

## 基于 STM32 的三相电表校准装置的设计

杨帆<sup>1,2</sup>, 胡光昊<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 电气信息学院, 湖北 武汉 430205;

2. 湖北省视频图像与高清投影工程技术研究中心, 湖北 武汉 430205)

**摘要:** 针对常规三相电表校准装置测量精度低、成本高的问题, 研究了一种基于 STM32F429 单片机的三相多功能电表校准装置。该装置硬件电路主要包括电压电流采样量程切换电路、继电器驱动电路、时钟电路、RS232 串口通信模块和显示电路。其中电压电流采样量程切换电路将电流和电压互感器采集的电压和电流信号转换成 CS5463 芯片的测量范围。单片机 STM32F429 有 4 个 UART 串口用作 RS232 通信, 方便与其他外设相连。单片机接收到信号后, 将采集到的电压和电流数据显示在 TFTLCD 电容触摸屏上。软件设计主要是初始化临时变量和配置 CS5463 的相关寄存器, 然后定时采集电压和电流。通过对测试结果的分析和比较, 该装置达到了小数点后 4 位的测量精度。

**关键词:** STM32F429 单片机; 电压电流采样; 量程切换电路

中图分类号: TN98

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191163

中文引用格式: 杨帆, 胡光昊. 基于 STM32 的三相电表校准装置的设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(9): 60-63, 68.

英文引用格式: Yang Fan, Hu Guanghao. Design of three-phase meter calibration device based on STM32[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(9): 60-63, 68.

## Design of three-phase meter calibration device based on STM32

Yang Fan<sup>1,2</sup>, Hu Guanghao<sup>1</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

2. Hubei Video Image and HD Projections Engineering Research Center, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low measurement accuracy and high cost of conventional three-phase meter calibration device, this paper studies a three-phase multifunctional meter calibration device based on STM32F429 single-chip microcomputer. The hardware circuit of the device mainly includes voltage and current sampling range switching circuit, relay drive circuit, time clock circuit, RS232 serial communication module and display circuit. The voltage and current sampling range switching circuit converts the voltage and current signals collected by the current and voltage transformer into the measurement range of CS5463 chip. There are 4 UART ports for RS232 communication in STM32F429 chip, convenient to connect with other peripherals. After receiving the signal, the voltage and current data collected are displayed on the TFTLCD capacitive touch screen. Software design is mainly to initialize temporary variables and configure the relevant registers of CS5463, and then collect voltage and current at regular intervals. Through the analysis and comparison of the test results, the measurement accuracy of the device reaches 4 decimal places.

**Key words:** STM32F429 single chip microcomputer; voltage and current collection; range switching circuit

### 0 引言

随着电子信息技术的发展, 传统的感应式电能表精度低、功耗大, 已经不再满足要求, 人们将软硬件技术结合提出了电子式电能表<sup>[1]</sup>。目前, 三相电表的测量在不断完善: 有采用 SA9904A 芯片的双向三相电表, 通过 SPI 接口访问寄存器, 测量各相的电压有效值和无功功率<sup>[2]</sup>; 考虑到不再是简单的数值计量, 设计者将 ADE 计量芯片应用于电表中, 实现实时分析电流电压波形数据、计量和判断阻性负载大小的功能<sup>[3-5]</sup>; 为了保证测量性能的稳定和远程数据传送, 出现了基于 MSP430F149 单片机和 ARM 的智能远传三相电表, 可以远程自动抄表, 抗

干扰能力强<sup>[6-7]</sup>; 基于 Kinetis 微控制器的三相电表, 可以测量视在能量并具有闪存升级的功能<sup>[8]</sup>。近几年, STM32 系列芯片在电表中的应用成为一种趋势<sup>[9-10]</sup>。考虑到液晶显示和电流检测的问题<sup>[11-12]</sup>, 本文采用带有 LCD 控制器的 STM32F429 芯片, 简化了电路设计。因此, 本文针对常规三相电表校准装置存在的测量电流、电压精度低等问题, 研究了一种基于 STM32F429 的三相电表校准装置。

### 1 校准装置方案设计

三相电表校准装置包括量程切换电路、继电器驱动电路、基于 STM32F429 的核心电路、RS232 电路、电源电路、时钟电路和显示电路。总体方案设计框图如图 1 所示。

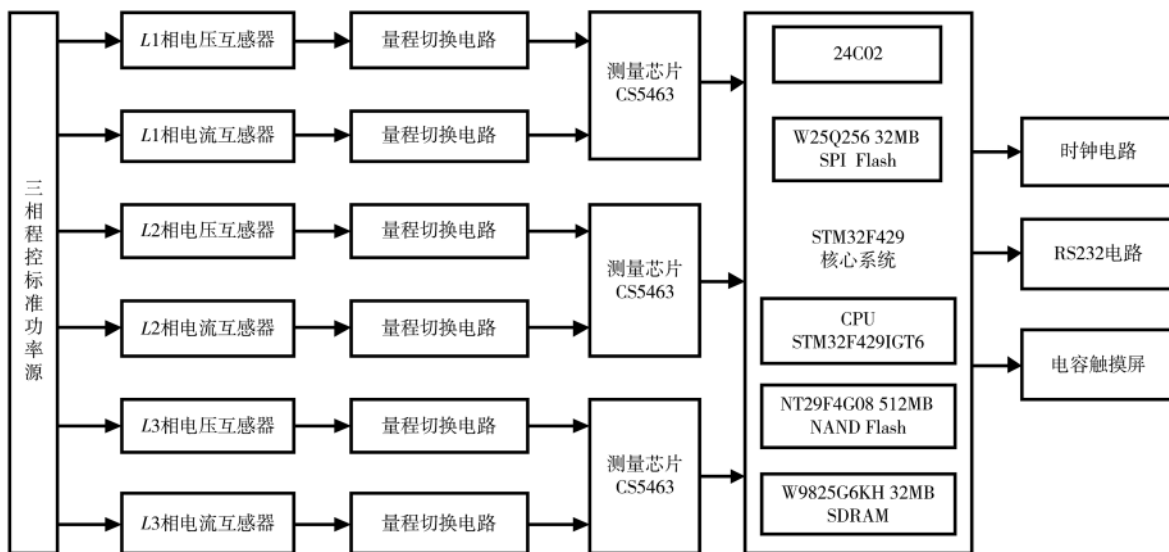


图1 总体方案设计框图

三相电表校准装置用  $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$  相电压互感器和  $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$  相电流互感器来采集 XL-803 三相程控标准功率源的电压和电流信号,然后用 HRS1H-S-DC5V 继电器切换电压和电流信号的量程。电压电流信号通过 CS5463 芯片,转换为数字信号传送给 STM32F429 的核心系统,最后通过电容触摸屏显示数据。设计 RS232 输出接口电路是为了方便连接电脑以及与外围设备通信,时钟电路提供电路的延时确保电路的安全,电源电路为电路提供需要的 5 V 和 3.3 V 电压。

## 2 硬件电路设计

### 2.1 STM32F429 核心系统

该装置选用 STM32F429 作为核心控制器,采用了 180 MHz 的 ARM Cortex-M4 处理器内核。芯片的供电引

脚 58、59、60 接 5 V 电压,处理器中的引脚 54 为串行发送口,引脚 53 为串行接收口。

### 2.2 电压电流采样量程切换电路

采集的电压信号最大值为 310 V,而 CS5463 芯片可接收最大电压信号为 250 mV,故设计 3 路电压电流采样量程切换电路。其中,一路电压电流采样量程切换电路如图 2 所示。

310 V 电压经过 4 个串联的 100 k $\Omega$  电阻后,被电压互感器 ZMPT101B 感应到流向继电器 Relay1。继电器的常开/常闭端接 300  $\Omega$  和 110  $\Omega$  的采样电阻,可以得到 232.5 mV 和 85.25 mV 电压,经 2 个 100 nF 电容、2 个 470  $\Omega$  和 2 个 1 k $\Omega$  的电阻滤波后进入 CS5463 芯片。电流互感器 ZMCT102 测量原理与电压互感器一样。Relay2

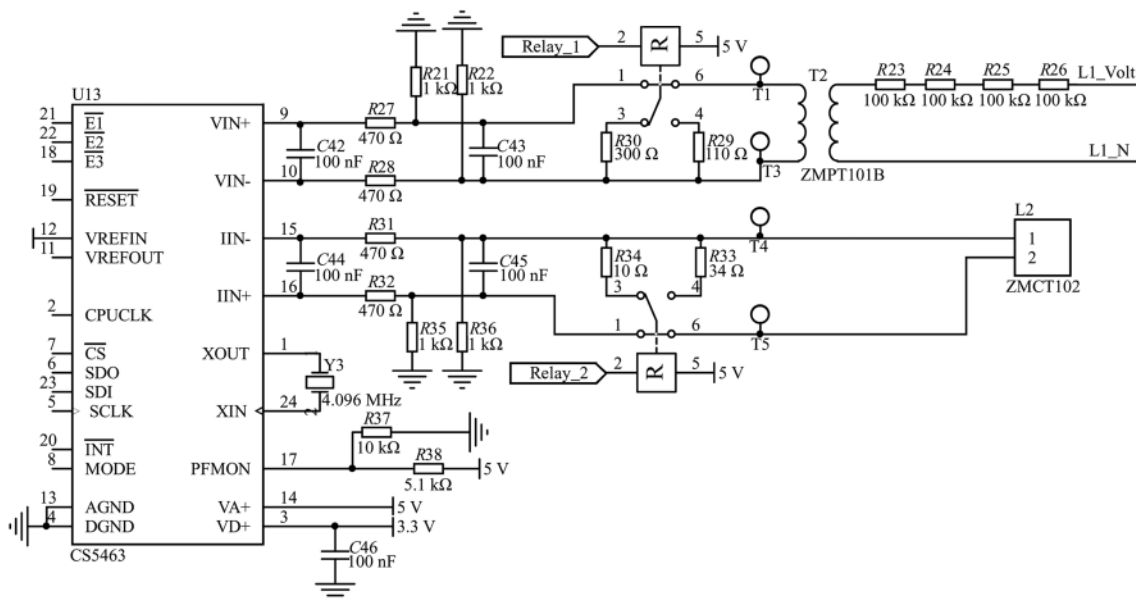


图2 一路电压电流采样量程切换电路原理图

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

常开/常闭端接  $10\ \Omega$  和  $34\ \Omega$  的采样电阻,可以得到  $7.75\ \text{mV}$  和  $26.35\ \text{mV}$  电压,经 2 个  $100\ \text{nF}$  电容、2 个  $470\ \Omega$  和 2 个  $1\ \text{k}\Omega$  的电阻滤波后进入 CS5463 芯片。

## 2.3 继电器驱动电路设计

继电器驱动电路由继电器驱动芯片 ULN2003 和两个辅助输出继电器的电路构成,如图 3 所示。当驱动芯片 ULN2003 的 I/O 口输出  $5\ \text{V}$  时,电流流过辅助输出继电器线圈,开关 K10 拨到 4,输出稳定电压。

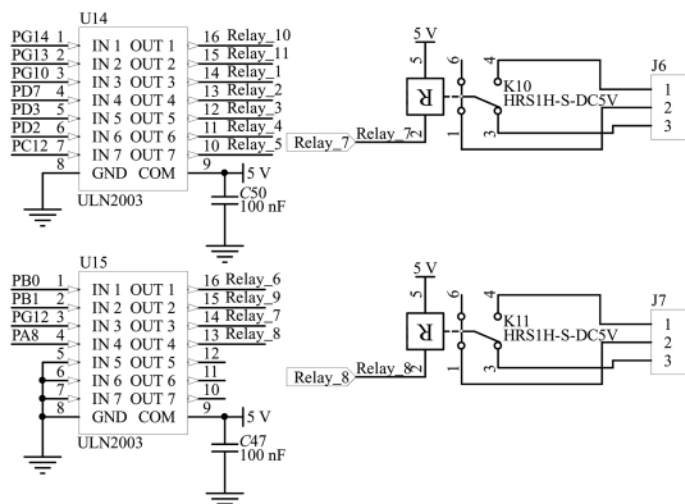


图 3 继电器驱动电路

## 2.4 RS232 串口通信模块设计

硬件设计中采用 MAX3232CSE 芯片,与 STM32F429 控制器的 PA2、PA3、PA9、PA10 引脚相连作串口通信,其中 PA2 和 PA3 用作发送,PA9 和 PA10 用作接收。J4 中的端子 5 为接地端子,端子 2、3 对应于 PA9、PA10 接口。通信接口设计如图 4 所示。

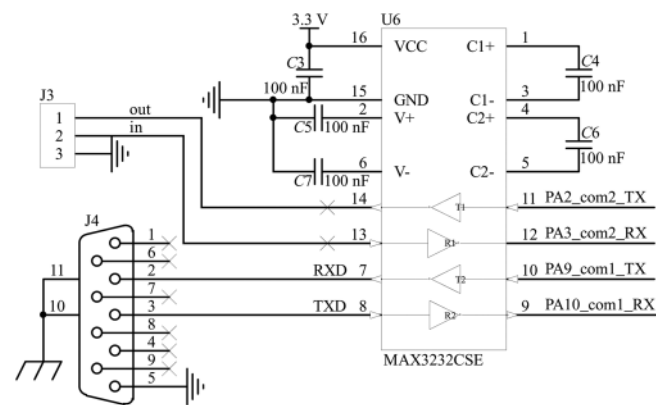


图 4 RS232 通信接口设计

## 2.5 系统电源电路设计

由于控制器、触摸屏和继电器所需驱动电压为  $5\ \text{V}$ ,时钟电路驱动电压为  $3.3\ \text{V}$ ,于是设计了如图 5 所示的电源电路。采用 LM2576S-5.0 开关型集成稳压电路,将  $12\ \text{V}$  转为  $5\ \text{V}$ ;然后采用 LM1117MPX-3.3 低压差线性稳压器电路,将  $5\ \text{V}$  转为  $3.3\ \text{V}$ 。

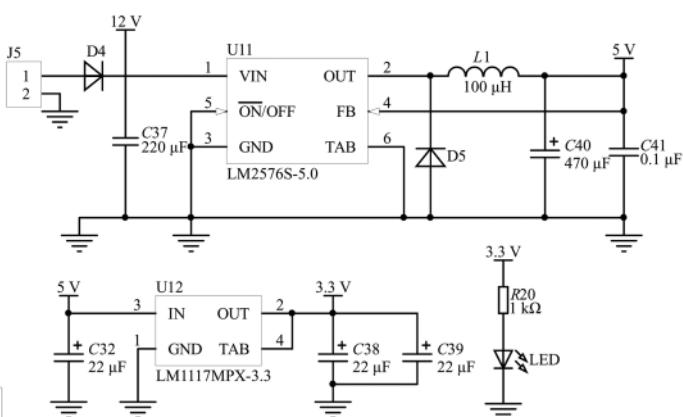


图 5 电源电路原理图

## 2.6 时钟电路设计

硬件设计中采用 DS3231 时钟芯片,提供电路的延时。scl 引脚为 I<sup>2</sup>C 串口的时钟输入,与 STM32F429 控制器的 PB6 引脚相连,用于串口上同步传输数据。rst 引脚与 STM32F429 控制器的 PC13 引脚相连。时钟电路如图 6 所示。

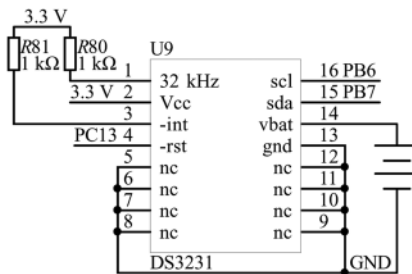


图 6 时钟电路

## 2.7 显示电路设计

电容触摸屏与 STM32F429 的引脚连接如图 7 所示。STM32F429 的外设接口可直接驱动 TFTLCD。

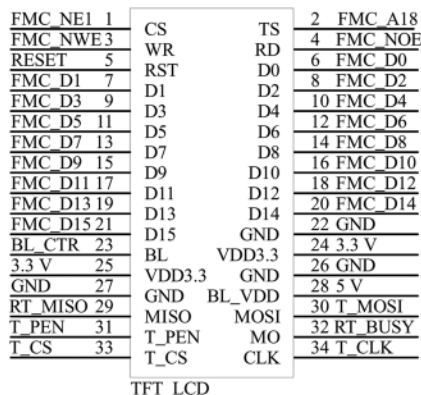


图 7 显示电路

## 3 软件设计

三相电表校准装置的软件设计采用模块化设计原则,将采集的数据显示在电容式触摸屏上。由于篇幅限制,只阐述单片机主程序和串口中断接收处理程序。

# 测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

## 3.1 单片机主程序设计

首先禁止全局中断,然后初始化各个参与IO口,配置CS5463的相关寄存器。启动CS5463完成采样后,单片机进行数据处理,最后在触摸屏上显示电压和电流数据。单片机主程序流程图如图8所示。

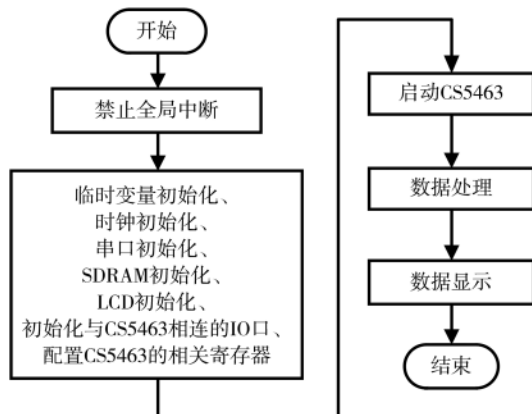


图8 单片机主流程图

## 3.2 串口中断接收处理程序

单片机开中断接收到一个字符后,产生接收完成中断。收函数把数据保存到变量缓存中,同时ReXferCount计数器减1。设置ReXferCount初始值为1,若计数器等于0,执行回调函数;若计数器不等于0,单片机等待下一次接收。流程图如图9所示。

## 4 测试结果与分析

用设计的硬件及软件搭建了测试平台,XL-803三相程控标准功率源是测量对象。分别输入了3组数据来进行测试,第一组的显示界面如图10所示。XL-803三相程控标准功率源的输入值和ATK-7'TFTLCD电容触摸屏的显示数据如表1~表3所示。

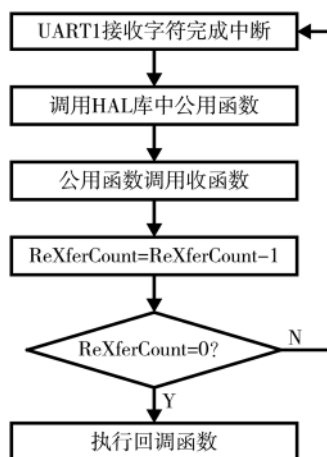


图9 利用HAL库接收中断执行流程

表1 显示数据对比1

	$I_1/A$	$I_2/A$	$I_3/A$	$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$
功率源	1.5	1.5	1.5	20	20	20
触摸屏	1.515 7	1.510 4	1.505 7	20.008 7	19.974 2	20.000 2

表2 显示数据对比2

	$I_1/A$	$I_2/A$	$I_3/A$	$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$
功率源	3	3	3	40	40	40
触摸屏	3.015 1	3.017 4	3.016 8	40.001 7	39.974 2	39.994 3

表3 显示数据对比3

	$I_1/A$	$I_2/A$	$I_3/A$	$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$
功率源	4.5	4.5	4.5	60	60	60
触摸屏	4.500 7	4.502 3	4.501 6	60.006 4	59.981 7	60.005 4

由上述数据可知,通过改变功率源的初始值,得到的每组数据误差很小。该装置可以实现三相电表的精确测量,符合设计预期。

## 5 结论

本文设计的以STM32F429为核心的三相电表校准装置,测量电压、电流可以精确到小数点后4位,是电力系统用户的理想校准装置。

## 参考文献

- [1] 胡社教.基于ADE7752的三相电表设计[C].西安:全国虚拟仪器大会,2010.
- [2] 白鹭,单承赣,姜寅.SA9904及其在新型三相电表中的应用[J].国外电子元器件,2002(4):38-40.
- [3] 赵文斌,刘音.基于ADE7753的单相多功能电能表设计[J].电测与仪表,2007(7):25-28.
- [4] 蔡泽彬,邓磊.基于ADE7758三相多功能电表的设计[J].空军雷达学院学报,2007(9):183-185.
- [5] 杜欣慧,王茜.基于计量芯片ADE7758的三相多功能电

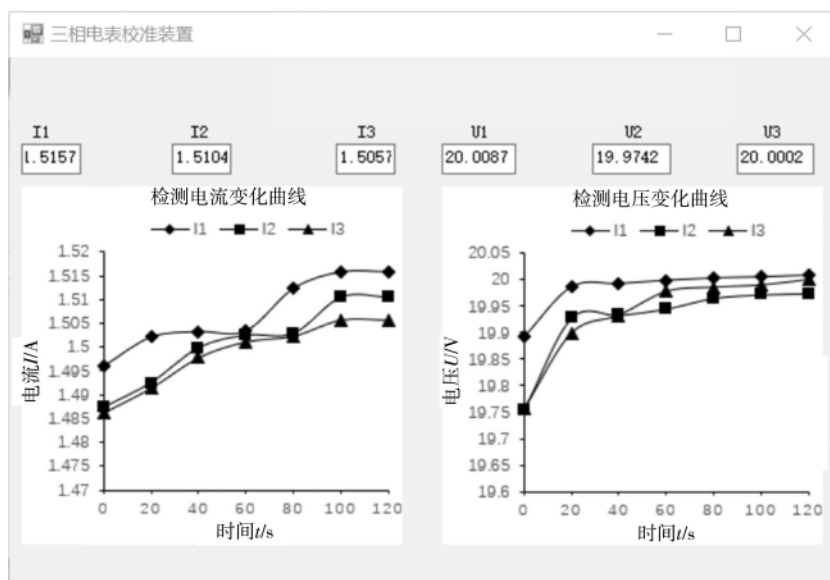


图10 显示界面

(下转第68页)



# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

准最大允许误差为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。因此该设计满足要求。

## 5 结论

本文讨论了基于 OneNET 物联网平台的生猪体温监测系统, MF54 系列 NTC 热敏电阻和非平衡桥电路的使用使得测量数据的误差降低, 同时采用平均值滤波法计算温度后上传数据, 进一步减小测量数据的误差, 满足医疗标准。另外, 通过集成在猪耳标上采集猪耳腔温度的方式来测量体温, 有效提高了生猪体温测量的便捷性。该系统适用于大型养猪场的体温监测领域。

## 参考文献

- [1] 张巧平. 基于体温检测的猪疾病判断方法[J]. 现代农业科技, 2011(20): 352, 354.
- [2] 陈俊敏, 黄伟明. 养猪户如何从猪的体温变化了解猪病[J]. 畜牧兽医科技信息, 2008(1): 54.
- [3] 何明泰, 李可, 刘恒. 密集 WiFi 网络环境网络分配矢量优化与性能分析[J]. 电子技术应用, 2017, 43(9): 106-110.
- [4] 宫占江, 孙立凯, 史鑫. 一种非接触式耳温传感器研制[J]. 科技创新与应用, 2017(32): 20-21.
- [5] 陈霖凯, 秦会斌, 胡炜薇. 基于云服务器的车位锁管理系统设计[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(8): 73-75.
- [6] 姬鹏飞. 基于 OneNET 的智能门锁系统平台软件设计与

实现[J]. 现代计算机(专业版), 2018(27): 79-83.

- [7] 张会猛, 高锐锋, 包志华. 基于 WiFi 技术的临床体温监测系统设计与实现[J]. 现代电子技术, 2018, 41(8): 26-29, 33.
- [8] 邓迟, 胡巍, 刁盛锡, 等. 一种基于 NTC 的体温传感器测量误差分析及校准技术[J]. 中国医疗器械杂志, 2015, 39(6): 395-399.
- [9] 方天恩, 漆晶, 马金辉, 等. 基于 Android 的智能蓝牙温度计的研究与设计[J]. 电子技术应用, 2017, 43(3): 73-76.
- [10] 林超伦, 徐婧, 陈威, 等. 基于 OneNet 云平台的远程医疗监护系统的研究与设计[J]. 电子世界, 2019(19): 168-169.

(收稿日期: 2019-11-28)

## 作者简介:

许宏为(1997-), 男, 硕士, 主要研究方向: 抗电磁干扰、嵌入式、物联网。

秦会斌((1961-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 新型电子器件及 ASIC 设计、现代传感器设计及应用。

周继军(1962-), 男, 本科, 教授级高工, 主要研究方向: 抗电磁干扰技术、电子器件生产用装备、新型抗电磁干扰器件。

(上接第 59 页)

- [3] 叶长龙, 张思阳, 于苏洋, 等. 基于神经网络的全方位移动机器人运动稳定性研究[J]. 机器人, 2019, 41(4): 443-451.
- [4] 陶俊杰, 臧红彬, 蔡勇. 新型多功能越障机器人设计与功能仿真[J]. 机械设计与制造, 2016(1): 228-231.
- [5] PENG T, QIAN J, ZI B, et al. Mechanical design and control system of an omni-directional mobile robot for material conveying[J]. Procedia CIRP, 2016, 56(Complete): 412-415.

- [6] 孙强, 王文涛. 基于体感遥控的全向移动机器人的系统设计[J]. 电子技术应用, 2015, 41(6): 157-160.

(收稿日期: 2019-12-16)

## 作者简介:

范晶(1987-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 机器人运动控制技术、通信加密技术。

吴晖(1991-), 通信作者, 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向: 机器人运动控制与仿真、机械优化设计, E-mail: buaa\_wuhui@sina.com。

(上接第 63 页)

- 表设计[J]. 电气技术, 2012(2): 42-44, 48.
- [6] 陈晓龙, 裘友凤. 基于 MSP430F149 单片机的智能远传三相电表设计[J]. 制造业自动化, 2011, 33(2): 166-168.
- [7] 孙鸿昌, 张绿原. 基于 ARM 的三相电表设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2014(7): 83-85.
- [8] 施长浩. 基于 Kinetis 微控制器的三相电表设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014, 14(11): 80-81.
- [9] Yan Xin, Chen Mingshuai, Li Xinyang, et al. Research of three-phase high-voltage energy metering device[C]. 2017 Chinese Automation Congress(CAC). IEEE, 2017: 5845-5848.
- [10] TONG G H, LIU X H, LI X Q, et al. Research on three-phase electronic multifunctional energy meter[C]. IOP

Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018, 394(4): 042098.

- [11] 陈乐珠, 卓朝松, 王艳. 基于 S3C2440 的液晶显示器件光电参数检测接口电路[J]. 电子技术应用, 2018, 44(12): 47-50.
- [12] 银春梅, 朱向东, 朱海鹏. 一种无损电流检测电路设计[J]. 电子技术应用, 2019, 45(3): 18-21, 31.

(收稿日期: 2019-11-06)

## 作者简介:

杨帆(1966-), 女, 硕士, 教授, 主要研究方向: 智能仪器及测控系统。

胡光昊(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 智能仪器及测控系统。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所