

文章编号:1671-251X(2011)07-0098-04

基于 DSP 和电流环的锅炉温度控制系统设计

王立华¹, 高金玉², 王艳杰³

(1. 山东科技大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 山东信息职业技术学院,
山东 潍坊 261061; 3. 中国重汽集团济南卡车股份有限公司设备动力厂, 山东 济南 250031)

摘要:提出了基于 DSP 和电流环的锅炉温度控制系统设计方案,详细介绍了电流环发生器和接收器、DSP 处理模块及其控制算法的设计。该系统采用 TMS320F2812 DSP 作为控制器,以 4~20 mA 电流环为传输方式,利用 PID 算法实现了对锅炉的温度控制,具有较高的灵活性和可靠性。

关键词:锅炉; 温度控制; 电流环; 数字信号处理器

中图分类号:TP273 文献标识码:B

Design of Boiler Temperature Control System Based on DSP and Current Loop

WANG Li-hua¹, GAO Jin-yu², WANG Yan-jie³

(1. School of Information Science and Engineering of Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China. 2. Shandong College of Information Technology, Weifang 261061, China.
3. Equipment Power Plant of Jinan Truck Co., Ltd. of CNHTC., Jinan 250031, China)

Abstract: A design scheme of boiler temperature control system based on DSP and current loop was proposed, and designs of generator and receiver of the current loop, DSP processing module and control algorithm were introduced in details. The boiler temperature control was realized by using TMS320F2812 DSP as a controller, 4~20 mA current loop as transmission mode, and PID as control algorithm. The system has high flexibility and reliability.

Key words: boiler, temperature control, current loop, digital signal processor

收稿日期:2011-03-22

作者简介:王立华(1971-),男,山东临朐人,讲师,硕士,研究方向为 DSP 技术、电子设计自动化。E-mail:wanglihua7141@163.com

0 引言

在锅炉运行过程中,必须保持锅炉温度稳定在
规定值附近,通常允许的变化范围为额定值 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

流值,然后进行差动保护和后备保护的整定计算,最后形成运行参数投入微机综保。实际运行结果表明,提出的整定方法能够灵敏、可靠、迅速、有选择地切断故障点,安全、高效地满足生产需要,值得工程技术人员在遇到类似计算时借鉴。

参考文献:

- [1] 贺家李,李永丽,李斌. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
- [2] 余健明,周向前. 供电技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [3] 顾永辉. 矿井供电(上)[M]. 北京:煤炭工业出版社,

1997.

- [4] 许正亚. 发电厂继电保护整定计算及其运行技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [5] 宋志明. 继电保护原理及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [6] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 3版. 北京:中国电力出版社,1994.
- [7] 中华人民共和国电力工业部. DL/T584-2007 3 kV~110 kV 电网继电保护装置运行规定规程[S]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [8] 原国家能源部. DL/T684-1999 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S]. 北京:中国电力出版社,2000.

若温度超过设备部件(如蒸汽管道、阀门等)的允许工作温度,将使部件钢材加速蠕变,降低其使用寿命,严重的超温甚至可能使管道过热而发生爆破;温度过低会引起热耗上升,降低汽轮机的内效率,加剧对其叶片的侵蚀。因此,对锅炉温度进行准确、实时的控制在工业生产中显得尤为重要。由于锅炉温度控制系统的工作环境较为恶劣,所以在控制过程中存在着很大的时滞性和很强的干扰,一般的控制方式不能很好地满足要求。

由于电流环在噪声抑制和长距离传输方面的性能优越,它在许多工业控制领域得到了广泛的应用,而DSP也日益成为控制系统不可或缺的组成部分。用DSP来控制和处理电流环传送的传感器和机电设备信号,将DSP和电流环相结合,具有重要的实际意义。

本文设计了一种基于DSP和电流环的锅炉温度控制系统,系统采用TMS320F2812 DSP作为控制器,4~20 mA电流环作为传输方式,利用PID算法实现了对锅炉的温度控制。

1 系统组成及工作原理

锅炉温度控制系统主要由电流环电路、DSP处理模块、DA转换器等组成,如图1所示。其中电流环电路由TI公司生产的电流环发生器XTR115和接收器RCV420组成;DSP采用TI公司生产的TMS320F2812芯片,该芯片内置ADC。

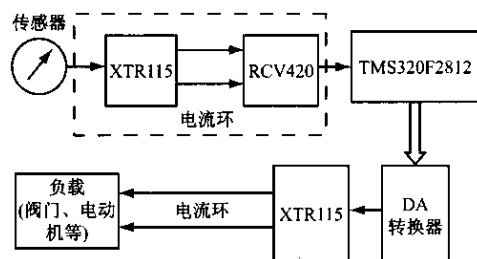


图1 锅炉温度控制系统框图

系统以TMS320F2812为核心,采用成熟的数学算法计算系统的现态,预测锅炉温度的变化趋势,并采用有效的PID控制器动态调整系统的参数;根据TMS320F2812的输出参数控制调节阀调节燃料的流量,最终达到锅炉温度控制的目的。

系统采用电流环作为传输方式。传感器(热电偶)电路产生的0~5 V电压信号通过XTR115转换为4~20 mA的电流信号,经电流环传输后,再通过RCV420转换为0~5 V的电压信号;TMS320F2812接收到该电压信号后,通过内置

ADC将其转换为数字信号,并采用PID算法计算目标值,然后输出电压信号;电压信号再经过DA转换、XTR115转换后送到负载端。

2 电流环电路

4~20 mA电流环是一种模拟信号的传送方式,它利用电流进行信号传输,能有效克服在长线传送过程中环境干扰的影响,具有抗干扰能力强、数据传输准确的特点,可提高电路的传输性能。在工业应用领域,4~20 mA电流环是优先考虑的信号传输方式。

2.1 电流环发生器

电流环发生器采用工业控制领域4~20 mA电流环专用芯片XTR115^[2],其电流放大倍数为100,供电电压为7.5~36 V,同时具备5 V电源输出和2.5 V参考电源输出。两个输出电源降低了电流环电路的设计难度,并且提高了电流环的输出精度。

电流环发生器电路如图2所示。其中DAOUT端连接DA转换器的输出端,输入电压为0.5~2.5 V;XTR115的片内 V_{ref} 输出为2.5 V,可为传感器提供偏置或激励; V_{reg} 端口输出的电压用于为外电路提供电源;所有电流都返回 I_{-ret} 端口,因此,可通过该端口检测外部电路的电流,以精确控制输出电流的精度,对于输入电路来说, I_{-ret} 端口相当于“地”;电流环输出电流 I_{OUT} 为4~20 mA,XTR115的 I_{-in} 端电流为40~200 μ A。

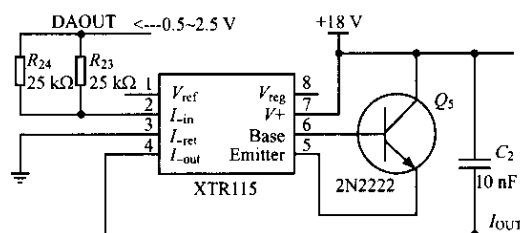


图2 电流环发生器电路

2.2 电流环接收器

电流环接收器主要用于将4~20 mA的输入电流信号转换成为0~5 V的输出电压信号,采用精密电流环接收器芯片RCV420^[3-4]。RCV420内部包含一个高级运算放大器、一个片内精密电阻网络和精密10 V电压基准,并内置75 Ω 的检测电阻,当满量程时能产生1.5 V的压降,而消耗功率仅为30 mW。两个匹配的75 Ω 检测电阻构成对称输入,此种结构可最大程度地抑制2脚的共模电压信号,消除不同输入端的电流在差分电压转换时的不平衡。检测电阻将输入的电流信号经放大器放大

后, 转换成与它成正比的电压。在放大器反馈通道中的 T 型网络节点用于产生所需要的偏置电压。由于输入电阻网络提供了很高的输入阻抗, 所以能将共模输入电压衰减至运算放大器允许的共模信号容限内。

电流环接收器电路如图 3 所示。RCV420 芯片的 IN+ 端和 IN- 端分别为正、负电流信号输入端, 信号极性的不同决定输入电流信号接到 IN+ 端还是接到 IN- 端; CT 端为电流信号公共端, 信号通过该端口返回接地端; RCV O 端为电压信号输出端, 其输出的模拟电压再送到 ADC 进行模数转换。

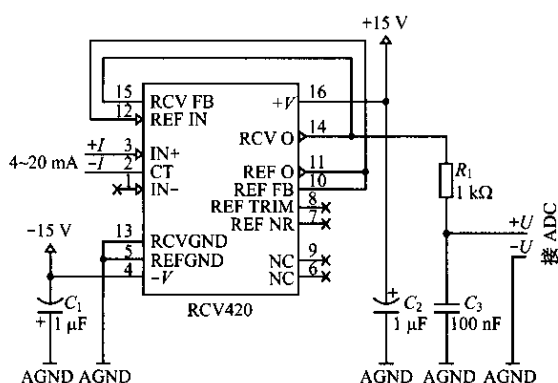


图 3 电流环接收器电路

3 DSP 处理模块

3.1 TMS320F2812 芯片

TMS320F2812 是基于代码兼容的高性能 32 位混合信号处理器。它能够提供整套的片上系统, 大大降低了板级空间及系统成本, 系统实现较为简单。

TMS320F2812 内部有 6 条 32 位总线, 采用增强的哈佛结构, 支持并行的程序和操作数寻址, 因此, TMS320F2812 的读/写可在同一周期内进行。这种高速运算能力可使精确 PID、神经网络、多变量控制、遗传算法和自适应控制等复杂控制算法得以实现。

TMS320F2812 包含 2 个 8 路 12 位 ADC, 转换速度可达 200 ns。它具有丰富的 AD 转换启动模式, 支持事件管理器中断启动、软件启动和外部信号启动。另外, 该芯片还提供了与事件管理器 EVA 和 EVB 连接的接口。

3.2 DSP 输入部分

DSP 输入部分采用 TMS320F2812 内置的 ADC 将电流环输出的模拟电压转换为数字信号。与普通的用于电流环控制的 PLC 相比, TMS320F2812 具有更强的数据处理能力, 运行的

算法更为复杂。但由于 DSP 器件仅能处理数字信号, 不能直接接收电流或电压信号, 所以必须经过 AD 转换, 将连续变化的模拟量变为离散的数字量, 才能进行处理。在 AD 转换时, 直接使用 TMS320F2812 内置的 16 个通道的 12 位 ADC 可降低功耗, 节约电路空间; 如果需要更高的分辨率, 可通过 32 位总线与外部 ADC 连接来实现 AD 转换。

3.3 DSP 输出部分

DSP 输出部分采用外接 DA 转换芯片 AD5551 来实现 DA 转换, 再通过电流环发生器将信号转换为 4~20 mA 电流信号输出。

由于负载端需要模拟控制信号才能进行控制, 因此, 当 DSP 处理模块计算出电压、电流、功率等值后, 要将数字量转换为模拟量输出。AD5551 为单通道、14 位、串行输入、电压输出 DA 转换器, 采用 (5 ± 0.5) V 单电源供电; 采用多功能三线式接口, 并且与 SPI、QSPI、MICROWIRE、DSP 接口标准兼容, 无需进行任何调整。AD5551 输出不经过缓冲, 可降低功耗, 并减少输出缓冲所造成的失调误差。

由于 TMS320F2812 有 32 位总线, 当用它并行输入 DA 转换器时, 能提供 2^{32} 级高速分辨率。如果不需要高速传输, 可通过串行接口 (SPI) 来输入。AD5551 具有 SPI 兼容接口, 可以很方便地与 TMS320F2812 的 SPI 接口进行通信。同时, 为了保证 DA 转换的精确度和防止电磁干扰, 在 TMS320F2812 和 AD5551 中间使用高速光耦 6N137 进行信号隔离。DA 转换模块电路如图 4 所示。AD5551 产生的电压通过 R_{14} 生成电流环输入信号, 通过 XTR115 放大, 产生 4~20 mA 输出电流信号。

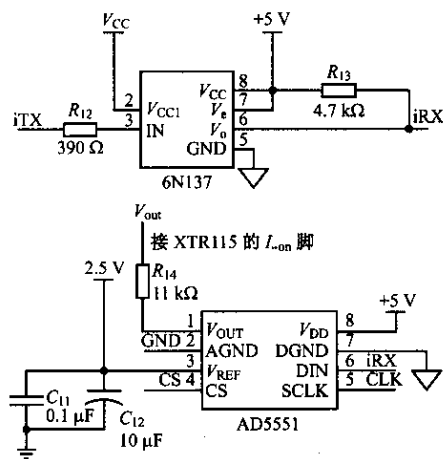


图 4 DA 转换模块电路

4 PID 算法控制策略

PID 算法是一种流行的线性控制策略^[5-6]。在本系统中,通过不断地获取目标控制器件的温度参数,预测系统温度的变化趋势,并采用 PID 算法动态地调整系统参数,从而控制锅炉温度。通过不断地调节并获取反馈,可形成一个控制环路,使系统保持最优化。PID 算法可提供最快的响应,而不会产生非收敛的振荡^[7]。

在模拟控制系统中,控制表达式为

$$y(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中: $y(t)$ 为调节器的输出信号; $e(t)$ 为调节器的偏差信号,等于给定值与测量值之差; K_P 为调节器的比例系数; T_I 为调节器的积分系数; T_D 为调节器的微分时间。

为了用 TMS320F2812 实现式(1),必须将其离散化,用数字形式表示为

$$y(n) - y(n-1) = K_P(e(n) - e(n-1)) + K_I e(n) + K_D(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)) \quad (2)$$

式中: $e(n)$ 为第 n 次采样的偏差; $e(n-1)$ 为第 $(n-1)$ 次采样时的偏差; $e(n-2)$ 为第 $(n-2)$ 次采样时的偏差; $K_I = K_P \frac{T}{T_I}$; $K_D = K_P \frac{T_D}{T}$, T 为采样周期。

由式(2)可知,要计算第 n 次输出值 $y(n)$,只要知道 $y(n-1)$ 、 $e(n)$ 、 $e(n-1)$ 、 $e(n-2)$ 即可。式(2)还可以表示为

$$y(n) = d_0 e(n) + d_1 e(n-1) + d_2 e(n-2) + y(n-1) \quad (3)$$

式中: $d_0 = K_P(1 + T/T_I + T_D/T)$; $d_1 = -K_P(1 + 2T_D/T)$; $d_2 = K_P \times T_D/T$ 。

式(3)为典型的乘加算式,而 TMS320F2812 具有专门的乘加指令,乘加算式在 TMS320F2812 上非常容易实现,所以该式成为 PID 算法在 TMS320F2812 上实现的依据。

在 TMS320F2812 上实现的 PID 算法程序: PID 各参数的初始化,计算偏差值 $e(n)$, PID 算法处理,参数 $e(n)$ 、 $e(n-1)$ 、 $e(n-2)$ 、 $y(n)$ 和 $y(n-1)$ 的获取和更新等。TMS320F2812 实现这些功能比 PLC 方便,另外, TMS320F2812 上有通用和可配置的 I/O 口等丰富资源,保证了控制功能的实现。PID 算法控制流程如图 5 所示^[8]。

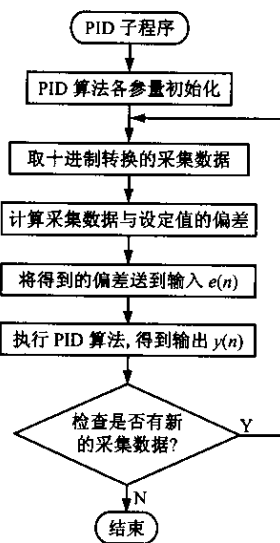


图5 PID 算法控制流程

5 结语

设计了以 TMS320F2812 为控制核心、电流环为传输方式、PID 控制算法为基础的锅炉温度控制系统。该系统能够进行较复杂的数据处理,实现较复杂的锅炉温度控制功能,具有较高的灵活性和可靠性。

参考文献:

- [1] 王立华,韩敬东,邵玉芹,等.基于DSP的4~20 mA 电流环的设计[J].工矿自动化,2008(2):121-123.
- [2] 张华栋,孙丽丽.用TMS320LF2407和XTR115设计电流环通讯口[J].电子产品世界,2005(21):83-84.
- [3] 安治永,苏长兵,李应红.XTR105、RCV420在温度检测系统中的应用[J].传感器世界,2005(5):33-36.
- [4] RCV420 Precision 4 mA to 20 mA Current Loop Receiver (TI Literature Number SBVS019)[EB/OL]. [2011-02-13]. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/rcv420.pdf>.
- [5] 于存江,李克明.基于PID算法的锅炉温度控制系统的实现[J].长春大学学报,2008(4):38-41.
- [6] 杨靖,雷声勇.基于PID算法的S7-200 PLC锅炉水温控制系统[J].机床电器,2010(6):33-35.
- [7] 田悦新,李聚光,董建彬.基于DSP的温度控制系统设计[J].微计算机信息,2008(23):207-208,232.
- [8] 孙德辉,吴海燕,李志军.基于AVR单片机的自整定PID控制器的设计[J].微计算机信息,2010(26):91-93.