

“小教授”单板机调温系统的研究

周再发

(电子工程系)

摘 要

本文介绍了“小教授”单板机调温系统的控制原理、系统组成，数字控制器的数学模型及部分软件框图，程序清单。

一、引 言

在工业生产过程中，温度的变化往往影响到产品的质量和产量，所以在过程控制系统中，温度变化是一个相当重要的参数，必须根据生产工艺的要求加以控制。温度控制一般分为温度上升率、下降率和恒温控制。下面介绍以“小教授”作为控制器对某加热炉进行温度控制的研究。

二、数字控制器的数学模型

本控制系统的设计是根据长期生产过程中，人们对某加热炉所总结出来的工艺温升曲线进行的。如图1所示。温升曲线由 T_0P 、 pb 、 bc 、 cd 四段折线所组成。

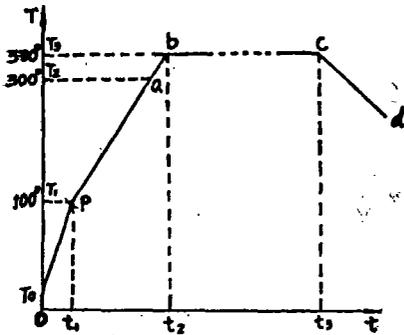


图1 温升曲线

为使控制系统尽可能按理想的升温曲线进行调温，我们借助于计算机软件控制的灵活性，针对温度曲线各段的具体要求，设计出相应的数字控制器。

(1) T_0P 段为自由升温段：为使调温系统的升温速度加快，在 T_0P 段输入全功率加热。

(2) pb 段为恒速加热段：升温过程为一斜直线，为了减少超调量，在 pb 段采用大林算法控制。

(3) bc 段为恒温段：要求温度误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$

本文于1988年1月19日收到。

范围内，为了消除静差，并加快调节过程，在bc段采用PID算法调节。

(4) cd段为自由降温段；

众所周知，在温度控制系统中，由于热工生产过程是纯滞后调节系统，滞后时间比较长，且多为带有一阶或二阶惯性的环节。对于这样的环节，关键在于如何消除或减少超调量，而大林算法正是解决这个问题的最理想办法。

调温系统的加热炉是一个带有纯滞后一阶惯性环节的对象，所以在设计数字控制器时，在恒速升温段pb采用大林算法，在恒温段bc采用PID算法。

(一) 大林算法

大林算法的设计目标是设计一个合适的数字控制器，使整个闭环系统的传递函数相当于一个带有纯滞后的一阶惯性环节，则

$$\phi(s) = \frac{e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \tag{1}$$

式中， τ 为闭环系统的时间常数，本系统为20min。

加热炉的传递函数

$$W_1(s) = \frac{K_1 e^{-\theta s}}{\tau_1 s + 1} \tag{2}$$

式中， k_1 为对象放大系数，等于230； τ_1 为对象的时间常数，等于42min， θ 为对象的滞后时间，等于4min。 k_1 、 τ_1 、 θ 由实测的飞升曲线求出。

可控硅触发装置和整流装置的传递函数

$$W_s(s) = \frac{K_s}{\tau_s s + 1}$$

由于SCR触发装置和整流装置的时间常数 τ_s 比 τ_1 小得多，其传递函数可看成一个放大倍数 k_s ，即

$$W_s(s) = K_s \tag{3}$$

式中， k_s 为SCR触发装置和整流装置的放大倍数，等于22。

一般计算机控制系统都是认为被调对象与一个零阶保持器相串联，零阶保持器的传递函数

$$W_2(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \tag{4}$$

式中， T 为采样周期。

若将公式(2)、(3)、(4)所表示的传递函数与数字控制器的传递函数 $D(z)$ 构成一个闭环控制系系，其框图如图2所示。

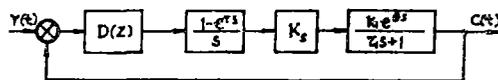


图 2 控制原理框图

若令对象的纯滞后时间 θ 为采样周期 T 的整数倍 NT ； $T = 30s$ ； $\theta = 4min$ ； $N = 12$ 。根据式(1) — (4)及图2再经推导整理便可得数字控制器的传递函数 $D(z)$

$$D(z) = \frac{(1 - e^{-T/\tau_1} z^{-1})(1 - e^{-T/\tau})}{K_1 K_s (1 - e^{-T/\tau_1}) [1 - e^{-T/\tau} z^{-1} - (1 - e^{-T/\tau}) z^{-N-1}]} \quad (5)$$

把式(5)再进一步简化

$$D(z) = \frac{a_0 - a_1 z^{-1}}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-N-1}} \quad (6)$$

式中

$$a_0 = \frac{1 - e^{-T/\tau}}{K_1 K_s (1 - e^{-T/\tau_1})}$$

$$a_1 = \frac{e^{-T/\tau} - e^{-(T/\tau_1) - (T/\tau)}}{K_1 K_s (1 - e^{-T/\tau_1})}$$

$$b_1 = e^{-T/\tau}$$

$$b_2 = 1 - e^{-T/\tau}$$

只要对象的时间常数 τ_1 和闭环系统的时间常数 τ 决定后,便可求出 a_0 、 a_1 、 b_1 、 b_2 。但式(6)不能由计算机来运算,必须离散化后方可为计算机所接受,为此将式(6)用计算机能运算的差分方程来表示,则

$$U(k) = b_1 U(k-1) + b_2 U(k-N-1) + a_0 E(k) - a_1 E(k-1) \quad (7)$$

式中, $U(k)$ 为数字控制器的输出, $E(k)$ 为偏差信号。

式(7)为所设计数字控制器的数学模型,可用计算机软件程序来实现。

(二) PID算法

模拟调节系统中的PID控制算法的模拟表达式为

$$u = k \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad (8)$$

式中, e 为给定值与测量值之差; k 为比例系数; T_i 为积分时间; T_d 为微分时间。

式(8)不适用于计算机运算,必须离散化,方能为计算机所接受。其近似离散方程为

$$u_i = k \left[e_i + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^i e_j + \frac{Td}{T} (e_i - e_{i-1}) \right] \quad (9)$$

式中, T 为采样周期; u_i 为第 i 次采样时计算机的输出; e_i 为第 i 次采样时的偏差值; e_{i-1} 为第 $i-1$ 次采样时的偏差值; i 为采样序号 $0, 1, 2, \dots$ 。

同理

$$u_{i-1} = k \left[e_{i-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{i-1} e_{j-1} + \frac{Td}{T} (e_{i-1} - e_{i-2}) \right] \quad (10)$$

由式(9)、(10)可得PID增量式控制算式,即

$$\Delta u = u_i - u_{i-1} = k \left[e_i - e_{i-1} + \frac{T}{T_i} e_i + \frac{Td}{T} (e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}) \right] \quad (11)$$

令 $I = T/T_i$; $D = Td/T$; $P = k$; $\Delta e_i = e_i - e_{i-1}$; $\Delta^2 e_i = e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2}$ 。则

$$\Delta u = P(\Delta e_i + I e_i + D \Delta^2 e_i) \quad (12)$$

若令 $PI = P \cdot I$; $PD = P \cdot D$, 式(12)便可进一步化简为

$$\Delta u = P \cdot \Delta e_i + P \cdot I \cdot e_i + P \cdot D \cdot \Delta^2 e_i \quad (13)$$

式(13)为所设计的数字控制器的数学模型。同样可用计算机软件来实现。

三、控制系统组成

由图 3 可知, 调温控制系统是以“小教授”单板机作为主控制器与接口, 检测元件、三相交流调压装置组成一个闭环调节系统。

小教授单板机为台湾产品, 其功能和指令系统类同于 Z80 或 TP801 单板机。但价格便宜, 功能齐全, 操作使用方便, 目前在闽南地区已广为使用。

“小教授”调温系统主要由数据采集、数字控制器、SCR 触发装置及 SCR 主回路等四部分组成。

调温系统一投入运行, 温度传感器便不断检测炉温, 并通过 DDZ, 1/V 及 A/D 把物理量变换成电压量再转换为数字量输入计算机。最后由计算机进行判断, 当炉温低于 100°C 时, SCR 导通角 θ 移到最大, 系统加入最大电功率, 炉温迅速上升。当炉温高于 100°C 时, 系统进入恒速加温控制段, 由大林算法对误差进行运算, 然后输出适当的控制信号使温升按工艺温升曲线要求上升。为了防止过大的超调量, 当炉温高于 85% 的恒温值 (即 300°C) 时, 系统便进入恒温控制阶段, 由 PID 算法进行计算调节, 使炉温保证在允许的误差范围内。

(一) 数据采集

数据采集环节由温度传感器, DDZ 温度变送器, 1/V 电流电压转换器, LF398 采样保持器和 ADC0809 模数转换器所组成, 为了操作方便及安全可靠, 数据采集设计有自动和手动采集。自动采集是每隔 30s 采集一次, 由扩展的定时器 CTC II 来完成。

为了消除假信号的干扰和提高可靠性, 每次数据采集都要采集三点, 然后由软件来完成中值滤波, 取中值作为本次的采样值。首先把本次采集的实际温度和上, 下限比较。如果超限, 则发出警报, 报警信号由 PIO 的 B 口输出, 如图 4 所示。

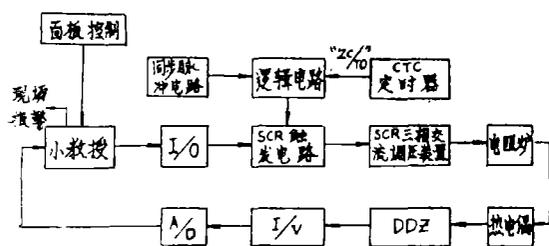


图 3 控制系统框图

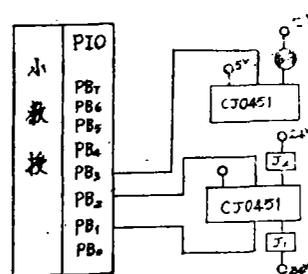


图 4 报警电路图

如果实测温度在允许的温度范围内, 便由软件控制从 PIO 的 PB3 输出一个高电平, 经 CJ0451 放大后去驱动绿灯, 使之发亮, 表示系统正常工作。若实测温度低于下限, PB1 输出高电平经 CJ0451 去驱动继电器 J1, 其常开触头 J1 闭合, 面板上的红灯亮, 现场的电铃响。若实测温度高于上限, PB2 发出高电平经 CJ0451 放大去驱动 J2, 使面板黄灯亮, 现场电铃响。当实测温度高于上限或低于下限, 表示系统不正常, 操作人员必须根据工艺情况, 立即采取应急措施。

数字采集系统30s中断服务程序如下。

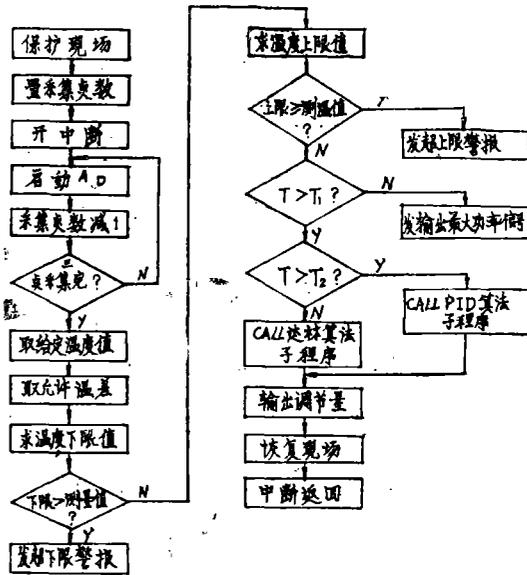


图 5 30s中断服务程序框图

(二) 数字控制器

数字控制器由大林算法和PID算法组成，当温度传感器检测的信号和给定值不符时，便产生误差，这个误差经数字控制器运算，产生调节量输出，由这个调节量去改变SCR装置的控制角 α 和通断比 β 来改变SCR调压装置的输出电压，从而改变电阻炉的炉温。

(三) SCR调压主回路及触发电路

在本系统中SCR调压主回路采用三相零式电路，如图6所示。这种电路相当于由三个单相电路组成，每相与零线都可构成单独的电路，所以SCR的触发电路比较简单。

在调压过程中采用调相和调功相结合，以达到最佳调压目的，又尽可能减少谐波分量对电网的影响。

调相过程中只要以A相电压 u_a 为同步信号电压， u_a 过零经过 α 角后向A相发触发脉冲，经过 60° 向c相发触发脉冲，再过 60° 向B相发触发脉冲，以此循环下去就能得到图7所示波形。从图7可知，只要改变 α 的大小，便可改变SCR调压装置输出电压的大小，其同步信号电路和触发电路及程序分述如下：

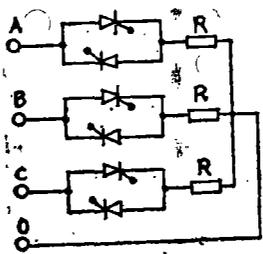


图 6 SCR调压主回路

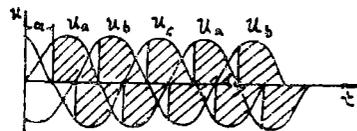


图 7 调压波形

(1) 同步信号电路:

图 8 为同步信号电路, $u_a = u_1$, 当 u_a 一过零, T_2 关断, 从 u_c 送一个正向脉冲去作用控制系统中的三态门, 使 CTC1 定时器开始定时, 直到定时时间 α 到, 发 A 相触发脉冲。

(2) SCR 触发电路:

图 9 为触发电路, 由 PIO 的 B 口输出的正脉冲经 T_1 、 T_2 、 T_3 电压放大, 再经 T_4 功率放大后去驱动脉冲变压器 TM, TM 便产生正脉冲去触发对应的 SCR 的门极, 其触发程序清单如下:

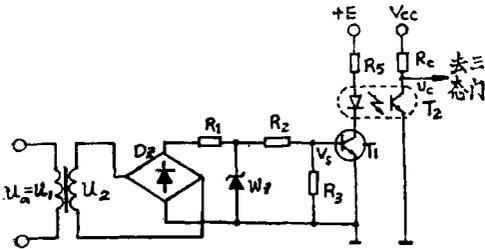


图 8 同步信号电路

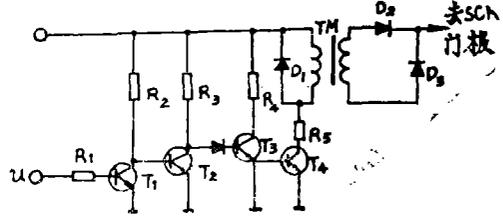


图 9 触发电路

由 PIO I 的 PB_7 , PB_6 , PB_5 输出正脉冲分别去触发 A 相、B 相、C 相。

调相中断服务程序清单:

```

EX AF, AF'           ; 保护现场
LD A, 8FH            ; 由 PIOI 的  $PB_7$  输出一个正脉冲触发 A 相
OUT(81H), A
CALL DELAY1         ; 脉宽为 1ms
LD A, 0FH           ;  $PB_7 = 0$ 
OUT(81H), A
CALL DELAY2         ; 间隔  $60^\circ$ 
LD A, 2FH           ;  $PB_6$  发正脉冲触发 C 相
OUT(81H), A
CALL DELAY1
LD A, 0FH           ;  $PB_6 = 0$ 
OUT(81H), A
CALL DELAY2
LD A, 4FH           ;  $PB_5$  发正脉冲触发 B 相
OUT(81H), A
CALL DELAY1
LD A, 0FH           ;  $PB_5 = 0$ 
OUT(81H), A
EX AF, AF'         ; 恢复现场
EI                  ; 开中断
REIT                ; 中断返回
    
```

四、结 束 语

“小教授”调温系统是通过理论探讨和实验室实验而总结出来的，具有一定可行性，针对具体的生产工艺，稍加变换完善便可应用。

参 考 文 献

- [1] 谢剑英, 微型计算机控制技术, 国防工业出版社, (1985)。
- [2] 齐藤忠夫, 中川裕志, カセンプリ言語(Z-80), 昭晃堂株式会社, 昭和58年。
- [3] 潘新民, 微型计算机控制技术, 人民邮电出版社, (1985)。
- [4] 黄俊主编, 半导体变流技术, 机械工业出版社, (1979)。
- [5] 刘元扬、刘德溥主编, 自动检测和过程控制, 冶金工业出版社, (1980)

Study on a “Micro-Professor” Temperature Controlled System

Zhou Zaifo

Abstract

This paper introduces a temperature controlled system with a single chip microprocessor known as “Micro-Professor” as its important part.

The relevant details presented herein include the principle of control, architecture, mathematical model of digital controller, parts of flowcharts, and program list.