

基于阶跃辨识的 PID 自整定研究及软件开发

刘兆坤, 李 焯, 王亚刚, 李 建, 刘晓峰

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 工业过程控制中, 一般通过实验试凑法整定控制器参数, 这种方法不免带有一定盲目性且瞬态性能指标不够理想; 为了让控制器更高效、实用, 需要对被控对象模型有精准的辨识, 整定出与系统被控对象相吻合的 PID 控制器参数; 以工程应用为出发点, 通过深入研究 PID 自整定技术原理和实际的工程应用, 实现了基于阶跃辨识的 PID 自整定的软件开发, 并通过改变对象模型 PID 参数, 验证了该软件系统的稳定性及准确性。

关键词: PID 自整定; 阶跃辨识; 最小二乘法; OPC 接口

Development of PID Self-tuning Software Based on Step Response Identification

Liu Zhaokun, Li Ye, Wang Yagang, Li Jian, Liu Xiaofeng

(Optical-Electrical and Computer Engineering Academy, Shanghai of University Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In the industrial process control, engineers generally obtain the controller parameters by trial and error method. This approach cannot help with certain blindness and the transient performance is less than ideal. In order to make the controller more efficient and practical, the plant model need to be identified accurately and get the PID controller parameters which coincide with the system controlled object. From the engineering applications as a starting point, by studing the PID self-tuning technical principles and practical engineering applications in depth, to achieve a step-based self-tuning PID identification of software development. And by changing the PID parameters, to verify the stability and accuracy of the software system.

Keywords: PID self-tuning; step identification; least square method; OPC interface

0 引言

PID 控制作为一种经典控制器已经广泛应用于各种工业过程控制系统中^[1]。目前大多数 PLC、DCS 系统的 PID 参数整定都是通过工程师们采用试凑法整定, 该方法往往达不到令人满意的效果。随着自整定技术的成熟和计算机技术的发展, 出现了许多有关自整定的商用产品。这些产品已经在工业应用中得到认可^[2-3]。

但是, PID 控制器自整定应用仍然存在重要的问题, 主要是缺乏通用性, 体现在这些自整定软件需要和特定的控制系统或平台完全绑定在一起。针对这个问题, 本文以 OPC 为通信接口, 利用 OPC 技术对不同品牌的底层 PLC、DCS 控制系统进行数据通信, 开发 PID 自整定软件。该软件能实时监视底层控制系统的状态, 按需要辨识出控制对象的模型并整定出 PID 参数, 而且具有简洁的可视界面和友好的操作界面。

1 软件设计与实现

对控制回路中的对象进行系统辨识, 需要通过实验的方法, 对控制对象进行实验, 然后对实验数据进行运算, 最终得到对象的模型并整定出 PID 参数。PID 自整定软件主要模块结

构如图 1 所示。

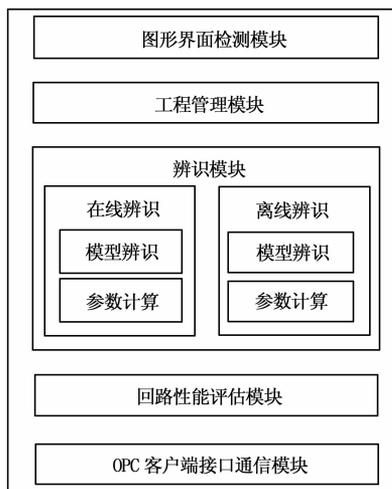


图 1 PID 自整定软件主要模块结构

为了获取实验数据, 软件通过 OPC 客户端接口对现场控制系统建立数据的采集与交换。对系统进行辨识及参数整定。工程管理模块使得自整定软件可以新建并连接多个控制回路, 并对选中的回路进行 PID 自整定, 同时对辨识数据进行保存。软件将当前系统运行状态绘制成图像并在图形界面模块显示给用户。

1.1 PID 自整定软件整体架构

该软件通过 OPC 通讯协议和底层 PLC 或 DCS 系统进行数

收稿日期: 2014-04-04; 修回日期: 2014-05-05。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61074087); 上海市研究生创新基金项目(JWCXSL1202); 上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ144)。

作者简介: 刘兆坤(1989-), 男, 山东夏津人, 硕士研究生, 主要从事系统辨识、网络与通信方向的研究。

据交换, 软件首先必须和底层数据进行连接, 用户可以根据需求建立一个或者是多个回路。整定过程需要用户指定实验方法和参数计算方法进行 PID 自整定。

PID 自整定软件的工作流程如图 2 所示, 显示了 PID 自整定软件包的基本结构与工作流程。本文设计的 PID 自整定软件涉及其中主要工作环节。

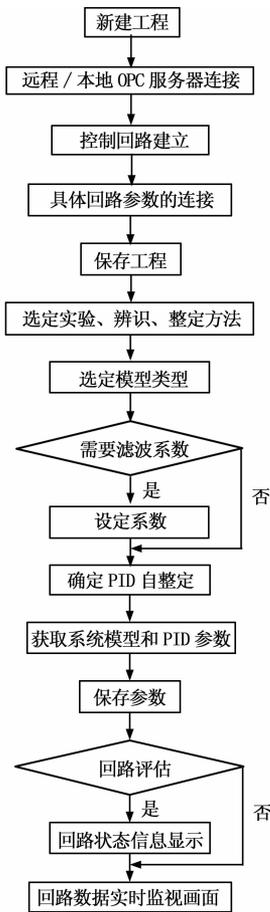


图 2 PID 自整定软件整体流程图

1.2 辨识方法

在理论研究中, 不同的系统会用不同的数学模型进行近似的逼近, 一些简单的、要求精度不高的模型对象, 用一个增益参数就可以描述其过程, 而有些则需要两个、3 个, 甚至一些复杂的系统需要更多的参数来描述。但是在实际应用当中, 更多的是采用一阶加纯滞后或者是二阶加纯滞后模型来描述。对于一阶加纯滞后模型, 对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{K}{T_s + 1} e^{-Ls} \quad (1)$$

式中, K 为对象稳态增益, L 为纯滞后的时间, T 为对象时间常数。在某一时刻, 假设 $t = 0$ 时刻, 给被控对象的输入 $u(t)$ 加入一个幅值为 h 的阶跃扰动, 则在 t 时刻对象的瞬时输出为:

$$y(t) = hK(t + Te^{-(t-L)/T}) + \omega(t) \quad t \geq L \quad (2)$$

对式 (2) 的两边, 进行从 0 到 τ 的积分运算可以得到:

$$\int_0^\tau y(t) dt = hK(t + Te^{-(t-L)/T}) \Big|_L^\tau + \int_0^\tau \omega(t) dt \quad (3)$$

$$\text{令 } A(t) = \int_0^\tau y(t) dt$$

$$\delta(\tau) = T\omega(\tau) - T\omega(L) + \int_0^\tau \omega(t) dt \quad (4)$$

式 (4) 可以整理得:

$$\begin{bmatrix} h\tau & -h & -y(\tau) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K \\ LK \\ T \end{bmatrix} = A(\tau) - \delta(\tau)\tau \geq L \quad (5)$$

式 (5) 构成线性方程组为:

$$\Psi\theta = \Gamma + \Delta\tau \geq L \quad (6)$$

其中:

$$\theta = [K \quad LK \quad T]^T$$

$$\Psi = \begin{bmatrix} hmTs & -h & -y[mTs] \\ h(m+1)Ts & -h & -y[(m+1)Ts] \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h(m+n)Ts & -h & -y[(m+n)Ts] \end{bmatrix}$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} A[mTs] \\ A[(m+1)Ts] \\ \vdots \\ A[(m+n)Ts] \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta[mTs] \\ \delta[(m+1)Ts] \\ \vdots \\ \delta[(m+n)Ts] \end{bmatrix}$$

式中, T_s 是采样间隔, 式 (6) 中的 θ 可以通过最小二乘法近似的估计为 $\hat{\theta} = (Z^T\Psi)^{-1}Z^T\Gamma$

其中 Z 可以描述为式 (7), 这样就可以准确的得出对象的一阶加纯滞后模型^[4]。

$$Z = \begin{bmatrix} mTs & -1 & \frac{1}{mTs} \\ (m+1)Ts & -1 & \frac{1}{(m+1)Ts} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (m+n)Ts & -1 & \frac{1}{(m+n)Ts} \end{bmatrix} \quad (7)$$

1.3 PID 参数计算方法

得到对象的传递函数之后, 可通过不同方法计算出 PID 参数, 本文采用 Cohen-Coon 整定方法对 PID 参数进行计算。

Cohen-Coon 早在 1956 年就由科恩 (Cohen) 一库恩 (Coon) 提出, 该方法由于适应范围广、通用性强等特点, 被广泛应用在实际控制系统中。但是使用该整定方法的前提是对被控对象的先验信息有足够的了解, 以一阶加纯滞后模型为基础, 表 1 是经典的 Cohen-Coon 整定公式。

设 $a = KL/T, \tau = L/(L+T)$ 。

表 1 Cohen-Coon 方法

控制器	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a}(1 + \frac{0.35\tau}{1-\tau})$		
PI	$\frac{0.9}{a}(1 + \frac{0.92\tau}{1-\tau})$	$\frac{3.3 - 3.0\tau}{1 + 1.2\tau}L$	
PD	$\frac{1.24}{a}(1 + \frac{0.13\tau}{1-\tau})$		$\frac{0.27 - 0.36\tau}{1 - 0.87\tau}L$
PID	$\frac{1.35}{a}(1 + \frac{0.18\tau}{1-\tau})$	$\frac{2.5 - 2.0\tau}{1 - 0.39\tau}L$	$\frac{0.37 - 0.37\tau}{1 - 0.81\tau}L$

1.4 OPC 客户端设计

OPC 接口标准是开放的工业标准。它以 Microsoft 的 COM/DCOM 技术为基础, 定义了一套标准的接口, 使得不同厂家的硬件设备和软件之间能够相互连接、通信和操作, 极大的提高了过程控制系统和数据采集系统的互操作性[5]。

客户端采用 VB6 开发环境编写, 需把 OPCDAAuto.dll 动态链接库进行注册, 才能使用自动化接口, 在程序中创建服务器对象及相关的连接操作。

关于 OPC 客户端的开发主要包括以下几个步骤:

- (1) 查询本机或远程 OPC 服务器;
- (2) 连接 OPC 服务器对象;
- (3) 建立 OPC 组和添加 OPC 的 Item;
- (4) 往 OPC 服务器同步写值。

如果采用 OPC 接口与 PLC、DCS 通信获取现场设备的数据, 在 PID 自整定软件运行之前需要对计算机进行 DCOM 配置。

2 实验

通过罗克韦尔自动化的 RSLogix5000 编程软件, 采用 PIDE 功能块、DEDT 功能块、LDLG 功能块建立一个 PID 控制回路。为了让该 PID 控制回路不是一个理想的回路, 需要对对象输出点加入一个随机数扰动。采用“线性同余法”, 通过编写梯形图产生随机数扰动, 图中的 Source 源为随机数扰动。把程序下载到 RSLogix Emulate 5000 仿真器中运行, 模拟实际的控制系统回路。为了验证 PID 自整定软件系统辨识的正确性, 设定仿真回路的参数为分别为 $K=1.2$, $T=5$, $L=2.0$ 。如图 3 所示。

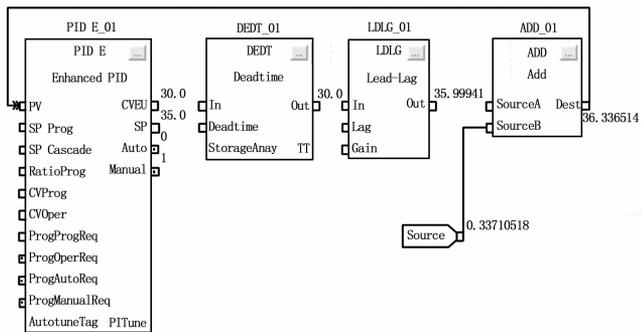


图 3 控制回路 PLC 程序

连接控制系统中的参数之后改变 CO 值, 例如设定为 30, 待系统趋于稳定状态时, 对该回路进行开环阶跃实验, 通过软件改变控制系统的 CO 值, 例如增加原 CO 值的 30%。一段时间之后, 系统会再次趋于稳定状态, 结束自整定之后, 通过软件最小二乘法算法, 辨识出系统一阶加纯滞后的模型。辨识出来的模型和图 3 中设置的参数近似相等。表明通过最小二乘法能辨识出较为准确的模型。

图 4 为 PID 自整定软件整定结果显示结果。整定后, 系统模型及 PID 参数均显示在界面上。

为了进一步验证辨识出的模型和计算出的参数的准确性, 把计算好的 PID 参数直接下载到控制回路中, 再把 PID 控制器的状态设定成自动状态, 并改变 SP 的值。通过图 5 可以清

楚的看出, 控制回路在有扰动的情况下, 整定出的 PID 参数然能很快的使系统达到稳定的状态, 并且曲线的平滑度也比参数下载之前光滑许多。

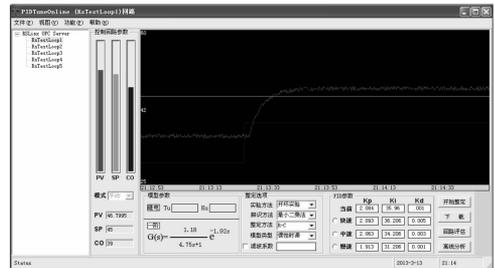


图 4 PID 自整定软件整定结果显示

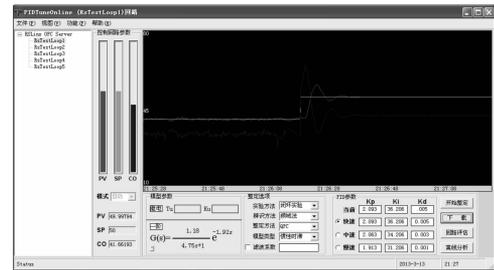


图 5 整定后控制系统运行状态

3 结语

稳定、可靠、鲁棒性强的控制系统, 一直都是控制工程师追寻的目标, 这必然需要 PID 控制器能有更加稳定、准确的控制能力, 能够适应更加恶劣的工业环境。

本文以实际的工程应用为出发点, 结合当前实际应用情况, 深入研究了 PID 自整定技术理论原理和一些实际应用。开发的 PID 自整定软件包, 结合了 OPC 通讯技术, 可以很好的与 OPC 服务器进行实时的数据交换, 进行控制回路的在线整定。

PID 自整定技术的研究具有重要的理论意义和实际应用价值, 对 PID 控制来说是一个重要的研究对象。本文将一些成熟的算法进行了软件的实现, 软件虽然已经完成, 但是还存在一些不足的地方。在今后的学习和科研中, 需要对 PID 自整定技术进行更加深入的研究, 在软件设计方面需要做一些更好的优化。

参考文献:

- [1] 王 彪, 唐超颖, 沈春林. 利用遗传算法进行 PID 参数寻优的倒立摆控制系统 [J]. 计算机测量与控制, 2004 (12): 1171-1174.
- [2] Derek P. Atherton. PID Controller Tuning. Computer and Control Engineering Journal, April 1999.
- [3] 王德康, 王为民, 苏宏业, 等. 通用 PID 自整定控制器及其软件包的设计与研究 [J]. 仪器仪表学报, 2002, 23 (1): 23-27.
- [4] 李言俊, 张 科. 系统辨识理论及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 王绪彪, 张 望, 江丹玲. 基于 VB 的 OPC 客户端软件的设计与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2011, 3 (2): 46-49.