

基于临界比例度法整定PID控制器参数的仿真研究

孙跃光¹, 林怀蔚², 周华茂², 杨小玲²

(1. 深圳机场集团公司扩建工程指挥部, 广东 深圳 518128; 2. 江西农业大学 工学院, 江西 南昌 330045)

摘要: PID 控制器参数的整定是 PID 控制系统设计的核心。为了整定 PID 控制器参数, 基于 Matlab/Simulink 仿真环境, 采用临界比例度法整定 PID 控制器参数, 通过仿真实例很好地实现了对 PID 控制器参数的整定。该仿真具有直接观察系统性能变化, 快速、准确选择合适 PID 参数, 充分体现了 Matlab/Simulink 直观、方便的特点。

关键词: 临界比例度法; PID 控制器; 参数整定; Matlab; Simulink

中图分类号: TN911-34; TM762 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-373X(2012)08-0192-03

Simulation study on setting of PID controller parameters according to critical proportioning method

SUN Yue-guang, LIN Huai-wei, ZHOU Hua-mao, YANG Xiao-ling

(1. Headquarters of Expansion Project, Shenzhen Airport Group Co., Ltd, Shenzhen 518128, China;

2. Faculty of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The setting of PID controller parameters is the core of PID control system design. The critical proportioning method was adopted to set the PID controller parameters under the condition of the Matlab/Simulink simulation. The parameter setting of PID controller was implemented by a simulation example. The innovation points for this paper is that the simulation has the features of observing the variation of the system performance, and selecting appropriate PID parameters quickly and accurately. It also fully reflects the intuitive and convenient characteristics of Matlab/Simulink.

Keywords: critical proportioning method; PID controller; parameter setting; Matlab; Simulink

PID 控制器是目前工业过程控制中, 应用最为广泛的工业控制器之一。简单来说, PID 控制具有如下优点: 原理简单, 使用方便; 适应性强, 可以广泛地应用于各种工业过程控制领域; 鲁棒性强, 即其控制品质对被控对象特性的变化不太敏感^[1]。采用不同的 PID 参数, 控制系统的效果明显不同, 系统的闭环特性很大程度上取决于 PID 控制器的性能, 因此 PID 控制器参数的调节和优化对控制系统的实施起着非常重要的作用。PID 控制器参数整定是 PID 控制系统设计的核心内容, 控制工程中常用的工程整定方法有临界比例度法、衰减曲线法、鲁棒 PID 参数整定法和 ISTE 最优参数整定法等方法。Simulink 是一种以 Matlab 为基础的实现交互式动态系统建模、仿真与分析的软件包, 可以针对控制系统等进行系统建模、仿真、分析等工作。本文基于 Matlab/Simulink 仿真环境下, 采用临界比例度法整定 PID 参数, 直接观察系统性能变化, 快速、准确选择合适的 PID 参数。

1 PID 控制

1.1 PID 控制原理与算法

所谓 PID 控制, 就是比例 (Proportional)、积分 (In-

tegral) 和微分 (Differential) 控制, 它的结构简单, 参数易于调整, 是控制系统中经常采用的控制算法。在模拟控制系统中, PID 控制算法的控制结构如图 1 所示, 其算法表达式为:

$$u(t) = K_P [e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt}]$$

其相应的传递函数为:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P (1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s)$$

式中: $u(t)$ 为控制器输出的控制量; $e(t)$ 为偏差信号, 它等于给定量与输出量之差; K_P 为比例系数; T_I 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数^[2]。

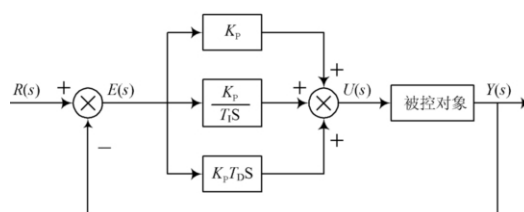


图 1 PID 控制系统原理框图

1.2 PID 控制器参数对控制性能的影响

(1) 比例系数 K_P 。增大比例系数 K_P 将加快系统的响应速度, 在有静差系统中有利于减小静差, 但加大比例系数能减小静差, 却不能从根本上消除静差。而且过大

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 江西省教育厅教改研究项目 (JXJG-10-4-26)

的比例系数会使系统产生超调,并产生振荡或使振荡次数增多,使调节时间加长,使系统稳定性变坏或使系统变得不稳定。比例系数太小,又会使系统的动作迟缓。

(2) 积分时间常数 T_I 。增大积分时间常数 T_I 有利于减小超调,减小振荡,使系统稳定,但同时延长系统消除静差时间。积分时间常数太小会降低系统的稳定性,增大系统的振荡次数。

(3) 微分时间常数 T_D 。微分控制可改善系统的动态特性,但微分时间常数 T_D 偏大或偏小,系统的超调量仍然较大,调节时间仍然较长,只有合适的微分时间常数,才能获得比较满意的过渡过程。此外,微分作用也使得系统对扰动变得敏感。

从 PID 控制器的 3 个参数作用可以看出 3 个参数直接影响控制效果的好坏,要取得较好的控制效果,必须对比例、积分、微分 3 种控制作用进行合理调节^[3]。

2 临界比例度法整定 PID 控制器参数仿真

2.1 临界比例度法

临界比例度法适用于已知对象传递函数的场合,在闭合的控制系统里,将调节器置于纯比例作用下,从大到小逐渐改变调节器的比例度,得到等幅振荡的过度过程。此时的比例度称为临界比例度 δ_K ,相邻两个波峰间的时间间隔称为临界振荡周 T_K 。采用临界比例度法时,系统产生临界振荡的条件是系统的阶数是三阶或三阶以上。用临界比例度法整定 PID 参数的步骤如下:

(1) 将调节器的积分时间 T_I 置于最大 $T_I \rightarrow \infty$,微分时间置零 $T_D = 0$,比例系数 δ 适当,平衡操作一段时间,把系统投入自动运行。

(2) 将比幅度 K_P 逐渐减小,得到等幅振荡过程,记下临界比例度 δ_K 和临界周期 T_K 的值。

(3) 根据 δ_K 和 T_K 的值,采用表 1 中的经验公式,计算出调节器的各个参数,即 K_P , T_I 和 T_D 值。

表 1 临界比例度法整定 PID 控制器的参数

控制器类型	比例度 $\delta/\%$	积分时间 T_I	微分时间 T_D
P	$2\delta_K$	∞	0
PI	$2.2\delta_K$	$0.833T_K$	0
PID	$1.7\delta_K$	$0.50T_K$	$0.125T_K$

(4) 按“先 P 后 I 最后 D 的操作程序将调节器的整个参数调到计算值上,若还不够满意可再进一步调整^[4]。

2.2 仿真实例

如图 1 所示控制系统,其中被控对象传递函数为:

$$G_p(s) = \frac{1}{s(s+2)(s+4)}$$

试采用临界比例度法计算系统 P, PI, PID 控制器

的参数,并绘制整定后系统的单位阶跃响应曲线。根据题意,搭建系统模型 Simulink 框图如图 2 所示。

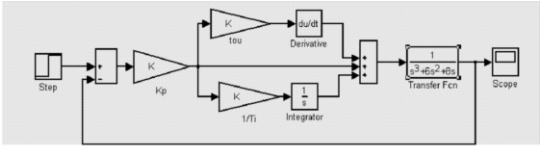


图 2 PID 控制器的参数整定结构框图

首先分析系统未加 PID 控制器结构模型框图如图 3 所示,其输出响应曲线如图 4 所示,从输出响应曲线可知,输出虽然没有出现超调,但调整时间过长,控制效果不佳。现通过加入 PID 控制器,并采用临界比例度法整定 PID 控制器参数对系统进行调整。

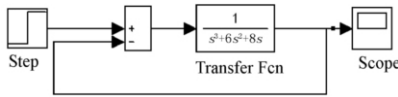


图 3 系统未加 PID 控制器模型框图

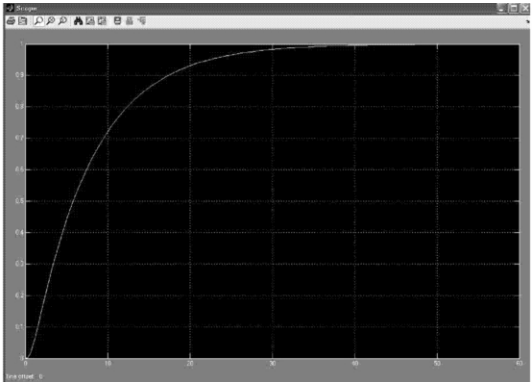


图 4 系统未加 PID 控制器的单位阶跃响应曲线

临界比例度法整定的第一步是获取系统的等幅振荡曲线,在 Simulink 中,把微分器的输出连线、积分器的输出连线都断开, K_P 的值从大到小进行实验,每次仿真结束后观察示波器的输出,直到输出等幅振荡曲线为止,当 $K_P = 48$ 时出现等幅振荡,此时 $T_K = 2.5$,响应曲线如图 5 所示。

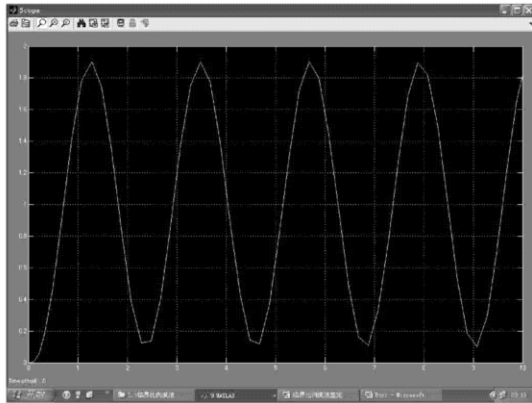


图 5 系统等幅振荡曲线

根据表 1, 可知 P 控制器整定时, 比例放大系数 $K_p=24$, 将 K_p 的值置为 24, 求仿真运行完毕, 双击 Scope 得到 P 控制时系统的单位阶跃响应曲线如图 6 所示。根据 1 表, 可知 PI 控制器整定时, 比例放大系数 $K_p=21.8$, 积分时间常数 $T_i=2.08$, 将 K_p 的值置为 21.8, $1/T_i$ 的值为 $1/2.08$, 将积分器的输出连线连上, 求仿真运行完毕, 双击 scope 得到 PI 控制时系统的单位阶跃响应曲线如图 7 所示。

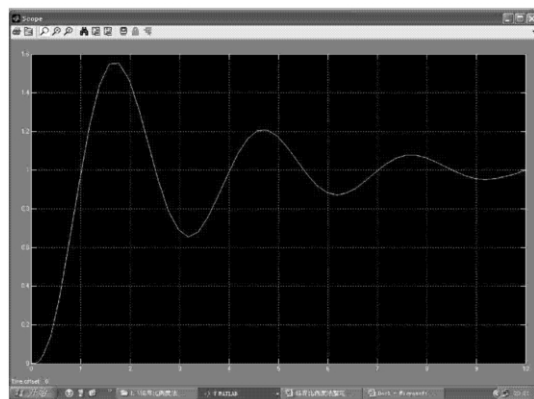


图 6 系统 P 控制的单位阶跃响应曲线

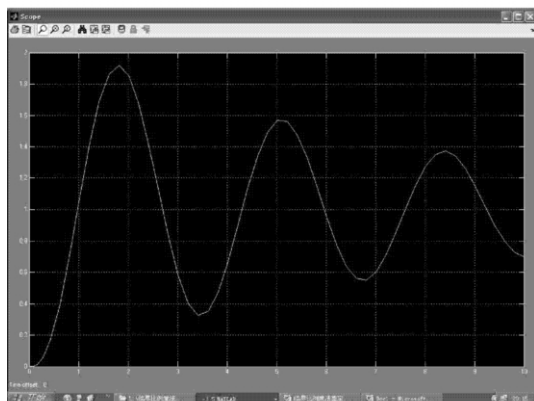


图 7 系统 PI 控制的单位阶跃响应曲线

根据表 1, 可知 PID 控制器整定时, 比例放大系数 $K_p=28.2$, 积分时间常数 $T_i=1.25$, 微分时间常数 $T_d=0.313$, 将 K_p 值置为 28.2, $1/T_i$ 的值置为 $1/1.25$, T_d 的值置为 0.313, 将微分器的输出连线连上, 求仿真运行完毕, 双击 Scope 得到 PID 控制时系统的单位阶跃响应曲线如图 8 所示。实验实测数据分析: 按 2% 的误差带, 对比图 6, 图 7 和图 8 可以分析计算出, P 控制的最大超调量约为 60%, 调整时间大于 10 s; PI 控制的最大超调量约为 95%, 调整时间远大于 10 s; PID 控制的最大超调量约为 61%, 调整时间约为 4 s。P 控制和 PI 控制的阶跃响应上升速度基本相同, 由于这两种控制的比例系

数不同, 系统稳定的输出值不同。PI 控制的超调量比 P 控制和 PID 控制要大, PID 控制的超调量比较适中, 并且响应速度要快, 可取得较好的控制效果。

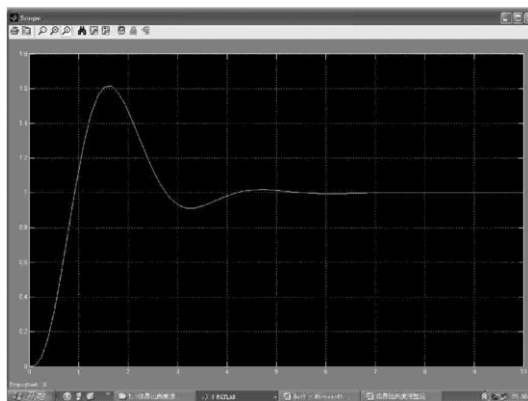


图 8 系统 PDI 控制的单位阶跃响应曲线

由于控制工程整定 PID 参数方法依据的是经验公式, 不是在任何情况下都适用的, 因此, 按照经验公式整定 PID 参数还需要根据实际控制过程进行一些微调, 以取得最佳控制效果。

3 结 语

为了整定 PID 控制器参数, 在 Matlab/Simulink 仿真环境下, 利用临界比例度法整定 PID 控制器参数的仿真研究, 通过仿真实例很好地实现了对 PID 控制器参数的整定。该仿真具有直接观察系统性能变化, 快速、准确选择合适 PID 参数。该整定方法步骤简单、直观、可随意修改仿真参数, 节省了大量的计算和编程工作量, 同时, 也充分体现了 Matlab/Simulink 直观、方便的特点。

参 考 文 献

- [1] 王素青, 姜维福. 基于 Matlab/Simulink 的 PID 参数整定[J]. 自动化技术与应用, 2009, 28(3): 24-28.
- [2] 薛弘晔. 计算机控制技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [3] 白金, 韩俊伟. 基于 Matlab/Simulink 环境下的 PID 参数整定[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2007, 23(6): 673-676.
- [4] 王正林, 王开胜, 陈国顺. Matlab/Simulink 与控制系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [5] 李素玲. 自动控制原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [6] 林怀蔚, 孙跃光. 基于 VHDL 的 FIR 低通数字滤波器设计[J]. 计算机信息, 2010, 22(26): 150-152.

作者简介: 孙跃光 男, 1960 年出生, 辽宁沈阳人, 工程师。主要从事机场航站楼智能楼宇管理与控制系统工程项目建设与技术管理工作。