

PID 参数的意义与整定方法

廖常初

(重庆大学, 重庆400044)

摘要: 用人工控制温度的策略, 介绍PID控制器主要参数的意义, 和整定PID参数的方法。用仿真实验的结果验证了整定方法的有效性。

关键词: PID控制; 参数整定; 人机界面

The Meaning of PID Controller Parameters and Setting Method

LIAO Chang-chu

(Chongqing university, Chongqing, 400044)

Abstract: With manual temperature control strategy, the meaning of PID controller central parameters and the setting method are presented. The validity of the setting method is proved by simulation experiment.

Keywords: PID control; parameter setting

1 PID 控制器的数学表达式

模拟量PID控制器的输出表达式为

$$mv(t) = K_p[ev(t) + \frac{1}{T_i} \int ev(t)dt + T_D \frac{dev(t)}{dt}] + M \quad (1)$$

式中等号右边的前3项分别是比例、积分、微分部分, 它们分别与误差 $ev(t)$ 、误差的积分和误差的微分成正比。控制器的输入量(误差信号)为

$$ev(t) = sp(t) - pv(t)$$

式中 $sp(t)$ 为设定值, $pv(t)$ 为过程变量(反馈值); $mv(t)$ 是控制器的输出信号, K_p 为比例系数, T_i 和 T_D 分别是积分时间和微分时间, M 是积分部分的初始值。

2 闭环控制的主要性能指标

系统的动态性能常用阶跃响应曲线的参数来描述。阶跃输入信号在 $t=0$ 之前为0, $t>0$ 时为某一恒定值。

系统进入并停留在稳态值 $c(\infty)$ 上下5% (或2%)的误差带内的时间 t_s 称为调节时间(见图1), 到达调节时间表示过渡过程已基本结束。

设动态过程中输出量的最大值为 $C_{\max}(t)$, 如果它大于输出量的稳态值 $c(\infty)$, 定义超调量为

$$\sigma\% = \frac{c_{\max}(t) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

超调量反映了系统的相对稳定性, 它越小动态稳定性越好, 一般希望超调量小于10%。

收稿日期: 2010-04-09

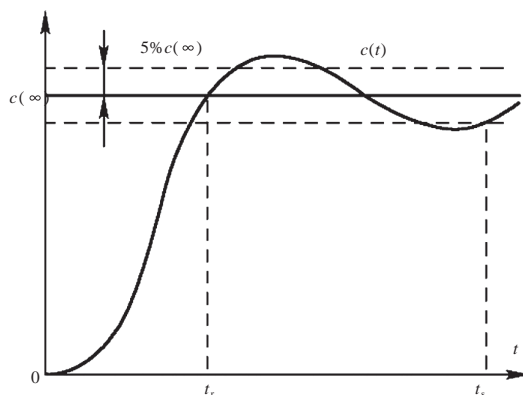


图1 被控对象的阶跃响应曲线

3 比例控制

PID控制的原理可以用人对炉温的手动控制来理解。假设用热电偶检测炉温, 用数字显示温度值。

在控制过程中, 操作人员用眼睛读取炉温, 并与炉温给定值比较, 得到温度的误差值。然后用手操作电位器, 调节加热的电流, 使炉温保持在给定值附近。

操作人员知道炉温稳定在给定值时电位器的大致位置(将它称为位置L), 并根据当时的温度误差值调整控制加热电流的电位器的转角。炉温小于给定值时, 误差为正, 在位置L的基础上顺时针增大电位器的转角, 以增大加热的电流。炉温大于给定值时, 误差为负, 在位置L的基础上反时针减小电位器的转角, 并令转角与位置L的差值与误差成正比。上述控制策略就是比例控制, 即PID控制器输出中的比例部分与误差成正比,

比例系数为 K_p 。

闭环中存在着各种各样的延迟作用。例如调节电位器转角后,到温度上升到新的转角对应的稳态值有较大的延迟。温度的检测和转换为数字量也有延迟。由于延迟因素的存在,调节电位器转角后不能马上看到调节的效果,因此闭环控制系统调节困难的主要原因是系统中的延迟作用。

如果比例系数太小,即调节后电位器转角与位置 L 的差值太小,调节的力度不够,使系统输出量变化缓慢,调节时间过长。比例系数过大,即调节后电位器转角与位置 L 的差值过大,调节力度太强,将造成调节过头,甚至使温度忽高忽低,来回震荡。

如果闭环系统没有积分作用,由理论分析可知,单纯的比例控制有稳态误差,稳态误差与比例系数成反比。增大比例系数使系统反应灵敏,调节速度加快,并且可以减小稳态误差。但是比例系数过大会使超调量增大,振荡次数增加,调节时间加长,导致动态性能变坏,比例系数过大甚至会使闭环系统不稳定。

4 积分控制

式(1)中的积分对应于图2中误差曲线 $ev(t)$ 与坐标轴包围的面积。在计算机的程序中,用图2中矩形面积之和来近似精确的积分。即每次PID运算时,在原来的积分值的基础上,增加一个与当前的误差值成正比的微小部分。误差为负值时,积分的增量为负。

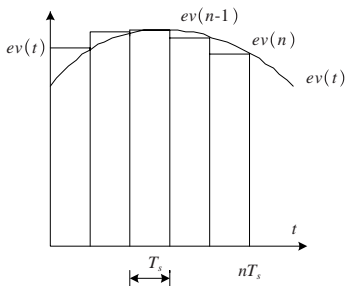


图2 积分的近似运算

在上述的温度控制系统中,积分控制相当于根据当时的误差值,周期性地微调电位器的角度。温度低于设定值时误差为正,积分项增大,使加热电流增加,反之积分项减小。因此只要误差不为零,控制器的输出就会因为积分作用而不断变化。积分调节的“大方向”是正确的,积分项有减小误差的作用。一直要到系统处于稳定状态,这时误差恒为零,比例部分和微分部分均为零,积分部分才不再变化,并且刚好等于稳态时需要的控制器的输出值,对应于上述温度控制系统中电位器

转角的位置 L 。因此积分部分的作用是消除稳态误差,提高控制精度,积分作用一般是必须的。

控制器输出中的积分部分与误差的积分成正比。因为积分时间 T_i 在式(1)的积分项的分母中, T_i 越小,积分项变化的速度越快,积分作用越强。

5 PI 控制

控制器输出中的积分项根据当前误差值和过去的历次误差值累加而成,因此积分作用本身具有严重的滞后特性,对系统的稳定性不利。如果积分项的系数设置得不好,其负面作用很难通过积分作用本身迅速地修正。而比例项没有延迟,只要误差一出现,比例部分就会立即起作用。因此积分作用很少单独使用,它一般与比例和微分联合使用,组成PI或PID控制器。

PI和PID控制器既克服了单纯的比例调节有稳态误差的缺点,又避免了单纯的积分调节响应慢、动态性能不好的缺点,因此被广泛使用。

如果PID控制器有积分作用(例如采用PI或PID控制),积分能消除阶跃输入的稳态误差,这时可以将比例系数调得小一些。

如果积分作用太强(即积分时间太小),相当于每次微调电位器的角度值过大,其累积的作用会使系统输出的动态性能变差,超调量增大,甚至使系统不稳定。积分作用太弱(即积分时间太大),则消除稳态误差的速度太慢。积分时间的值应取得适中。

6 微分作用

误差的微分就是误差的变化速率,误差变化越快,其微分绝对值越大。误差增大时,其微分为正;误差减小时,其微分为负。控制器输出量的微分部分与误差的微分成正比,反映了被控量变化的趋势。

有经验的操作人员在温度上升过快,但是尚未达到设定值时,根据温度变化的趋势,预感到温度将会超过设定值,出现超调,于是调节电位器的转角,提前减小加热的电流。

在图1中启动过程的上升阶段,当 $c(t) < c(\infty)$ 时,被控量尚未超过其稳态值,超调量还没有出现。但是因为误差 $e(t)$ 不断减小,误差的微分和控制器的输出的微分部分为负,减小了控制器的输出量,相当于提前给出了制动作用,以阻碍被控量的上升,所以可以减少超调量。因此微分控制具有超前和预测的特性,在超调量尚未出现之前,就能提前给出控制作用。

闭环控制系统的振荡甚至不稳定的根本原因在于有较大的滞后因素。因为微分项能预测误差变化的趋势,这种“超前”的作用可以抵消滞后因素的影响。适

当的微分控制作用可以使超调量减小,调节时间缩短,增加系统的稳定性。

对于有较大的滞后特性时的被控对象,如果PI控制的效果不理想,可以考虑增加微分控制,以改善系统在调节过程中的动态特性。如果将微分时间设置为0,微分部分将不起作用。

微分时间与微分作用的强弱成正比,微分时间越大,微分作用越强。如果微分时间太大,在误差快速变化时,响应曲线上可能会出现“毛刺”。

微分控制的缺点是对干扰噪声敏感,使系统抑制干扰的能力降低。为此可在微分部分增加惯性滤波环节。

7 采样周期

PID控制程序是周期性执行的,执行的周期称为采样周期。采样周期越小,采样值越能反映模拟量的变化情况。但是太小会增加CPU的运算工作量,相邻2次采样的差值几乎没有什么变化,将使PID控制器输出的微分部分接近为零,所以也不宜将采样周期取得过小。

应保证在被控量迅速变化时(例如启动过程中的上升阶段),能有足够多的采样点数,不致因采样点数过少而丢失被采集的模拟量中的重要信息。

8 PID 参数的调整方法

在整定PID控制器参数时,可以根据控制器的参数与系统动态性能和稳态性能之间的定性关系,用实验的方法来调节控制器的参数。有经验的调试人员一般可以较快地得到较为满意的调试结果。在调试中最重要的问题是在系统性能不能令人满意时,知道应该调节哪一个参数,该参数应该增大还是减小。

为了减少需要整定的参数,首先可以采用PI控制器。为了保证系统的安全,在调试开始时应设置比较保守的参数,例如比例系数不要太大,积分时间不要太小,以避免出现系统不稳定或超调量过大的异常情况。给出一个阶跃给定信号,根据输出波形可以获得系统性能的信息,例如超调量和调节时间。应根据PID参数与系统性能的关系,反复调节PID的参数。

如果阶跃响应的超调量太大,经过多次振荡才能稳定或者根本不稳定,应减小PID输出的比例部分、增大积分时间。如果阶跃响应没有超调量,但是被控量上升过于缓慢,过渡过程时间太长,应按相反的方向调整参数。

如果消除误差的速度较慢,可以适当减小积分时间。

反复调节比例系数和积分时间,如果超调量仍然

较大,可以加入微分控制,微分时间从0逐渐增大,反复调节控制器的比例、积分和微分部分的参数。

需要注意的是改变比例系数的值,同时会影响到积分分量和微分分量的值(见式1),而不是仅仅影响比例部分。

总之,PID参数的调试是一个综合的、各参数互相影响的过程,实际调试过程中的多次尝试是非常重要的,也是必须的。

9 实验验证

实验使用S7-300 PLC的PID控制功能块FB 41,它与模拟被控对象的功能块组成闭环。被控对象由2个串联的惯性环节组成,时间常数分别为2s和5s,比例系数为3.0。用人机界面的趋势图显示给定曲线和闭环输出量的响应曲线。

9.1 比例系数对动态性能的影响

图3中浅色的方波是系统的给定曲线,给定值在20%~70%之间变化。深色的曲线是PI控制器的阶跃响应曲线,积分时间为8s。左边和中间的响应曲线的比例系数为2.0,右边的响应曲线的比例系数为1.0。可以看出,减小比例系数能显著降低超调量。

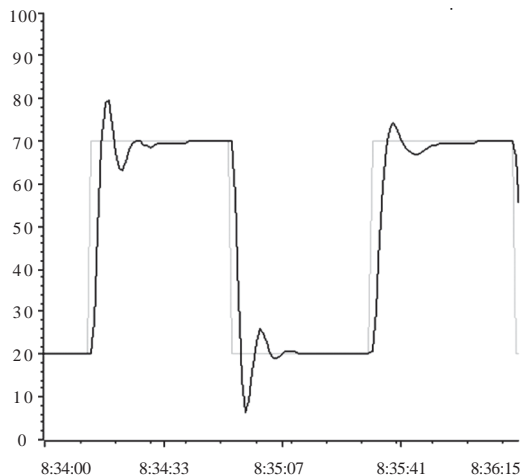


图3 PI控制器的阶跃响应曲线

9.2 积分时间和微分时间对动态性能的影响

图4中各阶跃响应曲线的比例系数均为2.0。左边的响应曲线的积分时间为2.0s,微分时间为0.8s。该曲线的超调量过大,有多次震荡。

中间的下降曲线的积分时间为3s,微分时间为1.5s。其超调量和震荡次数显著减小。

右边的上升曲线的积分时间为10s,微分时间为2s,其超调量几乎为0,但是上升到稳态值的时间增大。

(下转第32页)

表 2 PLC 指令语名

地址	指令	地址	指令
0	LD X001	13	OUT Y001
1	ANI Y001	14	OUT T2 K10
2	ANI Y002	17	LD T2
3	ANI Y003	18	AND Y000
4	OR Y000	19	OUT Y002
5	ANI X002	20	OUT T3 K10
6	OUT Y000	23	LD T3
7	ANI Y003	24	OR Y003
8	OUT T1 K30	25	AND Y000
11	LD T1	26	OUT Y003
12	AND Y000	27	END

R2, 电动机串接R3电阻继承启动, 同时定时器线圈T3得电, 时间设定为1s。

(4)1s后, 定时器T3常开触点闭合, 输出继电器Y003接通, 接触器KM3吸合, 主触头闭合, 切除第三组电阻R3, 同时Y003常闭触头断开, 定时器线圈T1、T2、T3和输出继电器Y1、Y2失电。累计启动5s, 三相绕线式异步电动机转子所串3组电阻全部切除, 电动机M结束启动状态, 进入正常运行状态。

(5)停车: 按停止按钮SB2, 输出继电器Y000失电, 接触器KM失电, 主触头断开, 电动机作自由停车运行。输出继电器线圈Y000失电, 常开触点Y000复位, 输出继电器Y003失电, 常开触点Y003复位, 3组电阻(R1+R2+R3)恢复与三相绕线式异步电动机转子串接, 为下次启动做好准备。

(6)过载保护: 当电动机过载时, 热过载保护继电器FR的动断触点断开, 接触器KM、KM1、KM2、KM3均断电, 电动机M也停车。

(7)把输出继电器Y001、Y002和Y003 3个常闭触点与输入继电器X001常开触点串联, 如果输出继电器Y001、Y002和Y003线圈得电, 接触器KM1、KM2、KM3中任何一个触头没有释放恢复闭合时, 按下启动按钮SB1, 输出继电器Y000和接触器KM线圈不能得电, KM主触头不能闭合, 电动机M就不能接通电源直接启动, 保证了三相绕线式电动机只有在转子绕组中接入全部启动电阻(R1+R2+R3)的条件下才能启动。

4 结语

采用三菱FX_{2N}-16MR型PLC改造三相绕线式异步电动机转子串电阻启动继电器接触器控制系统, 用通用指令编写控制程序, 程序清晰, 直观易懂, 调试简捷方便。实践证明, 改造后的PLC控制系统完全达到实际启动控制要求, 抗干扰性强, 设备运行可靠, 稳定性高, 降低了控制系统故障率, 提高了设备使用运行效率。

参考文献

- [1] 李树雄. 可编程控制器技术及应用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社出版, 2003
- [2] 廖常初. 可编程控制器应用技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社出版, 2000

(上接第29页)

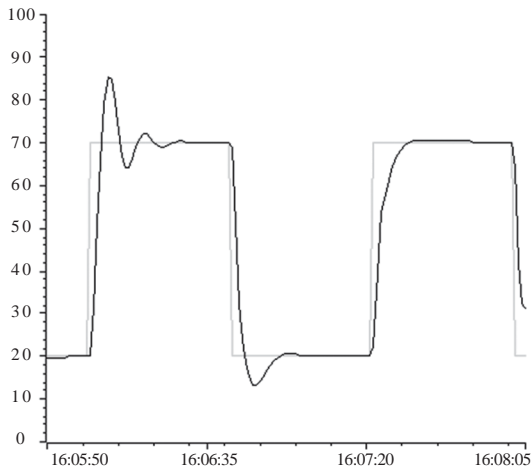


图 4 PID 控制器的阶跃响应曲线

9.3 微分时间过大的影响

微分时间不是越大越好, 图5的积分时间为3s, 微分时间为4s。因为微分作用过强, 误差剧烈变化, 对误差变化的抑制作用太剧烈, 曲线上出现了“毛刺”, 变得很怪异。这种现象提示应减弱微分部分。

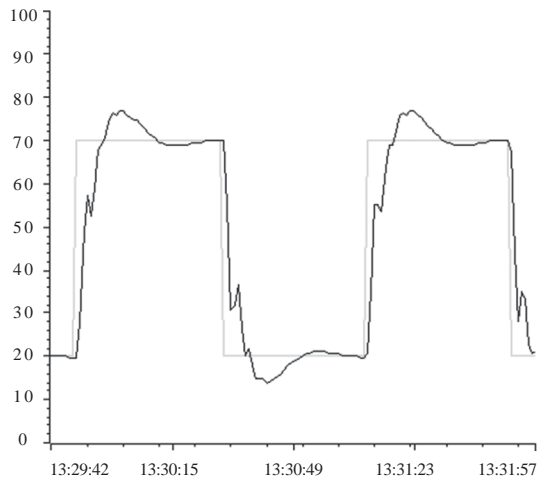


图 5 微分作用过强的阶跃响应曲线

参考文献

- [1] 廖常初. S7-300/400 PLC应用技术(2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008
- [2] 廖常初, 陈晓东. 西门子人机界面(触摸屏)组态与应用技术(2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008
- [3] 廖常初. PLC编程及应用(3版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008