

(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2015-18388
(P2015-18388A)

(43) 公開日 平成27年1月29日(2015.1.29)

(51) Int.Cl.

G05B 13/02 (2006.01)
G05B 13/04 (2006.01)

F 1

G05B 13/02
G05B 13/04

B

テーマコード(参考)

5H004

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願2013-144821 (P2013-144821)

(22) 出願日

平成25年7月10日 (2013.7.10)

特許法第30条第2項適用申請有り 2013年第13回計測自動制御学会 制御部門大会 予稿集7C1-3

(71) 出願人 501137636

東芝三菱電機産業システム株式会社
東京都中央区京橋三丁目1番1号

(74) 代理人 100082175

弁理士 高田 守

(74) 代理人 100106150

弁理士 高橋 英樹

(72) 発明者 根岸 靖典

東京都港区三田三丁目13番16号 東芝
三菱電機産業システム株式会社内

(72) 発明者 重政 隆

東京都文京区後楽一丁目1番10号日本生命水道橋ビル 株式会社ダイヤモンドパーソネル内

最終頁に続く

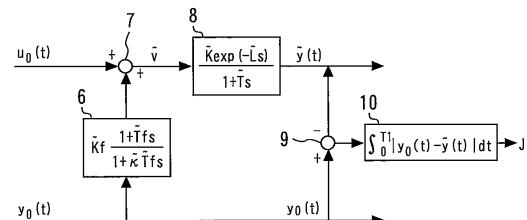
(54) 【発明の名称】制御パラメータ調整システム

(57) 【要約】

【課題】試験を繰り返し実施したり制御系の応答特性を示すモデルを設定したりする必要がなく、制御パラメータの値を簡単に調整することができる制御パラメータ調整システムを提供する。

【解決手段】制御パラメータ調整システム5は、第1演算手段、第2演算手段及び調整手段を備える。第1演算手段は、制御器2が制御対象1に出力する操作量と制御対象1が出力する制御量とに基づいて制御器2の仮想内部操作量を演算する。第2演算手段は、むだ時間を持つ1次遅れモデル8に第1演算手段によって演算された仮想内部操作量を入力し、1次遅れモデル8の出力を演算する。調整手段は、評価関数Jが一定の条件で最小になるように、制御器2の制御パラメータを調整する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

IMC制御部とPD補償器とを備えた制御器の制御パラメータを調整するための制御パラメータ調整システムであって、

前記制御器が制御対象に出力する操作量と前記制御対象が出力する制御量とに基づいて前記制御器の仮想内部操作量を演算する第1演算手段と、

むだ時間を持つ1次遅れモデルに前記第1演算手段によって演算された仮想内部操作量を入力し、前記1次遅れモデルの出力を演算する第2演算手段と、

前記制御量と前記第2演算手段によって演算された出力との差に基づく評価関数が一定の条件で最小になるように、前記制御器の制御パラメータを調整する調整手段と、
10
を備えた制御パラメータ調整システム。

【請求項 2】

前記第1演算手段は、仮想ゲイン、仮想微分時間及び仮想微分ゲインをパラメータに有する仮想PD補償器に前記制御量を入力した時の前記仮想PD補償器の出力と前記操作量とを加算して、仮想内部操作量を演算する請求項1に記載の制御パラメータ調整システム。
。

【請求項 3】

前記仮想PD補償器の仮想ゲインを \tilde{K}_f 、仮想微分時間を \tilde{T}_f 、仮想微分ゲインを $\tilde{\kappa}$ とし
20
、前記制御量を $y_0(t)$ とした場合に、前記第1演算手段は、

【数1】

$$\tilde{F}(s) = \tilde{K}_f \frac{1 + \tilde{T}_f s}{1 + \tilde{\kappa} \tilde{T}_f s}$$

を用いて前記仮想PD補償器の出力 $\tilde{F}(s) \cdot y_0(t)$ を演算する請求項2に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 4】

前記調整手段は、前記評価関数が一定の条件で最小になる時の前記仮想PD補償器の仮想ゲイン、仮想微分時間及び仮想微分ゲインの各値を前記PD補償器のゲイン、微分時間及び微分ゲインにそれぞれ設定する請求項2又は請求項3に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 5】

前記1次遅れモデルは、仮想ゲイン、仮想むだ時間及び仮想時定数をパラメータに有する請求項1から請求項4の何れか一項に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 6】

前記1次遅れモデルの仮想ゲインを \tilde{K} 、仮想むだ時間を \tilde{L} 、仮想時定数を \tilde{T} とした場合に、前記第2演算手段は、
40

【数2】

$$\tilde{y}(t) = \frac{\tilde{K} \exp(-\tilde{L}s)}{1 + \tilde{T}s} \cdot \tilde{v}$$

から前記1次遅れモデルの出力 $\tilde{y}(t)$ を演算する請求項5に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 7】

前記調整手段は、前記評価関数が一定の条件で最小になる時の前記1次遅れモデルの仮
50

想ゲインの逆数、仮想むだ時間及び仮想時定数の各値を前記 I M C 制御部のゲイン、むだ時間及び時定数にそれぞれ設定する請求項 5 又は請求項 6 に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 8】

前記調整手段によって調整された前記制御器の制御パラメータに基づいて、前記制御対象の伝達関数を演算する第 3 演算手段と、

を更に備えた請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の制御パラメータ調整システム。

【請求項 9】

前記制御器に入力される目標値と前記調整手段によって調整された前記制御器の制御パラメータとを用いて前記制御対象が出力する第 1 制御量を演算によって求める第 4 演算手段と、

前記第 4 演算手段によって演算された第 1 制御量と前記目標値を前記制御器に入力した時に前記制御対象が出力した第 2 制御量とに基づいて、前記調整手段によって調整された前記制御器の制御パラメータが有効であるか否かを判定する判定手段と、

を更に備えた請求項 1 から請求項 8 の何れか一項に記載の制御パラメータ調整システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、制御パラメータを最適な値に調整するためのシステムに関するものである。

10

20

【背景技術】

【0002】

一般に、発電プラント及び石油化学プラントといった産業プラントでは、機器を監視及び制御する監視制御装置が使用される。監視制御装置は、プラントを安全に運転するため、温度及び圧力、流量といった種々のプロセス値を測定する。また、監視制御装置は、測定したプロセス値を表示し、プラントの運転員に当該プラントの運転状態を通知する。

【0003】

監視制御装置には、多数の制御要素が備えられる。例えば、P I D (比例積分微分) 演算を用いた制御要素の例として、P I D 制御器、P I - D 制御器、I - P D 制御器、2 自由度 P I D 制御器、モデル駆動 P I D 制御器がある。制御要素の制御パラメータを設計するため、従来では、何らかのモデリングを行って制御対象の動特性を表す伝達関数を求めていた。例えば、プロセス制御系の設計及び調整では、先ず制御対象の動特性モデル（あるいは、特徴量）を求め、次いでその動特性モデルから設計則に基づいて制御パラメータを決定する 2 段階の方法が採用されていた。

30

【0004】

制御設計に必要な動特性モデルの抽出には、多くのデータが必要である。また、雑音及び制御対象の非線形性等が原因となり、動特性モデルには誤差が生じる。このため、動特性モデルを得るだけでも多大な労力が必要となり、更に、特定された動特性モデルから正しい制御パラメータを得ることができない場合があった。

【0005】

一方、制御対象の動特性モデルを求めることなく制御パラメータを調整する方法として、以下の 3 つの方法良く知られている。

- ・ I F T (Iterative Feedback Tuning)
- ・ V R F T (Virtual Reference Feedback Tuning)
- ・ F R I T (Fictitious Reference Iterative Tuning)

【0006】

I F T と呼ばれる方法では、試験を繰り返すことによって制御パラメータを更新していく。また、V R F T 及び F R I T と呼ばれる方法では、一組の試験データから制御パラメータを決定する。特許文献 1 は、V R F T の一例を開示する。

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-175917号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

IFTでは、制御パラメータを決定するために試験を繰り返し実施しなければならない。制御パラメータを決定するまでに多くのデータが必要であり、多大な時間を要するといった問題があった。VRT及びFRTでは、制御系の応答特性を示すモデルを設定する必要があるが、最適なモデルを設定することは容易ではなかった。

10

【0009】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものである。この発明の目的は、試験を繰り返し実施したり制御系の応答特性を示すモデルを設定したりする必要がなく、制御パラメータの値を簡単に調整することができる制御パラメータ調整システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この発明に係る制御パラメータ調整システムは、IMC制御部とPD補償器とを備えた制御器の制御パラメータを調整するための制御パラメータ調整システムであって、制御器が制御対象に出力する操作量と制御対象が出力する制御量とに基づいて制御器の仮想内部操作量を演算する第1演算手段と、むだ時間を持つ1次遅れモデルに第1演算手段によって演算された仮想内部操作量を入力し、1次遅れモデルの出力を演算する第2演算手段と、制御量と第2演算手段によって演算された出力との差に基づく評価関数が一定の条件で最小になるように、制御器の制御パラメータを調整する調整手段と、を備えたものである。

20

【発明の効果】

【0011】

この発明に係る制御パラメータ調整システムであれば、試験を繰り返し実施したり制御系の応答特性を示すモデルを設定したりする必要がなく、制御パラメータの値を簡単に調整することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】この発明の実施の形態1における制御パラメータ調整システムを備えたプラントの概略を示す構成図である。

【図2】制御パラメータ調整システムの構成を示す図である。

【図3】IMC制御部及びPD補償器を備えた制御器の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

添付の図面を参照し、本発明を詳細に説明する。重複する説明は、適宜簡略化或いは省略する。各図では、同一又は相当する部分に、同一の符号を付している。

40

【0014】

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1における制御パラメータ調整システムを備えたプラントの概略を示す構成図である。図1において、1は伝達関数が $P(s)$ である制御対象である。2は伝達関数が $C(s)$ である制御器である。3は、制御器2の制御パラメータ(制御定数)である。制御器2は、制御対象1を制御する。また、制御器2は、IMC制御部3及びPD補償器4(図1において図示せず)を備える。

【0015】

制御器2に対し、目標値 $r(t)$ が入力される。また、制御対象1の制御量 $y(t)$ が

50

制御器 2 に入力される。制御器 2 は、入力された目標値 $r(t)$ 及び制御量 $y(t)$ に基づいて、制御対象 1 の動作が目標値 $r(t)$ に追従するように操作量 $u(t)$ を出力する。制御対象 1 は、入力された操作量 $u(t)$ に応じて動作を行う。操作量 $u(t)$ に応じて動作が行われた時の制御対象 1 の制御量 $y(t)$ は、制御器 2 に入力される。即ち、図 1 に示すプラントは、制御器 2 が目標値 $r(t)$ と制御量 $y(t)$ とを取り込み操作量 $u(t)$ を発生する制御ループを形成する。

【0016】

5 は制御器 2 の制御パラメータの値を調整するための制御パラメータ調整システムである。制御パラメータ調整システム 5 は、試験時に得られた一組の操作量 $u_0(t)$ 及び制御量 $y_0(t)$ に基づいて制御パラメータを決定する。 $r_0(t)$ は、試験時に制御器 2 に入力される目標値を示す。上記試験は、例えば、目標値 $r_0(t)$ を変化させることによって行われる。試験時の目標値 $r_0(t)$ 、操作量 $u_0(t)$ 及び制御量 $y_0(t)$ は、制御パラメータ調整システム 5 に入力される。

10

【0017】

図 2 は、制御パラメータ調整システム 5 の構成を示す図である。

制御パラメータ調整システム 5 に、試験時に得られた一組の操作量 $u_0(t)$ 及び制御量 $y_0(t)$ が入力される。制御パラメータ調整システム 5 は、操作量 $u_0(t)$ と制御量 $y_0(t)$ とに基づいて制御器 2 の仮想内部操作量 \tilde{v} を演算する第 1 演算機能を有する。第 1 演算機能は、例えば、仮想 PD 補償器 6 と加算器 7 とにより実現される。第 1 演算機能を実現するための構成は、これに限定されない。

20

【0018】

仮想 PD 補償器 6 は、ゲイン \tilde{K}_f 、微分時間 \tilde{T}_f 及び微分ゲイン $\tilde{\kappa}$ をパラメータに有する。制御量 $y_0(t)$ が仮想 PD 補償器 6 に入力される。加算器 7 は、仮想 PD 補償器 6 に制御量 $y_0(t)$ を入力して得られた仮想 PD 補償器 6 の出力と操作量 $u_0(t)$ とを加算する。加算器 7 によって得られた値が仮想内部操作量 \tilde{v} である。仮想 PD 補償器 6 の出力は、 $\tilde{F}(s)$ を用いて次式から求めることができる。

30

【0019】

【数 1】

$$\tilde{F}(s) = \tilde{K}_f \frac{1 + \tilde{T}_f s}{1 + \tilde{\kappa} \tilde{T}_f s}$$

$$\text{仮想 PD 補償器の出力} = \tilde{F}(s) \cdot y_0(t) = \tilde{K}_f \frac{1 + \tilde{T}_f s}{1 + \tilde{\kappa} \tilde{T}_f s} \cdot y_0(t)$$

【0020】

また、制御パラメータ調整システム 5 は、1 次遅れモデル 8 の出力 $\tilde{y}(t)$ を演算する第 2 演算機能を有する。仮想内部操作量 \tilde{v} が 1 次遅れモデル 8 に入力され、その出力 $\tilde{y}(t)$ が演算される。1 次遅れモデル 8 は、PD ループの動特性に等価なむだ時間を持つ。即ち、1 次遅れモデル 8 は、ゲイン \tilde{K} 、むだ時間 \tilde{L} 及び時定数 \tilde{T} をパラメータに有する。1 次遅れモデル 8 の出力 $\tilde{y}(t)$ は、次式から求めることができる。

40

【0021】

【数2】

$$\tilde{y}(t) = \frac{\tilde{K} \exp(-\tilde{L}s)}{1 + \tilde{T}s} \cdot \tilde{v}$$

【0022】

更に、制御パラメータ調整システム5は、制御器2の制御パラメータを調整する調整機能を有する。調整機能は、例えば、減算器9と演算設定器10により実現される。調整機能を実現するための構成は、これに限定されない。

【0023】

減算器9は、制御量 $y_0(t)$ から1次遅れモデル8の出力 $\tilde{y}(t)$ を減算する。演算設定器10は、制御パラメータ θ の評価を行うための評価関数Jを演算する。評価関数Jは、減算器9の出力を用いた関数、即ち、制御量 $y_0(t)$ と1次遅れモデル8の出力 $\tilde{y}(t)$ との差に基づく関数である。図2では、評価関数Jとして、制御量 $y_0(t)$ と1次遅れモデル8の出力 $\tilde{y}(t)$ との差の絶対値を積分して得られるIAEを採用した場合を一例として示している。評価関数Jとして、上記差を2乗積分するISE、或いは上記差に時間関数を掛けて積分するITAEを採用しても良い。演算設定器10は、評価関数Jの値が一定の条件で最小になるような制御パラメータ θ を特定する。

10

20

【0024】

例えば、仮想系のシミュレーション手段を用いて制御パラメータ調整システム5の上記各機能を実現しても良い。かかる場合、検索する制御パラメータ $\theta = [\tilde{K}_f, \tilde{T}_f, \tilde{\kappa}, \tilde{K}, \tilde{L}, \tilde{T}]^T$ とする。初期値 θ_0 における評価関数Jを演算し、その評価関数Jの値が最小になるように各パラメータ $\tilde{K}_f, \tilde{T}_f, \tilde{\kappa}, \tilde{K}, \tilde{L}, \tilde{T}$ を変化させ最適値に収束させる。最適化させるための手段として、例えば、CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy) 等がある。変化させるパラメータは6個あるが、計算の都度、全てのパラメータを変化させても良い。また、1個のパラメータ、例えば $\tilde{\kappa}$ を0.1等の値に固定し、残りの5個のパラメータを変化させても良い。2個のパラメータ、例えば \tilde{K}_f の値と $\tilde{\kappa}$ の値とを固定し、残りの4個のパラメータを変化させても良い。最適化の方法は、これらに限定されない。

30

【0025】

図3は、IMC制御部3及びPD補償器4を備えた制御器2の構成例を示す図である。図3は、モデル駆動PID制御のブロック図を示している。図3において、dは外乱要素を示す。

40

【0026】

演算設定器10は、評価関数Jの値が一定の条件で最小になるような制御パラメータ θ を特定すると、その特定したゲイン \tilde{K}_f 、微分時間 \tilde{T}_f 及び微分ゲイン $\tilde{\kappa}$ の各値をそのままPD補償器4のゲイン K_f 、微分時間 T_f 、微分ゲイン κ に設定する。PD補償器4のF(s)は次式で表される。

【0027】

【数3】

$$F(s) = \frac{K_f(1+T_f s)}{1+\kappa T_f s}$$

【0028】

また、演算設定器10は、評価関数Jの値が一定の条件で最小になるような制御パラメータθを特定すると、その特定したゲイン \tilde{K} の逆数、むだ時間 \tilde{L} 及び時定数 \tilde{T} の各値をそのままIMC制御部3のゲイン K_c 、むだ時間 L 、時定数 T に設定する。図3に示すIMC制御部3は、SVフィルタSV(s)、ゲイン K_c 、QフィルタQ(s)、モデル $\tilde{G}(s)$ を備える。IMC制御部3のゲイン K_c 及びモデル $\tilde{G}(s)$ は、次式で表される。

10

【0029】

【数4】

$$K_c = \frac{1}{\tilde{K}}$$

$$\tilde{G}(s) = \frac{\exp(-Ls)}{1+Ts}$$

20

【0030】

IMC制御部3のQフィルタQ(s)及びSVフィルタSV(s)は次式で表される。

【0031】

【数5】

$$Q(s) = \frac{(1+Ts)(1+\alpha Ts)}{(1+\lambda Ts)^2}$$

30

$$SV(s) = \frac{1+\lambda Ts}{1+\alpha Ts}$$

【0032】

及び α は、MD-PID制御器の微調整パラメータである。 λ は、制御系の目標値の追従速度に関わるパラメータである。 α は、制御系の外乱抑制性に関わるパラメータである。 λ のデフォルト値及び α のデフォルト値はそれぞれ1である。 λ 及び α は、それぞれデフォルト値に設定される。

【0033】

また、制御パラメータ調整システム5は、制御対象1の伝達関数P(s)を演算する第3演算機能を有する。制御パラメータ調整システム5は、評価関数Jの値が最小になる制御パラメータ θ に基づいてP(s)を演算する。

【0034】

演算設定器10によって最適化された制御パラメータ θ を用いることにより、PD補償器4のF(s)とPDループに動特性が等価なむだ時間を持つ1次遅れ系G(s)とが分かる。なお、最適化された制御パラメータ θ とは、制御量 $y_o(t)$ と1次遅れモデル8の出力 $\tilde{y}(t)$ との誤差に関する評価関数Jが最小になる時の \tilde{K}_f , \tilde{T}_f , $\tilde{\kappa}$, \tilde{K} , \tilde{L} , \tilde{T} である。G(s)は、次式で表される。

40

【0035】

【数6】

$$G(s) = \frac{P(s)}{1+P(s)F(s)}$$

【0036】

このため、制御対象 $P(s)$ は、 $P(s)^{-1} = G(s)^{-1} - F(s)$ によって演算できる。特に、制御対象 $P(s)$ の分母系列係数を

$$P(s)^{-1} = p_0 + p_1 s + p_2 s^2 + p_3 s^3 + \dots$$

とすると、 $G(s)^{-1} - F(s)$ をテイラー展開することによって P_i ($i = 0, 1, 2, 3, \dots$) を求めることができる。

10

【0037】

制御対象 $P(s)$ の動特性形状がむだ時間を持つ1次遅れ系であれば、制御対象 $P(s)$ は次式で表される。

【0038】

【数7】

$$P(s) = \frac{K_p \exp(-L_p s)}{1+T_p s}$$

$$p_0 = 1/K_p$$

$$p_1 = (T_p + L_p)/K_p$$

$$p_2 = (T_p L_p + L_p^2/2)/K_p$$

20

【0039】

K_p 、 T_p 、 L_p はこの非線形方程式を解くことによって求めることができる。

【0040】

また、制御対象 $P(s)$ の動特性形状がむだ時間を持つ積分系であれば、制御対象 $P(s)$ は次式で表される。

【0041】

【数8】

$$P(s) = \frac{\exp(-L_p s)}{T_p s}$$

$$P_0 = 0$$

$$P_1 = T_p$$

$$P_2 = T_p L_p$$

30

【0042】

T_p 、 L_p はこの非線形方程式を解くことによって求めることができる。なお、添え字の p はプラントを意味する。

【0043】

制御器 2 が図 3 に示す構成を有する場合、制御量 y は、次式で表される。

40

【0044】

【数9】

$$y = \frac{\exp(-L_c s)}{1+\lambda T_c s} r + \frac{K_c \exp(-L_c s)}{1+T_c s} \left(1 - \frac{(1+\alpha T_c s) \exp(-L_c s)}{(1+\lambda T_c s)^2} \right) d$$

【0045】

外乱 $d = 0$ であれば、次式に示すように制御量 y は目標値 r の関数となる。なお、添え字の c はコントローラを意味する。

【0046】

50

【数10】

$$y = \frac{\exp(-L_c s)}{1 + \lambda T_c s} r$$

【0047】

実プロセスで目標値 r を変化させて y を得る。この時の目標値を r_0 、制御量を y_0 とする。 r_0 を上記式に代入して制御量 y を計算する。計算して得られた制御量 y が制御量 y_0 にほぼ一致することが確認できれば、演算設定器10によって特定された制御パラメータ が有効であることを評価できる。比較の手法として、例えば、計算値のグラフと実プロセスの応答結果のグラフとを並べて表示し、目視によって確認する方法がある。他の比較方法として、IAE等の数値によって確認する方法がある。

10

【0048】

このような評価を制御パラメータ調整システム5において実施しても良い。かかる場合、制御パラメータ調整システム5は、上記制御量 y を演算によって求める第4演算機能を有する。即ち、制御パラメータ調整システム5は、IMC制御部3に入力される目標値 r_0 と演算設定器10によって特定された制御パラメータ とを用いて制御量 y を計算する。また、制御パラメータ調整システム5は、演算設定器10によって特定された制御パラメータ が有効であるか否かを判定する判定機能を有する。制御パラメータ調整システム5は、演算によって求められた制御量 y と目標値 r_0 が実プロセスに入力された時の実プロセスの制御量 y_0 とに基づいて上記判定を行う。例えば、制御パラメータ調整システム5は、制御量 y と制御量 y_0 とからIAE等の数値を求め、その数値が許容範囲内であれば、特定された制御パラメータ が有効であると判定する。

20

【0049】

上記構成の制御パラメータ調整システム5であれば、制御パラメータを調整する際に、試験を繰り返し実施したり制御系の応答特性を示すモデルを設定したりする必要がない。また、制御パラメータの調整を簡単に行うことができる。

【0050】

制御対象1の伝達関数 $P(s)$ を求めることができるために、PID制御器、PI-D制御器、I-PD制御器、2自由度PID制御器、モデル駆動PID制御器といった各種制御器への応用が可能となる。更に、ナイキスト線図、各感度関数、時間応答シミュレーション解析結果の表示を通じて制御パラメータを把握できるため、実プロセスに適用する上で、従来のように経験或いは勘に頼ることなく信頼性のある制御パラメータの設定が可能となる。

30

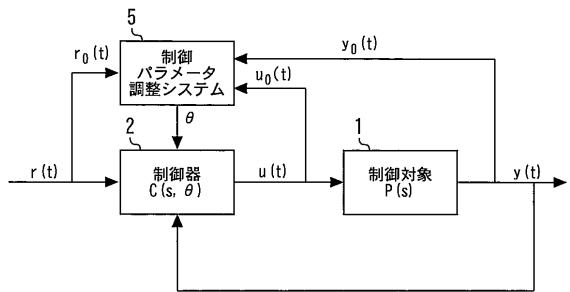
【符号の説明】

【0051】

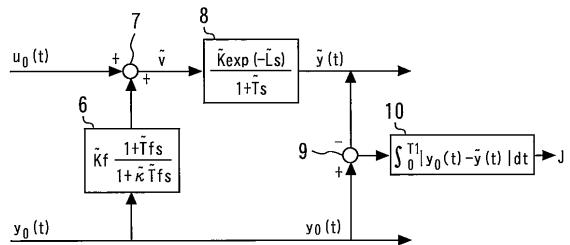
- 1 制御対象
- 2 制御器
- 3 IMC制御部
- 4 PD補償器
- 5 制御パラメータ調整システム
- 6 仮想PD補償器
- 7 加算器
- 8 1次遅れモデル
- 9 減算器
- 10 演算設定器

40

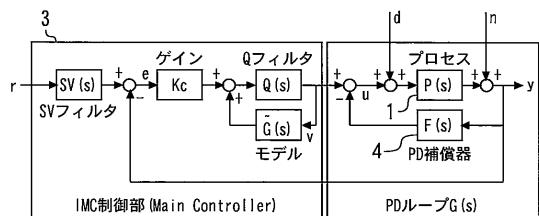
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5H004 GA30 GB02 GB04 KB02 KB06 KB30 KC24 KC27 KC39 LA03
LA11