

电阻炉温度的自动控制

刘如成¹, 瑶君²

(1. 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042

2 南京工业大学 自动化学院, 江苏 南京 210009)

[摘要] 电阻炉是一个具有较大纯滞后和时间常数的温度对象. 为提高电阻炉温度控制的质量, 介绍了以 PC 机为核心, 通过数据采集卡 (DAQ 卡), 利用 VB 语言, 采用微分先行、P—PI 控制算法, 并将控制输出转化为脉宽调制信号, 通过控制固态继电器 SSR 的通断时间, 改变了电阻炉的输入功率, 从而实现温度的智能化控制. 该控制系统具有电路结构简单、功能强、使用方便、测量控制精度高、工作稳定可靠、性价比高等优点. 实践证明该控制方案在性能指标如超调量、稳定时间和稳态误差等方面, 取得了较为满意的结果.

[关键词] 温度, 控制算法, 性能指标

[中图分类号] TP272 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005) 04-0026-03

Automatic Control for Resistance Furnace Temperature

LU Rucheng¹, DNG Yaojun²

(1. School of Electrical and Automation Engineering Nanjing Normal University Jiangsu Nanjing 210042 China

2 College of Automation, Nanjing University of Technology, Jiangsu Nanjing 210009 China)

Abstract The resistance furnace is a temperature plant with large pure time delays and constants. The control performance under the conventional PD control scheme is not high enough, such as the overshoot great, settling time long. To improve the temperature control performance for the resistance furnace, this paper introduces the intelligent control under the P-PI and derivative leading control algorithm based on a PC, data acquisition cards (DAQ card) and using the VB language, for control output signal transformed to pulse width modulation signal controlling on-off time of SSR and input power of the resistance furnace regulated. It has features of a simple circuit construct, strong functions, convenient applications, high measure and control accuracy, steady and reliable running and a high performance-price ratio. The practice proves that the control scheme is satisfactory on some performance indices such as the overshoot, settling time, and steady state errors.

Key words temperature; control algorithm; performance index

0 引言

电阻炉是实验室、工矿企业、科研等单位作为化学分析、物理测定及热电偶检定等的加热设备. 精确可靠地测量和控制电阻炉的温度, 是保证试验顺利进行的必要条件. 电阻炉是一个具有较大纯滞后和时间常数的温度对象. 过去通常采用位式控制或连续 PD 控制, 一般控制质量不高, 如超调量大、稳定时间长等. 为提高电阻炉温度的控制质量, 本文以 PC 机为核心, 通过数据采集卡 (DAQ 卡), 利用 VB 语言, 采用微分先行、P—PI 控制算法实现温

度的智能化控制. 该控制系统具有电路结构简单、功能强、使用方便、测量控制精度高、工作稳定可靠、性价比高等优点.

1 系统组成

系统组成如图 1 所示. 电阻炉内温度 t 由热电偶检测, 通过补偿导线引入输入回路, 热电势经参比端温度补偿并电压放大后引入到扩展板. PC 机通过数据采集卡 (DAQ 卡) 采集温度信号, 将温度信号先进行不完全微分, 然后与工艺要求的设定值比较, 根据偏差大小采用 P—PI 控制算法, 运算结

收稿日期: 2005-05-19

作者简介: 刘如成 (1960-), 高级实验师, 主要从事自动检测与自动控制的教学与应用研究. E-mail: lr@mail.nsgk.net

果转换成脉宽调制信号(占空比)后输出.输出的脉宽调制信号控制过零通型固态继电器的通断比,控制电阻炉输入功率的大小,达到控制电阻炉的温度,使其逐渐趋于设定值,且达到平衡.

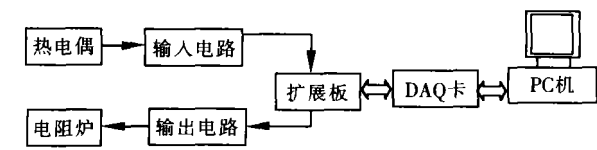


图1 系统组成原理图

1.1 数据的采集与控制

系统以个人电脑 PC 机为控制核心,通过数据采集卡 (PCI-6030DAQ 卡)沟通控制装置,通过 VB 编程语言,设计系统的控制界面.界面具有更改数据设定及操作的功能,主要有温度设定值、PD 控制参数、P—PI 积分作用切除偏差值 ε 脉宽调制信号宽度等进行设定.扩展板主要便于与外部连接.

1.2 过程输入

电阻炉内温度 t 由热电偶测量,其输出电势与由不平衡电桥组成的参比端(冷端)温度补偿电桥的电势比较,经电压放大后接入扩展板.原理如图 2 所示.

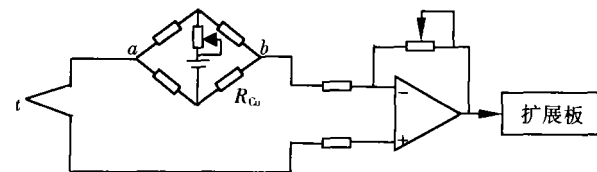


图2 输入通道原理图

不平衡电桥中 R_{Cu} 为分度号为 Cu50 的铜电阻,电桥产生的电势 U_{ab} 与热电偶参比端温度所对应的电势相等,但极性相反,从而克服了由于参比端温度变化而产生的附加电势的影响.

1.3 过程输出

PC 机的控制运算信号,转换成脉宽信号经数据采集卡的输出端,由 TTL 电路驱动过零触发型固态继电器 SSR,通过控制 SSR 的通断比,达到控制温度的目的.输出通路原理如图 3 所示.

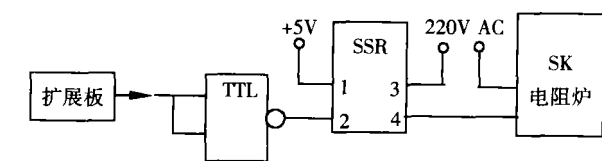


图3 输出通道原理图

2 控制算法

PID 控制规律是自动控制系统中最常见的,它是根据被控变量与设定值之间的偏差经比例、积

分、微分运算后输出.在上述的温度控制系统中,往往需要改变温度控制点(设定值),而且改变设定值的速度比较快,由于微分作用的输出与输入偏差变化的速度成正比,因此控制器输出将发生较大幅度的变化,从而引起被控变量的很大的波动.为克服由于设定值的改变对系统产生的影响,本系统采用了微分先行的控制方式,即只对被控变量进行微分作用.另外,由于温度对象的时间常数较大,系统的稳定时间相对较长,当控制器的偏差长时间存在时,由于积分作用的存在常会出现积分饱和现象.为了防止积分饱和对控制系统的不利影响,本系统采用积分分离法,即偏差较大时,不进行积分,仅当偏差的绝对值小于一预定值 ε ($\varepsilon < 10^\circ\text{C}$),才进行积分运算,这样既防止了偏差大时有过大的控制量,又避免了积分饱和现象.

本控制系统所采用的微分先行(不完全微分)及 P—PI 控制规律的传递函数框图如图 4

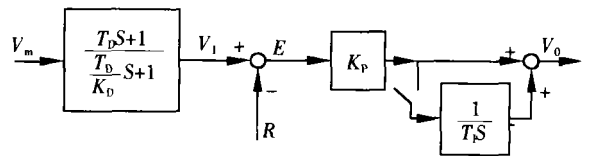


图4 控制规律框图

根据框图有:

$$V_1(S) = \frac{T_D S + 1}{\frac{T_D}{K_D} S + 1} V_m(S) \quad (1)$$

$$V_0(S) = K_P \left[1 + \frac{1}{T_I S} \right] E(S) \quad (2)$$

式中, K_P 为比例增益; T_I 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数; K_D 为微分增益(一般 $K_D = 10$).将 (1) 式改写成微分方程:

$$\frac{T_D}{K_D} \frac{dV_1(t)}{dt} + V_1(t) = T_D \frac{dV_m(t)}{dt} + V_m(t) \quad (3)$$

对于 (3) 式有:

$$V_1(t) = \left[T_D \frac{dV_m(t)}{dt} - \frac{T_D}{K_D} \frac{dV_1(t)}{dt} \right] + V_m(t) = \Delta V + V_m(t) \quad (4)$$

(4) 式中, $\Delta V = T_D \frac{dV_m(t)}{dt} - \frac{T_D}{K_D} \frac{dV_1(t)}{dt}$, ΔV 是有不完全微分产生的变化量.

将 (3) 式差分化并化简后 (T 为采样时间)

$$\frac{T_D}{K_D} \frac{V_1(n) - V_1(n-1)}{T} + V_1(n) = T_D \frac{V_m(n) - V_m(n-1)}{T} + V_m(n) \quad (5)$$

设: $K_{d2} = \frac{T}{\frac{T_D}{K_D} + T}$, $K_{d1} = \frac{T_D}{\frac{T_D}{K_D} + T}$

则 (5) 式变为: $V_1(n) = V_1(n-1) + K_{d1}[V_m(n) - V_m(n-1)] + K_{d2}[V_m(n) - V_1(n-1)]$.

将 (2) 式化为微分方程

$$T_1 \frac{dV_0(t)}{dt} = K_P T_1 \frac{de(t)}{dt} + K_P e(t)$$

将其差分化并化简后

$$T_1 \frac{V_0(n) - V_0(n-1)}{T} = K_P T_1 \frac{E(n) - E(n-1)}{T} + K_P E(n)$$
$$\Delta V_0(n) = K_P \frac{T}{T_1} E(n) + K_P [E(n) - E(n-1)]$$
(6)

设: $V_1 = K_P \frac{T}{T_1} E(n)$, $V_P = K_P [E(n) - E(n-1)]$

则 (6) 式可写为: $\Delta V_0(n) = V_1 + V_P$

式中, V_1 为积分运算输出, V_P 为比例运算输出.

实现上述微分先行、P—PI 控制算法的程序框图如图 5 所示.

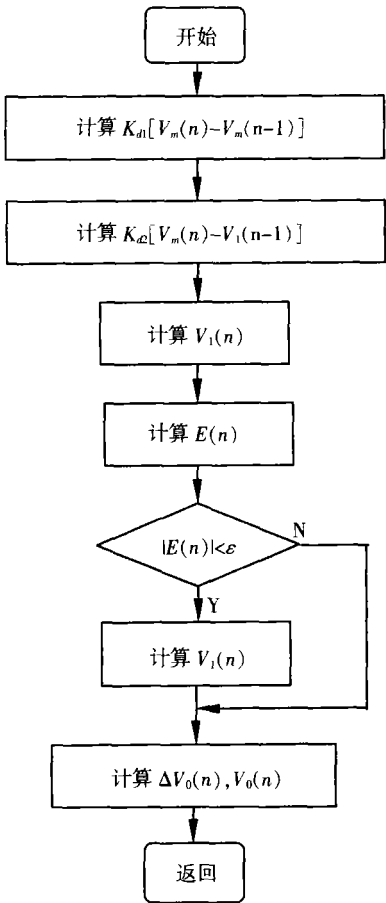


图 5 控制算法程序框图

3 结束语

本控制系统以 PC 机为核心, 采用微分先行及 P—PI 控制算法, 并将控制输出转化为脉宽信号, 从而实现对电阻炉的温度控制. 经过现场运行, 各项性能指标如超调量、稳定时间和稳态误差等均取得了较为满意的结果. 图 6 为 SK—3 型电阻炉温度设定值由 500℃ 阶跃变化为 600℃ 时的响应曲线, 温度的设定范围为 0~1 000℃, 系统的采样时间为 $T = 0.1\text{ s}$ 控制参数的设定分别为 $K_P = 1.80$, $T_1 = 120\text{ s}$, $T_D = 90\text{ s}$, $K_D = 10$, $\varepsilon = 10^\circ\text{C}$. 在其变化过程中, (4) 式中 ΔV 的最大变化量约为温度范围的 + 4.5%, 最小变化值为 - 0.6%.

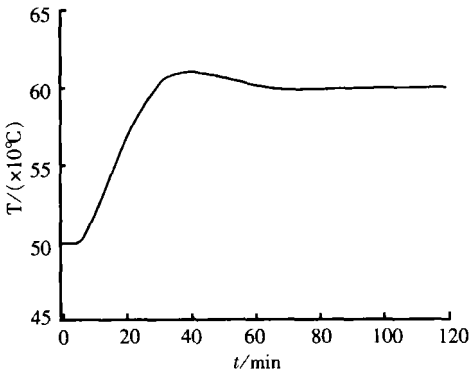


图 6 温度控制响应曲线

[参考文献]

[1] 刘炳文, 许蔓舒. Visual Basic 程序设计教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
[2] 徐爱钧. 智能化测量控制仪表原理与设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.
[3] 王勤. 计算机控制技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2003.
[4] 范逸之, 廖锦棋. Visual Basic 硬件设计与开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
[5] 吴勤勤. 控制仪表及装置 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2002.
[6] 曹润生, 黄祯地, 周泽魁. 过程控制仪表 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1987.
[7] 方彦军, 孙健. 智能仪表技术及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
[8] 孙凯, 李元科. 电阻炉温度控制系统 [J]. 传感器技术, 2003, 22(2): 50-52.

[责任编辑: 严海琳]