

等离子体催化剂活化装置温度控制系统的设计

樊英, 何翔, 左雄

(中南民族大学 电子信息工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对等离子体催化剂活化装置中温度环境对催化剂性能的影响, 提出并实现了基于 DSP 的温度控制系统设计方案。该系统采用 TMS320F2812 为控制器, 完成了温度控制系统 PID 算法设计, 并进行了测试。上位机通过串口通信数据, 运用 Matlab 对其进行了分析。实验结果表明, 该温度控制系统能稳定运行, 具有反应速度快、超调小、无静差、温度控制平稳、精度高等优点。对于温度控制精度要求较高的应用场合, 采用 DSP 和 PID 算法具有较高的灵活性和可靠性。

关键词: DSP; 温度控制; PID 算法

中图分类号: TN911.72

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)14-0007-04

Design of temperature control system of plasma catalyst activation device

Fan Ying, He Xiang, Zuo Xiong

(College of Electronics and Information Engineering, South-central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract: In consideration of the effect of temperature on catalyst performance in plasma catalyst activation device, this article puts forward and realizes the temperature control system design scheme based on DSP. With TMS320F2812 as the controller, this system completed the program design about PID algorithm of the temperature control system, and had carried on the testing. Data results were obtained through the serial port communication, and the data results were analyzed by Matlab. The experimental results show that the system can run stably, and has advantages of high steady speed, small overshoot, no offset, trim control and high precision. Using DSP and PID algorithm can realize high flexibility and reliability.

Key words: DSP; temperature control; PID algorithm

在等离子体催化剂活化装置的工作过程中, 考虑到温度对催化剂性能的影响, 需保持炉内温度在 0°C ~ 300°C 可控, 以满足不同催化剂的处理需求。此装置通过外部电压加热使炉内达到一定工作温度, 当内部空心阴极放电时会产生局部高温, 使得炉内温度发生变化。由于温度对象的时间常数大、滞后现象严重, 当温度变化在最佳值 ($\pm 10^{\circ}\text{C}$ ~ $\pm 20^{\circ}\text{C}$) 时, 催化剂的活性和稳定性开始有明显变化。故保持炉内温度稳定, 在工业控制中非常重要。传统的人工调节温控方法仅适用于对温度影响要求不高的场合; 采用单片机温控方法, 可用于一般温度控制场合, 但对要求实时性强、数据运算量大的控制系统难以实现实时控制。随着微处理器的发展, 数字信号处理器 (DSP) 以其强大的运算能力逐步成为控制领域的主流选择。TMS320F2812 型 DSP^[1-2] 是 TI 公司一款用于控制的高性能、多功能、高性价比的 32 位定点 DSP, 其处理能力强, 功能模块多, 可满足对信号的快速、精确和实时处理需要。

针对等离子体催化剂活化装置的温度控制要求, 本文以 TMS320F2812 DSP 为控制器, 设计了基于 PID 调节的温度控制系统, 并运用 Matlab 对数据结果进行了分析。

1 系统组成及工作原理

该温度控制系统主要由 PWM 驱动电路、温度采集电路、A/D 转换电路、DSP 处理模块、数码管显示电路等部分组成, 系统框图如图 1 所示。其中 DSP 采用 TI 公司生产的 TMS320F2812 芯片, 该芯片内置 ADC, A/D 采样频率设定为 10 kHz, 以达到快速采样的目的。

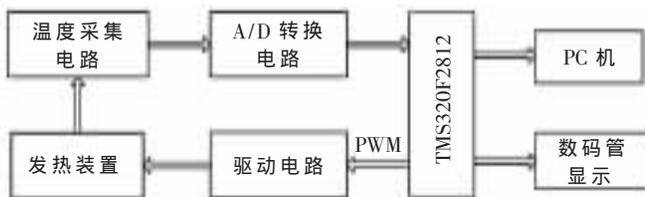


图 1 温控系统框图

系统以 TMS320F2812 为核心,温度采集选用热电偶通过信号调理电路产生 0~3.3 V 电压信号,通过 A/D 转换电路将其转换为数字信号,转换后的数字信号由 TMS320F2812 按照 PID 算法进行运算,并根据运算结果在 PWM1 引脚输出相应的 PWM 脉宽信号,通过快速调节占空比的宽度来加热炉内电阻丝,当温度达到设定值时,将输出占空比固定的 PWM 脉冲信号,最终达到温度控制的目的。另外,检测到的温度信号通过数码管显示,上位机通过串口获得实时数据,并运用 Matlab 对其进行分析。

2 系统硬件电路设计

2.1 PWM 驱动电路设计

由于 TMS320F2812 产生的 PWM 波形高电平只有 3.3 V,其不足以使温度采集电路(如图 2 所示)中开关管 Q11 (IRF730) 导通,故采用图腾柱结构使其驱动电流放大,同时驱动电压得到提高。PWM 驱动电路如图 2 所示。

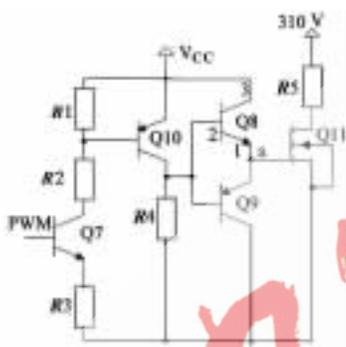


图 2 PWM 驱动电路

在图 2 中,当 TMS320F2812 DSP 的 PWM1 引脚输出为高电平时 Q7 导通,Q10 基极电压比射极电压低,故 Q10 导通;Q8 的 2 脚为高电平,故 Q8、Q9 导通,且 a 点电压达到了开关管 Q11 的门限电压,使得 Q11 导通,给电阻丝加热。当 TMS320F2812 DSP 的 PWM1 引脚输出为低电平时 Q7 关断,促使 Q8、Q9、Q10、Q11 都关断,电路不工作,电阻丝停止加热。

2.2 温度采集电路设计

温度采集电路^[3]是温度控制系统的前向通道,所以采集温度数据的精确性决定了温度系统的精度。本系统中的温度采集使用热电偶,热电偶传来的带有温度信号的毫伏级电压经滤波、放大后送至 A/D 转换器。通过采样和 A/D 转换,将所检测到的炉温对应的电压信号转换成数字量送入计算机,并与给定的电压信号进行比较,计算其偏差。偏差值由 TMS320F2812 DSP 经 PID 算法进行处理,产生占空比可变的 PWM,通过快速调节占空比来给炉内电阻丝加热,维持炉内温度恒定,以达到控制温度的目的。其电路图如图 3 所示。

温度传感器选用铂铑 30-铂铑 6 热电偶,测温范围为 0~1 800℃,精度小于 $\pm 0.5\%t$ 。热电偶输出的热电势为

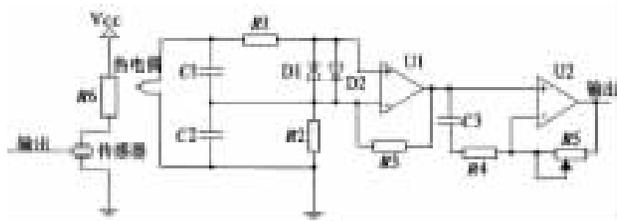


图 3 温度采集电路

十几毫伏,信号先经第一级高精度运放放大,再经后级运放反向输出。第一级运放输入端的钳位二极管起保护作用,避免了输入线路故障的瞬态尖峰干扰损坏。放大后的信号通过 A/D 转换器输入计算机。热电偶冷端补偿采用温度传感器 LM35,其输出电压与摄氏温度一一对应,精度高,且其输出电压在 A/D 允许输入电压范围内。这种测量方法的冷端温度准确,克服了常规方法补偿误差大和不方便的缺点。

3 系统软件设计

3.1 系统主程序设计

在基于 DSP 的温度控制系统程序设计中,系统软件采用模块化设计,包括:程序的初始化模块、PID 算法子程序、PWM 波形产生子程序、ADC 采样及滤波子程序、数码管显示子程序以及串行通信子程序等。其主程序流程图如图 4 所示。

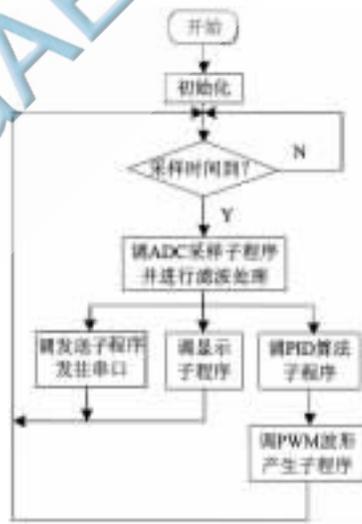


图 4 温度控制系统主程序流程图

系统各模块初始化后,判断是否到达采样时间,若采样时间到,则对外部温度信号进行采样;由 ADC 采样子程序对采样信号进行采样和滤波处理,转换成数字信号;调显示子程序,由数码管对其进行实时显示;上位机与串口通信,保存采样数据,以使用 Matlab 观察数据变化走向;同时调用 PID 算法子程序对经滤波后的采样信号进行运算,调 PWM 波形产生子程序,DSP2812 根据前一级运算结果产生占空比可变的 PWM 波,通过快速调节占空比的宽度来控制发热电阻丝加热的时间长短,以

达到控制温度的目的。

3.2 PID 算法程序设计

在温度控制系统中,温度存在较大的延迟和惯性,为了实现最优控制,通常采用 PID 控制^[4-5],它是温度控制系统的核心。在模拟控制系统中,最常用的控制规律是数字 PID 控制。数字 PID 控制方法分为增量式 PID 和位置式 PID。

本控制中采用增量式 PID 控制算法。增量式 PID 控制算法与位置式 PID 控制相比仅是算法上有所改变,但是它只输出增量,减少了 DSP 误操作时对控制系统的影响,而且不会产生积分失控。其控制算法表达式如下:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = (k_p + k_i + k_d)e(k) + (-k_p - 2k_d)e(k-1) + k_d e(k-2) \quad (1)$$

其中, k_p 为比例系数; k_i 为积分系数; k_d 为微分系数。

PID 算法程序流程图如图 5 所示。

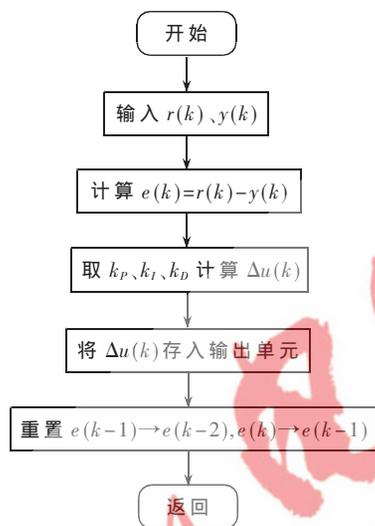


图 5 PID 算法程序流程图

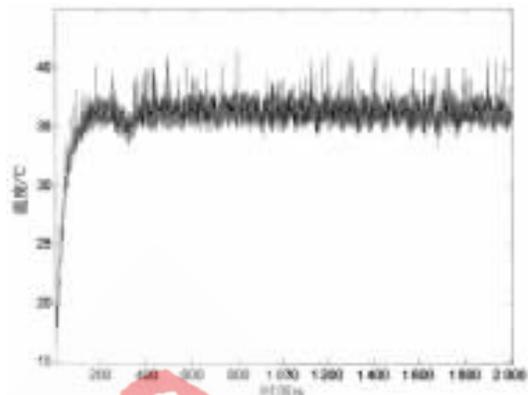
图 5 中 $r(k)$ 为设定温度值, $y(k)$ 为采集到的外部温度。将设定值与采样值之间的偏差 $e(k)$ 作为 DSP2812 的输入控制量,计算出输出控制量 $\Delta u(k)$ 作为 PWM 的脉宽变化量,通过快速调节占空比的宽度来决定发热电阻加热的时间长短,以达到控制温度的目的。

4 实验结果

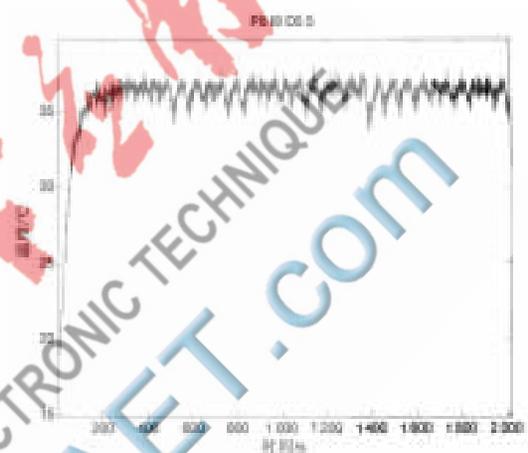
通过 PID 算法的程序设计以及在 TMS320F2812 中运行调试后,将检测到的温度信号通过串口通信传送给 PC 机,并由 Matlab 对数据结果进行分析。

本实验中对无数据滤波处理和有数据滤波处理在相同 PID 参数下分别进行了测试,结果如图 6 所示。可以观察到,数据滤波后的尖端脉冲更少,曲线更加平滑,使得测量精度得到提高。

PID 参数的工程整定方法有很多,通常有经验法、衰减曲线法、临界比例法和响应曲线法等。本文采用经验法中的现场“试凑”法。根据 PID 控制器的 P 、 I 、 D 参数对系统性能(包括及时响应、超调、过冲、振荡等)的影响



(a) 无数数据滤波的响应曲线



(b) 有数据滤波的响应曲线

图 6 数据滤波对系统响应的影响

为理论依据,调试时按照先比例(P)、再积分(I)、最后微分(D)的顺序将控制器参数逐个进行反复的“试凑”,得到多组实验数据。在相同温度下,不同的参数对系统的响应不同。通过大量实验和分析比较,最后确定了温度设定值在 126°C 时系统的最佳响应,如图 7 所示。其 PID 参数为 $P=50$, $I=30$, $D=20$,其响应速度快,60 s 达到稳定值,超调量为 2%,误差范围为 $\pm 1^\circ\text{C}$,无过大振荡,能长时间保持平稳。

本文提出并设计了以 TMS320F2812 为控制核心、

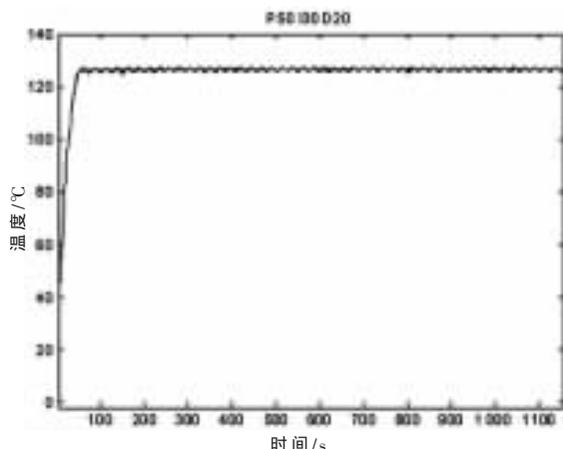


图 7 系统最佳响应曲线

PID 控制算法为基础的等离子体催化剂活化装置的温度控制系统。该温度控制系统能稳定运行,具有反应速度快、超调小、无静差、温度控制平稳、精度高等优点。对于温度控制精度要求较高的应用场合,采用 DSP 和 PID 算法能快速、有效地实现温度的实时控制,具有较高的灵活性和可靠性。

参考文献

[1] 顾卫钢.手把手教你学 DSP-基于 TMS320X281x[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011.
[2] 汪安民. DSP 应用开发实用子程序[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
[3] Gao Yanli, Liu Di, Zhang Haiying. Beer fermentation temperature control system based on DSP[C]. Electronic Measurement & Instruments, 2011 10th International Conference on (Volume:1), Chengdu, 2011(10):274-277.

[4] HAMID N H A, KAMAL M M, YAHAYA F H. Application of PID controller in controlling refrigerator temperature [C]. Signal Processing & Its Applications(CSPA), Kuala Lumpur: 2009(05):378-384.
[5] 黄友锐, 曲立国. PID 控制器参数整定与实现[M].北京:科学出版社,2010.

(收稿日期:2013-04-24)

作者简介:

樊英,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:等离子体设备与控制技术。

何翔,女,1955年生,教授,主要研究方向:等离子体材料表面改性和新材料制备。

左雄,男,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:等离子体设备与控制技术。

