

基于新型通信方法的模拟量采集板卡的设计与实现

侯 键, 丁 强*, 姜周曙

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:对于不同的模拟量输入信号, PLC 控制系统需要扩展专用的采集模块; 现有的多功能模拟量采集模块与 PLC 通讯通常采用 MODBUS 协议, 并占用 PLC 有限的通讯接口。两种方案实现复杂, 性价比差。为此, 开发了一款不占用 PLC 现有通讯接口、仅利用 2 个 PLC 数字输入口进行通信的多功能模拟量采集板卡。研究表明, 该板卡能够实时采集温度、标准电流、电压信号, 并能和任何类型 PLC 实现通信, 通用性强, 性价比高, 满足电快速瞬变脉冲群试验相应要求, 已经可靠地应用于 PLC 控制系统中。

关键词:模拟量采集; 通信; 可编程控制器

中图分类号: TP274

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)03-0360-05

Design and implementation of analog acquisition card based on new communication method

HOU Jian, DING Qiang, JIANG Zhou-shu

(School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: For different analog-signals, special acquisition modules are expanded in PLC control system. If current multi-signal-types analog acquisition module is used, PLC serial port(485/232) and communication protocol such as MODBUS are needed. The both methods are complex and of poor price performance ratio. In order to solve the problem, a multi-functional analog acquisition card was developed, in which only two PLC digital input-ports instead of PLC communication interface were used. The results indicate that the card can real-timely acquire temperature, standard current and voltage, also can communicate with any type PLC and meet corresponding requirements of EFT testament. This design is universal and has high price performance ratio. The card has been used in PLC control system reliably.

Key words: analog acquisition; communication; programmable logic controller(PLC)

0 引 言

由于 PLC 技术具有对生产现场适应性极强、工作可靠、编程调试修改极其方便灵活等优点, 广泛应用于机械、电子、纺织等行业, 显示出了非凡的优越性, 在工业自动化领域得到了越来越广泛的应用^[1]。

在工业控制过程中, 往往需要一些开关量信号输入和模拟量信号的测量, 并据此产生特定应用的控制输出。目前, 基于 PLC 控制系统的模拟量采集存在几个问题: PLC 标配的模拟量扩展模块输入通道少、价格

昂贵、不同类型的模拟量信号需要扩展专用模块; 市场上一些通用的模拟量采集板一般采用 RS-232 或者 RS-485 接口, 协议多采用 MODBUS 标准协议。PLC 的串口资源少, 主要用于组网以及与 HMI (Human Machine Interface) 通信。所以, 通用模拟量采集板的缺点是: 占用 PLC 的串口; RS-232 通信系统共模干扰严重, 抗干扰性弱; RS-485 接口布线要求非常严格; MODBUS 协议的实现相对复杂, 对于单纯的数据采集功能来说, 不够简便。

针对这一情况, 本研究开发了一款基于新型通信协议的多类型多通道的外接模拟量采集模块。该模块

能够采集4路电流、4路电压和8路温度,不占用PLC的串口,只占用PLC的2个高速I/O口实现数据通信,抗干扰能力强,布线要求低,并设计应用了一种简单实用的通信协议。一路高速I/O口产生CLK信号;另一路I/O口是实时数据。因此,该模块可应用于具有至少2路高速I/O口的PLC控制系统,具有一定的通用性。

1 系统结构设计 with 原理

1.1 系统总体结构

该系统总体结构框图如图1所示。由图可知,该系统由4部分组成:信号调理部分、采样部分、信号处理部分和数据传送部分。信号调理电路将模拟输入信号映射为一定范围内的电信号;采样电路将电信号转换为数字量数据;信号处理电路按照特定的方法计算出实时温度值、电压值和电流值;发送部分将实时数据发送给控制系统。



图1 系统总体框图

1.2 系统原理

工业上普遍需要测量各类非电物理量(例如温度、压力、速度、角度等)和电物理量(简称电量,例如电流、电压、功率、频率等)。结合实际需要,该采集板系统采集温度、电流和电压信号。首先,将模拟信号接入特定的信号调理电路,产生不超过A/D参考电压的标准电压信号。然后对模拟信号进行A/D转换,信号处理单元对采样得到的数据进行特定的处理。最后,通过发送电路将数据发送到控制系统输出。经过比较,选择ATMEL公司生产的ATmega8作为信号处理单元的主芯片^[2]。ATmega8有1KB的SRAM、8KB的Flash、512个字节的E²PROM、3个定时器/计数器、ISP等多种功能的接口和特性;并且价格便宜,有非常好的性价比,能够满足系统要求。系统原理图如图2所示。

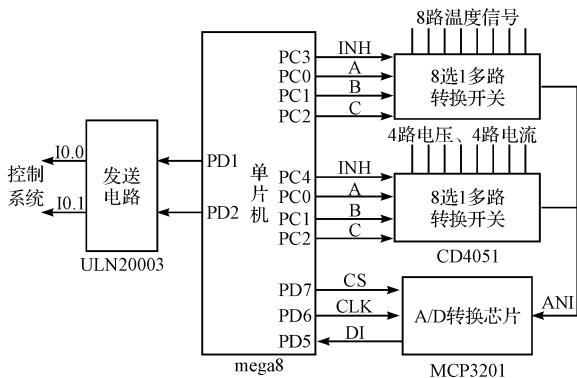


图2 系统原理图

2 信号调理模块

系统设计8路温度信号、4路电流信号和4路电压信号调理电路。出于通用性考虑,系统将电压和电流信号调理电路设计为复用。

2.1 温度信号调理电路

由于PT100热电阻在实际使用中,工厂为了节约信号线,热电阻接入二次仪表时采用二线出三线入接法,产生明显的温度虚高,温度虚高28℃甚至更高^[3];出现异常跳变;铂电阻的温度系数小(0.00391℃),精度受到限制;价格昂贵。

近年来,研制出了性能十分稳定的热敏电阻。因为热敏电阻的温度系数比铂电阻大10倍以上,在稳定性、环路增益、电源稳定性和放大器漂移等方面的要求都可降低10倍。因此,系统选用NTC热敏电阻3950K替代常规的PT100热电阻。NTC热敏电阻是指具有负温度系数的热敏电阻,阻值变化大,线长的影响可以忽略不计。

温度信号调理电路原理:VDD经过电阻 R_1 分压后,在热敏电阻 R_f 上产生一个与它自身阻值相关的电压值。 R_f 称为热敏电阻的三点式线性校正电阻^[4],是为改善热敏电阻的非线性。 R_1 的数值可按下述方法求出。首先,把测量区间划分成二等分,所得3个温度点由低至高分别是 -20℃ (T_a)、 30℃ (T_b)和 80℃ (T_c),相对应的热敏电阻阻值(恒温槽中测定)分别是 $99\,077.3\ \Omega$ (R_a)、 $8\,033.8\ \Omega$ (R_b)和 $1\,246.32\ \Omega$ (R_c)。即有:

$$V_c - V_b = V_b - V_a \quad (1)$$

$$\frac{VDD}{R_1 + R_c} \times R_c - \frac{VDD}{R_1 + R_b} \times R_b = \frac{VDD}{R_1 + R_b} \times R_b - \frac{VDD}{R_1 + R_a} \times R_a \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{R_b \times (R_a + R_c) - 2 \times R_a \times R_c}{(R_a + R_c) - 2 \times R_b} \quad (3)$$

将 R_a 、 R_b 和 R_c 代入公式(3)中,得到 $R_1 \approx 6.63\ \text{k}\Omega$,系统选择精度为1%的金属膜电阻6.65 kΩ。电路非常简单,但是大大改善了热敏电阻的非线性情况。

2.2 电量信号调理电路

为了测量变送器输出的4 mA ~ 20 mA直流电流信号,设计了电流调理电路,如图3所示。常规方法是:4 mA ~ 20 mA直流电流信号在250 Ω精密电阻上^[5],产生1 V ~ 5 V电压,然后输入A/D采样。考虑共地带来的干扰,以及电源的稳定性(影响A/D的参考电压),系统选择150 Ω精密电阻。4 mA ~ 20 mA直流电流信号

在 150 Ω 精密电阻上产生 0.6 V ~ 3 V 电压。

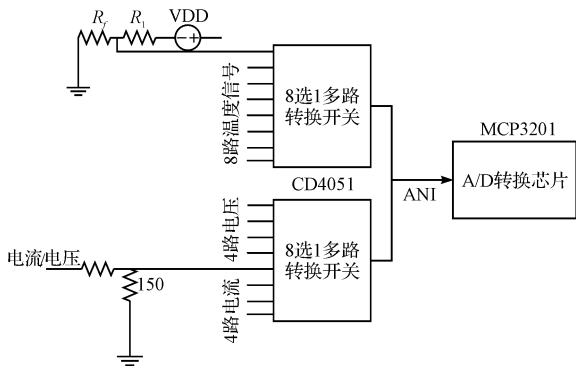


图 3 温度信号调理电路

对于标准的 1 V ~ 5 V 电压信号,系统设计精度为 10 mV。出于通用性考虑,采用分压电阻分压。经过 RC 滤波和电阻分压后,产生 0.6 V ~ 3.3 V 电压,然后输入 A/D 采样。

3 ADC 转换模块

模拟量信号经过信号调理电路后,变成符合 A/D 芯片采样的电压信号。单片机 mega8 输出选通信号 INH 和地址信号 A、B、C,选通两片 8 选 1 多路转换开关 CD4051,将 16 路信号分时连接到 ADC 转换模块进行采集。

系统需求:测温范围为 -20 ℃ ~ 80 ℃,分辨率为 0.1 ℃;电流测量范围为 4 mA ~ 20 mA,精度 0.01 mA;电压测量范围为 1 V ~ 5 V,精度 10 mV。mega8 内部集成了一个 10 位 A/D 转换器,由于存在测量误差、电磁干扰等,系统选用 12 位的高精度 A/D 转换芯片 MCP3201^[6-7]。

Microchip 的 MCP3201-BI 是一款带有片上采样和保持电路的逐次逼近型 12 位 A/D 转换器。它的差分非线性(DNL)被指定为 ±1 LSB;积分非线性(INL)为 ±1 LSB。它使用符合 SPI 协议的简单串行接口与器件通信。在时钟速率为 1.6 MHz 时,器件的采样速率最高为 100 ksps。根据系统设计需求,系统的采样速率设计为 10 ksps。它的工作时序如图 4 所示。

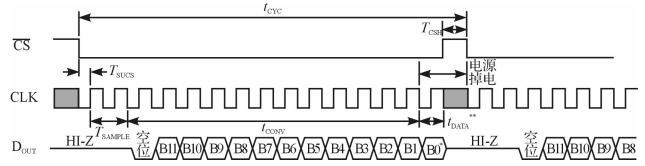


图 4 MCP3201 的工作时序

4 发送模块

目前市场上通用的模拟量采集模块大多使用串口。由于 PLC 的串口资源少,连接文本或者液晶显示器需要使用串口;组网也需要串口。因此,有人研究采用并口与 PLC 通信^[8],它的缺点是:占用较多的数字 I/O 口。

这两种设计思路,各有优缺点,但却互补。所以,系统根据并口方式的接口电路和串口方式的通信协议,设计了一种不同于常规 232、485 电路的新型通信电路和一种简洁可靠的、实用的通信协议。

硬件方面:通过单片机任意两个 I/O 口与 PLC 测控系统连接。为提高传输距离,使用驱动芯片 ULN2003。通信协议设计思路:使用二线制,IO.0 产生发送脉冲,IO.1 或者 IO.2 发送数据;上位机 PLC 在 IO.0 的上升沿接收 IO.1 或者 IO.2 的数据。IO.2 为备用通道。发送时序如图 5 所示。

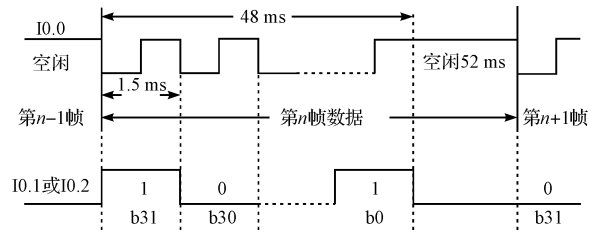


图 5 发送时序

5 电源模块

电源模块采用开关稳压集成电路替代传统三端稳压集成电路。原有的电源电路,采用 +24 V 经过 7815 和 7805 产生 +5 V 的供电电源,但是发热严重,稳定性不高,电路复杂。现改用 LM2575 系列开关稳压集成电路,散热良好、稳定性高、电路简单。电源电路如图 6 所示。

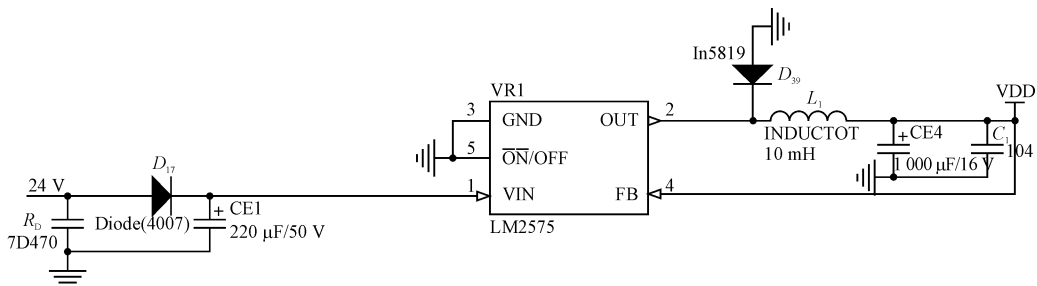


图 6 电源电路

6 软件设计

软件分为5个子模块:上电初始化子模块、通道选择子模块、采集子模块、转换子模块、发送子模块。流程图如图7所示,软件设计重点是转换和发送子模块。上电初始化子模块配置了单片机的各种寄存器,包括mega8熔丝位的配置;通道选择子模块中,单片机按照确定的控制原则选通两片8选1多路开关,将16路模拟量信号分时连接到MCP3201采集;采集子模块中,关键点在于控制电路的时序必须要符合MCP3201的标准SPI协议规范。

6.1 转换子模块

转换子模块分为电流、电压和温度3部分。电压转换时设数字量为 N ,单位为10 mV,则:

$$V = \frac{500 \times N}{4\ 096} \quad (4)$$

电流转换时设数字量为 N ,单位为0.01 mA,则:

$$I = \frac{5\ 000 \times N \times 66\ 500}{4\ 096 \times 150} \quad (5)$$

温度转换目前有两种方式:查表法和公式法。本系统有1 000个数据点,使用查表法对系统内存有较高要求、运算速度差;因此使用公式法。热敏电阻具有严重的非线性,可用“Steinhart-Hart”公式描述^[9-10]:

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3 \quad (6)$$

式中: T —温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 计; A 、 B 、 C —常数; R — T 温度时热敏电阻阻值; $\ln R$ —自然对数。

系数 A 、 B 、 C 根据3个校准点确定,它们分别是温度量程的低端、中点、高端。将这3对电阻—温度值插入公式(4),产生1组3联方程式,并求解。系统选取 $-20\ ^{\circ}\text{C}$ 、 $30\ ^{\circ}\text{C}$ 和 $80\ ^{\circ}\text{C}$ 进行计算,得到常数 A 、 B 和 C 。然后在PC机上按照“Steinhart-Hart”公式计算出温度值并与实际温度值对比。数据表明除个别数据点外误差低于 $\pm 0.03\ ^{\circ}\text{C}$ 。每一通道采集16次,数字滤波采用限幅法和中位值平均值法。3 950 K温度传感器的拟合公式为(设数字量为 N):

$$R = \frac{6\ 650 \times N}{4\ 096 - N} \quad (7)$$

然后调用“Steinhart-Hart”公式计算出相应温度值,得:

$$X = \log(R); Y = A + B \times X + C \times X^3; Z = \frac{1}{Y}; T = Z - 273 \quad (8)$$

经“Steinhart-Hart”公式得到的温度值先转换为整型

温度值(单位为 $0.1\ ^{\circ}\text{C}$),范围为 $-200 \sim 800$ (即 $-20\ ^{\circ}\text{C} \sim 80\ ^{\circ}\text{C}$)。为了传送方便,将该整型数据加400后发送,即 $200 \sim 1\ 200$ 。

6.2 发送子模块

与PLC控制系统通信时,可以使用自由协议、Modbus协议等。Modbus协议主要功能是支持具有独立控制功能的不同厂商之间设备的连接。本采集板卡仅有数据采集功能,不具备独立控制功能,是PLC的一个模拟量扩展模块,可以不采用Modbus协议;Modbus协议通信过程不够灵活,需要按照一定的波特率发送和接收,对系统时序有更高要求。所以,系统使用自由协议,具体协议如表1所示。

表1 发送数据格式

数据通道	待发送数据	数据通道	待发送数据
4位	12位	4位	12位

数据的校准,可以采用数据重复发送检验、奇偶校验、CRC校验等^[11]。系统采用数据重复发送检验方法:将待发送数据重复发送,PLC接收完成后,对比两组数据相同则接收,否则丢弃。这种检验方法发送量大但却最简单、最可靠,经测试,正确率在99%以上。

6.3 看门狗配置

由于单片机常会受到许多强干扰,造成程序跑飞而陷入死循环,使控制系统无法继续正常工作,陷入停滞状态。出于对单片机运行状态进行实时监测的考虑,加入看门狗电路。mega8自带一路看门狗电路,它由片内一个独立的振荡器驱动,电压为5 V时,典型振荡频率是1 MHz。该系统每次采集的周期为100 ms,所以WDT定时器预分频器设置位WDP2、WDP1、WDP0配置应该大于或等于011。系统配置WDP2、WDP1、WDP0为100。软件设计流程如图7所示。

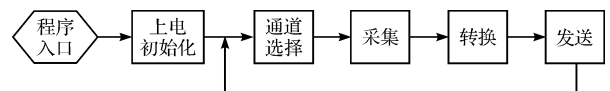


图7 软件设计流程

7 系统调试

由于mega8没有JTAG在线调试功能,通过搭建测试系统来调试:先将变阻箱(精度为 $0.01\ \Omega$,杭州大华ZX54型实验室直流变阻箱)、采集板卡、PLC控制系统和PC机组成系统,编写测量软件在PC机上记录并显示每个通道的温度值。辅助工具采用示波器和万用表。

测量软件原理:PLC延时5 s,然后在X0输入口的

上升沿记录 X1 通道数据,满足 32 位时实际采样次数加 1。然后检测高 16 位数据与低 16 位数据是否相等,相等则接收,有效次数加 1;延时 52 ms 后重复执行。

(1) 在发送过程中,低电平时间太短。实验中低电平初始设定为 200 μ s,高电平为 1 300 μ s,周期为 1.5 ms,频率小于 1 kHz,实验中出现通信异常。经分析,是由于硬件电路的延迟和外界的干扰造成。低电平时间过短,会使发送数据不稳定,PLC 不能正确接收数据。后来低电平设定为 700 μ s,高电平 800 μ s,周期

为 1.5 ms,实验中没有出现通信异常。

(2) 相邻通道间数据干扰严重。如 4 个通道 $R_5 \sim R_8$ 都接 10 k Ω 电阻时, R_6 通道温度比其他高 0.1 $^{\circ}$ C。 R_5 、 R_7 不接电阻时, R_6 恢复正常,经过分析断定是通道间耦合造成。在电路布板时各个通道间的距离增加 1 mm,通道间数据干扰大大减小。

(3) 在设计时间间隔里,系统各通道的温度变化表如表 2 所示。从结果得出:由于从空间来的电磁耦合等原因,系统存在 ± 0.1 $^{\circ}$ C 的偏差。

表 2 测试数据表

标称温度值/ $^{\circ}$ C	通道 1 偏差	通道 2 偏差	通道 3 偏差	通道 4 偏差	通道 5 偏差	通道 6 偏差	通道 7 偏差	通道 8 偏差
4	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
8	-0.1	-0.1	0.0	+0.1	+0.1	+0.1	-0.1	-0.1
12	-0.1	-0.1	0.0	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
16	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
20	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
24	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
28	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
32	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	0.0	+0.1	-0.1	-0.1
36	0.0	-0.1	0.0	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
40	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
44	-0.1	-0.1	-0.1	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
48	0.0	-0.2	0.0	+0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2

(4) 通信距离和通信准确率的测量表如表 3 所示。经过多次测量稳定性高,通信距离在 200 m 以下时准确率不低于 99.90%。

表 3 通信距离与通信准确率测量表

	20 cm	100 m	200 m
实际采样次数	141 192	139 200	133 818
实际有效次数	141 068	139 060	133 684
百分比	99.91%	99.90%	99.90%

(5) 电快速瞬变脉冲群试验中效果良好(如表 4 所示),满足系统需要。

表 4 电快速瞬变脉冲群试验

试验运行条件:220 V/50 Hz			试验设备:群脉冲发生器(NS61000—4A)	
脉冲参数:上升时间 5 ns		脉宽 50 ns	脉冲群参数:持续时间 15 ms 间隔时间 300 ms	
试样编号	脉冲极性及幅值	注入部位	试验结果	
	正	L(A 相)	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
	(3.8)	N(B 相)	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
	kV	L+N	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
	负	L(A 相)	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
	(3.8)	N(B 相)	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
	kV	L+N	3 min 未出现死机、复位及异常现象	
备注	L、N——试样电源线相线、中线			
结论	合格			

8 结束语

该系统实现的基于新型通信协议的多类型多通道外接模拟量采集模块,能够采集 4 路电流、4 路电压和 8 路温度,不占用 PLC 的串口,只用 2 个数字 I/O 实现数据通信,抗干扰能力强,布线要求低,通讯协议简单、高效。该模块不仅能采集模拟量,同时也能支持模拟

量输出。

经过整机测试,该采集板采样周期为 16×100 ms;最大误差 ± 0.1 $^{\circ}$ C、10 mV 和 0.01 mA;在通信距离为 200 m 时,与上位机通信准确率不低于 99.9%;电快速瞬变脉冲群试验中效果良好,满足系统设计要。该模块和 EMERSON 公司的 EC10-1614BRA 型 PLC、西门子的 CPU224 CN 型 PLC 相结合,已成功应用 (下转第 373 页)

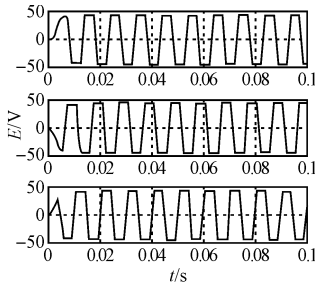


图7 三相反电动势仿真波形

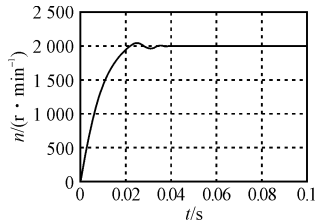


图8 传统PID控制方法速度仿真波形

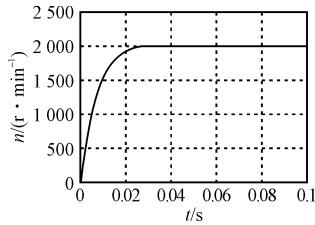


图9 改进的单神经元PID控制方法转速仿真波形

4 结束语

根据永磁直流无刷电机的数学模型,在 Matlab/Simulink 中搭建了仿真模型,模型运行结果与理论基本一致,从而验证了电机模型的正确性。电机控制系统外环采用改进的单神经元PID控制算法,并搭建了电机控制系统的仿真模型。

控制结果表明,系统具有较好的动态和静态响应特性,系统进入稳态用时短,无超调,改进的单神经元PID控制器应用于永磁直流无刷电动机中具有较好的控制效果,为进一步在实践中应用提供了参考。

参考文献(References):

- [1] RUMMAAIAND A, KOTARN R. Onlilne identification and control of a DC motor using learning adaptation of neural networks[J]. **IEEE Transactions on Industry Application**, 2000, 36(3):936-942.
- [2] 柏璐. 无刷直流电动机智能控制器的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学电气工程与信息工程学院, 2007:14-22.
- [3] 戴莹. 基于BP神经网络的无刷直流电机PID控制方法的研究[D]. 合肥:合肥工业大学电气与自动化工程学院, 2007:15-18.
- [4] CAO Jian-bo, CAO Bing-gang, CHEN Wen-zhi, et al. Neural Network Control of Electric Vehicle based on Position-Sensorless Brushless DC Motor [C]//Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Portugal: [s. n.], 2007:1900-1905.
- [5] REINHOLD W B, CLOSE D A. Drilling optimization-the driller's role [J]. **SPE Drilling & Completion**, 1997, 12(1):5-12.
- [6] 夏长亮,张茂华,王迎发,等. 永磁无刷直流电机直接转矩控制[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(6):104-109.
- [7] 刘刚. 永磁无刷直流电机控制技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [8] 刘金琨. 先进PID控制及其MATLAB仿真[M]. 2版. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [9] 解后循,高翔. 基于S函数的无刷直流电动机自适应控制系统建模[J]. 微电机, 2009, 42(3):68-72.
- [10] 龙驹. 永磁无刷直流电动机转速控制系统的优化设计[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2006.

[编辑:李辉]

(上接第364页)

于小型中央空调控制系统。该方法同时也适用于利用其他厂商型号PLC构成的控制系统,具有一定的通用性。

参考文献(References):

- [1] 徐萍. 可编程控制器外接模拟量模块的方法[J]. 电子技术应用, 1997(12):63-64.
- [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.
- [3] 朱正中,胡亚非,杨柱,等. PT100铂热电阻线制与二次仪表的采集误差[J]. 仪表与计量技术, 2005(6):43-45.
- [4] 曹柏荣,徐冠杰. 提高热敏电阻在温度测量中精度的研究[J]. 计量技术, 2005(10):27-30.

- [5] 曹彬,饶进军. 小型潜水器信号采集系统设计[J]. 机电工程, 2010, 20(2):11-13.
- [6] Microchip Technology Inc.. DS21290D [EB/OL]. [2007-01-01]. <http://www.lzmcu.com/>.
- [7] Microchip. Analog-to-Digital Converter Design Guide [EB/OL]. [2004-06-01]. <http://ww1.microchip.com/>.
- [8] 陈励华,袁晓峰,张利,等. PLC多路模拟量采集方法研究[J]. 工业控制计算机, 2004, 17(10):24-25.
- [9] STEINHART J S, HART S R. Calibration Curves for Thermistors[M]. Deep Sea Research, 1986.
- [10] 倪秀辉,张琳琳,任国兴. 基于MSP430的热敏电阻高精度测温设计[J]. 仪表技术与传感器, 2009(3):100-101.
- [11] 马玉春,刘杰民,孙长圣. 数据包校验算法与网关技术研究[J]. 控制工程, 2007, 5(14):112-114.

[编辑:李辉]