

控制系统数字仿真课程大作业

——互耦水槽液位控制的 PID 整定方法比较

一、 任务：

- 1、互耦水槽动态系统建模；
- 2、互耦水槽动态系统分析；
- 3、互耦水槽简单反馈控制系统设计及性能分析。

二、 内容：

- 1、基于互耦水槽实验数据进行传递函数建模，并对所建模型进行验证。
要求：建模方法可采用切线法或两点法（建模方法的具体步骤附后），并编写基于数据建模的 Matlab 程序。
- 2、对所建互耦水槽传递函数模型进行分析，编写一个可求解幅值裕度及幅角穿越频率、相位裕度及幅值穿越频率和可画出 Bode 图的 Matlab 程序。
- 3、利用几种工程 PID 整定方法（稳定边界法、SIMC 法等）进行 PID 参数整定，比较不同 PID 整定方法的动态性能（指标：上升时间、超调量、调整时间、控制器输出信号平滑性、ISE、IAE）和不同 PID 控制器对干扰的抑制效果（指标：干扰引起的动态降落和恢复时间）。

三、 要求

- 1、提交一份附有图表和文字分析的课程总结报告（A4 纸至少 6 页）；
- 2、建模和模型分析的 Matlab 程序清单（附报告后）。

四、 附件

互耦水槽实验数据文件两份：plant_data1.mat，plant_data2.mat。每份包括时间数据 t、液位 1 的输入输出数据 u1 和 y1、液位 2 的输入输出数据 u2 和 y2。

五、 相关方法简介

（一）、基于实验数据的建模方法

如图 1 所示为一系统的阶跃响应曲线，其中[a]、[b]为输出曲线，Y0、Yf 分别为输出的初始值和终值；[c]为输入曲线，其中 U₀、U_f 分别为输入的初始值和终值。这类阶跃响应曲线的系统，可用一个带纯滞后的一阶惯性环节（FOPDT）模型来近似描述，其传递函数为：

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

1、切线法

如图 1[a]所示，在输出曲线上作一最大斜率切线，该切线与高度为 Y0、Yf 平行直线相交点对应的时间点为 t1、t2。

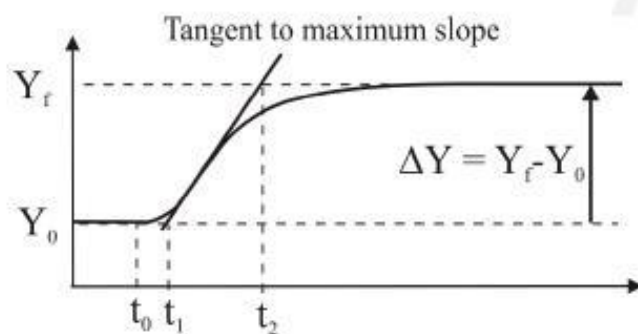
则有： $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$ ， $T = t_2 - t_1$ ， $T_d = t_1 - t_0$ 。

2、两点法

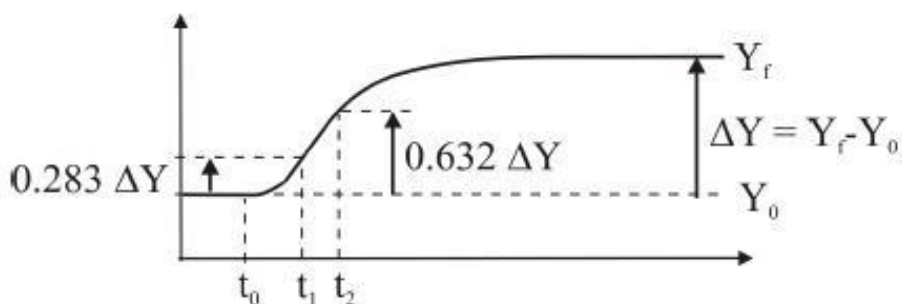
如图 1[b]所示，在输出曲线上作两条高度分别为 0.283ΔY 和 0.362ΔY 的平行线，与输出响应曲线交点所对应的时间点分别为 t1、t2。

则有 $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$, $T = 1.5(t_2 - t_1)$, $T_d = t_2 - T$ 。

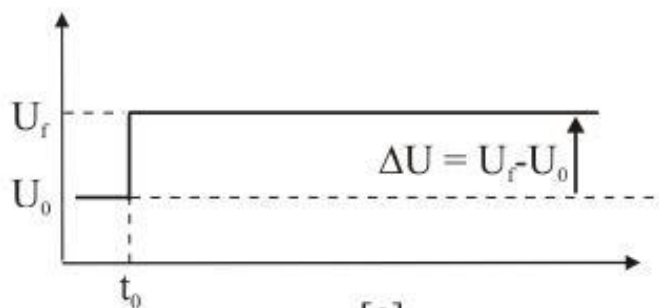
如果上式求出 $T_d < 0$, 则 $T = t_2$, $T_d = 0$ 。



[a]



[b]



[c]

图 1

3、模型验证：

模型建立好以后，采用下述验证指标进行检验：

$$I_p = \frac{1}{t_{fin} - t_{ini}} \int_{t_{ini}}^{t_{fin}} |y(t) - y_m(t)|^2 \approx \frac{1}{t_{fin} - t_{ini}} \left(\sum |y(k) - y_m(k)|^2 \right)$$

其中， t_{ini} 为起始时间， t_{fin} 为终止时间， $y(t)$ 为实际阶跃响应， $y_m(t)$ 为模型的阶跃响应。模型响应曲线越接近于实际响应曲线，则 I_p 越小，说明模型对实际系统动态的近似程度越好。如图 2 所示。

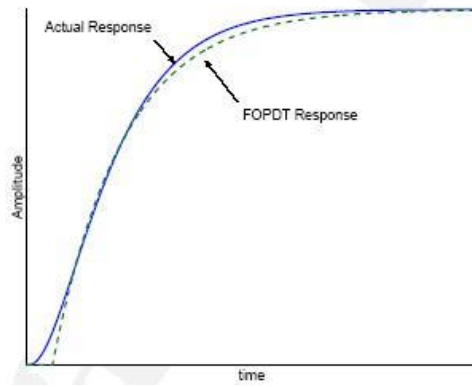


图 2

2、PID 整定方法

如图 3 所示为简单控制系统框图。

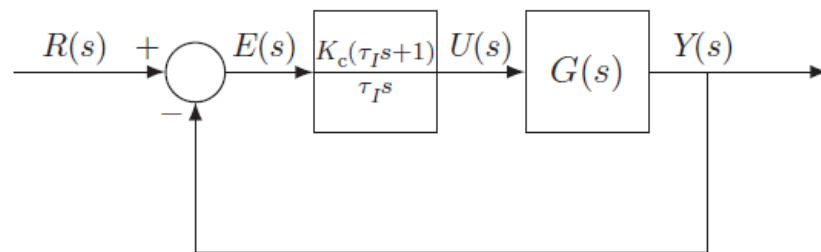


图 3

(1) Ziegler-Nichols 参数整定法^[1]

PI 和 PID 控制器传递函数结构和参数整定方法见参考文献[1]的 6.3.3 小节。

(2) SIMC 法

SIMC^[2]是挪威控制专家 S.Skogestad 教授提出的一种基于 IMC（内模控制法）的 PID 整定方法。当采用 PI 控制时，其 PI 控制器参数按如下方法整定：

$$K_c = \frac{T}{K(\tau_c + T_d)}, \quad \tau_c = T_d, \quad \tau_I = \min\{T, 4(\tau_c + T_d)\}, \quad \text{其中 } \tau_c \text{ 为闭环系统时间常数。}$$

当采用 PID 控制时，其 PID 控制器参数按如下方法整定：

$$K_c = \frac{T}{K(\tau_c + T_d)}, \quad \tau_c = T_d, \quad \tau_I = \min\{T, 4(\tau_c + T_d)\}, \quad \tau_d = T_d/3。$$

其中基于 SIMC 的 PID 控制器采用串联形式，其传递函数为：

$$G_c(s) = \frac{k_c(\tau_I s + 1)(\tau_d s + 1)}{\tau_I s}$$

(3) 不同 PID 整定方法性能比较：

控制性能指标：

- ① 上升时间： t_r ；
- ② 超调量： $\sigma_p\%$ ；
- ③ 调整时间： t_s ，偏差取 $\pm 5\%$ ；
- ④ 控制器输出信号平滑性：定义为 $\sum_{k=0}^{\infty} |u(k+1) - u(k)|$ ，其值越小，说明输出信号的平滑性越好。
- ⑤ ISE：平方偏差积分

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt, \text{ 其中 } e(t) = r(t) - y(t);$$

⑥ IAE: 绝对偏差积分

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt$$

⑦ 抗干扰性能指标如下。

如图 4 为干扰作用下响应曲线, 抗干扰性能指标分别为动态降落 ΔC_{\max} %和恢复时间 t_v 。

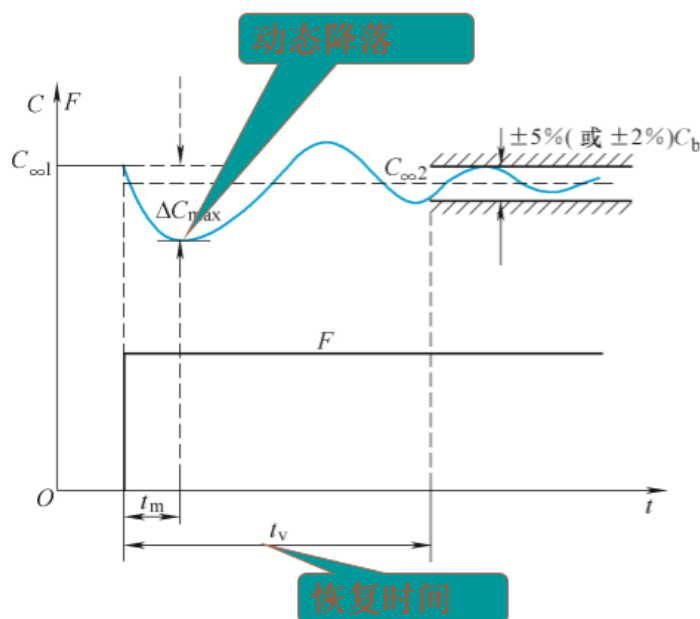


图 4

将比较的结果填于下表:

	Z-N_PI	Z-N_PID	SIMC_PI	SIMC_PID
上升时间				
超调量				
调整时间				
控制器输出信号平滑性				
ISE				
IAE				
$\Delta C_{\max}\%$				
t_v				

六、参考资料:

- [1] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] S. Skogestad. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning Modeling Identification and Control. 2003, J. Process Control 13 (4): 291-309.
- [3] 张爱民, 任志刚, 王勇, 等. 自动控制原理 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [4] 胡寿松. 自动控制原理 (第六版) [M]. 北京: 科学出版社, 2013.