



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113138552 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 07

(21) 申请号 202110348859.1

(22) 申请日 2021.03.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113138552 A

(43) 申请公布日 2021.07.20

(73) 专利权人 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院
地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖八区华电弄1号
专利权人 杭州意能电力技术有限公司

(72) 发明人 苏烨 孙坚栋 丁宁 张江丰
李泉 陈巍文 戴航丹

(74) 专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通合伙) 33206
专利代理师 张建青

(51) Int.Cl.

G05B 11/42 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112286043 A, 2021.01.29

CN 107942648 A, 2018.04.20

CN 105676692 A, 2016.06.15

张旺. 冷凝器自动转台焊机的研制.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技I辑》.2017, 正文第47-48页.

审查员 毛威

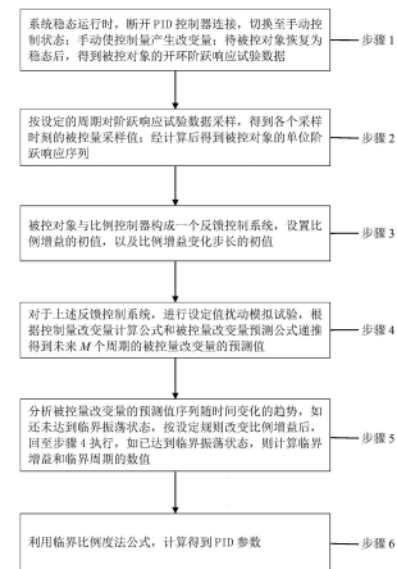
权利要求书3页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法。本发明首先对被控对象进行阶跃响应试验,得到阶跃响应试验数据;按设定的周期采样和计算后,确定被控对象的单位阶跃响应序列;将被控对象与比例控制器构成一个反馈控制系统,设置比例控制器比例增益的初值,以及比例增益变化步长的初值;对上述反馈控制系统,进行设定值扰动模拟试验,根据控制量改变量计算公式和被控量改变量预测公式递推得到未来M个周期的被控量改变量的预测值;分析被控量改变量的预测值序列随时间变化的趋势,如还未达到临界振荡状态,按设定规则改变比例增益后,回至步骤4执行,如已达到临界振荡状态,则计算临界增益和临界周期的数值;最后利用临界比例度法公式计算得到PID参数。本发明可以有效地降低PID参数整定难度,减少工作量,提高工作效率。



1. 基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法,其特征在于,包括:

步骤1,自动控制系统稳定运行时,断开PID控制器连接,切换至手动控制状态;手动使控制量产生改变量;待被控对象恢复为稳态后,得到被控对象的开环阶跃响应试验数据;

步骤2,按设定的周期对开环阶跃响应试验数据采样,得到各个采样时刻的被控量采样值;经计算后得到被控对象的单位阶跃响应序列;

步骤3,将被控对象与比例控制器构成一个反馈控制系统,设置比例控制器比例增益的初值,以及比例增益变化步长的初值;

步骤4,对所述的反馈控制系统进行设定值扰动模拟试验,根据控制量改变量计算公式和被控量改变量预测公式递推得到未来M个周期的被控量改变量的预测值;

步骤5,分析被控量改变量的预测值序列随时间变化的趋势,如还未达到临界振荡状态,按设定规则改变比例增益后,回到步骤4执行,如已达到临界振荡状态,则计算临界增益和临界周期的数值;

步骤6,利用临界比例度法公式计算得到PID参数;

步骤4中,假设上述反馈控制系统在kT时刻前一直处于稳态,其中设定值为 C_0 、被控量为稳态值 Y_0 、控制量为稳态值 U_0 ;在kT时刻,对该反馈控制系统进行设定值阶跃扰动试验,即设定值在原 C_0 基础上产生阶跃改变量c,则在kT以及kT以后的各个采样时刻,比例控制器将根据比例增益 K_p 以及设定值与被控量之间的偏差量计算控制量改变量 $u(k+i)$,即

$$u(k+i) = K_p (c - y(k+i|k)) \quad (4)$$

上式称为控制量改变量计算公式, $y(k+i|k)$ 表示(k+i)T时刻的被控量改变量的预测值;

步骤4中,鉴于线性系统满足叠加原理,故在kT时刻,对于未来1,2,...,M个采样时刻的被控量改变量的预测值 $y(k+i|k)$,按式(5)进行计算,

$$\begin{cases} y(k+1|k) = a_1 \Delta u(k) \\ y(k+2|k) = a_2 \Delta u(k) + a_1 \Delta u(k+1) \\ \dots \\ y(k+M|k) = a_M \Delta u(k) + \dots + a_1 \Delta u(k+M-1) \end{cases} \quad (5)$$

上式称为被控量改变量预测公式,其中, a_i 为被控对象的单位阶跃响应序列,被控量改变量的预测时域长度M根据被控对象的动态特性设置, $\Delta u(k+i)$ 为(k+i)T时刻的控制量增量,即

$$\Delta u(k+i) = u(k+i) - u(k+i-1) \quad (6)$$

对于上述反馈控制系统的设定值阶跃扰动试验,在kT时刻,由于 $y(k)$ 已知,故由式(4)、式(6)计算得到 $\Delta u(k)$,将其代入式(5)即得到(k+1)T时刻被控量改变量的预测值 $y(k+1|k)$;在(k+1)T时刻, $y(k+1|k)$ 已知,同样由式(4)、式(6)计算得到 $\Delta u(k+1)$,进而求得(k+2)T时刻被控量改变量的预测值 $y(k+2|k)$;由此可见,反馈控制系统在未来M个采样时刻的被控量改变量 $y(k+i|k)$ 由式(4)、式(6)和式(5)递推求解得到;

步骤5中,将在步骤4中得到的被控量改变量的预测值,构成时间序列 $y(k+1|k)$, $y(k+2|k)$,..., $y(k+M|k)$,分析其随时间变化的趋势,分为以下6种情形:

(1) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐衰减状态,说明当前比例增益偏小,按步

长 ΔK_p 将比例增益增大至

$$K_p^{new} = K_p + \Delta K_p \quad (7)$$

式中, K_p^{new} 表示新的比例增益, 即下次执行步骤4和步骤5时的比例增益 K_p ;

(2) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐发散状态, 说明当前比例增益偏大, 按步长 ΔK_p 将比例增益减小至

$$K_p^{new} = K_p - \Delta K_p \quad (8)$$

(3) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列都呈现为逐渐衰减状态, 说明当前比例增益偏小, 按式 (7) 增大比例增益;

(4) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列都呈现为逐渐发散状态, 说明当前比例增益偏大, 按式 (8) 减小比例增益;

(5) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列一次呈现为逐渐衰减, 另一次呈现为逐渐发散状态, 新比例增益取值为前两次比例增益的平均值, 并将步长调整为原步长的一半, 即

$$\begin{cases} K_p^{new} = (K_p + K_p^{last}) / 2 \\ \Delta K_p^{new} = \Delta K_p / 2 \end{cases} \quad (9)$$

式中, K_p^{last} 表示上次执行步骤4和步骤5时的比例增益、 ΔK_p^{new} 表示新的增益变化步长, 即下次执行步骤5时的增益变化步长;

(6) 时间序列呈现为近似等幅震荡, 说明该比例增益即为临界比例增益 K_{cr} , 由该时间序列进一步求得等幅震荡周期 T_{cr} ;

对于以上6种情形, 当出现 (6) 时搜索结束, 进入下个步骤计算PID参数, 出现其余5种情形时, 需要回到步骤4重新执行。

2. 根据权利要求1所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法, 其特征在于, 步骤1中, 在稳态运行时, 断开自动控制系统的PID控制器连接, 将自动控制系统由自动控制状态切换至手动控制状态; 手动使控制量 U 在原稳态控制量 U_0 的基础上产生改变量 u ;

$$U = U_0 + u \quad (1)$$

待被控对象恢复为稳态后, 得到被控对象的开环阶跃响应试验数据。

3. 根据权利要求1或2所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法, 其特征在于, 步骤2中, 对于在步骤1中得到的开环阶跃响应试验数据, 按设定的周期 T 采样, 得到各个采样时刻的被控量采样值 $Y_i = Y(iT)$, $i = 0, 1, 2, \dots, N, \dots, M$, 其中 N 为被控对象的模型长度, M 为被控量改变量的预测时域长度。

4. 根据权利要求3所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法, 其特征在于, 步骤2中, 对于各个被控量采样值 Y_i , 分别减去阶跃响应试验开始前的被控量稳态值 Y_0 , 并除以控制量改变量 u , 确定被控对象的单位阶跃响应序列 $a_i = a(iT)$,

$$a_i = a(iT) = (Y_i - Y_0) / u \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N, \dots, M。$$

5. 根据权利要求3所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法, 其特

征在于,步骤2中,对于渐近稳定对象,经过N个采样周期后,被控量可视为保持稳态值不变;对于非渐近稳定对象,先采用适当的比例控制器与被控对象构成广义渐近稳定对象,再按照渐近稳定对象方式的处理即可。

6.根据权利要求1或2所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法,其特征在于,步骤3中,设比例控制器的比例增益 K_p 的初值为 K_{p0} ,设比例增益 K_p 变化步长 ΔK_p 的初值为 ΔK_{p0} ,即:

$$\begin{cases} K_P = K_{P0} \\ \Delta K_P = \Delta K_{P0} \end{cases} \quad (3)。$$

7.根据权利要求1所述的基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法,其特征在于,步骤6中,根据确定的临界比例增益 K_{cr} 和临界振荡周期 T_{cr} ,利用临界比例度法公式,计算得到PI或PID控制器的参数。

基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法

技术领域

[0001] 本发明属于自动控制系统技术领域,具体地说是一种基于被控对象阶跃响应试验数据和临界比例度法的PID参数整定方法。

背景技术

[0002] 比例-积分-微分(Proportion-integral-derivative,PID)控制器具有结构简单、容易实现、鲁棒性好等诸多优点,在工业过程自动控制系统中得到了广泛应用。在工程应用中,当PID参数不合理时,不仅系统的动态性能较差,而且还可能需要操作人员频繁干预,甚至导致系统退出自动控制状态。PID控制器只有三个可调参数,但要获得最佳参数组合并不容易,目前工程人员主要利用经验或理论方法整定PID参数。

[0003] 临界比例度法是常用的PID参数整定经验方法之一。用该方法整定PID参数时,要在纯比例控制作用下,由小到大逐渐改变控制器的比例增益,使反馈控制系统产生等幅振荡,以得到临界比例增益和临界周期的数值;然后根据经验公式,计算出PID参数值。该方法在实际应用时,需要工程人员由小到大不断地改变比例增益,每次改变增益后,都需要进行设定值阶跃扰动试验,工作量大,整定时间长,还影响自动控系统的投运;而且,由于临界比例度法需要使系统达到等幅振荡后,才能确定临界比例增益和临界周期,因此,对于无法通过设定值阶跃扰动试验产生等幅振荡的系统,该方法则不适用,例如对参数有严格要求的生产场合,如果被控量出现等幅振荡,可能影响安全常生产,或者当比例增益调整至工程上限时,系统也不会出现等幅振荡的场合。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服上述现有技术存在的不足,提供一种基于被控对象阶跃响应试验数据和临界比例度法的自动控制系统PID参数整定方法,其使工程人员可通过被控对象一次阶跃响应试验确定单位阶跃响应序列,然后利用临界比例度法,便可整定得到理想的PID参数,以大大降低PID参数整定难度、减少工作量、提高工作效率。

[0005] 为此,本发明采用如下的技术方案:基于阶跃响应数据和临界比例度法的PID参数整定方法,其包括:

[0006] 步骤1,自动控制系统稳定运行时,断开PID控制器连接,切换至手动控制状态;手动使控制量产生改变量;待被控对象恢复为稳态后,得到被控对象的开环阶跃响应试验数据;

[0007] 步骤2,按设定的周期对开环阶跃响应试验数据采样,得到各个采样时刻的被控量采样值;经计算后得到被控对象的单位阶跃响应序列;

[0008] 步骤3,将被控对象与比例控制器构成一个反馈控制系统,设置比例控制器比例增益的初值,以及比例增益变化步长的初值;

[0009] 步骤4,对所述的反馈控制系统进行设定值扰动模拟试验,根据控制量改变量计算公式和被控量改变量预测公式递推得到未来M个周期的被控量改变量的预测值;

[0010] 步骤5,分析被控量改变量的预测值序列随时间变化的趋势,如还未达到临界振荡状态,按设定规则改变比例增益后,回到步骤4执行,如已达到临界振荡状态,则计算临界增益和临界周期的数值;

[0011] 步骤6,利用临界比例度法公式计算得到PID参数。

[0012] 进一步的,步骤1中,在稳态运行时,断开自动控制系统的PID控制器连接,将自动控制系统由自动控制状态切换至手动控制状态;手动使控制量 U 在原稳态控制量 U_0 的基础上产生改变量 u (可为正值或负值);

$$[0013] \quad U = U_0 + u \quad (1)$$

[0014] 待被控对象恢复为稳态后,得到被控对象的开环阶跃响应试验数据。

[0015] 进一步的,步骤2中,对于在步骤1中得到的开环阶跃响应试验数据,按设定的周期 T 采样,得到各个采样时刻的被控量采样值 $Y_i = Y(iT)$, $i = 0, 1, 2, \dots, N, \dots, M$,其中 N 为被控对象的模型长度(对于渐近稳定对象,经过 N 个采样周期后,被控量可视为保持稳态值不变;对于非渐近稳定对象,先采用适当的比例控制器与被控对象构成广义渐近稳定对象,再按照渐近稳定对象方式的处理即可), M 为被控量改变量的预测时域长度;

[0016] 对于各个被控量采样值 Y_i ,分别减去阶跃响应试验开始前的被控量稳态值 Y_0 ,并除以控制量改变量 u ,确定被控对象的单位阶跃响应序列 $a_i = a(iT)$,

$$[0017] \quad a_i = a(iT) = (Y_i - Y_0) / u \quad (2)$$

$$[0018] \quad i = 1, 2, \dots, N, \dots, M。$$

[0019] 进一步的,步骤3中,设比例控制器的比例增益 K_p 的初值为 K_{p0} ,设比例增益 K_p 变化步长 ΔK_p 的初值为 ΔK_{p0} ,即:

$$[0020] \quad \begin{cases} K_p = K_{p0} \\ \Delta K_p = \Delta K_{p0} \end{cases} \quad (3)。$$

[0021] 进一步的,步骤4中,假设上述反馈控制系统在 kT 时刻前一直处于稳态,其中设定值为 C_0 、被控量为稳态值 Y_0 、控制量为稳态值 U_0 ;在 kT 时刻,对该反馈控制系统进行设定值阶跃扰动试验,即设定值在原 C_0 基础上产生阶跃改变量 c ,则在 kT 以及 kT 以后的各个采样时刻,比例控制器将根据比例增益 K_p 以及设定值与被控量之间的偏差量计算控制量改变量 $u(k+i)$,即

$$[0022] \quad u(k+i) = K_p (c - y(k+i|k)) \quad (4)$$

[0023] 上式称为控制量改变量计算公式, $y(k+i|k)$ 表示 $(k+i)T$ 时刻的被控量改变量的预测值。

[0024] 进一步的,步骤4中,鉴于线性系统满足叠加原理,故在 kT 时刻,对于未来 $1, 2, \dots, M$ 个采样时刻的被控量改变量的预测值 $y(k+i|k)$,按式(5)进行计算,

$$[0025] \quad \begin{cases} y(k+1|k) = a_1 \Delta u(k) \\ y(k+2|k) = a_2 \Delta u(k) + a_1 \Delta u(k+1) \\ \dots \\ y(k+M|k) = a_M \Delta u(k) + \dots + a_1 \Delta u(k+M-1) \end{cases} \quad (5)$$

[0026] 上式称为被控量改变量预测公式,其中, a_i 为被控对象的单位阶跃响应序列,被控

量改变量的预测时域长度M根据被控对象的动态特性设置, $\Delta u(k+i)$ 为 $(k+i)$ T时刻的控制量增量,即

$$[0027] \quad \Delta u(k+i) = u(k+i) - u(k+i-1) \quad (6)$$

[0028] 对于上述反馈控制系统的设定值阶跃扰动试验,在kT时刻,由于y(k)已知,故由式(4)、式(6)计算得到 $\Delta u(k)$,将其代入式(5)即得到 $(k+1)$ T时刻被控量改变量的预测值 $y(k+1|k)$;在 $(k+1)$ T时刻, $y(k+1|k)$ 已知,同样由式(4)、式(6)计算得到 $\Delta u(k+1)$,进而求得 $(k+2)$ T时刻被控量改变量的预测值 $y(k+2|k)$;由此可见,反馈控制系统在未来M个采样时刻的被控量改变量 $y(k+i|k)$ 由式(4)、式(6)和式(5)递推求解得到。

[0029] 进一步的,步骤5中,将在步骤4中得到的被控量改变量的预测值,构成时间序列 $y(k+1|k)$, $y(k+2|k)$, ..., $y(k+M|k)$,分析其随时间变化的趋势,分为以下6种情形:

[0030] (1) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐衰减状态,说明当前比例增益偏小,按步长 ΔK_p 将比例增益增大至

$$[0031] \quad K_p^{new} = K_p + \Delta K_p \quad (7)$$

[0032] 式中, K_p^{new} 表示新的比例增益,即下次执行步骤4和步骤5时的比例增益 K_p ;

[0033] (2) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐发散状态,说明当前比例增益偏大,按步长 ΔK_p 将比例增益减小至

$$[0034] \quad K_p^{new} = K_p - \Delta K_p \quad (8)$$

[0035] (3) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列都呈现为逐渐衰减状态,说明当前比例增益偏小,按式(7)增大比例增益;

[0036] (4) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列都呈现为逐渐发散状态,说明当前比例增益偏大,按式(8)减小比例增益;

[0037] (5) 步骤5已经执行多次、且最近两次的时间序列一次呈现为逐渐衰减,另一次呈现为逐渐发散状态,新比例增益取值为前两次比例增益的平均值,并将步长调整为原步长的一半,即

$$[0038] \quad \begin{cases} K_p^{new} = (K_p + K_p^{last}) / 2 \\ \Delta K_p^{new} = \Delta K_p / 2 \end{cases} \quad (9)$$

[0039] 式中, K_p^{last} 表示上次执行步骤4和步骤5时的比例增益、 ΔK_p^{new} 表示新的增益变化步长,即下次执行步骤5时的增益变化步长;

[0040] (6) 时间序列呈现为近似等幅震荡,说明该比例增益即为临界比例增益 K_{cr} ,由该时间序列进一步求得等幅震荡周期 T_{cr} ;

[0041] 对于以上6种情形,当出现(6)时搜索结束,进入下个步骤计算PID参数,出现其余5种情形时,需要回到步骤4重新执行。

[0042] 进一步的,步骤6中,根据确定的临界比例增益 K_{cr} 和临界振荡周期 T_{cr} ,利用临界比例度法公式,计算得到PI或PID控制器的参数。

[0043] 本发明为一种基于被控对象阶跃响应试验数据和临界比例度法的PID参数整定方法,使工程人员既不需要对被控对象进行多次阶跃响应试验以确定临界增益和临界周期,又不需要进行模型辨识试验建模并基于理论方法确定临界增益和临界周期。利用本发明的

方法,只需要进行一次阶跃响应试验,确定单位阶跃响应序列,然后利用临界比例度法,便可整定得到理想的PID参数。

附图说明

- [0044] 图1是本发明PID参数整定方法的流程示意图;
 [0045] 图2是本发明具体实施方式中通用PID控制系统的框图;
 [0046] 图3是本发明具体实施方式中被控对象的阶跃响应曲线图;
 [0047] 图4是本发明具体实施方式中被控对象与比例控制器构成反馈控制系统的框图;
 [0048] 图5是本发明具体实施方式中处于临界振荡状态的被控量改变量预测值序列曲线图;
 [0049] 图6是由本发明整定得到的PI和PID控制器构成的反馈控制系统的设定值扰动阶跃响应曲线图。

具体实施方式

[0050] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式做进一步描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0051] 如附图1,本发明一个具体实施例中,示出了一种基于被控对象阶跃响应试验数据和临界比例度法的PID参数整定方法的流程示意图。对于附图2所示自动控制系统,假设被控对象的传递函数模型为

$$[0052] \quad G(s) = \frac{0.5}{(40s+1)^2} e^{-45s} \quad (10)$$

[0053] 利用本发明对该自动控制系统进行PI和PID参数整定,总体上包括:

[0054] 步骤1,在自动控制系统稳态运行时,断开PID控制器连接,将系统由自动控制状态切换至手动控制状态;手动使控制量 U 在原稳态控制量 U_0 的基础上产生改变量 $u=1$;待被控对象恢复为稳态后,得到被控对象的开环阶跃响应试验数据,阶跃响应曲线如附图3。

[0055] 步骤2,对于在步骤1中得到的阶跃响应试验数据,按采样周期 $T=1s$ 采样,得到各个采样时刻的被控量采样值 $Y_i=Y(iT)$, $i=0,1,2,\dots,N,\dots,M$,其中 $N=300$,为被控对象的模型长度(经过 N 个采样周期后,被控量近似保持稳态值0.5不变,见附图3), $M=1000$,为被控量改变量的预测时域长度。

[0056] 对于各个被控量采样值 Y_i ,分别减去阶跃响应试验开始前的被控量稳态值 Y_0 ,并除以控制量改变量 u ,确定被控对象的单位阶跃响应序列 $a_i=a(iT)$, $i=1,2,\dots,N,\dots,M$ 。

[0057] 步骤3,上述已知单位阶跃响应序列的被控对象与比例控制器构成一个反馈控制系统,如附图4所示,设比例控制器的比例增益 K_p 的初值为3.0,在步骤5中将用到的 K_{p0} 的变化步长 ΔK_p 的初值为0.01。

[0058] 步骤4,模拟设定值阶跃扰动试验,假设上述反馈控制系统在 kT 时刻前一直处于稳态,其中设定值为 C_0 、被控量稳态值为 Y_0 、控制量稳态值为 U_0 。在 kT 时刻,对该反馈控制系统进行设定值阶跃扰动试验,即设定值在原 C_0 基础上产生一定的阶跃改变量1,则在 kT 以及 kT 以后的各个采样时刻,由控制量改变量计算公式和被控量改变量预测公式可以递推得到未来 M 个采样周期的被控量改变量的预测值 $y(k+i|k)$, $i=1,2,\dots,N,\dots,M$ 。

[0059] 步骤5,将在步骤4中得到的被控量改变量的预测值,构成时间序列 $y(k+1|k)$, $y(k+2|k)$, ..., $y(k+M|k)$,分析其随时间变化的趋势,分为以下6种情形:

[0060] (1) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐衰减状态,说明当前比例增益偏小,按步长将比例增益增大 ΔK_p 。

[0061] (2) 步骤5为首次执行、且时间序列呈现为逐渐发散状态,说明当前比例增益偏大,按步长将比例增益减小 ΔK_p 。

[0062] (3) 步骤5已经执行多次、且最近的两次时间序列都呈现为逐渐衰减状态,说明当前比例增益偏小,按步长将比例增益增大 ΔK_p 。

[0063] (4) 步骤5已经执行多次、且最近的两次时间序列都呈现为逐渐发散状态,说明当前比例增益偏大,按步长将比例增益减小 ΔK_p 。

[0064] (5) 步骤5已经执行多次、且最近的两次时间序列一次呈现为逐渐衰减,另一次呈现为逐渐发散状态,新比例增益取值为前两次比例增益的平均值,并将步长调整为原步长的一半。

[0065] (6) 时间序列呈现为近似等幅震荡,说明该比例增益即为临界比例增益 K_{cr} ,由该时间序列进一步求得等幅震荡周期 T_{cr} 。

[0066] 对于以上6种情形,当出现(6)时搜索结束,进入下个步骤计算PID参数,出现其余5种情形时,需要回到步骤4重新执行。最终确定临界增益 $K_{cr}=4.9439$ 、临界周期 $T_{cr}=207$,图5是发生临界振荡的被控量改变量的预测值序列曲线。

[0067] 步骤6,根据临界增益 K_{cr} 和临界周期 T_{cr} ,利用临界比例度法公式,可以计算得到PI和PID控制器的参数如下表所示。

[0068]	控制规律	比例增益	积分时间	微分时间
	PID 参数			
	PI 控制	2.225	172.43	-
	PID 控制	2.966	103.5	25.875

[0069] 利用上述PI和PID控制器,分别与被控对象构成反馈控制系统,进行设定值扰动阶跃响应,得到阶跃响应曲线如附图6所示。

[0070] 本发明中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

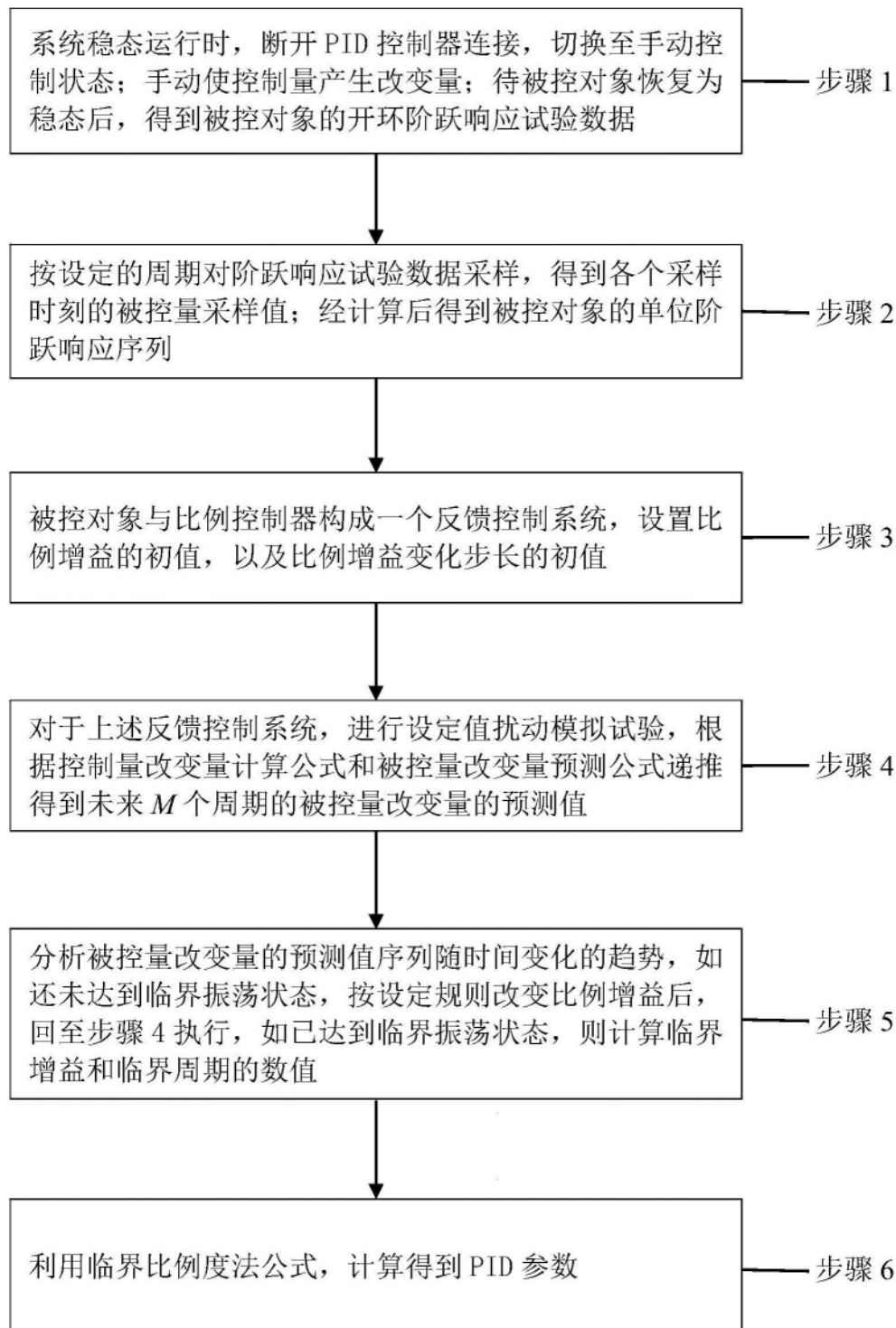


图1

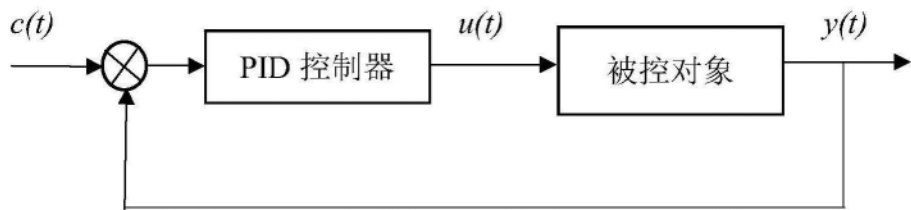


图2

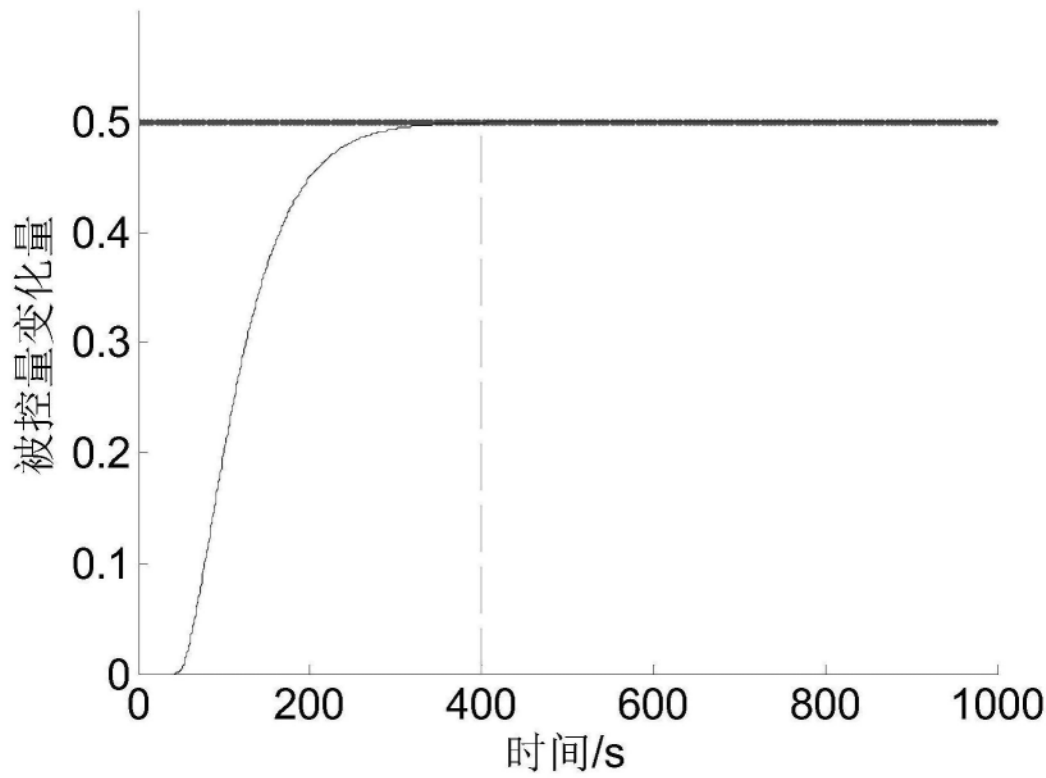


图3

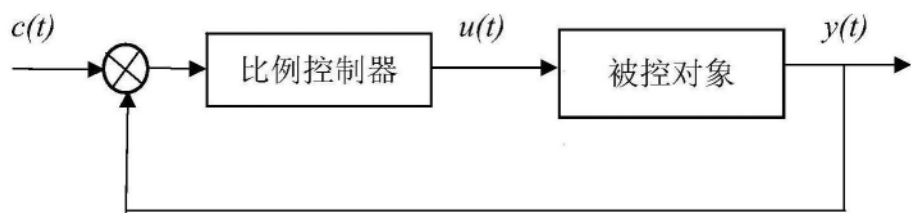


图4

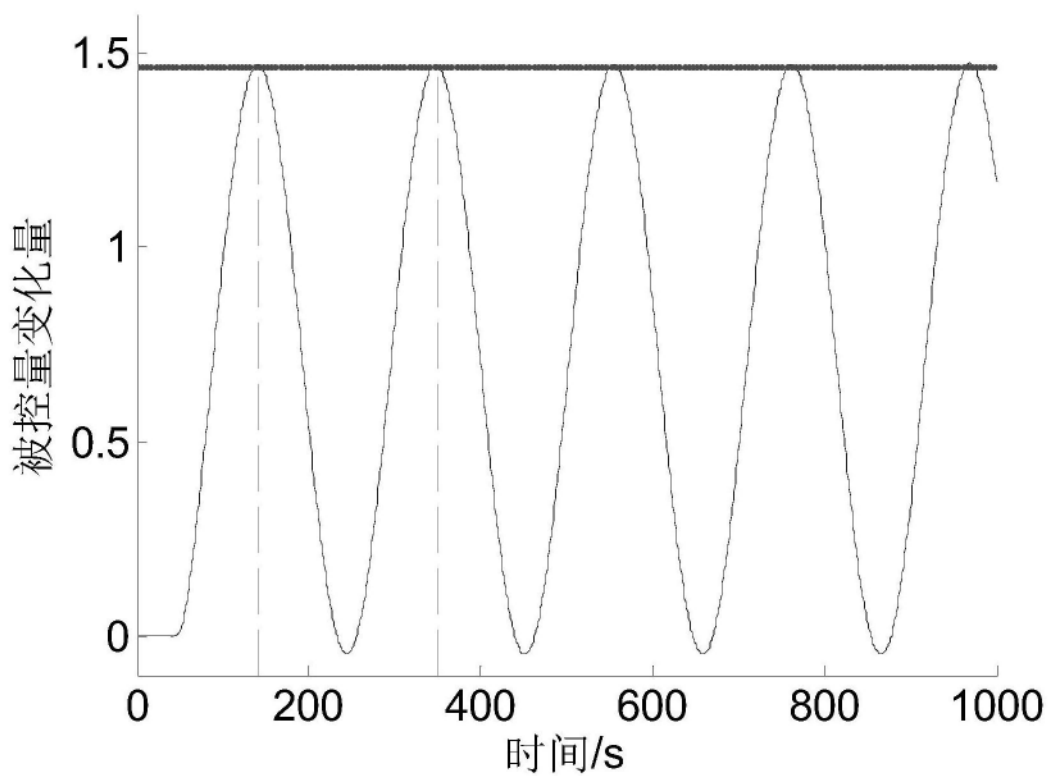


图5

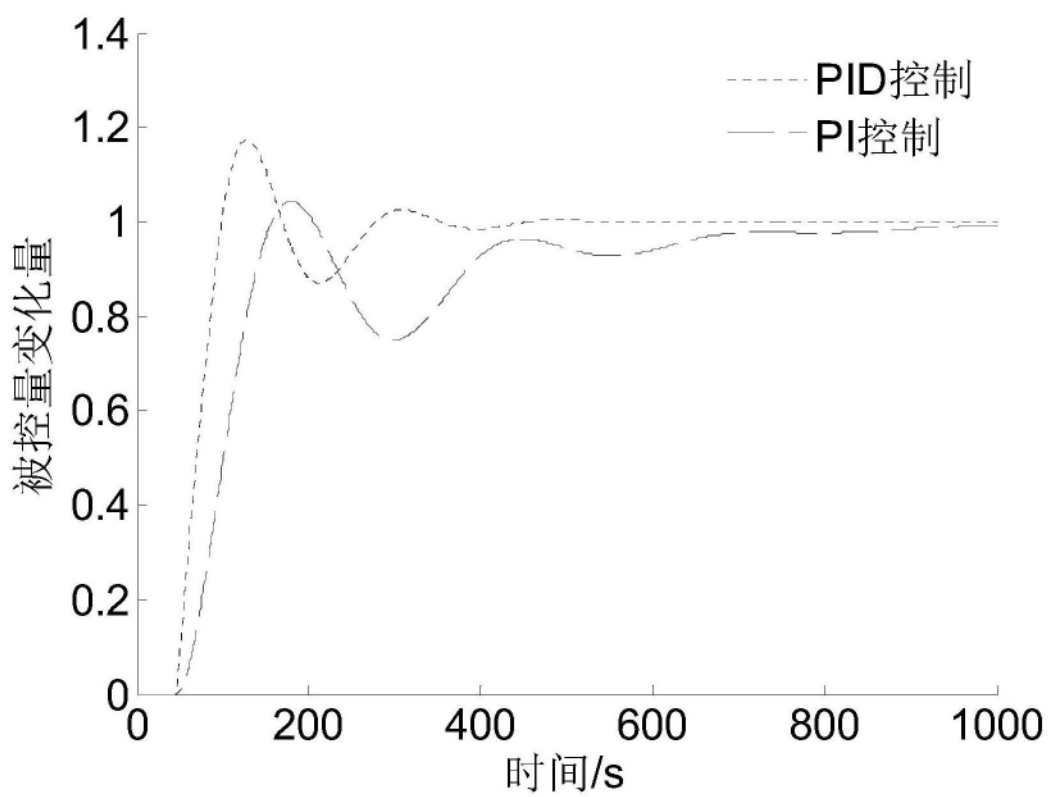


图6