

基于 AT89S52 单片机的 PID 恒温控制系统的开发和实验研究*

陈铁强, 李克天, 刘吉安, 印 波, 蔡召虎

(广东工业大学机电工程学院, 广东广州 510075)

摘要: 设计开发了基于 AT89S52 单片机的温度控制系统。采用新型数字器件 MAX6675 和 K 型热电偶构成温度采集电路; 应用 PID 算法来调节温度, 采用正交实验法对 PID 控制参数进行整定; 并且开发了 PC 机监控软件, 通过串口通信实时监控系统的状态。该系统经过实验验证, 取得了较为满意的控制效果。

关键词: 单片机; 温度控制系统; MAX6675; PID 控制

中图分类号: TP273+.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-9492 (2009) 09-0052-03

1 引言

温度是 SMT 生产过程中重要的工艺参数, 温度控制的优劣直接影响 PCB 产品的质量和生产效率的提高。设计开发性能优良的温度控制系统, 提高控温精度, 便于人工操作是 SMT 温度控制领域的重要问题。本文针对 SMT 波峰焊锡炉部分的温度场 (270℃左右)^[1], 设计了一种基于 AT89S52 单片机的温度控制系统, 采用新型数字器件 MAX6675 和 K 型热电偶构成温度测量电路, 用数字 PID 算法对实验锡炉温度进行控制, 具有精度高、稳定性好的特点, 并采用正交实验法对 PID 控制参数进行整定。本文还设计了单片机与上位机的通信软件, 实现了远程温度控制。该系统可大大地提高工作效率和控制精度, 具有良好的实用价值。本文研究内容和方法对其它温度控制精度要求较高的场合有参考价值。

2 工作原理

当采样周期 T 到达时, 由热电偶检测锡炉内实际温度, 经数字转换器 MAX6675 将热电偶输出的毫伏信号直接转换成数字信号送给单片机 AT89S52, 单片机将采集到的温度信号与设定温度值进行比较, 根据偏差信号进行 PID 控制运算, 得出相应输出量, 并控制加热器进行加热或停止加热, 从而控制锡炉的温度, 使锡炉的实际温度向着给定温度变化并最终达到给定温度。系统时刻检测炉内温度值, 出现越限时启动蜂鸣器报警。

3 系统硬件设计

本系统的硬件设计主要包括单片机的最小系统、温度采集电路、显示接口、温度控制电路、键盘接口、蜂鸣器

报警电路、串口通信电路等。图 1 中 AT89S52 为主控制器件, 它是 ATMEL 公司生产的低电压、高性能 CMOS 8 位单片机, 片内含有 8k 字节的 Flash 存储器和 256 字节的 RAM。以下是各部分电路功能介绍。



图 1 控制器系统硬件结构框图

3.1 单片机

AT89S52 是整个系统的 CPU, 首先采集得到当前温度值, 用采集值与设定值相减计算出温度偏差, 然后进行 PID 运算, 控制加热器工作, 从而实现温度控制。AT89S52 还负责按键处理、LCD 显示、报警处理以及串口通信等工作。

3.2 温度采集电路

本系统采用 K 型热电偶作为高温测量传感器, 热电偶测量电路选用 MAX6675^[2]。MAX6675 是美国 MAXIM 公司生产的基于 SPI 总线的带有冷端温度补偿、线性校正、热电偶断线检测等功能的 K 型热电偶测量转换芯片, 其输出为 12 位二进制数字量。测温范围 0℃~1023.75℃, 温度分辨率为 0.25℃。冷端补偿范围为 -20℃~+85℃, 工作电压

* 广东省科技计划项目 (2006A10401003、2007A010301002) 和广州市科技计划项目 (2006Z3-D9071)

收稿日期: 2009-03-03

3.0~5.5V, 可以满足大多数工业应用场合^[3]。

MAX6675 与 AT89S52 单片机接口电路框图如图 2 所示。K 型热电偶接在 MAX6675 的 T⁺、T⁻端, 热电偶的冷端接地。由于 AT89S52 不具备 SPI 总线接口, 故采用模拟 SPI 总线的方法来实现其与 MAX6675 的接口。其中 P1.0 模拟 SPI 的数据输入端 (SO), P1.1 模拟 SPI 的串行时钟输出端 SCK, P1.2 模拟 SPI 的从机选择端 CS。

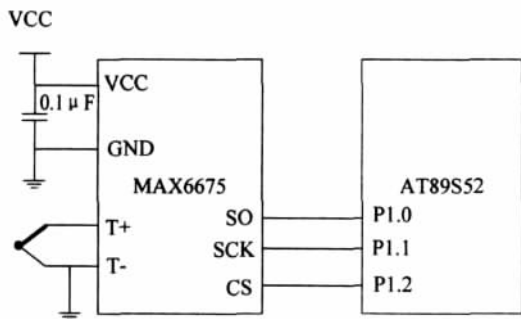


图 2 AT89S52 单片机与 MAX6675 接口电路

3.3 温度控制电路

本温度控制系统采用通断控制, 通过改变给定控制周期内加热器的导通和关断时间, 达到调节温度的目的。系统控制电路由双向可控硅输出型光电耦合器 MOC3061 和双向可控硅 BTA12 组成, 如图 3 所示。当单片机的 P1.7 口输出低电平时, 同向驱动器 7407 输出低电平, MOC3061 的输入端有电流输入, 输出端的双向可控硅导通, 触发外部的双向可控硅 BTA12 导通, 加热器通电; 当 P1.7 端输出高电平时, MOC3061 输出端的双向可控硅关断, 外部的双向可控硅 BTA12 也关断, 加热器断电。

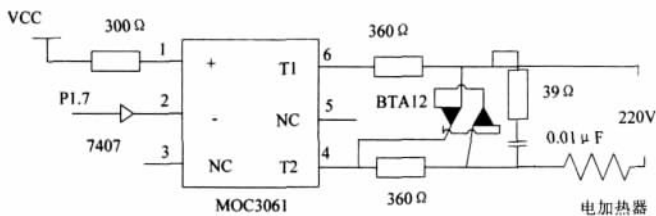


图 3 温度控制电路

3.4 按键处理、LCD 显示

显示电路采用 1602LCD 显示模块, P0 口的 8 根线作为液晶显示器的数据线, 用 P2.0、P2.1 和 P2.2 作为 3 根控制线。按键主要负责温度的设定和 PID 参数的输入。

3.5 蜂鸣器报警电路

蜂鸣器报警电路由三极管和蜂鸣器组成。由单片机 P1.6 口输出高低电平信号控制三极管的导通或截止, 三极管导通, 则蜂鸣器报警。

3.6 串口通信电路

本系统采用 RS232 标准总线接口实现单片机和 PC 机的通信, 以实现 PC 机对单片机的实时监控^[4]。AT89S52 单片机与 PC 机的接口电路如图 4 所示。

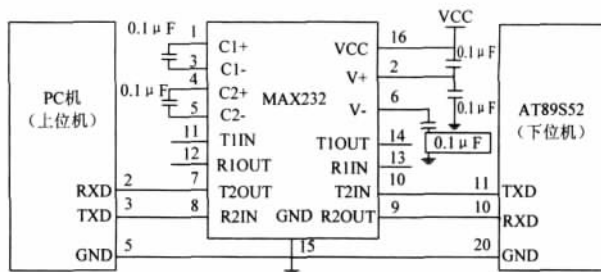


图 4 AT89S52 与 PC 机的接口电路

4 系统软件设计

本系统通过热电偶检测锡炉内实际温度, 由 MAX6675 将热电偶输出的信号直接转换成数字信号, 存入 AT89S52 的内部数据存储器, 经处理送 LCD 显示, 并将采集值与设定值进行比较, 经过 PID 运算得到控制量并由单片机输出去控制加热器。进行温度控制程序的设计考虑如下问题: ①按键处理和 LCD 显示; ②温度采样和数字滤波; ③PID 控制; ④越限报警和处理; ⑤串口通讯。

4.1 系统控制算法

本控制系统中, 使用的是数字 PID 控制器。PID 控制器是一种线性控制器, 它将设定值与测量值之间偏差的比例 (P)、积分 (I)、微分 (D) 通过线性组合构成控制量, 对被控对象进行控制。PID 控制算法可分为位置式 PID 算法和增量式 PID 控制算法。由于位置式 PID 算法存在某些缺点, 而增量式 PID 控制算法具有误动作时影响小的优点; 手动/自动切换时冲击小, 便于实现无扰动切换; 算式中不需要累加, 控制增量 $u(k)$ 的确定仅与最近 k 次采样值有关, 所以较容易通过加权处理而获得比较好的控制效果^[5], 因而本文选用增量式 PID 控制算法, 经典的数字 PID 增量型算式为:

$$\Delta u_n = u_n - u_{n-1} = K_p \left[(e_n - e_{n-1}) + \frac{T}{T_i} e_n + \frac{T_d}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right] = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (1)$$

其中 K_p 为比例系数; K_i 为积分系数; K_d 为微分系数; $K_i = K_p \frac{T}{T_i}$; $K_d = K_p \frac{T_d}{T}$ 。比例环节即成比例的反映控制系统的偏差信号 $e(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生控制作用, 以减少偏差。积分环节主要用于消除静差, 提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_i , T_i 越大, 积分作用弱, 反之则越强。微分环节能反映偏差信号的变化趋势 (变化速率), 并能在偏差信号值变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快

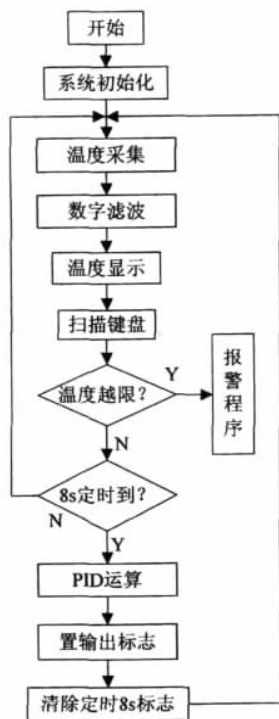


图 5 主程序流程图

处理, 限幅处理算式如式 (2) 所示, 使其成为 0~200 之间的数。因此, 某一周期可控硅的导通时间 (加热时间) 为 $u(k) * 8/200$, 剩余的时间为可控硅的关断时间。 T_0 中断服务程序的流程图如图 6 所示。

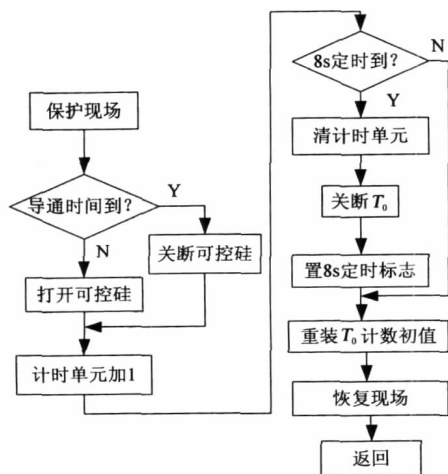


图 6 T_0 定时器中断服务程序流程图

控制增量 $u(k)$ 的限幅处理算式:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & u(k) \leq 0 \\ u(k), & 0 < u(k) \leq 200 \\ 200, & u(k) > 200 \end{cases} \quad (2)$$

系统的动作速度, 减小调节时间。式 (1) 为 PID 控制软件的编制依据。

4.2 主程序

主程序主要完成系统初始化、温度采样、数字滤波、按键处理、温度显示、PID 计算等。主程序的流程图, 如图 5 所示。

4.3 T_0 定时器中断服务程序

T_0 定时器中断服务程序用于产生 8S 采样周期和可控硅的通断周期, 是温度控制电路的主体程序。PID 运算结束后, 输出控制增量 $u(k)$, 在利用 $u(k)$ 进行控制输出前, 对其进行限幅

4.4 串口通讯程序

在本温控系统中, 以单片机 AT89S52 作为下位机, PC 机作为上位机, 下位机与上位机通过串口进行通信。通过运行上位机的监控软件, 用户可方便的对温度设定值和 PID 参数值进行修改。下位机将实时温度信息传递给上位机, 以实现上位机对下位机的状态进行远程监控。上位机软件上显示温度实际值及温度变化曲线, 曲线随着焊锡炉实际温度值的变化而变化, 用户可方便的观测系统对温度的控制状况。图 7 是温度设定值为 270℃ 时的温度控制曲线。

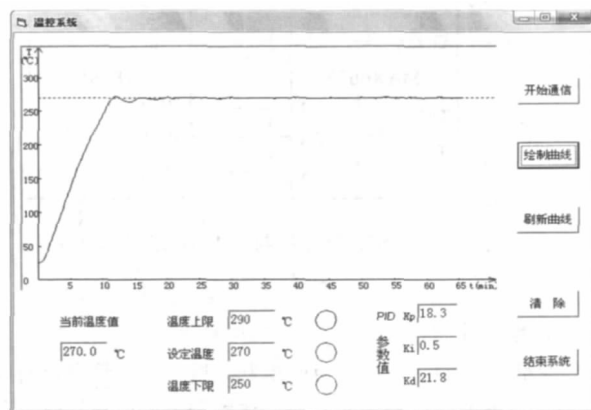


图 7 温控系统的控制曲线图

5 温控系统的调试和 PID 参数的整定

数字 PID 控制器参数的整定是一项十分复杂的工作, 必须依靠经验和现场调试来确定控制器的参数 K_p 、 K_i 、 K_d 。合理的选择采样周期 T , 是数字 PID 控制系统的关键问题之一, 从理论上说, 采样频率越高, 失真越小, 但是从控制器本身而言, 是依靠偏差信号 E 进行调节计算的, 当采样周期 T 过小, 控制器将失去调节作用, 采样周期 T 过长, 又会引起误差。由于温度为响应慢、滞后较大的被控对象, 采样周期 T 选得长些, 取 T 为 8s, 双向可控硅控制周期与采样周期一样为 8s。在 PID 参数整定过程中, 首先按 Ziegler-Nichols 提出的参数整定法则选取一组初始 PID 参数值, 本文通过正交实验的方法来确定主要影响因素, 然后在实际操作中对参数进行修订, 直至最终满足要求为止。

初始实验时各参数的取值为:

$$K_p = \{14.0, 16.0, 18.0\};$$

$$K_i = \{0.5, 1.0, 1.5\};$$

$$K_d = \{16.0, 18.0, 20.0\}.$$

PID 参数整定的目的是找到一组使温控系统的超调值小、响应快、稳态精度高的参数值, 由于初始实验各组参数所产生的超调值相差不大, 因此, 将稳定在 270℃±2℃ 的时间作为本次实验的实验指标。

(下转第 125 页)

开。经设定时间 300s 后，B004 输出 0，F1 阀打开，B001 输出 1，输入 B010。接着重复开始的工作过程，进入下一个工作周期。如此循环，10min 为一个周期。当 I2 有输入（按钮 S2 接通）时，输出分为四路，分别去延时断开功能块 B003、B004、B005、B006 的复位端，使其全部复位输出为 0，从而关掉系统。编程可通过面板的操作键完成，还可方便地修改工作周期，只需重新设定时间即可。

3 结束语

Siemens 通用逻辑模块 LOCO! 是一稳定可靠、经济实用的控制器。采用它实现无热再生空气干燥净化装置的自动控制，提高了控制系统的可靠性，延长了其维护周期和使用寿命，增加了控制系统的控制功能，方便了工作人员

的操作。

参考文献：

[1] 赵惠忠. 深入浅出西门子 LOCO! [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2004.
[2] 张晓坤. 可编程序控制器原理及应用 [M]. 西安：西北工业大学出版社，1998.
[3] 西门子公司. 西门子 LOCO! 手册 [Z]. 2003.
[4] 肖永新. 基于西门子 LOGO! 改造铆压机电气控制系统 [J]. 机电工程技术，2008（8）：135-137.

第一作者简介：方建华，男，1962 年生，浙江杭州人，硕士，讲师。研究领域：电气自动化技术和电子测量。

(编辑：向 飞)



(上接第 54 页)

经实验和数据处理，可得初始实验的数据统计表，见表 1。

表 1 初始实验的数据统计表

实验号	A		B	C	$x_i = y_i - 800$
	1	2	3	4	
1	1(14.0)	1	1(0.5)	1(16.0)	-34
2	1(14.0)	2	2(1.0)	2(18.0)	254
3	1(14.0)	3	3(1.5)	3(20.0)	500
4	2(16.0)	1	2(1.0)	3(20.0)	194
5	2(16.0)	2	3(1.5)	1(16.0)	500
6	2(16.0)	3	1(0.5)	2(18.0)	-36
7	3(18.0)	1	3(1.5)	2(18.0)	500
8	3(18.0)	2	1(0.5)	3(20.0)	-147
9	3(18.0)	3	2(1.0)	1(16.0)	98
K1	720	660	-217	564	$T = \sum_{i=1}^9 x_i = 1829$
K2	658	607	546	718	
K3	451	562	1500	547	
k1	172800	145200	15696.33	106032	$\bar{x} = \frac{T}{n} = 203.2$
k2	144321.3	122816.3	99372	171841.3	
k3	67800.33	105281.3	750000	99736.3	
Q	384921.7	373297.7	865068.3	377609.7	$CT = \frac{T^2}{n} = 371693.4$
S=Q-CT	13228.22	1604.22	493374.9	5916.2	

根据各列极差 S 计算结果，可得出该控制系统影响 PID 品质指标最为显著的是 K_I ，然后是 K_P ，最后是 K_D 。根据 k_1 、 k_2 、 k_3 的计算结果，绘制因素水平关系图，如图 8 所示；并可得出本轮实验对系统最好的参数取值应该是 $K_I=18.0$ ， $K_P=0.5$ ， $K_D=20.0$ 。

经过反复实验，最终将本系统的参数定为 $K_P=18.3$ ， $K_I=0.5$ ， $K_D=21.8$ ，温控曲线见图 7。用此参数控制实验锡炉，系统超调量小，过渡过程时间短。当温度偏离设定的温度值时，由于 PID 的控制作用，温度总在设定值做上下波动，误差很小，可以将温度控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

6 结语

本文介绍了一种基于 AT89S52 单片机的 SMT 波峰焊锡炉温度控制系统，采用新型数字器件 MAX6675 作为温

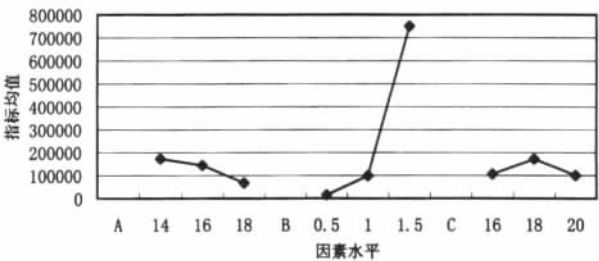


图 8 因素水平关系图

度测量电路，系统测温电路与单片机直接接口，采样数据可靠性高；应用 PID 算法来调节温度，控制精度高，且编程简单方便；通过正交实验的方法整定出了控制器的 PID 参数，减少了重复实验的次数；通过单片机和 PC 机的串口通信，还实现了远程温度显示和 PID 参数的设定，使用户能够随时对温度进行监控。经过实验验证，该温度控制器结构简单、体积较小、测温范围宽、控温精度高，具有一定的实用价值。

参考文献：

[1] 胡强，李忠锁，张帮国. 无铅波峰焊工艺与设备的技术特点探讨 [J]. 电子工艺技术，2004（6）：252-255.
[2] 刘洪恩. 利用热电偶转换器的单片机温度测控系统 [J]. 仪表技术，2005（2）：29-30.
[3] Cold-Junction-Compensated thermocouple-to-Digital Converter [EB/OL]. <http://www.maxim-ic.com.cn>.
[4] 张淑俭. PC 机与单片机之间的串行通信 [J]. 电脑知识与技术，2005（14）：50-53.
[5] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 北京：机械工业出版社，2002.

第一作者简介：陈铁强，男，1983 年生，河南洛阳人，硕士研究生。研究领域：微电子装备制造及其自动化。

(编辑：梁 玉)

09-09-39 Optimization Design of Injection Mould Based on MoldFlow

CAO Jiang-dong(Nantong Shipping College, Nantong226010, China)

Abstract: An application of analysis to course of the injection for a mould Part of duplicating machines is introduced. Some possible defects that might occur in the course of feeding, filling, cooling, and Shrinkage etc. are analyzed by using MoldFlow. An improved design of the mould has been put forward. It provides a good reference for the design of injection moulds for similar parts.

Key words: injection mould; MoldFlow; CAE; Optimization Design

09-09-42 Line Balanced Research Based on Human Factors

YE Xiao-su, CAI Yong(Southwest University of Science and Technology, Mianyang621010, China)

Abstract: Production system including five key elements which are man, machine, material, method and environment. The human factors are one of the most important key elements. Using the people's reliability analysis method to carry out a forecast on the mission may bring about the human errors, doing the preventive job, cutting down the accident occurrence. And using the human factors engineering's method to make the improvement about the unreasonable, building a comfortable, science, reasonable work environment for the workers. Making an optimization about the line balancing through the two aspects, improving the unreasonable, removing the bottleneck labor place, making the production line fluently, improving the production line balance rates thereby.

Key words: line balancing; human reliability analysis; human factors engineering

09-09-44 Comparative Study of NC Machining Method of Cola Bottle's Floor Based on CAXA

LI Wen-jun, LIU Xiao-chao(Henan Engineering Technical School, Jiaozuo454000, China)

Abstract: This paper takes the NC machining method of cola bottle's floor for example to process the comparative study of NC machining method of cola bottle's floor based on software of the CAXA. It is in search for appropriate NC machining method in different circumstances.

Key words: CAXA manufacturing engineer; NC machining method; comparative study

09-09-46 Wind Turbine Components Brake Friction Coefficient Measuring Device

WANG Zi-rui,YANG Hong-bin, ZHANG Heng, ZHANG Song-tao, ZHANG Xing (North China Electric Power University Institute of Mechanical Engineering, Baoding071003, China)

Abstract: The friction coefficient of wind-driven generator brake system and brake disc and the brake lining affects their service life directly. Based on our country wind-driven generator design, manufacture present situation and wind-driven generator special operating mode, design and R&D spherical segment type friction coefficient metering equipment. This equipment uses equilibrium of moments principle indirect survey friction force, uses the high sensitivity sensor gathering balance friction force, the compaction strength, the relative sliding speed, and through hardware and so on data acquisition card, computer builds based on the hypothesized instrument technology test system, the LabVIEW software development data acquisition analysis system realization signal data acquisition, the data pretreatment, the shape information analysis. Obtains the friction coefficient under each influence factor change situation, thus carries on the analysis to the braking material friction performance, the explicit understanding material nature, provides the basis for estimating the wind-driven generator braking part the life, the wind-driven generator design.

Key words: wind-driven generator; friction coefficient; metering equipment

09-09-48 Analysis and Avoid Measure of Grinding Crack Based on Wind Power Gear-Box

LIU Dan, GU Hong-liang, YANG Ke-jun(Gear Factory, China Nation ErZhong Group, Deyang618000, China)

Abstract: This paper based on gear-box used in wind power, analyzes the reason and normal form of grinding crack relation to production, and offers some measures that avoid grinding crack.

Key words: grinding crack; wind power; grinding machine; grinding wheel

09-09-50 Key Engineering-Technology Summarize of the Wind Generation Installation

XU Wei-min¹, HE Xiang-e², ZHAO Hong-bing¹(1.China United Engineering Corporation, Hangzhou310022, China; 2.Zhejiang University, Hangzhou310027, China)

Abstract: By introducing the industry of wind generation, from the structure of wind generation, elaborate the fabrication technique of its some major critical components.

Key words: wind power generation; wind generation installation; engineering technology

09-09-52 Development and Experimental Study of PID Temperature Control System Based on AT89S52

CHEN Tie-qiang, LI Ke-tian, LIU Ji-an, YIN Bo, CAI Zhao-hu(School of Mechanical and electrical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou510075, China)

Abstract: Based on AT89S52 Single Chip Microcomputer, a temperature control system was discussed. The temperature acquisition circuit was made up of K type thermocouple and MAX6675 which is a new type integrated digital device. The PID Algorithm was applied in the system to regulate temperature. The parameters of PID controller were tuned by using orthogonal test. Accordingly, a real-time supervisory control software was developed on the computer in order to supervise the temperature control system by serial communication. The experiment result showed that this system could achieve quite good control performance.

Key words: Single Chip Microcomputer; Temperature Control System; MAX6675; PID control

09-09-55 The Development of Two-Table 5-axis NC Experimental Platform

LAN Shi-you¹, GAO Wei-qiang¹, YAN Qiu-sheng¹, SONG Yue¹, SHEN Lie²(1.Guangdong University of Technology, Guangzhou510006, China; 2.Nuoxin Numerical Measuring&Control Co., Ltd, Guangzhou510370, China)

Abstract: It has been an issue to develop the 5-Axis NC system recently. According to the research demands, the main structure of this 5-axis CNC system was presented. Meanwhile, the development process of 5-Axis NC experimental platform with two tables was studied.

Key words: 5-axis CNC; two-table; experimental platform

09-09-57 The Bus-Based Hardware Design of the Doors and Windows Control Unit near Driver

ZHANG Lin, HUANG Zhi, ZHAO Zhi-guo(Tongji University, Automobile Engineering, Shanghai200092, China)

Abstract: The overall solution for the automotive body control module is presented. Taking the example for the left doors and windows control unit node, according to function demand of BCM, the design of hardware circuit has completed, including input/output interface circuits and communication module, in addition, the reliability of hardware design has been considered.

Key words: body electronic control module; door and windows control unit; hardware design