにより修正モデルパラメータベクトル θL を算出し、該修正モデルパラメータベクトル θL を適応スライディングモードコントローラ2 1に供給する。このようにしてスロットル弁開度T Hを目標開度T H Rに追従させるために最適なモデルパラメータa 1, a 2, b 1が得られ、さらに外乱及びデフォルト開度T H D E Fのずれを示すモデルパラメータc 1が得られる。

30

【0030】

リアルタイムでモデルパラメータを同定するモデルパラメータ同定器2 2を用いることにより、エンジン運転条件の変化への適応、ハードウェアの特性ばらつきの補償、電源電圧変動の補償、及びハードウェア特性の経年変化への適応が可能となる。

【0031】

40

状態予測器2 3は、スロットル弁開度T H及びデューティ比D U Tに基づいて、むだ時間d後のスロットル弁開度T H(予測値)、より具体的には予測偏差量P R E D T Hを算出し、適応スライディングモードコントローラ2 1に供給する。予測偏差量P R E D T Hを用いることにより、制御対象のむだ時間に対する制御系のロバスト性を確保し、特にむだ時間が大きいデフォルト開度T H D E F近傍での制御性を向上させることができる。

【0032】

次に適応スライディングモードコントローラ2 1の動作原理を説明する。

先ず下記式(3)により、目標値D T H R (k)を目標開度T H R (k)とデフォルト開度T H D E Fとの偏差量として定義する。

$$D T H R (k) = T H R (k) - T H D E F \quad (3)$$

50

ここで、スロットル弁開度偏差量 DTH と、目標値 $DTHR$ との偏差 $e(k)$ を下記式 (4) で定義すると、適応スライディングモードコントローラの切換関数値 $\sigma(k)$ は、下記式 (5) のように設定される。

$$e(k) = DTH(k) - DTHR(k) \quad (4)$$

$$\sigma(k) = e(k) + VPOLE \times e(k-1) \quad (5)$$

$$= (DTH(k) - DTHR(k)) \\ + VPOLE \times (DTH(k-1) - DTHR(k-1))$$

ここで、 $VPOLE$ は、 -1 より大きく 1 より小さい値に設定される切換関数設定パラメータである。 10

【0033】

縦軸を偏差 $e(k)$ とし、横軸を前回偏差 $e(k-1)$ として定義される位相平面上では、 $\sigma(k) = 0$ を満たす偏差 $e(k)$ と、前回偏差 $e(k-1)$ との組み合わせは、直線となるので、この直線は一般に切換直線と呼ばれる。スライディングモード制御は、この切換直線上の偏差 $e(k)$ の振る舞いに着目した制御であり、切換関数値 $\sigma(k)$ が 0 となるように、すなわち偏差 $e(k)$ と前回偏差 $e(k-1)$ の組み合わせが位相平面上の切換直線上に載るように制御を行い、外乱やモデル化誤差（実際のプラントの特性と、モデル化した制御対象モデルの特性との差）に対してロバストな制御を実現し、スロットル弁開度偏差量 DTH を目標値 $DTHR$ に追従させるものである。 20

【0034】

また式 (5) の切換関数設定パラメータ $VPOLE$ の値を変更することにより、図 4 に示すように、偏差 $e(k)$ の減衰特性、すなわちスロットル弁開度偏差量 DTH の目標値 $DTHR$ への追従特性を変更することができる。具体的には、 $VPOLE = -1$ とすると、全く追従しない特性となり、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ の絶対値を小さくするほど、追従速度を速めることができる。

【0035】

スロットル弁制御装置においては、下記要求 A1 及び A2 が満たされることが求められる。

A1) スロットル弁 3 を全閉位置に移動させる際にスロットル全閉ストッパへの衝突を回避すること 30

A2) デフォルト開度 $THDEF$ 近傍における非線形特性（リターンスプリング 4 の付勢力と弾性部材 5 の付勢力とが釣り合うことに起因する弾性特性の変化、モータ 6 とスロットル弁 3 と間に介装されたギヤのバックラッシュ、デューティ比 DUT の変化してもスロットル弁開度が変化しない不感帯）に対する制御性を向上させること

そのため、スロットル弁の全閉位置近傍では、偏差 $e(k)$ の収束速度を低下させ、またデフォルト開度 $THDEF$ の近傍では、収束速度を高める必要がある。

【0036】

スライディングモード制御によれば、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を変更することにより、容易に収束速度を変更できるので、本実施形態では、スロットル弁開度 TH 及び目標値 $DTHR$ の変化量 $DDTHR (= DTHR(k) - DTHR(k-1))$ に応じて、切換関数設定パラメータ $VPOLE$ を設定するようにした。これにより、上記要求 A1 及び A2 を満たすことができる。 40

【0037】

上述したようにスライディングモード制御では、偏差 $e(k)$ と前回偏差 $e(k-1)$ の組み合わせ（以下「偏差状態量」という）を切換直線上に拘束することにより、偏差 $e(k)$ を指定した収束速度で、かつ外乱やモデル化誤差に対してロバストに、 0 に収束させる。したがって、スライディングモード制御では、如何にして偏差状態量を切換直線に載せ、そこに拘束するかが重要となる。

【0038】

そのような観点から、制御対象への入力（コントローラの出力） $DUT(k)$ （ $Usl(k)$ とも表記する）は、下記式（6）に示すように、等価制御入力 $Ueq(k)$ 、到達則入力 $Urch(k)$ 及び適応則入力 $Uadp(k)$ の和として構成される。

$$\begin{aligned} DUT(k) &= Usl(k) \\ &= Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \end{aligned} \quad (6)$$

【0039】

等価制御入力 $Ueq(k)$ は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であり、到達則入力 $Urch(k)$ は、偏差状態量を切換直線上へ載せるための入力であり、適応則入力 $Uadp(k)$ は、モデル化誤差や外乱の影響を抑制し、偏差状態量を切換直線へ載せるための入力である。以下各入力 $Ueq(k)$ 、 $Urch(k)$ 及び $Uadp(k)$ の算出方法を説明する。

10

【0040】

等価制御入力 $Ueq(k)$ は、偏差状態量を切換直線上に拘束するための入力であるから、満たすべき条件は下記式（7）で与えられる。

$$\sigma(k) = \sigma(k+1) \quad (7)$$

式（1）並びに式（4）及び（5）を用いて式（7）を満たすデューティ比 $DUT(k)$ を求めると、下記式（9）が得られ、これが等価制御入力 $Ueq(k)$ となる。さらに、到達則入力 $Urch(k)$ 及び適応則入力 $Uadp(k)$ を、それぞれ下記式（10）及び（11）により定義する。

20

【数1】

$$\begin{aligned} DUT(k) &= \frac{1}{b1} \{ (1 - a1 - VPOLE) DTH(k+d) + (VPOLE - a2) DTH(k+d-1) \\ &\quad - c1 + DTHR(k+d+1) + (VPOLE - 1) DTHR(k+d) \\ &\quad - VPOLE \times DTHR(k+d-1) \} \\ &= Ueq(k) \end{aligned} \quad (9)$$

$$Urch(k) = \frac{-F}{b1} \sigma(k+d) \quad (10)$$

30

$$Uadp(k) = \frac{-G}{b1} \sum_{i=0}^{k+d} \Delta T \sigma(i) \quad (11)$$

【0041】

ここで、 F 及び G は、それぞれ到達則制御ゲイン及び適応則制御ゲインであり、以下に述べるように設定される。また ΔT は、制御周期である。

上記式（9）の演算には、むだ時間 d 経過後のスロットル弁開度偏差量 $DTH(k+d)$ 及び対応する目標値 $DTHR(k+d+1)$ が必要である。そこで、むだ時間 d 経過後のスロットル弁開度偏差量 $DTH(k+d)$ として、状態予測器23により算出される予測偏差量 $PREDTH(k)$ を用い、目標値 $DTHR(k+d+1)$ として、最新の目標値 $DTHR$ を用いることとする。

40

【0042】

次に到達則入力 $Urch$ 及び適応則入力 $Uadp$ により、偏差状態量が安定に切換直線上に載せられるように、到達則制御ゲイン F 及び適応則制御ゲイン G の決定を行う。

具体的には外乱 $V(k)$ を想定し、外乱 $V(k)$ に対して切換関数値 $\sigma(k)$ が安定であるための条件を求めることにより、ゲイン F 及び G の設定条件を求める。その結果、ゲイン F 及び G の組み合わせが、下記式（12）～（14）を満たすこと、換言すれば図5に

50

ハッチングを付して示す領域内にあることが安定条件として得られた。

【0043】

$$F > 0 \quad (12)$$

$$G > 0 \quad (13)$$

$$F < 2 - (\Delta T / 2) G \quad (14)$$

以上のように、式(9)～(11)により、等価制御入力 $U_{eq}(k)$ 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、デューティ比 $DUT(k)$ を算出することができる。

【0044】

モデルパラメータ同定器22は、前述したように制御対象の入力($DUT(k)$)及び出力($TH(k)$)に基づいて、制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを算出する。具体的には、モデルパラメータ同定器22は、下記式(15)による逐次型同定アルゴリズム(一般化逐次型最小2乗法アルゴリズム)により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する。

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) ide(k) \quad (15)$$

$$\theta(k)^T = [a1', a2', b1', c1'] \quad (16)$$

【0045】

ここで、 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ は、後述するリミット処理を実施する前のモデルパラメータである。また $ide(k)$ は、下記式(17)、(18)及び(19)により定義される同定誤差である。 $DTHHAT(k)$ は、最新のモデルパラメータベクトル $\theta(k-1)$ を用いて算出される、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k)$ の推定値(以下「推定スロットル弁開度偏差量」という)である。 $KP(k)$ は、下記式(20)により定義されるゲイン係数ベクトルである。また、式(20)の $P(k)$ は、下記式(21)により算出される4次の正方行列である。

【数2】

$$ide(k) = DTH(k) - DTHHAT(k) \quad (17)$$

$$DTHHAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad (18)$$

$$\zeta(k)^T = [DTH(k-1), DTH(k-2), DUT(k-d-1), 1] \quad (19)$$

【数3】

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad (20)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(\mathbf{1} - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad (21)$$

($\mathbf{1}$ は単位行列)

【0046】

式(21)の係数 λ_1 、 λ_2 の設定により、式(15)～(21)による同定アルゴリズムは、以下のような4つの同定アルゴリズムのいずれかになる。

$\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = 0$ 固定ゲインアルゴリズム

$\lambda_1 = 1$ 、 $\lambda_2 = 1$ 最小2乗法アルゴリズム

10

20

30

40

50

$\lambda_1 = 1, \lambda_2 = \lambda$ 漸減ゲインアルゴリズム (λ は 0, 1 以外の所定値)

$\lambda_1 = \lambda, \lambda_2 = 1$ 重み付き最小 2 乗法アルゴリズム (λ は 0, 1 以外の所定値)

【0047】

一方本実施形態では、下記 B 1)、B 2)、B 3) の要求を満たすことが求められる。

B 1) 準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応

「準静的動特性変化」とは、例えば電源電圧の変動やハードウェアの経年劣化といった変化速度の遅い特性変化を意味する。

B 2) 動的な動特性変化への適応

具体的には、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性変化への適応を意味する。

B 3) モデルパラメータのドリフト防止

モデルパラメータに反映すべきでない制御対象の非線形特性などに起因する同定誤差の影響によって、モデルパラメータの絶対値が増大するような不具合を防止する。

【0048】

先ず上記 B 1) 及び B 2) の要求を満たすために、係数 λ_1 及び λ_2 をそれぞれ所定値 λ 及び「0」に設定することにより、重み付き最小 2 乗法アルゴリズムを採用する。

次にモデルパラメータのドリフトについて説明する。図 6 に示すように、モデルパラメータがある程度収束した後に、スロットル弁の摩擦特性などの非線形特性によって生じる残留同定誤差が存在したり、平均値がゼロでない外乱が定常的に加わるような場合には、残留同定誤差が蓄積し、モデルパラメータのドリフトを引き起こす。

【0049】

このような残留同定誤差は、モデルパラメータの値に反映すべきものではないので、図 7 (a) に示すような不感帯関数 F_{nl} を用いて不感帯処理を行う。具体的には、下記式 (23) により、修正同定誤差 $idenl(k)$ を算出し、この修正同定誤差 $idenl(k)$ を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出を行う。すなわち、上記式 (15) に代えて下記式 (15a) を用いる。これにより、上記要求 B 3) を満たすことができる。

$$idenl(k) = F_{nl}(ide(k)) \quad (23)$$

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) idenl(k) \quad (15a)$$

【0050】

なお、不感帯関数 F_{nl} は、図 7 (a) に示すものに限るものではなく、例えば同図 (b) に示すような不連続不感帯関数、または同図 (c) に示すような不完全不感帯関数を用いてもよい。ただし、不完全不感帯関数を用いた場合には、ドリフトを完全に防止することはできない。

【0051】

また、残留同定誤差は、スロットル弁開度 TH の変動量に応じてその振幅が変化する。そこで、本実施形態では、図 7 に示す不感帯の幅を定義する不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ を、下記式 (24) により算出される、目標スロットル弁開度 THR の変化量の二乗平均値 $DDTHRSQA$ に応じて設定する (具体的には、二乗平均値 $DDTHRSQA$ が増加するほど、不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ が増加するように設定する) ようにしている。これにより、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、残留同定誤差として無視してしまうことを防止することができる。式 (24) の $DDTHRSQA$ は、目標スロットル弁開度 THR の変化量であり、下記式 (25) により算出される。

【数 4】

10

20

30

40

$$DDTHRSQA(k) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n DDTHR(i)^2 \quad (24)$$

$$\begin{aligned} DDTHR(k) &= DTHR(k) - DTHR(k-1) \\ &= THR(k) - THR(k-1) \end{aligned} \quad (25)$$

【0052】

ここで、スロットル弁開度偏差量DTHは目標値DTHRへ適応スライディングモードコントローラ21により制御されているため、同様に式(25)の目標値DTHRをスロットル弁開度偏差量DTHへ変更し、スロットル弁開度偏差量DTHの変化量DDTHを算出し、式(24)のDDTHRをDDTHに代えて得られる二乗平均値DDTHRSQAにより不感帯幅パラメータEIDNRLMTを変更することもできる。

【0053】

また制御系のロバスト性をさらに高めるためには、適応スライディングモードコントローラ21をより安定化させることが有効である。そこで本実施形態では、前記式(15)により算出されたモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の各要素 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ についてリミット処理を施し、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ ($\theta_L(k)^T = [a1, a2, b1, c1]$)を算出する。そして、適応スライディングモードコントローラ21は、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を用いて、スライディングモード制御を実行する。なおリミット処理の詳細については、フローチャートを参照して後述する。

【0054】

次に状態予測器23による予測偏差量PRE DTHの算出方法を説明する。

先ず下記式(26)～(29)により、マトリクスA及びBと、ベクトルX(k)及びU(k)を定義する。

【数5】

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 & c1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$X(k) = \begin{bmatrix} DTH(k) \\ DTH(k-1) \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$U(k) = \begin{bmatrix} DUT(k) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

これらのマトリクスA、Bと、ベクトルX(k)、U(k)を用いて、制御対象モデルを定義する前記式(1)を書き直すと、下記式(30)が得られる。

$$X(k+1) = AX(k) + BU(k-d) \quad (30)$$

【0055】

式(30)からX(k+d)を求めると、下記式(31)が得られる。

【数6】

$$X(k+d) = A^d X(k) + [A^{d-1}B \ A^{d-2}B \ \cdots \ AB \ B] \begin{bmatrix} U(k-1) \\ U(k-2) \\ \vdots \\ U(k-d) \end{bmatrix} \quad (31)$$

10

ここで、リミット処理前のモデルパラメータ $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ を用いてマトリクス A' 及び B' を下記式 (32) 及び (33) により定義すると、予測ベクトル $XHAT(k+d)$ は、下記式 (34) で与えられる。

【数7】

$$A' = \begin{bmatrix} a1' & a2' \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$B' = \begin{bmatrix} b1' & c1' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

20

$$XHAT(k+d) = A'^d X(k) + [A'^{d-1}B' \ A'^{d-2}B' \ \cdots \ A'B' \ B'] \begin{bmatrix} U(k-1) \\ U(k-2) \\ \vdots \\ U(k-d) \end{bmatrix} \quad (34)$$

30

【0056】

予測ベクトル $XHAT(k+d)$ の第1行の要素である $DTHHAT(k+d)$ が、予測偏差量 $PREDTH(k)$ であり、下記式 (35) で与えられる。

$$\begin{aligned} PREDTH(k) &= DTHHAT(k+d) \\ &= \alpha 1 \times DTH(k) + \alpha 2 \times DTH(k-1) \\ &\quad + \beta 1 \times DUT(k-1) + \beta 2 \times DUT(k-2) + \cdots + \beta d \times DUT(k-d) \\ &\quad + \gamma 1 + \gamma 2 + \cdots + \gamma d \end{aligned} \quad (35)$$

ここで、 $\alpha 1$ はマトリクス A'^d の1行1列要素、 $\alpha 2$ はマトリクス A'^d の1行2列要素、 βi はマトリクス $A'^{d-i}B'$ の1行1列要素、 γi はマトリクス $A'^{d-i}B'$ の1行2列要素である。

40

【0057】

式 (35) により算出される予測偏差量 $PREDTH(k)$ を、前記式 (9) に適用し、さらに目標値 $DTHR(k+d+1)$ 、 $DTHR(k+d)$ 、及び $DTHR(k+d-1)$ をそれぞれ $DTHR(k)$ 、 $DTHR(k-1)$ 、及び $DTHR(k-2)$ に置き換えることにより、下記式 (9a) が得られる。式 (9a) により、等価制御入力 $Ueq(k)$ を算出する。

【数8】

$$\begin{aligned}
 \text{DUT}(k) &= \frac{1}{b1} \{ (1 - a1 - \text{VPOLE}) \text{PREDTH}(k) \\
 &\quad + (\text{VPOLE} - a2) \text{PREDTH}(k-1) - c1 + \text{DTHR}(k) \\
 &\quad + (\text{VPOLE} - 1) \text{DTHR}(k-1) - \text{VPOLE} \times \text{DTHR}(k-2) \} \\
 &= \text{Ueq}(k)
 \end{aligned} \tag{9a}$$

【0058】

10

また、式(35)により算出される予測偏差量 $\text{PREDTH}(k)$ を用いて、下記式(36)により予測切替関数値 $\sigma_{\text{pre}}(k)$ を定義し、到達則入力 $\text{Urch}(k)$ 及び適応則入力 $\text{Uadp}(k)$ を、それぞれ下記式(10a)及び(11a)により算出する。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{pre}}(k) &= (\text{PREDTH}(k) - \text{DTHR}(k-1)) \\
 &\quad + \text{VPOLE} (\text{PREDTH}(k-1) - \text{DTHR}(k-2)) \tag{36}
 \end{aligned}$$

【数9】

$$\text{Urch}(k) = \frac{-F}{b1} \sigma_{\text{pre}}(k) \tag{10a}$$

20

$$\text{Uadp}(k) = \frac{-G}{b1} \sum_{i=0}^k \Delta T \sigma_{\text{pre}}(i) \tag{11a}$$

【0059】

次にモデルパラメータ $c1'$ は、前述したように、デフォルト開度 THDEF のずれ及び外乱を示すパラメータである。したがって、図8に示すように、外乱によって変動するが、デフォルト開度ずれは比較的短い期間内でみればほぼ一定とみなせる。そこで、本実施形態では、モデルパラメータ $c1'$ を統計処理し、その変動の中心値をデフォルト開度ず

30

れ thdefadp として算出し、スロットル弁開度偏差量 DTH 及び目標値 DTHR の算出に用いることとした。

【0060】

統計処理の手法には、一般に最小2乗法が知られているが、この最小2乗法による統計処理は、通常、ある一定期間内のデータ、すなわち同定されたモデルパラメータ $c1'$ をすべてメモリに格納しておき、ある時点で一括演算を行うことによって実行される。ところが、この一括演算法では、すべてのデータを格納するために膨大な容量のメモリが必要となり、さらに逆行列演算が必要となって演算量の増大を招く。

【0061】

そこで本実施形態では、前記式(15)～(21)で示される適応制御の逐次型最小2乗法アルゴリズムを、統計処理に応用し、モデルパラメータ $c1$ の最小2乗中心値を、デフォルト開度ずれ thdefadp として算出するようにしている。

40

【0062】

具体的には、前記式(15)～(21)の $\theta(k)$ 及び $\theta(k)^T$ を thdefadp に置換し、 $\zeta(k)$ 及び $\zeta(k)^T$ を「1」に置換し、 $\text{ide}(k)$ を $\text{ec1}(k)$ に置換し、 $\text{KP}(k)$ を $\text{KPTH}(k)$ に置換し、 $\text{P}(k)$ を $\text{PTH}(k)$ に置換し、 $\lambda 1$ 及び $\lambda 2$ をそれぞれ $\lambda 1'$ 及び $\lambda 2'$ に置換することにより、下記式(37)～(40)を得る。

【数10】

$$thdefadp(k+1)=thdefadp(k)+KPTH(k)ec1(k) \quad (37)$$

$$KPTH(k) = \frac{PTH(k)}{1+PTH(k)} \quad (38)$$

$$PTH(k+1) = \frac{1}{\lambda_1'} \left(1 - \frac{\lambda_2' PTH(k)}{\lambda_1' + \lambda_2' PTH(k)} \right) PTH(k) \quad (39)$$

$$ec1(k)=c1'(k)-thdefadp(k) \quad (40)$$

10

【0063】

係数 λ_1' 及び λ_2' の設定により、前述した4つのアルゴリズムの何れかを選択可能であるが、式(39)においては、係数 λ_1' を0または1以外の所定値に設定し、係数 λ_2' を1に設定することにより、重み付き最小2乗法を採用した。

【0064】

上記式(37)～(40)の演算においては、記憶すべき値は $thdefadp(k+1)$ 及び $PTH(k+1)$ のみであり、また逆行列演算は不要である。したがって、逐次型最小2乗法アルゴリズムを採用することにより、一般的な最小2乗法の欠点を克服しつつ、最小2乗法によるモデルパラメータ $c1$ の統計処理を行うことができる。

20

【0065】

統計処理の結果得られるデフォルト開度ずれ $thdefadp$ は、前記式(2)及び(3)に適用され、式(2)及び(3)に代えて下記式(41)及び(42)により、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k)$ 及び目標値 $DTHR(k)$ が算出される。

$$DTH(k) = TH(k) - THDEF + thdefadp \quad (41)$$

$$DTHR(k) = THR(k) - THDEF + thdefadp \quad (42)$$

【0066】

式(41)及び(42)を使用することにより、デフォルト開度 $THDEF$ が、ハードウェアの特性ばらつき、あるいは経時変化により、設計値からずれた場合でも、そのずれを補償して正確な制御を行うことができる。

30

【0067】

次に上述した適応スライディングモードコントローラ21、モデルパラメータ同定器22及び状態予測器23の機能を実現するための、ECU7のCPUにおける演算処理を説明する。

【0068】

図9は、スロットル弁開度制御の全体フローチャートであり、この処理は所定時間（例えば2msec）毎にECU7のCPUで実行される。

ステップS11では、図10に示す状態変数設定処理を実行する。すなわち、式(41)及び(42)の演算を実行し、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k)$ 及び目標値 $DTHR(k)$ を算出する（図10、ステップS21及びS22）。なお、今回値であることを示す (k) は、省略して示す場合がある。

40

【0069】

ステップS12では、図11に示すモデルパラメータ同定器の演算、すなわち前記式(15a)によるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出処理を実行し、さらにリミット処理を実行して修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

【0070】

続くステップS13では、図21に示す状態予測器の演算を実行し、予測偏差量 $PREDTH(k)$ を算出する。

次いでステップS12で算出した修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を用いて、図

50

22に示す制御入力 $U_{sl}(k)$ の演算処理を実行する(ステップS14)。すなわち、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、制御入力 $U_{sl}(k)$ (=デューティ比 $DUT(k)$)を算出する。

【0071】

続くステップS16では、図29に示すスライディングモードコントローラの安定判別処理を実行する。すなわち、リアプノフ関数の微分値に基づく安定判別を行い、安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ の設定を行う。この安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ は、「1」に設定されると適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっていることを示す。安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ が「1」に設定され、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を安定化所定値 $X_{POLESTB}$ に設定する(図24、ステップS231、S232参照)とともに、等価制御入力 U_{eq} を「0」とし、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} のみによる制御に切り換えることにより、制御の安定化を図る(図22、ステップS206、S208参照)。適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、さらに到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} の算出式を変更する。すなわち、到達則制御ゲイン F 及び適応則制御ゲイン G の値を、コントローラ21を安定化させる値に変更するとともに、モデルパラメータ b_1 を使用しないで、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} を算出する(図27、28参照)。以上のような安定化処理により、適応スライディングモードコントローラ21の不安定状態を早期に終息させ、安定な状態に戻すことができる。

10

20

ステップS17では、図30に示す $t_{hdefadp}$ 算出処理を実行し、デフォルト開度 $t_{hdefadp}$ を算出する。

【0072】

図11は、モデルパラメータ同定器22の演算処理のフローチャートである。ステップS31では、式(20)によりゲイン係数ベクトル $K_P(k)$ を算出し、次いで式(18)により推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ を算出する(ステップS32)。ステップS33では、図12に示す $idenl(k)$ の演算処理を実行し、ステップS32で算出した推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ を、式(17)に適用して同定誤差 $ide(k)$ を算出するとともに、図7(a)に示す関数を用いた不感帯処理を行い、修正同定誤差 $idenl$ を算出する。

30

【0073】

続くステップS34では、式(15a)により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出し、次いでモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の安定化処理を実行する(ステップS35)。すなわち各モデルパラメータのリミット処理を行って修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

【0074】

図12は、図11のステップS33で実行される $idenl(k)$ 演算処理のフローチャートである。

ステップS51では、式(17)により同定誤差 $ide(k)$ を算出する。次いで、ステップS53でインクリメントされるカウンタ $CNTIDST$ の値が、制御対象のむだ時間 d に応じて設定される所定値 $XCNTIDST$ (例えば、むだ時間 $d=2$ に対応して、「3」に設定される)より大きいかな否かを判別する(ステップS52)。カウンタ $CNTIDST$ の初期値は「0」であるので、最初はステップS53に進み、カウンタ $CNTIDST$ を「1」だけインクリメントし、同定誤差 $ide(k)$ を「0」に設定して(ステップS54)、ステップS55に進む。モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の同定を開始した直後は、式(17)による演算で正しい同定誤差が得られないので、ステップS52～S54により、式(17)による演算結果を用いずに同定誤差 $ide(k)$ を「0」に設定するようにしている。

40

【0075】

50

ステップS52の答が肯定(Y E S)となると、直ちにステップS55に進む。
 ステップS55では、同定誤差 $ide(k)$ のローパスフィルタ処理を行う。具体的には、ローパス特性を有する制御対象のモデルパラメータを同定する場合、最小2乗同定アルゴリズムの同定誤差 $ide(k)$ に対する同定重みは、図13(a)に実線L1で示すような周波数特性を有するが、これをローパスフィルタ処理により、破線L2で示すように高周波成分を減衰させた特性とする。これは、以下の理由による。

【0076】

実際の制御対象及びこれをモデル化した制御対象モデルの周波数特性は、それぞれ図13(b)に実線L3及びL4で示すようになる。すなわち、ローパス特性(高周波成分が減衰する特性)を有する制御対象について、モデルパラメータ同定器22によりモデルパラメータを同定すると、同定されたモデルパラメータは高周波域阻止特性に大きく影響されたものとなるため、低周波域での制御対象モデルのゲインが実際の特性より低くなる。その結果、スライディングモードコントローラ21による制御入力の補正が過補正となる。

【0077】

そこで、ローパスフィルタ処理により同定アルゴリズムの重みの周波数特性を、図13(a)に破線L2で示すような特性とすることにより、制御対象モデルの周波数特性を、同図(b)に破線L5で示すような特性とし、実際の周波数特性と一致させ、あるいは制御対象モデルのゲインが実際のゲインよりやや高くなるように修正することとした。これにより、コントローラ21による過補正を防止し、制御系のロバスト性を高めて制御系をより安定化させることができる。

【0078】

なお、ローパスフィルタ処理は、同定誤差の過去値 $ide(k-i)$ (例えば $i=1\sim 10$ に対応する10個の過去値)をリングバッファに記憶し、それらの過去値に重み係数を乗算して加算することにより実行する。

さらに、同定誤差 $ide(k)$ は、前記式(17)、(18)及び(19)を用いて算出しているため、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k)$ と、推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ とに同様のローパスフィルタ処理を行うこと、あるいは、スロットル弁開度偏差量 $DTH(k-1)$ 及び $DTH(k-2)$ と、デューティ比 $DUT(k-d-1)$ とに同様のローパスフィルタ処理を行うことによっても同様の効果が得られる。

【0079】

図12に戻り、続くステップS56では、図14に示す不感帯処理を実行する。図14のステップS61では、前記式(24)において例えば $n=5$ として、目標スロットル弁開度 THR の変化量の二乗平均値 $DDTHRSQA$ を算出し、次いで二乗平均値 $DDTHRSQA$ に応じて図15に示す $EIDNRLMT$ テーブルを検索し、不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ を算出する(ステップS62)。

【0080】

ステップS63では、同定誤差 $ide(k)$ が不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ より大きいかな否かを判別し、 $ide(k) > EIDNRLMT$ であるときは、下記式(43)により、修正同定誤差 $idenl(k)$ を算出する(ステップS67)。

$$idenl(k) = ide(k) - EIDNRLMT \quad (43)$$

【0081】

ステップS63の答が否定(N O)であるときは、さらに同定誤差 $ide(k)$ が不感帯幅パラメータ $EIDNRLMT$ に負号を付した値より小さいかな否かを判別し(ステップS64)、 $ide(k) < -EIDNRLMT$ であるときは、下記式(44)により、修正同定誤差 $idenl(k)$ を算出する(ステップS65)。

$$idenl(k) = ide(k) + EIDNRLMT \quad (44)$$

また同定誤差 $ide(k)$ が $\pm EIDNRLMT$ の範囲内にあるときは、修正同定誤差 $idenl(k)$ を「0」とする(ステップS66)。

【0082】

図16は、図11のステップS35で実行される $\theta(k)$ の安定化処理のフローチャート

10

20

30

40

50

である。

ステップS71では、この処理で使用されるフラグFA1STAB, FA2STAB, FB1LMT及びFC1LMTをそれぞれ「0」に設定することにより、初期化を行う。そして、ステップS72では、図17に示すa1'及びa2'のリミット処理を実行し、ステップS73では、図19に示すb1'のリミット処理を実行し、ステップS74では、図20に示すc1'のリミット処理を実行する。

【0083】

図17は、図16のステップS72で実行されるa1'及びa2'のリミット処理のフローチャートである。図18は、図17の処理を説明するための図であり、図17とともに参照する。

10

図18においては、リミット処理が必要なモデルパラメータa1'とa2'の組み合わせが「×」で示され、また安定なモデルパラメータa1'及びa2'の組み合わせの範囲がハッチングを付した領域（以下「安定領域」という）で示されている。図17の処理は、安定領域外にあるモデルパラメータa1'及びa2'の組み合わせを、安定領域内（「○」で示す位置）に移動させる処理である。

【0084】

ステップS81では、モデルパラメータa2'が、所定a2下限値XIDA2L以上か否かを判別する。所定a2下限値XIDA2Lは、「-1」より大きい負の値に設定される。所定a2下限値XIDA2Lは、「-1」に設定しても、安定な修正モデルパラメータa1, a2が得られるが、前記式(26)で定義される行列Aのn乗が不安定となる（これは、a1'及びa2'が発散はしないが振動することを意味する）場合があるので、「-1」より大きな値に設定される。

20

【0085】

ステップS81で $a2' < XIDA2L$ であるときは、修正モデルパラメータa2を、この下限値XIDA2Lに設定するとともに、a2安定化フラグFA2STABを「1」に設定する。a2安定化フラグFA2STABは「1」に設定されると、修正モデルパラメータa2を下限値XIDA2Lに設定したことを示す。図18においては、ステップS81及びS82のリミット処理P1によるモデルパラメータの修正が、「P1」を付した矢線（矢印を付した線）で示されている。

【0086】

30

ステップS81の答が肯定（YES）、すなわち $a2' \geq XIDA2L$ であるときは、修正モデルパラメータa2はモデルパラメータa2'に設定される（ステップS83）。ステップS84及びステップS85では、モデルパラメータa1'が、所定a1下限値XIDA1Lと所定a1上限値XIDA1Hで定まる範囲内にあるか否かを判別する。所定a1下限値XIDA1Lは、-2以上且つ0より小さい値に設定され、所定a1上限値XIDA1Hは、例えば2に設定される。

【0087】

ステップS84及びS85の答がいずれも肯定（YES）であるとき、すなわち $XIDA1L \leq a1' \leq XIDA1H$ であるときは、修正モデルパラメータa1はモデルパラメータa1'に設定される（ステップS88）。

40

一方 $a1' < XIDA1L$ であるときは、修正モデルパラメータa1を下限値XIDA1Lに設定するとともに、a1安定化フラグFA1STABを「1」に設定する（ステップS84, S86）。また $a1' > XIDA1H$ であるときは、修正モデルパラメータa1を上限値XIDA1Hに設定するとともに、a1安定化フラグFA1STABを「1」に設定する（ステップS85, S87）。a1安定化フラグFA1STABは、「1」に設定されると、修正モデルパラメータa1を下限値XIDA1Lまたは上限値XIDA1Hに設定したことを示す。図18においては、ステップS84～S87のリミット処理P2によるモデルパラメータの修正が、「P2」を付した矢線で示されている。

【0088】

ステップS90では、修正モデルパラメータa1の絶対値と修正モデルパラメータa2の

50

和が、所定安定判定値 $XA2STAB$ 以下であるか否かを判別する。所定安定判定値 $XA2STAB$ は、「1」に近く「1」より小さい値（例えば 0.99）に設定される。

【0089】

図18に示す直線 $L1$ 及び $L2$ は、下記式 (45) を満たす直線である。

$$a2 + |a1| = XA2STAB \quad (45)$$

したがって、ステップ $S90$ は、修正モデルパラメータ $a1$ 及び $a2$ の組み合わせが、図18に示す直線 $L1$ 及び $L2$ の線上またはその下側にあるか否かを判別している。ステップ $S90$ の答が肯定 (YES) であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ 及び $a2$ の組み合わせは、図18の安定領域内にあるので、直ちに本処理を終了する。

【0090】

一方ステップ $S90$ の答が否定 (NO) であるときは、修正モデルパラメータ $a1$ が、所定安定判定値 $XA2STAB$ から所定 $a2$ 下限値 $XIDA2L$ を減算した値 ($XIDA2L < 0$ であるので、 $XA2STAB - XIDA2L > XA2STAB$ が成立する) 以下か否かを判別する (ステップ $S91$)。そして修正モデルパラメータ $a1$ が ($XA2STAB - XIDA2L$) 以下であるときは、修正モデルパラメータ $a2$ を ($XA2STAB - |a1|$) に設定するとともに、 $a2$ 安定化フラグ $FA2STAB$ を「1」に設定する (ステップ $S92$)。

【0091】

ステップ $S91$ で修正モデルパラメータ $a1$ が ($XA2STAB - XIDA2L$) より大きいときは、修正モデルパラメータ $a1$ を ($XA2STAB - XIDA2L$) に設定し、修正モデルパラメータ $a2$ を所定 $a2$ 下限値 $XIDA2L$ に設定するとともに、 $a1$ 安定化フラグ $FA1STAB$ 及び $a2$ 安定化フラグ $FA2STAB$ をともに「1」に設定する (ステップ $S93$)。

【0092】

図18においては、ステップ $S91$ 及び $S92$ のリミット処理 $P3$ によるモデルパラメータの修正が、「 $P3$ 」を付した矢線で示されており、またステップ $S91$ 及び $S93$ のリミット処理 $P4$ によるモデルパラメータの修正が、「 $P4$ 」を付した矢線で示されている。

以上のように図17の処理により、モデルパラメータ $a1'$ 及び $a2'$ が図18に示す安定領域内に入るようにリミット処理が実行され、修正モデルパラメータ $a1$ 及び $a2$ が算出される。

【0093】

図19は、図16のステップ $S73$ で実行される $b1'$ のリミット処理のフローチャートである。

ステップ $S101$ 及び $S102$ では、モデルパラメータ $b1'$ が、所定 $b1$ 下限値 $XIDB1L$ と所定 $b1$ 上限値 $XIDB1H$ できまる範囲内にあるか否かを判別する。所定 $b1$ 下限値 $XIDB1L$ は、正の所定値（例えば 0.1）に設定され、所定 $b1$ 上限値 $XIDB1H$ は、例えば「1」に設定される。

【0094】

ステップ $S101$ 及び $S102$ の答がいずれも肯定 (YES) であるとき、すなわち $XIDB1L \leq b1' \leq XIDB1H$ であるときは、修正モデルパラメータ $b1$ はモデルパラメータ $b1'$ に設定される (ステップ $S105$)。

一方 $b1' < XIDB1L$ であるときは、修正モデルパラメータ $b1$ を下限値 $XIDB1L$ に設定するとともに、 $b1$ リミットフラグ $FB1LMT$ を「1」に設定する (ステップ $S101$, $S104$)。また $b1' > XIDB1H$ であるときは、修正モデルパラメータ $b1$ を上限値 $XIDB1H$ に設定するとともに、 $b1$ リミットフラグ $FB1LMT$ を「1」に設定する (ステップ $S102$, $S103$)。 $b1$ リミットフラグ $FB1LMT$ は、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ $b1$ を下限値 $XIDB1L$ または上限値 $XIDB1H$ に設定したことを示す。

【0095】

10

20

30

40

50

図20は、図16のステップS74で実行されるモデルパラメータ c_1 'のリミット処理のフローチャートである。

ステップS111及びS112では、モデルパラメータ c_1 'が、所定 c_1 下限値 $XIDC1L$ と所定 c_1 上限値 $XIDC1H$ で定まる範囲内にあるか否かを判別する。所定 c_1 下限値 $XIDC1L$ は、例えば-60に設定され、所定 c_1 上限値 $XIDC1H$ は、例えば60に設定される。

【0096】

ステップS111及びS112の答がいずれも肯定(YES)であるとき、すなわち $XIDC1L \leq c_1' \leq XIDC1H$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 はモデルパラメータ c_1' に設定される(ステップS115)。

10

一方 $c_1' < XIDC1L$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 を下限値 $XIDC1L$ に設定するとともに、 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ を「1」に設定する(ステップS111, S114)。また $c_1' > XIDC1H$ であるときは、修正モデルパラメータ c_1 を上限値 $XIDC1H$ に設定するとともに、 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ を「1」に設定する(ステップS112, S113)。 c_1 リミットフラグ $FC1LMT$ は、「1」に設定されると、修正モデルパラメータ c_1 を下限値 $XIDC1L$ または上限値 $XIDC1H$ に設定したことを示す。

【0097】

図21は、図9のステップS13で実行される状態予測器の演算処理のフローチャートである。

20

ステップS121では、マトリクス演算を実行して前記式(35)の行列要素 α_1 , α_2 , $\beta_1 \sim \beta_2$ 、及び $\gamma_1 \sim \gamma_d$ を算出する。

ステップS122では、式(35)により、予測偏差量 $PREDTH(k)$ を算出する。

【0098】

図22は、図9のステップS14で実行される、スロットル弁駆動装置10への制御入力 $Us_1 (=DUT)$ を算出する処理のフローチャートである。

ステップS201では、図23に示す予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理を実行し、ステップS202では、図26に示す予測切換関数値 σ_{pre} の積算値の演算処理を実行する。ステップS203では、前記式(9)により、等価制御入力 U_{eq} を算出する。ステップS204では、図27に示す到達則入力 U_{rch} の演算処理を実行し、ステップS205では、図28に示す適応則入力 U_{adp} の演算処理を実行する。

30

【0099】

ステップS206では、後述する図29の処理で設定される安定判別フラグ $FSMCSTAB$ が「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグ $FSMCSTAB$ は、「1」に設定されると、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっていることを示す。

【0100】

ステップS206で $FSMCSTAB=0$ であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、ステップS203~S205で算出された制御入力 U_{eq} , U_{rch} 及び U_{adp} を加算することにより、制御入力 Us_1 を算出する(ステップS207)。

40

【0101】

一方 $FSMCSTAB=1$ であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} の和を、制御入力 Us_1 として算出する。すなわち、等価制御入力 U_{eq} を、制御入力 Us_1 の算出に使用しないようにする。これにより、制御系が不安定化することを防止することができる。

【0102】

続くステップS209及びS210では、算出した制御入力 Us_1 が所定上下限值 $XUSLH$ 及び $XUSLL$ の範囲内にあるか否かを判別し、制御入力 Us_1 が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、制御入力 Us_1 が所定下限値 XUS

50

LL以下であるときは、制御入力 U_{s1} を所定下限値 X_{USLL} に設定し（ステップS209, S212）、制御入力 U_{s1} が所定上限値 X_{USLH} 以上であるときは、制御入力 U_{s1} を所定上限値 X_{USLH} に設定する（ステップS210, S211）。

【0103】

図23は、図22のステップS201で実行される予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理のフローチャートである。

ステップS221では、図24に示す切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ の演算処理を実行し、次いで前記式(36)により、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ の演算を実行する（ステップS222）。

【0104】

続くステップS223及びS224では、算出した予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ が所定上下限値 X_{SGMH} 及び X_{SGML} の範囲内にあるか否かを判別し、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ が所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ が所定下限値 X_{SGML} 以下であるときは、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ を所定下限値 X_{SGML} に設定し（ステップS223, S225）、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ が所定上限値 X_{SGMH} 以上であるときは、予測切換関数値 $\sigma_{pre}(k)$ を所定上限値 X_{SGMH} に設定する（ステップS224, S226）。

【0105】

図24は、図23のステップS221で実行される切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ の演算処理のフローチャートである。

ステップS231では、安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ が「1」であるか否かを判別し、 $F_{SMCSTAB}=1$ であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となっているときは、切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ を安定化所定値 $X_{POL ESTB}$ に設定する（ステップS232）。安定化所定値 $X_{POL ESTB}$ は、「-1」より大きく「-1」に非常に近い値（例えば-0.999）に設定される。

【0106】

$F_{SMCSTAB}=0$ であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、下記式(46)により目標値 $DTHR(k)$ の変化量 $DDTHR(k)$ を算出する（ステップS233）。

$$DDTHR(k) = DTHR(k) - DTHR(k-1) \quad (46)$$

ステップS234では、スロットル弁開度偏差量 DTH 及びステップS233で算出される目標値の変化量 $DDTHR$ に応じて $V_{POL E}$ マップを検索し、切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ を算出する。 $V_{POL E}$ マップは、図25(a)に示すように、スロットル弁開度偏差量 DTH が0近傍の値をとるとき（スロットル弁開度 TH がデフォルト開度 TH_{DEF} 近傍の値をとるとき）増加し、0近傍以外の値ではスロットル弁開度偏差量 DTH の変化に対してはほぼ一定の値となるように設定されている。また $V_{POL E}$ マップは、同図(b)に実線で示すように、目標値の変化量 $DDTHR$ が増加するほど、 $V_{POL E}$ 値が増加するように設定されているが、スロットル弁開度偏差量 DTH が0近傍の値をとるときには、同図に破線で示すように目標値の変化量 $DDTHR$ が0近傍の値をとるときに増加するように設定されている。

【0107】

すなわち、スロットル弁開度の目標値 $DTHR$ が減少方向の変化が大きいときには、切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ は比較的小さな値に設定される。これにより、スロットル弁3がスロットル全閉ストッパに衝突することを防止することができる。また、デフォルト開度 TH_{DEF} 近傍においては、切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ が比較的大きな値に設定され、デフォルト開度 TH_{DEF} 近傍における制御性を向上させることができる。

【0108】

なお、同図(c)に示すように、スロットル弁開度 TH が全閉開度近傍または全開開度近傍にあるときは、切換関数設定パラメータ $V_{POL E}$ を減少させるように設定してもよい。これにより、スロットル弁開度 TH が全閉開度近傍または全開開度近傍にあるときは、

10

20

30

40

50

目標開度THRに対する追従速度が遅くなり、スロットル弁3の全閉ストップ（全開開度でもストップとして機能する）への衝突防止をより確実にすることができる。

【0109】

続くステップS235及びS236では、算出した切換関数設定パラメータVPOLEが所定上下限值XPOLEH及びXPOLELの範囲内にあるか否かを判別し、切換関数設定パラメータVPOLEが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、切換関数設定パラメータVPOLEが所定下限値XPOLEL以下であるときは、切換関数設定パラメータVPOLEを所定下限値XPOLELに設定し（ステップS236, S238）、切換関数設定パラメータVPOLEが所定上限値XPOLEH以上であるときは、切換関数設定パラメータVPOLEを所定上限値XPOLEHに設定する（ステップS235, S237）。 10

【0110】

図26は、図22のステップS202で実行される、予測切換関数値 σ_{pre} の積算値SUMSIGMAを算出する処理のフローチャートである。積算値SUMSIGMAは、後述する図28の処理で適応則入力Uadpの算出に使用される（前記式(11a)参照）。

【0111】

ステップS241では、下記式(47)により、積算値SUMSIGMAを算出する。下記式の ΔT は、演算の実行周期である。

$$SUMSIGMA(k) = SUMSIGMA(k-1) + \sigma_{pre} \times \Delta T \quad (47) \quad 20$$

続くステップS242及びS243では、算出した積算値SUMSIGMAが所定上下限值XSUMSH及びXSUMSLの範囲内にあるか否かを判別し、積算値SUMSIGMAが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、積算値SUMSIGMAが所定下限値XSUMSL以下であるときは、積算値SUMSIGMAを所定下限値XSUMSLに設定し（ステップS242, S244）、積算値SUMSIGMAが所定上限値XSUMSH以上であるときは、積算値SUMSIGMAを所定上限値XSUMSHに設定する（ステップS243, S245）。

【0112】

図27は、図22のステップS204で実行される到達則入力Urchの演算処理のフローチャートである。 30

ステップS261では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグFSMCSTABが「0」であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、制御ゲインFを所定通常ゲインXKRCHに設定し（ステップS262）、下記式(48)（前記式(10a)と同一の式）により、到達則入力Urchを算出する（ステップS263）。

$$Urch = -F \times \sigma_{pre} / b1 \quad (48)$$

【0113】

一方安定判別フラグFSMCSTABが「1」であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインFを、所定安定化ゲインXKRCHSTBに設定し（ステップS264）、モデルパラメータb1を使わない下記式(49)により到達則入力Urchを算出する（ステップS265）。 40

$$Urch = -F \times \sigma_{pre} \quad (49)$$

【0114】

続くステップS266及びS267では、算出した到達則入力Urchが所定上下限值XURCHH及びXURCHLの範囲内にあるか否かを判別し、到達則入力Urchが所定上下限値の範囲内にあるときは、直ちに本処理を終了する。一方、到達則入力Urchが所定下限値XURCHL以下であるときは、到達則入力Urchを所定下限値XURCHLに設定し（ステップS266, S268）、到達則入力Urchが所定上限値XURCHH以上であるときは、到達則入力Urchを所定上限値XURCHHに設定する（ステップS267, S269）。 50

【0115】

このように適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインFを所定安定化ゲインXKRCHSTBに設定するとともに、モデルパラメータb1を使用しないで到達則入力Urchを算出することにより、適応スライディングモードコントローラ21を安定な状態に戻すことができる。モデルパラメータ同定器22による同定が不安定となった場合に、適応スライディングモードコントローラ21が不安定となるので、不安定となったモデルパラメータb1を使わないことによって、適応スライディングモードコントローラ21を安定化することができる。

【0116】

図28は、図22のステップS205で実行される適応則入力Uadpの演算処理のフローチャートである。 10

ステップS271では、安定判別フラグFSMCSTABが「1」であるか否かを判別する。安定判別フラグFSMCSTABが「0」であって適応スライディングモードコントローラ21が安定であるときは、制御ゲインGを所定通常ゲインXKADPに設定し（ステップS272）、下記式（50）（前記式（11a）に対応する式）により、適応則入力Uadpを算出する（ステップS273）。

$$Uadp = -G \times SUMSIGMA / b1 \quad (50)$$

【0117】

一方安定判別フラグFSMCSTABが「1」であって適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインGを、所定安定化ゲインXKADPSTBに設定し（ステップS274）、モデルパラメータb1を使わない下記式（51）により適応則入力Uadpを算出する（ステップS275）。 20

$$Uadp = -G \times SUMSIGMA \quad (51)$$

【0118】

このように適応スライディングモードコントローラ21が不安定となったときは、制御ゲインGを所定安定化ゲインXKADPSTBに設定するとともに、モデルパラメータb1を使用しないで適応則入力Uadpを算出することにより、適応スライディングモードコントローラ21を安定な状態に戻すことができる。

【0119】

図29は、図9のステップS16で実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。この処理では、リアプノフ関数の微分項に基づく安定判別を行い、安定判別フラグFSMCSTABの設定を行う。 30

【0120】

ステップS281では下記式（52）により、切換関数変化量Dσpreを算出し、次いで下記式（53）により、安定性判別パラメータSGMSTABを算出する（ステップS282）。

$$D\sigma pre = \sigma pre(k) - \sigma pre(k-1) \quad (52)$$

$$SGMSTAB = D\sigma pre \times \sigma pre(k) \quad (53)$$

ステップS283では、安定性判別パラメータSGMSTABが安定性判定閾値XSGMSTAB以下か否かを判別し、SGMSTAB > XSGMSTABであるときは、コントローラ21が不安定である可能性があるとして不安定検知カウンタCNTSMCSTを「1」だけインクリメントする（ステップS285）。また、SGMSTAB ≤ XSGMSTABであるときは、コントローラ21が安定であると判定して不安定検知カウンタCNTSMCSTのカウンタ値をインクリメントすることなく保持する（ステップS284）。 40

【0121】

ステップS286では、不安定検知カウンタCNTSMCSTの値が所定カウンタ値XSSTAB以下か否かを判別する。CNTSMCST ≤ XSSTABであるときは、コントローラ21は安定していると判定し、第1判定フラグFSMCSTAB1を「0」に設定する（ステップS287）。一方CNTSMCST > XSSTABであるときは、コント 50

ローラ 21 は不安定となっていると判定し、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 を「1」に設定する（ステップ S 2 8 8）。なお、不安定検知カウンタ C N T S M C S T は、イグニッションスイッチオン時にそのカウント値が「0」に初期化される。

【0122】

続くステップ S 2 8 9 では、安定判別期間カウンタ C N T J U D S T を「1」だけデクリメントし、次いでその安定判別期間カウンタ C N T J U D S T の値が「0」であるか否かを判別する（ステップ S 2 9 0）。安定判別期間カウンタ C N T J U D S T は、イグニッションスイッチオン時に所定判別カウント値 X C J U D S T に初期化される。したがって、最初はステップ S 2 9 0 の答は否定（NO）となり、直ちにステップ S 2 9 5 に進む。

【0123】

その後安定判別期間カウンタ C N T J U D S T が「0」となると、ステップ S 2 9 0 からステップ S 2 9 1 に進み、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「1」であるか否かを判別する。そして、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「0」であるときは、第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 を「0」に設定し（ステップ S 2 9 3）、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「1」であるときは、第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 を「1」に設定する（ステップ S 2 9 2）。

【0124】

続くステップ S 2 9 4 では、安定判別期間カウンタ C N T J U D S T の値を所定判別カウント値 X C J U D S T に設定するとともに、不安定検知カウンタ C N T S M C S T の値を「0」に設定し、ステップ S 2 9 5 に進む。

ステップ S 2 9 5 では、安定判別フラグ F S M C S T A B を、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 と第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 の論理和に設定する。第 2 判定フラグ F S M C S T A B 2 は、ステップ S 2 8 6 の答が肯定（YES）となり、第 1 判定フラグ F S M C S T A B 1 が「0」に設定されても、安定判別期間カウンタ C N T J U D S T の値が「0」となるまでは、「1」に維持される。したがって、安定判別フラグ F S M C S T A B も、安定判別期間カウンタ C N T J U D S T の値が「0」となるまでは、「1」に維持される。

【0125】

図 30 は、図 9 のステップ S 1 7 で実行されるデフォルト開度ずれ t h d e f a d p の算出処理のフローチャートである。

ステップ S 2 5 1 では、下記式（54）により、ゲイン係数 K P T H（k）を算出する。

$$K P T H(k) = P T H(k-1) / (1 + P T H(k-1)) \quad (54)$$

【0126】

ここで P T H(k-1) は、本処理の前回実行時にステップ S 2 5 3 で算出されたゲインパラメータである。

ステップ S 2 5 2 では、図 11 に示すモデルパラメータ同定器演算処理で算出されるモデルパラメータ c_1' 及びステップ S 2 5 1 で算出したゲイン係数 K P T H(k) を下記式（55）に適用し、デフォルト開度ずれ t h d e f a d p(k) を算出する。

$$\begin{aligned} t h d e f a d p(k) = & t h d e f a d p(k-1) \\ & + K P T H(k) \times (c_1' - t h d e f a d p(k-1)) \end{aligned} \quad (55)$$

【0127】

ステップ S 2 5 3 では、下記式（56）によりゲインパラメータ P T H（k）を算出する。

$$\begin{aligned} P T H(k) = & (1 - P T H(k-1) / (X D E F A D P W + P T H(k-1))) \\ & \times P T H(k-1) / X D E F A D P W \end{aligned} \quad (56)$$

式（56）は、前記式（39）において λ_1' 及び λ_2' を、それぞれ所定値 X D E F A

10

20

30

40

50

D P W及び「1」に設定したものである。

【0128】

図30の処理により、モデルパラメータ $c1'$ が逐次型重み付き最小2乗法により統計処理され、デフォルト開度 $thdefdp$ が算出される。

本実施形態では、スロットル弁駆動装置10及びECU7の一部（モータ6に駆動電流を供給する出力回路）がプラントに相当し、図22の処理が制御手段に相当し、図11の処理が同定手段に相当し、図12の処理が同定誤差算出手段に相当し、図14の処理が同定誤差修正手段に相当し、図11のステップS34がモデルパラメータベクトル算出手段に相当し、図16の処理が制限手段に相当する。

【0129】

（第2の実施形態）

上述した第1の実施形態では、制御対象モデルをむだ時間 d を含む式(1)を用いて定義し、状態予測器23を用いて、むだ時間 d 経過後の予測偏差量 $PREDTH$ を算出することにより、むだ時間を含む制御対象モデルの制御を行っている。そのため、状態予測器23に対応した演算をCPUで実行する必要がある、CPUの演算量が大きくなる。そこで、本実施形態では、CPUに加わる演算負荷の軽減を図るべく、むだ時間 d を「0」とした下記式(1a)により制御対象モデルを定義し、むだ時間 d を「0」とすることに起因するモデル化誤差は、適応スライディングモード制御のロバスト性によって補償している。

$$DTH(k+1) = a1 \times DTH(k) + a2 \times DTH(k-1) + b1 \times DUT(k) + c1 \quad (1a)$$

【0130】

CPUの演算負荷をさらに軽減するために、モデルパラメータの同定アルゴリズムとして、固定ゲインアルゴリズムを採用している。

また、より一層の制御の安定化を図るべく、モデルパラメータのドリフトを防止する手法として、不感帯処理に代わる他の手法を採用している。

以下本実施形態を、第1の実施形態と異なる点を中心として詳細に説明する。以下に述べる点以外は、第1の実施形態と同一である。

【0131】

図31は、ECU7により実現されるスロットル弁制御装置の機能ブロック図であり、この制御装置は、適応スライディングモードコントローラ21aと、モデルパラメータ同定器22aと、モデルパラメータスケジューラ25と、アクセルペダル踏み込み量ACCに応じてスロットル弁3の目標開度THRを設定する目標開度設定部24とからなる。

【0132】

適応スライディングモードコントローラ21aには、予測偏差量 $PREDTH$ ではなく、検出したスロットル弁開度THが入力され、このスロットル弁開度THが目標開度THRと一致するように、適応スライディングモード制御によりデューティ比DUTが算出される。

【0133】

適応スライディングモードコントローラ21aを用いることにより、第1の実施形態で説明した効果と同様の効果が得られ、また制御対象のむだ時間に対する制御系のロバスト性を確保することができる。したがって、むだ時間 d を「0」とすることに起因するモデル化誤差を補償することができる。

【0134】

モデルパラメータ同定器22aは、第1の実施形態とは異なる手法で、修正モデルパラメータベクトル θL ($\theta L^T = [a1, a2, b1, c1]$)を算出し、適応スライディングモードコントローラ21aに供給する。より具体的には、モデルパラメータ同定器22aは、モデルパラメータスケジューラ25から供給される基準モデルパラメータベクトル $\theta base$ を、スロットル弁開度TH及びデューティ比DUTに基づいて補正することに

10

20

30

40

50

より、モデルパラメータベクトル θ を算出する。さらに、そのモデルパラメータベクトル θ に対してリミット処理を行うことにより修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、該修正モデルパラメータベクトル θ_L を適応スライディングモードコントローラ 21a に供給する。このようにしてスロットル弁開度 TH を目標開度 THR に追従させるために最適なモデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 が得られ、さらに外乱及びデフォルト開度 TH_{DEF} のずれを示すモデルパラメータ c_1 が得られる。

【0135】

モデルパラメータスケジューラ 25 は、スロットル弁開度 TH に基づいて、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} ($\theta_{base}^T = [a_1_{base}, a_2_{base}, b_1_{base}, c_1_{base}]$) を算出し、モデルパラメータ同定器 22a に供給する。

10

【0136】

本実施形態では、前記式 (1a) により制御対象モデルを定義しているので、適応スライディングモードコントローラ 21a は、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 U_{rch} 及び適応則入力 U_{adp} を、前記式 (9a), (10a), (11a) に代えて、下記式 (9b), (10b), (11b) により算出する。

【数11】

$$\begin{aligned} DUT(k) &= \frac{1}{b_1} \{ (1 - a_1 - VPOLE) DTH(k) + (VPOLE - a_2) DTH(k-1) \\ &\quad - c_1 + DTHR(k+1) + (VPOLE - 1) DTHR(k) \\ &\quad - VPOLE \times DTHR(k-1) \} \\ &= U_{eq}(k) \end{aligned} \quad (9b)$$

20

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{b_1} \sigma(k) \quad (10b)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{b_1} \sum_{i=0}^k \Delta T \sigma(i) \quad (11b)$$

30

【0137】

式 (9b) ~ (11b) は、前記式 (9) ~ (11) のむだ時間 d を「0」とすることにより得られる。

モデルパラメータ同定器 22a は、前述したように制御対象の入力 ($DUT(k)$) 及び出力 ($TH(k)$) に基づいて、制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを算出する。具体的には、モデルパラメータ同定器 22a は、下記式 (15) (再掲) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する。

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) ide(k) \quad (15)$$

【0138】

40

式 (15) の同定誤差 $ide(k)$ は、下記式 (17) (再掲)、(18) (再掲) 及び (19a) により定義される。式 (19a) は、前記式 (19) のむだ時間 d を「0」としたものである。ゲイン係数ベクトル $KP(k)$ は、下記式 (20) (再掲) により定義され、式 (20) の正方行列 $P(k)$ は、下記式 (21) (再掲) により算出される

【数12】

$$i d e(k) = DTH(k) - DTHHAT(k) \quad (17)$$

$$DTHHAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad (18)$$

$$\zeta(k)^T = [DTH(k-1), DTH(k-2), DUT(k-1), 1] \quad (19a)$$

【数 1 3】

10

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta^T(k) P(k) \zeta(k)} \quad (20)$$

$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(1 - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta^T(k)}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta^T(k) P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad (21)$$

(1 は単位行列)

20

【 0 1 3 9】

本実施形態では、第 1 の実施形態と同様に下記要求 B 1 ～ B 3 を満たすことに加えて、さらに下記要求 B 4 及び B 5 を満たすことが求められる。

B 1) 準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応

「準静的動特性変化」とは、例えば電源電圧の変動やハードウェアの経年劣化といった変化速度の遅い特性変化である。

B 2) 動的な動特性変化への適応

具体的には、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性変化への適応を意味する。

B 3) モデルパラメータのドリフト防止

モデルパラメータに反映すべきでない制御対象の非線形特性などに起因する同定誤差の影響によって、モデルパラメータの絶対値が増大するような不具合を防止する。 30

B 4) ECU の演算能力とマッチング

具体的には、演算量をより低減させることが求められる。

B 5) モデルパラメータ（制御性能）の安定化

具体的は、同定されるモデルパラメータのばらつきを極力抑制することが求められる。

【 0 1 4 0】

先ず要求 B 4 を満たすために、係数 λ_1 及び λ_2 をそれぞれ 1, 0 に設定することにより、固定ゲインアルゴリズムを採用する。これによって、正方行列 $P(k)$ は一定となるため、式 (21) の演算を省略することができ、演算量を大幅に低減できる。

【 0 1 4 1】

40

すなわち固定ゲインアルゴリズムを採用すると、式 (20) は、下記式 (20a) のように簡略化される。式 (20a) において P は、定数を対角要素とする正方行列である。

【数 1 4】

$$KP(k) = \frac{P \zeta(k)}{1 + \zeta^T(k) P \zeta(k)} \quad (20a)$$

このように簡略化されたアルゴリズムによれば、演算量を削減できる。しかし、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する式 (15) は、下記式 (15b) のように書き直す 50

ことができ、同定誤差 $i d e(k)$ の積分構造を有するため、モデルパラメータのドリフトが起き易い。

$$\theta(k) = \theta(0) + KP(1) i d e(1) + KP(2) i d e(2) + \dots + KP(k) i d e(k) \quad (15b)$$

ここで、 $\theta(0)$ は、モデルパラメータの初期値を要素とする初期値ベクトルである。

【0142】

そこで本実施形態では、このようなモデルパラメータのドリフトを防止するために、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を上記式 (15b) に代えて、下記式 (15c) により、算出するようにした。

$$\begin{aligned} \theta(k) = & \theta(0) + DELTA^{k-1} \times KP(1) i d e(1) \\ & + DELTA^{k-2} \times KP(2) i d e(2) + \dots \\ & + DELTA \times KP(k-1) i d e(k-1) + KP(k) i d e(k) \end{aligned} \quad (15c)$$

ここで、 $DELTA$ は下記式で示すように、忘却係数 $DELTA_i$ ($i = 1 \sim 4$) を要素とする忘却係数ベクトルである。

$$DELTA = [DELTA_1, DELTA_2, DELTA_3, DELTA_4]$$

【0143】

忘却係数 $DELTA_i$ は、0 から 1 の間の値に設定され ($0 < DELTA_i < 1$)、過去の同定誤差の影響を徐々に減少させる機能を有する。ただし、モデルパラメータ b_1 の演算に係る係数 $DELTA_3$ またはモデルパラメータ c_1 の演算にかかる係数 $DELTA_4$ の何れか一方は、「1」として、実質的に忘却係数が乗算されないようにする。このように、忘却係数ベクトル $DELTA$ の要素の一部を「1」とすることにより、目標値 DTH_R と、スロットル弁開度偏差量 DTH との定常偏差が発生することを防止することができる。なお、係数 $DELTA_3$ 及び $DELTA_4$ をともに「1」とすると、モデルパラメータのドリフト防止効果が不十分となるので、何れか一方のみを「1」とすることが望ましい。

【0144】

式 (15c) を漸化式形式に書き直すと、下記式 (15d) (15e) が得られる。前記式 (15) に代えて下記式 (15d) 及び (15e) を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する手法を、以下 δ 修正法といい、式 (15e) で定義される $d\theta(k)$ を「更新ベクトル」という。

$$\theta(k) = \theta(0) + d\theta(k) \quad (15d)$$

$$d\theta(k) = DELTA \times d\theta(k-1) + KP(k) i d e(k) \quad (15e)$$

【0145】

δ 修正法を用いたアルゴリズムによれば、上記要求 B3 を満たすドリフト防止効果とともに、上記要求 B5 を満たすモデルパラメータの安定化効果も得られる。すなわち、初期値ベクトル $\theta(0)$ が常に保存され、更新ベクトル $d\theta(k)$ も忘却係数ベクトル $DELTA$ の働きにより、その要素のとりうる値が制限されるので、各モデルパラメータを初期値近傍に安定させることができる。

【0146】

さらに実際の制御対象の入出力データに基づいた同定により更新ベクトル $d\theta(k)$ を調整しつつモデルパラメータを算出するので、実際の制御対象に適合したモデルパラメータを算出でき、上記要求 B1 も満たされる。

次に要求 B2 を満たすべく、本実施形態では上記式 (15d) の初期値ベクトル $\theta(0)$ に代えて、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} を用いる下記式 (15f) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出することとした。

$$\theta(k) = \theta_{base} + d\theta(k) \quad (15f)$$

【0147】

基準モデルパラメータベクトル θ_{base} は、モデルパラメータスケジューラ 25 によりスロットル弁開度偏差量 $DTH (= TH - THDEF)$ に応じて設定されるので、スロットル弁開度 TH の変化に対応する動特性の変化に適応させることができ、上記要求 B2 を満たすことができる。

【0148】

以上のように本実施形態では、固定ゲインアルゴリズムを採用することにより、ECU の演算量の低減を図り（要求 B4）、 δ 修正法を用いたアルゴリズムを採用することにより、準静的動特性変化及びハードウェアの特性ばらつきに対する適応（要求 B1）、モデルパラメータ（制御性能）の安定化（要求 B5）、及びモデルパラメータのドリフト防止（要求 B3）を実現し、モデルパラメータスケジューラ 25 を採用することにより、スロットル弁開度 TH の変化に対応した動特性変化への適応（要求 B2）を実現している。

【0149】

なお、式 (15f) により算出されるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の各要素 $a1'$ 、 $a2'$ 、 $b1'$ 及び $c1'$ についてリミット処理を施し、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ ($\theta_L(k)^T = [a1, a2, b1, c1]$) を算出する点は、第 1 の実施形態と同様である。

【0150】

また、モデルパラメータ $c1'$ を統計処理し、その変動の中心値をデフォルト開度ずれ $thdefadp$ として算出し、下記式 (41) (42) (再掲) によりスロットル弁開度偏差量 DTH 及び目標値 $DTHR$ を算出する点も、第 1 の実施形態と同様である。

$$DTH(k) = TH(k) - THDEF + thdefadp \quad (41)$$

$$DTHR(k) = THR(k) - THDEF + thdefadp \quad (42)$$

【0151】

次に上述した適応スライディングモードコントローラ 21a、モデルパラメータ同定器 22a 及びモデルパラメータスケジューラ 25 の機能を実現するための、ECU7 の CPU における演算処理を説明する。

【0152】

図 32 は、スロットル弁開度制御の全体フローチャートである。この処理は、図 9 に示すスロットル弁開度制御処理のステップ S13（状態予測器の演算）を削除し、ステップ S12、S14 及び S16 を、それぞれステップ S12a、14a 及び 16a に変更したものである。

【0153】

ステップ S12a では、図 33 に示すモデルパラメータ同定器の演算、すなわち前記式 (15f) によるモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の算出処理を実行し、さらにリミット処理を実行して修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を算出する。

【0154】

ステップ S14a では、修正モデルパラメータベクトル $\theta_L(k)$ を用いて、図 36 に示す制御入力 $U_{sl}(k)$ の演算処理を実行する。すなわち、前記式 (9b) (10b) (11b) により、等価制御入力 U_{eq} 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ 及び適応則入力 $U_{adp}(k)$ を算出し、それらの入力の総和として、制御入力 $U_{sl}(k)$ (= デューティ比 $DUT(k)$) を算出する。

【0155】

ステップ S16a では、図 41 に示すスライディングモードコントローラの安定判別処理を実行する。すなわち、予測切換閾数値 σ_{pre} に代えて、切換閾数値 σ を用いてスライディングモードコントローラの安定性判別を行い、安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ の設定を行う。この安定判別フラグ $F_{SMCSTAB}$ は、「1」に設定されたときの処理は、第 1 の実施形態と同様である。

【0156】

図 33 は、モデルパラメータ同定器 22a の演算処理のフローチャートである。この処理

は、図 11 に示すモデルパラメータ同定器の演算処理のステップ S 31～S 34 をそれぞれ、ステップ S 31 a～S 34 a に変更し、さらにステップ S 33 b 及び S 33 c を追加したものである。

【0157】

ステップ S 31 a では、式 (20 a) によりゲイン係数ベクトル $K_P(k)$ を算出し、次いで式 (18) 及び (19 a) により推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ を算出する (ステップ S 32 a)。

ステップ S 33 a では、図 35 に示す $ide(k)$ の演算処理を実行し、同定誤差 $ide(k)$ を算出する。ステップ S 33 b では、式 (15 e) により更新ベクトル $d\theta(k)$ を算出し、次いでスロットル弁開度偏差量 DTH に応じて図 34 に示す $\theta base$ テーブルを検索し、基準モデルパラメータベクトル $\theta base$ を算出する (ステップ S 33 c)。10
 $\theta base$ テーブルには、基準モデルパラメータ $a1 base$ 、 $a2 base$ 及び $b1 base$ が設定されている。スロットル弁開度偏差量 DTH が「0」近傍の値をとる (スロットル弁開度 TH が、デフォルト開度 $THDEF$ 近傍である) とき、基準モデルパラメータ $a1 base$ 及び $b1 base$ は減少し、基準モデルパラメータ $a2 base$ は増加するように設定されている。また、基準モデルパラメータ $c1 base$ は、「0」に設定される。

【0158】

ステップ S 34 a では、式 (15 f) によりモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出し、次いで第 1 の実施形態と同様に、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ の安定化処理を実20
 行する (ステップ S 35)。すなわち各モデルパラメータのリミット処理を行って修正モデルパラメータベクトル $\theta L(k)$ を算出する。

【0159】

図 35 は、図 33 のステップ S 33 a で実行される $ide(k)$ 演算処理のフローチャートである。この処理は、図 12 の $ide(k)$ 演算処理のステップ S 56 (不感帯処理) を削除し、ステップ S 51 をステップ S 51 a に変更したものである。すなわち本実施形態では、 δ 修正法により、モデルパラメータのドリフトが防止されるので、不感帯処理は実行しない。

【0160】

また、ステップ S 51 a では、推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ を式 (130
 8) 及び (19 a) により算出し、この推定スロットル弁開度偏差量 $DTHHAT(k)$ を用いて同定誤差 $ide(k)$ を算出する。

本実施形態では、制御対象モデルのむだ時間 d を「0」としているので、ステップ S 52 の所定値 $XCNTIDST$ は、例えば「2」に設定される。

【0161】

図 36 は、図 32 のステップ S 14 a で実行される、スロットル弁駆動装置 10 への制御入力 U_{sl} (= DUT) を算出する処理のフローチャートである。この処理は、図 22 に示す U_{sl} 演算処理のステップ S 201～S 205 を、それぞれステップ S 201 a～S 205 a に変更したものである。

【0162】

ステップ S 201 a では、図 37 に示す切換関数値 σ の演算処理を実行し、ステップ S 202 a では、図 38 に示す切換関数値 σ の積算値の演算処理を実行する。ステップ S 203 a では、前記式 (9 b) により、等価制御入力 U_{eq} を算出する。ステップ S 204 a では、図 39 に示す到達則入力 U_{rch} の演算処理を実行し、ステップ S 205 a では、図 40 に示す適応則入力 U_{adp} の演算処理を実行する。

【0163】

図 37 は、図 36 のステップ S 201 a で実行される切換関数値 σ の演算処理のフローチャートである。この処理は、図 23 に示す予測切換関数値 σ_{pre} の演算処理のステップ S 222～S 226 を、それぞれステップ S 222 a～S 226 a に変更したものである。

【0164】

10

20

30

40

50

ステップS 2 2 2 aでは、前記式(5)により、切換関数値 $\sigma(k)$ を算出する。続くステップS 2 2 3 a～S 2 2 6 aは、図23のステップS 2 2 3～S 2 2 6の「 σ_{pre} 」を「 σ 」に置き換えたものであり、切換関数値 $\sigma(k)$ に対して、図23の処理と同様のリミット処理を行う。

【0165】

図38は、図36のステップS 2 0 2 aで実行される、切換関数値 σ の積算値SUMSIGMAaを算出する処理のフローチャートである。この処理は、図26に示す σ_{pre} の積算値演算処理のステップS 2 4 1～S 2 4 5を、それぞれステップS 2 4 1 a～S 2 4 5 aに変更したものである。積算値SUMSIGMAaは、後述する図40の処理で適応則入力Uadpの算出に使用される(前記式(11b)参照)。

10

【0166】

ステップS 2 4 1 aでは、下記式(47a)により、積算値SUMSIGMAaを算出する。

$$\text{SUMSIGMAa}(k) = \text{SUMSIGMAa}(k-1) + \sigma \times \Delta T \quad (47a)$$

続くステップS 2 4 2 a～S 2 4 5 aでは、算出した積算値SUMSIGMAaに対して、図26の処理と同様のリミット処理を行う。

【0167】

図39は、図36のステップS 2 0 4 aで実行される到達則入力Urchの演算処理のフローチャートである。この処理は、図27に示す到達則入力Urch演算処理のステップS 2 6 3及びS 2 6 5をそれぞれステップS 2 6 3 a及びS 2 6 5 aに変更したものである。

20

【0168】

すなわち、本実施形態では、予測切換関数値 σ_{pre} ではなく、切換関数値 σ を用いて、適応スライディングモードコントローラ21aが安定してときの到達則入力Urchの算出(ステップS 2 6 3 a)、及び適応スライディングモードコントローラ21aが不安定であるときの到達則入力Urchの算出(ステップS 2 6 5 a)を実行する。

【0169】

図40は、図36のステップS 2 0 5 aで実行される適応則入力Uadpの演算処理のフローチャートである。この処理は、図28に示す適応則入力Uadp演算処理のステップS 2 7 3及びS 2 7 5をそれぞれステップS 2 7 3 a及びS 2 7 5 aに変更したものである。

30

【0170】

すなわち、本実施形態では、切換関数値 σ の積算値SUMSIGMAaを用いて、適応スライディングモードコントローラ21aが安定してときの適応則入力Uadpの算出(ステップS 2 7 3 a)、及び適応スライディングモードコントローラ21aが不安定であるときの適応則入力Uadpの算出(ステップS 2 7 5 a)を実行する。

【0171】

図41は、図32のステップS 1 6 aで実行されるスライディングモードコントローラの安定判別処理のフローチャートである。この処理は、図29のステップS 2 8 1及びS 2 8 1をそれぞれステップS 2 8 1 a及びS 2 8 2 aに変更したものである。

40

【0172】

ステップS 2 8 1 aでは下記式(52a)により、切換関数変化量 $D\sigma$ を算出し、ステップS 2 8 2 aでは、下記式(53a)により、安定性判別パラメータSGMSTABを算出する。すなわち、予測切換関数値 σ_{pre} ではなく、切換関数値 σ に基づいて安定性判別を行う。

$$D\sigma = \sigma(k) - \sigma(k-1) \quad (52a)$$

$$\text{SGMSTAB} = D\sigma \times \sigma(k) \quad (53a)$$

【0173】

本実施形態では、スロットル弁駆動装置10及びECU7の一部(モータ6に駆動電流を供給する出力回路)がプラントに相当し、図36の処理が制御手段に相当し、図33の処

50

理が同定手段に相当し、図 3 5 の処理が同定誤差算出手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 3 b が更新ベクトル算出手段及び更新ベクトル修正手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 4 a がモデルパラメータベクトル算出手段に相当し、図 3 3 のステップ S 3 5 が制限手段に相当する。

【0174】

(第 3 の実施形態)

図 4 2 は、本発明の第 3 の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。

この制御系は、制御対象であるプラント 101 と、プラントの出力である混合液の pH (ペーハー) を検出する pH センサ 102 と、pH センサ出力 V1OUT から第 1 基準値 V1BASE を減算する減算器 103 と、制御目標値 V1TARGET を生成する目標値生成部 104 と、第 1 操作量 U1 を決定する操作量決定部 105 と、第 1 操作量 U1 と第 2 基準値 V2BASE とを加算し、第 2 操作量 U2 を出力する加算器 106 とからなる。

10

【0175】

減算器 103、目標値生成部 104、操作量決定部 105 及び加算器 106 は、具体的には CPU、メモリ、入出力回路などからなる電子コントロールユニットにより構成される。

プラント 101 は、第 2 操作量 U2 に応じてアルカリ液の流量を制御する流量制御弁 111 と、流量制御弁 111 を介して供給されるアルカリ液と、酸性液とを攪拌する攪拌器 112 とからなる。プラント 101 は、アルカリ液と酸性液とを攪拌することにより、所望の pH 値の混合液を出力するものである。

20

【0176】

操作量決定部 105 は、プラント 101 をモデル化した制御対象モデルのモデルパラメータベクトルを同定する同定器 121 と、適応スライディングモードコントローラ 122 と、予測器 123 とからなる。同定器 121、適応スライディングモードコントローラ 122、及び予測器 123 は、それぞれ第 1 の実施形態におけるモデルパラメータ同定器 22、適応スライディングモードコントローラ 21、及び状態予測器 23 に対応し、これらと同様の機能を有する。

【0177】

以下本実施形態における構成要素及びパラメータと、第 1 の実施形態における構成要素及びパラメータとの対応関係を説明する。

30

pH センサ 102 は、スロットル弁開度センサ 8 に相当し、pH センサ 102 の出力 V1OUT は、スロットル弁開度 TH に相当する。第 1 目標値 V1BASE は、デフォルト開度 THDEF に相当するものであり、本実施形態では、例えば中性に対応する pH 値とする。したがって、偏差量 DV1 がスロットル弁開度偏差量 DTH に相当する。また目標値生成部 104 が、目標開度設定部 24 に相当し、制御目標値 V1TARGET がスロットル弁開度偏差量の目標値 DTHR に相当する。なお、第 1 の実施形態においては、減算器 103 の機能は、モデルパラメータ同定器 22 及び状態予測器 23 に含まれている。

【0178】

第 2 基準値 V2BASE は、適応スライディングモードコントローラ 122 の出力である第 1 操作量 U1 の中心値をバイアスするために加算されるものである。第 1 の実施形態では加算器 106 に相当する構成要素はなく、したがって第 2 基準値 V2BASE は実質的に「0」とされている(すなわち、 $U1 = U2 = Us1$ である)。本実施形態では、第 2 基準値 V2BASE は、例えば流量制御弁 111 の開度が 50% となるような値に設定される。

40

【0179】

流量制御弁 111 は、デューティ比 DUT のパルス信号でオンオフ制御されるスイッチング素子(ECU7 の出力回路に含まれ、図示及び説明を省略している)に相当し、アルカリ液は電源電圧に相当する。また流量制御弁 111 の出力流量 V2 は、モータ 6 の駆動電流に相当し、攪拌器 112 は、モータ 6 及びスロットル弁 3 の弁体に相当し、酸性液はスロットル弁 3 の弁体に加わる吸気管負圧や、リターンスプリング 4 及び弾性部材 5 の付勢

50

力に相当する。攪拌器 112 から出力されるの混合液の pH 値 V_1 が、実際のスロットル弁開度に相当する。

【0180】

以上のような対応関係があるので、プラント 101 を第 1 の実施形態と同様にモデル化し、同様の制御手法を適用することができる。すなわち、同定器 121 は、第 1 操作量 U_1 及び偏差量 DV_1 に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、予測器 123 は、第 1 操作量 U_1 、偏差量 DV_1 及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、予測偏差量 $PREDV_1$ を算出し、適応スライディングモードコントローラ 122 は、予測偏差量 $PREDV_1$ 及び修正モデルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第 1 の実施形態と同様の演算処理により、予測偏差量 $PREDV_1$ を制御目標値 $V_1TARGET$ に一致させるように、第 1 操作量 U_1 を算出する。したがって、制御目標値 $V_1TARGET$ として、所望の相対 pH 値（第 1 基準値 V_1BASE との偏差量）を設定することにより、プラントの出力 V_1 を所望の pH 値に一致させることができる。

本実施形態では、同定器 121 が同定手段に相当し、同定誤差算出手段、同定誤差修正手段、モデルパラメータベクトル算出手段及び制限手段を含む。

【0181】

（第 3 の実施形態の変形例）

図 43 は、図 42 に示す構成の変形例を示す図である。この変形例では、図 42 のプラント 101 ではなく、プラント 101a が制御対象とされる。プラント 101a は、プラント 101 に、流量制御弁 111 の出力流量 V_2 を検出する流量センサ 113 と、流量センサ出力 V_2OUT が第 2 操作量 U_2 に対応する流量値と一致するように、流量制御弁 111 を制御するフィードバック制御器 114 とを追加して構成されている。

【0182】

このようにローカルフィードバックループを含むプラントに対しても、第 3 の実施形態と同様のモデル化及び同様の制御手法の適用が可能である。

なお第 1 の実施形態では、モータの駆動回路は公知のものであるため、詳細な説明を行っていないが、オンオフ制御されるスイッチング素子の出力電流を検出する電流センサを設け、検出電流値 ID が、操作量 U_{s1} に対応する電流値 IR と一致するようにフィードバック制御を行うようにしてもよく、本変形例は第 1 の実施形態においてそのような回路構成を採用した場合に相当する。

【0183】

（第 4 の実施形態）

図 44 は、本発明の第 4 の実施形態にかかる制御系の構成を示すブロック図である。この制御系は、図 42 の操作量決定部 105 を操作量決定部 105a に代えたものであり、第 2 の実施形態として示した制御系に対応する。なお、以下に説明する以外は第 3 の実施形態と同一である。

【0184】

操作量決定部 105a は、同定器 121a と、適応スライディングモードコントローラ 122a と、パラメータスケジューラ 124 とからなる。

同定器 121a、適応スライディングモードコントローラ 122a 及びパラメータスケジューラ 124 は、それぞれ第 2 の実施形態におけるモデルパラメータ同定器 22a、適応スライディングモードコントローラ 21a 及びモデルパラメータスケジューラ 25 に対応し、これらと同様の機能を有する。

【0185】

すなわち、パラメータスケジューラ 124 は、偏差量 DV_1 に基づいて第 2 の実施形態と同様の演算処理により、基準モデルパラメータベクトル θ_{base} を算出し、同定器 121a は、第 1 操作量 U_1 、偏差量 DV_1 及び基準モデルパラメータベクトル θ_{base} に基づいて第 2 の実施形態と同様の演算処理により、修正モデルパラメータベクトル θ_L を算出し、適応スライディングモードコントローラ 122a は、偏差量 DV_1 及び修正モデ

10

20

30

40

50

ルパラメータベクトル θ_L に基づいて、第 2 の実施形態と同様の演算処理により偏差量 DV_1 を制御目標値 $V_1TARGET$ に一致させるように、第 1 操作量 U_1 を算出する。したがって、制御目標値 $V_1TARGET$ として、所望の相対 pH 値（第 1 基準値 V_1BASE との偏差量）を設定することにより、プラントの出力 V_1 を所望の pH 値に一致させることができる。

【0186】

本実施形態では、同定器 121a が同定手段に相当し、同定誤差算出手段、更新ベクトル算出手段、更新ベクトル修正手段、モデルパラメータベクトル算出手段及び制限手段を含む。

【0187】

10

（第 4 の実施形態の変形例）

図 45 は、図 44 に示す構成の変形例を示す図である。この変形例では、図 44 のプラント 101 ではなく、プラント 101a が制御対象とされる。プラント 101a は、図 43 のプラント 101a と同一である。

このようにローカルフィードバックループを含むプラントに対しても、第 4 の実施形態と同様のモデル化及び同様の制御手法の適用が可能である。

【0188】

（その他の実施形態）

モデルパラメータの同定誤差 $ide(k)$ の算出手法として、 δ 修正法に代えて、以下に述べる ε 修正法を採用してもよい。すなわち、前記式 (15c) に代えて、下記式 (15g) により、モデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出するようにしてもよい。

20

$$\begin{aligned}\theta(k) = & EPS^k \theta(0) \\ & + EPS^{k-1} \times KP(1) ide(1) \\ & + EPS^{k-2} \times KP(2) ide(2) + \dots \\ & + EPS \times KP(k-1) ide(k-1) + KP(k) ide(k)\end{aligned}\quad (15g)$$

ここで、 EPS は下記式で示すように、忘却係数 EPS_i ($i = 1 \sim 4$) を要素とする忘却係数ベクトルである。

30

$$EPS = [EPS_1, EPS_2, EPS_3, EPS_4]$$

【0189】

忘却係数 EPS_1 、 EPS_2 及び EPS_4 は、前記忘却係数 $DELTA_i$ と同様に、0 から 1 の間の値に設定され ($0 < EPS_i < 1$)、過去の同定誤差の影響を徐々に減少させる機能を有する。

【0190】

ただし ε 修正法の場合、モデルパラメータ b_1 の演算に係る係数 EPS_3 は、必ず「1」にする必要がある。これは、以下の理由による。 ε 修正法の場合、同定誤差 $ide(k)$ が小さくなると、モデルパラメータはすべてゼロ近傍の値となる。ところが、モデルパラメータ b_1 は、式 (9b)、(10b)、(11b) の分母に適用されるため、モデルパラメータ b_1 が「0」に近づくと、制御対象への入力 U_{s1} が発散するからである。

40

【0191】

式 (15g) は、初期値ベクトル $\theta(0)$ にも忘却係数ベクトル EPS が乗算されている点で、式 (15c) と異なる。

式 (15g) を漸化式形式に書き直すと、下記式 (15h) が得られる。前記式 (15) に代えて下記式 (15h) を用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出する手法を、 ε 修正法と呼ぶ。

$$\theta(k) = EPS \times \theta(k-1) + KP(k) ide(k) \quad (15h)$$

【0192】

50

ε 修正法によっても、過去の同定誤差 e_{id} の影響が低減されるので、モデルパラメータのドリフトを防止することができる。

また第2の実施形態では、 δ 修正法によりモデルパラメータのドリフトを防止しようとしたが、第1の実施形態と同様に、不感帯処理（図14）により修正同定誤差 $i_{denl}(k)$ を算出し、これを用いてモデルパラメータベクトル $\theta(k)$ を算出するようにしてもよい。

【0193】

また第1の実施形態において、不感帯処理に代えて δ 修正法または ε 修正法を採用してもよい。さらに、第1の実施形態において δ 修正法を採用する場合には、第2の実施形態と同様にモデルパラメータスケジューラを導入し、モデルパラメータスケジューラにより算出される基準モデルパラメータベクトル θ_{base} に更新ベクトルを加算する形式でモデルパラメータベクトル θ を算出することが望ましい。

10

【0194】

【発明の効果】

以上詳述したように請求項1に記載の発明によれば、モデルパラメータベクトルの同定誤差に応じて更新ベクトルが算出され、同定誤差の過去値の影響を減少させるように更新ベクトルが修正され、モデルパラメータの基準ベクトルに修正された更新ベクトルを加算することにより、モデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。またモデルパラメータの基準ベクトルは、前記プラントの動特性変化を示すパラメータに応じて算出されるので、プラントの動特性変化に応じた適切な基準ベクトルが得られる。その結果、特にプラントに非線形要素が含まれる場合でもモデルパラメータを迅速に収束させることができる。

20

【0195】

請求項2に記載の発明によれば、固定ゲインアルゴリズムを用いて更新ベクトルが算出されるので、演算量を低減することができる。

【0196】

請求項3に記載の発明によれば、更新ベクトルの少なくとも1つの要素の過去値に0より大きく1より小さい所定値を乗算することにより、更新ベクトルの修正が行われるので、同定誤差の過去値の影響が減少し、モデルパラメータベクトルのドリフトを防止することができる。

30

【0197】

請求項4に記載の発明によれば、更新ベクトルの、プラントの入力に関わる要素またはプラントの入出力に関わらない要素については、0より大きく1より小さい所定値が乗算されないので、更新ベクトルの修正による定常偏差の発生を防止することができる。

【0200】

請求項5に記載の発明によれば、モデルパラメータの同定誤差が不感帯内にあるときは、同定誤差が減少方向に修正され、該修正された同定誤差を用いてモデルパラメータベクトルが算出され、さらにモデルパラメータベクトルの要素の値が所定リミット範囲内に制限される。したがって、モデルパラメータのドリフトを防止しつつ、制御の安定性をより一層向上させることができる。また前記不感帯は、プラントの出力または制御目標値に応じて設定されるので、モデルパラメータの値に反映させるべき同定誤差を、残留同定誤差として無視してしまうことを防止することができる。

40

【0201】

請求項6に記載の発明によれば、モデルパラメータベクトルの複数の要素が所定の関係を満たすように、複数の要素の値が制限されるので、そのモデルパラメータベクトルを用いる制御の安定性を向上させることができる。

【0202】

請求項7に記載の発明によれば、同定誤差が前記不感帯内にあるときは、同定誤差が0と

50

されるので、モデルパラメータの値に反映されるべきでない同定誤差の影響を無くし、モデルパラメータのドリフト防止効果を高めることができる。

【0203】

請求項8に記載の発明によれば、同定手段により同定されたモデルパラメータを用いて、スロットル弁開度を目標開度に一致させる制御が行われるので、スロットル弁開度の目標開度への制御性を向上させるとともに、スロットル弁開度制御の安定性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態にかかる内燃機関のスロットル弁駆動装置と、その制御装置を示す図である。

10

【図2】図1に示すスロットル弁駆動装置の周波数特性を示す図である。

【図3】図1の電子制御ユニット（ECU）により実現される機能を示す機能ブロック図である。

【図4】スライディングモードコントローラの制御特性と、切換関数設定パラメータ（V P O L E）の値との関係を示す図である。

【図5】スライディングモードコントローラの制御ゲイン（F，G）の設定範囲を示す図である。

【図6】モデルパラメータのドリフトを説明するための図である。

【図7】同定誤差を修正する関数を示す図である。

【図8】スロットル弁のデフォルト開度ずれがモデルパラメータ（ c_1' ）に反映されることを説明するための図である。

20

【図9】スロットル弁開度制御処理のフローチャートである。

【図10】図9の処理において状態変数の設定を行う処理のフローチャートである。

【図11】図9の処理においてモデルパラメータ同定器の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図12】図11の処理において同定誤差（ $i d e$ ）の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図13】同定誤差（ $i d e$ ）のローパスフィルタ処理を説明するための図である。

【図14】図12の処理における不感帯処理のフローチャートである。

【図15】図14の処理で使用されるテーブルを示す図である。

30

【図16】図11の処理におけるモデルパラメータベクトル（ θ ）の安定化処理のフローチャートである。

【図17】図16の処理におけるモデルパラメータ（ a_1' ， a_2' ）のリミット処理のフローチャートである。

【図18】図16の処理によるモデルパラメータの値の変化を説明するための図である。

【図19】図16の処理におけるモデルパラメータ（ b_1' ）のリミット処理のフローチャートである。

【図20】図16の処理におけるモデルパラメータ（ c_1' ）のリミット処理のフローチャートである。

【図21】図9の処理において状態予測器の演算を実行する処理のフローチャートである。

40

【図22】図9の処理において制御入力（ $U s l$ ）の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図23】図22の処理において予測切換関数値（ $\sigma p r e$ ）の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図24】図23の処理において切換関数設定パラメータ（V P O L E）の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図25】図24の処理で使用するマップを示す図である。

【図26】図22の処理において予測切換関数値（ $\sigma p r e$ ）の積算値の演算を実行する処理のフローチャートである。

50

【図 27】図 22 の処理において到達則入力 (U r c h) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 28】図 22 の処理において適応則入力 (U a d p) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 29】図 9 の処理においてスライディングモードコントローラの安定判別を実行する処理のフローチャートである。

【図 30】図 9 の処理においてデフォルト開度ずれ (t h d e f a d p) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 31】図 1 の電子制御ユニット (E C U) により実現される機能を示す機能ブロック図である (第 2 の実施形態)。

10

【図 32】スロットル弁開度制御処理のフローチャートである (第 2 の実施形態)。

【図 33】図 32 の処理においてモデルパラメータ同定器の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 34】図 33 の処理で使用するテーブルを示す図である。

【図 35】図 33 の処理において同定誤差 (i d e) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 36】図 32 の処理において制御入力 (U s l) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 37】図 36 の処理において切換関数値 (σ) の演算を実行する処理のフローチャートである。

20

【図 38】図 36 の処理において切換関数値 (σ) の積算値の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 39】図 36 の処理において到達則入力 (U r c h) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 40】図 36 の処理において適応則入力 (U a d p) の演算を実行する処理のフローチャートである。

【図 41】図 32 の処理においてスライディングモードコントローラの安定判別を実行する処理のフローチャートである。

【図 42】本発明の第 3 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

【図 43】図 42 に示す構成の変形例を示すブロック図である。

30

【図 44】本発明の第 4 の実施形態に係る制御系の構成を示すブロック図である。

【図 45】図 44 に示す構成の変形例を示すブロック図である。

【符号の説明】

1 内燃機関

3 スロットル弁

7 電子制御ユニット

10 スロットル弁駆動装置

21, 21a 適応スライディングモードコントローラ (制御手段)

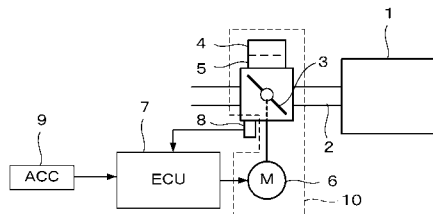
22, 22a モデルパラメータ同定器 (同定手段、同定誤差算出手段、更新ベクトル算出手段、更新ベクトル修正手段、同定誤差修正手段、モデルパラメータベクトル算出手段、制限手段)

40

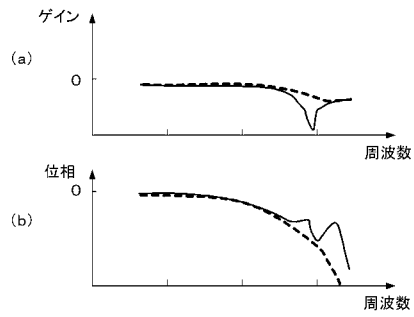
24 目標開度設定部

25 モデルパラメータスケジューラ

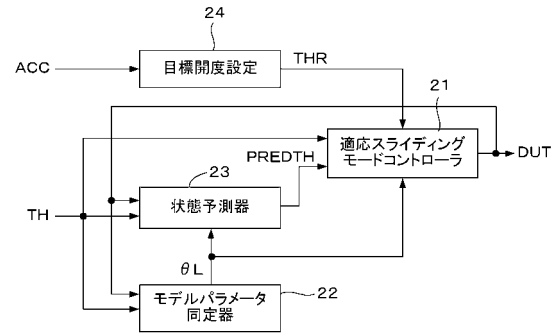
【図 1】



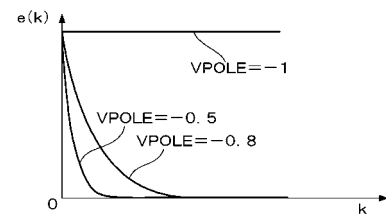
【図 2】



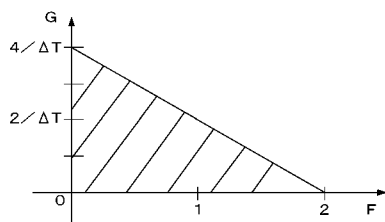
【 図 3 】



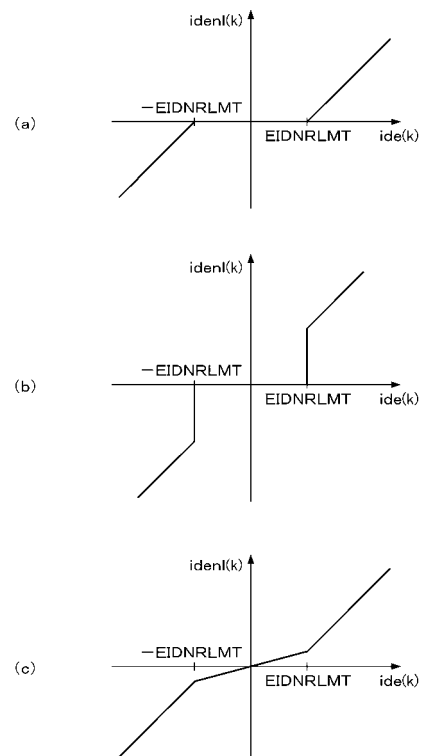
【图 4】



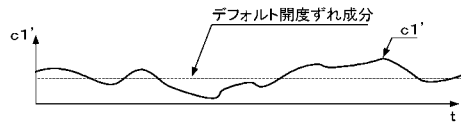
【図 5】



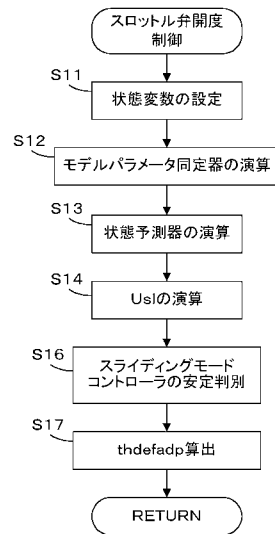
【 図 7 】



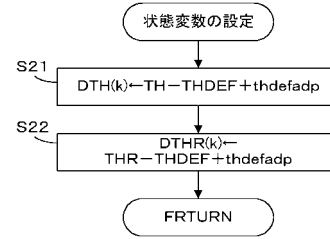
【図 8】



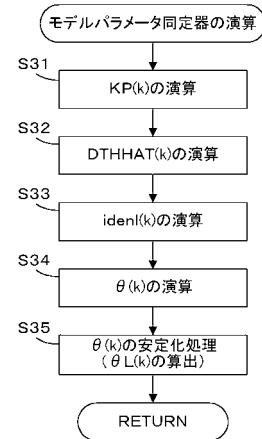
【図 9】



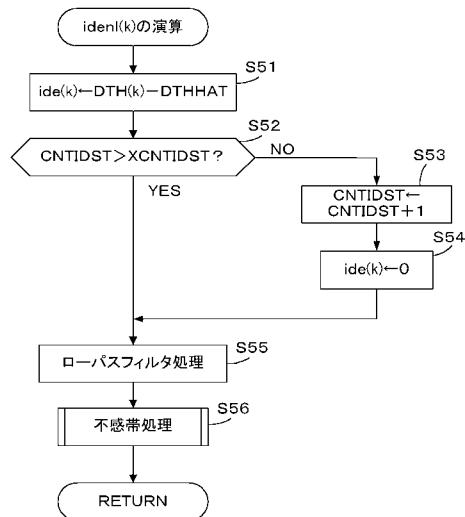
【図 10】



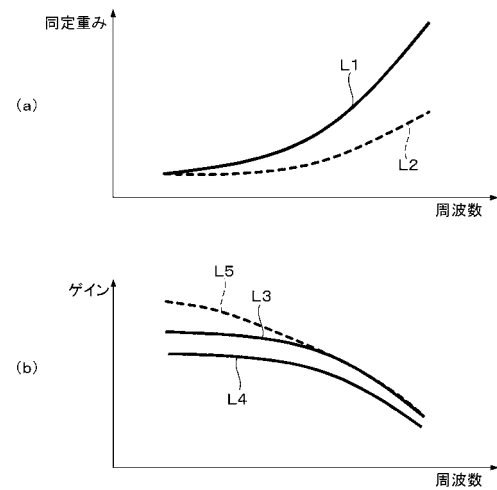
【図 11】



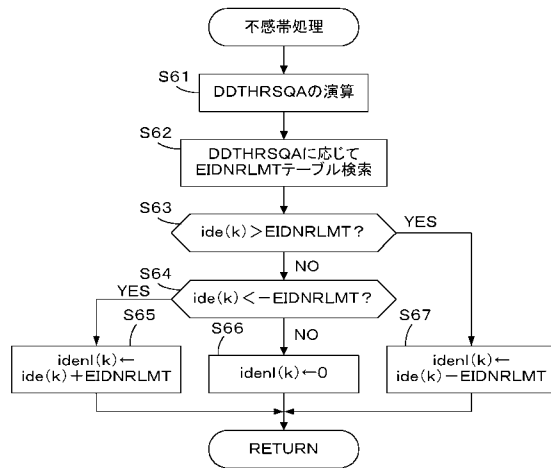
【図 12】



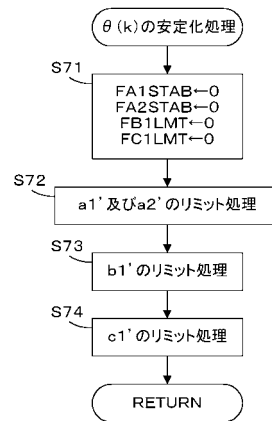
【図 13】



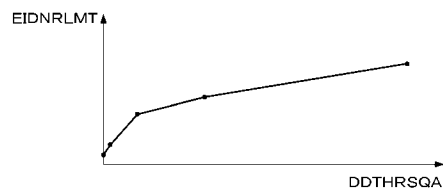
【図 14】



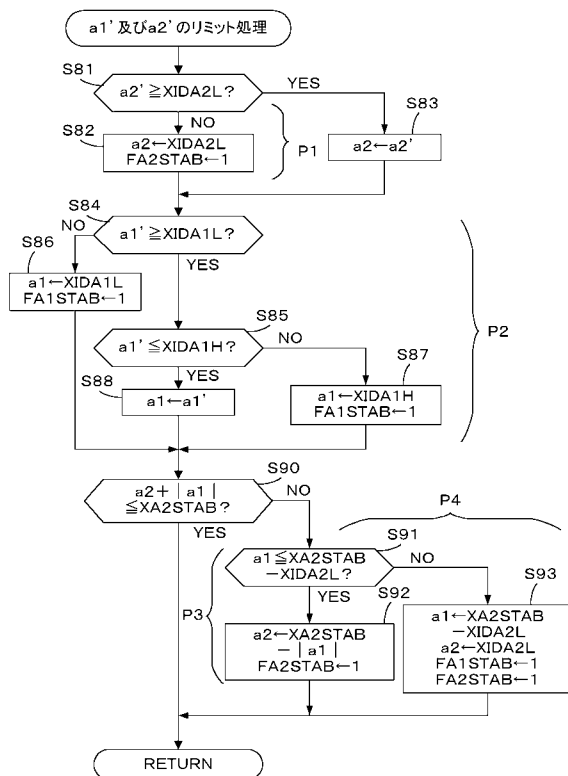
【図 16】



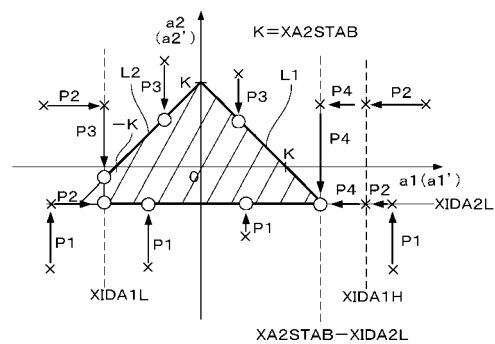
【図 15】



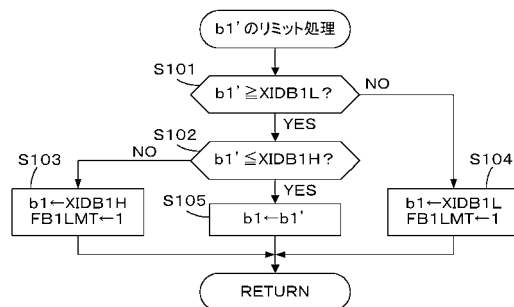
【図 17】



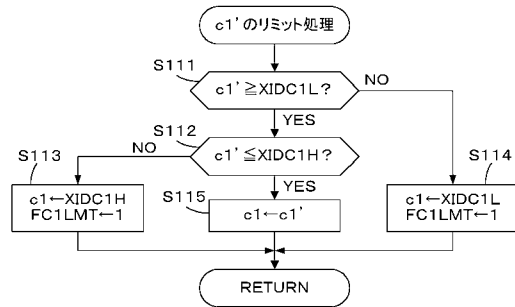
【図 18】



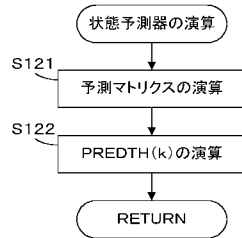
【図 19】



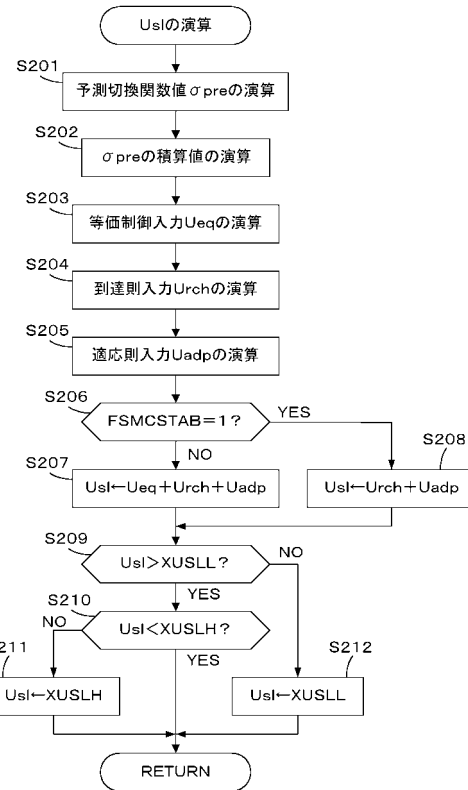
【図 20】



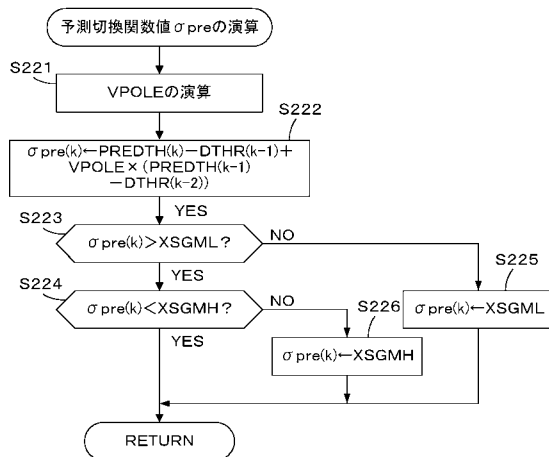
【図 21】



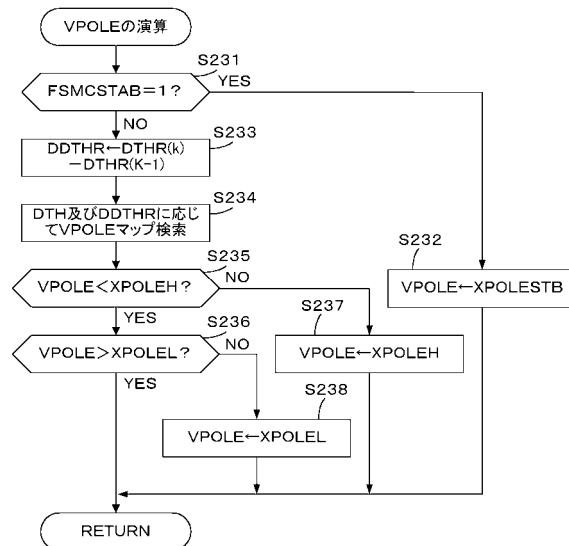
【図 22】



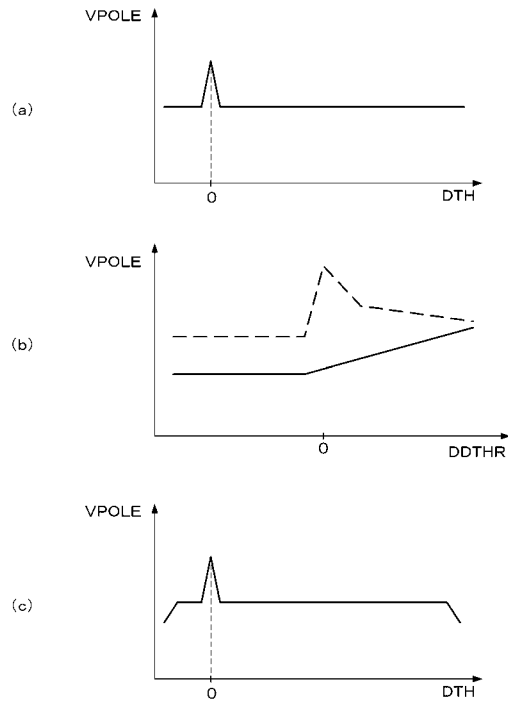
【図 23】



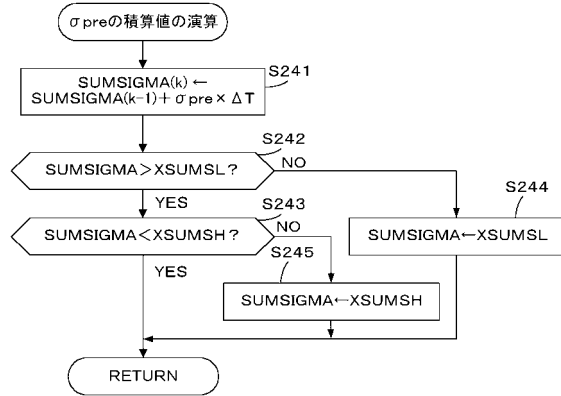
【図 24】



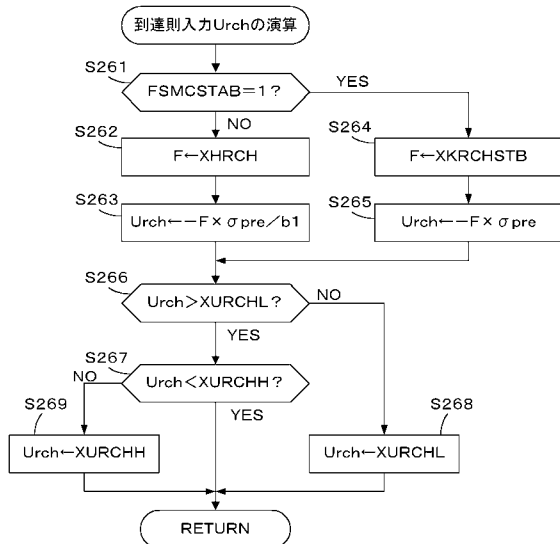
【図 25】



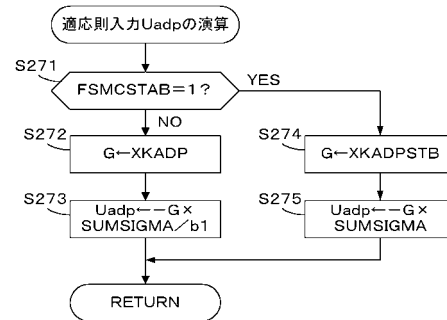
【図 26】



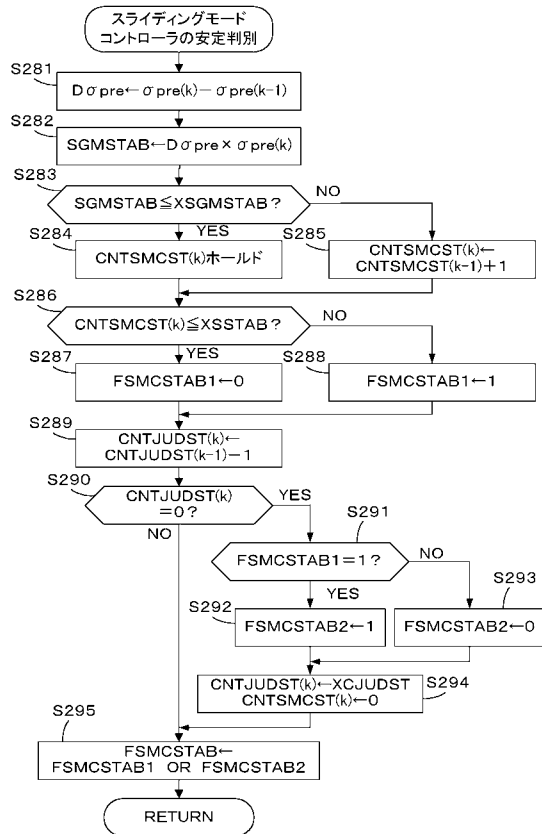
【図 27】



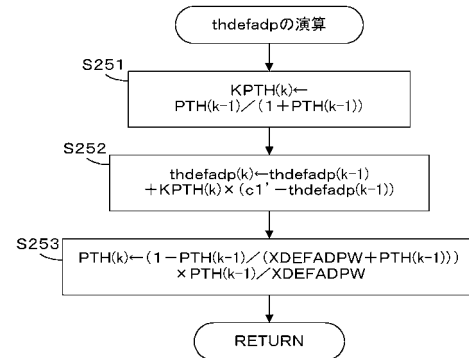
【図 28】



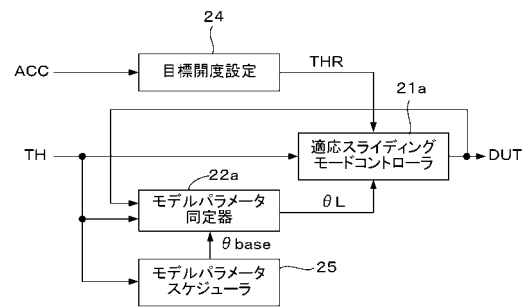
【図 29】



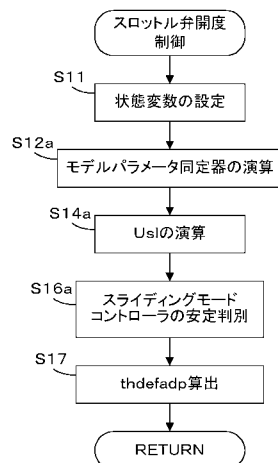
【図 30】



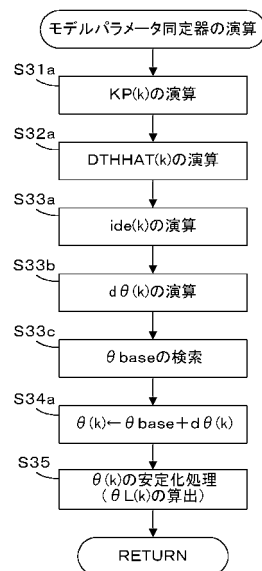
【図 31】



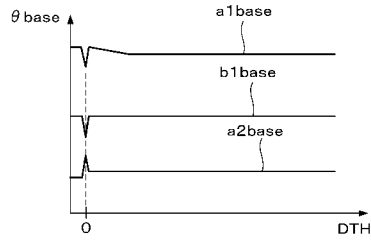
【図 32】



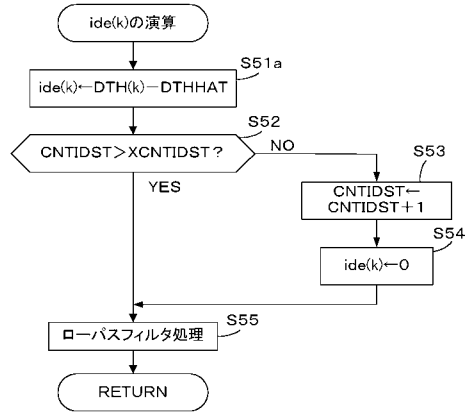
【図 33】



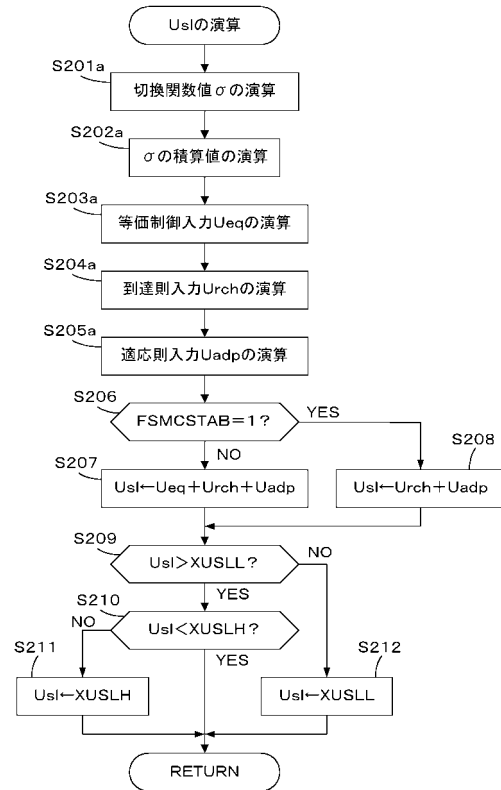
【図 3 4】



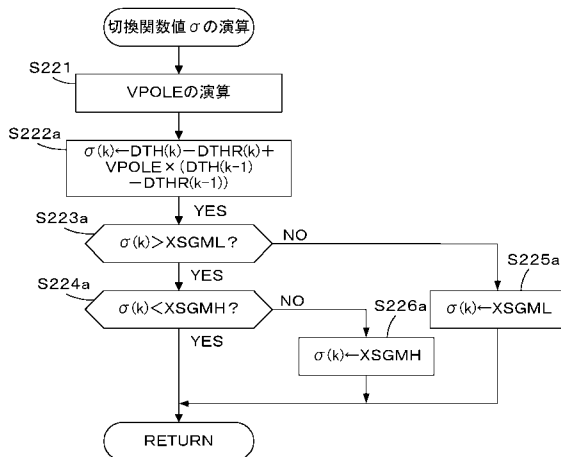
【図 3 5】



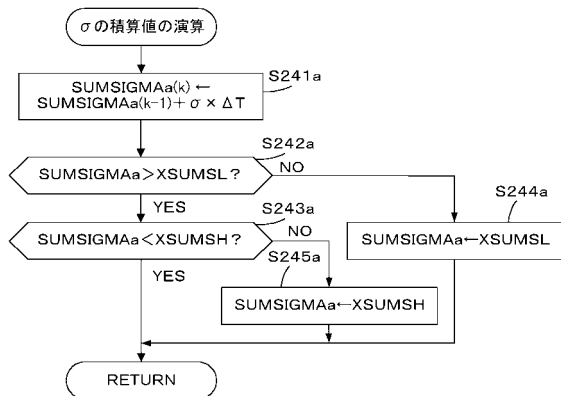
【図 3 6】



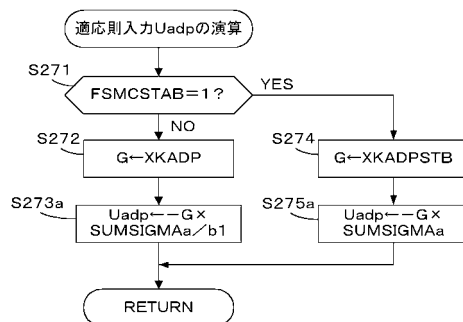
【図 3 7】



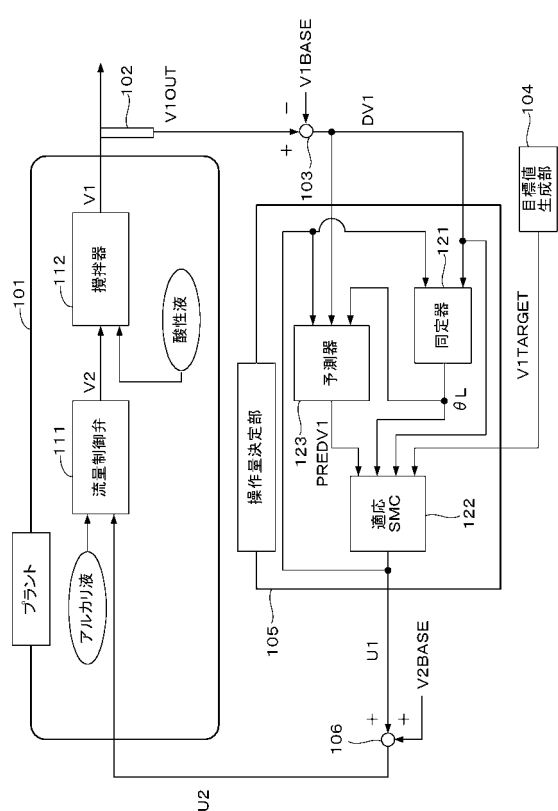
【図 3 8】



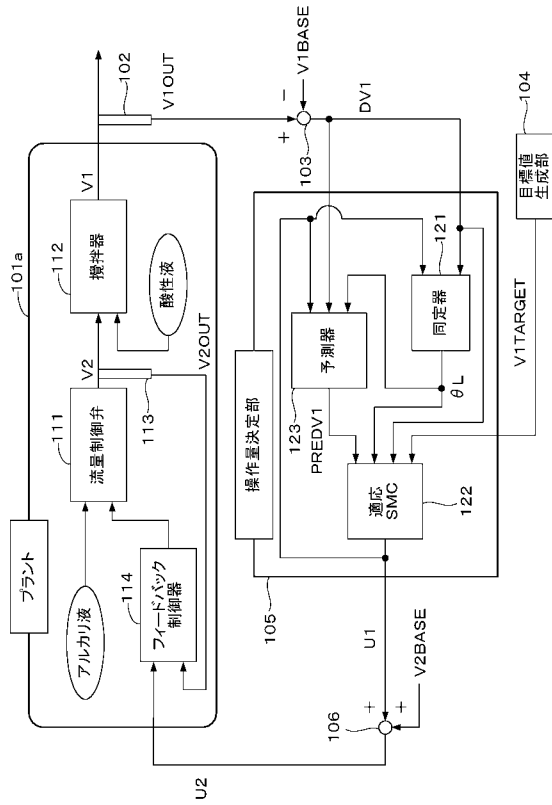
【图 40】



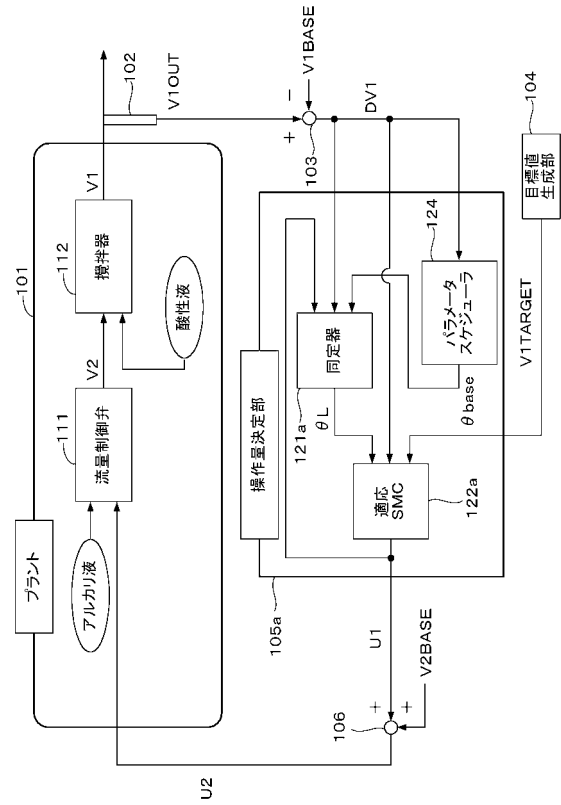
【図 4 2】



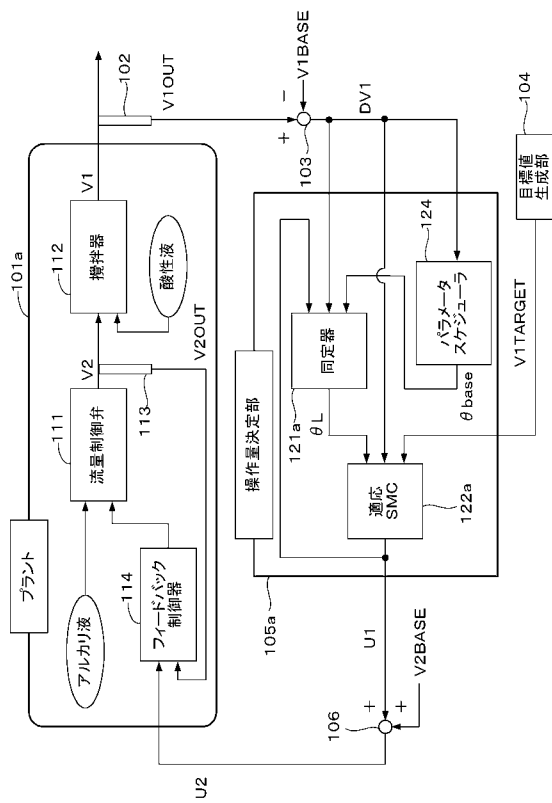
【図 4 3】



【図 4 4】



【図 4 5】



フロントページの続き

審査官 森林 克郎

(56)参考文献 特開平11-073206 (JP, A)
特開平11-153051 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G05B11/00-13/04、
F02D9/00-11/02、
F02D41/14