

基于FPGA的温湿度测量系统设计*

王庆春¹ 何晓燕²

(1. 安康学院电子与信息工程学院 安康 725000; 2. 安康学院数学与统计学院 安康 725000)

摘要: 为了实现单总线数字温湿度传感器 AM2301 的高速并行驱动,文中通过分析温湿度传感器的单总线通信时序和数据校验算法,利用 Verilog HDL 硬件描述语言完成了温湿度传感器的专用驱动逻辑电路(IP核)设计,并且使用此 IP 核并行驱动 4 路单总线温湿度传感器组成了分布式温湿度测量系统,能够以字符或图形方式在液晶屏上直观显示最终的实时测量数据.文章中所设计温湿度测量系统不但方便扩展温湿度传感器的数量,而且也实现了温湿度监测范围的上下限设置、超限报警、数据存储、历史查询与对比分析等功能.

关键词: FPGA; AM2301 温湿度传感器;有限状态机;LCD12864 显示屏

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Design of temperature and humidity measurement system based on FPGA

Wang Qingchun¹ He Xiaoyan²

(1. College of Electronics and Information Engineering, Ankang University, Ankang 725000, China;

2. School of Mathematics and Statistics, Ankang University, Ankang 725000, China)

Abstract: In order to high-speed parallel drive AM2301 single-bus digital temperature humidity sensor, the special driving logic circuit (IP core) had been designed with Verilog HDL hardware description language based on analysis of single bus communication timing and data verification algorithm of temperature and humidity sensor in this paper. Moreover, using the IP core to parallel drive 4-way AM2301 single bus digital temperature and humidity sensor, the distributed temperature and humidity measurement system was composed, which real-time measurement data can be displayed on the LCD screen as character or graphically. The temperature and humidity measurement system not only had a perfect scalability of temperature and humidity sensor number, but also achieved the set temperature and humidity monitoring scope of the upper and lower limits, transfinite alarm, measurement data storage, historical data query and analysis, and other functions.

Keywords: field programmable gate array (FPGA); AM2301 temperature and humidity sensor; finite state machine (FSM); LCD12864 display module

1 引言

在日常生活和工农业生产领域,经常需要对环境温度和湿度进行准确测量和控制,随着新技术被应用到温湿度测量领域中^[1-2],温湿度传感器也从简单的模拟式向高集成度、智能化、高精度、高可靠性的数字化温湿度方向发展^[1-2].AM2301(DHT21)数字温湿度模块就是一款含有已校准数字输出的温湿度复合传感器,传感器内部包括电容式感湿元件和高精度测温元件,并与一个高性能 8 位单片机相连接组成单总线接口的数字化智能温湿度传感模块.因此,AM2301 模块在实际的应用中就很容易和上位机(MCU/FPGA)组成分布式的多点温湿度测控系统.

目前,针对单总线数字温湿度传感器模块的驱动主要有两种方式,首先是基于各种微处理器(8051/ARM/061)的微程序通信方式^[5-8],这种软件组态的单总线传感器驱动方式应用广泛,但是这种驱动方式会占用处理器资源、速度慢、实时性能较差,有时为了并行驱动多个传感器模块往往会用多个微处理器^[9].其次,就是使用 CPLD/FPGA 开发的传感器通信(驱动)模块^[10-11],这种纯硬件电路的单总线通信模块,工作稳定、速度快;但是这种基于 CPLD/FPGA 内部逻辑电路的温湿度传感器通信模块结构复杂、时序要求严格,系统级联调难度较大.

因此,文中就提出了一个基于 FPGA 的温湿度测量系统,该测量系统具有并行驱动多路温湿度传感器进行实时

收稿日期:2016-05

* 基金项目:陕西省教育厅科研(14JK1018)资助项目

测量、数据存储和对比分析等功能。

2 温湿度测量系统的组成

基于 FPGA 的温湿度测量系统结构如图 1 所示；温湿度测量系统主要包括片外单总线温湿度传感器 AM2301、系统配置芯片 EPCS4、日期时钟芯片 PCF8563、报警与继电器驱动模块以及片内 SDA/IIC 总线通信模块、设置阈值比较模块、键盘扫描模块、数据校验/处理模块、双口 RAM 存储模块、LCD12864 显示驱动模块等。

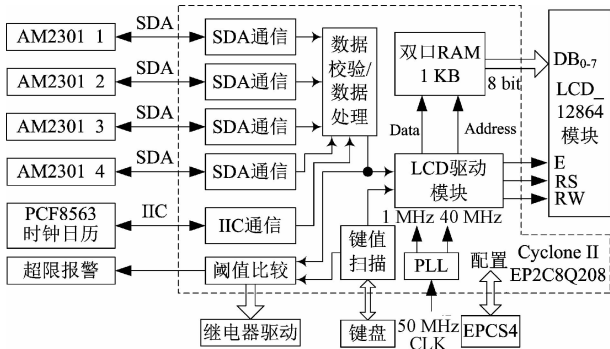


图 1 基于 FPGA 的温湿度测控系统结构

在图 1 所示的温湿度测控系统结构中，充分利用 FPGA 片内逻辑资源丰富、片外引脚接口数量众多的优点，模块化设计单总线 (SDA) 通信功能单元、并行驱动 4 个 AM2301 数字温湿度传感器模块来同时测量外部环境的温度和湿度参数；实时采集到温湿度参数再经过数据校验与计算模块处理后，向后级的液晶显示 (LCD) 驱动、阈值比较模块输出正确的温湿度数据。在温湿度阈值比较模块中会进行测量值与键盘预设上下限阈值的比较判断，进一步决定温湿度参数超限报警蜂鸣器、环境参数调整设备 (通风、加热、加湿等) 电源继电器的工作状态，实现检测环境温湿度参数的自动调节。LCD 显示驱动模块不仅可以把最终的测量数据以字符或图形方式直接显示在液晶屏上，同时也可以通过 FPGA 芯片内建存储器 (RAM) 进行测量数据与时间参数的存储，方便系统的历史数据查询与对比分析。下文就重点对 AM2301 数字温湿度传感器通信时序、SDA 通信模块设计给出详尽的描述。

3 AM2301 单总线温湿度传感器

AM2301(DHT21)温湿度传感器是广州奥松电子有限公司生产的一款单总线温湿度复合测量模块，具有超快响应、抗干扰能力强、性价比较高优点^[11-12]。传感器经过极为精确的湿度校准，校准系数以程序的形式储存在单片机中，传感器在检测信号的过程中需要调用这些校准系数^[12-14]，AM2301 温湿度传感器模块的湿度测量范围为 0~99.9RH%；温度测量范围为 -40~80℃；使用标准单总线接口、具有超小的体积、极低的功耗，信号传输距离可达 20 m 以上，使温湿度测量系统的集成变得简易快捷、方便，AM2301 数字温湿度模块的实物外形与模块接口定义如图 2 所示。

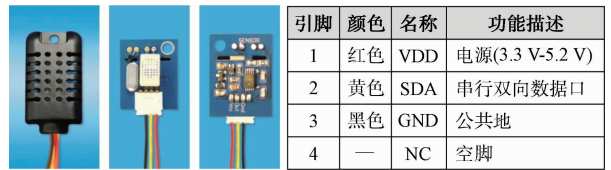


图 2 AM2301 温湿度传感器外形与接口

AM2301 温湿度传感器的实物外形与接口定义如图 2 所示，器件的接口除了电源线 (VDD) 和公共地 (GND) 外，数据传输都是由单总线 (SDA) 完成。AM2301 的标准供电的电压范围为 3.3~5.2 V，一般建议 5 V 为供电电压；三态数据线 (SDA) 在使用中需要外接上拉电阻，典型应用中连接线长度短于 30 m 时用 5.1 kΩ 上拉电阻、大于 30 m 时根据实际情况降低上拉电阻的阻值，以保证总线闲置时的状态为高电平。

4 AM2301 的通信时序

AM2301 温湿度传感器的单总线通信协议结构简单、使用方便，但是对用户主机 (MCU/FPGA) 有着严格的通信时序^[6,11]要求。在单总线的数据通信中，如果高低电平脉冲宽度达不到 AM2301 温湿度传感器的通信时序参数要求，就无法进行正确的单总线通信，AM2301 温湿度传感器的单总线通信时序如图 3 所示。

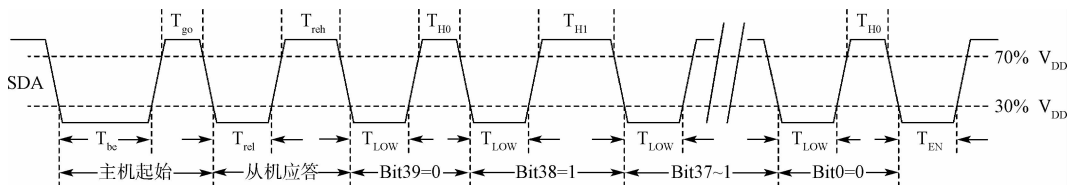


图 3 SDA 总线的通信时序

图 3 所示的通信时序中，主机对传感器的每次访问总是从主机向单总线 SDA 发起的起始信号开始；如果从机

(传感器) 被主机成功唤醒并从休眠模式进入高速模式，从机 (AM2301) 待主机开始信号结束后向单总线 SDA 发送

应答信号;通知主机准备开始接受温湿度数据,随后从机向单总线 SDA 串行送出高位先出的 40 bit 温湿度数据;发送的数据依次为湿度 16 bit 数据、温度 16 bit 数据、8 bit 数据校验位,数据发送结束后重新触发一次传感器信息采集,采集结束传感器自动转入休眠模式,等待主机下一次的总线唤醒。

单总线主机每次从 AM2301 读出的温湿度数据是上一次传感器信息采集的结果,AM2301 温湿度传感器每次新采集的温湿度数据要等到下一次的总线通信唤醒才能被正确读出,要获取实时测量数据,需至少连续读取传感器数据两次以上,才能获得准确的实时温湿度数据。主机在连续读取传感器测量数据时,要求最小间隔时间为 2 s;如果读取间隔时间小于 2 s,可能导致温湿度测量不准或通信不成功等异常情况。

在图 3 所示的传感器单总线通信时序中,对于主机起始信号的高/低电平持续时间(T_{go}/T_{bc})、从机应答信号的响应高低电平持续时间(T_{reh}/T_{rel})都有严格的参数要求,特别是总线上传感器的应答数据识别完全依赖高电平的持续时间(T_{Ho}/T_{Hl})长短来表征 0/1 数据。AM2301 温湿度传感器的单总线时序参数要求如表 1 所示,这就要求单总线温湿度传感器的通信主机必须严格遵守这些既定的通信时序,这也使得基于 FPGA 的温湿度传感器 SDA 通信模块设计难度加大。

表 1 SDA 总线的通信时序参数

符号	参数	最小	典型	最大	单位
T_{bc}	起始信号拉低所需时间	0.8	1	20	ms
T_{go}	主机释放总线所需时间	20	30	200	μs
T_{rel}	响应低电平所需时间	75	80	85	μs
T_{reh}	响应高电平所需时间	75	80	85	μs
T_{Low}	信号“0”、“1”低电平时间	48	50	55	μs
T_{Ho}	信号“0”高电平时间	22	26	30	μs
T_{Hl}	信号“1”高电平时间	68	70	75	μs
T_{en}	传感器释放总线时间	45	50	55	μs

5 单总线的数据校验

AM2301 温湿度模块单总线 SDA 串行送出的 40 bit 温湿度数据包含了 16 bit 的湿度数据、16 bit 的温度数据和 8 bit 的数据校验位,总线通信主机如果由接收到 32 bit 的温湿度数据计算出的校验位数据和接收到的校验位数据不一致,就意味着本次的数据传输出错;反之,通信数据正确可信^[11],假如主机从单总线上读出 40 bit 数据为:

(0000000110111001)_B = (000000011000101)_B = (01111111)_H, 则该数据分别表示的湿度 RH 与温度 T 就是:
 (0000000110111001)_B = (01B9)_H = (441)_D → RH = 44.1%;

(000000011000101)_B = (00C5)_H = (197)_D → T = 19.7℃;

这里 16 bit 温度数据的最高位 0/1 表示温度的正/负,如(1000 0000 0100 0101)_B 就表示 -6.9℃. 对主机读取的温湿度数据进行 8 bit 的数据单元累加就能得到数据校验位,对于上面温湿度数据进行校验位运算就是:0000 0001 + 1011 1001 + 0000 0000 + 1100 0101 = 0111 1111(校验位),明显这和前面接收到的数据校验位完全一致;传感器送出的温湿度参数数据有效。

6 单总线通信模块设计

基于 FPGA 温湿度测控系统的关键在于单总线 AM2301 温湿度传感器的 SDA 通信模块设计,需要设计者严格根据温湿度传感器的通信时序要求,采用硬件描述语言设计出有限状态机(FSM)来实现温湿度传感器的休眠唤醒和内部采集数据的正确读取,单总线数据通信状态机的状态转换如图 4 所示。

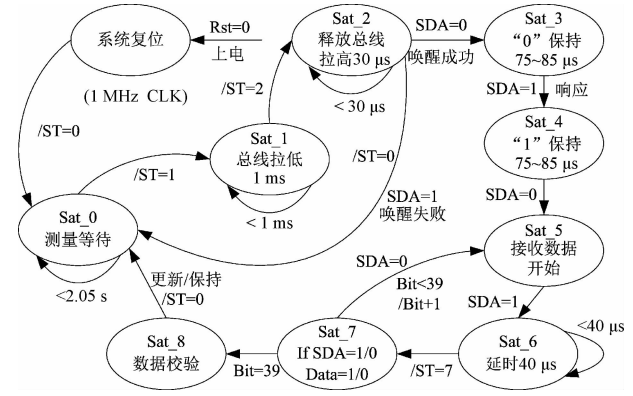


图 4 单总线通信模块的状态迁移图

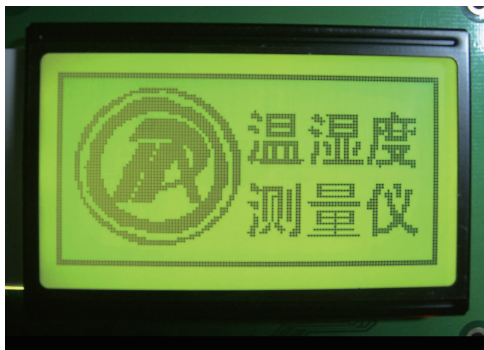
总线数据读取过程要求 SDA 通信模块中的有限状态机向单总线 SDA 发起起始信号后,通过检测总线响应信号判断总线从机(传感器)是否被成功唤醒;而后再根据总线上高电平的持续时间长短来识别传感器发送的温湿度数据。因此,SDA 通信模块的有限状态机就需要设置较多的条件转换分支。

在图 4 所示的状态迁移图中,SDA 通信模块作为总线主机发起开始信号只包含了 0~2 状态(Sat_0~2),而在其余的总线迁移状态中都是作为总线从机从总线上读取数据。挂在总线上温湿度传感器被成功唤醒后会向总线发送响应信号,此时作为总线从机的 SDA 通信模块需要正确识别出这一响应信号(Sat_3~4);而后才会从总线上连续接受 40 bit 的温湿度数据(Sat_5~7),这 40 bit 的数据在单总线上实际表现为低电平持续时间相同而高电平持续时间不同的 40 个连续脉冲。为了正确读出总线上的温湿度数据,在有限状态机设计中专门设置了高电平持续宽度检测状态分支(Sat_6~7)。实现这个脉冲宽度检测算法的基

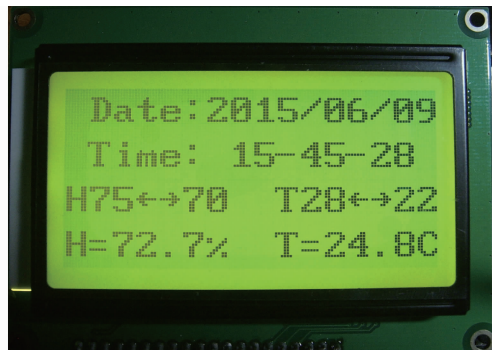
本思想是从总线上出现高电平开始计时 $40\ \mu\text{s}$ 后再次检测总线电平,如果总线依然为高电平则总线数据为“1”;反之为“0”,这是由于总线数据“0”的高电平持续时间为 $22\ \mu\text{s} < T_{\text{H0}} < 30\ \mu\text{s}$;而总线数据“1”的高电平持续时间长达 $68\ \mu\text{s} < T_{\text{H1}} < 75\ \mu\text{s}$,实际上这一过程可以简单描述为“经过 $30\ \mu\text{s}$ 以上、 $68\ \mu\text{s}$ 以下的延时后,就能从总线上读出正确数据”。从总线数据读出过程中可以看出单总线 SAD 通信模块的读出数据是否准确,在很大程度上依赖时钟频率的精确度,在此项目设计中是把 $50\ \text{MHz}$ 的系统时钟分频为 $1\ \text{MHz}$ 的时钟后再作为状态机的计时基准时钟使用,因此具有较高的计时精度。

7 温湿度测量系统的设计验证

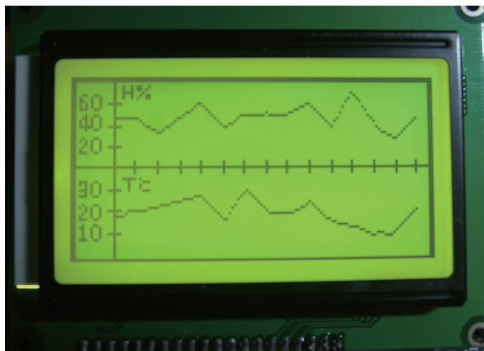
按照图 1 所示的温湿度测量系统结构,使用 Altera Cyclone II EP2C8Q208C8 核心 FPGA 开发板、KB12864KZK 液晶显示模块^[15]、AM2301 温湿度传感器等外围器件组成硬件测试平台;温湿度测量系统设计项目经过 Quartus II 9.1 开发工具的工程编译和芯片下载配置后得到的实际运行效果如图 5 所示,其中图(a)是测量系统的启动界面;图(b)是温湿度测量数据的字符显示;图(c)是温湿度数据的历史曲线;图(d)是不同测量点温湿度传感器模块采集数据的对比图。



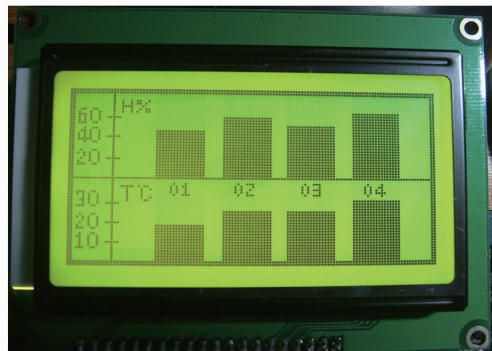
(a) 开机启动界面



(b) 温湿度数据的字符显示



(c) 温湿度的变化曲线



(d) 不同测量点的数据对比

图 5 温湿度测量系统的运行效果

文中设计的温湿度测量系统,由于使用了单总线专用通信逻辑电路来并行驱动 4 个 AM2301 温湿度传感器,每个温湿度传感器的驱动电路是相互独立、互不影响,因此测量系统的实时性和稳定性较高,不会出现测量数据的丢失。论文中设计的 AM2301 温湿度传感器专用驱动逻辑电路(含数据校验)的硬件实现代价低至 205 个逻辑单元(LE),这和文献^[6-11]中使用通用微处理器(MCU)来控制单个传感器或多个微处理器控制多个传感器的方式相比就具有很小的硬件电路开销,而且这种基于 FPGA 的温湿度传感器驱动 IP 核设计,使测量系统的扩展几乎不受传感器数量限制、测量系统的重构也十分方便。

8 结 论

文中设计的温湿度测量系统,最终在 FPGA 开发板上的验证结果表明,它完全能够并行驱动多个 AM2301 单总线温湿度传感器组成分布式测量系统,并具有温湿度监测范围的上下限设置、超限报警、数据存储、历史查询与对比分析等数据处理能力,能够满足 FPGA 嵌入式系统(SOPC)的温湿度测控要求。这种基于单总线通信模块的温湿度测量系统工作稳定、速度快,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 黄双成,李志伟. 基于 LabVIEW 的无线温湿度监测

- 系统设计与实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(6): 82-84, 122.
- [2] 周海鸿, 周嘉奉. 基于 ZigBee 技术的温湿度监测系统[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(7): 75-79.
- [3] 张继光, 姜宗元, 张敏, 等. HMP45D 型温湿度传感器的测量原理与误差分析[J]. 电子世界, 2013(4): 113-114.
- [4] 王强, 冯璐, 李艳, 等. 高精度环境试验设备温湿度自动校准系统设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(7): 135-138.
- [5] 王欢, 王晨. 高精度无线环境温湿度测量系统设计研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(3): 211-216.
- [6] 龙建明, 熊刚, 张争刚, 等. 基于 STC89C52 的温室大棚温湿度控制器[J]. 计算机与现代化, 2015(3): 88-90, 95.
- [7] 郑佳琳, 张银峰, 孙玉国. 基于 Wi-Fi 无线通信的温湿度测量系统设计[J]. 仪表技术, 2012(11): 31-33.
- [8] 王毅, 万英. 基于 IIC 总线的温湿度测量系统的设计[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2014, 30(6): 40-45, 61.
- [9] 王晓飞, 张伏江, 梁福平. 基于多 CPU 和 PCI 的高速海量温湿度测量系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2013(11): 56-58, 61.
- [10] 赵晶, 陈向东, 陈欣鹏, 等. 基于 FPGA 的 QCM 湿度测量系统程序设计与仿真[J]. 电子设计工程, 2013, 21(22): 126-128.
- [11] 鲍爱达, 张庆志, 郭涛, 等. 基于 FPGA 和 SHT21 传感器的温湿度测量系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(11): 2885-2887.
- [12] 喻旋, 张东旭, 付文卓. 基于 SHT11 传感器的温湿度测量系统设计[J]. 电子科技, 2014, 27(6): 121-125.
- [13] 李恒. 多参数控制系统温湿度现场校准技术[J]. 计量与测试技术, 2015, 42(2): 20-23.
- [14] 于建清, 程绍华, 贾伟广, 等. 温湿度传感器相对湿度示值误差测量结果的不确定度评定[J]. 海洋技术, 2013, 32(1): 83-86.
- [15] 王庆春, 何晓燕. 基于 FPGA 的便携式逻辑分析仪设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(10): 80-83.

作者简介

王庆春, 1972 年出生, 安康学院电子与信息工程学院副院长、副教授, 主要研究方向为视频图像处理与电子系统设计。

E-mail: wqc328@126.com

(上接第 112 页)

物性(压力、流量)以及参数的实时动态变化特性进行较为精确的模拟研究, 亦可为火电机组内部工质在超临界与亚临界状态间转换的热物性提供一定的理论参考。仿真结果表明本文所提的超临界火电机组内部工质温度动态变化模型可以较好的模拟机组的过热以及再热循环的实时变化情况。本文仿真结果较之文献[7]中的结果较为一致, 但本文所提模型更能反映出机组实际运行时的动态特性, 为火力发电厂对于火电机组的设计以及控制策略的制定提供了新的理论参考以及实现的新方法。

参考文献

- [1] 刘吉臻, 田亮, 曾德良, 等. 660 MW 机组负荷-压力非线性特性的分析[J]. 动力工程, 2005, 25(4): 533-540.
- [2] 武志惠, 王蕾, 牛海明, 等. 660 MW 超超临界机组单列辅机控制系统可靠性研究与工程应用[J]. 中国电力, 2015(10): 112-113.
- [3] 谷俊杰, 王鹏. 超超临界机组凝结水节流负荷调节的建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2015, 12(8): 1117-1120.
- [4] 梁洲, 陈意军. 风储联合并网发电系统的控制策略研究[J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 56-58.
- [5] 李福尚, 王旭荣, 戴义平, 等. 超临界机组一次调频对汽轮机动态热力特性的影响[J]. 热能动力工程, 2014, 5(3): 175-177.
- [6] 章臣越. 锅炉动态特性及数学模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 31-32.
- [7] 雷玉兰. 自然循环锅炉锅内过程的仿真模型[M]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [8] 廖晓文, 刘桂雄, 潘云飞. 一种高精度多路脉冲计数补偿方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 30(7): 34-35.
- [9] 邓丽, 黄炎, 费敏锐, 等. 改进的广义预测控制及其在温度系统中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(5): 45-47.
- [10] 许伟明, 李瑜煜, 方浩. 针对热电材料的高精度宽范围电阻测量电路[J]. 电子测量技术, 2016, 39(2): 12-13.

作者简介

李涛, 1977 年出生, 本科, 工程师, 研究方向为电力技术。

E-mail: xiangxikg@163.com