

控制律为

$$u(t) = \begin{cases} u_m, & \text{如果 } s > 0 \\ 0, & \text{如果 } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

升温开始时, $s > 0$, 则 $u = u_m$, 夹层中的压力为最大允许值。系统状态穿过开关线以后, $s < 0$, 则 $u = 0$, 关闭蒸汽调节阀。开关线选择合适时, 状态又返回到 $s > 0$ 的区域。依此类推, $u(t)$ 在 u_m 和 0 之间切换。切换频率无穷大时系统状态将沿开关线滑动至原

点。产生滑模运动的条件为在 $s = 0$ 附近, $s \frac{ds}{dt} < 0$ (6)

$s \rightarrow 0^+$ 时, $u = u_m$,

$$\frac{ds}{dt} = \dot{x}_2 + cx_1$$

$$= -\frac{1}{T_1 T_2} \cdot x_1 - \frac{(T_1 + T_2)}{T_1 T_2} \cdot x_2 + \frac{1}{T_1 T_2} (y_r - Ku_m) + cx_2$$

滑模运动时, $x_2 = -cx_1$, 所以上式写成:

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{T_1 T_2} x_1 + \frac{(T_1 + T_2)}{T_1 T_2} cx_1 - c^2 x_1 + \frac{1}{T_1 T_2} (y_r - Ku_m) \quad (7)$$

由 (6) 式得出: $s \rightarrow 0^+$ 时, $\frac{ds}{dt} < 0$, 故有

$$-\frac{1}{T_1 T_2} x_1 + \frac{(T_1 + T_2)}{T_1 T_2} cx_1 - c^2 x_1 + \frac{1}{T_1 T_2} (y_r - Ku_m) < 0$$

整理后得出:

$$y_r - x_1(1 - cT_1)(1 - cT_2) < Ku_m \quad (8)$$

$s \rightarrow 0^-$ 时, $u = 0$,

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{T_1 T_2} x_1 + \frac{(T_1 + T_2)}{T_1 T_2} cx_1 - c^2 x_1 + \frac{1}{T_1 T_2} y_r > 0$$

$$\text{即 } y_r - x_1(1 - cT_1)(1 - cT_2) > 0 \quad (9)$$

根据 (8) 式与 (9) 式得出滑模的产生条件:

$$0 < y_r - x_1(1 - cT_1)(1 - cT_2) < Ku_m \quad (10)$$

下面讨论系数 C 的选择。设 $T_1 > T_2$ 。

1. 令

$$c < \frac{1}{T_1} \quad (11)$$

因为 $T_2 < T_1$, 所以 $c < \frac{1}{T_2}$ 。 Ku_m 总是大于 y_r , 在本文中 $Ku_m = (4-5)y_r$ 。因此满足 (10)

式的 x_1 一定存在。由于 $c < \frac{1}{T_1}$ ，故升温时间长。

2. 令

$$c > \frac{1}{T_2} \quad (12)$$

$$c = \frac{\beta}{T_2}, \beta > 1. \text{ 一般情况下 } T_1 \gg T_2, y_r - x_1 \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \beta \right) (1 - \beta) \doteq y_r - x_1 \cdot$$

$$(\beta - 1) \cdot \frac{T_1 \beta}{T_2}$$

将(10)式近似写成:

$$0 < y_r - x_1 (\beta - 1) \cdot \frac{T_1 \beta}{T_2} < K u_m \quad (13)$$

使上式成立的 $|x_1|$ 较小, 这意味着系统进入滑模的状态距原点太近, 升温时超调大。

$$3. \text{ 令 } \frac{1}{T_1} < c < \frac{1}{T_2}$$

这时, $cT_1 > 1, cT_2 < 1$. (10)式写成:

$$0 < y_r + x_1 (cT_1 - 1) (1 - cT_2) < K u_m \quad (14)$$

当 $|x_1|$ 小到某一值后, (14)式一定成立。这时的升温时间比 $c < \frac{1}{T_1}$ 时小, 超调量比

$c > \frac{1}{T_2}$ 时小。

根据以上的分析, 最好按 $\frac{1}{T_1} < c < \frac{1}{T_2}$ 选择系数 c 。

三、计算机仿真

我们在PC-88计算机上进行了数字仿真。变结构控制的仿真框图如图1所示。为进行比较, 图2给出PI调节的仿真框图。

取 $c = 0.0056 \text{ 1/秒}$, $s = \dot{c} + 0.0056c$

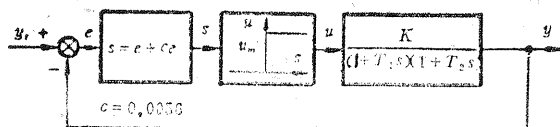


图1 变结构控制的仿真框图

三组数据的仿真结果见图3、图4与图5。对于三组不同的数据,变结构控制系统均无超调,升温时间小于1500秒。PI调节器的参数是根据图3的数据按《二阶工程最佳》法计

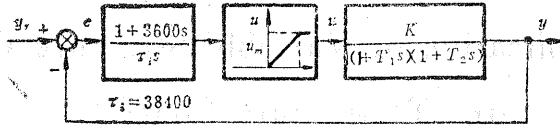


图2 PI调节的仿真框图

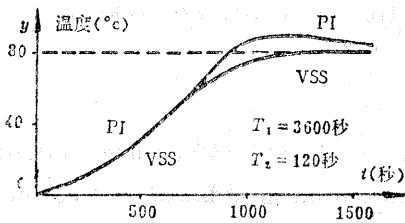


图3 $K=160$, $u_m=2.5 \text{ kgf/cm}^2$, $y_r=80^\circ\text{C}$

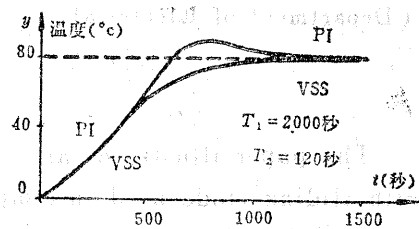


图4 $K=160$, $u_m=2.5 \text{ kgf/cm}^2$, $y_r=80^\circ\text{C}$

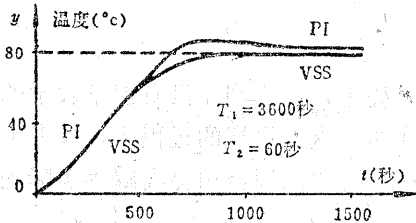


图5 $K=200$, $u_m=2.5 \text{ kgf/cm}^2$, $y_r=80^\circ\text{C}$

算得出的。PI调节时三种情况下均有超调,升温时间大于1500秒。

四、系统实现

采用一台工业控制机控制三台中药提取罐。用气动调节阀调节提取罐夹层中的蒸汽压力。压力采样周期为2秒。变结构控制器给出压力的设定值。压力调节采用数字式PI控制。温度采样周期为20秒。

变结构控制在3吨提取罐上进行了实验。先取 $c=0.0056$,升温时间大约为32分,但罐内压力稍高。后将 c 减小为0.004,升温时间大约为37分,罐内压力正常。保温时,温度变化小于 1°C 。手动时,升温时间大约为45分。将变结构控制用于温度调节取得了满意的效果。

本文介绍的控制方法具有算法简单、调整容易、鲁棒性强和动态性能好等优点。

参考文献

- [1] Emelyanov, S. V., Automatic Control Systems of Variable Structure, Moscow, (1970).
- [2] Utkin, V. I., Variable Structure, Systems with Sliding Modes, IEEE Trans. AC-22,2, (1977), 212-222.

- [3] C. J. 哈里斯主编, 李清泉译, 自校正和自适应控制理论与应用, 科学出版社, 北京 (1986), 266—276.

An Application of Variable Structure Control in Temperature Control

Cui Yutian, zhang Guangcheng, Zhao Xiaohui, Shi Muyun

(Department of Electrical Engineering Jilin University of Technology)

Abstract

The paper illustrates an application of variable structure control with sliding mode used in temprature control chinese herbs processing. An approach for selecting switching line and result of digital simulation are given.

(上接封三)

4. 具有很好的可读性

作者为了满足自学读者的要求, 在书稿的组织过程中, 注意到在没有课堂教学的状况下, 也应让读者能自己学习概念、方法与应用。在实现这一目标的过程中, 作者十分重视给出一系列的示例, 以利读者加深对理论的理解、方法的领会和提高解决实际问题的能力。

还应指出, 该书包含了作者多年来在辨识领域中的科学及教学研究的丰硕成果, 这使该书在内容上也更具特色。

附: 该书包括以下各章:

第1章 辨识的一些基本概念; 第2章 随机信号的描述与分析; 第3章 过程的数学描述; 第4章 经典的辨识方法; 第5章 最小二乘类参数辨识方法(I); 第6章 最小二乘类参数识方法(II); 第7章 梯度校正参数辨识方法; 第8章 极大似然法和预报误差方法; 第9章 其它两种辨识方法; 第10章 最小二乘类一次完成算法之间的内在联系; 第11章 递推辨识算法的一般结构; 第12章 递推辨识算法的收敛性分析; 第13章 模型阶次的确定; 第14章 闭环系统的辨识; 第15章 多变量线性过程辨识; 第16章 辨识问题的一些实际考虑; 第17章 辨识的应用。

此外还有: 习题; 上机实验说明; 附录A 变量符号, 记号约定, 缩写; 附录B 随机变量基本知识; 附录C 矩阵运算; 附录D 估计理论; 附录E 分布值表; 参考文献。