



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103576552 B

(45)授权公告日 2017. 01. 18

(21)申请号 201310514244.7

(22)申请日 2013.10.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103576552 A

(43)申请公布日 2014.02.12

(73)专利权人 广东电网公司电力科学研究院

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路水均岗8号

(72)发明人 朱亚清 潘凤萍 陈世和 张曦
庞志强

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224

代理人 王茹 曾旻辉

(51)Int. Cl.

G05B 13/04(2006.01)

(56)对比文件

CN 101578584 A, 2009.11.11,

CN 1725131 A, 2006.01.25,

US 2007/0191967 A1, 2007.08.16,

CN 101183268 A, 2008.05.21,

苏思贤.自抗扰控制器及其应用研究.《全国优秀硕士学位论文全文数据库》.2011,第2-4章.

审查员 徐东亮

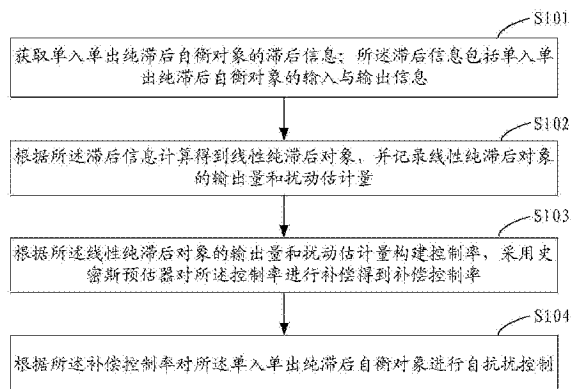
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置

(57)摘要

本发明提供一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置,所述方法包括以下步骤:获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,并采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率;根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。本发明的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置,使得单入单出纯滞后自衡对象输出量和上一时刻控制输入量一一对应,且操作简单,效果优良,涵盖面广。



1. 一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;所述输入与输出信息为信号施加对应时间和响应信息,或者记录信号施加对应时间和响应信息;

根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;

根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,并采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率;

根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

2. 根据权利要求1所述的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法,其特征在于,根据所述滞后信息进行计算得到线性纯滞后对象的过程包括:

根据所述滞后信息,通过跟踪微分器或扩张状态微分器进行计算得到观测量;

根据所述观测量,采用最小二乘法计算得到所述线性纯滞后对象;所述线性纯滞后对象为纯滞后时间的滞后对象。

3. 根据权利要求1或2所述的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法,其特征在于,根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率、采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率的过程包括:

获取单入单出纯滞后自衡对象的输出量和扰动估计量,采用公式 $\dot{y} = f + bu$ 进行计算得出所述控制率;

根据所述控制率,将所述单入单出纯滞后自衡对象控制输入值取为 $u = \frac{-f + u_0}{b}$, $u_0 = k(r - z_1)$, 并将单入单出纯滞后自衡对象控制输出值代入公式 $\dot{y} = f + bu$ 中,得出补偿后的补偿控制率为 $y = \frac{k}{s+k}r$;

其中, y 为滞后对象输出量, u 为滞后对象控制输入量, b 为滞后对象控制输入量增益, k 为控制器参数, r 为滞后对象的稳态值, s 为补偿后控制率, f 为对象扰动, z_1 对象输出的观测量。

4. 一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制装置,其特征在于,包括

对象获取模块,用于获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;所述输入与输出信息为信号施加对应时间和响应信息,或者记录信号施加对应时间和响应信息;

分析模块,用于根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;

补偿模块,用于根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得出补偿控制率;

控制模块,用于根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

5. 根据权利要求4所述的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制装置,其特征在于,所

述分析模块包括：

观测量计算子模块，用于根据所述滞后信息，通过跟踪微分器或扩张状态微分器进行计算得到观测量；

线性纯滞后对象计算子模块，用于根据所述观测量，采用最小二乘法计算得到线性纯滞后对象；所述线性纯滞后对象为纯滞后时间的滞后对象。

6. 根据权利要求4或5所述的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制装置，其特征在于，所述补偿模块包括：

控制率计算子模块，用于根据所述单入单出纯滞后自衡对象的输出量和扰动估计量，采用公式 $\dot{y} = f + bu$ 进行计算得出所述控制率；

补偿控制率计算子模块，用于根据所述控制率，将所述单入单出纯滞后自衡对象控制输入值取为 $u = \frac{-f + u_0}{b}$ ， $u_0 = k(r - z_1)$ ，并将单入单出纯滞后自衡对象控制输出值代入公式

$\dot{y} = f + bu$ 中，得出所述补偿控制率为 $y = \frac{k}{s+k}r$ ，其中， y 为滞后对象输出量， u 为滞后对象控制输入量， b 为滞后对象控制输入量增益， k 为控制器参数， r 为滞后对象的稳态值， s 为补偿后控制率， f 为对象扰动， z_1 对象输出的观测量。

单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及工业控制领域,特别是涉及一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法以及一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制装置。

背景技术

[0002] 在工厂的实际控制系统中,控制回路成千上万,但是这其中绝大多数为单回路。在这些单回路控制系统中,被控对象各式各样,按不同的分类标准依次可分为线性系统和非线性系统,自平衡对象和非自平衡对象,时滞系统和非时滞系统等。

[0003] 在现代流程工业中,由于系统的复杂性,我们很难得到系统的机理模型,尤其是非线性系统。但是绝大多数非线性系统都会在设定点附近工作或者波动,且过程控制的主要目标是保证系统能稳定在设定点附近。因而在设定点附近,我们可以用一个简单的线性模型来模拟系统动态。典型实例有化工生产流程中反应釜冷却夹套中冷却水流量和釜中温度之间的动态关系。由于设备结垢、物质分布不均等因素,冷却水——温度模型呈非线性特性。尤其在工业现场,导致出现滞后的情况包括:

[0004] 1)测量变送带来的滞后。例如温度测量中,热电偶感知系统温度后变送带来的滞后;

[0005] 2)系统自身存在的纯滞后。例如一阶水箱或者罐体的流量液位对象、管道阀门——流量对象,加热过程中燃料——温度对象,盘管换热过程中冷水流量——温度对象以及一阶RC电路等等例如一阶水箱或者罐体的流量液位对象、管道阀门——流量对象,加热过程中燃料——温度对象,盘管换热过程中冷水流量——温度对象以及一阶RC电路等对象自身存在着明显的纯滞后;

[0006] 3)高阶系统或者慢过程对象的缓慢启动特性可以近似理解为该系统存在纯滞后。

[0007] 为解决上述问题,目前通常的做法是,在单回路控制系统中设置一自抗扰控制器,它由一个扩张状态观测器加上一个反馈控制率共两部分组成。其中扩张状态观测器有两个输入,分别为被控对象输出量和上一时刻控制输入量。扩张状态观测器用来观测系统状态以及扰动量,进而提供状态反馈。它能够统一处理线性和非线性、时变和非时变、内扰和外扰。但是,若被控对象中存在纯滞后,对象的控制输入量输入对象后,要经过一个滞后时间才能从对象输出中体现出来,这样一来扩张状态观测器的被控对象输出量和上一时刻控制输入量就不是一一对应的了。因为输入到扩张状态观测器中的对象输出量并不是对应上一时刻的控制输入量,而是上一时刻再往前推一个对象滞后时间后对应时刻的控制输入量。同理,上一时刻控制输入量对应的输出量是从当前时刻沿着时间方向往后推一个滞后时间对应的输出量。从而会出现时间错位,使得扩张状态器的观测值不准确,从而会误导反馈控制率,造成控制效果变差甚至不稳定。

[0008] 因此,有必要提供一种能让滞后对象输出量和上一时刻控制输入量对应的自抗扰的控制方法,提高控制效果。

发明内容

[0009] 本发明提供一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置,能让滞后对象输出量和上一时刻控制输入量一一对应,提高控制效果。

[0010] 为实现上述目的,本发明采用如下的技术方案:

[0011] 一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法,包括如下步骤:

[0012] 获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;

[0013] 根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;

[0014] 根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,并采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率;

[0015] 根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

[0016] 一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制,包括

[0017] 对象获取模块,用于获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;

[0018] 分析模块,用于根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;

[0019] 补偿模块,用于根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得出补偿控制率;

[0020] 控制模块,用于根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

[0021] 由以上方案可以看出,本发明的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置,通过史密斯预估器对控制率进行补偿,滞后对象输出量和上一时刻控制输入量一一对应,本发明给出的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置操作简单,效果优良,涵盖面广,使得自抗扰控制技术理论能够真正地服务于实践,为广大控制工程师所接受;并且大大提升了自抗扰控制器的工程实用价值,为解决其它类型对象的实际控制问题提供了一套新颖且行之有效的方案。

附图说明

[0022] 图1为本发明实施例中的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法的流程图;

[0023] 图2为本发明实施例中的开环辨识的示意图;

[0024] 图3为本发明实施例中的自抗扰控制流程图;

[0025] 图4为本发明实施例中的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法的效果图之一;

[0026] 图5为本发明实施例中的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法的效果图之二;

[0027] 图6为本发明实施例中的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制装置的结构

示意图。

具体实施方式

[0028] 参见图1所示,一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法,包括以下步骤,

[0029] 步骤S101,获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息;所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息。

[0030] 需要说明的是,获取滞后对象的情况通常可以包括:开环辨识和闭环辨识。下面分别进行描述。

[0031] 开环辨识:当待辨识对象稳定运行在工作点附近时,大多数情况下对象处于闭环控制下。此时,在保证无平无扰切换下,将该回路从自动控制切换到手动控制。根据具体对象特性,在控制量 U 上加一个系统能够容忍的小的阶跃信号,记录响应数据。由于系统为自衡对象,稳定运行时,控制量上的小的阶跃不会使得系统发散,且输入量的阶跃变换对自衡对象有持续激励性,能够激发出系统固有特性显示在响应输出数据中。根据此阶跃实验得到数据,运用最小二乘方法,自抗扰控制器中的跟踪微分器或扩张状态微分器,得到系统近似线性模型。此外,系统纯滞后时间也可以一并获得。

[0032] 若系统为缓变对象且已有工作点附近手动调节数据,可以直接实现离线辨识,得到对象线性模型和纯滞后时间。开环辨识的过程可参照图2。

[0033] 闭环辨识:当待辨识对象稳定运行在工作点附近,对象回路处于闭环控制下,综合考虑,不能将系统切换到手动控制,这时候我们就要考虑闭环辨识问题了。

[0034] 若闭环回路中,除被控对象以外的其它环节均为线性且可得到表达式,由于系统为自衡对象,可以在设定值上加上一个小的阶跃或者脉冲信号,闭环系统的响应数据,进而得到闭环系统模型。在已知除对象以外环节的表达式情况下,通过闭环系统模型,反解出系统模型。

[0035] 若不能通过反解得到被控对象模型,可以采用另一种方案。在闭环回路运行平稳时,在控制量上加入适当幅值的伪随机信号,根据控制输入和对象响应数据,得到被控系统模型。由于被控对象为自衡对象,加入适当幅值的伪随机信号系统闭环响应性能并不会有多大影响,最终实现被控对象的闭环辨识,得到对象线性模型以及纯滞后时间。具体的获取滞后对象的过程可为:

[0036] 1)若在工业现场闭环控制状态,待实验回路及其所在的大系统运行平稳时,将被控对象所在回路从自动控制切换到手动控制,记录对象控制量及其它运行数据。由于切换是在对象输出变化量为0的情况下进行,且对象为自衡对象,理论上可以认为这是一个无平无扰切换。为保险起见,观察一段时间,若实验回路及其所在的大系统仍运行稳定,则继续进行辨识,否则放弃此次实验。等待下次机会,重新初始化。若系统稳定,则将控制输入量上加入一个适当幅度的阶跃量,记录滞后信息;

[0037] 2)若实验回路运行平稳且处于闭环控制下,除对象外回路中其它部分为线性。保持对象处于闭环控制下,在设定值上施加一个适当幅值的阶跃信号,记录滞后信息;

[0038] 3)若实验回路运行平稳且处于闭环控制下,除对象外回路中其它部分不为线性,在控制量上施加适当幅值的伪随机信号,记录滞后信息。

[0039] 所述滞后信息包括滞后对象的输入与输出信息,滞后对象的输入与输出信息可为

所述阶跃施加时刻以及系统最终稳定时段内的输入输出数据以及对应时间信息;或者信号施加对应时间和响应信息;或者信号施加对应时间和响应信息记录信号施加对应时间和响应信息。

[0040] 步骤S102,根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象,并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量。

[0041] 作为一个较好的实施例,根据所述滞后信息进行计算得到线性纯滞后对象的过程具体可以包括如下:

[0042] 步骤S1021,根据所述滞后信息,通过跟踪微分器或扩张状态微分器进行计算得到观测量;

[0043] 步骤S1022,根据所述观测量,采用最小二乘法计算得到线性纯滞后对象;所述线性纯滞后对象为纯滞后时间的滞后对象。

[0044] 步骤S103,根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率,采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率。

[0045] 作为一个较好的实施例,步骤S103中根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率、采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得到补偿控制率的过程具体可以包括如下:

[0046] 步骤S1031,获取单入单出纯滞后自衡对象的输出量和扰动估计量,采用公式 $\dot{y} = f + bu$ 进行计算得出所述控制率;

[0047] 步骤S1032,根据所述控制率,将所述单入单出纯滞后自衡对象控制输入值取为

$$u = \frac{-f + u_0}{b}, \quad u_0 = k(r - z_1), \text{ 并将单入单出纯滞后自衡对象控制输出值代入公式 } \dot{y} = f + bu$$

中,得出补偿后的补偿控制率为 $y = \frac{k}{s+k}r$; 其中, y 为滞后对象输出量, u 为滞后对象控制输入量, b 为滞后对象控制输入量增益, k 为控制器参数, r 为滞后对象的稳态值, s 为补偿后控制率, f 为对象扰动, z_1 对象输出的观测量。

[0048] 参照图3,本实施例中通过扩张状态观测器用来观测系统状态以及扰动量,进而提供状态反馈;通过反馈控制率来提高补偿的精度。其中扩张状态观测器有两个输入,分别为被控对象输出和上一时刻控制输入量。包括扩张状态观测器、反馈控制率以及史密斯预估器。

[0049] 以一阶自抗扰控制为例,通过采用公式
$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_1 &= \hat{x}_2 + bu + l_1(y - \hat{x}_1) \\ \dot{\hat{x}}_2 &= l_2(y - \hat{x}_1), \end{aligned}$$
 此时的 u 和 y 是一一

对应的。其中 u 是上一时刻被控对象的控制输入量, y 是系统输出量, l_1 和 l_2 是扩张状态观测器参数。 $\hat{x}_1$ 和 $\hat{x}_2$ 为观测器状态,分别用来估计对象输出 y 以及扰动量。若被控对象中存在纯滞后,对象的控制输入量输入对象后,要经过一个滞后时间才能从对象输出中体现出来,此时,就需先获取通过史密斯预估器计算出的滞后对象的输出量和扰动估计量,然后通过公式 $\dot{y} = f + bu$ 进行计算得出控制率;并且,通过史密斯预估器对所述控制率进行补偿时,滞

后对象控制输入值取为 $u = \frac{-f + u_0}{b}$ ，将该滞后对象控制输出值带入公式 $\dot{y} = f + bu$ 中，得出

$$\dot{y} = u_0, \text{ 从而可以得到补偿后的补偿控制率为 } y = \frac{k}{s+k} r.$$

[0050] 步骤S104, 根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

[0051] 以二阶自抗扰控制为例, z_1 和 z_2 分别用来观测被控对象输出量和扰动量。n 和 d 分别是测量噪声和执行器扰动, u 为控制量。控制带宽 k 和输入增益 b 的运算作用均为简单的比例运算作用, 通过运算放大器就可以轻松实现。e^{-τs} 代表史密斯预估器中的滞后环节, 这一环节的运算作用可以通过保持器或者输入信号存储器实现。总之, 适用于线性纯滞后对象的自抗扰控制器, 运算实现上非常简单。

[0052] 图4中原系统真实模型为 $G = \frac{4}{s^2 + 5s + 4} e^{-10s}$, 辨识得到的模型为 $\hat{G} = \frac{3.8}{s^2 + 5s + 4.56} e^{-9.5s}$,

因为针对线性模型 $\hat{G}_L = \frac{3.8}{s^2 + 5s + 4.56}$ 离线设计了控制器, 得到图4的控制效果。将图4中设

计的控制器加上史密斯预估器施加到原系统上, 得到如图5中的效果图。从图4到图5, 控制参数保持不变分别为控制带宽1, 观测带宽30, 输入增益1.5, 史密斯预估器滞后时间常数9.5。在参数保持不变, 辨识结果与原系统有一定误差的情况下, 控制效果依然较优。

[0053] 另外, 与上述一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法相对应, 本发明还提供一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制, 如图6所示, 包括:

[0054] 对象获取模块101, 用于获取单入单出纯滞后自衡对象的滞后信息; 所述滞后信息包括单入单出纯滞后自衡对象的输入与输出信息;

[0055] 分析模块102, 用于根据所述滞后信息计算得到线性纯滞后对象, 并记录所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量;

[0056] 补偿模块103, 用于根据所述线性纯滞后对象的输出量和扰动估计量构建控制率, 采用史密斯预估器对所述控制率进行补偿得出补偿控制率;

[0057] 控制模块104, 用于根据所述补偿控制率对所述单入单出纯滞后自衡对象进行自抗扰控制。

[0058] 作为一个较好的实施例, 所述分析模块可以包括:

[0059] 观测量计算子模块, 用于根据所述滞后信息, 通过跟踪微分器或扩张状态微分器进行计算得到观测量;

[0060] 线性纯滞后对象计算子模块, 用于根据所述观测量, 采用最小二乘法计算得到线性纯滞后对象; 所述线性纯滞后对象为纯滞后时间的滞后对象。

[0061] 作为一个较好的实施例, 所述补偿模块可以包括:

[0062] 控制率计算子模块, 用于根据所述单入单出纯滞后自衡对象的输出量和扰动估计量, 采用公式 $\dot{y} = f + bu$ 进行计算得出所述控制率;

[0063] 补偿控制率计算子模块, 用于根据所述控制率, 将所述单入单出纯滞后自衡对象

控制输入值取为 $u = \frac{-f + u_0}{b}$, $u_0 = k(r - z_1)$, 并将单入单出纯滞后自衡对象控制输出值代入

公式 $\dot{y} = f + bu$ 中, 得出所述补偿控制率为 $y = \frac{k}{s+k}r$; 其中, y 为滞后对象输出量, u 为滞后

对象控制输入量, b 为滞后对象控制输入量增益, k 为控制器参数, r 为滞后对象的稳态值, s 为补偿后控制率, f 为对象扰动, z_1 对象输出的观测量。

[0064] 上述一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制的其它技术特征与本发明的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法相同, 此处不予赘述。

[0065] 通过以上方案可以看出, 本发明的一种单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法及装置, 通过史密斯预估器对控制率进行补偿, 滞后对象输出量和上一时刻控制输入量一一对应, 本发明给出的单入单出纯滞后自衡对象的自抗扰控制方法操作简单, 效果优良, 涵盖面广, 使得自抗扰控制技术理论能够真正地服务于实践, 为广大控制工程师所接受; 并且大大提升了自抗扰控制器的工程实用价值, 为解决其它类型对象的实际控制问题提供了一套新颖且行之有效的方案。

[0066] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本发明的保护范围。因此, 本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

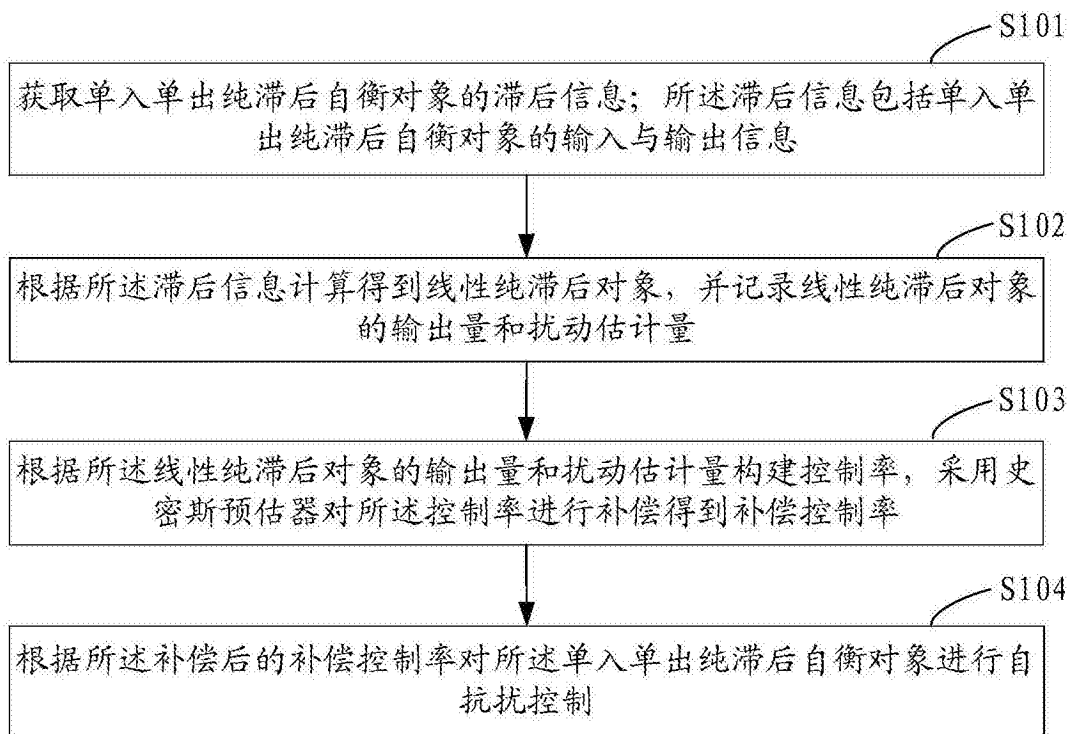


图1

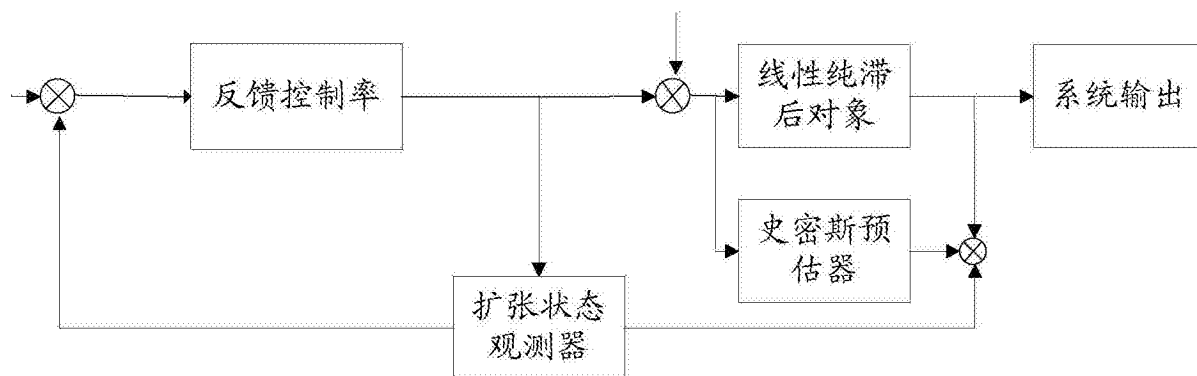


图2

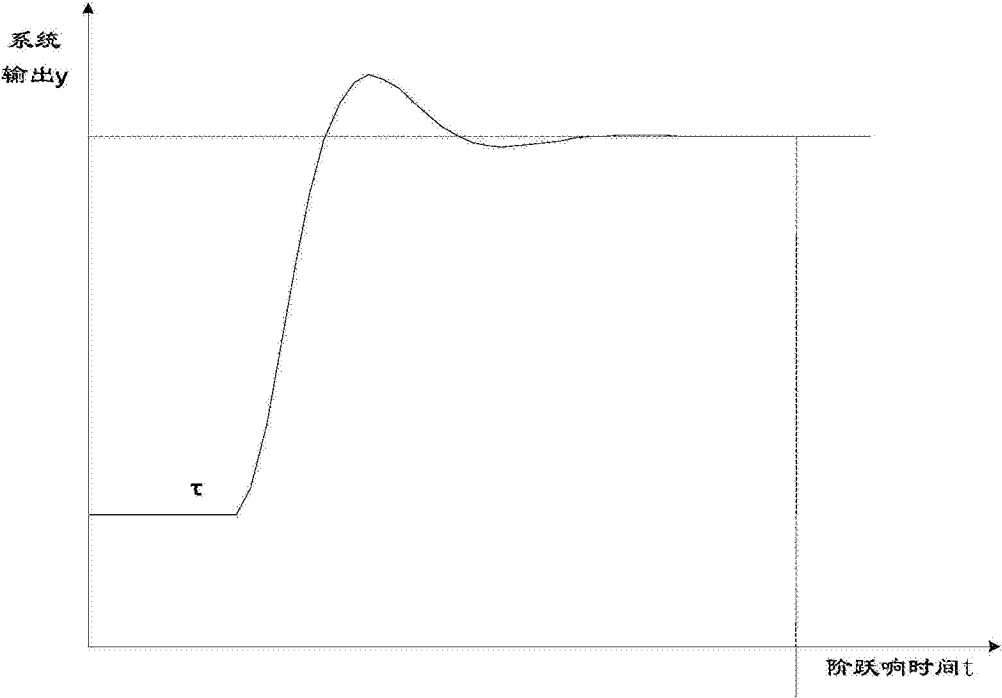


图3

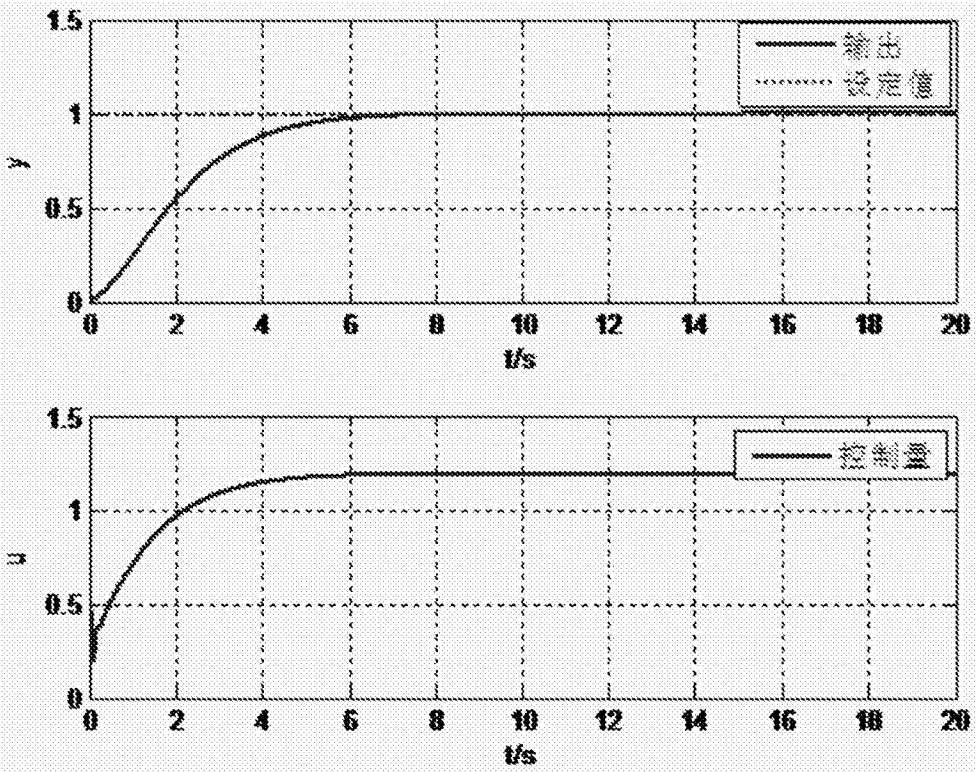


图4

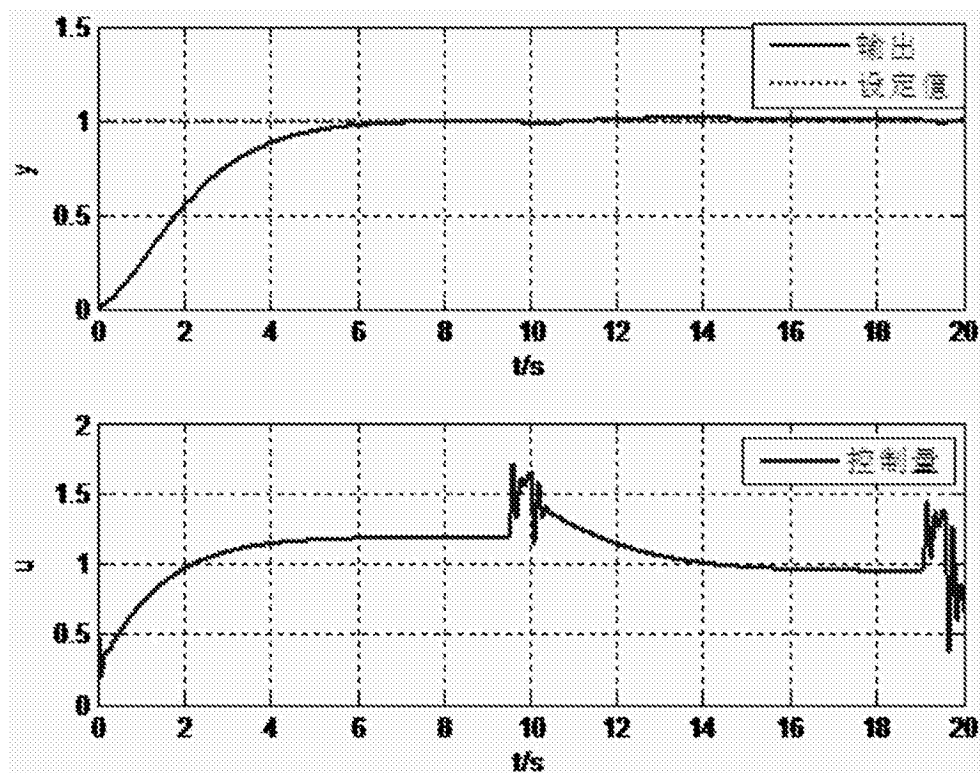


图5

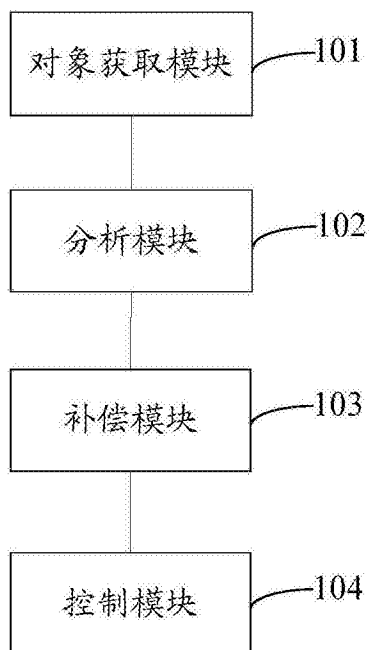


图6