

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.017

基于 AVR 单片机的温度测量与控制系统设计

陈柱, 聂立波, 常浩

(湖南工业大学 绿色包装与纳米应用重点实验室, 湖南 株洲 412007)

摘要: 设计了一种基于 AVR 单片机控制, 采用 DS18B20 传感器采集温度, PN 结传感器控制温度与 MOS 管控制电热丝加热的恒温控制系统。并详细介绍了系统硬件电路的选取及系统软件的实现, 主要包括实现系统温度信号的采集、控制及显示等。验证实验结果显示: 所设计的恒温控制系统, 其控制精度达 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 温度分辨率达 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$, 且稳定性较好。

关键词: DS18B20; PN 结; AVR; 温度控制; MOS 管

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)03-0076-06

Design of Temperature Measurement and Control System Based on AVR

Chen Zhu, Nie Libo, Chang Hao

(Key Laboratory of Green Packaging and Application of Biological Nanotechnology, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Designs an AVR-based constant temperature controlling system which collecting temperature by DS18B20 sensor, monitoring temperature by PN junction diode and controlling electrothermal wire heating by MOS transistor switch. Introduces the selection of system hardware circuit and the realization of system software, including the temperature signal collection, PID control and display, etc. The experimental results show that the proposed system has controlling accuracy of $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperature resolution of $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ and well stability.

Keywords: DS18B20; PN junction; AVR; temperature control; MOS transistor

0 引言

在工业设计、工程建设、日常生活及科研中, 温度控制的运用是非常普遍的。随着温度控制技术的不断发展及其应用的推广, 人们对温度控制的速度和精度提出了更高要求。

传统的温度测量元件有热电偶、热电阻等, 由它们构成的温度传感器需要较多的外部硬件支持,

设计相对较复杂, 成本较高。因此, 美国 Dallas 公司推出了温度传感器 DS18B20, 该传感器集成了温度传感器、信号调整电路、A/D 采样和转换电路、存储器等部件, 温度测量范围为 $-55\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$, 可编程分辨率为 9~12 位, 转换时间为 $750\text{ ms}^{[1]}$ 。此外, PN 结传感器具有灵敏度较高, 线性较好, 热响应速度较快, 体小轻巧易集成化等特点。与 51 系列单片机

收稿日期: 2012-03-16

基金项目: 湖南工业大学研究生创新基金资助项目(CX1108), 湖南省自然科学基金资助项目(11JJ5042), 国家自然科学基金资助项目(61102031)

作者简介: 陈柱(1986-), 男, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为生物传感器, E-mail: chukeh@163.com;

通信作者: 聂立波(1973-), 女, 湖南宁乡人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要研究方向为生物传感器与生物医用材料,

E-mail: libonie@yahoo.com.cn

相比, AVR系列单片机拥有高性能、高速度、低功耗等优点^[2-6]。因此,结合以上优点,本课题组相关人员设计了一套恒温控制系统,该系统采用DS18B20传感器进行温度采集,采用PN结温度传感器进行温度控制,采用AVR单片机控制整个系统以达到恒温控制效果。实验研究结果表明,该系统具有成本低、分辨率高、精度高等特点。

1 系统组成方案及原理

1.1 系统总体组成

本系统以ATmega128单片机为核心,实现温度的采集与控制、LED(light emitting diode)显示、串口通信、下载与仿真等功能。其控制电路结构主要包括温度采集模块电路(控温和测温采集)、温度控制与加热模块电路、在线仿真和下载模块(JTAG—joint test action group和ISP—in system programmability)、串口通信模块电路。系统总体框架见图1。

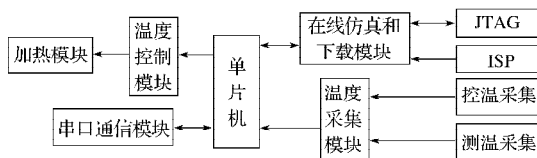
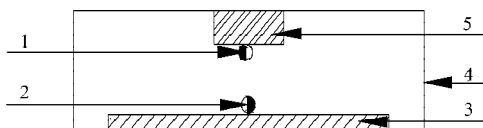


图1 系统框架图

Fig.1 The diagram of system structure

1.2 系统控制原理

如图2所示,系统的恒温装置由DS18B20温度传感器、PN结温度传感器、电热丝、恒温铝块与恒温对象等组成。其中,测温传感器为DS18B20,控温传感器为IN4148,并采用MOS管控制电热丝加热。为了实现温度的实时采集与控制,系统装置设计中,控温传感器靠近电热丝,以便于提高控制精度和控温速度;测温传感器靠近恒温对象,以便于提高测量精度。



1—DS18B20传感器; 2—PN结传感器;
3—电热丝; 4—恒温铝块; 5—恒温对象

图2 恒温装置设计图

Fig.2 The design of thermostat

DS18B20传感器将采集到的当前温度数据传送到单片机,与用户设定值进行比较后,经D/A转换输出模拟控制电压;输出的控制电压经与IN4148传感器采集到的电压值进行差分后,通过MOS(metal oxide semiconductor)管控制电热丝加热,以最终达到设定

的温度值范围。最后,由计算机显示用户设定温度值和当前的实际温度值,并绘制温度控制曲线。

2 系统硬件电路

2.1 单片机选择

单片机又称微处理器,是在一片硅片上集成了中央处理器(central processing unit, CPU)、随机存储器(random access memory, RAM)、程序存储器(read only memory, ROM或Flash)、定时器/计数器以及多种I/O接口的单芯片微型计算机。AVR单片机是Atmel公司于1997年推出的一款基于RISC(reduced instruction set computer)指令架构的高性能、低功耗8位单片机。它使用RISC指令系统、哈佛结构的总线,每个震荡周期处理1条指令;这优于51系列采用的CISC(complex instruction set computer)指令,该指令为冯诺依曼结构体系的总线,每12个震荡周期处理1条指令。此外,AVR单片机I/O脚加入了控制输入和输出的方向寄存器,并具表格1缩写有相当程度的驱动能力,其低电平吸入电流20 mA,高电平输出电流10 mA左右^[7]。AVR单片机具有以下主要特点:

- 1) 程序存储器价格低廉,可擦写1万次以上。
- 2) 采用CMOS(complementary metal oxide semiconductors)技术和RISC架构,具有高速、低功耗及休眠功能。
- 3) 保密性高。多次烧写时,多重密码保护锁定。
- 4) 工业级产品。可直接驱动LED、SSR(solid state relay)或继电器,有看门狗定时器功能。
- 5) 超精简指令。具有32个通用工作寄存器,片内含128 k字节SRAM,能灵活运用指令(特别是C语言)。
- 6) 程序可以使用并行(编程器)和串行(ISP, IAP—in application programing等)写入器件,不需要拆下来烧录。
- 7) 真正的I/O端口,并具有多种功能。
- 8) 内部集成模拟比较器(A/D转换器)。
- 9) 有多种休眠省电功能和低功耗方式。
- 10) 多个带预分频的8位和16位计数器/定时器,除了具有定时和计数外,还有输入捕获、产生PWM(pulse-width modulation)输出等功能。
- 11) 工作电压范围宽,为2.7~6.0 V,具有低电压检测和电源抗干扰性能。

12) Mega8515和Mega128等芯片具有并行扩展的外部接口,扩展达64 kB。

13) AVR内部集成了可擦写10万次的EEPROM(electrically erasable programmable read-only memory)数据存储器。用来保存系统设定参数、固定表格及掉

电后的数据保存。

2.2 PN 结温度传感器

二极管或三极管的特性与温度在一定范围内有很大关系。因此，可利用电压对温度的相互关系制备 PN 结温度传感器^[8]。已知 PN 结电流 - 电压方程为

$$J = \left(\frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} \right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

式中： J 为电流密度； D_n 为电子扩散系数； D_p 为空穴扩散系数； L_n 为电子扩散长度； L_p 为空穴扩散长度； n_{p0} 和 p_{n0} 分别为 N 区和 P 区的平衡电子浓度； k 、 q 均为常数。

设 J_s 为反向饱和电流密度，令

$$J_s = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p}, \quad (2)$$

则式 (1) 变为

$$J = J_s \left(\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right). \quad (3)$$

当 PN 结处于正向偏压下，设正向偏压为 V_F ，一般情况下， $V_F = kT/q$ ，则

$$J \approx J_s \exp\left(\frac{qV}{kT}\right), \quad (4)$$

$$V_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J}{J_s}\right). \quad (5)$$

式 (5) 表明，当电流密度 J 保持不变时，PN 结的正向电压 V_F 与温度 T 成正比。对于 PN^+ 结， $n \gg p$ ，只须考虑式 (2) 中第 1 项即可，因 D_n, L_n, n_{p0} 与温度有关 (D_n, L_n 均与 μ_n 及 T 有关)。设 D_n/τ_n 与 T^γ 成正比，且 γ 为常数，则有：

$$J_s \approx \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} = q \left(\frac{D_n}{\tau_n} \right)^{1/2} \frac{n_i^2}{N_A} = BT^{\gamma/2} \left[T^3 \exp\left(-\frac{E_q}{kT}\right) \right] = BT^{3+\gamma/2} \exp\left(-\frac{E_q}{kT}\right), \quad (6)$$

式中： B 为常数； E_q 为禁带带宽； E_{q0} 为绝对零度时的禁带带宽，且 $E_{q0} = qV_{q0}$ ； V_{q0} 为决定零度时带底和价顶的电位差。

将式 (6) 代入式 (4)，可得：

$$J = BT^{3+\gamma/2} \exp\left(\frac{q(V_F - V_{q0})}{kT}\right). \quad (7)$$

对式 (7) 两边取对数，整理后得：

$$V_F = V_{q0} + \frac{kT}{q} \left[\ln B + \left(3 + \frac{\gamma}{2}\right) \ln T - \ln J \right], \quad (8)$$

式中 V_{q0} 也为与温度无关的常数。

式 (8) 表明，当电流密度 J 保持不变时，PN 结正向偏压 V_F 随温度的上升而下降，近似线性关系。图 3 反映了硅和锗 PN 结正向电压与温度的关系。

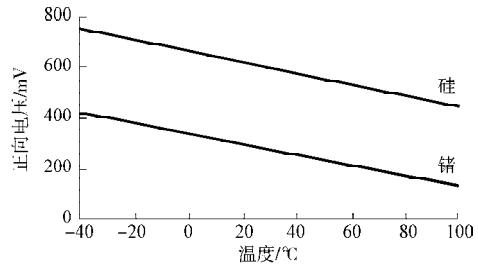


图 3 硅和锗 PN 结正向电压与温度的关系

Fig. 3 The relation between positive voltages and temperatures for Si and Ge PN junctions

对于硅二极管，温度每升高 1 °C，正向电压约下降 2 mV。二极管温度传感器正是利用 PN 结正向电压与温度关系的特性而制作的^[9]。

2.3 恒温控制电路设计

温度控制包括两部分：其一，单片机根据设定温度值，经 D/A 转换输出相应的设置电压 V_{set} ；其二，PN 结传感器 (IN4148) 将当前温度转换为输出电压 V_{pn} ，然后与设置电压进行差分，控制 MOS 管使电热丝发热。

图 4 所示为 PN 结温度采集电路图。

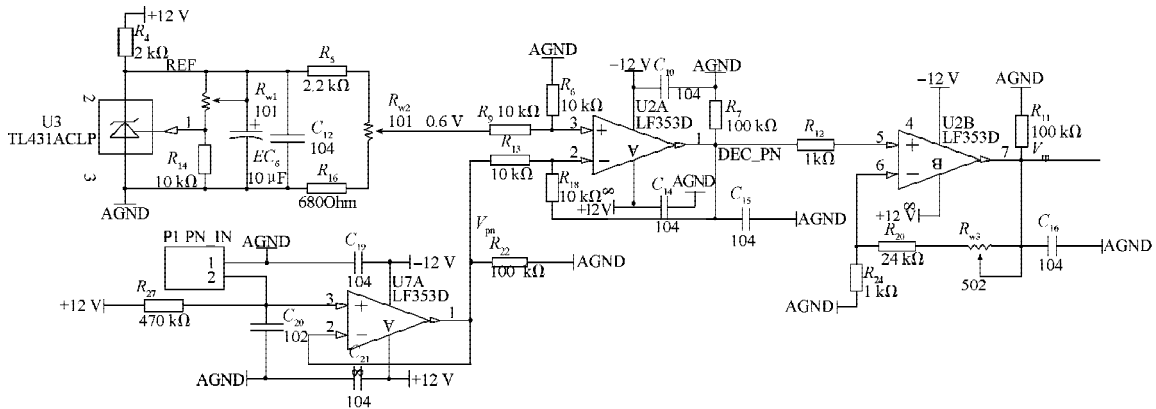


图 4 PN 结温度采集电路图

Fig.4 The circuit diagram of temperature collected by PN junction

在图4中, LF353为放大器, TL431为稳压器。实现输出0.6V的基准电压; TL431参考电压 V_{ref} 为2.5V, 输出电压为

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{w1}}{1000}\right) \left(\frac{22000 + R_{w2}}{22000 + 680 + 100}\right) V_{ref} \quad (9)$$

通过调节电阻 R_{w1} 和 R_{w2} , V_{out} 输出为0.6V; 而PI PN_IN为PN结温度传感器的接入插槽, 输出当前PN

结电压 V_{pn} ; 0.6V电压与 V_{pn} 差分, 经过U2A电压跟随器和U2B放大器, 最终输出为

$$V_{rp} = (2.4 + R_{w3})(0.6 - V_{pn}) \quad (10)$$

由式(10)可看出, 测量的温控电压 V_{rp} 只与 R_{w3} 和 V_{pn} 有关。由于PN结随温度升高电压降低, 因此, 温度越高, V_{pn} 越小, 输出 V_{rp} 越大。

图5所示为系统温度控制电路图。

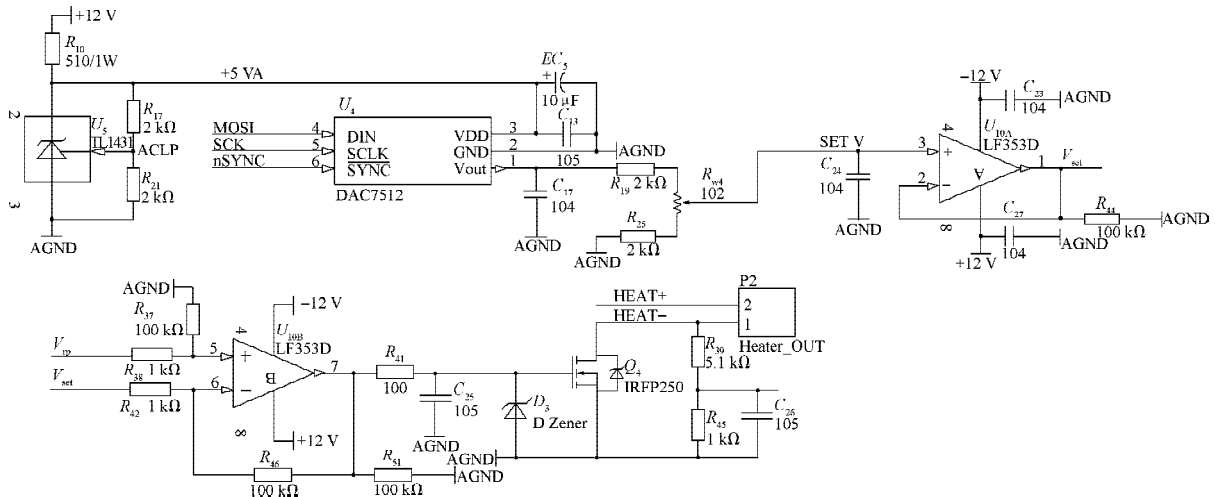


图5 温度控制电路图

Fig. 5 The circuit diagram of temperature control

在图5中, 单片机输出模拟电压值, 经高速数模芯片DAC7512转化后, 再经电压跟随器输出电压 V_{set} 。其中, TL431给DAC7512提供稳定的5V工作电压; 输出差分电压为 $\Delta V = V_{rp} - V_{set}$, 经电压跟随器输出后, 给MOS管提供导通电压, 实现电热丝加热, 调节系统温度。

当在至少2个标准的温度环境下确定了电阻器 R_{w1} , R_{w2} , R_{w3} , R_{w4} 的值后, 其实际PN结温度-电压曲线就可以确定, 本电路就能通过模拟电路实现温度的自动控制。具体实验方法如下: 首先, 通过PN结传感器的理论温度-电压公式, 计算出应输出的电压值; 然后, 当DS18B20的测量温度为0℃时, 调节 R_{w3} , 使输出为0; 当DS18B20的测量温度为80℃时, 输出为 V_{rp} , 这2个点值可以确定一条直线。通过对这2个点进行反复调整, 最终确定这条直线的表达式, 即温度-电压关系式; 单片机控制电压输出 V_{set} 可通过此关系式计算。温度-电压的测量过程如图6所示。

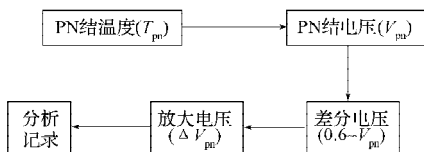


图6 温度-电压的测量

Fig. 6 The measurement of temperature and voltage

2.4 稳压电源电路

稳压电源一般由变压器、整流器和稳压器3大部分组成。首先, 由变压器将市电交流电压转变为所需要的低压交流电, 再由整流器把交流电转变为直流电。该直流电经滤波后再经过稳压器, 由稳压器将不稳定的直流电压转变为稳定的直流电压, 然后输出^[10-11]。本系统设计中, 整流器采用桥式整流, 稳压器采用7812和7912双12V输出。而开关电压调节器采用LM2596HVT-5.0, 输出5.0V的稳定电压, 稳压电源电路如图7所示。

稳压原理图中相关元件说明如下:

- 1) P_{16} 接变压器的输出端, P_{20} 为正负12V输出, P_{21} 为输出5V的VCC电压。
- 2) 变压器为220V交流输入, 双12V输出。
- 3) D_4 和 D_6 为整流桥, 由4个市场上比较容易找到的普通整流二极管(1N4007)组成。
- 4) 滤波电容主要由3个2200μF和3个470μF的电解电容组成。
- 5) 稳压LM7812, LM7912和LM2596HVT-5.0的输入端电容为0.1μF, 输出端电容也为0.1μF。
- 6) D_6 为吸纳二极管, L_1 为4μH电感。由 EC_{12} 和 L_1 组成纹波滤波电路。
- 7) FB为反馈接口, 反馈线要远离电感。

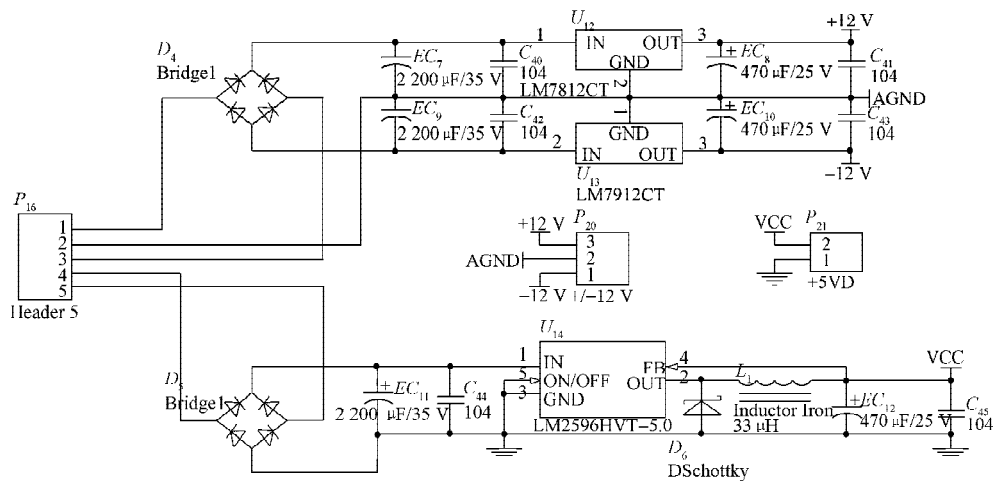


图7 5V和12V稳压电路

Fig.7 The circuit diagram for steady voltage of 5 V and 12 V

3 系统软件实现

系统软件设计中，下位机采用C语言编写，包括温度的采集与控制；而上位机采用VB编写，包括温度数据的接收与处理，以及相关控制命令等，并且设计了可视化界面。在Protues上仿真成功后，再进行电路实物的制作。

DS18B20传感器每一次完成RAM功能操作时都必须完整地执行如下基本协议：初始化、ROM命令、RAM命令以及数据处理。本设计中，只使用1个DS18B20传感器，且其主要实现温度的转换与读取功能。因此，发送跳过ROM命令，其编程实现温度转换功能的流程图如图8所示，而温度读取的流程与之类似。

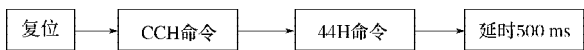


图8 温度转换流程图

Fig. 8 The flow chart of temperature converting

本系统的温度控制过程如图9所示。

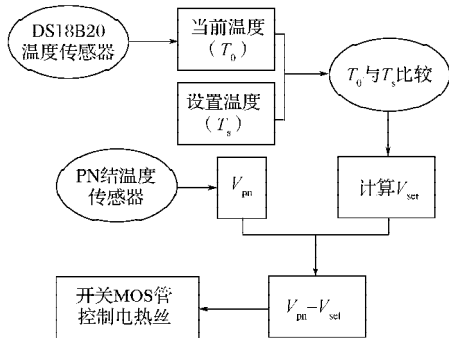


图9 温度控制流程图

Fig. 9 The flow chart of temperature control

为了验证系统设计的有效性，在确定本系统设计方案后，制作了如图10所示的系统实物图，并进行了实验验证。

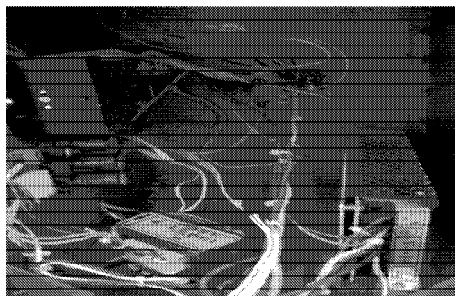


图10 温度控制电路板

Fig.10 The circuit board of temperature control

图11所示为验证实验所得系统温度从55℃上升到60℃过程的温度曲线。从图11中可看出，系统大约经150s后达到稳定，且上下波动为0.1℃。

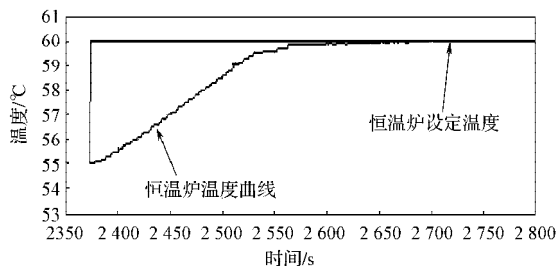


图11 55~60℃温度曲线

Fig. 11 The temperature curve of 55℃ to 60℃

图12所示为系统温度从30℃上升到60℃过程的系统温度曲线变化情况。

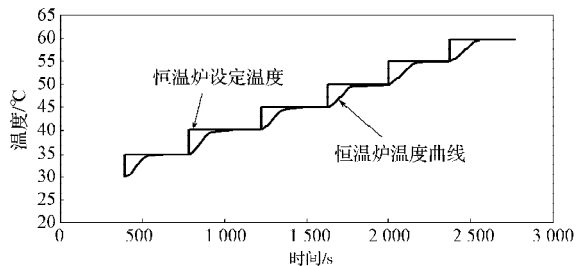


图12 30~60℃温度曲线

Fig. 12 The temperature curve of 30℃ to 60℃

从图12中可看出,系统每隔5℃有一上升阶段,并且经一段时间后能转变为稳定的曲线。温度响应速度约为120s,控制精度为0.1℃。因而,本实验充分证明了所设计的温度控制系统的有效性。

4 结语

本文设计了一种基于Atmega128单片机,DS18B20和PN结温度传感器的恒温控制系统,经实验证明,所设计系统的温度测量范围为0~70℃,温度控制误差为±0.1℃,温度分辨率为0.06℃。所设计的系统具有成本低、分辨率高、精度高、结构简单等特点,能被广泛地应用于家用电器、工业生产、科学研究等领域。

参考文献:

- [1] 于克龙,毕小龙,邱立峻.数字温度传感器DS18B20的应用[J].机械制造与自动化,2004,33(2):47-49.
Yu Kelong, Bi Xiaolong, Qiu Lijun. The Application of Digital Thermometer DS18B20[J]. Machine Building & Automation, 2004, 33(2): 47-49.
- [2] 马潮.AVR单片机嵌入式系统原理与应用实践[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007:14-30.
Mao Chao. The Principle and Applications of AVR Micro-Processor Embedded System[M]. Beijing: Beihang University Press, 2007: 14-30.
- [3] 何慧娟,何芝仙,赵转哲.基于DS18B20的单片机温控系统[J].科技信息,2008(13):149-150,131.
He Huijuan, He Zhixian, Zhao Zhuanzhe. Temperature Control System Based on Micro-Processor and DS18B20 [J]. Science & Technology Information, 2008(13): 149-150, 131.
- [4] 刘文,戴尔哈,王勇.基于51系列单片机的无线智能温控系统设计[J].电子测量,2009(10):40-44.
Liu Wen, Dai Erhan, Wang Yong. Wireless Intelligent Temperature Control System Design Based on 51 Series Micro-Processor[J]. Electronic Test, 2009, 2009(10): 40-44.
- [5] 侯玉宝.基于Proteus的51系列单片机设计与仿真[M].北京:电子工业出版社,2008:45-60.
Hou Yubao. Proteus-Based 51 Series Microprocessor Design and Simulation[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008: 45-60.
- [6] 陈忠平,高金定.基于ATmega16与DS18B20的智能温控系统的设计[J].现代电子技术,2011,34(4):175-177.
Chen Zhongping, Gao Jinding. Design of Intelligent Temperature Control System Based on ATmega16 and DS18B20[J]. Modern Electronics Technique, 2011, 34(4): 175-177.
- [7] 石红瑞.智能PID算法的研究及其在温度控制中的应用[D].上海:东华大学,2009.
Shi Hongrui. The Research on Intelligent PID Algorithm and Its Application in Temperature Control[D]. Shanghai: Donghua University, 2009.
- [8] 邓传坚,佟学志.浅谈高精度温度传感器的电路设计[J].民营科技,2011(5):39.
Deng Chuanjian, Tong Xuezhi. On the Circuit Design of High-Precision Temperature Sensor[J]. Private Science and Technology, 2011(5): 39.
- [9] 赵洪涛.PN结温度传感器原理及应用[J].电子工程师,2006,32(7):66-68.
Zhao Hongtao. The Principle and Application of PN Junction Temperature Sensor[J]. Electronic Engineer, 2006, 32(7): 66-68.
- [10] 张岩,李雪莉.基于AVR单片机的多功能电源设计[J].中国新技术新产品,2009(9):38-39.
Zhang Yan, Li Xueli. Multi-Function Power Design Based on AVR Microcontroller[J]. China New Technologies and Products, 2009(9): 38-39.
- [11] 于安红.简明电子元器件手册[M].上海:上海交通大学出版社,2005:80-81.
Yu Anhong. The Concise Electronic Components Manual [M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2005: 80-81.
- [12] 李华,范多旺,魏文军.计算机控制系统[M].北京:机械工业出版社,2007:34-50.
Li Hua, Fan Duowang, Wei Wenjun. Computer Control System[M]. Beijing: China Machine Press, 2007: 34-50.

(责任编辑:廖友媛)