

吉林大学仪器科学与电气工程学院
科技学术实践“六个一”训练项目

中文论文集

2015 年上半年

目录

基于 GPS 的公交车超速和到站不停报警器	郑晖; 刘宇轩; 薛子豪	1
机场跑道灯清洗装置	司昌鹏; 刘猛; 赵东; 刘长英	5
非接触式心电信号采集装置实验研究	洪嘉琛; 王京椰; 冷思达; 李肃义	9
地面核磁共振找水仪标定衰减网络的设计与研究	刘志尧; 徐鹏; 赵莹; 蒋川东	15
基于超声波测距的近距离车辆跟进系统的设计与实现	洪天阁; 关钊; 童永军	19
移动呼吸监测系统研究	罗家诚; 刘宇轩; 高宏伟; 辛毅	25
基于压电薄膜的发电系统研究	李昭璐; 任芃; 任强	29
基于 Arduino 的四旋翼飞行器控制系统设计	万云霞; 许伦豹; 胡龙; 吴佳鑫; 王言章	34
核磁共振放大器的无线配置方法	林小雪; 杜文元; 王顺月	41
基于 MATLAB 的瞬变电磁解释结果的三维成像	王雪; 卢滔; 王子蕴	46
平面定位系统设计	戴强; 袁权; 张迪; 吕博男	51
扫频式磁共振探测电感测量仪的研制	李鑫; 郭玉峰; 郑鑫	55
核磁共振测深信号的虚拟相关滤波器设计	冯腾飞; 潘磊; 张博	58
基于同一线圈的核磁信号噪声抵消方法研究	王冠楠; 赵俊逸; 王云坤	63
无人驾驶汽车道路系统设计	王桥; 肖冰; 印海波; 张天瑜	68
四旋翼自主飞行器的动力学建模	史可; 李京洁; 谢之光	74

一种便携式水中甲醛检测仪的硬件设计与优化	李冶;张慧婷;熊观宝;宋卫萍	79
一种便携式 PM2.5 检测仪的研制	王洪远;赵鹏程;高文智;李肃义	84
基于虚拟仪器的频率特性测试仪	欧阳俊豪;白贺群;吴天峰	90
数控直流电阻箱	蒋善庆;杨成;陈鑫	94
基于物联网技术与 GSM 网络的教学辅助系统设计	李诗琪;蒋善庆;韩哲鑫	101
基于物联网技术与 GSM 网络的教学辅助系统设计	王旭;许泽涛;张承昊	104
基于奇异值分解的瞬变电磁数据反演方法研究	王鹏翔;王硕;王帅	109
基于光电式血氧探头的超低频低噪声调理电路研究	戴欣亮;龙晔;张少松	113
基于单片机的智能家居窗帘系统	徐维;张昊宇;毛瑞	117
三自由度并联运动平台设计	朱晶;张淼	122
汽车 ABS 轮速信号模拟控制器的设计	田文博;王中旂;张吉悦	128
基于 GSM 模块的智能防盗报警门锁	温煦;袁境艺;刘通	135
基于 ANSOFT 的接地电极电磁场特性仿真研究	王宁;孙其霖;马明亮	139
智能门锁状态监测系统设计	万云霞;李士龙;蒋磊;宋涛	144
基于 ICL7107 的数字直流电压电流表设计	刘有涛;赵冬;刘子琦	148
负氧离子实时监测系统开发	刘天鹏;陈涅;丛鑫	152
基于 PWM 恒压源电路设计	刘海涛;冯金柱	156
基于 Matlab 的偶极子辐射场仿真计算	孙世坤;牟宗鹏;宋勤睿	162

基于 MPPT 的独立光伏电池充电系统的设计	冯嘉兴; 梁天旭; 李吉生 165
程控直流电源设计	徐德鹏; 张贺; 王晓丹; 孙锋 170
介质电阻率频率特性测试仪信号源设计	徐德鹏; 王载阳; 史可; 刘长胜 174
基于 VIIS-EM 的数字集成电路测试仪	张秉仁; 王鑫; 赵健; 王钊 179
基于 VIIS-EM 的频率域电子测量仪器的优化设计	张秉仁; 包晓栋; 李建强; 蒋生辉 184
太阳能自动跟踪装置	程宇奇; 单兢锋; 康鑫; 申英佐 188
基于 Arduino 的风力悬浮控制装置	于洋; 胡龙; 许伦豹 193
基于 LabVIEW 的虚拟逻辑分析仪触发电路设计	刘沐; 刘昕; 李秋怡 197
光泵磁传感器关键参数的测试装置	单文卓; 王鹏飞; 孟令浩 201
汽车远近灯自动切换系统	翁子汉; 郝帅; 金灿琳 205
基于 SG3525 的直流 12V 电源设计	黄金源 209
基于 stm32 单片机的手写绘图板设计	王凡; 赵鑫; 吕艳妮 214
核磁共振找水仪拉莫尔频率测量模块设计	李宏宇 219
基于太阳能的可变压输出移动电源	王翀; 任航; 宋承卓 223
接收线圈的姿态航迹记录装置设计与实现	邱硕; 卢一晗; 陈仕文 227
基于 51 单片机的车载微型交通气象站设计	安严; 石景; 魏鑫 232
基于 Labview 的电能质量监测系统设计	付宇策; 付华; 刘欢 236
多点无线环境监测系统	刘鹏; 马彦钢; 姜川 239

基于 FPGA 的 SPWM 信号发生器的两种方法对比研究	姚尧; 滕永平; 胡亚楠	243
用手机遥控的智能空气加湿器的设计	袁月; 董轩; 何龙龙	247
高精度双模式太阳能自动跟踪系统	祖贤达; 代友; 樊帅	251
太阳能衣和压电发电鞋结合应用技术研究	陈国超; 王宏霞; 高宁	254
基于电测量法的岩心杨氏模量与泊松比的测量	钟颖; 熊永辉; 陈颖	259

基于 GPS 的公交车超速和到站不停报警器*

郑晖； 刘宇轩； 薛子豪

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 本文设计一种新型公交车自动报警及限速系统, 利用单片机结合 GPS 全球卫星定位系统技术, 它通过 GPS 模块将接收到的信息传递给单片机进行数据和逻辑处理, 本设计通过公交车行驶的路程和所用时间计算其行驶速度, 当超过设定阈值时进行报警, 达到超速报警的预期目的; 另外, 通过观察 GPS 上显示的公交车在站点停留的时间来判断其是否到站未停, 如果时间太短或速度没有为零, 就进行报警, 大大增加了行车的安全性和便利性。该系统的预期目的就是实现超速和到站不停报警。

关键词: GPS 单片机 超速报警器 安全

GPS-based bus stop speeding and arrival alarm

Zheng Hui; Liu Yu-xuan; Xue Zihao

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In this paper, we will design a new bus speed automatic alarm system and speed limits system. It will use microcontrollers combined with the use of GPS. GPS receiver module will receive the information and it will pass it to the microcontroller for data and logic processing. The system will alarm when the bus comes into the station without stopping, and it can provide accurate information to the driver or passengers. When the bus exceeds the preset speed limit, it can inform the driver to slowdown in time. So we can greatly increase the driving safety and convenience

Keyword: GPS Microcontrollers Overspeed alarm Safety

0 引言

当代社会各行各业快速发展, 其中交通运输发展尤为迅猛。随着人民生活水平的不断提高以及汽车制造行业的日益成熟, 汽车这个交通运输业中最具代表性的交通工具, 成为了多数人旅行或日常生活的必需品。目前多数公交车采用无人售票的方式, 每部公交车上只配备一个司机, 无其他司乘人员。司机开车存在超速等的交通安全隐患。并且有可能存在到站未停等情况, 为乘客添加了不便。所以需要一种报警系统提醒司机减小安全隐患和不便。全球定位具有全球、全天候、连续、实时地提供高精度的三维位置、三维速度和准确的时间信息等一列优点, 是实现全球导航定位的高新技术。

地球上的任何位置都至少可以观测到 3 颗卫星, 这些卫星不间断地发射经过编码调制的电磁波, 电磁波中带有卫星信号准确的发射时间和卫星在空间的准确位置。用户使用 GPS 接收模块即可接收卫星所发射的信号, 将接收到的信号解码并计算便可确定接收机的位置。

GPS 定位的基本原理是根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据, 采用空间距离后方交会的方法, 确定待测点的位置。假设, t 时刻在地面待测点上安置 GPS 接收机, 可以测定 GPS 信号到达接收机的时间 Dt , 再加上接收机所接收到的卫星星历等其他数据可以确定以下 4 个方程式, 如图 1.1 所示。

1 GPS 定位原理

* 指导教师: 田宝凤

项目类型: 创新项目

$$\begin{aligned} \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + c(v_{t_1} - v_{t_0}) &= d_1 \\ \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} + c(v_{t_2} - v_{t_0}) &= d_2 \\ \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} + c(v_{t_3} - v_{t_0}) &= d_3 \\ \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} + c(v_{t_4} - v_{t_0}) &= d_4 \end{aligned}$$

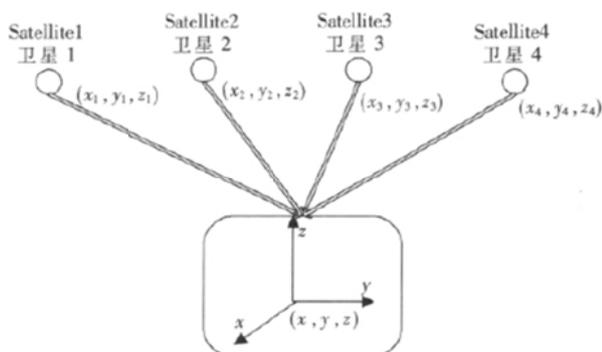


图 1.1 GPS 定位原理及其定位方程

上述 4 个方程式中待测点坐标 x, y, z 和 v_{t_0} 为未知参数, 其中

$d_i = cDt_i (i = 1, 2, 3, 4)$; $d_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 分别为卫星 1、2、3、4 的信号到达接收机之间的距离;

$Dt_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 分别为卫星 1、2、3、4 的信号到达接收机所经历的时间; c 为 GPS 信号的传播速度即为光速。

4 个方程式中各个参数意义如下 x, y, z 为待测点的空间直角坐标; $x_i, y_i, z_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 分别为卫星 1、2、3、4 在 t 时刻的空间直角坐标, 可由卫星导航电文求得; $v_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 分别为卫星 1、2、3、4 的卫星钟的时间差, 由卫星星历提供; v_{t_0} 为接收机的时钟差。由以上 4 个方程即可解算出待测点的坐标 x, y, z 和接收机的时钟差 v_{t_0} 。

GPS 接收模块都支持两种数据格式: SiRF 二进制格式和 NMEA-0183 ASCII 码, NMEA-0183 ASCII 码传输的波特率为 9600bit/s, 传输的数据格式为 8 位数据位和 1 位停止位, 无奇偶校验位, 数据为字符的 ASCII 码。SiRF 二进制格式的通信协议的波特率 4800bit/s。传输的数据格式为 8 位数据位和 1 位停止位, 无奇偶校验位, 输出数据为二进制形式。因为 NMEA-0183 ASCII 格式易于解析, 因此采用

NMEA-0183 ASCII 码格式。

如果与卫星的通信正常, 则可以接收到的数据格式如下:

SCPRMC, 204700,A, 3403.868,N, 11709.432,W,001.9, 336.9, 170698, 013.6, E*6E

数据说明如下:

\$GPRMC:代表 GPS 推荐的最短数据;

204700: UTC-TIME 24h 制的标准时间, 按照 h/min/s 的格式;

A: A 或者 V, A 表示数据“OK”, V 表示一个警告;

3043.868:LAT 纬度值, 精确到小数点前 4 位, 后 3 位;

N:LAT-DIR N 表示北纬, S 表示南纬;

11709.432:LON 经度值, 精确到小数点前 5 位, 后 3 位;

W:LON-DIR W 表示西经, E 表示东经。

GPS 定位的主要方法有: 静态定位、动态定位、绝对定位、相对定位以及差分定位。

静态定位: 就是我们在进行定位时, 认为 GPS 接收机的天线的位置是保持不动, 不会随着时间变化是一个固定的值, 它一般用于对于定位精度要求高的测量。具体操作方法, 就是多台 GPS 接收机分布在不同的测站, 而且在测量中间是要保持静止的同步观测。

动态定位: 就是我们在定位时, GPS 接收机的天线是随着时间变化而变化的, 就像我们把 GPS 接收机安装在车辆, 飞机上一样随时在移动, 而且速度很快。这样我们就可以测定 GPS 接收机的瞬间位置信息。

绝对定位: 就是获得 GPS 接收机天线的绝对位置点, 而且使用一台 GPS 接收机, 容点就是操作起来非常简单, 一般用于飞机, 勘探, 船舶等方面。

相对定位: 就是两台或多台 GPS 接收机同时接收同一个卫星发送的 GPS 信号, 这样就可以算出天线的三维坐标的一种方法。接收同一个卫星的 GPS 信号, 这样卫星钟的钟误差、卫星星历误差都差不多, 解算可以很好消除误差。具有很高的定位精度。特别在大地测量中有广泛的使用。

差分定位: 把 GPS 接收机放在三维坐标已知的基准站上, 求出校正值, 并通过无线电发这些校正值发送到各个待测点, 让它们对观测值进行修正。这是一种提高定位精度的方法。它具有单点定位的特点, 但是又需要多台接收机, 在基准站和流动站之间进行同步观测。所以我们说差分定位既具有单点定位, 又具有相对定位特性的定位模式。

2 硬件设计

系统主要由单片机最小系统（电源模块、串口模块、单片机、时钟模块等）、GPS 模块、GPRS 模块构成。GPS 模块作为数据采集器，接收卫星传来的数据信息，给系统提供数据输入，单片机最小系统作为整个系统的主控制器，实现对所采集的数据处理，GPRS 模块将处理后得到的信息传输到系统终端从而实现数据采集、数据处理、语音播报和信息显示等功能、系统整体设计如图 2.1 所示。

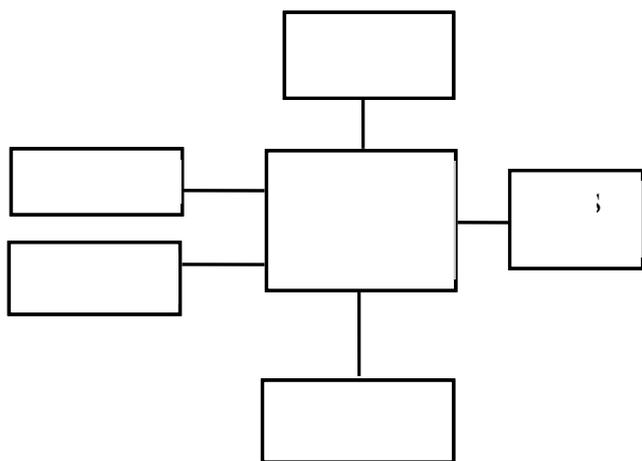


图 2.1 系统设计图

3 报警模块

超速报警器的设计将 GPS 监测的数据送入单片机记数。得到的数值通过与单片机内部设定值相比较。如果超过了键盘输入的最大值则可判断汽车超速，然后通过蜂鸣器报警提示。该系统由电源电路、时钟电路、复位电路、速度显示电路、按键电路、键盘（设定报警车速值）、报警电路、GPS 连接电路和控制单片机组成。如图 3.1 所示。

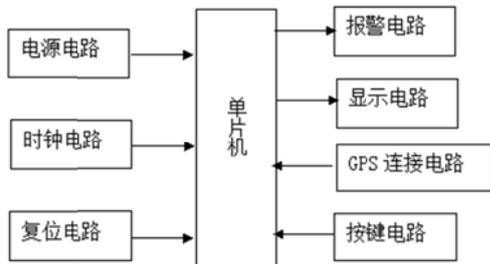


图 3.1 超速报警原理图

系统程序流程如图 3.2 所示。

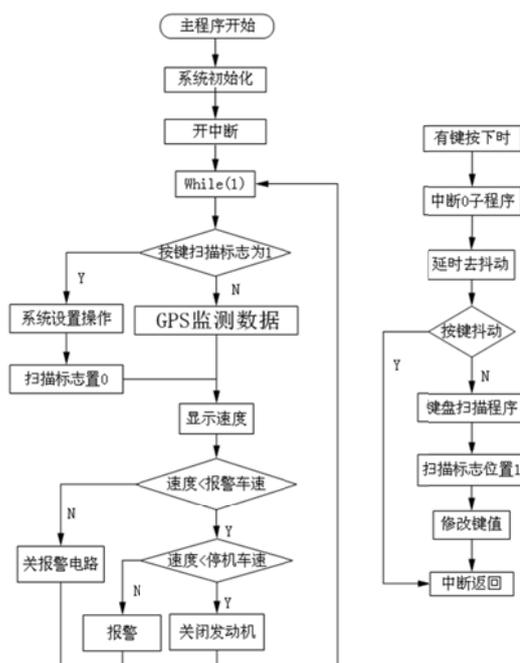


图 3.2 报警模块流程图

4 无线传输 GPRS 模块

通用分组无线服务技术(General Packet Radio Service)，是一种基于 GSM 的无线分组交换技术，提供端到端的、广域的无线 IP 连接，可以在移动终端与计算机网络的路由器之间提供分组传递业务。GPRS 网络可划分为两个部分：无线接入部分和核心网络部分。无线接入部分在移动交换中心与基站系统之间进行数据传递；核心网络在基站系统和标准数据通信网络边缘路由器之间中继传递数据。GPRS 中多个用户可以共享一个传输信道，每个用户只有在传输数据时才占用信道，即当前需要发送数据的用户可以享有所有的可用带宽。GPRS 提供给客户永远在线的服务，使得系统的实时性和可靠性得以保障；其基于流量计费而不是时间计费的方式，极大地提高了系统商业应用的可行性。

GPRS 系统本身采用 IP 网络结构，并对用户分配独立地址，将用户作为独立的数据用户，从而实现了从移动用户到网络的端到端的数据应用。为了承载数据，GPRS 系统引入了若干新的网元，如 PCU、SGSN、GGSN，以及其它单元如 DNS 和 DHCP 服务器用以辅助数据业务管理和应用，此外还包括网络时间协议 NTP 和计费网关 CG 等。GPRS 网络结构如图 4.1 所示。

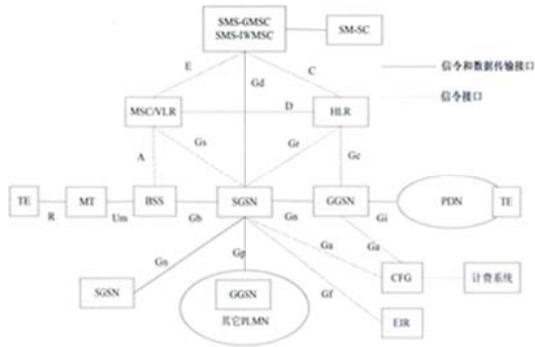


图 4.1 GPRS 网络结构及接口

5 结语

通过硬件及软件系统的设计，设计一种新型公交车报警及限速系统，利用单片机结合 GPS 全球卫星定位系统技术，当公交车驶入站点而没有停车是进行报警，有很强的实用价值。

参考文献

1. 顾元平, 何群, 武学旭. GPS 技术在城市坐标数据采集中的应用[J]. 矿石测量, 2005, 2(1): 39-42
2. 张洋. 基于 GPRS 技术的无线数据传输探究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012, 13(2): 3-5
3. 扬州. 基于 GPRS 的无线信息采集监控系统的设计与实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011
4. 周南. GPS 车载终端设备的设计和实现[D]. 兰州: 兰州大学, 2009
5. 甄建美. GPS 车载定位监控系统的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011
6. 张波. GPS 自动报站系统的设计与实现[J]. 电子元件. 2006(2): 57-59
7. 文科, 张永生. 基于 GPS 技术的公交车控制器[J]. 自动化与仪表. 2009(2): 19-21
8. 徐杨. 汽车行驶记录仪无线数据检测系统的设计与实现[D]. 南昆南航人学. 2013
9. 微科电子有限公司. MRU3 GPS&GPRS 物联网模块技术说明书
V1.0[DB/2L]. <http://www.vkelcom.com/web/down.htm>
1, 2013-06-07
10. 刘晓杰. 汽车 GPRS 防盗报警系统的设计与实现[D]. 大连:

大连理工大学, 2010

11. 丁奇, 阳祯. 大话移动通信[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011: 99-102
12. 陈娟娟. 基于 GIS 与 GPS 的车辆定位监控系统[D]. 天津: 天津大学, 2012
13. 张永生. 基于 GPS/GPRS 的公交车自动报站系统设计[J]. 现代电子技术, 2009, 32(19): 325-333
14. 张翠芳. GPS 卫星定位算法设计与验证[D]. 成都: 电子科技大学, 2011

机场跑道灯清洗装置*

司昌鹏；刘猛；赵东；刘长英

(吉林大学仪器科学与电气工程学院， 长春 130012)

摘要：飞机起飞和下降时，因轮胎与跑道高速摩擦，会产生大量的橡胶粉尘。经一段时间后，这些橡胶粉尘和废气污染物便会积存于跑道灯表面上，跑道灯的亮度便渐渐下降，影响飞机的着陆。为了提升清洗的效果和弥补人工清洗的不足，可以利用高压水枪喷洗跑道灯，喷洗结束之后，机器里面的自动刷子会将跑道灯擦拭干净，达到光亮的地步，同时回收清洗后的污水，达到清洁减排的效果。本文采用西门子 S7-200 控制配以传感器的亮度反馈，达到自动清洗的目的。

关键词：西门子 S7-200 自动清洗 光照度传感器

中图分类号：TP23

文献标识码：A

Cleaning device for airport runway lights

Si Changpeng; Liu Meng; Zhao Dong; Liu Changying

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

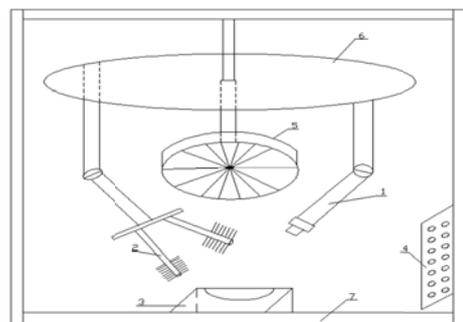
Abstract: When the plane took off and fall, because of the high-speed friction between tire and track, it will generate a lot of rubber dust. After a period of time, these rubber dust and exhaust gas pollutants will accumulate on the surface of the runway lights. The brightness of the runway lights will gradually decrease, and it will affect the landing of the aircraft. In order to enhance the cleaning effect and compensate for the lack of manual cleaning, we can use water cannons to spray runway lights. After the end of the spray, brush inside the machine will automatically wipe clean runway lights, reaching the point of light. Meanwhile dirty water will be recycled, so as to achieve the goal of clean emissions. In this paper, Siemens S7-200 control motor, coordinated with the brightness of the light sensor feedback, so as to achieve the purpose of self-cleaning.

Key words: Siemens S7-200 Automatic cleaning Illuminance sensor

0 引言

采用亮度检测装置检测跑道灯是否符合规定的亮度。根据其亮度值定时刷洗跑道灯。利用毛刷清洗跑道灯，毛刷工作的同时，高压水枪不断的喷水，两者相结合，达到清洗干净。清洗结束的时候烘干风扇会将跑道灯上面的水滴烘干。再次进行亮度检测，达标后停止清洗。否则继续清洗。清洗产生的污水会进入装置的回收系统，达到回收无污染。重点是需要利用亮度检测装置，感受到灯光的亮暗，进而对清洗装置进行定时，循环。难点是装置的组合及其自动化的实现。

1 系统整体结构

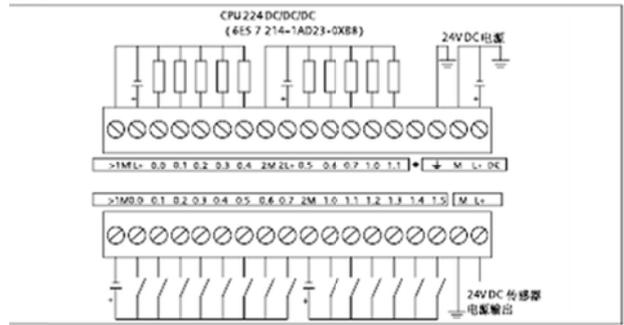


1. 高压水枪 2. 毛刷 3. 跑道灯 4. 光照度传感器 5. 烘干风扇 6. 旋转盘 7. 污水回收装置

* 指导教师：刘长英

项目类型：创新项目

高压水枪：提供水源，冲洗跑道灯表面的污渍。
 毛刷：在水枪清洗的同时，不断的洗刷的跑道灯上的污渍。
 旋转盘：带动连接其上的水枪和毛刷进行转动，让跑道灯的每个角落都能清洗干净。
 烘干风扇：烘干跑道灯表面的水滴。
 光照度传感器：检测清洗之后跑道灯的亮度。亮度达标之后停止工作。否则继续清洗。
 污水回收装置：将清洗的污水回收起来。减少污染。



CPU224 接线图

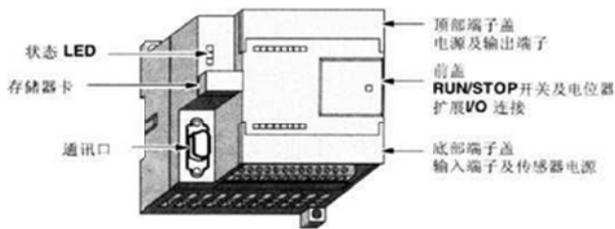
2 中心控制单元

S7-200PLC 是德国西门子公司生产的一种小型 PLC，其许多功能可达到大、中型 PLC 的水平，而价格却与小型 PLC 的一样，因此，它一经推出，就受到了广泛的关注。

它的主要特点是：较高的可靠性、丰富的指令集、丰富的内置集成功能、实时特性强和强大的通信能力。本装置中的西门子 S7-200 包含 CPU224 和模拟量输入模块 EM231。

2.1 CPU224 的技术指标

CPU224 本机集成 14 点输入/10 点输出，共有 24 个数字量 I/O，它可连接 7 个扩展模块。



CPU224 外观图

2.2 CPU224 接线图

DC 输入端由 1M、0.0~0.7 为第 1 组，2M、1.0~1.5 为第 2 组，1M、2M 分别为各组的公共端。24VDC 的负极接公共端 1M 或 2M。输入开关的一端接到 24VDC 的正极，输入开关的另一端连接到 CPU224 各输入端。

DC 输出端由 1M、1 L+、0.0~0.4 为第 1 组，2M、2L+、为第 2 组组成。1L+、2L+ 分别为公共端。第 1 组 24VDC 的负极接 1M 端，正极接 1L+ 端。输出负载的一端接到 1M 端，输出负载的另一端接到 CPU224 各输出端。第 2 组的接线与第 1 组相似。

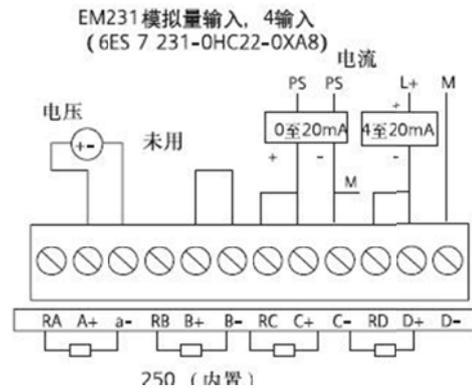
2.3 模拟量输入模块 EM231

EM231 具有 4 路模拟量输入，输入信号可以是电压也可以是电流，其输入与 PLC 具有隔离。

M 为 24VDC 电源负极端，L+ 为电源正极端 RA、A+、A-； RB、B+、B-； RC、C+、C-； RD、D+、D- 分别为第 1~4 路模拟量输入端。

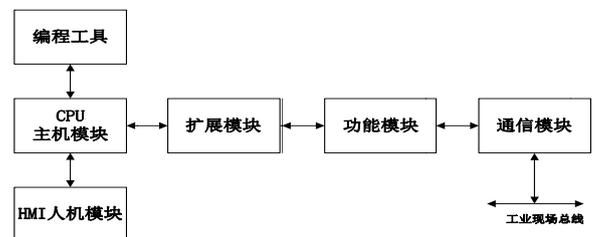
电压输入时，‘+’ 为电压正端，‘-’ 为电压负端。

电流输入时，需将 R' 与 + 短接后作为电流的进入端，为电流流出端。



EM231 接线图

2.4 电机驱动



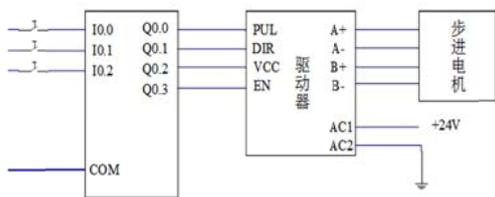
主机单元：主机单元，又称基本单元或 CPU 模块。它由 CPU、存储器、基本输入/输出点和电源等组成，是 PLC 的主要部分。实际上它就是一个完整的控制系统，可以独立完成一定的控制任务。

扩展单元：扩展单元，又称扩展模块。当主机

I/O 点数量不能满足控制系统的要求时，用户可以根据需要扩展各种 I/O 模块。根据 I/O 点数不同、性质不同、供电电压不同，I/O 扩展模块有多种类型。每个 CPU 所能连接的扩展单元的数量和实际所能使用的 I/O 点数是由多种因素共同决定的。

特殊功能模块：当需要完成某些特殊功能的控制任务时，需要扩展功能模块。它们是完成某种特殊控制任务的一些装置，如运动控制模块、特殊通信模块等。

相关设备：相关设备是为充分和方便利用系统的硬件和软件资源而开发、使用的一些设备，主要有编程设备、人机操作界面和网络设备等。



PLC 控制接线图

```

LD    SM0.1
R     M0.0, 8
R     Q0.0, 2
R     T37, 8

LD    I0.0
LPS
AN    T38
TON   T37, 100  正转 10 秒
LPP
A     T37
TON   T38, 100  反转 10 秒
    
```

3 灯光检测装置

3.1 光照度传感器概述

光照度变送器是采用具有较高灵敏度的感光探测器，配合高精度线性放大电路，经过严密检测、生产的具有多种光照测量范围和信号输出类型的实用型产品。变送器外壳采用壁挂安装设计，结构精致、外型美观，是一款应用范围广泛、性价比极高的光照度测量产品。



传感器外观图

此款传感器包含三个外部引脚，分别是红（正）、黑（负）、蓝（模拟量输出）。

3.2 光照度传感器技术参数

- 1、供电：0~10mA 输出型
- 2、测量范围：0~2000Lux（推荐室内型）
- 3、测量精度：±5%
- 4、测量分辨率：1Lux（2000Lux）
- 5、安装：壁挂式
- 6、输出：0~10V

3.3 数据测量

全阴影：0.15v 半阴影：0.61v
 日光：1.45v 微光：1.75v
 强光：2.92v

（测试距离：灯光离传感器 7cm）

注：当灯光离传感器距离减小时，随灯光强度的增加，电压值增大，最大值 10v。

3.4 模块程序

```

LD    I0.0      光照度检测
LPS
AW<=  VW0, 4751  电机转动
=     M0.0
LPP
AW>   VW0, 4751  电机停止
=     M0.1
    
```

4 系统测试结果及分析

设定基准值为 1.45v（日光），电压值随光照强度的增加而增大。当电压值小于 1.45v 时（灯光较暗，说明指引等表面油污程度较大），电机转动，带动毛刷对灯进行清洗。当电压值大于 1.45v 时，灯油污程度小，则电机不会转动，也不会进行清洗。

5 结论

本文论述了基于 PLC 的步进电机控制系统的设计方法和研制过程,包括硬件设计、软件设计以及系统组态等方面。硬件电路用西门子 PLC、驱动器和步进电机设计而成。软件程序用 PLC 梯形图和语句表语言写成。

在本次设计中,利用软硬件结合,实现对步进电机工作状态的控制。利用 PLC 输出的脉冲和方向信号,改变对步进电机绕组的通电方式和通电顺序,来准确控制步进电机的正转、反转、加速、减速、匀速等工作状态。通过设定不同计时器的数值,来改变步进电机的工作频率。目前利用可编程序控制器(即 PLC 技术)可以方便地实现对电机速度和位置的控制,方便地进行各种步进电机的操作,完成各种复杂的工作,它代表了先进的工业自动化技术水平,加速了机电一体化的实现。

参考文献

1. 张均东,任光.基于局域网的助航灯光综合监控设计[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(1): 122—126. Zhang Jun Dong, Ren Guang, LAN airfield lighting design is based on comprehensive monitoring [J] Transportation Engineering, 2002, 2 (1): 122-126.
2. 陈雷. 机场助航灯光计算机监控系统[J]. 福建电脑, 2002(9): 29—31. Chen Lei airport airfield lighting computer monitoring system [J] Fujian computer, 2002 (9): 29-31.
3. 吴明. 汽车远灯光强和照度试验分析[J]. 公路与汽运, 2005, 4(2): 11—12. Wu Ming, auto high beam light intensity and illumination test analysis [J] road with trucks, 2005, 4 (2): 11-12.
4. 肖金林,翁正新.西门子数据通信的研究[J]. 北京:微型电脑应用, 2006, 22(4): 50-51. Xiao Jin Lin, Weng Zheng Xin, Siemens Data Communication Research [J] Beijing: Microcomputer Applications, 2006, 22 (4): 50-51.
5. 廖常初,等.PLC 编程及应用[M].北京:机械工业出版社, 2005. Liao Changchu, et. PLC programming and application [M] Beijing: Mechanical Industry Press, 2005.
6. 西门子公司.SIMATICS7-200 可编程控制器系统手册 [M]. 北京:机械工业出版社, 1999. Siemens .SIMATICS7-200 Programmable Controller System Manual [M] Beijing: Mechanical Industry Press, 1999.
7. 秦益霖,张志柏.深入浅出西门子 S7-200PLC[M]. 北京:机械工业出版社, 2003 Qin Yilin, Zhang Zhibo. Siemens layman S7-200PLC [M] Beijing: Mechanical Industry Press, 2003.
8. 胡秋生,刘守祥,张云华.喷刷式水果清洗机的设计 [J]2007.6:91-93; Hu Qiusheng, Liu Shouhua, Zhang Yunxiang. Stencilled design style fruit washing machine [J] 2007.6: 91-93;
9. 崔坚,李佳,杨光.西门子工业网络通信指南[J]. 仪器仪表学报, 2001 (6): 34-38、48. Cui Jian, Li Jia, Yang Guang. Siemens Industry Network Communications Guide [J] Journal of Scientific Instrument, 2001 (6): 34-38, 48.

非接触式心电信号采集装置实验研究*

洪嘉琛;王京椰;冷思达;李肃义

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 介绍一种非接触式心电信号采集装置的电路设计, 该设计采用电子织物电极, 基于电极与人体皮肤之间的容性耦合原理, 以 AD620 和 OP07 为核心元件, 分析心电信号的特点和干扰组成, 对采集到的信号通过前置放大电路进行放大, 并通过低高通滤波、及 50Hz 陷波电路滤除干扰, 通过后置放大电路进一步放大得到心电波形。最后通过 MSP430 单片机模数转换后进行存储, 并通过液晶显示器显示实时心电波形。该装置具有高输入阻抗、高共模抑制比、低噪声、高信噪比等优点。

关键词: 非接触; 心电信号; 滤波器; 放大电路;

中图分类号: TN791

文献标识码: A

Noncontact monitoring of ECG

HONG Jia-chen ;WANG Jing-ye ;LENG Si-da; LI Su-yi ;

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130012)

Abstract: This paper introduces a circuit design of non-contacting ECG acquisition device. This design employs textile electrode , based on the capacitive coupling theory between the electrode and body . This design employes AD620 and OP07 as its core. Through the major components of the ECG signal and the frequency range of interference were analysed, weak ECG signal collected by the electrodes was amplified by the preamplifier circuit, and then was filtered out the interference by using a low-pass filter,a high-pass filter,50Hz notch filter and back amplifier circuit, a right wave of ECG was gotten.Finally The wave can be registered after converted to digital signals by MSP430 single chip. Also the real-time cardiograph can be displayed by LCD. The characteristics of the system show in the merits of high input impedance , high CMRR , low noise and high SNR (signal to noise ratio) and so on.

Key words: Noncontact;ECG ;filter;amplifier circuit;MSP430 single chip

0 前言

2014 年 8 月 8 日,《中国心血管病报告 2013》发布^[1]。报告显示,心血管病死亡占城乡居民总死亡原因的首位,农村为 38.7%,城市为 41.1%;中国心血管病危险因素流行趋势明显,导致心血管病的发病人数持续增加,而今后 10 年心血管患病人数仍将快速增长^[2]。因此,心血管疾病的早期长期监护是十分必要和重要的。心电图作为一种通过皮肤记录心脏电生理活动的诊疗技术,以其诊断可靠、方法简便、对病人无损害等特点,成为诊断心血管疾病的重要手段之一^[3]。

但是,常规心电图若直接用于心血管疾病的随时检测和长期监测,存在较多局限性:常规心电监测系统需要将电极直接接触患者的皮肤,但心电采集电极若长时间接触人体皮肤,会造成患者皮肤红肿,瘙痒等不适症状,降低信号检测过程的舒适度,同时也会引起心电电极的极化现象,产生极化电压,引入基线漂移等噪声,影响检测结果^[4]。

该实验研究开发的非接触式心电信号检测系统,能把信号检测过程对受试者所造成不适降到最低,并且系统结构简单,操作简便,信号检测条件限制小。受试者无需裸露皮肤,随时随地就能进行心电信号检测。因此非接触式心电信号检测系统可满足心血管疾病防治中随时检测和长期监测的要求,具

* 指导教师:李肃义

项目类型:创新项目

有很好的应用前景和发展潜力。

1 非接触式心电采集原理与方法

1.1 非接触式心电信号采集原理

医用级导电织物既可以通过织物与人体皮肤表面的直接接触进行生理电信号的采集与传导, 又可以通过容性耦合原理, 在织物与人体表面间隔一层衣物的情况下进行心电信号的采集。当织物电极与皮肤表面间隔一层衣物时, 导电织物、人体皮肤以及衣物可以近似认为构成了一个容性元件, 根据同性电荷相斥、异性电荷相吸的原理, 导电织物靠近皮肤的部分会拥有与皮表电信号电性相反的电荷, 而与皮表电信号电性相同的电荷会通过导联线被传送到信号调理电路。容性电极耦合模型如图 1 所示。

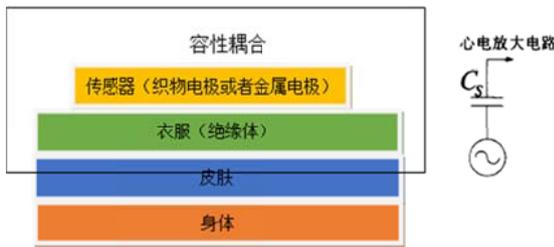


图 1 容性电极耦合模型

Fig.1 Capacitive coupling model

1.2 系统硬件设计原理

由于心电信号的有效范围在 $0.05\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$, 且主要频谱能量处于 $0.25\text{Hz} \sim 35\text{Hz}$, 幅值大约处于 $0.05\text{mV} \sim 5\text{mV}$ 。导电织物电极采集到的心电信号, 先通过前置放大部分, 将微弱的心电信号高保真放大, 并通过低通滤波、高通滤波及 50Hz 陷波滤除干扰, 才能进行 A/D 转换^[5]。心电信号放大电路原理框图如图 2 所示。



图 2 系统硬件设计原理框图

Fig.2 Functional block diagram of design of the hardware in the system

2 心电电极选择

常规心电监测系统需要将电极直接接触患者的皮肤, 但心电采集电极若长时间接触人体皮肤, 会造成患者皮肤红肿, 瘙痒等不适症状, 同时也会引起心电电极的极化现象, 产生极化电压, 引入基线

漂移等噪声, 影响检测结果。我们选用织物电极作为非接触心电信号采集电极。

我们利用这种电极与人体之间的容性耦合来实现信号检测。容性电极通过由测量电极, 绝缘体和被测者皮肤之间容性耦合的电容, 可以检测到生物电压。织物电极伏安特性曲线如图 3 所示:

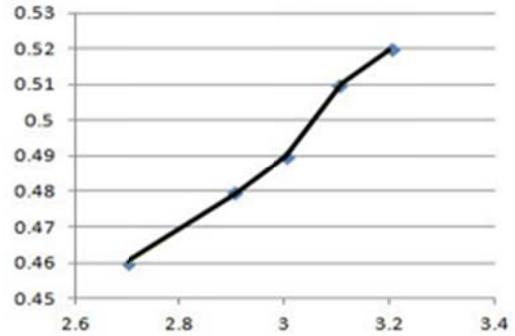


图 3 织物伏安特性曲线

Fig.3 Volt-ampere characteristics of textile

3 硬件系统设计

3.1 心电调理电路原理以及各模块设计

系统硬件结构上分主要包括信号采集模块, 信号滤波以及信号放大模块。信号放大主要包括初级放大以及二级放大两大模块, 信号滤波主要包括低通滤波, 高通滤波以及工频滤波三部分^[6]。

3.2 输入跟随器设计

如图 4 所示, 输入跟随器可以提高输入阻抗、获取更多的心电信号, 同时还具有抑制共模干扰的作用。采用高精度运算放大器 OP27, 具有超低失调电压, 超低失调偏移, 电路中 R3 和 R5 为偏置电流提供通路, 电阻 R2 和 R4 与 OP27 构成反馈回路来满足偏置要求, 同时增加了电路的输入阻抗。

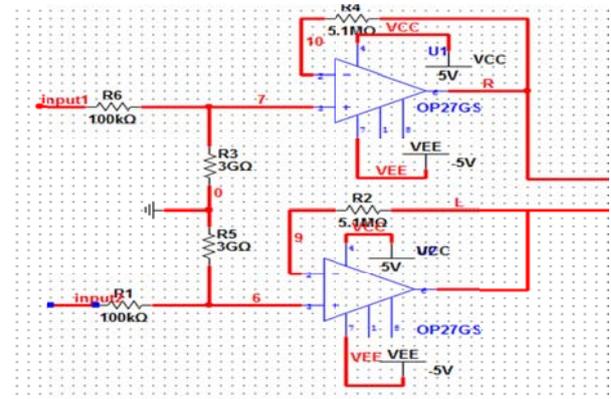


图 4 输入跟随电路原理图

Fig.4 Schematic diagram of input following circuit

3.3 初级放大器设计

初级放大电路选择 AD 公司的高精度仪表放大

器 AD620，电路原理图如图 5 所示。图中 U3 为初级放大电路。U4 为右腿驱动电路，右腿驱动电路主要用于滤除由人体引入的共模干扰，尤其是 50Hz 工频干扰，由此提高共模抑制比。电路将初级放大电路中的共模信号检出，经过反相，放大流回右腿，同时通过电阻网络有效抑制 50Hz 工频干扰^[7]。

由于 AD620 输入端直接与心电电极相连，而电极通常会存在电极电位，当有外电场作用时，电极电位还会发生变化。如果两个电极电位的值相同，则作为共模信号流入初级放大电路，前置放大电路可以克服一定的共模电压。但是电极电位通常是不会完全相等的，此时两电极电位之差作为差模信号被放大，就会导致运放的静态共作点不稳定，容易出现截止失真或饱和失真。这种电极电位的存在使得初级放大电路的增益不能太大，一般设置在 10 倍以内，一方面避免了饱和，另一方面也降低了共模抑制比。

R_g 为 R_7, R_8, R_9 并联，所以增益见公式 (1)

$$G1 = \frac{49.4k\Omega}{R_g} + 1 = 8.4 \quad (1)$$

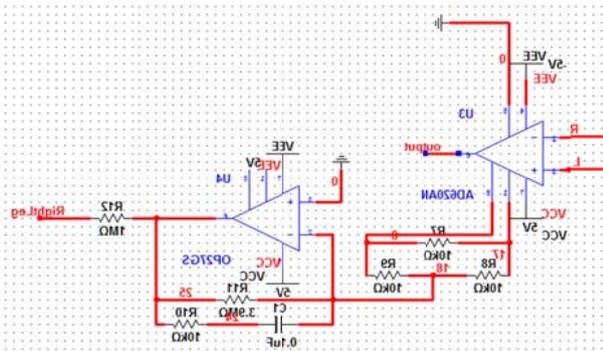


图 5 初级放大原理图

Fig.5 Schematic diagram of primary amplification

3. 4 低通滤波器设计

由于心电信号的频率在 100Hz 以下，为了消除肌电及电磁信号等高频干扰，设计了低通滤波器，其上限截止频率为 $f_H=100\text{Hz}$ 。采用图 6 所示的滤波电路，此电路为一种常用的二阶低通滤波器^[8]。

设截止频率为 f_H 见公式 (2)

$$f_H = \frac{1}{2\pi RC} = 100.47\text{Hz} \quad (2)$$

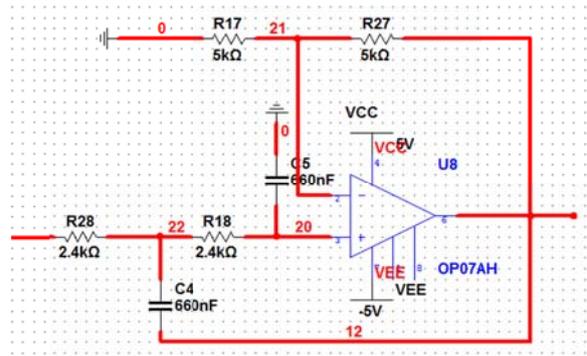


图 6 低通滤波器原理图

Fig.6 Schematic diagram of low pass filter

3. 5 高通滤波器设计

为消除前置心电放大电路输出由人体呼吸及其引起的电极移动等低频干扰信号，并且减少失真，得到较好的衰减特性降低元件的灵敏度，采用二阶巴特沃思滤波器进行高通滤波设计，采用多重反馈的二阶有源高通滤波结构^[9]，本文设计的高通滤波电路如图 7 所示。高通滤波器幅频特性如图 8 所示。

我们设截止频率为 f_p 见公式 (3)

$$f_p = \frac{1}{2\pi RC} = 0.033\text{Hz} \quad (3)$$

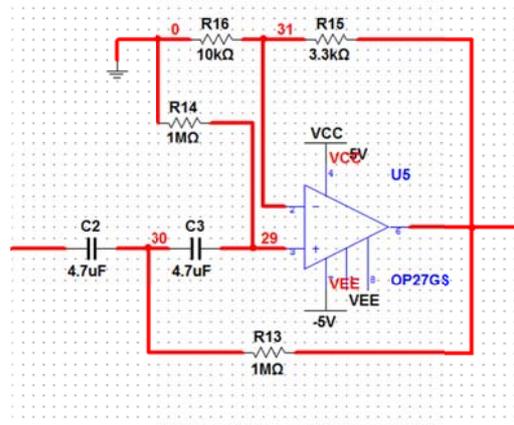


图 7 高通滤波器原理图

Fig.7 Schematic diagram of high pass filter

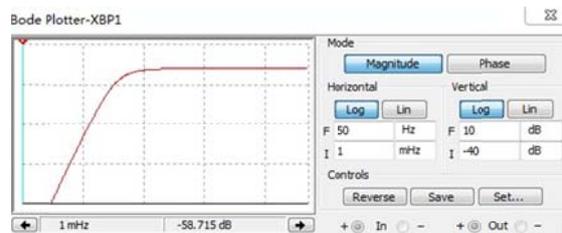


图 8 高通滤波器幅频特性

Fig.8 Magnitude-frequency characteristic of high pass filter

3. 6 二级放大设计

二级放大电路如图 9 所示。调节电位器 R_{29} 可以

调节心电信号处理电路的总增益。主增益见公式(4)

$$G = 1 + \frac{R_{29}}{R_{22}} \quad (4)$$

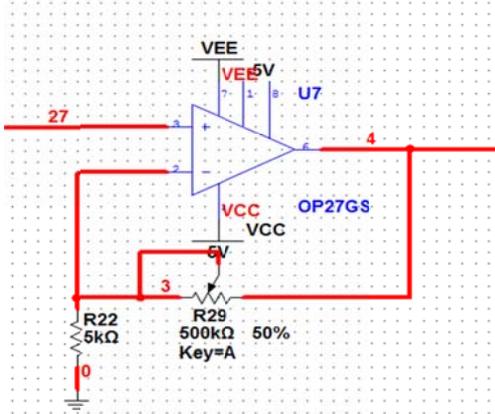


图 9 二级放大电路原理图

Fig.9 Schematic diagram of the secondary amplifying circuit

3.7 陷波器电路设计

市电电压的频率为 50Hz，它所带来的工频干扰是心电信号的主要干扰之一。它会以电磁波的辐射形式，对人们的日常生活造成干扰，前置心电放大电路虽然对共模干扰有较强的抑制作用，但还有一部分工频干扰以差模形式进入电路，而且频率为 50Hz 的工频干扰刚好处于心电信号的频带之内，由于心电信号本身比较微弱，因此我们需要设计一个陷波器滤除工频干扰^[10]。

本设计选用 UAF42 通用滤波器，此滤波器通用性极强，可根据不同需要设计高通、低通、带通、带阻滤波器，频率分布于 0~100kHz，同时还有专门针对此滤波器的设计软件 FILTER42，软件中输入电路要求参数，可以求得电路原理图，元器件参数，以及滤波器仿真效果图。

本设计输入陷波中心频率为 50Hz，带宽 15Hz，滤波器阶数为 2，得到的电路元件参数如表 3.1 所示。

$F_n(\text{Hz})$	50	$RQ(\text{k}\Omega)$	10
$BW(\text{Hz})$	10	$Rz1(\text{k}\Omega)$	3.3
Q	3.32	$Rz2(\text{k}\Omega)$	3.3
$RF1(\text{M}\Omega)$	3.9	$Rz3(\text{k}\Omega)$	10
$RE2(\text{M}\Omega)$	3.9		

由于理论电阻与实际电阻值存在一定差距，实际选择电阻参数后，陷波器原理图如图 10 所示。

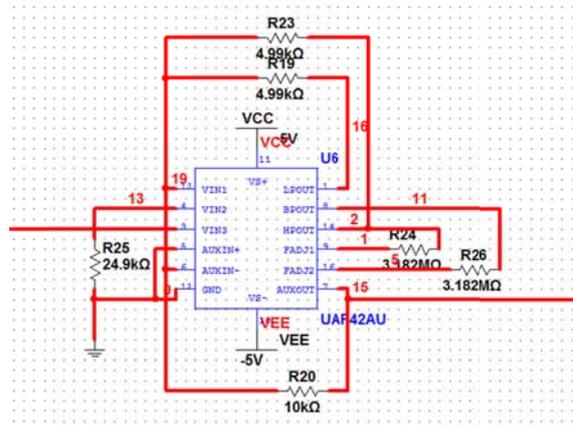


图 10 陷波器电路原理图

Fig.10 Schematic diagram of trap circuit

3.8 电平抬升电路设计

信号经过二级放大后，输出的信号有正有负，由于 AD 转换电路只能转换单极性信号，而陷波器输出信号为双极性信号。因此我们设计了电平抬升电路。加法器所用的芯片为 OP07。电平抬升电路如图 11 所示。

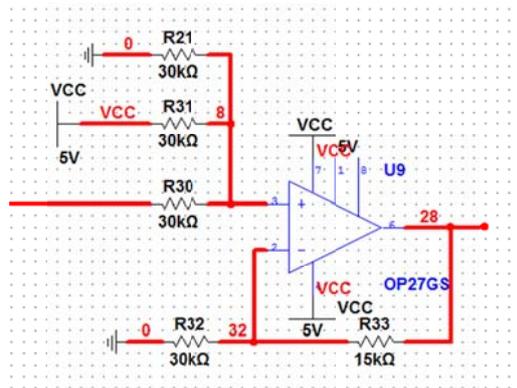


图 11 电平抬升电路原理图

Fig.11 Schematic diagram of level up circuit

经电平抬升后，输出见公式 (5)

$$V_{out} = \frac{1}{2}(V_{in} + V_{cc} + \text{GND}) \quad (5)$$

4 MSP430 单片机简介

基于微型化和低功耗设计的考虑，该装置采用 MSP430 单片机作为硬件电路控制，数据处理及传输的核心部件。该单片机内部自带一个 12 位的模数转换器，完全可以满足该装置的 A/D 转换要求。并且它功耗低，体积小，外围模块十分丰富，非常适合于设计微型化、低功耗产品。系统硬件组成框图如图 12 所示。

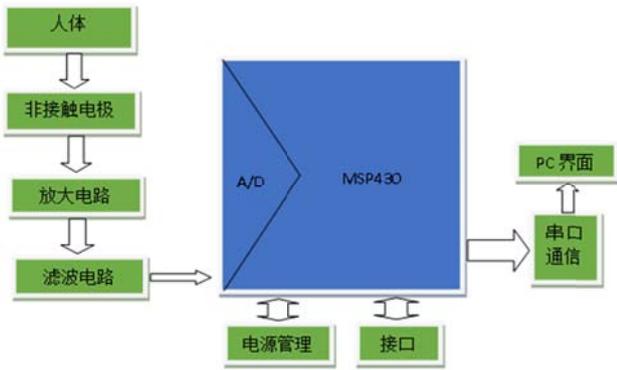


图 12 系统硬件组成框图

Fig.12 Block diagram of the system hardware composition

5 软件设计

该装置软件使用C语言编程,采用模块化结构。首先进行系统初始化,采用定时溢出的方式。主要由模数转换、数据传输以及LCD显示模块组成。软件程序流程如图13所示。

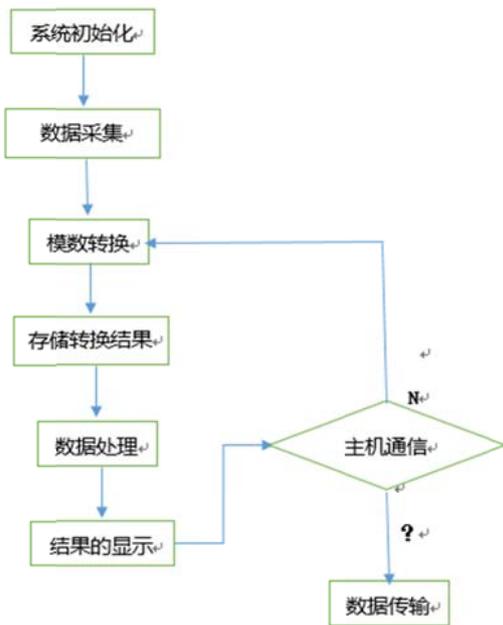


图 13 系统软件流程图

Fig.13 Block diagram of software system

6 电路测试与实验结果

心电信号调理电路首先要测试滤波器的滤波效果,通过对比滤波以前的信号,与滤波后的心电信号比较,得到信号的滤波效果。图14为初级放大器输出信号,图15为滤波后输出信号。

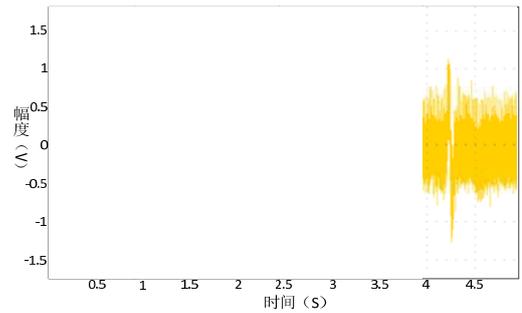


图 14 初级放大器输出信号

Fig.14 Output signal of primary amplifier

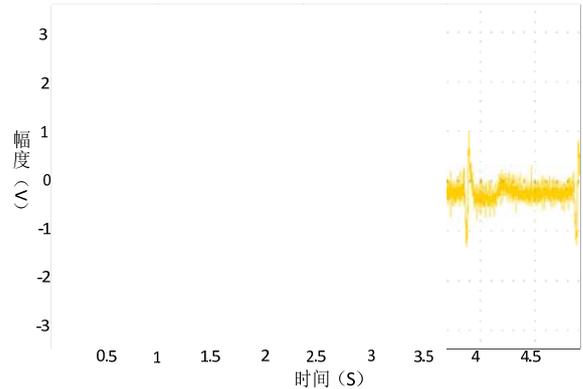


图 15 滤波后输出信号

Fig.15 Output signal of filter

7 总结

心电信号的实时观测为心脏疾病治疗提供了极大便利,而非接触式心电信号监测又有效的减少了心电信号长期观测对病人带来的不适。本文根据心电信号产生机理,完成了非接触式心电信号检测的硬件设计,通过对系统测量,本设备基本达到了可以实时稳定监测心电波形的功能。硬件系统实现的功能如下:

- 1、能够将心电信号放大、抬升到要求的幅度;
- 2、能够滤除心电信号中的高低频干扰,工频干扰。

8 结束语

上述方法成功地设计实现了非接触式心电信号采集电路部分,放大电路具有高增益高输入阻抗、高共模抑制比、低噪声、低漂移、合适的带宽和动态范围等特点,电路能在较为理想的背景下,通过织物电极将微弱的心电信号检测出来并放大。硬件设计电路满足实际要求,可用于心电采集,并获得较好的心电信号。

参考文献

1. 胡永生和顾东风, “中国1980-2010年心血管疾病流行病学研究回顾”, 中华流行病学杂志, 2011, 32(11), pp. 1059-1064.
Hu Yong-sheng and Gu Dong-feng ,”The review of research of CVD in China in1980-2010”, Chinese epidemic disease magazine, 2011, 32(11), pp. 1059-1064.
2. 胡盛寿, 孔灵芝, 高润霖等, “中国心血管病报告2010”, 中国大百科全书出版社, 2011.
Hu Sheng-shou,Kong Ling-zhi,Gao Run-lin,”The report of CVD in China in 2010”,Encyclopedia of China Publishing House,2011.
3. 卢喜烈, 心电图基础理论, 天津科学技术出版社, 2005:1-16.
Lu Xi-lie,ECG basic theory,Tianjin science and technology publishing house, 2005:1-16.
4. 彭承琳, 生物医学传感器原理及应用, 高等教育出版社, 2000:201-207.
Peng Cheng-lin,The principle and application of biomedical sensor,Higher Education Press.,2000:201-207.
5. 曾庆勇, 微弱信号检测, 第2版, 浙江大学出版社, 1994.
Zeng Qing-yong,Weak Signal Detection,The second edition,Zhejiang University Press,1994.
6. 黄越, 一种便携式动态心电监测系统的研究与开发[D]. 吉林大学, 2013:1-47.
Huang Yue,The research and development of the portable dynamic ecg detection system[D].Jilin University, 2013:1-47.
7. 张帷, 张石, 鲍喜荣, 等. 便携式心电监护仪前置放大电路和抗干扰的设计 [J]. 医疗设备信息, 2005, 20(10):7-9.
Zhang Wei,Zhang shi,Bao Xi-rong,Pre-amplifier circuit design of portable electrocardio monitoring instrument[J].Information of Medical Equipment, 2005,20(10):7-9.
8. 康华光, 陈大钦. 电子技术基础--模拟部分[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2002
Kang Hua-guang,Chen Da-qin.Fundamentals of electronic technology—analog parts[M].The forth edition.Beijing:Higher Education Press,2002
9. 邓亲恺. 现代医学仪器设计原理[M]. 北京: 科学出版社, 2004
Deng Qin-kai.Modern design principle of medical equipment[M].Beijing:Science Press,2004
10. 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004:345-361.
Dong Shi-bai,Hua Cheng-ying.Fundamentals of analog electronic technology[M].Beijing: Higher Education Press, 2004:345-361.
11. 王三强, 何为, 石坚. 新型脑电信号前置级放大电路设计[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(6):51-53.
Wang San-qiang,He Wei,Shi Jian.The new eeg preamplifier circuit design[J].Journal of Chongqing University, 2006,29(6):51-53.
12. W.M.Portnoy,R.M.David,and L.A.Akers.Insulated ECG eletrodes,in Biomedical Eleetrode Teehnology-Theory and Practice, H.A.Miller and D.C.Harrison,Eds.NewYork:Academic,1974,pp.7—39
13. C.J.Harland,T.D.Clark,and R.J.Prance.Electric potential Probes-new directions in the remote sensing of the human body, Meas.Sci.Teehnol,vol.13,pp.163—169,2002.
14. H.W.Ott,Noise Reduetion Teehniques in Electronic Systems,NewYork:Wiley,1988,pp.244—273.
15. 蒋庐俊,杨李萍,陈会,等.基于MSP430FG439超低功耗MCU便携式心电监护仪的研究[J].大众科技,2010(10):48-50.
Jiang Lu-jun,Yang Li-ping,Chen Hui,Based on the MSP430FG439 study of ultra-low power MCU portable ecg monitor[J].Popular Science, 2010(10):48-50.

地面核磁共振找水仪标定衰减网络的设计与研究*

刘志尧；徐鹏；赵莹；蒋川东

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要：本设计将磁环线圈耦合的方法应用到核磁共振找水仪标定衰减网络中，通过对磁环、绕线的严格筛选，和对不同匝数和输入级阻抗的线圈进行对比测试，从而达到稳定的、可靠的衰减倍数；并且对磁环耦合电路的输出级进行阻抗、感抗匹配设计，使其尽可能模拟野外环境的阻抗和感抗，以达到对核磁共振找水仪更为准确的标定结果。通过室内测试结果表明：本设计使衰减倍数大大提高，衰减后信号稳定，有效的抑制环境干扰，提高标定准确度和野外工作效率。

关键词：磁环耦合 阻抗匹配 衰减网络

中图分类号：TG156 文献标识码：A

Research and design of the attenuation network for the surface nuclear magnetic resonance (NMR) groundwater detection calibration device

Liu Zhiyao; Xu Peng; Zhao Ying; Jiang Chuandong

(College of instrument science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The application of the method of circular and coupled to the nuclear magnetic resonance(NMR) to find water meter calibration device attenuation in the design of the network. Through the circular, the strict screening of winding and the coil number of turns, the input impedance contrast test, to achieve stable and reliable multiples attenuation. For circular and coupling impedance circuit of input stage, the impedance matching design, make the simulation of the impedance of the outdoor environment and impedance as far as possible, in order to achieve the result of the nuclear magnetic resonance(NMR) water meter more accurate calibration. This design with the method of the coupling coil, the magnetic flux distribution in the circular, reduced the magnetic leakage, effectively restrain interference environment, improve the calibration accuracy and efficiency of field work.

Key words: Circular coupling Impedance matching Attenuation network

0 前言

核磁共振找水仪室内检测标定装置是核磁共振找水仪的相关装置之一，负责对安装制作核磁共振找水仪时进行检测标定，保证每台仪器的稳定性和准确性，是核磁共振找水仪稳定工作的支撑和保证^[1]。

核磁共振找水仪接收装置中的传感器接收到的NMR信号在几nV到几百nV范围内，频率从1kHz到3kHz，这就需要高增益的放大器，面对如此高

增益的放大器，在室内如何对其进行标定尤为重要。王应吉^[2]对核磁共振找水仪室内检测标定装置进行了研发，提供了在一定程度上能够通过室内模拟野外实验条件检测仪器功能是否正常的装置和检测方法，并对核磁共振找水仪器进行系统检测和标定。

本文将对标定放大器的衰减网络进行进一步的研究和设计。本设计将磁环线圈耦合的方法应用到核磁共振找水仪标定衰减网络中，通过对磁环线圈前后级绕线匝数和阻抗、感抗匹配，获得更为稳定，衰减倍数更大，可靠性更强的衰减网络。在不同的绕线匝数和输入阻抗条件下，对衰减网络进行对

* 指导教师：蒋川东

项目类型：创新项目

比测试，将得到的曲线进行拟合，获得更准确的参考曲线及线圈特性。

1 方案设计

1.1 试验方法

本设计采用类似于单相变压器并且体积很小的变压装置，此变压装置衰减倍数稳定，不易受到干扰。它通过线圈间的电磁感应，将一种电压等级的交流电能转换成同频率的另一种电压等级的交流电能。耦合磁环的一次绕组与交流电源接通后，绕组中流过交变电流并产生磁动势，在这个磁动势作用下，铁芯中便有交变磁通，即一次绕组将从电源吸取的电能转变为磁能，在铁芯中同时交(环)链原、副边绕组(二次绕组)，由于电磁感应作用，分别在一、二次绕组产生频率相同的感应电动势。如果此时二次绕组接通负载，在二次绕组感应电动势作用下，便有电流流过负载，铁芯中的磁能又转换为电能。耦合磁环一、二次绕组感应电动势公式：

$$E_1 = 4.44 f N_1 B_m S; \quad (\text{公式一})$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 B_m S; \quad (\text{公式二})$$

f :频率、 N :绕组匝数、 B_m :磁场强度、 S :铁心截面积。

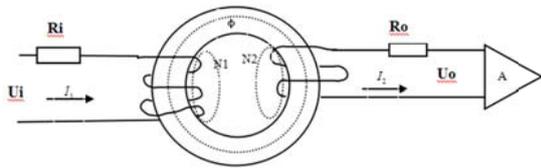


图 1 磁环耦合原理图

Fig.1 The circular coupling principle diagram

1.2 硬件设计

本设计采用软磁铁氧体磁环，因其不使用镍等稀缺材料也能得到高磁导率，粉末冶金方法（软磁铁氧体生产方式）又适宜于大批量生产，因此成本低。其磁导率随频率的变化特性稳定，在 150kHz 以下基本保持不变。实验中采用的信号频率为低频信号 1.2kHz 到 3.2kHz，因此选用 Mn-Zn 软磁铁氧体磁环进行研究。漆包线采用 0.4mm 和 0.5mm 的两种聚胺酯漆包线。研究时次级线圈需要模拟实际核磁共振信号，因此次级线圈电感要在 0.6mH 到 0.8mH 之间，并且阻值要在 0.8Ω 左右，经过实际制作和测试验证，次级线圈匝数为 12 匝时电感为 0.6mH 左右，电阻为 0.2Ω 左右。实验中得到如下数据：



图 2 阻抗匹配图

Fig.2 Impedance matching figure

2 系统测试结果

2.1 测试方法

测试时用 10000 倍的固定倍数放大器对制作的电路板进行测试，即由信号发生器产生标准信号（V 级），经过衰减系统将信号衰减，模拟野外核磁共振接收到的信号（nV 级）经过固定的放大器将信号放大，有示波器显示测试结果，测试框图如下：

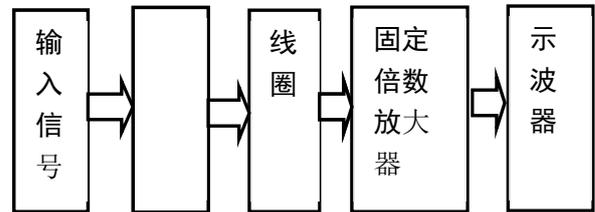


图 3 测试框图

Fig.3 The test block diagram

示波器读出的信号峰峰值为 V_{out} ，信号发生器发出的信号峰峰值为 V_{in} ，衰减倍数为 A ，则 A 的计算公式为：

$$A = V_{in}/V_{out} \cdot 10000 \quad (\text{公式三})$$

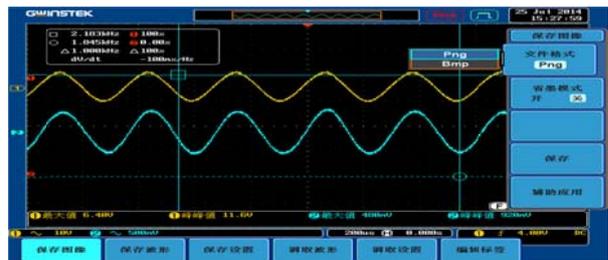


图 4 示波器显示图

Fig.4 The oscilloscope display

2.2 测试数据

表 1 输入信号频率对衰减特性影响

Table 1 The input signal frequency characteristics of attenuation impact

核磁共振找水仪标定装置衰减特性影响因素探究频率特性 (输入电压 2V)		
频率 (kHz)	输出 (V)	衰减倍数
6	0.48	41666.67
5.8	0.52	38461.54
5.6	0.6	33333.33
5.4	0.68	29411.76
5.2	0.7	28571.43
5.0	0.9	22222.22
4.8	1	20000
4.6	1.16	17241.38
4.4	1.28	15625
4.2	1.44	13888.89
4.0	1.54	12987.01
3.8	1.64	12195.12
3.6	1.64	12195.12
3.4	1.6	12500
3.2	1.52	13157.89
3.0	1.44	13888.89
2.8	1.36	14705.88
2.6	1.28	15625
2.4	1.2	16666.67
2.2	1.12	17857.14
2.0	1	20000
1.8	0.92	21739.13
1.6	0.84	23809.53
1.4	0.74	27027.03

表 2 输入电阻对衰减特性的影响

Table 2 Effect on the input resistance of the attenuation characteristics

输入级电阻对衰减特性的影响 (频率 3.6KHz, 输入电压 1V)		
输入级电阻 (Ω)	输出 (v)	衰减倍数
0.1	6	1666.67
0.2	3.4	2941.18
0.3	2.2	4545.45
0.4	1.7	5882.35
0.5	1.44	6944.44
0.6	1.24	8064.52
0.7	1.12	8928.57
0.8	1.02	9803.92
0.9	0.9	11111.11
1.0	0.86	11627.91
1.1	0.84	11904.76
1.2	0.8	12500
1.3	0.77	12987.01
1.4	0.73	13698.63
1.5	0.7	14285.71

3 曲线拟合

由于测得数据生成的曲线无法准确得出各个点的测试结果,本设计使用 matlab 对曲线进行了拟合。

使用多项式拟合函数, 分别对输入信号频率和输入电阻对衰减特性的影响曲线进行拟合。

$$y = a(1)x_1^3 + a(2)x_1^2 + a(3)x_1 + a(4); \quad (\text{公式四})$$

对输入电阻影响的曲线进行拟合, 得到如下参考公式:

$$y = 1525x^3 - 7871x^2 + 17933x - 178; \quad (\text{公式五})$$

对输入信号频率影响的曲线进行拟合, 得到如下参考公式:

$$y = 323x^3 + 605x^2 - 15940x + 46907; \quad (\text{公式六})$$

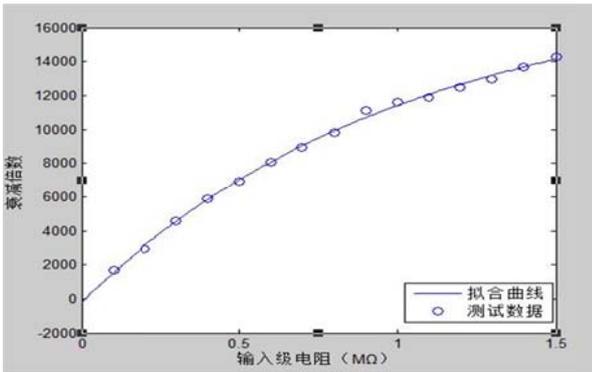


图 5 输入电阻影响的拟合前后曲线对比 (实线为拟合后曲线)

Fig.5 Before and after contrast curve fitting input resistance effect

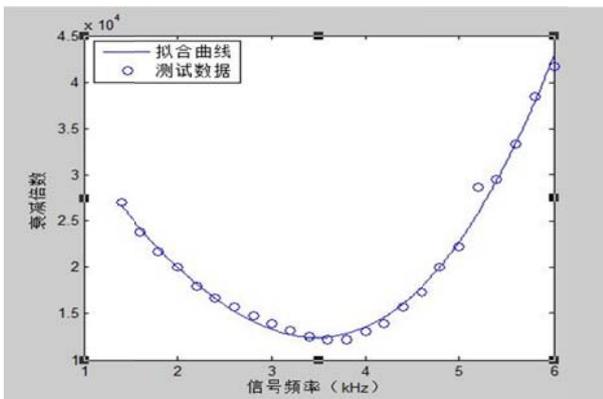


图 6 信号频率影响的拟合前后曲线对比 (实线为拟合后曲线)

Fig.6 Before and after contrast curve fitting signal frequency effect

4 结论

1. 本设计可以实现 10 万倍的衰减, 并且经衰减后的信号稳定, 无相位差。
2. 输入级阻抗不同时, 在特定的频率点与原信号无相差, 但是无相差点衰减倍数没有达到最大值, 且在无相差点信号稳定性不是最强也不是最弱。
3. 随着输入级电阻的增大, 衰减倍数逐渐增大, 但是当倍数达到一定值时, 信号稳定性差, 这个一定倍数值与输入信号的频率有关。
4. 随着输入信号频率的增大, 衰减倍数先减小后增大, 当输入级阻值一定时, 最小值点在 3kHz 到 3.5kHz 之间, 具体随输入级电阻值改变。

参考文献

1. 尚新磊. TEM-MRS 联用地下水探测关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
2. 王应吉, 林君, 荣亮亮, 等. 地面核磁共振找水仪放大器设计[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(8): 1627-1632.
3. 林君, 核磁共振找水仪原理与应用[M]. 科学出版社, 2011.
4. 贾晓晨. 核磁共振找水仪室内检测标定装置设计[D]. 吉林大学, 2009.
5. 林君, 蒋川东, 段清明, 等. 复杂条件下地下水磁共振探测与灾害水源探查研究进展[J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2012, 42(5): 1560-1570.
6. Goldman M, Rabinovich B, Rabinovich M, et al. Application of the integrated NMR-TDEM method in groundwater exploration in Israel[J]. Journal of Applied Geophysics, 1994, 31(1): 27-52.

基于超声波测距的 近距离车辆跟进系统的设计与实现*

洪天阁，关钊，童永军

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130022)

摘要：随着私家车持有量随着人们生活水平的提升而增加，导致城市拥堵情况日益严重。通过自行驾驶体验和与司机交谈的方式，针对目前城市拥堵的情况，以超声波测距为基础工具，提出了汽车跟进系统的理念，利用计算机辅助和人工控制相结合的方式，达到为司机节省体力，提高车辆遇到突发情况下的反应能力，降低安全事故的根本目的。实验过程中以四轮小车为实验对象，使其在运动速度 0.7-1 m/s 允许范围内，在距前方物体 40cm 至 60cm 的距离跨度上实现跟进效果。

关键词：超声波测距 车辆跟进 突发情况 事故

The Design and Implementation of Follow-Up Vehicle System Based on Ultrasonic Ranging

Hong tiange, Guan zhao, Tong yongjun

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: Considering the personal vehicles has gained its population, the problem of traffic jam in city has become worse and worse. While talking to drivers and expiring by ourselves, we set up an idea as car-following system in order to deal with the nowadays' traffic jam. Due to the help from computers and mixed with human-control, the system shows the abilities on dealing with sudden-stress and being able of lower the rates of car accidents. During test we use four-wheels model car as a test object to achieve the goal which the vehicle can stay a safety distance between 40cm to 60cm under the allowable speed.

Keywords: Car accident Traffic jam Ultrasonic ranging

0、 引言

根据官方的统计数据：近 3 年来每年交通事故死亡人数在 6 万左右^[1]。由此可见，迫切需要一种可以有效减小车祸事故发生的设备，辅助提高司机的反应能力，降低死伤率。

超声波作为一种较早的测距手段，已被应用于各个领域。超声波测距的作用原理是：利用超声波发生器发出一束信号，遇到物体后反射，再用接收器接收，通过测量信号发生和接收的时间

跨度，再根据当下介质下声音的传播速度，即可获得与前方物体的相对距离。其优点是在能见度低的时候性能良好，不太受自然环境（如云烟，低频噪声等）的干扰，成本低。但是其探测距离相对较近，而且精确度和响应时间受到声速的干扰，因此无法对较远距离的物体进行探测^[2]。

另一方面，随着一些厂家陆续推出的“汽车巡航”系统被更多的人所熟知，这一功能和词汇也越来越能引起驾驶员们的注意。如以一汽大众 CC 汽车上配备的“定速巡航”为代表，能维持在一定速度下进行行驶和细微方向调节的被动巡航

* 指导教师：王言章

项目类型：创新项目

系统。但是由于该系统不可以调整本车车速，仅仅是维持当前车辆行驶速度，因此导致其实用性不高，在车辆较多的情况下无法达到真正的定速巡航的目的。而且其有最低车速要求（如大众 CC 汽车要求其定速巡航速度最低为 30KM/H），无法使得快速停止和继续行驶，故而在城市拥堵道路上无法使用^[3]。

本文中所要论证的汽车跟进系统，是基于目前市场上已经存在的汽车定速巡航系统，在其基础上，完善在城市路面低速运动情况下的跟进系统，达到减少事故率，提高安全性的目的。本系统要满足在更低速情况下（如城市拥堵状态，车辆移动速度小于 20km/h 即 0.7m/s），两车车距小于 5m，而且需要频繁采取刹车的情况下使用。

1、车用跟进系统的硬件设计

与汽车防撞系统相比较，跟进系统在防撞的基础上，要在判断前方不存在障碍物或者前方物体移动速度较本车更快的时候再加速。从本质上来讲，防撞系统的目的是减速，即在遇到状况的时候以最快的速度刹车，避免碰撞事故的发生；而跟进系统的目的则是跟随前方物体的移动速度，在前方物体的速度发生变化的时候进行随动，同时兼具了防撞系统的刹车功能，使得整体操控更加智能化和舒适化^[4]。

1.1 探测系统整体框图

由于要利用超声波对距离进行探测^[5-9]，故设计的系统整体框图如下：

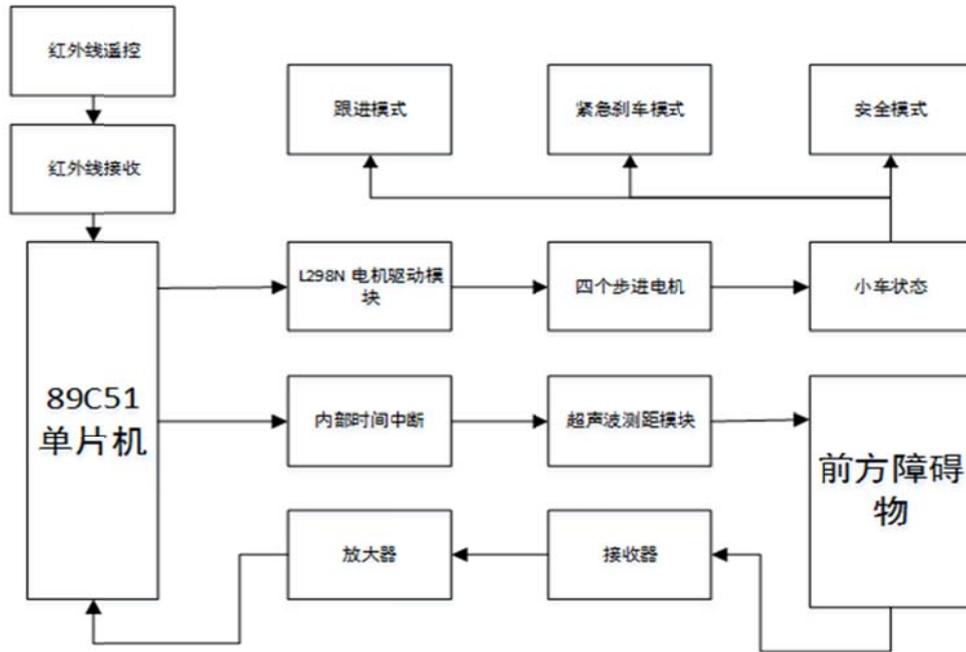


图 2 探测系统整体框图

整体的设计较为简单，原因是超声波测距的原理易于掌握和理解，对系统硬件的要求不高。但是由于在设计的过程中，需要用的 51 单片机不同等级的中断^[10-11]，包括外部中断和内部中断，因此在设计和实现的过程中要尽量避免不同中断间的干扰。另一方面，由于超声波的传播速度约为 330m/s，因此应该充分考虑单片机的响应时间，确保在最近的情况下也能准确接收到反射回来的信号，这就要求整个测距的过程不能繁琐，要在尽量短的时间内反应出所测量到的距离。

1.2 小车驱动模块

四轮小车驱动的原理为 PWM，即脉冲宽度调制技术驱动四个步进电机带动小车进行加速、减速、转弯等运动。PWM 的本质是即为改变脉冲信号的占空比，当占空比较高时，电机在一个周期内的通电时间较多，工作时间更长，因此速度更快；反之速度则更慢。

在驱动模块中，要利用到 L298N 和 51 单片机进行连接，产生驱动信号。L298 是 SGS 公司的产品，比较常见的是 15 脚 Multiwatt 封装的 L298N，内部同样包含 4 通道逻辑驱动电路。其与 51 单片机的连接如下图所示：

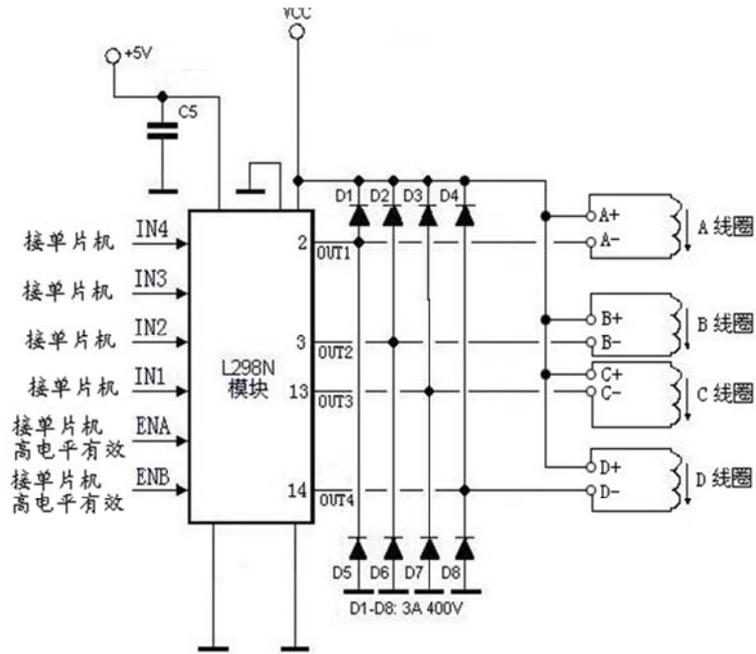


图 3 L298N 芯片与单片机连接图

从图中可以看到，一个 L298N 芯片可以很方便的驱动一个两相步进电机，使步进电机做出正转，反转等动作。在本次实验中，将两个步进电

机进行并联，使得一个 L298N 芯片可以驱动小车某一侧上两个轮子的运动方向和速度。下图则为 H 桥电路，用以驱动电机进行运动。

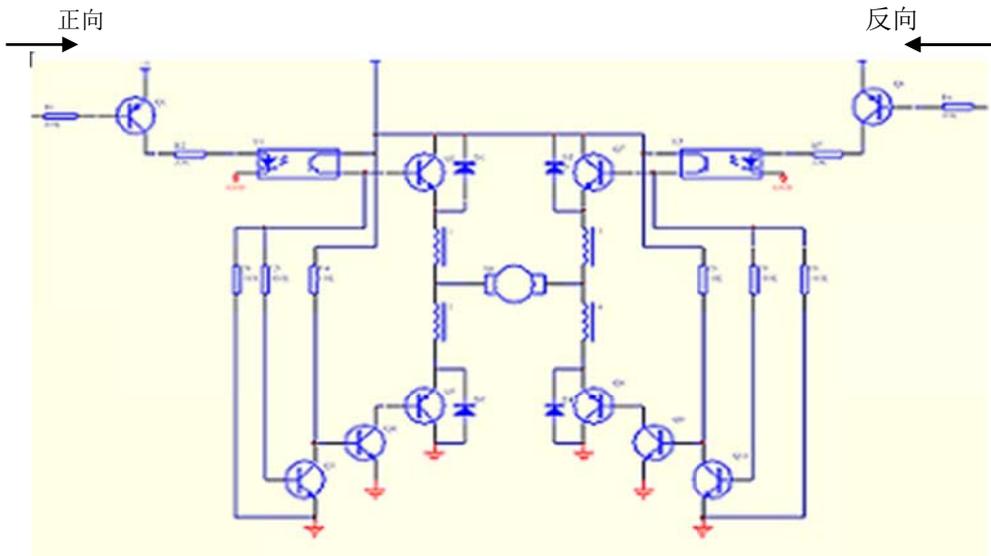


图 4 H 桥电路

选用 H 桥电路的原因是此电路性能稳定，驱动能力强。其驱动方式说明如下：

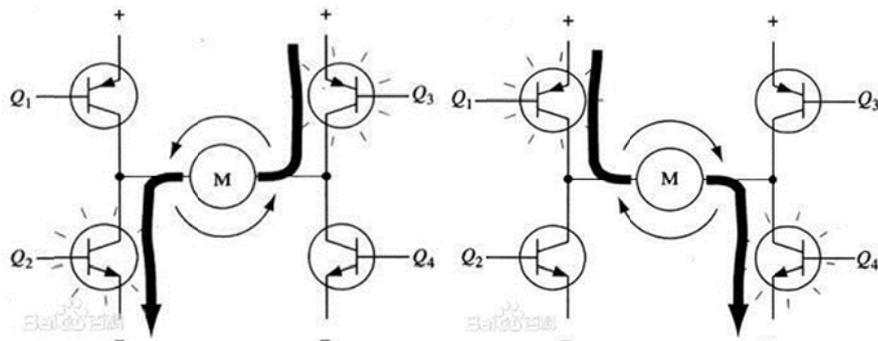


图 5 H 桥电路正向驱动和反向驱动简图

从图 5 中可以看到，要使电机运转，必须使对角线上的一对三极管导通。例如，如图 5 中右侧所示，当 Q1 管和 Q4 管导通时，电流就从电源正极经 Q1 从左至右穿过电机，然后再经 Q4 回到电源负极，电流将驱动电机顺时针转动。而当 Q3 和 Q2 导通的时候，电机如图 5 中左侧所示，呈逆时针方向转动

2、跟进系统的软件设计

由于在设计过程中，在利用超声波进行测距的同时，需要考虑到高速本车当下的运动情况和前方物体的运动情况，因此需要教完善的流程进行判断。本系统的判断流程如下：

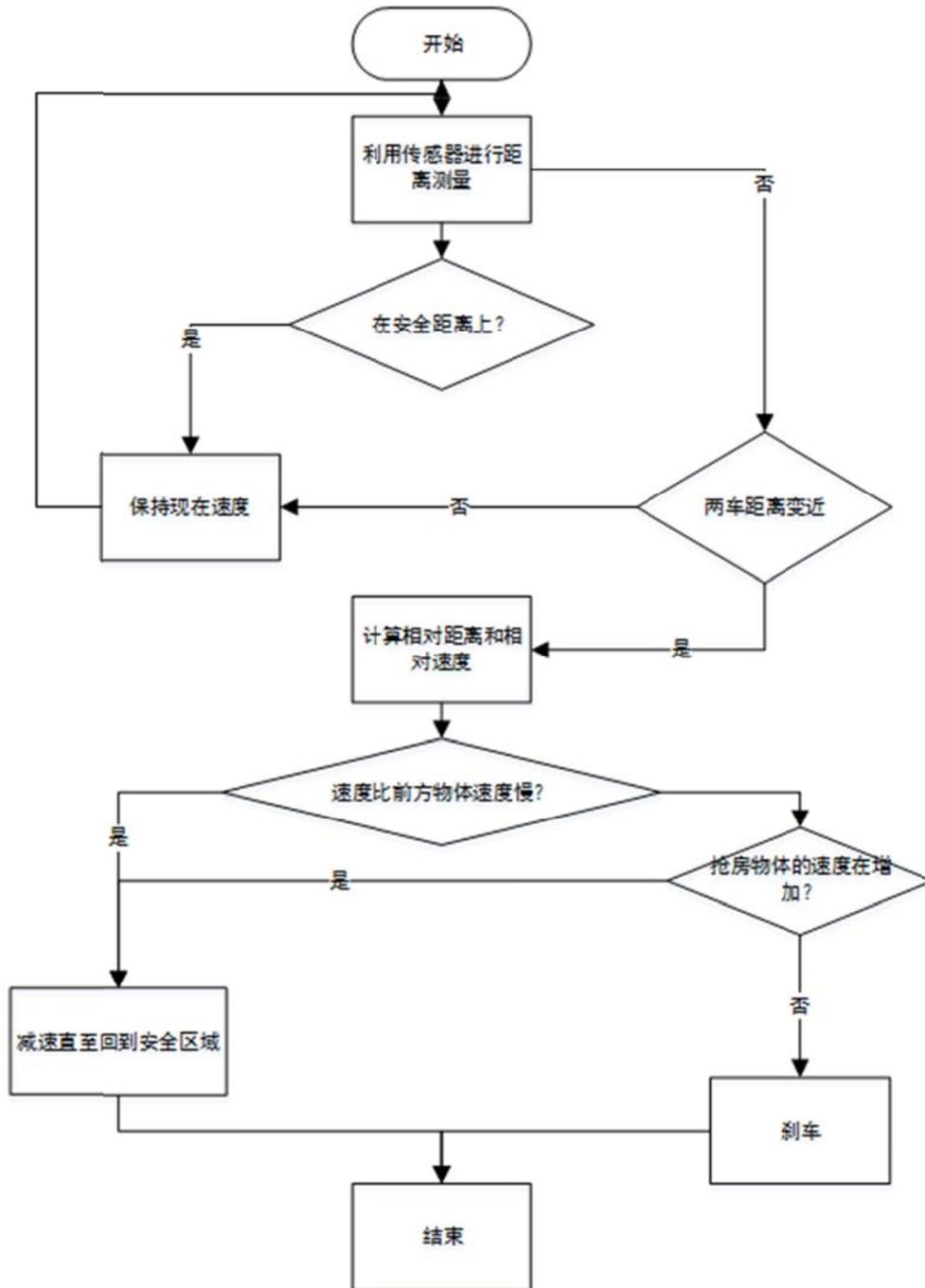


图 6 整体系统流程图

在跟进系统的整个流程中，除了模拟车辆运动的驱动模块之外，可以将其分为如下两个功能模块：跟进模块，急刹模块，超声波测距模块。其中，急刹模块具有最高的优先级，主要目的是

在出现紧急情况的时候，达到防撞系统的功能；而跟进模块就是整个跟进系统的核心；超声波测距模块则为以上两个模块提供辅助。如在本文中，经过综合考虑和论证，设定本车距离前车的安全

距离为 0.40m 质 0.60 米。具体工作时，首先连续两次利用超声波测距，获得两车的相对距离，同时根据本车速度值推算前车的速度和相对速度。当距离大于安全区而且本车速慢于前车时，本车缓慢加速，直到进入安全距离；而在安全距离之内，则加快探测速度，使得车速快速变换，稳定在该区间内；若两车距离小于安全距离，则根据两车相对速度，若前车速度过慢，则立刻减速；若前车速度较慢，则缓慢减速，达到平稳刹车的效果。

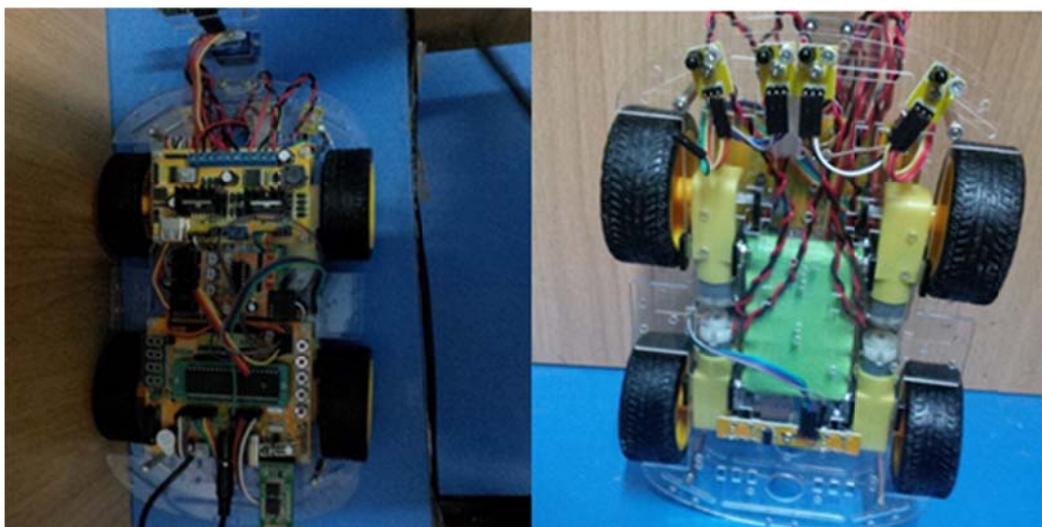


图 7 小车正面与背面图

从图 3 中可以看到，小车由四个步进电机进行驱动，每个轮子单独驱动，通过改变单片机产生的方波信号的占空比来控制小车的移动速度，同时通过对每个步进电机的两端电压高低的改变，控制小车进行前进、后退、刹车等动作。

程序设计和实现过程中，分为“两步走”的形式，即先完成简单的程序部分，之后将各个已经可以单独工作的程序进行融合。程序模块包括跟

3、测试用小车和道路测试结果

3.1 测试小车说明

利用 51 单片机内部的中断 TIMER0，通过 L298N 对小车进行驱动，控制小车的移动速度。但是由于小车本身的各传动装置间的摩擦和步进电机驱动的特点，使得小车的速度呈现阶梯性增加的特性。

进不变速模块，急刹模块，测距模块，遥控控制速度模块。

3.2 道路测试

在实际道路测试中，利用小车对探测系统的准确度和精确度进行测试，同时测验小车的安全刹车距离。道路测试的结果分为行驶速度和刹车距离两部分，如下表：

表 1 小车档位与速度和刹车距离对照表
Table 1 The speed and braking distance chart

档位	速度(m/s)	刹车距离(m)	档位	速度(m/s)	刹车距离(m)
1	0.00	0.00	6	0.42	0.19
2	0.14	0.03	7	0.48	0.23
3	0.21	0.06	8	0.53	0.27
4	0.28	0.12	9	0.59	0.33
5	0.33	0.15	10	0.65	0.40

需要说明的是，由于小车本身部件之间存在较大的摩擦，因此在档位为“1”的时候，小车无法运动，故而速度和刹车距离都不存在。利用这个特点，考虑到正常汽车行驶过程中的摩擦系数

比小车小，故设计档位为“1”的时候为静止状态，一定程度上减小小车本身的摩擦力，更加贴近实际情况。

4、结论

通过一段时间的实地测验，进一步了解了小车在公路路面的形式情况，优化了其跟进过程的准确性。同时，达到了预期的平稳刹车的设计指标，使得小车可以根据前方物体的移动速度对自身车速进行调节。当前小车的行驶距离为 0.40m 至 0.60m，反应时间约为 10ms，快于正常成年人的反应时间（100ms 至 200ms），进一步辅助提高了车辆驾驶人员的反应速度，可以有效降低车辆事故的发生。

另一方面，由于本设计的出发点是在城市环境下的距离测量和车辆跟进，其特点就是测量距离较近，在低速环境下工作状态良好。之后的优化方向可以是加入并道程序，在可能的条件下进行换道。另外，也可以移植到高速公路上的车辆跟进程序，但是一方面要考虑到超声波测距不能满足高速行驶过程中较大距离的精确测量的问题，因此应采用其他的距离测量方式，同时应进一步减小自然环境对距离测量的影响。另一方面，由于高速公路上相对较空旷，同时道路会有起伏婉转，因此需要考虑距离测量时的准确性和准确定位的特点。基于以上两个方面，可以参考激光测距相关文献进行改进。

参考文献

1. 王石川，中国交通事故死亡率报告，人民网
2. 超声波原理 好搜百科
3. 吴昊 汽车巡航系统详解 车讯网
4. 郝记者 中国汽车防撞系统市场调研报告 中国产业竞争情报网
5. 吴建平，[J]红外反射是传感器在自主式循迹小车导航中的应用，中国测试技术，2004 年 11 月，第 30 卷第 6 期
6. 何桥 单片机原理及应用 中国铁道出版社 2008 年 1 月第 1 版
7. 张明环，张科，[J]智能车避障触须算法中的障碍物探测研究，西北工业大学学报，2012 年 10 月，第 30 卷第 5 期
8. 周福良，[J]高速公路汽车被动测距系统的算法研究，

浙江大学，2003 年 2 月

9. 王云才，[J]激光混沌喜好相关法测距研究，深圳大学学报理工版，1010 你啊你月，第 27 卷第 4 期
10. 邱榕，[J]汽车测距预警及险警系统结构与设计研究，汽车电子，2007 年

移动呼吸监测系统研究*

罗家诚；刘宇轩；高宏伟；辛毅

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 睡眠呼吸暂停低通气综合征 SAHS 是一种具有潜在危险的常见病症, 轻者影响患者健康, 重者可能导致患者在睡眠中猝死, 因此实时监测呼吸状态的变化变得十分有必要, 传统医疗仪器价格昂贵, 主要集中在医院, 不利于普及, 而可穿戴式医疗仪器能很好地胜任这个工作。将可穿戴式设备与手机、PDA 等手持式设备连接, 能够方便使用者随时通过手持终端自身呼吸情况, 随时掌握自身健康信息。

关键字: 可穿戴 呼吸监测 Android 实时

中图分类号: TP **文献标识码:** A

Research on System of Remove Breathing Monitor

Luo Jia-cheng; Liu Yu-xuan; Gao Hong-wei; Xin Yi

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: SAHS is a normal disease with potential danger. It can affect the health of people. Some of them may cause sudden death in sleeping. It is necessary to monitor the change of current breathing condition. The traditional medical instrumentations are expensive and most of them are centralize in the hospital that go against to spread. This duty can be competent by the wearable devices. Connecting the wearable device with the mobile phone and PDA can easily realize the breathing conditiong of the users by their terminal.

Key words: Wearable Breathing-Monitor Android Current-time

0 前言

随着生活水平的提高, 人们的健康意识逐渐增强, 对于人体生理健康的关注程度有所提高^[1]。传统医疗监测设备体积大成本较高不利于普及, 将呼吸监测功能通过 Android 编程移植到手机、平板等平台, 通过蓝牙传输数据, 可以随时监控呼吸状态。使得呼吸监护设备小型化、便携化, 也符合穿戴式设备的发展趋势^[2]。

Android 是大众化移动设备的操作系统, Android 设备逐渐普及并使用 JAVA 进行编程使得开发更加方便快捷。

采用 Android 手机作为终端, 如图 1 所示, 通过传感器采集人体呼吸信号, 将结果通过蓝牙模块传输至手机^[3]。我们开发基于 Android 的客户端软件^[4], 用于处理呼吸信号并进行存储和分析。

1 系统概述

* 指导教师: 辛毅

项目类型: 创新项目

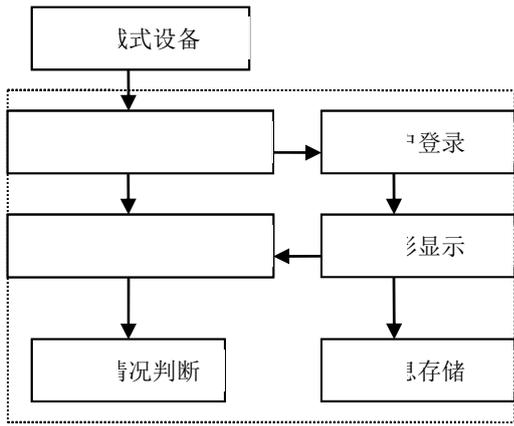


图 1 系统框图
Fig.1 System diagram

2 登陆页面 UI 设计

用户页面包括用户注册页面如图 2 和用户登陆页面如图 3，用户注册页面包括用户名输入，密码输入，密码重复输入等三个文本编辑框，以及确定的注册按钮。用户输入用户名后，并且两次输入的密码相同之后，点击注册即可完成，在登陆页面可进行登录。用户登陆页面包括用户名输入，密码输入两个文本编辑框。用户名与密码输入后，与之前注册的结果进行匹配相同表示登陆成功^[5]。



图 2 注册
Fig.2 Register



图 3 登录
Fig.3 Enter in

通过 `getText` 传递输入信息并进行比较，`if("***".equals(mUser.getText().toString())&&"***".equals(mPassword.getText().toString()))` 来判断帐号和密码是否匹配。

3 蓝牙传输和波形显示

蓝牙是一种设备短距离无线通信技术，使用蓝牙可以搜索并连接到附近的蓝牙设备，可以在两个已经进行过配对的蓝牙设备之间进行数据传输^[6]。在手持设备和穿戴设备之间建立蓝牙连接，实时接收传感器监测数据，为呼吸信号采集传感器配置一个蓝牙模块，即可实现呼吸信号的采集。本文使用蓝牙模块为 HC-05，如图 4。

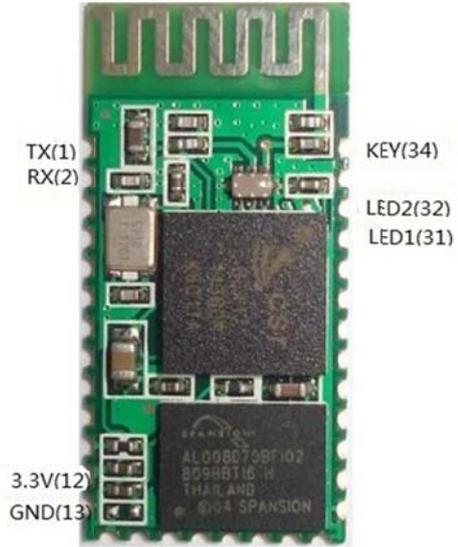


图 4 HC-05
Fig.4 HC-05

Android 设备首先检测本机是否支持蓝牙功能。若支持，则开启蓝牙设备，通过 MAC 地址搜索呼吸信号传感器。若移动终端与传感器蓝牙匹配成功，则通过 `BluetoothSocket` 建立连接。此时，如果呼吸信号采集成功，则可进行数据读写、存储等操作，并绘制实时动态图。使用蓝牙进行数据传输的主要流程包括建立蓝牙、搜索蓝牙、连接、传输数据等^[7]：

- 1) 注册 `Receiver` 来获取蓝牙设备；
- 2) 用 `BroadcastReceiver` 来取得搜索结果；
- 3) 通过 `BluetoothAdapter` 类获得蓝牙状态，并调用 `searchDevice()` 发现蓝牙设备；
- 4) 用 `Device()` 取得设备信息（包括名称，MAC 等），并通过 `BluetoothDevice()` 找到配对设备；
- 5) 使用 `createRfcommSocketToServiceRecord(uuid)` 取得 `BluetoothSocket`，调用 `connect()` 和设备建立连接；
- 6) 使用 `InputStream()` 和 `OutputStream()` 读写蓝牙设备。

在使用蓝牙功能时，需要在 `AndroidManifest.xml` 中声明蓝牙权限：
`<uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH" />` 和 `<uses-permission`

android:name="android.permission.BLUETOOTH_ADMIN" />。



图 5 蓝牙操作

Fig.5 Bluetooth handle

4 波形分析

设定采样频率为 100 次/秒, 蓝牙传输的数据通过开源图表库 AChartEngine 的函数调用直接显示在画布上。测定出现单位时间内出现峰值的次数, 即可测出呼吸率。同时, 将测出的呼吸率与人体正常呼吸率 18-20 次/分钟进行比较, 如果少于或者超出此范围, 则通过 AudioManager 类调用报警音音频进行播放, 提醒呼吸率在正常区域之外。

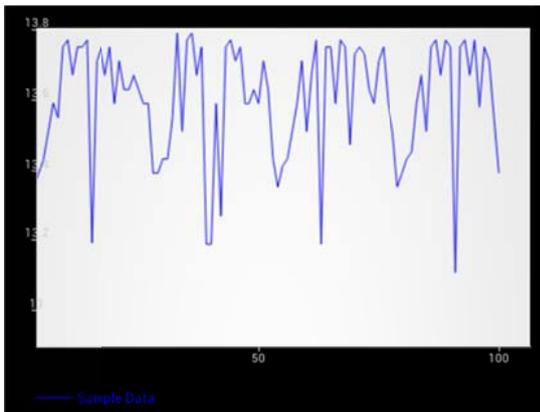


图 6 呼吸数据显示

Fig.6 Breathing Data Display

5 结语

本文设计了基于 Android 平台的呼吸参数采集和移动传输终端系统, 可进行用户注册登录和波形采集显示等, 结合 Android 系统自身的蓝牙功能, 对呼吸参数进行读取和动态显示, 在实际测试中能进行数据传输和显示, 为移动医疗监测和可穿戴式设备的发展和应用程序提供了新的思路 and 方案。下一步将在此基础考虑增加和完善功能, 进一步方便用户。

参考文献

1. 王硕, 宫恩浩, 于洋等. 基于手机的血压无线监测系统研制及初步应用[J], 中国医疗器械杂志, 2011, 35(6):2-4
Wang shuo, GongEnHao etc. The blood pressure wireless monitoring system based on mobile phone development and preliminary application [J], Chinese Journal of Medical Apparatus and Instruments, 2011, 35 (6) : 2-4
2. 张坤, 焦腾, 付峰等. 运用小波模极大值滤波算法消除光电容积脉搏波中的运动干扰[N]. 仪器仪表学报, 2009, 30(3):1-2
Zhang Kun, JiaoTeng, FuFeng etc. The use of wavelet modulus maxima algorithm to eliminate photoelectric volume pulse wave the movement interference [N]. Journal of Instruments and Meters, 2009, 30 (3) : 1-2
3. 蔡承贤, 王伟. 基于人工智能的心率监测算法[J], 中国医疗器械杂志, 2010, 34(1):1-3.
Cai Chengxian, Wang wei. The heart rate monitoring algorithm based on artificial intelligence [J]. Chinese journal of medical apparatus and instruments, 2010 (1) : 1-3.
4. 刘晨华, 冯象初, 张力娜. 基于离散小波阈值的偏微分图像去噪[D], 计算机工程, 2008, 34(15):6-8
Mr Liu hua, Feng xiangchu, Zhang Lina. Partial differential image based on discrete wavelet threshold denoising [D], Computer Engineering, 2008 (15) : 6-8
5. 罗强, 田化梅, 罗萍等. 基于平稳小波变换的心电信号去噪研究[D], 计算机与数字工程, 2006, 34(6):12-20
Keung law, Tian Huamei, venessappwong etc. Based on stationary wavelet transform denoising of ecg signals research [D], computer and digital engineering, 2006 (6) : 12-20
6. 金星亮. 便携式睡眠呼吸暂停低通气监测仪的研制[D]. 中南大学, 2010:1-60.
Jin Xingliang. The development of the portable sleep apnea hypoventilation monitor [D]. Central

south university, 2010:1-60.

7. John Lewis, William Loftus. Java 程序设计基础[M].
清华大学出版社
John Lewis, William Loftus. Java program design
basis [M]. Tsinghua university press
8. Mohd Fadlee A. Rasid and Bryan Woodward. Bluetooth
Telemedicine Processor for Multichannel
Biomedical Signal Transmission via Mobile
Cellular Networks [J]. INFORMATION TECHNOLOGY IN
BIOMEDICINE. 2005. 9(01):32-40

基于压电薄膜的发电系统研究*

李昭璐；任芃；任强

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院，长春市 邮编：130026)

摘要：据统计，每年辐射到地球上的太阳能为 17.8 亿千瓦，其中可开发利用 500~1000 亿度。但因其分布很分散，目前能利用的甚微。全球陆地部分 3 公里深度内、150℃以上的高温地热能资源为 140 万吨标准煤，目前一些国家已着手商业开发利用。人们在寻找新能源，改善地球环境的路上艰辛的探索着。人体在活动过程中会伴随着大量的能量产生，像是我们行走或奔跑时产生的振动能以及自身重心变化产生的势能，自身体温散热释放的热能等等。试想将这些浪费的能量收集并予以利用，将可以带动微型电子设备工作。像手机、MP3 等随身携带的电子设备，可以在需要供电或充电时由自身产生的能量方便的进行充电供电。基于以上考虑，提出了走路发电的构想。本文就是利用 PVDF 压电薄膜发电的方式，通过在鞋底夹层中放入一片或多片 PVDF 压电薄膜，走路时脚跟对鞋底的弹簧装置产生压力波动 PVDF 压电薄膜产生压力，通过正压电效应将压力能转化为电能，将电能储存在超级电容或者微型电池中，再给电子设备供电。

关键词：能量；PVDF 压电薄膜；走路发电；压电效应

中图分类号：TN384

文献标识码：A

Study of power system based on piezoelectric thin films

Li Zhao-lu; Renpeng; Renqiang

(Jilin university instrument science and engineering institute, changchun, 130026)

Abstract: According to statistics, the annual radiation to the earth's solar power is 1780000000 kilowatts, the development and utilization of 500 to 10000000000 degrees. But because of its distribution is very dispersed, now can use the little. The global land part 3 km depth, high temperature above 150 DEG C in geothermal energy resources of 1400000 tons of standard coal, at present, some countries have begun to develop the use of commercial. The people in the search for new energy sources, the way to improve the earth's environment and arduous exploration. The body will be accompanied with a lot of energy produced during the activity, like we were walking or running vibration generated when the energy and potential energy to produce its center of gravity changes, its body temperature heat release of thermal energy and so on. Imagine these wasted energy collection and use, will be able to drive the micro electronic equipment works. As mobile phone, MP3 and other electronic equipment to carry, can be generated by itself in need of power supply or charging energy convenient for charging power supply. Based on the above consideration, puts forward the idea of walking power. This paper is the use of PVDF piezoelectric thin film piezoelectric power generation way, by putting one or more pieces of PVDF in the inter layer of the shoe sole piezoelectric film, walk the heel of the sole spring device of pressure fluctuations of PVDF piezoelectric film pressure is generated, through piezoelectric effect of the pressure energy into electrical energy, the energy storage in the super capacitor or micro battery, give power electronic equipment.

Key words: power; piezoelectric ceramic ; walk to generate electricity; piezoelectric effect

0 引言

水是生命之源，生命来源于水，但是生命的动

力是能量，自然是我们的母亲，母亲为我们提供了煤、石油等的化石能源，但是化石能源不是取之不尽用之不竭的，随着我们不加节制的开采，能源已

* 指导教师：辛毅

项目类型：创新项目

经少之又少，况且，燃烧化石能源会加重自然的净化压力，导致更严重的环境问题，所以，寻找并利用新能源是我们保护地球保护子孙后代的使命与责任。

但是，寻找新能源的道路荆棘满布，例如风能源的飘渺，水能源的迅猛，雷电能源的危险，我们却忘记了身边发散出去的浪费的能源，例如人走路的时候脚踏会产生能量，这就是本篇文章的中心。

目前，美国的一些科学家发明了一种可以放在鞋子里的发电装置，原理是充分运用了现在的一种先进的能量收集技术——逆向电润湿，这是利用了电压来改变疏水表面上的液滴的外形，研究人员反过来利用这一原理，使微型液滴流动过程中的能量转化为了电能。该装置类似与一层鞋垫，内含数千滴的微型小液滴。置于鞋的内部，可以随着走动而发电^[1]。同时，中国也有类似的创新，在中国四川成都，一位平凡的老人石才俊，利用二极管和导线等器件，发明了照亮回家的路的运动鞋，同时也可以给手机充电^[2]。不需要带手电，不需要带电源，发电鞋为我们照亮回家的路，使我们成为“移动”的电源，这种贴身的“发电厂”在地震灾害肆虐的时候也会给我们带去些许的光亮和希望。

1 设计原理

PVDF 压电材料是 20 世纪 70 年代以来发展起来的新功能材料，它是以 PVDF 树脂经过特殊的工艺处理而制成的一种新型电转换材料。这是一种具有压电效应的材料。所谓压电效应是指某些介质在力的作用下，产生形变，引起介质表面带电，这是正压电效应。反之，施加激励电场，介质将产生机械变形，称逆压电效应^[3]。这种奇妙的效应已经被科学家应用在与人们生活密切相关的医学、军事、交通等许多领域，以实现能量转换、传感、驱动、频率控制等功能。

PVDF 压电薄膜具有敏感的特性，可以将极其微弱的机械振动转换成电信号，构成压电材料的晶体结构部存在对称结构。对不对称晶体结构的压电材料施加一个外力使其发生形变，会使晶体中晶格发生位移，从而打破晶体内的电荷的均匀分布，出现电位移量。所以说压电效应是压电材料在受到外力出现形变时，引起了内部带电粒子的移动而造成材料内部总的电偶极矩改变后出现的^[4]。由此可见，也只有非对称的晶体结构才可以产生压电效应。如图 1 所示：

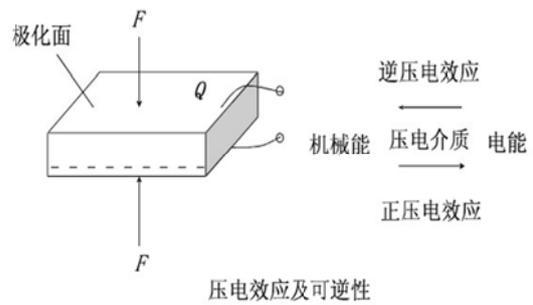


图 1 压电效应

Fig.1 piezoelectric effect

2 设计方案

2.1 整体设计

该项目有三部分组成，即由发电系统，储电系统和供电系统组成：

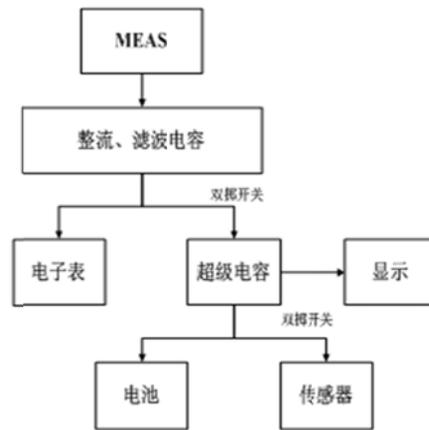


图 2 总体设计结构框图

Fig.2 the overall design structure diagram

2.2 结构设计

现有的文献报道多是基于单压电薄膜的发电系统，为了提高发电效率，研究双压电薄膜发电系统，并对薄膜的串并联方式进行研究。

多片压电薄膜串联方式，正电荷集中在上极板，负电荷集中在下极板，而中间极上下极板连接后，正负电荷相互抵消^[5]。从图 3 中可知，输出总电荷 Q' 等于单片电荷 Q ，而电压 U' 为单片电压 U 的 n 倍，总电容 C_p' 为单片电容 C_p 的 $1/n$ ，即

$$Q' = Q \quad U' = nU \quad C_p' = 1/nC_p$$

串联接法，输出电压大，自身电容小，适宜以电压作为输出信号，可以带较高的负载阻抗。

多片压电薄膜并联方式，其输出电容 C_p 为单片电容 C_p 的 n 倍，但输出电压 U 等于单片电压^[6]，

极板上电荷量 Q' 为单片电荷量 Q 的 n 倍即

$$Q' = nQ \quad U' = U \quad CP' = nCP$$

并连接法，输出电荷大，时间常数大，用于测量缓慢变化的信号，且适宜以电荷为输出量的场合。

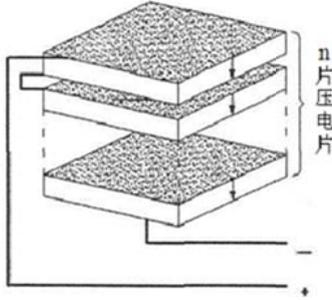


图 3 PVDF 薄膜串联结构图

Fig.3 PVDF thin film tandem structure diagram

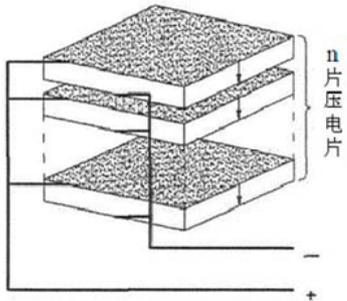


图 4 PVDF 薄膜并联结构图

Fig.4 PVDF thin film parallel structure diagram

经过测试实验发现，并联的效果比串联的效果好，如图 5 所示，经过并联比较，如图 6 所示，综合我们鞋底的面积大小我们选择三片 PVDF 薄膜并联的方式进行发电。

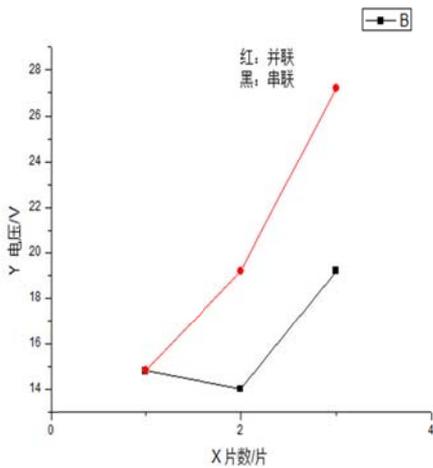


图 5 PVDF 薄膜串联输出电压折线图

Fig.5 PVDF thin film tandem output voltage line chart

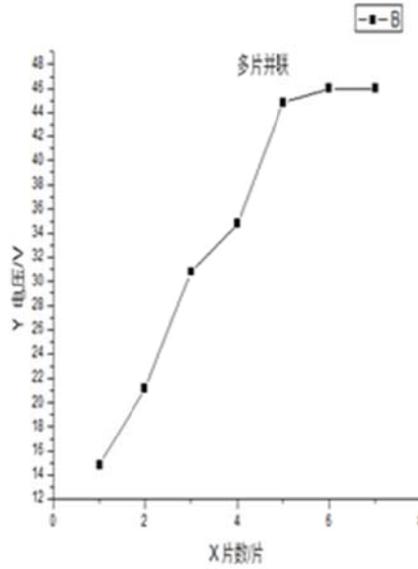


图 6 PVDF 薄膜并联结构图

Fig.6 PVDF thin film parallel output voltage line chart

2.3 电路设计

2.3.1 整流电路

PVDF 压电薄膜传感器在交变的外力或有规则的冲击作用下，其电压和电流都呈现交变特性，而给电子表、传感器以及镍镉电池等外部设备充电需要稳压直流，故需对所产生的交变电流进行整流处理。为了尽可能提高输出电压，设计了三倍压整流电路。

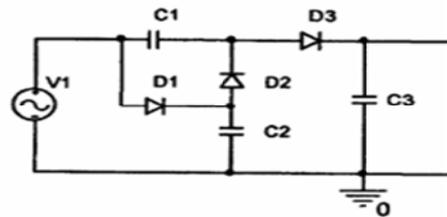


图 7 整流电路图

Fig.7 Rectifier circuit diagram

2.3.2 超级电容储电电路

超级电容又称双电层电容，充放电原理即是当将超级电容两极与外电路连通时，电极上的电荷迁移而在外电路中产生电流，溶液中的离子迁移到溶液中呈电中性 1 法拉超级电容体积小，容量大，不需要特别的充电电路和控制放电电路^[7]；和电池相比过，充、放电都不对其寿命构成负面影响；从环保的角度考虑，它是一种绿色能源；超级电容器可焊接，因而不存在像电池接触不牢固等问题；这也是选择超级电容作为储电电路重要部分的原因。

如图，将 PVDF 压电薄膜产生的电能用超级电容 C4 储存，储存的电能可以给镍镉充电电池或传感器等电子器件供电。

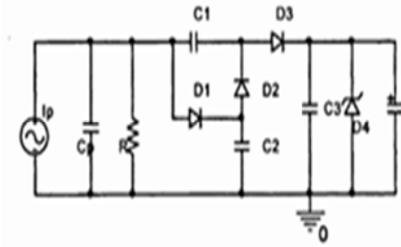


图 8 超级电容储电电路

Fig.8 Super capacitor energy storing electric circuit

2.4 显示设计

如图 9 所示，显示模块包括 MSP430 处理器和 1602 液晶显示屏两个模块。其中，MSP430^[8] 内部阻抗比普通 AD 采集芯片阻抗高，所以不会快速消耗充电电压，能有效的显示所充的电压值。

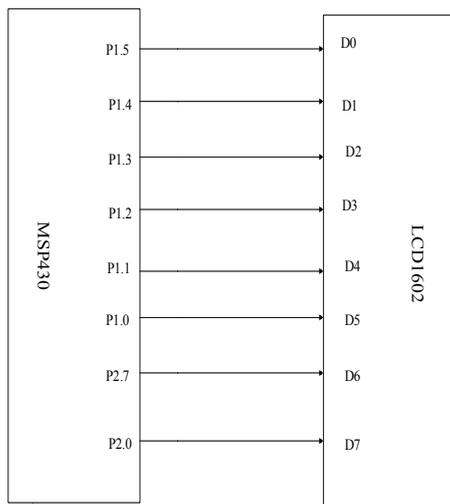


图 9 显示电路连接图

Fig.9 Display circuit connection diagram

3 测试分析

对给电子表充电模块测试，将鞋子的导线与供电端开关拨到电子表挡，将电子表充电开关打开，1.6V 点亮电子表，以每秒两步的频率走步，滤波电容两端电压从 1.0V 升到 2.0V 需要三分五十六秒，可以使电子表亮 30 秒。

对给超级电容充电模块测试，打开超级电容档，以每秒三步的频率走步，超级电容两端电压增加 0.001V。

对给传感器供电的模块测试，供电方式双掷开关打到传感器挡，传感器在超级电压 2.0V 时工作，2.5V 时传感器可以工作 11 分钟。

对给电池充电的模块测试，供电方式双掷开关打到充电电池挡，在超级电容两端电压为 2.82V 时，在 1 分钟内可以给充电电池充电 0.01V。

4 结论

通过测试可知，该发电系统的功能效果达到了预期标准，能够满足实际电量需要；同时通过系统的显示模块可以直观的看到电量的多少。因此，该系统可以实现将走路震动产生的机械能转换成电能，或储存或给电子产品供电，有很好的研究前景。

参考文献

- 佚名. 美国研究人员发明_发电鞋 [N]. 钱江晚报, 2012 (1).
anonymous. USA researchers invented _ electricity generating shoes[N]. Qianjiang Evening News, 2012 (1).
- 佳惠. 成都老人发明可为手机充电的鞋子 [N]. 鞋讯总汇报, 2009.
Jiahui.Chengdu old invention for mobile phone charging shoes [N]. shoes news generalreport, 2009.
- 毛芹, 王涛. 基于 PVDF 压电片发电的特性研究 [J]. 北京理工大学学报, 2012, 32 (11): 1140-1144.
Mao Qin,Wang Tao.PVDF piezoelectric power generation characteristics based on [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2012, 32 (11): 1140-1144.
- 刘澄玉. 基于 PVDF 压电薄膜的颈动脉脉搏传感器 [C]. 山东大学控制科学与工程学院医学工程研究所. 中国生物工程联合学术年会论文集 (上册), 2007. 4: 200-210.
Liu Chengyu The PVDF piezoelectric films carotid pulse sensor [C].Shandong UniversityMedical Engineering Research Institute of control science and engineering based onbiological engineering. China Joint Symposium (first), 2007.4: 200-210.
- 徐浩. 基于 PVDF 压电薄膜的大口径火炮弹底发射装药挤压应力测试方法 [J]. 振动与冲击, 2012, 31 (22) .
Terry Chui .The PVDF piezoelectric films of large caliber gun projectile base propellant charge compression stress test method and the impact of vibration based on [J]., 2012, 31(22).

6. 钟正青. 压电式轮胎发电机的设计与实验[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
Zhong Zhengqing. Piezoelectric generator in tire design and experiment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2009.
7. 徐红星, 骆英. PVDF 压电薄膜的应用进展[J]. 江苏理工大学学报, 1999, 20 (5): 88-91.
Xu Hongxing, Luo Ying. PVDF piezoelectric thin film application [J]. Journal of Jiangsu University of science and engineering, 1999, 20 (5): 88-91
8. 洪利, 章扬, 李世宝. MSP430 单片机原理与应用实例详解[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 0-500.
Hong Li, Zhang Yang, Li Shibao. MSP430 single chip microcomputer principle and application example of [M]. Beijing: Beihang University press, 2010: 0-500.

基于 Arduino 的四旋翼飞行器控制系统设计*

万云霞^{1,2}; 许伦豹²; 胡龙²; 吴佳鑫²; 王言章^{1,2}

(1. 吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室, 长春 130026; 2. 吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 四旋翼飞行器是通过控制其四个电机转速来调节飞行姿态的六自由度典型欠稳定系统。为了实现四旋翼飞行器的姿态调节和高度控制, 采用了基于 Kalman 与 DMP (Digital Motion Processing) 滤波相结合的姿态数据处理算法及 PID 姿态控制算法。系统硬件由 Arduino 及四旋翼飞行器平台组成, 在此平台基础上建立了飞行器动力学模型并对 Kalman 滤波器及 PID 控制器参数进行调试。实际飞行结果表明, 采用本系统所设计的控制算法后, 控制系统能对飞行姿态的偏移进行快速调整, 有效地完成对四旋翼飞行器的稳定控制。

关键词: 四旋翼飞行器 Kalman DMP PID 控制器 姿态控制

中图分类号: TP273

Design of Quad-rotor Control System Based on Arduino

WanYunxia^{1,2}; XU Lunbao²; HU Long²; WU Jiaxin²; WangYanzhang^{1,2}

(1. Key Laboratory for Geophysical Instrumentation of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: The quad-rotor is a six degree-of-freedom unstable system whose flight attitude is adjusted by controlling the speed of its four motors. In order to adjust the flight attitude of the quad-rotor, an attitude data processing joint algorithm based on Kalman and DMP (Digital Motion Processing) filter was adopted, and PID algorithm was used to control its flight attitude. Based on the hardware platform, the dynamic model of the aircraft was established and the parameters of Kalman filter and PID controller were debugged. The flying experiment shows that after using the control algorithm, the control system can quickly adjust the flight attitude offset to control the quad-rotor effectively.

Key words: Quad-rotor Kalman DMP PID controller Attitude control

0 前言

四旋翼飞行器, 是由四个转子推动飞行的直升机, 其方向和速度的控制是通过改变每个转子的相对速度实现的。从 Breguet-Richet 发明的世界上第一架四旋翼飞行器 Gyroplane No.1 飞上天空起, 四旋翼飞行器发展了一个多世纪, 但由于结构和操作技术的限制, 大型四旋翼飞行器却没有得到快速的发展。近年来随着飞行控制理论、微惯导(MIMU)、微机电(MEMS)以及新型材料等技术的进步, 微小

型四旋翼飞行器的发展愈发迅速。^[1] 针对四旋翼的姿态数据处理及控制问题出现了许多滤波算法和控制理论算法, 例如高斯滤波器, 互补滤波器, 卡尔曼滤波器等, 但对于软件滤波仍旧存在降低控制速度和数据稳定度不理想的问题; 同时反步(Backstepping)控制, 线性二次型最优控制(LQR), 滑模(Sliding Mode)控制等控制算法也应用于飞行器控制, 但其计算量大且较为繁琐, 对处理器要求较高, 故提出了简易 Kalman 算法与硬件滤波相结合的滤波措施和简单的 PID 控制算法, 设计了基于 Arduino 的四旋翼飞行器控制系统。

* 指导教师: 万云霞

项目类型: 创新项目

1 飞行器姿态控制原理

以飞机中心为原点建立 X-Y-Z 坐标系，如图 1 所示，机身绕 X 轴转过的角度称为翻滚角 (Roll)，绕 Y 轴转过的角度称为俯仰角 (Pitch)，绕 Z 轴转过的角度称为偏航角 (Yaw)，当同一轴上两电机的转速不同时，就会产生倾角，其大小取决于同轴电机的转速差。四旋翼姿态控制的实现是通过对三个角度的调节来实现的，加上高度控制后，就可以完成简单的飞行任务。

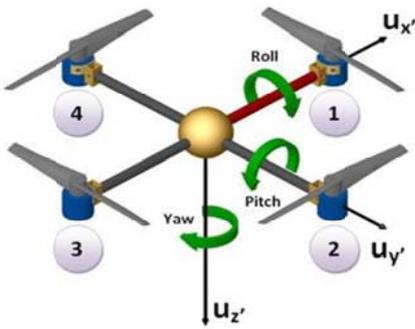


图 1 四旋翼飞行器原理图

Fig.1 Four-rotor aircraft flight principle photo

四旋翼有“+”和“x”两种飞行方式，为了操作简便，本文采用十字飞行的方式。图 2 中 1、3 电机顺时针转动，同时会产生逆时针的扭矩；2、4 电机逆时针转动，同时产生顺时针的扭矩，当两轴的扭矩相同而抵消时，四旋翼将不会绕 Z 轴旋转。

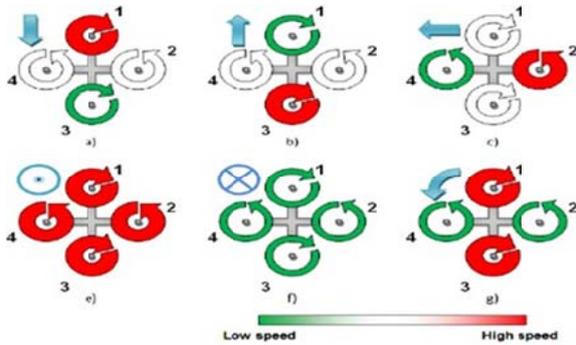


图 2 四旋翼各种飞行图示

Figure 2 Illustration of the various movements of a quad-rotor.

当增大电机 1 的转速而减小电机 3 的转速时，如图 2 (a)，飞行器将会沿箭头所指方向运动。如果四个电机的转速同时增大（减小）相同的转速，四

旋翼将会爬升（下降）；当飞行器转速所产生的升力与其自身重力相同时，飞行器将会处于悬停状态。通过控制四个电机的转速可以实现对四旋翼飞行方向的控制，图 2 给出了各种飞行方向的转速控制图。

2 飞行器结构组成

四旋翼飞行器的飞行控制系统通常由传感器测量装置、主控制器、电机驱动装置、电机和螺旋桨等部分组成。传感器用来测量飞行器的姿态数据，主控制器根据设定姿态对该数据进行处理，经过控制算法最终以四路 PWM (Pulse-Width-Modulation) 信号控制电机转速来校正飞行角度，以实现自动调节旋转力矩来稳定飞行姿态。如图 3、图 4 所示为四旋翼飞行器控制构架和飞行器实物图。

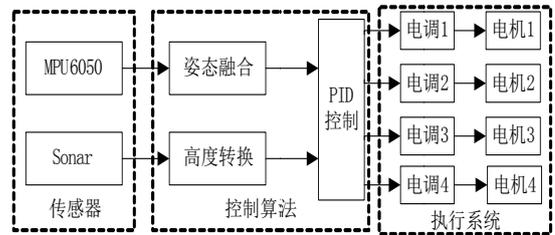


图 3 四旋翼飞行器控制架构

Fig.3 Control architecture of four-rotor aircraft



图 4 四旋翼飞行器实物图

Fig.4 Figure of Quad-rotor

2.1 传感器测量装置

为获得四旋翼姿态数据，系统选用 MPU-6050 作为姿态传感器，获取三轴的角速率和线性加速度。该传感器为全球首例 9 轴运动处理传感器，其将一个 3 轴 MEMS 陀螺、一个 3 轴 MEMS 加速度计以及一个可扩展的数字运动处理器 DMP (Digital Motion Processor) 集成一体，其中 DMP 其自带的

硬件滤波器，通过编程得到稳定的姿态数据。

2.2 主控制器

图 3 所示的控制算法是在基于 Arduino 硬件平台上开发完成的。系统选用 Arduino Uno R3 作为主控制器，该平台核心处理器采用 ATmega328，具有 14 路数字输入/输出口(其中 6 路作为 PWM 输出)，6 路模拟输入，串口、I2C 和 SPI 通信接口以及 10 位内置 A/D，能够满足系统设计的要求。

2.3 电源及电机驱动

四旋翼飞行器的电机需要满足长时间高速旋转的要求，一般选择无刷直流电机(BLDC)，它可运用数字变频控制技术进行控制并且具有较大的可调转速范围(1~10000rad/s)，噪音小且维护方便。^[4]无刷直流电调(ESC)是用来驱动无刷直流电机的驱动器件，其工作方式为根据控制信号(PWM 波占空比)的变化来调节电机的转速。飞行器动力电源选用输出电压为 11.1V 的 3s 锂电池，它能满足电调对大输出电流的要求且携带方便。另外螺旋桨选用 5045 规格的正反桨。

3 数学模型

3.1 模型建立

四旋翼飞行器共有 4 个固定的推力角度转子，代表 4 个由相应的螺旋桨产生的输入力量。对四旋翼的控制实际是对以飞行器自身建立的坐标系中的三个轴的偏转角度(ℓ, j, q)以及空间坐标系中的三个方向上的位移(x, y, z)的控制，可以看出系统只有 4 个输入输出力而却有 6 个输出控制状态(x, y, z 轴, ℓ, j, q)，因此四旋翼飞行器是一个六自由度的欠稳定系统^[4]。

为了建立不失一般性的动力学模型，对四旋翼飞行器做出以下四点假设：①把四旋翼飞行器当做均匀、对称的刚体；②惯性坐标系 E 的原点位置与四旋翼飞行器的几何中心、质心重合；③四旋翼飞行器所受的阻力与重力不受高度、区域的影响而保持不变；④螺旋桨所产生的力与电机转速的平方成正比例。此外为了对四旋翼飞行器的空间位置进行精确控制建立方向余弦转换矩阵，地面坐标为笛卡尔直角坐标系^[5]。

$$R(\ell, q, j) = \begin{vmatrix} \cos j & -\sin j & 0 \\ \sin j & \cos j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos q & 0 & \sin q \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin q & 0 & \cos q \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \ell & -\sin \ell \\ 0 & -\sin \ell & \cos \ell \end{vmatrix} \quad (1)$$

其中 q 为俯仰角、 j 为偏航角、 ℓ 为滚向角。

利用力与力矩的平衡关系的运动方程以及拉格朗日方法可以将飞行器的动力学模型简化为如下形式：

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= U_1(\cos j \sin q \cos \ell + \sin j \sin \ell) - K_1 \dot{x} / m \\ \ddot{y} &= U_1(\sin j \sin \ell \cos \ell - \cos j \sin \ell) - K_2 \dot{y} / m \\ \ddot{z} &= U_1(\cos j \cos \ell) - g - K_3 \dot{z} / m \end{aligned} \quad (2)$$

其中 g 为重力加速度、 m 为飞行器的总质量、 K_1, K_2 与 K_3 为飞行器各方向上的阻力系数，当转速较低时可忽略飞行器所受的阻力。

假定飞行器的重心在设定原点处向上(或向下)移动了 d 个单位从而降低了角加速度对力敏感程度，因而使系统的稳定性得到提高。为方便运算，用以下方程式来表达飞行器各个方向上的输入力矩：

$$\begin{aligned} U_1 &= (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / m \\ U_2 &= l(H_3 + H_4 - H_1 - H_2) / I_1 \\ U_3 &= l(H_2 + H_3 - H_1 - H_4) / I_2 \\ U_4 &= C(H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / I_3 \end{aligned} \quad (3)$$

其中 U_1 为 4 个电机总共产生的垂直升力、 U_2 为俯仰通道所受力矩、 U_3 为偏航通道所受力矩、 U_4 为滚动通道所受力矩、 H_i ($i=1,2,3,4$) 为飞行器上相应电机产生的推力、 I_i ($i=1,2,3,4$) 为以飞行器自身建立的坐标系的三个轴上所受的转动惯量。飞行器的欧拉角(ℓ, j, q)如以下方程所示^[4]：

$$\begin{aligned} \ddot{q} &= U_2 - lK_4 \dot{q} / I_1 \\ \ddot{j} &= U_3 - lK_5 \dot{j} / I_2 \\ \ddot{\ell} &= U_4 - lK_6 \dot{\ell} / I_3 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 l 为飞行器支架的半轴长度、 K_i ($i=4, 5,$

6) 代表阻力系数分别以 x , Y , z 和 j 为一组控制输出。

如图 5^[5]所示为飞行器控制系统数学模型框图。

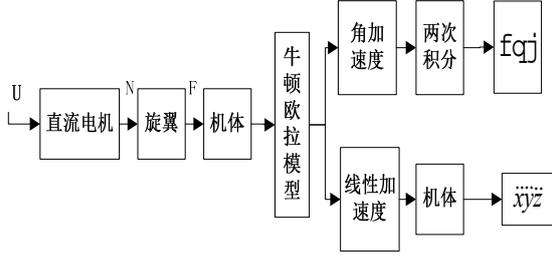


图 5 四旋翼飞行器控制系统数学模型框图

Fig.5 Block modeling of Four rotor-craft control system

3.2 PID 系统状态控制方程

由于对飞行器进行仿真需要整体的系统传递函数，通过对四旋翼进行数学建模已得到相关输入、输出的变量关系，设状态空间方程的形式如下所示：

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX + DU \end{cases} \quad (5)$$

其中 $U = [U_1, U_2, U_3, U_4]^T$ 为输入矢量，

$X = [x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, q, f, j, \dot{q}, \dot{f}, \dot{j}, g]^T$ 为状态矢量，

$Y = [x, y, z, f, q, j]^T$ 为输出量，则由数学模型可得系统的状态空间方程的各矩阵如下^[8]：

$$D = 0 \quad (6)$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ (\sin j \sin f + \cos f \sin q \cos j)m^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ (\sin f \sin j \cos j - \cos f \sin j)m^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ (\cos f \cos j)m^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_1^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_2^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_3^{-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

对飞行器进行测量得到的参数带入上述矩阵并用 MATLAB 求出相应状态空间方程的传递函数，由于本文仅针对四旋翼飞行器的悬停状态进行仿真，故而 $q = j \gg 0$ ，传递函数可简化为以下矩阵：

$$G(s) = \begin{pmatrix} 1/ms^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l/I_1s^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l/I_2s^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l/I_3s^2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

4 姿态数据处理及系统控制

4.1 滤波处理

飞行器的姿态数据质量直接影响系统控制精度，故采用硬件与软件相结合的方案实现对噪声较大且不稳定的姿态数据进行滤波处理。硬件滤波采用 MPU-6050 自带的数字运动处理器 (DMP)，它可以接收并处理来自陀螺仪、加速度计的数据，处理结果可以直接从 DMP 寄存器读出，且比从一般的加速度计与陀螺仪读出的数据更加稳定，减少了飞行过程中因震动和外部环境所产生的噪声。

为了进一步提高数据的可靠性，对数据进行软件滤波。卡尔曼滤波算法能够在一系列受噪声干扰的数据中准确的估计动态系统的状态。卡尔曼滤波算法具有编程简单、能够对现场采集的数据进行实时的更新和处理的优点，故而可采用卡尔曼滤波算法对采集的数据进行融合得到正确的姿态角从而更有利于对飞行器进行控制。

卡尔曼滤波算法具体的实现步骤如下流程图所示^[6]：

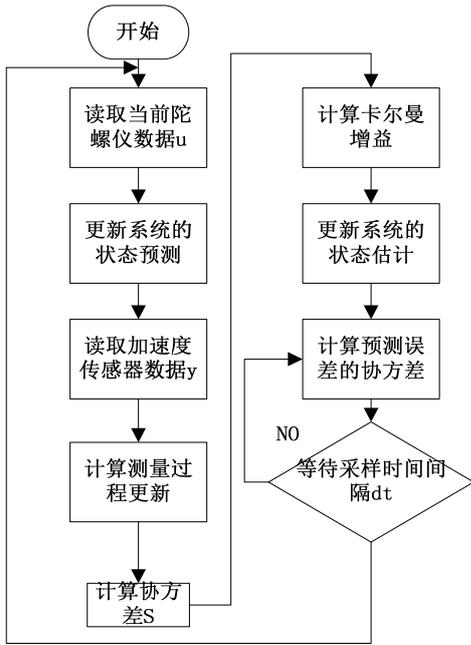


图 6 卡尔曼滤波算法流程图

Fig.6 Flowchart of Kalman filter algorithm

4.2 姿态控制算法

经过硬件、软件滤波后的姿态数据，其信噪比与数据质量有明显改善，有利于进行姿态控制。本系统的姿态控制算法采用 PID 控制。PID 控制器是一种线性控制器。它由被控量的期望值 $r(t)$ 与实际输出值 $y(t)$ 构成控制偏差 $e(t)$ ，然后将偏差 $e(t)$ 按比例 (P)、积分 (I)、微分 (D) 的关系通过线性组合构成的控制量 $u(t)$ 去控制被控对象^[7]，其输出和输入之间关系可描述为：

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (11)$$

其中 K_p 为比例系数、 T_i 为积分时间常数、 T_d 为微分时间常数。

系统控制算法是以角速率为内环反馈和角度为外环反馈组成的内外环嵌套控制来实现对飞行姿态调整的。在对 PID 参数进行调试实验中，采用 PI 控制器要比 PID 控制器的控制效果更好。如图 7 所示为 PID 姿态控制器原理框图。

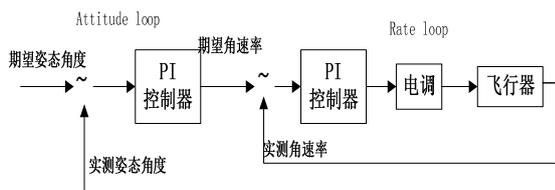


图 7 PID 姿态控制器原理框图

Fig.7 PID Controller of attitude

控制器外环是角度的 PI 控制，内环是角速率的 PI 控制。期望角度与传感器测得的实际角度经比较后，误差会经控制器处理并以此输出量将作为内环的输入量，该输出量与传感器测得的角速率进行比较后得到最终输出值，经过转换后以 PWM 信号作为控制量控制电机的转速。其中内环的稳定是实现四旋翼稳定飞行的关键因素。在实际调试中外环在只用 P 时往往也能实现较好的角度控制。

在实现高度控制时可以对高度进行粗略控制和高度精确锁定，在高度控制的基础上可以实现飞行器的悬停控制。如图 8 所示为精确 PID 高度控制器框图。

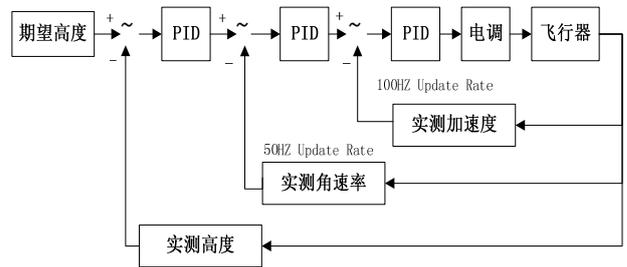


图 8 精确高度 PID 控制器

Fig.8 Precise PID Controller of height

精确高度 PID 控制系统中，飞行器高度，垂直方向的速度和 Z 轴方向的加速度为需要的实测值。其中加速度控制器执行速率为 100Hz，速率控制器执行速率为 50Hz。而在一般飞行中不需要对高度进行精确控制，只需四旋翼维持在认为设定的高度，所以可以采用图 9 所示的简单控制方式。

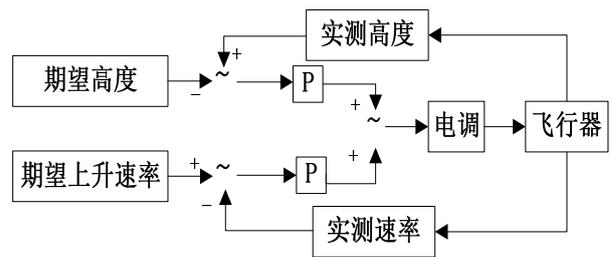


图 9 简单高度 PID 控制器

Fig.9 Simple PID Controller of height

5 系统仿真

利用已得电机传递函数 $\frac{30}{0.004s + 1}$ ^[12] 以及用公式

(5)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10) 得到的各通道传递函数在 Simulink 中搭建仿真系统，如图 10 所示。通过调节内外环的 PID 参数观察系统的阶跃响应图像来判断是否达到合

期望姿态。若需要更加快速地调节则需要更细致地改变参数来观察响应曲线。适的 PID 参数，从而为实际 PID 参数整定做指导，图 11 为四旋翼飞行器俯仰通道阶跃响应仿真结果，其余三个通道参数的整定同俯仰通道的参数整定方法相同。



图 11 俯仰通道阶跃响应

Fig.11 The step response of pitch channel

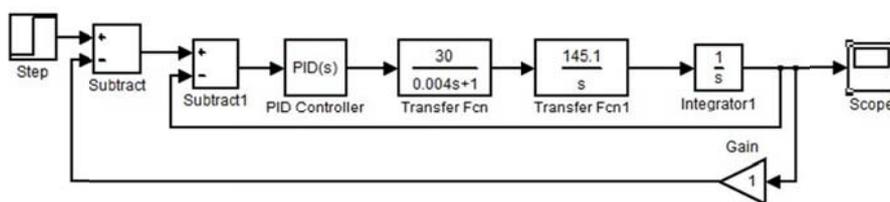


图 10 单通道 PID 控制流程图

Fig.10 Flow of signal-channel of PID control

6 结论

完成了四旋翼飞行器控制结构设计，通过 DMP 与 Kalman 滤波算法提高了 PID 处理数据的信噪比，并在系统建模的基础上对飞行器的姿态控制与高度调节进行了设计。系统仿真证明了 PID 控制的实效性，实际飞行结果表明该控制系统在四旋翼飞行器姿态控制方面的有效性。本文所进行的理论研究与实验结果为四旋翼飞行器的自稳定控制提供了有价值的参考。

参考文献

1. 聂博文, 马宏绪, 王剑等. 微小型四旋翼飞行器的研究现状与关键技术[J]. 电光与控制, 2007,06: 0113-05.
Lie Wen-bo, Ma Hong-xu, Wang Jian. Small quad-totor aircraft present research situation and key technology[J]. Electronics Optics & Control, 2007,06: 0113-05.
2. 蔡睿研. Arduino 的原理及应用[J]. 电子设计工程, 2012,16:0155-3.
Cai Ruiyan, The Principle and Application of

如图 11 可以看出，当参数值较合适时系统响应时间较短、超调较低、延迟时间较短，从而能够保证四旋翼飞行器的姿态角与期望角有偏差时能够通过 PID 调节迅速地达到期望姿态。若需要更加快速地调节则需要更细致地改变参数来观察响应曲线。

- Arduino[J]. Electronic Design Engineering, 2012, 16:0155-3.
3. 赖义汉, 王凯. 基于 MPU6050 的双轮平衡车控制系统设计[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2014,01:0053-05.
Lai Yi-han, Wang Kai. Two-wheel Balancing car control system based on MPU6050[J]. Journal of Henan institute of engineering(natural science edition), 2014,01:0053-05
4. 李秀英, 刘彦博. 基于 PWM 的四旋翼飞行器控制方法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2011,05:0464-09
Li Xiu-ying, Liu Yan-bo. Control method of quad-totor based on PWM [J]. Journal of JiLin University(Information Science Edition), 2011,05:0464-09.
5. 段世华. 四旋翼飞行器控制系统的设计和实现[D]. 成都电子科技大学. 2012.5.
Duan Shi-hua. Design and Implementation of Quad Control System[D]. Chengdu Electronic Technology University. 2012.5.
6. 王帅, 魏国. 卡尔曼滤波在四旋翼飞行器姿态测量中的应用[J]. 兵工自动化, 2011,01:022-03.
Wang Shuai, Wei Guo. Application of Kalman Filter in the Attitude Measurement of Quad-rotor[J]. Ordnance Industry Automation, 2011,01:022-03.

7. 王素清,姜维福. 基于 MATLAB/Simulink 的 PID 参数整定[J].工业控制与应用,2009, 03:0024-03.
Wang Shu-qing,Jiang Wei-fu. PID Parameters tuning based on MATLAB/Simulink[J]. Industrial Control and Application,2009, 03:0024-03.
8. 国倩倩. 微型四旋翼飞行器控制系统设计及控制方法研究[D]. 长春: 吉林大学.2013.6.
Guo Qian-qian. Research of micro Quad in Design and Control method [D]. Changchun:JiLin University. 2013.6.
9. Domingues J M B. Quadrotor prototype[J]. Universidade Tecnica deLisboa. Dissertacio, 2009.
10. Bouabdallah S, Siegwart R. Full control of a quadrotor[C]//Intelligent robots and systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ international conference on. IEEE,2007:153-158 .
11. Lim H, Park J, Lee D, et al. Build your own quadrotor: Open-source projects on unmanned aerial vehicles[J]. Robotics & Automation Magazine, IEEE, 2012,19(3):33-45.
12. Patel V K R S, Pandey A K. Modeling and Performance Analysis of PID Controlled BLDC Motor and Different Schemes of PWM Controlled BLDC Motor[J]. International Journal of Scientific and Research Publications, 141.

核磁共振放大器的无线配置方法*

林小雪；杜文元；王顺月

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 目前, 核磁共振找水仪通过信号放大器来对接收到的信号进行放大。但是现有技术对该放大器放大倍数的设置都是通过有线方式进行的^[1], 比较麻烦。针对该信号放大器放大倍数的设置方法, 本文提出了利用已经成熟的 ZigBee 技术来改进。系统基于 ZigBee 无线通讯模块, 并利用 MSP430 单片机对节点进行硬件设计, 组成了一对多的信息收发网络。经过实验验证, 实现了核磁共振找水仪放大器的无线配置, 解决了野外布线困难的现状, 有效的降低了实验的复杂度, 提高了实验的测量效率。

关键字: 核磁共振 ZigBee 无线传输 远程监控 实时通信

中图分类号: TG156

Wireless Collocation Of Nuclear Magnetic Resonance Amplifier

Lin Xiaoxue, Du Wenyuan, Wang shunyue

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: At present, NUMIS Plus amplify the received signal by amplifier. But the existing technology of the amplifier collocation is by wire, which is more troublesome. Aim to the amplifier setting, this paper puts forward a improvement method which using the matured ZigBee technology. The system was based on ZigBee wireless communication module, and used MSP430 single chip microcomputer to design the node, formed a one-to-many sending and receiving network. With the experimental verification, the realization of the wireless collocation of nuclear magnetic resonance amplifier solve the difficult situation of field wiring, effectively reduce the complexity of the experiment, and improve the efficiency of the measurement of nuclear magnetic resonance experiment.

Key words: Nuclear magnetic resonance ZigBee wireless transmission remote monitoring and control real-time communication

0 前言

二维核磁共振仪器, 有多个放大器, 目前正在使用的配置方法是传统的 RS485 通讯方式^[2]。核磁共振仪器常常在野外工作, 因此, 地势环境会对其工作效果产生很大的影响。仅针对其放大器放大倍数的配置过程来说, 通过有线方式设置, 在野外环境就显得麻烦^[3]。携带大量引线是比较大的负担, 除此之外, 实验准备过程中多个仪器的阵列式摆设会使得布线更加繁琐^[4-5]。这些都会影响实验效率。

为了解决上述问题, 本文提出了使用无线通讯方式配置核磁共振放大器放大倍数的方法。目前比

较成熟的无线通讯方式有蓝牙 (Bluetooth), 无线局域网 802.11 (WI-FI), 红外数据传输 (IrDA) 和 ZigBee 技术^[6], 其中 ZigBee 技术是最简单的, 而且其近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本^[7]的特点能满足我们的要求。

以 ZigBee 无线数据传输的方式对二维核磁共振放大器系统进行配置, 可降低实验布线复杂度, 同时保证控制数据传输的精度, 速度, 以及安全度, 可以节省大量人力和实验成本, 对二维核磁共振仪器的推广具有极其深远的意义。

1 系统设计

* 指导教师: 凌振宝

项目类型: 创新项目

考虑到系统的功能，配合工作过程进行合理设计，我们把系统的结构分为两部分，分别是：ZigBee

无线通信部分和 Msp430 单片机转换控制部分。系统整体结构图如图 1 所示。

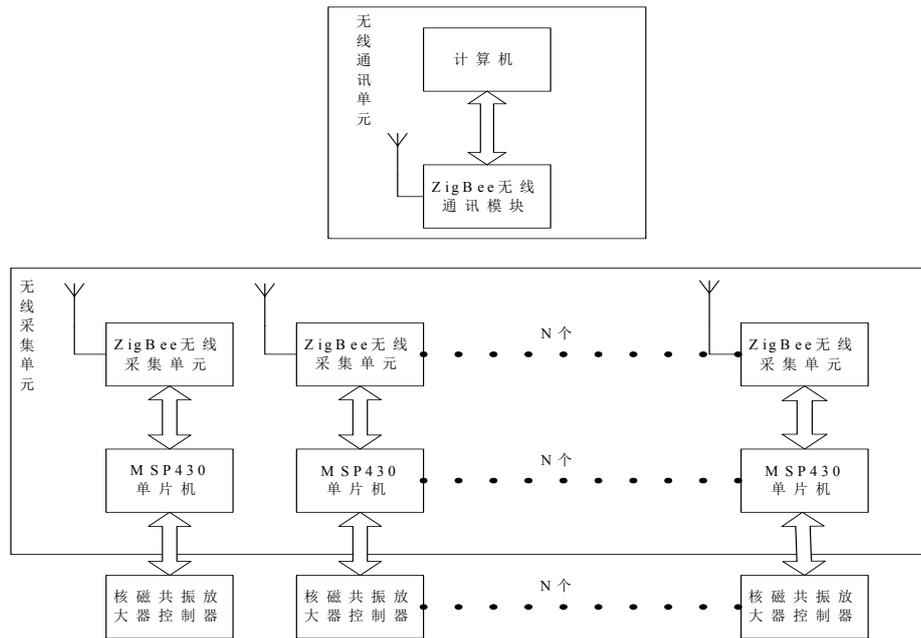


图 1 系统结构图

Fig.1 The system structure drawing

1.1 无线通信部分

在对 ZigBee 的安全规范、应用层协议、网络层、媒体控制访问层和物理层进行简单分析的基础上，对于 ZigBee 技术的无线传感器网络的组建流程、分配地址模式及体系结构进行规划，运用通用的 ZigBee 协议来实现数据传输。

透传模块的主要芯片是 CC2530 芯片，将要对二维核磁共振放大器进行配置的数据通过串口传到 ZigBee 无线通讯模块里，然后自动把数据通过无线网络发送出去，并按照预先配置好的网络结构，和网络中的目的地址节点进行收发通讯，ZigBee 无线采集单元会进行数据校验^[8-10]，如数据无误则通过 MSP430 单片机的串口送出。

1.2 MSP430 转换与控制部分

MSP430 单片机在系统中的主要作用是接收来自 ZigBee 无线采集单元的十六进制数据串信号，并且截取特定的一位转换成二进制数据，然后由 I/O 口输出，实现数据的裁剪与转换。

单片机还有一个作用就是读取与放大器接口的电平值，转换成相应的二进制数。将此数据通过 ZigBee 采集模块发送回计算机终端，对比实际结果与设置数据是否一致，若一致则完成配置工作，否则重新配置^[11]。

2 硬件设计

基于 ZigBee 的二维核磁共振放大器无线配置装置是由无线通讯单元和无线采集单元构成的。设备运行时，首先计算机对 ZigBee 无线通讯模块进行参数控制，ZigBee 的 1 个无线通讯模块与 N 个无线采集模块配置成功后返回确认信息给计算机。ZigBee 无线通讯模块通过电磁波向无线采集模块发送控制信息，ZigBee 无线采集单元将成功接收到的控制信息经过处理后通过控制线传送给对应的二维核磁共振放大器控制器；整体配置完成后，即可将二维核磁共振放大器的实际放大倍数通过无线方式传送回计算机主机，方便校验。

2.1 供电模块

采用锂电池为模块供电，其电量存储量大，而且 ZigBee 模块的功耗低，锂电池能为其提供时间较长的能量，能满足长时间工作的要求。锂电池的体积小，对装置的小型化设计有很大辅助作用，为本装置供电的锂电池易于更换，按照数据传输距离的远近与功率高低关系密切的原理，当需要调整数据传输距离时，只需更换不同电量的锂电池，对电路的改动不需很大，这样可以避免浪费有利于节约成本，对产品的市场化推广有着深远的意义。

2.2 无线通讯单元

无线通讯单元由计算机通过 USB 连接 ZigBee 无线通讯模块构成。首先通过计算机的人机界面输入需要配置的放大倍数，并通过串口发送出去；ZigBee 无线通讯模块以点名的方式发送无线信号。

2.3 无线采集单元

无线采集单元是由N个 ZigBee 无线采集模块通过控制线分别与 N 个 MSP430 单片机连接构成的。

被点名的 ZigBee 无线采集模块接收来自无线通讯单元的无线信号，然后通过控制线传送给相应的 MSP430 单片机，MSP430 单片机自动截取程序要求的其中一位数转换成对应的二进制控制信号，通过控制线传送到核磁共振放大器控制器，从而配

置放大器的放大倍数。放大器开始工作后，MSP430 单片机接收放大器接口的电平值，经过数据分析后，将该二进制数即实际的放大倍数返回给 ZigBee 无线采集模块，通过无线传输把实际放大倍数返回到计算机，显示在屏幕上，从而与原始设置的数据进行比较，如果不一致则重新发送信号，如果前后数据一致，则完成配置过程。单片机与核磁共振放大器硬件连接图如图 2 所示。

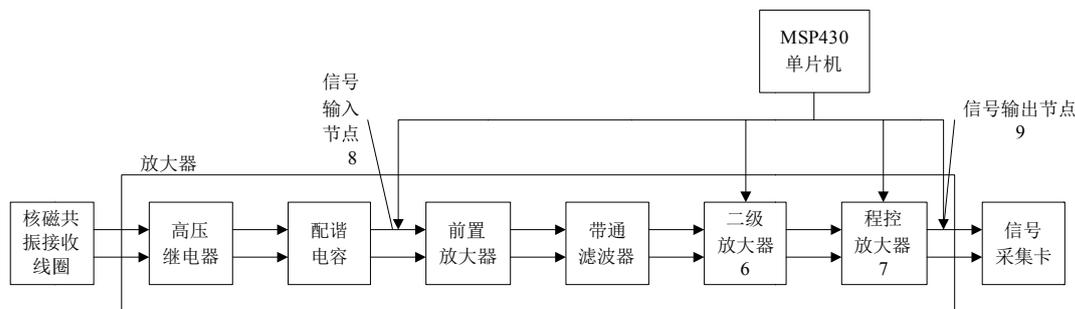


图 2 单片机与核磁共振放大器硬件连接图

Fig.2 Microcontroller and nuclear magnetic resonance (NMR) amplifier hardware connection diagram

2.4 ZigBee 数据收发

计算机需要发送数据对二维核磁共振放大器进行合理配置，向核磁控制器发送的数据是控制器配置核磁共振放大器的配谐电容和放大倍数等参数。在 ZigBee 网络中，只有设备加入到网络中，才可以传输数据，首先，按照协议中规定的帧形式，构建帧数据，该帧数据包括帧头、帧内容；帧头包括帧类型、源地址、目的地址、PAN、CLUSTERID 等信息，帧构建好后，然后调用 MAC 层的原语，MCPS-DATA.request，将收到的结果通过 MCPS-DATA.confirm；ZigBee 控制设备可以接收数据，首先必须使能接收，在协调器或路由器中，只要设备不发送数据就可以处于接收状态，对于 end device，调用 NLME-SYNC.request 原语，网络层，调用 MLME-POLL.request 原语，去查看其父节点是否暂存数据，待发送到该节点，如果有将使能接收。网络传输图如图 3 所示。

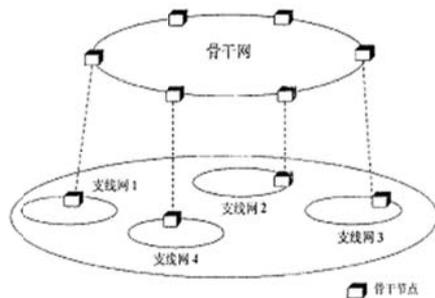


图 3 组网传输图

Fig.3 The transmission diagram of networking

3 软件设计

系统选用 CC2530 与 MSP430 单片机进行数据处理，采用 C 语言对软件部分进行开发，使软件具有可读性好，可移植性好等特点。整个系统的程序采用子程序调用的模块化设计方式，各个子程序块设计相对独立，方便修改和调整。程序的流程如图 4 所示。

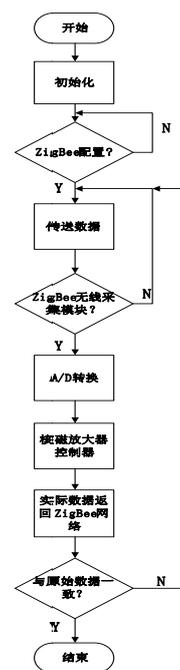


图 4 程序流程图

Fig.4 Program flow chart

4 测试结果

测试时暂用三个无线采集单元进行测试。显示与发送串口数的软件是用 VB6.0 开发的与本设备相匹配的放大器参数设置软件。首先准备好各项实验设备,保证 ZigBee 收发模块握手成功。设置发送的字符串为“579”,也就是设置一号放大器的放大倍数为 5 倍,二号放大器的放大倍数为 7 倍,三号放大器的放大倍数为 9 倍。开始运行无线发送设备并点击发送按钮。随后计算机收到返回数据为“579”,与设定数据一致,说明本次测试成功。测试结果的软件界面显示如图 5 所示。



图 5 测试结果图

Fig.5 The test result diagram

5 结束语

本文提出的无线配置方法有效地实现了计算机处理器与核磁共振放大器控制信号的无线传输,准确并高效地完成了配置过程,而且能校验实际放大倍数与设定放大倍数的差异,避免了通过有线配置方式的布线麻烦、携带负担等诸多不便之处,具有高效性、准确性与便捷性。此外,还可以节约实验成本并且易于维修和远程修复。对于未来物联网化的仪器控制十分有帮助,对二维核磁共振放大器的进一步发展起到重要的推动作用。

参考文献

1. 林君,段清明.核磁共振找水原理与应用[M].科学出版社,2011.
Lin Jun, Duan Qingming.Nuclear magnetic resonance water exploration principle and application[D].Science press,2011.

2. 王应吉,王阳,易川.地面核磁共振找水仪放大器匹配方法研究[J].吉林大学学报,2008,26(5):441-447.
Wang Ying-ji,Wang Yang,Yi Chuan.Investigation on Matching Methodology of Amplifier in Surface Nuclear Magnetic Resonance Instrument for Groundwater[J].Journal of Jilin University,2008,26(5):441-447.
3. 高东旭.核磁共振找水仪弱信号放大器设计[D].长春:吉林大学,2008.
Gao Dong-xu.Implementation of Weak SNMR Signal Amplifier for Groundwater Investigation[J].Changchun:Jilin Univesity,2008.
4. 蒋川东.核磁共振 2D/3D 地下水成像方法及其阵列式地面探测系统研究[D].长春:吉林大学,2013.
Jiang Chuan-dong.Development of 2D/3D Magnetic Resonance Tomography and Array Surface NMR System for Groundwater Exploration[D].Changchun:Jilin University,2013.
5. 林婷婷,蒋川东,齐鑫等.地面磁共振测深分布式探测方法与关键技术[J].地球物理学报,2013,56(11):3651-3662.
Lin Ting-ting,Jiang Chuan-dong,Qi Xin etc.Theories and key technologies of distributed surface magnetic resonance sounding[J]. Chinese Journal of Geophysics,2013,56(11):3651-3662.
6. 吉大网络图书馆电子期刊及图书, <http://lib.jlu.edu.cn>.
Ji Lin university library electronic journals and books.
7. 吕然.ZigBee 标准及其进展[J].移动通信,2013(9):73-77.
Lv Ran. ZigBee Standards and its Progress[J]. The mobile communication,2013(9):73-77.
8. 王凤.基于 CC2530 的 ZigBee 无线传感器网络的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2012
Wang Feng.Design and Implementation of ZigBee Wireless Sensor Network Based on CC2530[J].Xian: Xian electronic science and technology University,2012.
9. 吕治安,段朝玉.ZigBee 网络原理与应用开发.北京航空航天大学出版社,2008.
Lv Zhi-an,Duan Chao-yu.Zigbee principle of net with

application and development.BUAA press,2008.

10. 吴铁洲,周扬. 基于 ZigBee 的短距离通信技术研究. 湖北工业大学, 2009.

Wu Tie-zhou,Zhou Yang.The research of short-haul communication technical based on Zigbee.

11. 谢兴红, 林凡强, 吴雄英. MSP430 单片机基础与实践. 北京航空航天大学出版社, 2008.

Xie Xing-hong,Lin Fan-qiang,Wu Xiong-ying.MSP430 single chip basis and practice.BUAA press,2008.

基于 MATLAB 的瞬变电磁解释结果的三维成像*

王雪; 卢滔; 王子蕴

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 为了更清晰地显示地电结构, 将由瞬变电磁法 (Transient Electromagnetic Method) 测得的二维数据, 采用三维成像的方法进行重建得到三维数据, 并使用 MATLAB 软件进行三维图像显示。设计了图形用户界面 (GUI), 并在界面上显示三维图像和相关的参数数值, 可以人为地调整观察角度以观测整个图像的细节, 也可以进行 x, y, z 三个方向上的切片展示。

关键词: 瞬变电磁法 三维成像 图形用户界面

Three dimension imaging for results of TEM interpretation based on MATLAB

WANG Xue; LU Tao; WANG Ziyun

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: To show the geo-electric structure more briefly, use 3D imaging method, rebuild the 2D data which is tested by TEM into 3D data, and use MATLAB display the 3D images. At the same time, designed a Graphical User Interface, 3D images and related parameter values are showed on the interface. People can change viewing angles in order to know all the details of the whole image. Furthermore, it can show tomography along x or y or z axis.

Key words: Transient Electromagnetic Method 3D imaging Graphical User Interface

果进行三维立体显示。

0 前言

我国是世界上煤矿水文地质条件最为复杂的国家之一, 煤矿水害是仅次于瓦斯灾害的第二大煤矿灾害性事故^[1]。在寻找矿产资源和水文勘探领域最突出的物探方法是瞬变电磁法 (Transient Electromagnetic Method), 简称 TEM, 该方法对探测区域内含水异常体反应灵敏、探测方向性强, 具有体积效应小、工作效率高、成本低等优点。因此, 对其结果进行显示时应采用合适的显示方法, 才能让人更清晰直观地了解地电结构。

目前, 对瞬变电磁解释结果的显示通常是一维或二维显示, 并不能直观地显示出地电结构, 因此, 为了显示出地电结构的立体性, 可以采用三维成像的方法, 并利用 MATLAB 软件编写程序对解释结

1 瞬变电磁法原理简介

瞬变电磁法 (Transient Electromagnetic Method, 简称 TEM) 也称时间域电磁法, 是一种基于电性差异, 寻找低阻目标体, 研究浅层至中层地电结构的一种探测方法^[2]。瞬变电磁法的测量装置主要由发射回线和接收回线两部分组成, 整个工作过程分为发射、电磁感应和接收三个部分^[3], 其工作原理示意图如图 1 所示^[2]。其基本原理就是电磁感应定律, 基本工作方法是利用不接地回线向地下发送一次脉冲磁场, 在一次场间歇期间, 用接收线圈观测二次涡流场, 进而观察由涡流场产生的新的二次磁场。由于二次磁场是由地下的导电地质体的感应电流感生出来的, 所以通过分析二次磁场的时间和空间分

* 指导教师: 万玲

项目类型: 创新项目

布，就可以得到有地质体有关的地质信息，从而得到地下地质体的相关物理参数，确定浅层至中深层的地电结构。

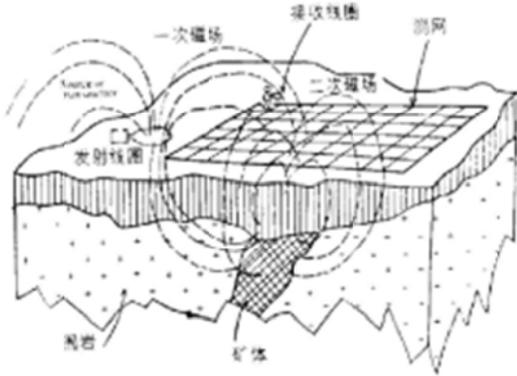


图1 瞬变电磁法工作原理示意图

Fig.1 Working principle of TEM

2 瞬变电磁三维成像原理

强大的绘图功能是 Matlab 的特点之一，Matlab 提供了一系列的绘图函数，用户不需要过多的考虑绘图的细节，只需要给出一些基本参数就能得到所需图形，这类函数称为高层绘图函数^[4]。此外，Matlab 还提供了直接对图形句柄进行操作的低层绘图操作。这类操作将图形的每个图形元素（如坐标轴、曲线、文字等）看做一个独立的对象，系统给每个对象分配一个句柄，可以通过句柄对该图形元素进行操作，而不影响其他部分。所以 MATLAB 十分适合对于瞬变电磁图像显示。

2.1 三维重建

三维分布图是对地下电阻率分布进行显示，不同的电阻率用不同的颜色进行显示。通过瞬变电磁法得到的数据是二维数据，为了直观地显示地电模型，需将二维数据（包括 x 轴探测长度、z 轴探测深度和视电阻率值）进行三维重建，最后呈现出三维显示图。要实现瞬变电磁数据的三维可视化，首先要对采集的数据进行整理，将其转换为三维坐标系下的散点数据，并且转换为对应的三维矩阵，然后通过程序选择出需要显示的电阻率范围，经过程序选择，利用 MATLAB 软件对三维数组进行插值，最后使用 MATLAB 自带的 PATCH, ISOSURFACE 函数将等值的电阻率分布点连成等值面，加上修改坐标，即可得到三维立体图像。

MATLAB 还提供了旋转功能，可以更好地显示导体的位置及范围，从不同角度研究导体的分布^[4]。

三维重建的主要步骤可以分为：提取数据库、三维矩阵的转换、三维重建和显示、后期处理。

1) 对采集来的数据库进行导入，分析数据的容量，类型，使得数据能供程序使用。

2) 三维矩阵的转换：由于获得的数据是列表形的，每一个位置对应一个算数值，需要根据测量时测量系统的实际情况将数据整合为关于 x,y,z,u 四个数据的三维矩阵。

3) 三维优化和显示：使用 MATLAB 软件中的三维成像算法，将三维矩阵中等值的点链接起来，并且在期间插值平滑化优化，成为可供绘制的几何图素，并将其显示出来。

4) 后期处理：类比二维视电阻率平面图中的着色方案对三维图像进行着色、光照等处理，优化成像效果，进而获取瞬变数据后期解释需要的图像资料。

2.2 程序原理图

三维成像程序原理图如图 2：

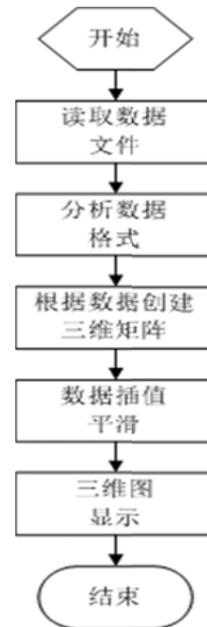


图2 三维成像程序原理图

Fig.2 Principle of 3D imaging program

为了方便研究人员对地下电导率进行进一步的研究观察，须使三维成像内部切面成图。类似对地下电导率进行二维成像，根据程序得出的三维位置数据，选择显示出区域内随意一个切面的切面图，则切面图为显示一个二维函数 $C=f(x,y)$ 或者 $C=f(x,z)$, $C=f(y,z)$ 。对数据进行插值，通过 MATLAB 自带的等高线绘图函数 `contourf` 为基础，绘出效果图。X,Y 轴表示不同的位置，不同的颜色表示出不同的电阻率。

切片图程序原理图如图 3：



图 3 切片程序原理图

Fig.3 Principle of tomography program

2.3 三维显示图

下面两幅图均是用 MATLAB 绘制的瞬变电磁数据图。其中图 4 为二维切片图，图 5 为三维分布图。

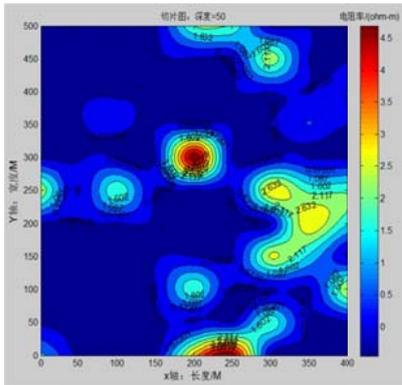


图 4 二维切片图

Fig.4 2D tomography

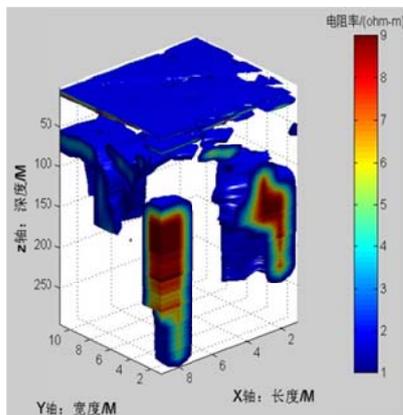


图 5 三维分布图

Fig.5 3D distribution

两幅图均能反映浅层地层的视电阻率变化情况，但是二维切片图只是一幅断面图，包含信息量只是这一固定深度平面的地质体信息，而利用三维成像方法得到的是一个三维空间的成像，可以观察到不同深度的地质体信息。二者相比，三维分布较二维切片内容更加丰富，显示更加直观，解释更加全面。

3 用户界面设计

图形用户界面 (Graphical User Interfaces) 简称 GUI, 借助于 MATLAB 软件其出色的符号运算、数值计算、图形处理等功能及 GUIDE 编辑器^[5], 可以设计出简洁直观、操作简单的图形用户界面, 并在界面上实现数据处理、图像显示等功能, 提供友好的人机交互平台, 实现图形的可视化。本研究正是利用 MATLAB 软件的图形可视化与界面设计功能进行界面设计。

3.1 界面设计

设计思想是先创建新的图形界面, 然后在 GUIDE 界面上添加控件, 最后添加控件的程序编码实现处理数据和显示图形的功能。在 GUIDE 界面上直接拖拽按钮, 按钮功能为打开文件, 使用 uigetfile 函数弹出窗口, 选择文件。得到文件的路径名以及文件名, 使用 fullfile 函数整合路径, load 数据, 将数据全局变量化, 使用到各个绘图函数。图像操作按钮设置有放大、缩小、光照、3D 显示、反转等, 能对图像进行直接的显示处理。整体菜单结构如图 6:

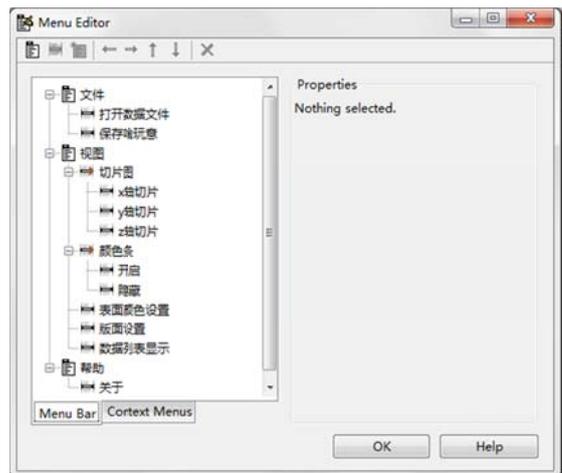


图 6 菜单结构图

Fig.6 Menu editor

设计界面的过程中有两点需要注意: 第一, 合理安排各个控件的布局, 做到简洁、美观, 结构清晰。第二, 为不同控件、菜单编写相应的 callback 函数, 保证界面能够实现各种功能。

3.2 软件调试

界面运行后可以显示整体的三维成像图，效果如图 7，添加光照后，界面显示的三维成像图效果如图 8。二者对比可以明显看出图 8 的层次感更强，成像效果比图 7 要好。

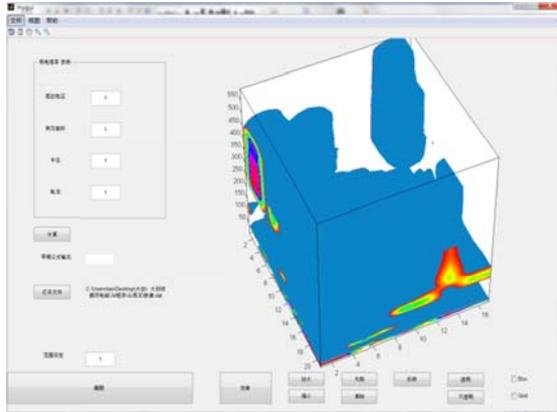


图 7 三维成像图

Fig.7 3D image

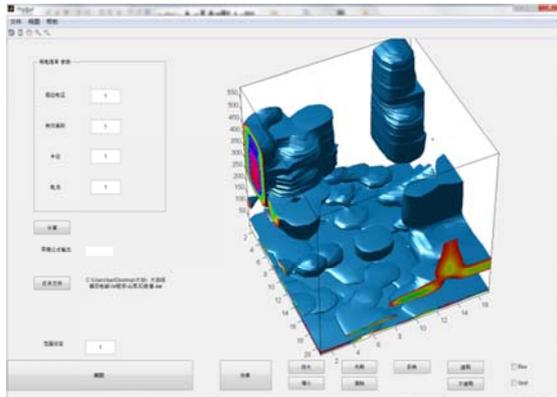


图 8 添加光照后的三维成像图

Fig.8 3D image after adding light

此外，也可以通过菜单选择进行三个方向上的切片图的显示^[6]，图 9 为沿 x 轴方向的切片图，并且通过设计，能够选择详细至 1m 的坐标位置进行观察。

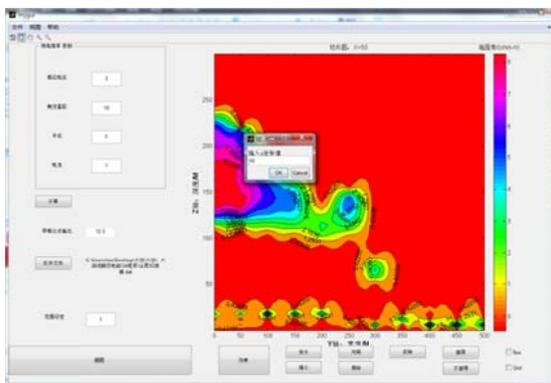


图 9 沿 x 轴方向的切片图

Fig.9 Tomography along x axis

4 结论

基于 MATLAB 软件得到的三维成像是可行的，具有较好的实际应用效果。视电阻率的三维成像解释比二维等值线成像更加直观、更加全面，并可以较好地勾画出地质体的整体结构，判断出矿产、地下水等资源的位置和范围。在利用三维成像进行地质数据解释时，还可以通过切片技术对三维成像体进行不同方向的切片，达到更详细了解探测区域地下各种构造的目的。虽然目前应用最广泛的瞬变电磁探测方法还处于一维阶段，但是三维探测和解释已经开始暂露头角，并随着瞬变电磁三维正反演理论的完善而不断完善，瞬变电磁三维成像解释将得到越来越广泛的应用和发展。

参考文献

1. 陈佳鹏, 杨真, 李冬鬼. 三维成像技术在矿井瞬变电磁数据解释中的应用[J]. 煤炭工程, 2013,45(11):66-68.
Chen Jiapeng, Yang Zhen, Li Dongwei. Application of 3D imaging technology in mine TEM data interpretation[J]. Coal Engineering, 2013,45(11):66-68.
2. 嵇艳鞠. 浅层高分辨率全程瞬变电磁系统中全程二次场提取技术研究[D]. 吉林大学, 2004.
Ji Yanju. All-time Secondary Electromagnetic Field Extraction in High Resolution Transient Electromagnetic System for Subsurface Imaging [D]. Jilin University, 2004.
3. 万玲. 基于奇异值分解的定回线源瞬变电磁数据处理算法的研究[D]. 吉林大学, 2010.
Wan Ling. Fixed-loop TEM Data Processing Algorithm Research Based on SVD[D]. Jilin University, 2010.
4. 陈杰. MATLAB 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
Chen Jie. MATLAB Bible[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.
5. 黄玉华. MATLAB 中的曲面作图[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2007(2).
Huang Yuhua. The Drawing of Curved Surface in MATLAB[J]. Journal of Guangxi Education University (Natural Science Edition), 2006, 23(4).

6. 陈垚光. 精通 MATLAB GUI 设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.

Chen Yaoguang. Proficient in MATLAB GUI Design[M].

Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.

平面定位系统设计*

戴强；袁权；张迪；吕博男

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了实现对平面定位系统运动的控制, 系统以 STC89C52 单片机为核心控制器, 控制电机的运动状态, 使用 L298 模块作为电机驱动装置, 设计中采用的是两相四线式步进电机, 显示采用的是 LCD12864 液晶显示器, 并使用光电传感器实现寻迹运动。该设计还可以精确实现坐标运动和圆运动, 以及实时显示坐标功能。在 80cm×100cm 范围内, 已知画笔所在坐标时, 利用三角形关系能计算出画笔两端的绳长, 此时只要已知目的地, 同理能计算出两绳的伸缩值, 进而控制电机的正转、反转。经过实际测试, 基础部分和发挥部分误差均不大于 1cm, 在误差允许范围内, 达到系统要求。

关键词: 平面定位 步进电机细分 极坐标计算 误差分析

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

Plane positioning system

YUAN Quan, LV Bonan, ZHANG Di

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: In order to control the plane positioning system movement, the system adopts STC89C52 MCU as the core controller, the motion state of the motor control, use the L298 module as the motor driving device, is used in the design of two-phase four wire stepper motor, display is used LCD12864 liquid crystal display, and the use of photoelectric sensor to realize tracing movement. The design also can accurately realize the coordinate and circular motion, and real-time display coordinates function. In the range of 80cm * 100cm, the known coordinates where the brush, using triangular relationship to calculate the brush at both ends of the rope length, this time as long as the known destination, similarly to calculate the value of telescopic two ropes, and then control the motor positive rotation, inversion. After the actual test, basic part and play a part of the error is not more than 1cm, in the range of allowable error, can meet the system requirements.

Key words: The plane position stepper motor subdivision polar coordinate calculation error analysis

0 前言

目前, 平面定位系统在国内外许多行业中都有广泛的应用, 随着社会的发展, 人们对平面定位系统提出了更多更高的要求。国内外有数百家公司涉足平面定位系统领域, 主要以微控制器和电机为核心, 充分运用自动控制原理。因此工业生产和日常生活中的许多自动化平面定位系统越来越具有智能

化、低碳化、高效率的特征。在国内, 多数公司仍处在代理商或施工方的阶段, 没有自己的品牌; 少数几家公司具备研发能力, 但是产品品牌单一、功能简单、稳定性和可靠性不高; 国外一些公司在领域发展较早, 尤其以欧美为主, 虽然进口产品功能多、性能稳定, 但是价格昂贵。

1 器件选择

* 指导教师: 戴强

项目类型: 创新项目

首先, 步进电机的步进距离小, 保持力矩大, 制动能力强, 在负载最重要的是能实现画笔的精确运动。另外, 步进电机控制简单, 只需输入相应的脉冲数。但其缺点是功耗较大, 转动时有震动。本系统最重要的地方是控制画笔的精确运动, 要求电机的转动达到一定精度, 而震动可以采用电机的细分控制, 另外, 步进电机价格低廉, 累计误差小, 所以, 考虑各方面因素, 本设计采用两相四线式步进电机, 选择步进电机。然后选用 THB6128 步进电机驱动器细分模块, 系统中使用的是两相电机, 步矩角 1.8° , 精度上难以达到要求。THB6128 模块具有最大为 128 倍的细分, 即步矩角最小为 0.014° , 电机运行平稳、振动小, 产生误差小。考虑到完成设计最重要的是精度上的要求, 故选用 THB6128 步进电机驱动细分模块。最后采用光电对管寻迹模块检测黑线; 画板上的黑线较周围浅色背景反射率低, 通过比较接收到的光信号强弱即可知道前方黑线的走向, 从而调整路线, 达到寻迹功能。

2 系统设计

系统主要分为两部分, 控制端和执行端。控制端使用 STC89C52 单片机作核心控制器, 执行端即使用电机完成画笔的相对运动。首先, 利用键盘选定运动方式和设定当前坐标, 系统中共有四种运动状态, 分别为自定义运动、圆运动、坐标运动和循迹运动。若选定自定义运动, 则画笔自动运行超过 100cm 的距离; 若选定坐标运动, 则设定目标点后开始运动; 若选定寻迹运动, 则画笔应先放置于黑线的起点处, 然后开始运行, 寻迹完成后, 系统停止运行。

3 数据分析

3.1 坐标运动分析

设左下角坐标为 $(0, 0)$ 。首先设定画笔所在位置坐标为 (x_0, y_0) , 则构成两个直角三角形, 由直角三角形三边关系可得出如下算式:

$$(115 - y_0)^2 + (x_0 + 15)^2 = a_0^2$$

$$(115 - y_0)^2 + (95 - x_0)^2 = b_0^2$$

因此可计算出绳长分别为 a_0, b_0 ; 当运动后的坐标为 (x_1, y_1) 时, 同样方法计算出绳长分别为 a_1, b_1 。所以, 若想完成目标运动, 左侧绳子需要收缩 $(a_0 - b_0)$ cm, 右侧绳子收缩 $(a_0 - b_0)$ cm。确定两者

差值后, 即可控制电机转动相应的圈数。另外, 经过实际测试, 电机每转动 0.45 圈, 绳子相应收缩或伸长 1cm, 所以, 左侧电机反转 $(a_0 - b_0) \cdot 0.45$ 圈,

右侧电机反转 $(a_0 - b_0) \cdot 0.45$ 圈。

3.2 循迹运动分析

使用三个光电对管检测黑线并排放置。已知对管检测到黑线时输出为低电平。若 O_1 输出低电平, O_2, O_3 输出高电平, 则电机 A 与电机 B 同时反转 (收缩), 每次给定 8 个脉冲; 若 O_1, O_2 输出低电平, O_3 输出高电平, 说明向右偏离轨道, 此时电机 A 反转, 电机 B 正转; 若 O_1, O_3 输出低电平, O_2 输出高电平, 说明向左偏离轨道, 此时电机 A 正转, 电机 B 反转。不断判断三点的输出状态, 使寻迹模块始终循黑线运动。

另外, 因轨迹有断点, 在断点处三个对管均输出高电平, 不满足上述任何状态, 所以增加控制为: 当 O_1, O_2, O_3 输出均为高电平时, 电机 A 与电机 B 同时反转 8 个脉冲, 然后在判断上述三个输出状态, 完成最终运动。由于题目中共有两处断点, 所以要识别断点个数, 当时别到第三个断点时, 即认为完成寻迹运动, 停止工作。

4 电路设计

硬件电路部分只分为三个方面, 单片机最小系统 (包括液晶显示)、电机驱动和光电对管循迹模块。

4.1 显示电路

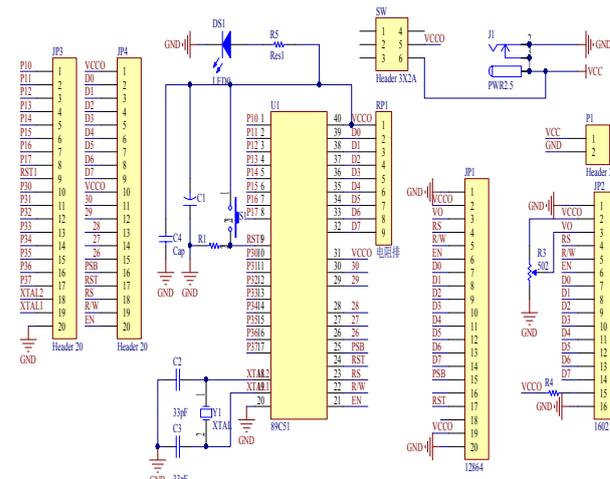


图 1 显示电路

Fig.1 Display circuit

本系统采用 STC89C52 单片机为核心控制器, 最小系统包括复位电路和晶振电路。系统第一次上电时, +5V 通过给电容充电, 于是此时电容相当于短

路，+5V 直接加到 RST 脚上，单片机自动复位。过了极短的时间，电容充电完毕，此时电容则相当于开路，于是 RST 脚被电阻 R113 拉为低，单片机开始正常工作。当复位键按下时，+5V 通过按键加到 RST 脚上，单片机复位，复位键弹起之后，RST 脚重新被 R113 拉为低，单片机开始正常工作。

4.2 驱动电路

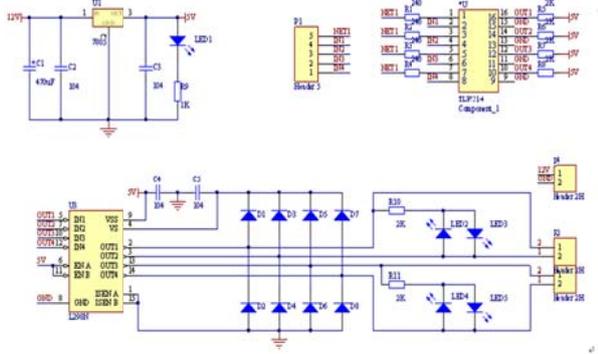


图 2 驱动电路

Fig.2 Drive circuit

驱动部分使用 L298 构成的驱动模块，降压电路使用的是 7805 降压芯片，将 12V 电转换成 5V 其他电路使用，电路中电容起到滤波、稳压的作用，使降压后的电源工作稳定。另外，驱动电路中使用的 8 个二极管起到保护的作用，即使输出电压限定在 12V 以内，4 个发光二极管能实时显示电机各项绕组的工作状态，便于电机的时序控制。

4.3 光电对管电路

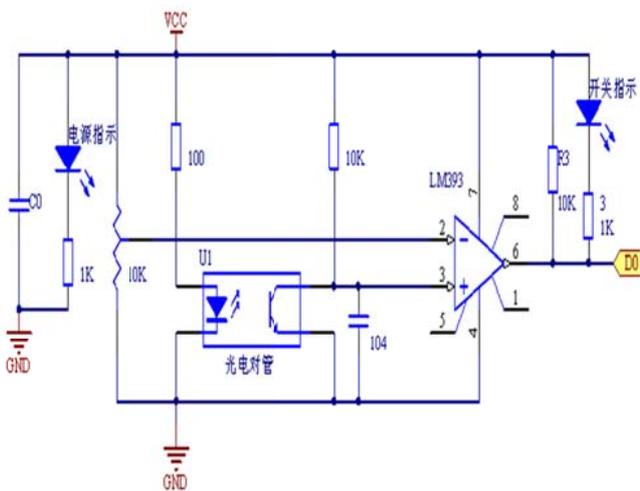


图 3 光电对管电路

Fig.3 The photoelectric pair transistor circuit

光电对管根据反射强度的不同输出电平不同，当在其检测范围内有黑线（轨迹）时，其输出端输出低电平，没有黑线时其输出高电平。本设计共使用三个并列的光电对管用于循迹，寻迹过程中应保

持中间对管输出低电平，两侧对管输出高电平，一旦有一个输出低电平，此时控制另一侧电机运动，直至该侧对管输出低电平，再使对方电机运动，如此反复，直至寻完轨迹，系统停止。

5 软件流程

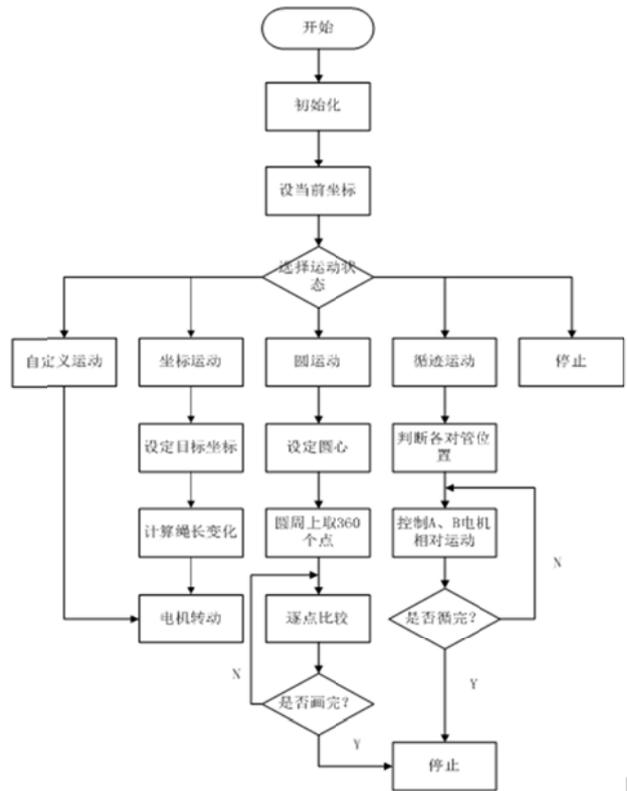


图 4 软件系统流程图

Fig.4 Software system flow chart

首先应由键盘输入当前坐标值，即确定当前绳长，再选择运动状态。当选择自定义运动时，软件中已经预先设定目标坐标点，此时相当于已知两端绳长变化，时电机A、B转动相应距离即可完成目的；选择坐标运动时，运动原理与自定义运动相同；选择圆运动时，只需将画笔摆放在圆周最右侧，确定即可开始运动，利用极坐标和相邻两点比较可完成预定动作，由于设计在圆周上取360个点进行运动，所以走满360次自动停止；若选择寻迹运动，就是不断判断三个光电对管的输出状态，进而对电机实施相应的控制，完成寻迹运动。

6 测试结果

已知画笔的运动范围在80cm×100cm的画板上。设画板为一个二维的坐标系，如图5所示：

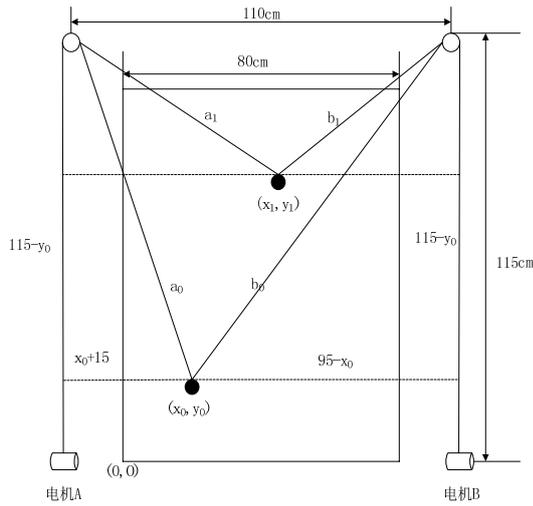


图 5 运动界面图

Fig.5 Interface of motion

根据运动界面图搭建的实际运动系统，让该系统绘制半径为 30cm 的圆运动和边长为 60cm 的等边三角形（直线）运动，相应测试结果见表 1。

表 1 测试结果表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
圆运动	最大偏移 /mm	9	11	8	7	2	7	8	13	6	7	7.8
	三角（直线）运动	7	6	8	6	7	8	6	7	9	5	6.9

由上表可知，测试轨迹与标准图形最大偏差不超过10mm，且图形绘制准确，完全满足题目要求。

7 结论

经实际测试可知，该平面定位系统设计符合要求，可很好地实现对步进电机精细的控制和对运动过程控制算法的选择，精确实现坐标运动及圆运动，实际误差范围小于预设误差范围。其误差范围小、系统稳定性高，对研究平面定位系统的后续精确计算和功能扩展开发有很大帮助和影响。

参考文献

1. 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
2. 黄志伟. 驱动电路的设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
3. 李志安. 单片机设计控制理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 1996.
4. 孙和安. 步进传动系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
5. 汪小敏. 电动机的 C 程序控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
6. 霍映辉. 步进电机的微机和单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.

扫频式磁共振探测电感测量仪的研制*

李鑫，郭玉峰，郑鑫

(吉林大学，仪器科学与电气工程学院，吉林长春 130001)

摘要：本项目针对核磁共振找水仪在实际应用过程中存在电感测量不精确导致的难以获得最佳谐振信号的前沿问题，基于串联谐振最佳谐振点电流最大的原理，设计扫频式电感测量仪器。信号发生器产生的扫频方波信号经过驱动板和 IGBT 及配谐电容加到电感线圈上，用霍尔电流传感器采集出最大电流以及最大电流时刻信号源产生的信号的频率，以此精确的计算出电感值，利用此方法设计一种扫频式电感测量仪以匹配找水仪，以获得最佳谐振核磁共振找水信号。

关键词：谐振；电感测量；扫频；电流

Resonance Detection of Inductance Measuring Instrument

Li Xin; Guo Yufeng; Zheng Xin

(College of instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130001, China)

Abstract:The project focuses on the frontier issues of the in-service use of the nuclear magnetic resonance instrument, which include the inductance measurement inaccuracies caused by resonance signal difficult to get the best in the actual application process. Based on the series resonance optimum resonance point current maximum principle, we designed sweep inductors measuring instruments. Commodities sweep signal generator generates a square wave signal goes through the drive plate and the IGBT with harmonic capacitance all add to the inductor coil, and use Hall current sensor frequency signal acquisition out the maximum current and the maximum current generated time signal source, we use these to accurately calculate the inductance value, then use this method to design a sweep -type inductance meter to match the water detector, in order to get the best resonance nuclear magnetic resonance signal.

Keywords: resonant; inductance measurement; frequency sweep; curren

0 引言

核磁共振找水仪器^[1]在野外工作过程中是以电路谐振为基本理论，若仪器没有工作在最佳谐振点，则不能获得最佳核磁共振探测信号。因而，本项目的研究目的是采用扫频方式确定核磁共振找水仪的发射线圈^[2]的最佳谐振电感值，为获得更加理想的核磁共振找水信号提供帮助。为此我们设计一种扫频式电感测量仪以匹配找水仪，以获得最佳谐振核磁共振找水信号。

本设计主要是利用 LC 串联谐振^[3]电路的原理来测量被测电感的值。如图 1 所示，该整体设计包括电源模块，DDS 扫频信号发生模块，IGBT 驱动模块，IGBT 桥路模块，被测电感线圈、配谐电容。信号部分通过软件编程控制 AD9850 芯片获得两个相位相差 180 度的扫频方波信号，同时主机向电流采集电路中的从机发送实时频率值。电路驱动部分利用 H 桥路技术，为保护桥路安全，桥路的两路控制信号需有十几微秒的死区时间。为此，这里使用 CPLD 技术获得死区时间，信号经过驱动电路加在电感线圈上，当电路在最大谐振点时，从机从主机获得此刻的频率值，记下此时频率 f ，电感值 L 与频率 f 满足如下关系：

1 扫频式电感测量仪的整体设计

* 指导教师：易晓峰

项目类型：创新项目

$$f = \frac{1}{2p\sqrt{LC}}$$

通过此公式计算出电感值，并显示出来。图 1 为该电感测量仪器的整体设计框图。

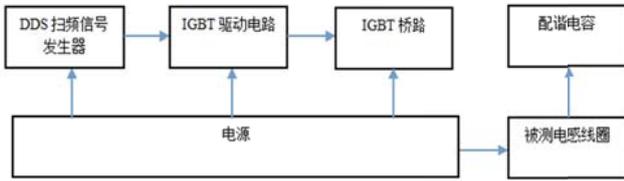


图 1 仪器整体设计框图

Fig.1 Overall design of instrument diagram

2 设计与实现

2.1 硬件设计

2.1.1 基于 IGBT 的 H 桥路设计

扫频信号发射回路基于开关逆变^[4]技术，其核心单元为由电感线圈和配谐电容组成的串联谐振回路。由 IGBT 构成的 H 桥路^[5]将单极性电源电压逆变为交流方波，加于串联谐振回路两端，并在线圈中形成正弦电流。

扫频信号在谐振时电压较大，同时工作频率在 1kHz 和 3kHz 之间，因此选用的桥路功率器件应是高功率、能够实现快速切换的器件。

IGBT 是先进的第三代功率模块，工作频率为 1~20kHz，主要应用在变频器的主回路逆变器及一切逆变电路，即 DC/AC 变换中。单个元件电压可达 4.0kV (PT 结构)~6.5kV (NPT 结构)，电流可达 1.5kA，是较为理想的功率模块。其特点是具有电压控制，控制电路简单、开关损耗小，通断速度快及元件容量大等优点。

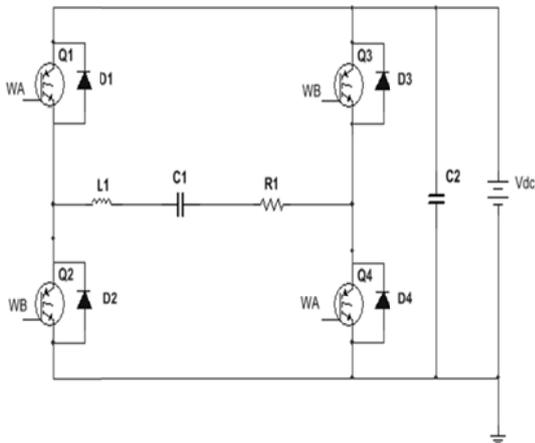


图 2 IGBT 组成的 H 桥路

Fig.2 H-bridge circuit composed of IGBT

图 2 是基于 IGBT 全桥路的发射回路电路图。Vdc 是

桥路输入电压，Q1~Q4 组成 H 桥路，WA、WB 是桥路控制信号，L1 是电感线圈，C1 是配谐电容，C2 是滤波电容，R1 是回路电阻，D1~D4 是 IGBT 反向吸收二极管。

2.1.2 IGBT 的驱动电路设计

驱动^[6]电路采用 TX-DA962D 驱动板，其特点是：
1. 每路输出 6A 电流，可驱动 300A/1700V 以下的 IGBT。
2. 专门设计的输出插座，每单元既可驱动一只 IGBT，也可驱动两只并联的 IGBT。
3. 保护报警输出部分与其它部分是电源隔离的，用户可灵活处置，每路均有故障指示灯。
4. 每两个单元自带一个独立的 DC/DC 辅助电源，各单元的隔离度好，用户只需提供一个独立的 15V 驱动电源。
5. 支持多种输入信号电平，统一的输出使能端控制。
6. 输入电源极性保护。

2.1.3 电流采集及 AD 转换部分设计

电流采集选择霍尔交流大电流传感器。霍尔元件型电流传感器其相应特性和精度都比较好，适合于长时间测量。因此，电流采集电路可以利用电流型霍尔传感器将大电流信号转换为小电流信号，然后通过采集处理电路获取该小电流信号。

AD 转换部分采用美国美信 (MAXIM) 公司生产的多量程、8 通道、12 位的 MAX197 数据采集芯片。以 MAX197 为核心的 A/D 转换电路具有外围电路简单、与处理器并口兼容性好、时序控制简单易懂的特点，其变换时间短，可靠性和性价比高，并且编程简单，比较适合实时性要求较高的大数据量数据采集与高速 A/D 转换使用

2.2 软件设计

软件设计指对两块 STC89C51 单片机^[7]编程即主机和从机，单片机采用 C 语言在 keil4 编译环境中进行编写。此仪器的软件系统可分为两个部分，一部分为基于 AD9850 的扫频信号发生器，另一部分则为信号采集电路。

2.2.1 扫频部分软件设计

此部分由 STC89C52 单片机向 AD9850 写入频率控制字，使其产生相应的频率信号，经软件延时及循环语句实现频率扫描的功能，然后从 AD9850 输出两个相位相差 180 度的扫频方波信号，经过 CPLD 的异或逻辑产生桥路控制信号。此外，还需将本机作为主机利用串口技术把扫频频率实时地发给从机，以便使从机获得频率值，并用其值计算出电感。

2.2.2 电流采集部分软件设计

电流采集部分主要由 STC89C52 单片机、霍尔电流传感器和 12 位高速 AD 芯片 MAX197 及其外围电路构成。首先，控制器检测是否有串口信号到来，若

有数据到来则进入接收数据（即主机发送的实时扫频频率）子程序。在这个子程序中，A/D 开始采集当前电流并转化为电压值，然后与前一次电压值比较，若前者大于后者，则保留前者的频率；否则，后者的作为频率保留。以此类推，在扫频结束后，将会得到最大电流值所对应的频率值 f_{max} ，最终由此值计算出电感值。

3 测试结果分析

3.1 波形输出结果分析

图 3 为发射回路负载两端实测电压波形^[8]，结果表明 IGBT 在开通和关断的时刻有比较大的尖峰电压，此尖峰电压会对系统产生一定干扰，应采取降低该尖峰干扰。

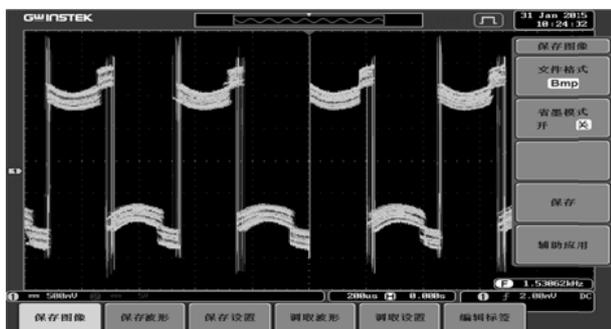


图 3 负载两端波形

Fig.3 both sides of load waveform

3.2 采集输出结果分析

为便于测试，用稳压电源向 H 桥路提供 15V 输入电压，测量所用电感线圈标准值为 $935.34 \mu\text{H}$ ，通过理论计算得谐振频率应为 2.60254kHz ，考虑到扫频频率的精度，这里取 2.602kHz ，扫频范围为 $1\text{kHz} \sim 3\text{kHz}$ ，记录霍尔传感器输出电压和相应的频率值如表 1 所示。

表 1 输出电压和相应频率表

Table 1 The output voltage and the corresponding frequency

霍尔传感器输出电压	扫频频率	备注
33.2mV	1000Hz	
41.1mV	1500Hz	
55.7mV	2000Hz	
61.7mV	2550Hz	实测谐振点
60.5mV	2602Hz	理论谐振点
60.6mV	2650Hz	
58.4mV	2800Hz	
54.8mV	2900Hz	
57.5mV	3000Hz	

通过上述表格可以发现，霍尔传感器所采集到的电流值大体上满足谐振曲线，但是实测电流最大时频率并非理论谐振频率，而且在某些频率点上，霍尔传感器采集到的电流值也与谐振规律有小幅度偏差。通过实测谐振点计算出来的电感值为 $973.87 \mu\text{H}$ ，鉴于核磁共振找水仪发射线圈电感值在毫亨或亨以上级别，所以误差可以接受。

4 结论

通过一系列的设计及调试，完成了实现电感测量的预期目标，信号发生器产生信号并实现扫频功能，并能够实现信号的驱动和 AD 采集及显示，高效快捷，方便使用，有一定的市场前景。在今后的工作中，将采用串口通信实现上位机的远程显示与控制，并完成信号采集的模块化和集成化，使该电感测量仪器功能更加完善。

参考文献

- 林君, 段清明, 王应吉等. [M] 《核磁共振找水仪原理与应用》. 北京: 科学出版社, 2011:15-25.
- 张小华, 林君, 王应吉, 孙峰. 地面核磁共振 (NMR) 找水仪发射机的研制. 仪器仪表学报, 2006, 27 (7): 689-692.
- 邹义政. 数显电感测量仪 [J]; 电子制作. 2004, 01:12-15.
- 康华光. 模拟电子技术. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- 张允禄, 董子丰, 陈锡荣, 张存浩. 新型 nH 电感测量仪的研制 [J]. 计量技术, 1988, 07:8-11.
- 王立新, 傅崇岗, 洪智凤, 郑宏军. 一种新型数字电感测量仪的设计 [J]. 仪器仪表学报, 2001, S2:113-114.
- 何桥, 段清明, 邱春玲. 单片机原理及应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004. 03:105-120.
- 荣亮亮, 王中兴, 林君, 段清明, 尚新磊. 核磁共振发射波形质量评估及影响因素分析. 仪器仪表学报, 31 (2): 442-448.

核磁共振测深信号的虚拟相关滤波器设计*

冯腾飞; 潘磊; 张博

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130001)

摘要: 磁共振探水仪的接收灵敏度高, 接收到的 MRS 信号(纳伏级)非常微弱, 极易受到随机噪声、电力线噪声等环境电磁噪声的干扰, 从而影响 MRS 有效信号的提取, 导致后续反演解释的准确性降低。针对这一难题, 依据随机噪声、电力线噪声自相关函数的特点, 提出基于相关检测的手段开展适合于 MRS 信号消噪的滤波器设计。同时, 鉴于 Labview 具有流程图式编程思想以及 MATLAB 具有强大的矩阵运算和数据处理工具箱函数等优势, 提出结合 Labview 和 Matlab 两种编程软件, 实现 MRS 信号与噪声的分离。数值仿真和设计结果表明, 所设计的相关检测滤波器具有很好的性能, 信噪比可提高 3~5dB。

关键词: LabVIEW Matlab 自相关 滤波器

中图分类号: TN911.72 **文献标识码:** A

Design of virtual correlation filter nuclear magnetic resonance sounding signal

Feng Tengfei; Pan Lei; Zhang Bo

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130001)

Abstract: The receiving sensitivity of magnetic resonance water detector is high, the MRS signal is received (NV level) is very weak, easy interference of electromagnetic noise is random noise, power line noise environment, thus affecting the extraction of MRS signal is effective, resulting in lower accuracy of subsequent inversion and interpretation. Aiming at this problem, on the basis of random noise, power line noise autocorrelation function characteristic, put forward the related detection methods based on the development of suitable for filter design for MRS signal denoising. At the same time, in view of the fact that the Labview has a process schema programming ideas and MATLAB with powerful matrix calculation and data processing toolbox function and other advantages, combining with Labview and Matlab two kinds of programming software MRS, realize the separation of signal and noise. Numerical simulation and design results show that the correlation detection, the designed filter has good performance, the signal-to-noise ratio can improve 3~5dB.

Keywords: LabVIEW Matlab autocorrelation filter

0 引言

磁共振测深(MRS)方法是一种直接勘查地下水的地球物理方法, 不打钻就可以确定出含水层的深度、厚度、含水率量、含水层平均孔隙度等信息, 且完成一个核磁共振测深点的费用仅为一个水文地质勘探钻孔费用的 1/10, 因而该方法在地下水探测、

水资源普查等方面获得了广泛应用^[1]。但由于磁共振探水仪的接收灵敏度高, 接收到的 MRS 信号(纳伏级)非常微弱, 因而极易受到电磁噪声的干扰, 主要包括环境中的随机自然噪声、电力线噪声(50Hz 及其谐波)影响较为严重。这些干扰的存在将直接影响 MRS 有效信号的提取, 进而影响后续反演解释的准确性。

国内外的专家和学者也都非常重视 MRS 探水

* 指导教师: 田宝凤

项目类型: 创新项目

仪在实际应用中所存在的电磁噪声干扰问题。一般通过数据采集的多次叠加在一定程度上克服电磁噪声,以提高信噪比,但该方法最致命的弱点在于过多的叠加次数将会导致整个系统工作效率的降低^[2]。2001年,法国的 Anatoly Legchenko 和 Pierre Valla 采用了区块对消法,正弦对消法和陷波滤波器法进行电力线谐波干扰去除方法研究^[3]。2003年,德国柏林技术大学应用地球物理学院的 Strehl, S.和 Rommel, I.等,把影响 MRS 信号质量的电磁噪声分类,给出了陷波滤波器和低通滤波器以及小波变换相结合的方法分别进行电磁噪声滤波处理^[4]。2008年,David O. Walsh 设计了多通道地面仪器,采用自适应噪声抵消原理实现噪声的滤除^[5]。在国内,2006年,中国地质大学在潘玉玲教授带领下研究核磁共振找水的研究人员采用引进法国的 NUMIS 系统进行找水实验,曾亮、李振宇发表的文章中探讨了应用小波分析的方法提高核磁共振找水信号信噪比^[6]。2006年吉林大学林君教授承担了十一五国家科技支持项目:《科学仪器设备研制与开发》中的《核磁共振找水仪研制与开发》课题,项目组成成功研制了 JLMRS-I 型探水仪,打破了长期以来国内只能通过引进法国 NUMIS 仪器系统进行地下水探测的局面,并也在软硬件上对电磁噪声滤除方法进行了相应研究^[7-8]。

综述国内外研究现状可以看出,目前尚无人开展基于相关函数检测手段进行 MRS 信号中噪声的滤除研究。同时,鉴于 Labview 具有流程图式编程思想,不需要预先编译就已经存在语法检测和调试过程所使用的的数据指针,同时具有丰富的函数、数值分析、信号处理和设备驱动等功能;MATLAB 提供了强大的矩阵运算和图形处理功能,编程效率高,几乎在所有的工程计算领域都提供了准确、高效的工具箱。根据随机自然噪声、电力线噪声自相关函数的特点,提出基于相关检测的手段开展滤波器设计,同时结合 Labview 和 Matlab 两种编程软件的优势,实现 MRS 信号与噪声的分离。可见,该研究具有重要的理论意义和实用价值。

1 相关算法和相关检测原理

1.1 自相关算法原理

自相关函数描述了信号本身在一个时刻的瞬时值与另一个时刻的瞬时值之间的依赖关系。假设 $x(t)$ 是某个各态历经平稳随机过程的一个样本,为了估计 $x(t)$ 在 t_1 时刻的取值和在 $t_1 + \tau$ 时刻取值联系的紧密性,可以在观察时间 T 上对2个取值的乘积作平

均运算,然后取极限,就可以得到 $x(t)$ 的自相关函数的定义:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t)x(t+\tau)dt \quad (1)$$

从公式(1)可以看出, $R(\tau)$ 是一个以时延 τ 为自变量的实偶函数,当 $\tau=0$,即同一时刻时, $R(\tau)$ 取最大值。当随机信号不包含周期成分时,自相关函数将从 $\tau=0$ 的最大值开始,随着 τ 的增加单调地下降;当 τ 趋向于无穷大时,自相关函数 $R(\tau)$ 趋向于 $x(t)$ 均值的平方;如果均值为零,则 $R(\tau)$ 随 τ 的增大而趋向于零。当随机信号包含周期性分量时,自相关函数 $R(\tau)$ 内也将包含有相同周期的分量。上式是针对随机信号得到的,若被推广到能量有限信号^[9],在含义上仍然反映了信号的相关性,但表达式变为:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt \quad (2)$$

1.2 相关检测滤波器设计原理

设混有随机噪声的信号为 $f(t) = s(t) + n(t)$, 将 $f(t)$ 同时输入到相关检测滤波器的2个输入通道,其中一路经过延迟电路,使它延迟时间 τ ,然后将经延迟后的 $f(t-\tau)$ 和未经延迟的 $f(t)$ 送入相敏检波器(乘法器),再将乘积积分,取平均值,过程如图1所示,从而得到:

$$\begin{aligned} R(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t)f(t-\tau)dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [s(t) + n(t)][s(t-\tau) + n(t-\tau)]dt \\ &= R_{ss}(\tau) + R_{nn}(\tau) \end{aligned} \quad (3)$$

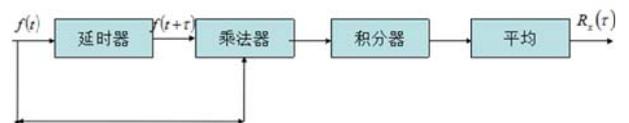


图1 自相关检测

由于信号与噪声是不相关的,根据互相关函数的性质^[10]可知, $R_{ns}(\tau) = R_{sn}(\tau) = 0$, 则有:

$$R(\tau) = R_{ss}(\tau) + R_{nn}(\tau) \quad (4)$$

假设噪声的均值为零,根据自相关函数的性质知,随着 τ 的增大,噪声自相关函数 $R_{nn}(\tau)$ 衰减至零,结果使包含着 $s(t)$ 信息的 $R_{ss}(\tau)$ 相对突出,从而

达到检测信号的目的。

同理，对于包含周期性分量的随机信号的自相关函数，在 t 较大时仍具有明显的周期性，其频率和周期分量信号的频率相同；而不含周期性分量的纯噪声信号在 $t=0$ 时具有最大值，但 t 稍大时明显衰减至零^[11]。根据自相关函数的这一性质可以被用来识别随机信号中是否含有周期信号成分以及它的频率。

2 基于 Labview 和 Matlab 的虚拟滤波器设计

器设计

2.1 设计虚拟信号发生器产生含噪 MRS 信号

虚拟信号发生器要实现 3 个功能：

1. 产生 e 指数衰减的扫频波，幅值范围为 $10\text{nv} \sim 1000\text{nv}$ ，相位范围为 $-180^\circ \sim 180^\circ$ ，并且能进行显示，还能显示 e 指数的波形，并且 e 指数的幅值可调。

2. 产生高斯白噪声和工频干扰。

3. 将噪声与纯净信号进行叠加，可对噪声进行选择，选择任意一种，或者将所有噪声与纯净信号叠加。

根据上述的 3 个功能将信号发生器模块化，针对各个模块对信号发生器进行设计，最后将所有模块进行整合。

2.2 前面板的创建

前面板的设计应遵循功能模块化、减少同功能间的相互耦合、操作简便、布局合理、适当使用颜色等原则。前面板如图 2 所示。

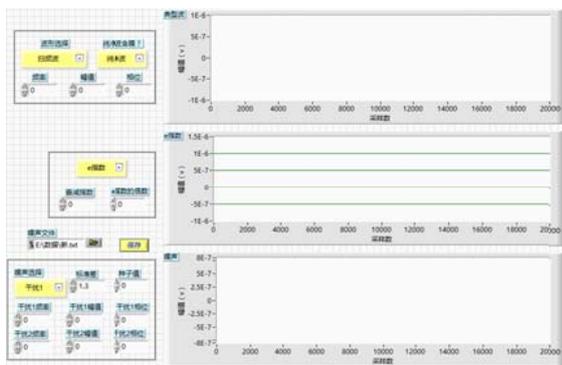


图 2 信号发生器前面板

2.3 相关算法的仿真

利用 Labview 中的 Matlab Script 导入 Matlab 脚本，如图 3 所示，将自相关算法的滤波程序注入 Matlab Script 中，使含噪声的信号经过自相关算法

进行滤波，得出理想波形^[12]。

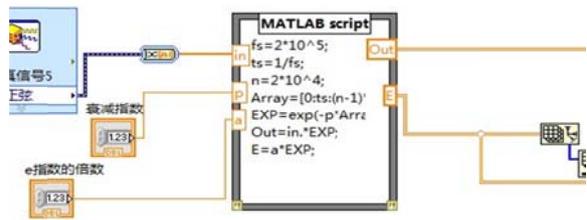


图 3 Matlab Script 模块

3 结果与分析

为了验证所设计相关检测滤波器的性能以及软件界面的功能性，开展了实验测试，具体包括如下步骤：

1、产生以频率为 2325Hz 、幅值为 800nV 、衰减指数为 20 的扫频波，如图 4 所示。

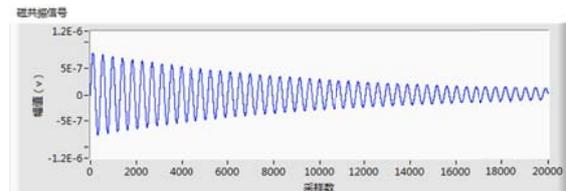


图 4 纯净波形

2、产生幅值都为 100nV ，频率分别为 2250Hz 和 2350Hz 的两个工频干扰，如图 5 所示，同时叠加。

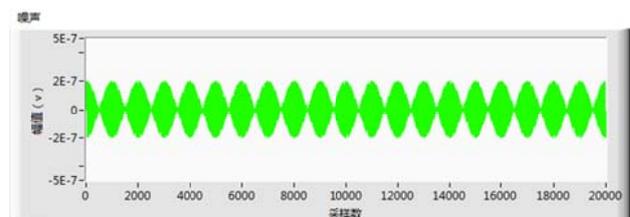


图 5 工频干扰波形

3、产生标准差为 200、种子值为 10 的高斯白噪声，如图 6 所示。

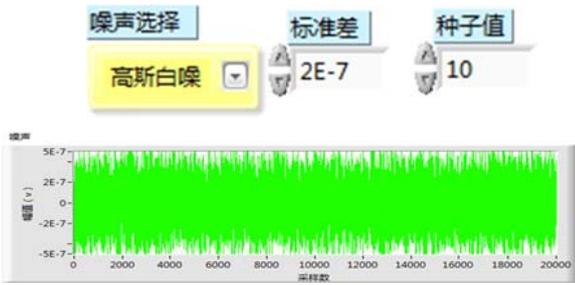


图6 高斯白噪声波形

4、与所有噪声进行叠加产生含噪波，含噪波的波形如图7所示

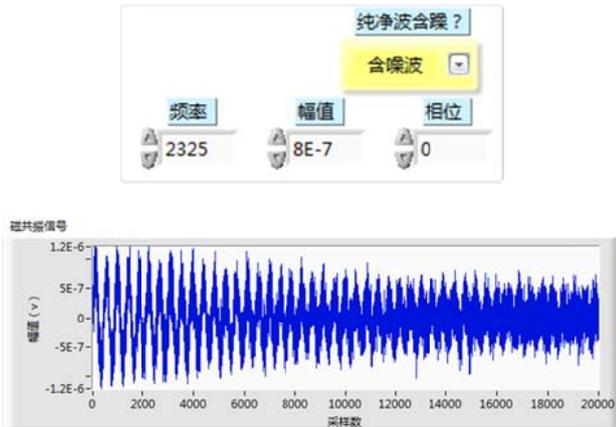


图7 含噪波波形

5、经自相关检测滤波器处理后的波形，如图8所示。

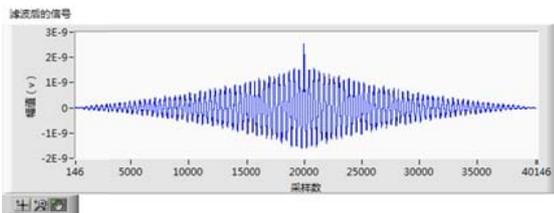


图8 相关检测后的波形

从图7中可以看出，经过相关检测后，随机噪声对信号没有造成影响，工频干扰依旧存在，因而需要结合自适应滤波方法滤除工频干扰。通过大量实验，计算信噪比平均可提高3~5dB左右，实现了MRS信号和噪声的有效分离，如图9所示。

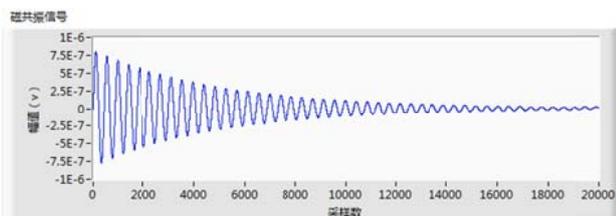


图9 自适应处理后的波形

针对MRS信号中随机噪声和工频谐波干扰严重影响信号质量的问题，提出设计虚拟相关滤波器进行噪声去除。结合Labview和Matlab所设计的软件可以有效地产生所需含噪波，直观地观察滤波结果。本文依据随机自然噪声、电力线噪声自相关函数的特点，可以去除随机噪声对MRS信号的影响，同时实现工频干扰频率和幅值的有效提取。为了进一步去除噪声，结合自适应滤波方法可以有效地滤除磁共振信号中的随机白噪声和工频干扰，达到滤波目的，使信噪比至少提高3dB~5dB。

参考文献

- Butler, 2001. K.E. Butler. Comment on "design of a hum filter for suppressing power-line noise in seismic data". Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2001, 62: 103-104
- Legchenko, A. and Valla, P. A review of the basic principles for proton magnetic resonance sounding measurements. Journal of Applied Geophysics 2002, 50: 3-19
- Legchenko, A. and Valla, P. Removal of power line harmonics from proton magnetic resonance measurements, Jour. Appl. Geophys., 2003, 53: 103-120
- Strehl, S., Rommel, I., Hertrich, M., Yaramanci, U. New strategies for filtering and fitting of MRS signals. Technical University of Berlin Dept. of Applied Geophysics
- David O. Walsh. Multi-channel surface NMR instrumentation and software for 1D/2D groundwater investigations[J]. Journal of Applied Geophysics (2008), doi:10.1016/j.jappgeo.2008.03.006
- 曾亮, 李振宇, 王鹏. 小波分析在提高核磁共振找水信号信噪比中的应用探讨, CT理论与应用研究, 2006, 15(2): 1-5
- 蒋川东. 核磁共振地下水探测系统数据处理软件的设计和应用, 2009, P641.7; P631
- 王中兴, 荣亮亮, 林君. 地面核磁共振找水信号中的奇异干扰抑制, 吉林大学学报(工学版) 2009, 39(05) 1282-1287
- 袁培铎. 基于LabVIEW和MATLAB混合编程的应用研究, 2007, 1671-5276 (2007) 06-0129-03

4 结论

10. 郝张红, 刘先勇, 袁长迎. 小波去噪及其在LabVIEW中的实现, 2008,1004-373x (2008) 07-166-02
11. 侯国屏. LabVIEW 7.1 编程与虚拟仪器设计, 清华大学出版社, 2005-02-01
12. 周求湛, 钱志鸿, 刘萍萍, 等. 虚拟仪器与 LabVIEW 程序设计, 北京航空航天大学出版社, 2004-6-1

基于同一线圈的核磁信号噪声抵消方法研究*

王冠楠；赵俊逸；王云坤

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要：核磁共振地下水探测仪的灵敏度高，接收的纳伏级核磁共振信号易受到强工频信号的干扰，导致信号的特征参数提取的准确度降低，影响反演解释的水文地质参数结果。为了解决这个问题，通常采用基于多个线圈进行噪声抵消。但是这个方法需要两个以上的线圈，因而在野外测量时非常困难。于是提出了基于单一线圈的核磁共振系统，通过 NLMS 算法和频域算法分别对 MRS 信号进行噪声去除。仿真结果表明，频域算法比 NLMS 算法在提高信噪比和噪声去除两方面效果更好，信噪比可达到 5dB 以上。

关键词：核磁共振探测 单线圈 频域自适应抵消

中图分类号：TG156 文献标识码：A

Research of the noise cancellation method for surface NMR signal based on the coincident loop

Guannan Wang; Junyi Zhao; Yunkun Wang

(School of instrument science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: High groundwater NMR detector sensitivity nanovolt NMR signal reception has been strong-frequency signal interference, leading to the accuracy of the characteristic parameters of the signal extraction to reduce the impact of hydrogeological parameters inversion interpretation of results. To solve this problem, usually based on a plurality of noise canceling coils. However, this method requires two or more coils, which makes it very difficult when measured in the field. Then proposed system based on a single MRI coils, by NLMS algorithm and frequency domain algorithm MRS signal noise removal respectively. Simulation results show that the frequency domain algorithm to improve the signal to noise ratio than the NLMS algorithm and noise removal effect both better signal to noise ratio can reach more than 5dB.

Key words: Nuclear magnetic resonance Single coil Frequency domain Adaptive cancellation

1 引言

核磁共振 (NMR, Nuclear Magnetic Resonance) 是原子核的一种物理现象，指具有核子顺磁性的物质选择性地吸收电磁能量[1-2]。氢核是地层中具有顺磁性物质中丰度最高、磁旋比最大的核子。除油层、气层外，水中的氢核是地层中的主体。核磁共振地下水探测方法就是利用人工激发的电磁场使地下水中氢核形成宏观的磁矩，这一宏观磁矩在地磁场中产生旋进运动，用线圈拾取宏观磁矩进动产生

的电磁信号，即可探测地下水是否存在。与传统的地球物理探测地下水的方法相比具有高分辨力、高效率、信息量丰富和解唯一等优点。

地面核磁共振探测系统采集的信号数据的质量是评判探测结果好坏的标准，由于水中氢核产生的核磁共振信号幅度小（纳伏级），因此会引入大量的自然和人为噪声，导致采集信号的信噪比降低。为了得到比较纯净的采集信号，有必要设计算法对采集到的信号进行实时修正，通常的做法是采用自适应滤波技术来进行噪声抵消。

针对 MRS 信号中的噪声干扰问题，国内许多

* 指导教师：蒋川东

项目类型：创新项目

专家学者进行了相应的研究。蒋川东[3]研究了基于核磁共振响应成像技术,以地下水直接探测技术为基础,重点研究 MRS 信号的数据处理软件的设计和应用。并提出了多种针对信噪比低,噪声种类多等问题的数据处理方法,并设计了相应的应用软件。田宝凤[4]基于相关抵消的原理,针对全波磁共振信号,设计带有参考线圈的 90° 移相自适应噪声抵消系统,理论计算了参考线圈相对于探测线圈的距离,提出变步长 LMS 算法进行噪声压制[5]。仿真结果表明,在不同的信号强度及不同的信噪比下,当信号与工频谐波干扰频谱不重合时,采用设计的自适应噪声抵消系统和变步长算法,信噪比可以提高到 5.94 dB 以上,初始振幅、弛豫时间特征参数的拟合误差在 2.8%以内;当信号与工频谐波干扰频谱重合时,采用双向自适应滤波算法,信噪比可以达到 5dB 以上,初始振幅、弛豫时间特征参数的拟合误差在 10%以内,可以满足实际应用的要求;实测数据处理进一步证明了方法的有效性。由于带有参考线圈的系统,在测量时需要带两组以上的线圈,在野外测量时会非常困难。针对这一问题,本文提出了基于同一线圈的核磁信号抵消系统。

本文针对 MRS 信号中常见的工频谐波噪声、奇异噪声等强干扰噪声,进行野外噪声环境的模拟。根据噪声特点,设计基于同一线圈的自适应噪声抵消系统。并研究了 NLMS 算法及频域算法等各类自适应算法的特点,设计一种适合于 MRS 信号噪声滤除的频域自适应算法,确定自适应滤波关键的表达式,使噪声信号最大限度抵消 MRS 信号中噪声,获得最高信噪比。

2 基于单一线圈的探测系统

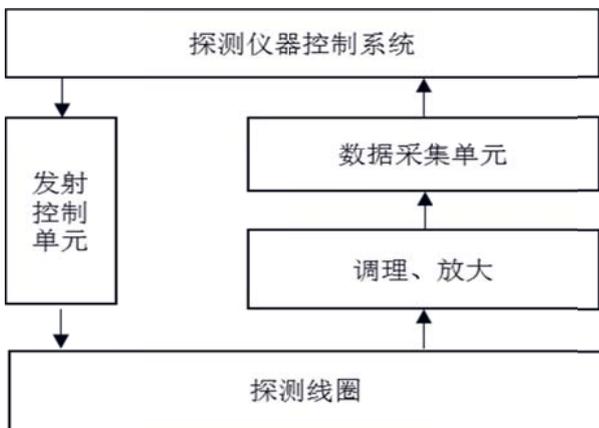


图 1 基于单一线圈的探测系统框图

基于单一线圈的探测系统如图 1 所示,在采集 MRS 信号之前先采集一段时间的噪声,利用自适应滤

波算法进行数据,实现噪声抵消。

3 自适应噪声算法

3.1 自适应噪声抵消原理

自适应噪声抵消如图所示,它将噪声信号作为处理对象,经过一定处理,将噪声干扰进行抑制。

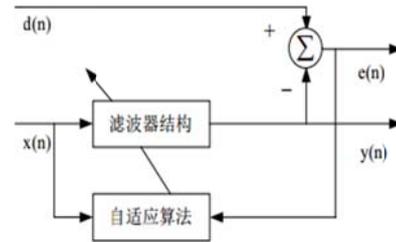


图 2 自适应噪声抵消原理

一般而言,自适应滤波器由两部分组成,一是滤波器结构,二是调整滤波器系数的自适应算法。图 2 给出了自适应滤波器的一般结构,图中 $d(n)$ 为期望响应, $x(n)$ 为自适应滤波器的输入, $y(n)$ 为自适应滤波器的输出, $e(n)$ 为估计误差。自适应滤波器的滤波器系数受误差信号 $e(n)$ 控制,根据 $e(n)$ 的值和自适应算法自动调整。

3.2 基于单一线圈的自适应噪声抵消算法的研究

为了获得更好的噪声抵消结果,设计两种方案,实现噪声抵消,选取输出信噪比相对较高及数据拟合误差小的噪声抵消方案。

方案一:直接使用 NLMS 算法进行噪声抵消

NLMS 算法又称归一化 LMS 算法,是采用变步长的方法来缩短自适应收敛过程,变步长的公式为:

$$W(n+1) = W(n) + e(n) X(n) \quad (1)$$

式中, $e(n)X(n)$ 表示滤波权矢量迭代更新的调整量。为了达到快速收敛的目的,必须合适的选择变步长的值,一个可能策略是尽可能多地减少瞬时平方误差,即用瞬时平方误差作为均方误差的 MSE 简单估计,这也是 LMS 算法的基本思想。可以得到进行修正的权系数迭代公式:

$$W(n+1) = W(n) + mg + X^T(n)X(n)e(n)X(n) \quad (2)$$

变步长可以用 $m(n)$ 来表示,即:

$m(n) + mg + X^T(n)X(n)$ ，其中，参数 m 为控制失调的固定收敛因子，参数 g 是为了避免 $X^T(n)X(n)$ 过小导致步长太大而设置的， $0 \leq g \leq 1$ 。为了保证自适应滤波器能够稳定工作，固定收敛因子 m 的选取应满足的数值范围如下： $0 < m < 2$ 。由式 $m(n) + mg + X^T(n)X(n)$ 可以看出，等效步长 $m(n)$ 是输入信号的非线性变量，随着 g 在 $[0,1]$ 之间不断变化，可以使步长由大逐渐变小，加速了收敛过程。

方案二：直接使用频域算法进行噪声抵消

频域算法是利用 FFT 技术，先把输入信号变换到频域，然后在频域上仍然采用自适应算法来实现自适应滤波处理。

频域算法的传递函数为：

$$h(k) = \frac{|x(k)^T d(k)|}{|x(k)^T x(k)|} \quad (3)$$

4 算法的仿真

基于上述两种噪声抵消系统方案，分别进行了算法的仿真研究。工频谐波干扰是电磁干扰中对 MRS 信号影响最大的一类干扰，在仿真时着重针对工频谐波干扰，分别采用不同算法和噪声抵消系统对不同模型进行研究。

算法模型：MRS 信号中心频率 2326Hz，工频干扰频率 $f_1=2350\text{Hz}$ ， $f_2=2300\text{Hz}$ 加入白噪声。

4.1 方案一

仿真结果如图 3、图 4 所示 (m)=0.999 滤波器阶数 $M=200$ 。

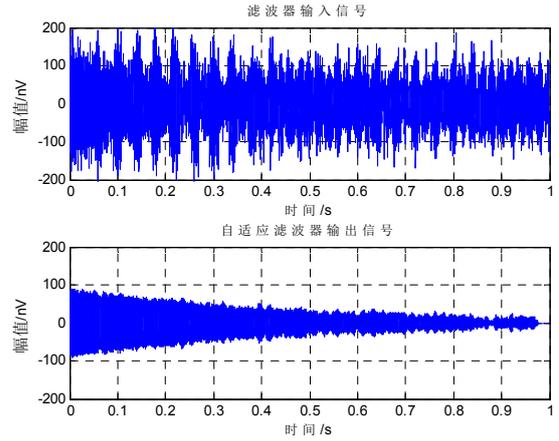


图 3 自适应滤波前后 MRS 信号

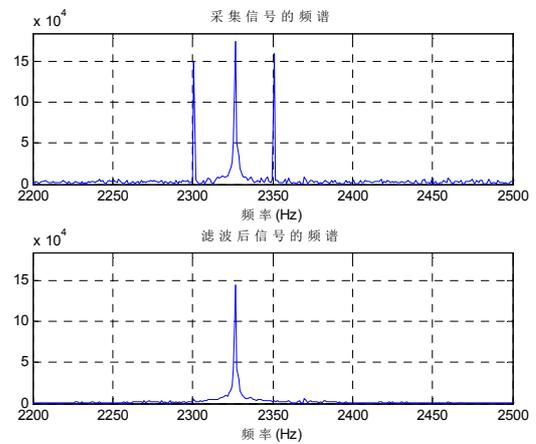


图 4 自适应滤波前后 MRS 信号频谱图

滤波后信噪比 SNR 为提高了 10.88dB。

4.2 方案二

仿真结果如图 5、图 6 所示。

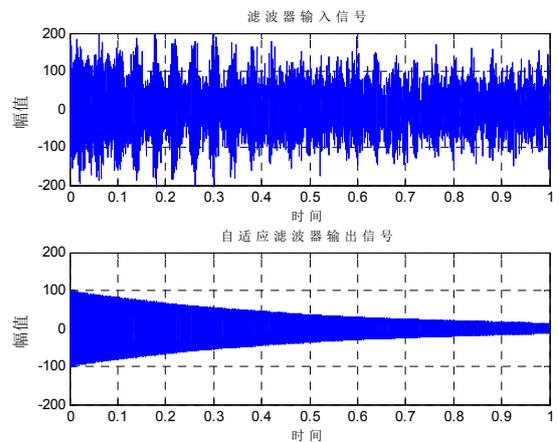


图 5 自适应滤波前后 MRS 信号

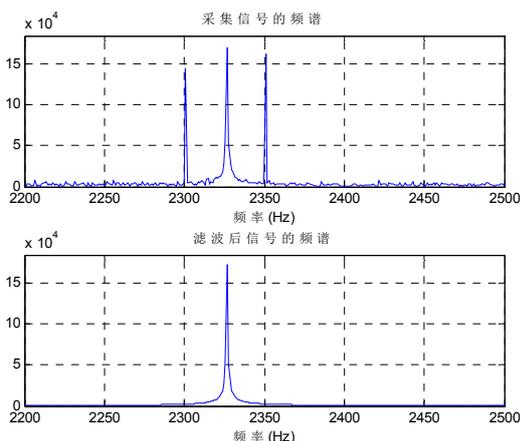


图 6 自适应滤波前后 MRS 信号频谱图

滤波后信噪比 SNR 提高了 12dB。

经过改变工频信号和白噪声幅值多次仿真，方案二均比方案一提高的信噪比高 1.1dB~2.5dB。

5 实测数据处理

为了验证算法的性能，在长春市郊区烧锅镇进行了野外实验。实验场地附近有一砖场，是强电力线干扰区。实验采用带有一个线圈的方式，在远离砖场的区域布设一个 100m×100m 探测线圈实现对噪声和含噪信号的采集，当地的拉莫尔频率为 2326Hz，探测通道和参考通道采集的信号和噪声如图 7 和图 8 所示。图 9 和图 10 给出了采用频域算法，对实测数据处理的结果。

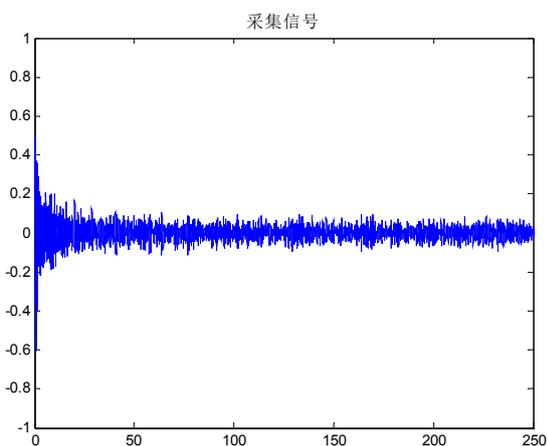


图 7 实测采集信号

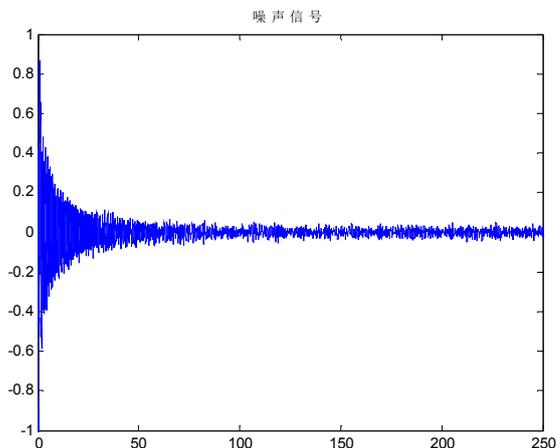


图 8 实测噪声信号

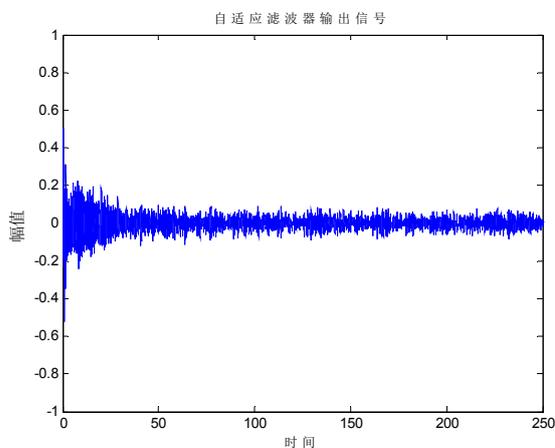


图 9 频域滤波后信号

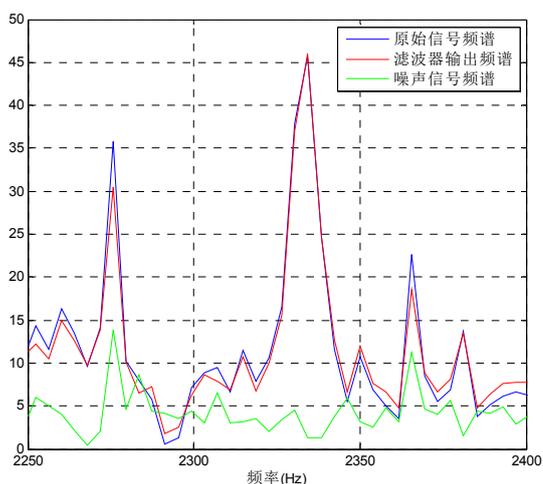


图 10 实测数据自适应滤波前后频谱图

估算原始信号的信噪比 $SNR_0 = -6.106\text{dB}$ ，滤波处理后信噪比为 $SNR_1 = 5.363\text{dB}$ 。通过大量实验，计算滤波后信噪比可达到 5dB 以上。

6 结论

在强电磁噪声干扰下如何更好地实现微弱 MRS 信号的提取是核磁共振地下水探测中的一个关键问题, 它将影响到反演解释水文地质参数信息的精确度. 而自适应滤波可以在没有先验知识的情况下, 可以利用递归的方法更新参数, 从而使数据逼近最优值. 本文通过 NLMS 算法和频域算法分别对 MRS 信号进行噪声去除, 并对两种算法进行了比较得出如下结论:

(1) 频域算法比 NLMS 算法在提高信噪比和噪声去除两方面效果更好。

(2) 两种算法在运行速度上相差不大, 运行较快, 但频域算法更加稳定可靠。

参考文献

1. 孙淑琴, 林君, 张庆文, 嵇艳鞠. 氢质子弛豫过程[J]. 物探与化探. 2005, 29(2): 153-156.
2. 邓靖武, 潘玉玲, 熊玉珍. 探查地下水的新方法——地面核磁共振找水方法的应用研究[J]. 现代地质. 2004, (01): 121-126
3. 蒋川东. 核磁共振地下水探测系统数据处理软件的设计与应用[D]. 吉林大学, 2009.
4. 田宝凤, 林君, 段清明等. 基于参考线圈和变步长自适应的磁共振信号噪声压制方法[J]. 地球物理学报, 2012, 55(7): 2462-2472.
5. 王中兴, 荣亮亮, 林君. 地面核磁共振找水信号中的奇异干扰抑制, 吉林大学学报(工学版) 2009, 39(05) 1282-1287.

无人驾驶汽车道路系统设计*

王 桥；肖 冰；印海波 张天瑜；

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 智能汽车是现代生活发展的必然趋势, 是未来汽车发展的方向。智能汽车可以按照预先的的设定在一个特定的环境中自行运作, 无需人为管理, 便可以完成预期的目标。本文设计是基于飞思卡尔 MC112MAA 微处理器的车体系统和 ov7620 摄像头传感器, 以此实现小车的循迹, 分道行驶, 超车功能。随着自动控制技术、电气工程和机械、以及汽车电子等技术的智能车在交通系统, 机械制造系统等得到了广泛应用。在整个智能车控制系统的发展中, 准确地识别道路, 分析各种复杂的路况信息及实时地对智能车的速度进行检测和调控是整个智能车系统的关键。

关键词: 无人驾驶 智能 MC112MAA ov7620 摄像头 自动控制

中图分类号: TG156

文献标识码: A

Driverless cars road system design

Wang Qiao Xiao Bing Yin Haibo Zhang Tianyu

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: Smart car is the inevitable developing trend of modern life, is the direction of future development. Smart cars can be in accordance with the advance of set in a specific environment to operate, without human management, can achieve the expected goal. The body of the design is based on the freescale MC112MAA microprocessor system and ov7620 camera sensors, to realize the car tracking, split tacks, overtaking function. As automatic control technology, electrical engineering and machinery, and automobile electronic technology of intelligent vehicle in the traffic system, such as machinery manufacturing system has been widely used, etc. In the development of the intelligent vehicle control system, accurately identify road, analyzed all kinds of complex traffic information and real-time testing and control of intelligent vehicle speed is the key of the intelligent vehicle system.

Keywords: Unmanned intelligent MC112MAA ov7620 camera automatic control

全性。

引言

智能汽车主要依靠车内的微处理系统为主的智能驾驶装置来实现无人驾驶。它是利用各种不同功能的传感器来感知车辆当前所处的道路和周边的路况信息, 并根据感知所获得的道路情况、车辆位置和障碍物大小距离, 控制车辆的行驶方向和行驶速度, 从而使车辆能够安全地在道路上行驶。无人驾驶汽车改变了传统的“人一车一路”闭环控制方式, 将具有不稳定的驾驶员从该闭环系统中除去, 从而大大提高了交通道路系统的安

1 研究现状

从 20 世纪 60 年代末开始, 美国、英国、法国、德国等发达国家开始进行无人驾驶汽车的研究, 在相关方面取得了突破性的进展。中国在 1992 年成功制造出中国第一辆真正意义上的无人驾驶汽车。无人驾驶道路系统的成功在于它代表了车辆工程领域发展的趋势, 此技术可应用于车辆工程, 智能系统等领域, 可减少有关人为失误而造成的交通事故, 减少人民和国家的损失。

*指导教师: 张天瑜

项目类型: 创新项目

2 电路整体设计

2.1 研究思路和方法

智能小车硬件设计主要包括路径识别，单片机控制，电机驱动等的设计。路径识别模块采用 CCD 传感器；电机驱动模块基于闭环反馈控制，采用直流电机来控制智能小车速度的。通过 CCD

传感器采集路径图像，获取智能车前方赛道的路径图像信息，经过信息处理控制智能车的转向，同时根据光电编码器的测速反馈信号来计算智能车的速度的，并根据前方路径信息进行加速减速控制。

2.2 整体功能框图

系统的主要构成功能模块，模块设计的整体框图如图 1 所示：

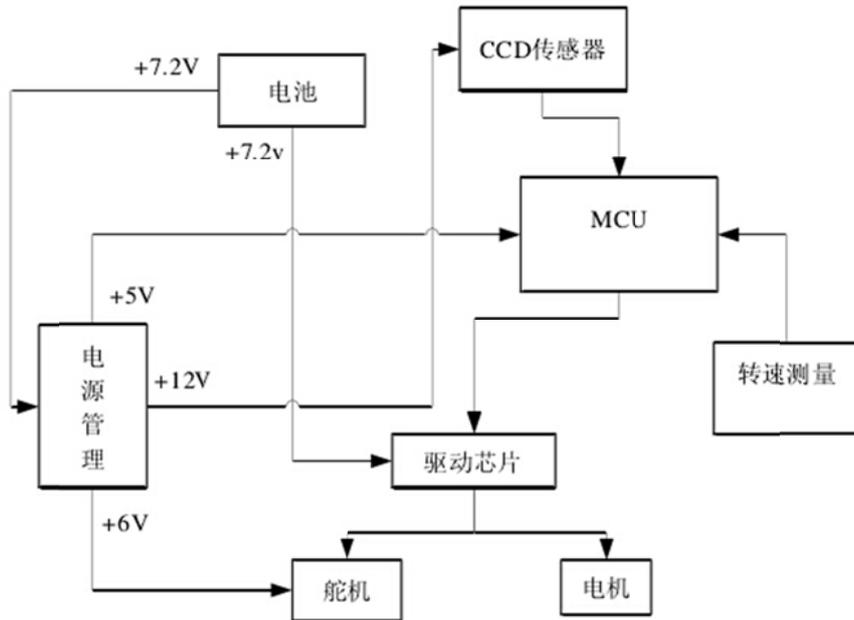


图 1 模块设计整体框图

Figure 1 The overall block diagram module design

3 模块设计

3.1 电源模块

项目电源由 7v 干电池提供，经过稳压电路稳压成所需电压。稳压电路如下图 2 所示：

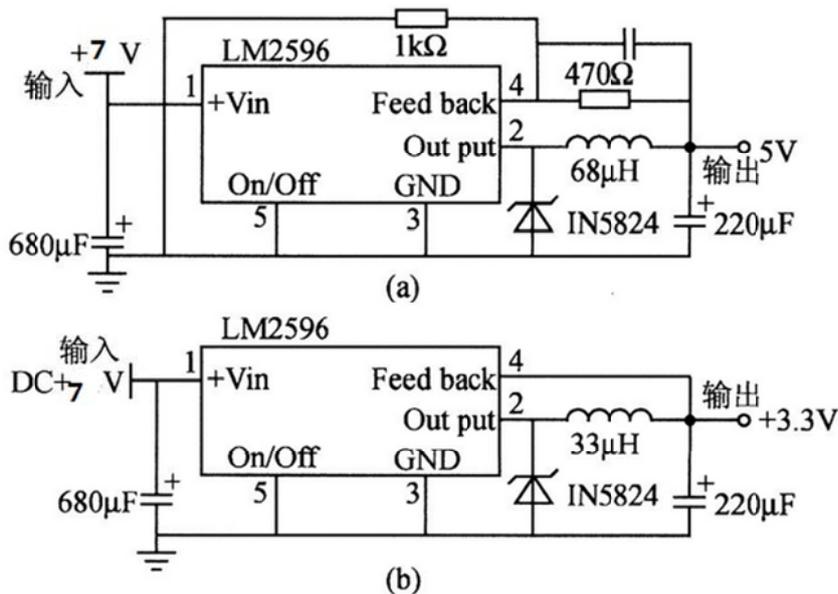


图 2 5v 稳压电路图与 3v 稳压电路图

Figure 2 5 v voltage regulator circuit diagram and the 3 v voltage stabilizing circuit diagram

小车各器件所需电压规格大小及范围误差如下图表 1。

器件	所需电压范围	功能
CCD 摄像头	5V±5%	采集路面黑线信息
光电管传感器	5V±5%	采集道路车辆信息
1602 液晶显示器	3.3V±5%	显示功能
MC112MAA 微处理器	3.3V±5%	处理信息并发出指令

图表 1 各器件所需电压大小及误差范围

Table 1 each device voltage required size and error range

3.2 CCD 摄像头模块

OV7620 是一种 CMOS 摄像头器件, 该器件分辨率可以达到 640X480, 传输速率可以达到 30 帧。1/3 英寸数字式 CMOS 图像传感器 OV7620, 总有效像素单元为 664(水平方向)×492(垂直方向)像素;内置 10 位双通道 A/D 转换器,输出 8 位图像数据;具有自动增益和自动白平衡控制,能进行对比度、亮度、饱和度等多种调节功能;其视频时序产生电路可产生行同步、场同步、混合视频同步等多种同步信号和像素时钟等多种时序信号;5V 电源供电,工作时功耗<120mW,待机时功耗<10μW。

路径识别模块主要由 CCD 传感器和 LM-1881PAL 制式的视频解码芯片组成, 路径识

别单元是智能车控制系统的输入单元信号采集单元, 其优劣直接影响智能车的快速性和稳定性。

3.3 电机驱动模块

L298N 可接受标准 TTL 逻辑电平信号 VSS, VSS 可接 4. 5~7 V 电压。4 脚 VS 接电源电压, VS 电压范围 V_{IH} 为+2. 5~46 V。1 脚和 15 脚下管的发射极分别单独引出以便接入电流采样电阻, 形成电流传感信号。L298 可驱动 2 个电动机, OUT1, OUT2 和 OUT3, OUT4 之间可分别接电动机, 本实验装置我们选用驱动一台电动机。5, 7, 10, 12 脚接输入控制电平, 控制电机的正反转。EnA, EnB 接控制使能端, 控制电机的停转。驱动模块电路图如下图 3 所示:

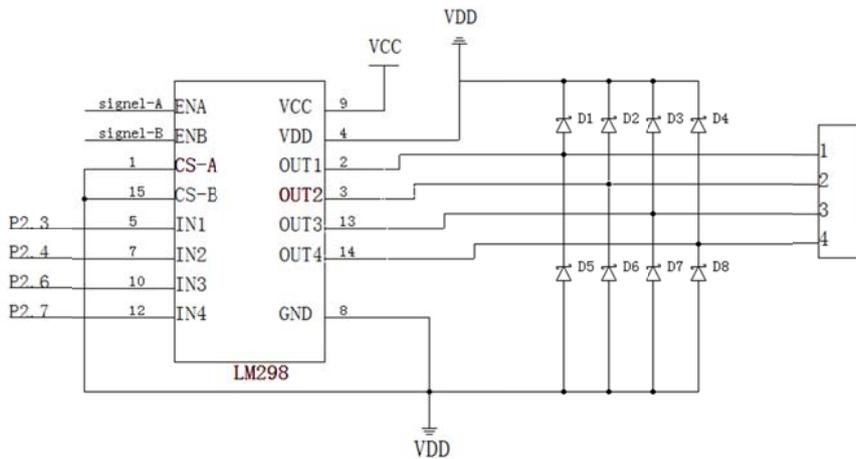


图 3 L298 电机驱动电路图

Figure 3 L298 motor driver circuit diagram

3.4 光电开关

光电开关原理是光电效应。一种是半导体材料类型的光电开关, 它的工作原理光电二极管又叫光敏二极管, 是利用半导体的光敏特性制造的光接受器件。当光照强度增加时, pn 结两侧的 p 区和 n 区因本征激发产生的少数载流子浓度增多, 如果二极管反偏, 则反向电流增大, 因此, 光电二极管的反向电流随光照的增加而上升。由于小车行驶轨迹是黑色线, 所以比它周围白色板的反

射率低, 通过对前方地面发射光, 然后对接收到的光信号强弱进行比较即可知道前方与线的差距, 从而实现小车线路行驶的调整。光电开关电路图如下图 4 所示:

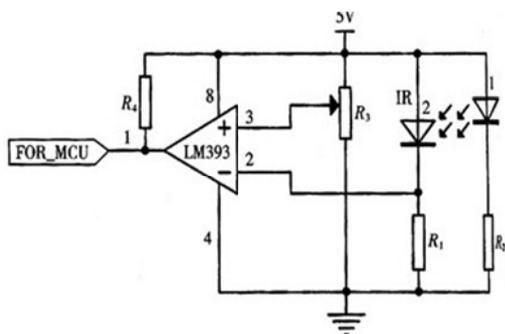


图 4 光电管电路图

Figure 4 cell circuit diagram

4 软件模块

智能小车控制系统软件设计采用模块化设计思想。其主要功能是在实时获取的路径信息和车体自身速度信息基础上，实现车辆转向和电机转速的控制，从而实现智能小车控制系统的精度。

该系统的软件结构主要分为：系统初始化模块、对 CCD 采集数据的处理模块、速度控制和反馈处理模块、路径识别模块（对电机和舵机的控制）等。本次试验需用到模糊控制，模糊控制实质上是用计算机去执行操作人员的控制策略，因而可以避开对像复杂的数学模型，力图对人们关于某个控制问题的成功与失败的经验进行加工，总结出知识，从中提炼出控制规则，实现复杂系统的控制。软件框图如下所示：

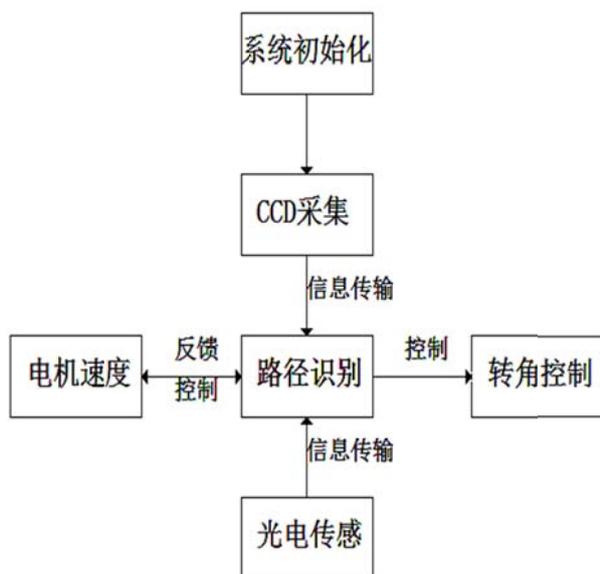


图 5 软件框图

Figure 5 software block diagram

5 效果展示

5.1 模式一

小车在两条黑线中行驶，并保证不触及黑线，当车头遇到前方有黑线时可以做到自行减速并转弯。效果如下图 6 所示：

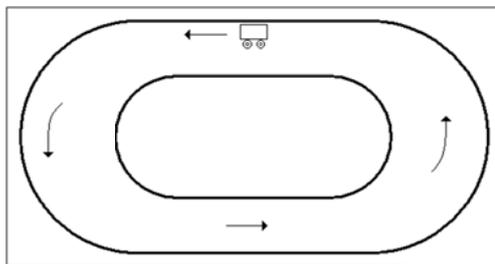


图 6 模式一

Figure 6 model a

5.2 模式二

当到两车相遇自动分道行驶，如图 7 所示：

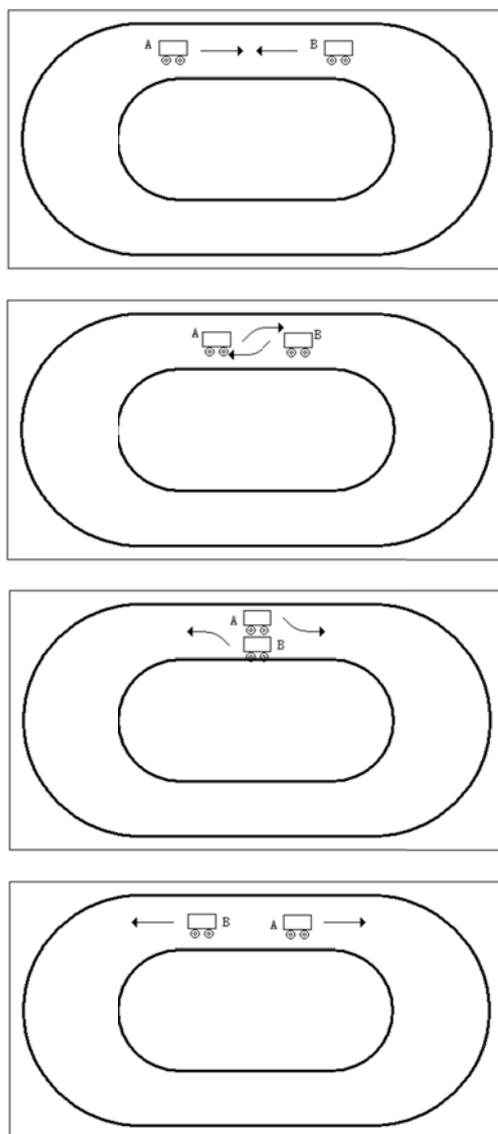


图 7 模式二

Figure 7 mode 2

5.3 模式三

将一条道路分成两条车道，当到达停车点时前方小车停车时，可迅速做出减速并变换车道，超过小车后再回到原来的车道上继续行驶，两车继续前行。如图 8 所示：

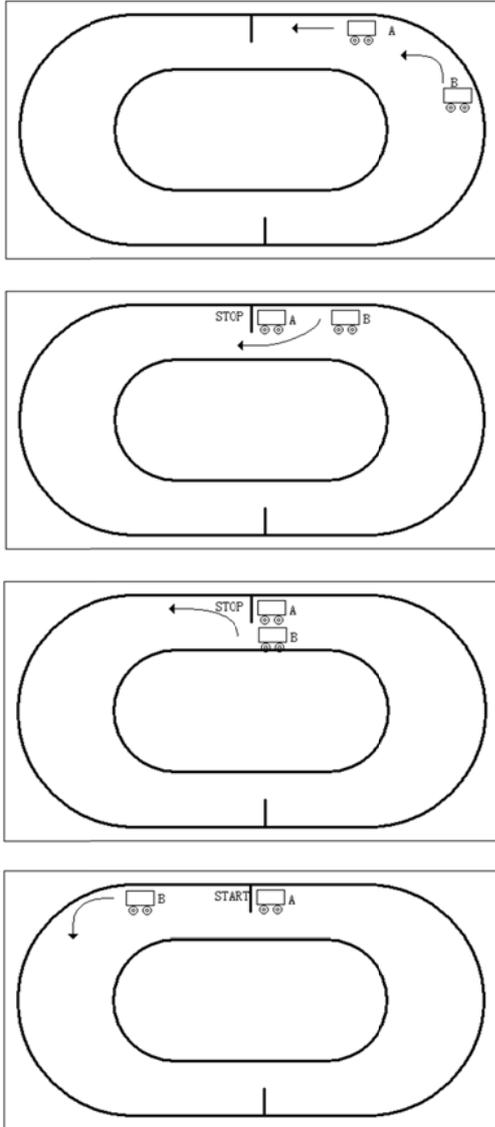


图 8 模式三
Figure 8 model3

6 结论

基于 x12 单片机的 CCD 数据采集系统，将 CCD 驱动电路、A/D 转换控制电路集成在一块 x12 单片机的芯片上。小车的电源模块为小车供电，CCD 摄像头模块用来寻找车道轨迹，电机驱动模块为小车行驶提供动力。最终小车可以沿黑线轨迹行驶；当遇到前方有车辆向它行驶时可以进行避让，靠边行驶；当前方车辆停车时可以安全超车并在超车后回归到原车道继续行驶，从而

实现小车的智能化。

参考文献

1. 袁亚东,《CCD 传感器智能小车的研制》.合肥工业大学出版社
2. 康华光,《电子技术基础(模拟部分)》.高等教育出版社
3. 康华光,《电子技术基础(数字部分)》.高等教育出版社.
4. 林建宇,《基于 CCD 传感器的智能小车控制系统设计》.上海电力学院
5. 《世界智能车辆近况综述》.汽车工程, 2001,23(5): 289—295
6. 《基于光电传感器的智能小车自动循迹控制系统》.[J]. 仪表技术与传感器, 2012(1): 108-110
7. 王祥好. 模糊 PID 控制算法在智能小车中的研究与应用[D]. 合肥工业大学 2009
8. 王晶,翁显耀,梁业宗. 自动寻迹小车的传感器模块设计[J]. 现代电子技术. 2008(22)
9. 吴天强,李浩琦,吴洲,黄晓阳,林文龙. 智能小车寻线控制与迹线分支识别方案设计[J]. 台州学院学报. 2012(03)
10. 王晶. 智能小车运动控制技术的研究[D]. 武汉理工大学 2009
11. 卢威. 智能小车避障系统的设计与实现[D]. 南昌大学 2012
12. 高枫. 基于 ARM 的智能循迹小车的设计与实现[D]. 中北大学 2012 高枫. 基于 ARM 的智能寻迹小车的设计与实现[D]. 中北大学 2012
13. 王栋. 基于 ARM 的智能探测小车的设计与实现[D]. 苏州大学 2010
14. 刘建刚,程磊,黄剑,章政. 基于 CCD 图像识别的 HCS12 单片机智能车控制系统[J]. 光电技术应用. 2007(06)
15. 贾秀江,李颢. 摄像头黑线识别算法和赛车行驶控制策略[J]. 电子产品世界. 2007(05)

16. 刘进,齐晓慧,李永科. 基于摄像头的智能小车设计与实现[J]. 传感器世界. 2008(02)

四旋翼自主飞行器的动力学建模*

史可；李京洁；谢之光

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了实现飞行器的航向控制和飞行姿态角的调整, 研究了一种基于 PID 算法的四旋翼飞行控制模式, 能自动控制飞行姿态并通过控制器发送延时、方向指令完成预定轨道的六自由度的欠驱动系统。以 RENESAS R5F100LEA 处理器为主控制器产生 PWM 波控制无刷电机, 并实现四旋翼飞行器的定轨飞行和平衡姿态控制。电子调速器运用检测反电动势的方法控制三相全桥逆变电路从而调节无刷直流电机的转速, 通过飞行器工作模式的研究, 利用陀螺仪采集到的姿态角数据及超声波测距反馈的高度数据控制飞行器保持自平衡。运用摄像头循迹达到了既定轨道检测并反馈定轨信息。研究结果表明, 建立的四旋翼飞行器模型垂直起降稳态误差从 6.5 度控制到 2 度, 姿态角稳定在-8 度到 9 度之间, 说明该飞行控制系统具有更好的性能。通过飞行验证证明了飞行器的动力学建模和 PID 控制器算法可行性。

关键词: 四旋翼飞行器; 动力学建模; PID 控制器算法; 飞行控制

中图分类号: TP13

文献标识码: A

Dynamic modeling of four rotor autonomous vehicle

SHI KE; LI Jin Jie; XIE Zhi Guang

(College of Survey and Control Technology and Instrument, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The design of a PID based algorithm for controlling flight-angle automatically and sending delay by controller, sending direction-command to complete drive system under the orbit of six degrees of freedom in order to control the course of aircraft and adjust the flight-attitude-angle. The system based on RENESAS R5F100LEA processor as the main controller generates the PWM wave to control the brushless motor, tracking and balancing control of four rotor aircraft implementation. Electronic governor adjusts the speed of Brushless DC motor using method of back EMF Detection to control three-phase full bridge inverter circuit. The vehicle keeps self-balance through attitude data and distance-feedback data collected by Gyroscope and the height of ultrasonic instrument and detects the predetermined orbit by using the camera tracking. As a result, the take-off landing steady-state error built from 6.5 degree to 2 degree and attitude angle stable at $(-8, 9)$ illustrated the good function of the four rotor aircraft model. Through flight test proved that the dynamic modeling and algorithm of PID controller are feasible.

Key words: Four rotor aircraft; Dynamic modeling; PID controller-algorithm; Flight controlling

0 前言

四旋翼飞行器是能实现三维飞行的非共轴式多旋翼智能仪器。可以控制其水平垂直方向的飞行姿态和姿态角通过调节蝶形分布的四个旋翼的转速。可定轨、悬停、具有体积小、起飞要求低等优点, 所以在各领域都有很好的发展前景。

主要的控制方法有 PID(比例-积分-微分)控制器控制、模糊控制、切换控制、智能控制、鲁棒控制、最优控制、非线性控制、自适应控制及控制系统 CAD 等, 并使用 PID 算法、卡尔曼滤波算法和 IIC 通信系统控制飞行器的飞行姿态^[1]。

目前飞行器的研究领域多集中在非线性控制方面, 由于该方法对模型准确性的要求较高, PID 控制更适用于我们研究存在模型误差的情况。本文在

* 指导教师: 千承辉

项目类型: 竞赛项目

PID 算法的基础上, 运用陀螺仪、超声波传感器、光电开关和电磁继电器信号, 采用参数整定等方式。旨在研究定轨自控模式下, 飞行器稳定控制飞行姿态的问题。

1 动力学模型的建立

本文所研究的四旋翼飞行器模型如图 1 所示, 为了获得该系统的数学模型, 建立两个基本坐标系即惯性坐标系 Z (OXYZ) 和飞行器质心平动坐标系 B (oxyz), 在质心系中取欧拉角 ψ, θ, ϕ , 其中 ψ 是沿 y 轴俯仰转动的俯仰角; ϕ 是沿 z 轴方向转动的偏航角; θ 是沿 x 轴滚向转动的翻滚角^[2]。飞行器的底端装有角度传感器。设飞行器系统建模的计

$$C_b^g = \begin{bmatrix} \cos j & \sin j & 0 \\ -\sin j & \cos j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q & \sin q \\ 0 & -\sin q & \cos q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos y & \sin y & 0 \\ -\sin y & \cos y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos j \cos y - \sin j \cos q \sin y & \cos j \sin y + \sin j \cos q \cos y & \sin j \sin q \\ -\sin j \cos y - \cos j \cos q \sin y & -\sin j \sin y + \cos j \cos q \cos y & \cos j \sin q \\ \sin q \sin y & -\sin q \cos y & \cos q \end{bmatrix} \quad (1)$$

本文研究的飞行器的动力学模型使用了经典力学的方法假设^{[3][7]}:

- ✓ 四旋翼飞行器及负载看做统一均匀对称的刚体
- ✓ 惯性坐标系 Z 的原点与飞行器几何中心及质心位于同一位置
- ✓ 飞行器数学模型的建立使用质心运动定理和质心平动系角动量定理

惯性坐标系 E 的原点与飞行器几何中心及质心位于同一位置。

理想情况下, 得到质心坐标系 B {x, y, z} 下关于刚体的 3 个平动位移量 x, y, z 和 3 个转动位移量 θ, ψ, ϕ 的牛顿-欧拉方程:

$$m\ddot{B} = -C^{-1}mg\ell + \ell(\sum_{i=1}^4 F_i) \quad (2)$$

式中 $\ell = [0 \ 0 \ 1]^T$, $\sum_{i=1}^4 F_i$ 为 4 个螺旋桨产生的升力。

将 (1) 式通过矩阵转换为 A(x, y, z) 坐标系下的线运动方程, 刚体飞行器作力学分析有:

$$\begin{cases} \ddot{x} = (k_i \sum_{i=1}^4 w_i^2 (\cos y \cos q \cos j + \sin y \sin j) - K_1 \dot{x}) / m_1 \\ \ddot{y} = (k_i \sum_{i=1}^4 w_i^2 (\sin y \cos q \cos j - \cos y \sin j) - K_2 \dot{y}) / m_1 g \\ \ddot{z} = (k_i \sum_{i=1}^4 w_i^2 (\cos y \cos j) - K_3 \dot{z}) / m - g \\ \ddot{j} = (p \cos q + q \sin j \sin q + r \cos j \sin q) / \cos q \\ \ddot{q} = q \cos j + r \sin j \\ \ddot{r} = (q \sin j + r \cos j) / \cos q \end{cases} \quad (3)$$

由四旋翼飞行器经典力学的假设, 我们将其惯性矩阵 Z 通过动量矩计算可得到 M 在飞行器质心坐

算是质心平动系 (oxyz) 进动 ψ 角为 (omnk) 再章动 θ 为 (ons) 最后自转 ϕ 角为飞行器的固连坐标系 ($o \ e_1 \ e_2 \ e_3$)。

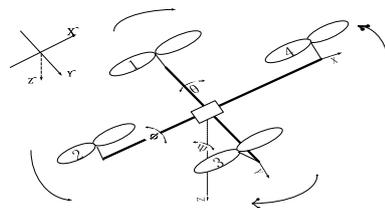


图 1 四旋翼飞行器坐标图

Figure 1 map coordinates of four rotor aircraft

根据欧拉角 ψ, θ, ϕ , 可得变换矩阵:

标系 B (oxyz) 下的角运动方程。结合线运动方程和角运动方程可得到四旋翼飞行器的动力学运动方程。在假设无阻尼理想情况下, 得到飞行器系统的优化数学模型^[4]:

$$\begin{cases} \ddot{x} = (\cos y \sin q \cos j + \sin y \sin j) u_1 / m, \\ \ddot{y} = (\sin y \sin j \cos j + \cos y \sin j) u_1 / m, \\ \ddot{z} = (\cos q \cos j) u_1 / m - g, \\ \ddot{q} = \dot{r} j (\frac{J_2 - J_3}{J_1}) + \frac{U_2}{J_1} \\ \ddot{r} = \dot{q} j (\frac{J_3 - J_1}{J_2}) - j (\frac{J_m \dot{m}}{J_2}) + \frac{U_3}{J_2} \\ \ddot{j} = \dot{q} \dot{r} (\frac{J_1 - J_2}{J_3}) + \dot{r} (\frac{J_m \dot{m}}{J_3}) + \frac{U_4}{J_3} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $\sum l_1$ 为升力产生的矩, $\sum l_2$ 为空气对螺旋桨的矩, \bar{J} 为飞行器的惯性张量。

假定飞行器模型净重约为 2kg, 设有效载荷为 500g, 则整个飞行重量大约为 2.5kg, 即每个电机需要提供的拉力约为 625g。为了保证拉力稳定性, 理论推测在转速 (5000—6500) r/min 范围内, 电机功率性能最佳。但室外实测情况下, 由于风的阻力和转速等各种因素, 系统参数值的偏差量很小范围内变化时, 都难以保证飞行器的稳定性。因此对选定的控制量在 MATLAB 中进行建模分析, 从而寻找到合理的 PID 参数。

如图 2 所示是系统的阶跃响应曲线。可以看到阶跃响应时间为 0.35s, 超调为 25%。1s 达到系统稳定状态。

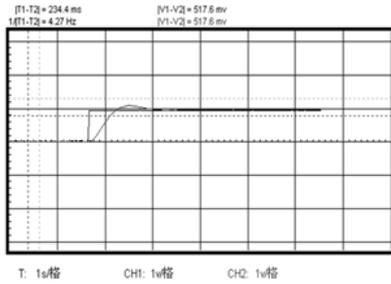


图 2 系统的阶跃响应曲线图

Figure 2 the system step response curve

可以参考使用 Matlab 对系统模型仿真得到 PID 参数。对获得的三个参数进行微调，多次重复测量情况下，求得最小误差比例、微分、积分增益。

2 系统硬件构成

本设计是一个光、机、电、无线通信一体的综合设计，在设计中运用了检测技术、自动控制技术和电子技术。系统可分为传感器检测部分和智能控制部分。传感部分包括摄像头循迹模块、陀螺仪角度模块、超声波测距模块，智能控制部分包括控制模块、无刷电机模块完成了飞行器的直线飞行，探测标志线等各项任务。系统硬件框图如图 3 所示。

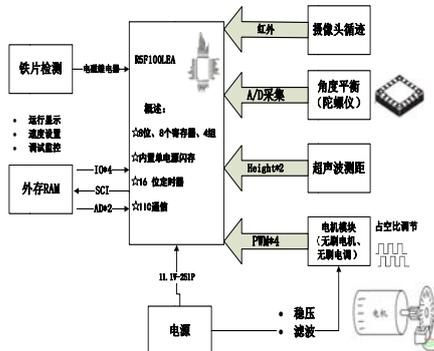


图 3 系统硬件框图

Figure 3 block diagram of hardware system

3 PID 控制器设计

在连续与离散控制系统中，PID 控制器（比例-积分-微分控制器）由比例单元 P、积分单元 I 和微分单元 D 组成。通过 K_p 、 K_i 和 K_d 三个控制增益设定完成控制规律的设计。PID 控制器通过控制偏差从而计算新的控制量让系统的输出达到或者保持在参考值。连续 PID 控制器一般表达式^[5]为：

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\Gamma) d\Gamma + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (7)$$

$$= K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\Gamma) d\Gamma + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

式中， K_p 为比例控制增益、 K_i 为积分控制增益， K_d 为微分控制增益， T_i 为积分时间常数， T_d 为微分时间常数。

飞行器的四轴抵抗力是与角度成正比的。当四轴有一个倾斜角度，飞行器自身就会进行调整直到倾角为零。但是如果只有积分运算的作用，会使四轴迅速产生振荡，影响暂态稳定性。因此必须将比例和积分运算结合起来一起使用，这时候基本上就会得到四轴稳定的效果。但此种控制具有缺点如设定值 $r(t)$ 由系统外部给定就会跳变，而对象的被控输出 $c(t)$ 是有一定惯性的动态环节输出，它的变化不可跳变。直接取它们之间的误差信息 $e(t) = r(t) - c(t)$ 来消除这个误差，让不能跳变的 $c(t)$ 跟踪可以跳变的 $r(t)$ ，理论上存在问题^[6]。

积分反馈常常使闭环系统的反应迟钝容易产生控制量饱和与振荡等不利因素，使系统暂态稳定性太差。因此我们使用新型非线性 PID 的构成。通过插入合适的过渡过程，可由噪声放大效应很低的跟踪微分器或适当的函数发生器来实现。并利用跟踪微分器、状态观测器或扩张状态观测器来提取误差微分信号，从而避免了积分反馈后的扰动^[7]。

如图 4 为 PID 控制系统改进前后示意图。Z1、Z2 实现反馈控制。

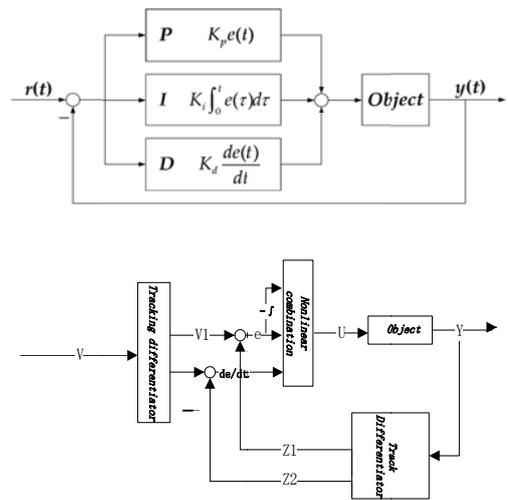


图 4 PID 控制系统改进前后示意图

Figure 4 PID control system before and after improvement diagram

基于新型非线性 PID 标准算法，整个模型可以看成由线运动和角运动两个独立的子系统构成，角运动不受线运动的影响，但线运动受角运动的影响。因此使用小扰动法处理，忽略附加小扰动后，可得四旋翼飞行器的运动方程为^[7]：

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}, \\ \mathbf{x} &= [\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \mathbf{p}, \mathbf{q}, \mathbf{r}, \theta, \phi, \psi]^T, \\ \mathbf{u} &= [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \mathbf{u}_3, \mathbf{u}_4]^T \end{aligned} \quad (8)$$

4 仿真与实验

四旋翼飞行器调试分为调试准备、静态参数整定、动态参数整定、航模机械调整等各个环节^[8]。调试过程中算法程序存在很多参数，计算时我们理想处理，但会影响航模模型精度，所以飞行器算法参数需要在实验过程中实测整定。

为了得到最佳的飞行姿态通过改变PID控制系统中的参数值，验证理论设计的姿态参数值，我们进行了飞行试验。其中PID调试主要包括三部分：一是在输出不振荡时增大比例增益P，二是在输出不振荡时减小积分时间常数Ti，三是在输出不振荡时，增大微分时间常数Td。

控制器具有较强的鲁棒性和抗干扰性^[9]，（如图5）在噪声干扰较强的时候，可通过调整滤波因子改善滤波性能，在360个控制周期内将系统稳定在期望角度内，用时2s，系统稳态误差从6.5度控制到了2度以内。可见该控制器有良好的滤波性能，（如表1）为系统各误差系数的含义及数值，若滤波器参数选择不准确，系统不收敛则无法滤波。

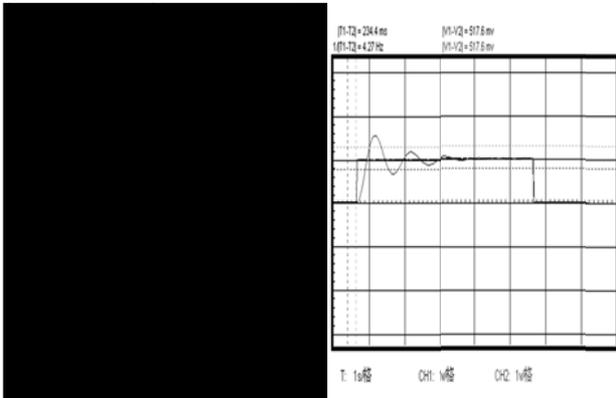


图5 仿真结果图

Figure 5 the diagram of simulation results

表1 系统误差系数表

Table 1 the system error coefficient table

符号	意义	数值
Sz	测量噪声方差	{{15.6}}
Sw	噪声协方差矩阵	{{0.0043, 0.0043}}
P	误差协方差矩阵	{{0.0043, 0.0043}}

5 结论

本文研究了基于四旋翼飞行器系统的动力学建模及PID控制，成功实现了飞行器平稳飞行和飞行器循迹飞行和自控高度飞行等。此次设计用到了瑞萨芯片输出PWM波控制无刷电机的转速，通过I2C通信系统连接MPU6050传感器控制飞行器的平衡，飞行过程中启动摄像头循迹飞行。HC-SR04超声波传感器实时测量飞行高度，并反馈回瑞萨控制芯片。建立飞行器动力学建模时，我们使用经典力学方法假设系统为刚体，建立了包含线运动和欧拉角的完备的动力学方程。并在采集实测数据后通过MATLAB进行建模分析，保证系统的稳定状态。运用PID控制器控制偏差过程中，本文用新型非线性跟踪微分器解决了积分反馈后的扰动，并给与补偿替代误差积分反馈^[10]。

四旋翼飞行器能够运用计算机控制和空气动力学，将控制学理论与实际相结合。我们希望今后增加卫星导航系统，完善飞行器的设计。

参考文献

1. 杨云高, 鲜斌, 殷强等. 四旋翼无人飞行器架构及飞行控制的研究现状[J]. 中国自动化学会控制理论专业委员会. 2011. C卷:1-4.
Yang Yungao, Xian Bin, Yin Qiang et al. The four rotor unmanned aerial vehicle architecture and research status of [J]. flight control China Automation Association Professional Committee of control theory.2011.C volume: 1-4
2. 洪森涛, 金智慧, 李志强: 四旋翼飞行器建模及姿态稳定性分析 [N].电光系统, 2008,(2):34-37
Hong Sentao, Li Zhiqiang: the golden wisdom, four rotor aircraft modeling and attitude stability analysis [N]. electro-optic system, 2008, (2): 34-37
3. Yiting Wu. Development and Implementation of a Control System for a quadrotor UAV[D]. University of Applied Science Ravensburg Weingarten, 2009.34-54
4. 黄溪流, 一种四旋翼无人直升机飞行控制器的设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2010

- Huang XiLiu. a four rotor unmanned helicopter flight controller[D]. Nanjing; Nanjing University of Science and Technology, 2010
5. 刘金琨, 先进PID控制MATLAB仿真[M].北京; 电子工业出版社, 2012
- Liu Jinkun, the advanced PID control MATLAB simulation [M]. Beijing; publishing house of electronics industry, 2012
6. Salih, A.L, Modelling and PID controller design for a quadrotor unmanned air vehicle[J].IEEE AQTR. 2010.39(5): 650-690.
7. 李俊, 李运堂. 四旋翼飞行器的动力学建模及PID控制 [D]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版) . 2012. 1-4.
- Li Jun, Li Yuntang. Four rotorcraft dynamics modeling and PID control [D]. Journal of Liaoning Technical University (NATURAL SCIENCE EDITION).2012.1-4.
8. Mark Euston, Paul Coote, Robert Mahony et al.A Complementary Filter for Attitude Estimation of a Fixed-Wing UAV[J].IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.2008.Sept,22-26 :340-345.
9. Sebastian O.H.Madgwick,Andrew J.L .Harrison et al.Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm[J].IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics .2011:1-7.
10. X.Deng,L.Schenato and S.S.Sastry,AttitudeControl for a Micro-mechanical Flying Insect Including Thorax and Sensor Models ICRA 2003, Teipei, Taiwan 2003.23-24.

一种便携式水中甲醛检测仪的硬件设计与优化²

李冶;张慧婷;熊观宝;宋卫萍

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 甲醛是一种无色、易溶的刺激性气体, 属有毒物质。如今大量含有甲醛的东西被广泛应用, 甚至在一些供应人们饮水的水源中可能被工业污染含有不同浓度的甲醛。长时间接触甲醛会导致慢性中毒以及不同程度的身体不适严重的会导致白血病。有必要开发一种简易便携的甲醛检测仪作为水中甲醛含量的检测设备, 以减少水中甲醛对人体健康的危害。本水中甲醛检测仪基于酚试剂分光光度检测甲醛原理, 采用 AT89C2051 单片机和 TSL230 光电传感器结合, 以液晶屏显示甲醛含量, 并有操作简单、便携易带的特点。

关键词: 水中甲醛检测仪 单片机 酚试剂分光光度检测法

中图分类号: TN791

文献标识码: A

The designning and optimizing of hardware used to a portable water formaldehyde detector

Li Ye;Zhang Hui-ting;Xiong Guan-bao;Song Wei-ping

(College of instrumentation and Electrical Engineering,Jilin University; Changchun 130012,China)

Abstract: Formaldehyde is a colorless gas with strong pungent and toxic substances. Now a lot of things that contains formaldehyde is widely used. It may contain varying degrees of formaldehyde in some source of drinking water for the industrial pollution . Exposed to formaldehyde for a long time will cause chronic intoxication and varying degrees of uncomfortable,even Leukemia. So it's necessary to invent a new kind of portable water formaldehyde detector to check its concentration in water , and reduce its harm. The water formaldehyde detector is made according to MBTH and Acetyl Acetone Spectrophotometric Methods, and combine Single Chip Microcomputer AT89C2051 and photoelectric sensor TSL230 to show formaldehyde content through liquid crystal display, and it's simple to operate and carry.

Key words:The water formaldehyde detector Single chip microcomputer Phenol reagent spectrophotometric assay

0 前言

甲醛俗称福尔马林, 常用于制作生物标本和尸体防腐, 过去也作为农药使用, 用于杀菌和熏蒸消毒。甲醛是一种毒性很强的化学物质, 它能够破坏生物细胞蛋白质活性, 引起人体过敏和肠道刺激反应, 长期接触可能引起鼻腔、口腔、咽喉、皮肤和消化道癌症, 严禁在食品加工中使用和添加^[1]。由于甲醛可以改变一些食品的色感并有防腐保鲜作用, 在无知或金钱利益的驱使下, 一

些不法分子在某些食品加工时加入了甲醛。甚至在一些供应人们饮水的水源中都可能被工业污染含有不同浓度的甲醛。为了保障消费者的身体健康和合法权益, 打击不法商人的违法行为, 有效地监督检测水产品和水发产品中的甲醛, 设计简便、快速、有效的水中甲醛检测仪^[4], 供卫生监督人员现场监督检测是十分必要的^[1]。

1 总体方案设计

甲醛检测仪的工作原理为首先将空白样品溶

² 指导老师: 李冶

项目类型: 创新项目

液放在比色槽中^[3]，其次通过按键控制光源亮，光电传感器接收并测量光强度的数据 $I_{\text{空白}}$ 存储在单片机中，然后取出空白样品溶液，再将带有样品的吸收溶液置于比色槽中利用按键控制光源亮^[3]，光电传感器测量此时光强 $I_{\text{样品}}$ 存储在单片机中，最后利用一定的算法求出甲醛浓度，并通过 LCD 显示甲醛浓度数据^[2]。整个装置通过通信串口与 PC 机相连接，从而达到程序修改和数据分析的功能^[6]。

水中甲醛检测仪的系统组成如图 1 所示。

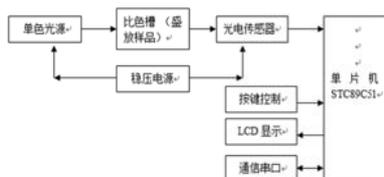


图 1 水中甲醛检测仪的系统框图

Fig.1 The system block diagram of water formaldehyde detector

可以将整个系统分为 4 个模块：光电检测模块、单片机控制分析模块、人机交互模块以及稳压电源模块。

2 硬件设计

2.1 光电传感器

TSL230 主要特性如下：

- 1、光强转换为脉冲以频率的方式呈现出来，分辨率高，外围元件影响小；
- 2、接收光强的灵敏度可以调节并且可以满量程输出频率值；
- 3、输出的频率信号可以被微控制器直接测量；
- 4、温度稳定系数为 100ppm/°C
- 5、整个传感器运用线性 CMOS 技术，几乎不用采用外围元件。
- 6、单电源供电，最低工作电源电压为 2.7V；
- 7、在输出 100KHz 频率时，其非线性典型误差为 0.2%；

TSL230 工作原理

TSL230 工作原理如图 2 所示由光电二极管作为探测器以及电流/频率转换器组成。其中当光电二极管接收光强之后进行光电转换，将不同波长的光以电流的形式输出，最终由电流/频率转换器的作用下输出对应的脉冲频率信号。此传感器可以根据不同的光强变化输出不同的脉冲信息。并且 TSL230、TSL230A 与 TSL230B 在原理以及内

部构造基本相同。

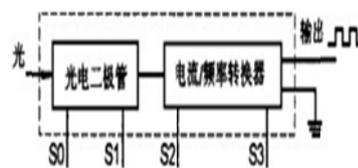


图 2 TSL230 内部结构示意图

Fig.2 The internal structure diagram of TSL230

TSL230 各管脚对应为：S0、S1 为转换灵敏度控制端；S2、S3 为满量程调节控制端；4 脚接地；5 脚为电源端；3 脚为输入控制端，低电平有效；6 脚为输出端，输出方波信号。

TSL230 外形封装（管脚图）如下所示：

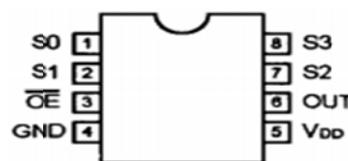


图 3 TSL230 管脚图

Fig.3 The pin figure of TSL230

2.2 传感器电路设计

根据 TSL230 传感器的封装特性所设计的电路如下图 4 所示，TSL230 的外接电路，3 脚为输入控制端，低电平有效。TSL230 是脉冲形成电路，所以在电源与地间加了一个 0.1uF 瓷片电容以保证主要电路不受影响。1、2、7、8 四个引脚中 1/2 引脚控制转换响应灵敏度选择都为高电平即改变光电二极管的有效受光面，使得它灵敏度增加一百倍。7、8 两个引脚控制输出频率分频状态选择 7 脚为高电平 8 脚位低电平即使得转换频率按照原频二分频输出。6 脚为脉冲输出端，当 TSL230 进行光频转换后，6 脚就输出标准的方波。将输出的方波信号输入给单片机引脚进行频率测量。

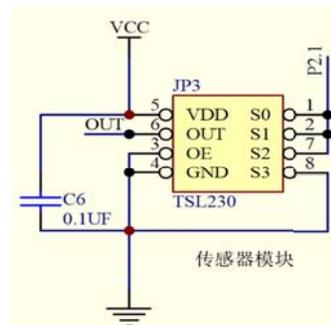


图 4 传感器设计电路

Fig.4 The design of sensor circuit

2.3 稳压电源模块

为了使设计的水中甲醛含量检测仪能够实现

现场测试，一个安全可靠的供电管理模块就需要实现其供电可靠，输出电压稳定等功能。电路中 P1 为能够提供+9V 的干电池，S1 为电源的开关按下 S1 电源进行供电。C5 与 C6 为滤波电容，LM7805 为+5V 稳压芯片当输入的+9V 电压经过 LM7805 稳压芯片则将电压转换为+5V 输出，再次经过由 C7 与 C8 两个电容进行滤波使得最终输出的+5V 电压纹波减少，输出值稳定。

其设计电路如图 5 所示：

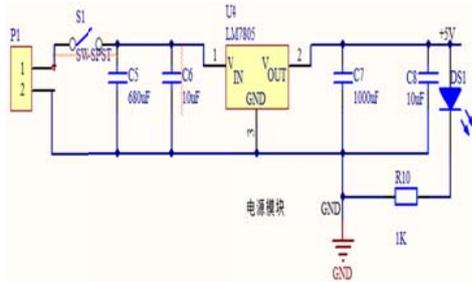


图 5 稳压电源模块

Fig.5 Regulated power supply module

2.4 光电检测模块

经过分析在选择 LED 作为发光的光源但是还根据需要进行调节 LED 的光亮强度以满足测量精度的要求。光源调节电路是整个电路很重要的一部分，图中 LED 为光源 (630nm) 红色光，74HC04 为反相器，其左端接单片 P2.2 口，程序置 P2.2 为低电平时，LED 正端为高电平时点亮二极管。光源亮度的调节通过 R2 实现，调节 R2 大小，则放大器 LM358 的 3 脚电压变化，导致三极管 S9013 基极电压变化，则 LED 负端电压变化，这样可以达到调节亮度的目的。并且为了增加测量精度采用三个二极管交替发光的形式进行提供光源信号即选择红色、蓝色、绿色三个二极管作为可调节光源，其中红色二极管为主二极管。为此设计图 6 所示的光源调节电路：

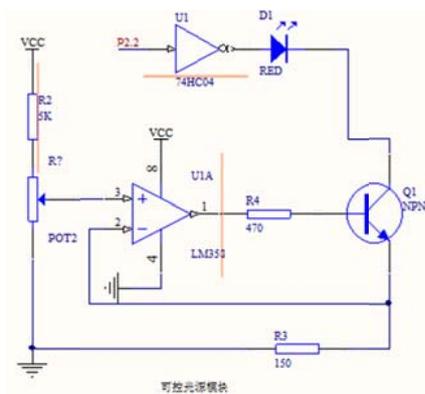


图 6 光源调节电路

FIG.6 Light source control circuit

2.5 人机交互模块

本设计人机交互模块主要包括按键，液晶显示和串口通信三部分组成。按键控制电路如下图 7 所示，按键控制电路由三个按键组成，采用按键直接接地的方式与单片机的接口连接，当按下按键时软件程序进行判断是否有脉冲信号到来有则表示按下按键进行相应的功能响应。按下 K1 则进行测量试剂空白的吸光度，按下 K2 测量吸收溶液的吸光度，按下 K3 进行甲醛含量的计算。

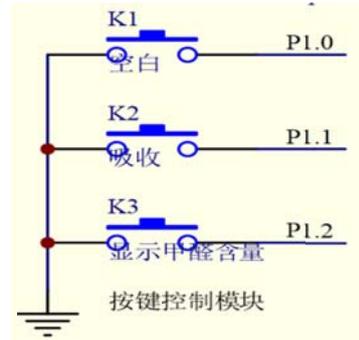


图 7 按键控制电路

Fig.7 Button control circuit

在进行按下按键时会在 LCD1602 上进行功能响应具体显示电路如图 8 所示，单片机 P0 口与 LCD1602 的 D0~D7 进行连接，RS、RW、E 为 LCD 的控制接口与单片机 P2.5~P2.7 连接控制显示。由于 STC89C51P0 口不能提供高电平因此需要外接 1K 上拉电阻提供高电平使得 LCD 能够正常显示 [5]。

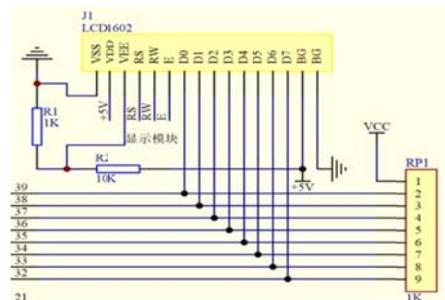


图 8 显示控制电路

Fig.8 Display control circuit

如图 9 所示，MAX232 的 R2OUT 与单片机的 P3.0 串口相接，而 Connector 9 与 PC 机的端口相连接，由此可进行 PC 机与单片机之间的通信连接。

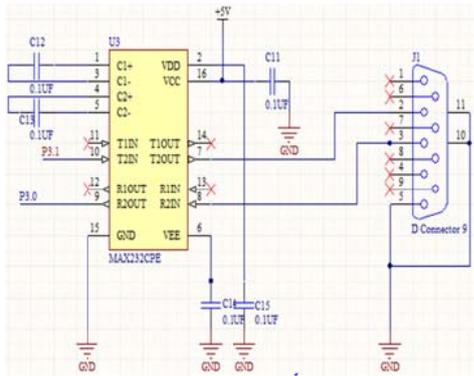


图 9 串口通信电路图

Fig. 9 The circuit of communication

3 甲醛检测仪的整体硬件设计电路

如下图所示表示整个装置的硬件电路设计图，其中光源选择三种光交替亮灭即红、蓝、绿三色光源透过比色槽经过光电传感器 TSL230 进行接收转换为频率信号，三个光源的发光强度受到光亮强度电路的控制通过调节使得每种颜色的光源达到最佳亮度。使得测量甲醛含量的拟合曲线线性度最佳提高测量精度。整个过程通过按键控制三色光源的亮灭，单片机接收来自 TSL230 的频率信号，最终在 LCD1602 上显示出所测溶液的甲醛的含量。

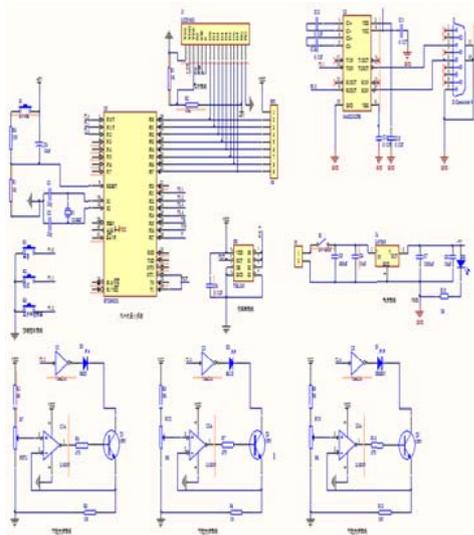


图 10 装置整体硬件电路图

Fig.10 The whole hardware circuit diagram of Formaldehyde detector

4 软件设计

系统软件设计具体程序流程图如图 11 所示，要完成水中甲醛含量的检测首先按下按键 K1 测试

比色槽中的试剂空白的透射光强单片机读取之后存储在寄存器中，然后将比色槽中的试剂空白更换为待测溶液按下按键 K2 用单片机读取待测溶液的透射光强存储在单片机的寄存器中。最后根据试剂空白溶液透射光强和样品溶液透射光强以及根据标准溶液标定出的工作曲线计算出水中甲醛含量。

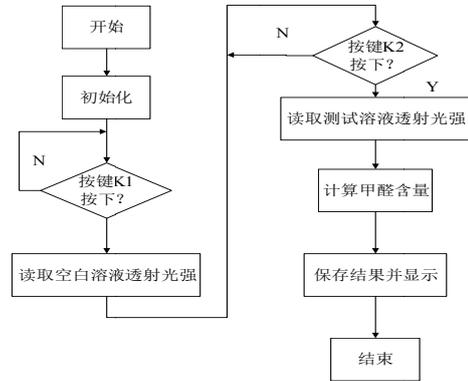


图 11 主程序流程图

Fig11 The main program flow chart

5 测试结果与分析

本文所采用的将实验室配置的标准浓度的甲醛溶液用仪器进行检测其标准浓度其数据对比如表 1 所示：mg/L

表 1 测试数据与实验数据对照表

Table 1 Test data and experimental data table

甲醛标准溶液浓度 (mg/L)	0.01	0.03	0.06	0.10	0.30	0.60	0.80	1.00
仪器检测浓度示值 (mg/L)	0.009	0.029	0.058	0.104	0.29	0.57	0.78	0.92
百分比误差	7%	3.3%	3.3%	4.0%	3.3%	5%	5%	1%

从上表数据分析利用设计的水中甲醛含量检测仪测量标准溶液时其误差最大为 7% 最小为 1% 能够满足设计要求。但是在甲醛浓度较低时误差仍然较大，分析原因主要来自以下几点：

1. 标准溶液配置误差。主要由在配置甲醛标准溶液时精度不够，导致实际配出的溶液浓度可能大于或者小于其所标浓度。为了提高精度可以采用精度更高，价格更加昂贵的精确试剂。

2. 环境影响产生的误差。在测试时，所处环境的温度会导致标准溶液和待测溶液中的甲醛挥发，会影响所测的数据。并且除了检测的二极管的光照，太阳光的照射会影响光电传感器对不同色光的接收，对测量数据有一定的影响。

曲线拟合误差。在曲线拟合所采用的数据点是来自配置的标准溶液，因为标准溶液的不精确导致

拟合得到的曲线，并不能完全符合实际吸光度甲醛含量之间的对应关系。可以通过进一步完善算法以及采用精度高的标准溶液获取数据点。

6 结论

本次设计采用软硬件设计相结合的方法，在进行硬件电路的设计时以光电传感器 TSL230 为核心，采用了模块化的设计方法。包括光电检测模块，人机交互模块以及单片机外围电路的设计。

在设计软件程序时考虑到单片机接收来自光电传感器的信号为脉冲频率值并且利用反演算法将频率值转化为具体甲醛浓度数值显示出来。为了测量频率的精确度采用了等精度测频的方法有效降低了测量误差。

基于以上部分提出了一种便携式水中甲醛检测仪的设计方案。其具备了自动化、易于操作、成本低等特点，并运用了微控制器实现了检测的智能化。经过结果误差分析表明本设计方案可行。但是由于时间有限并不能将此产品应用到日常生活中，只是处于试验机的状态。如果时间允许接下来需要研究仪器工作的稳定性，以及在不同环境下的应用状态等实际问题。

参考文献

1. 朱春红. 浅谈甲醛检测的常用方法及影响因素[J]. 黑龙江科技信息报. 2007, 58.
Zhu Chun-hong. Introduction to formaldehyde detection methods and influence factors[J]. Heilongjiang Journal of Science and Technology Information. 2007. 58.
2. 刘文君, 赵红, 白亮等. 分光光度法测定室内空气中甲醛的方法研究[J]. 中国环境检测, 2003, 19(4): 32-35.
Liu Wen-jun, Zhao hong, Bai liang et al. Spectrophotometric method was developed for the determination of formaldehyde in indoor air research[J]. Environmental test of China. 2003, 19 (4): 32-35.
3. 刘玉欣, 宋力, 常风启, 等, 甲醛快速测定初筛试剂盒的评价[J]. 中国卫生工程学, 2006, 5(3): 167-168.
Liu Yu-xin, Song Li, Chang Feng-qi et al. Rapid
4. 杜鹃, 赵元黎. 便携式现场甲醛测试仪[D]. [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2010.
Du Juan, Zhao Yuan-li. Portable field formaldehyde tester[D]. [Master's thesis]. Zhengzhou: Zhengzhou university, 2010.
5. 谢跃东. 基于 MSP430 的室内甲醛检测仪的设计[D]. [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2012.
Xie Yue-dong. The design of indoor formaldehyde detector based on MSP430[D]. [Master's thesis]. Taiyuan: Taiyuan university of technology, 2012.
6. Popov A, Sherstnev V, Yakovlev Y, et al. Application of Antimonide Laser to HCHO measurements at Spam[J]. VDI-Ber, 2008, 1336: 173-176.
7. Y. Herschkovitz, I. Eshkenazi, C. E. Campbell et al. An electrochemical biosensor for formaldehyde. Journal of electroanalytical Chemistry. 2000, 491:182-187

一种便携式 PM_{2.5} 检测仪的研制*

王洪远； 赵鹏程； 高文智； 李肃义

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要: 近年来,随着机动车业的发展和普及,机动车数量严重增加,汽车尾气污染对城市环境的影响越来越明显。我国越来越多的城市空气质量亮起了红灯,人们越来越关注生活环境的空气质量。于是我们针对现况着手研制一台便携式 PM_{2.5} 检测仪,用于家庭对于 PM_{2.5} 的监测。该仪器以低功耗单片机 MSP430 为核心,以韩国 SYHITECH 的 DSM501 为传感器,并结合 SIM900A 双频 GSM/GPRS 模块以及 GPS blox NEO-6M 模块,经过硬件电平转换,软件滤波,数据后期处理实现具有 PM_{2.5} 实时监测,位置坐标信息显示,以及通过手机远程提取 PM_{2.5} 检测信息的功能。实际测试数据表明,该仪器已经可以在允许误差范围内对空气中 PM_{2.5} 含量进行检测。

关键字: PM_{2.5} 检测; GPS 模块; GPRS 短信收发

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Development of a portable PM_{2.5} monitor

Wang Hong-yuan, Zhao Peng-cheng, Gao Weng-zhi, Li Su-yi

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In recent years, with the development and popularization of the motor vehicle industry, the number of motor vehicles is increasing heavily, the impact of motor vehicles on urban environment is getting more and more obvious. Urban air quality in China is becoming worse and worse and people pay more and more attention to the air quality of living environment. So, aiming at current conditions, we develop a portable PM_{2.5} monitor for the monitoring of PM_{2.5} in family. The device uses low power consumption microprocessor MSP430 as the core, DSM501 in SYHITECH Company as sensor and combines SIM900A dual-band GSM/GPRS module with GPS blox NEO - 6 m module. It realized real time monitoring of PM_{2.5}, position coordinates information display as well as the function of the remote testing information of PM_{2.5} by mobile phone after transformation of hardware level, software filtering and data post-processing. Actual test data shows that the device can be used to monitor PM_{2.5} in the air within the error range.

Keywords: PM_{2.5} monitor; GPS module; GPRS SMS transceiving

0 前言

2013 年以来,我国四分之一国土出现了雾霾^[1],受影响人口约 6 亿人。粒径 10 微米以上的颗粒物,会被挡在人的鼻子外面;粒径在 2.5 微米至 10 微米之间的颗粒物,能够进入上呼吸道,但部分可通过痰液等排出体外,对人体健康危害相对较小^[2];而粒径在 2.5 微米以下的细颗粒物(也就是“PM_{2.5}”),

直径相当于人类头发 1/10 大小,被吸入人体后会进入支气管,干扰肺部的气体交换,引发包括哮喘、支气管炎和心血管病等方面的疾病。由支气管和肺泡进入血液的颗粒中的有害气体、重金属等一旦溶解,会严重影响人体健康。雾霾中的 PM_{2.5} 成为最新的健康杀手^[3],影响着人体的呼吸系统、生殖系统、血液系统等。WHO 报告指出,因室外空气污染,中国有 120 万人过早死亡。

相比于单纯的“雾”,“霾”则是由于空气遭到

* 指导教师: 李肃义

项目类型: 创新项目

污染而产生的，因此霾天比雾天对人体健康的伤害更大。我国北方地区近年来受全球气候异常的影响，导致干旱愈发严重，同时城市大量排放温室气体，出现霾天气的日子呈上升趋势^[4]。研究指出，由细颗粒物造成的灰霾天气对人体健康的危害甚至要比沙尘暴更大^[5]。

对人体危害最大的不是颗粒物本身，而是颗粒物上吸附的化学物质。PM2.5 对健康的影响，本质上讲是 PM2.5 表面吸附的各种化学物质对健康的影响，比如吸附了致癌物就有致癌效应，吸附了二口恶英就有生殖危害，要是吸附了重金属就有重金属的危害，关键是要看 PM2.5 吸附了什么东西^[9]。

研究结果显示，如果 PM2.5 超标后，每增加 10 微克/立方米的话，医院心血管系统的急诊及死亡要增加 6-7%，高血压病的急诊要增加 5%。特别是 1-3 微米的颗粒物，就会进入肺泡里去，肺泡是用来做气体交换的地方，那些颗粒被巨噬细胞吞噬，就永远停留在肺泡里，对心血管、对神经系统、对其它都会有影响，不是单纯对呼吸系统。

所以一种体积小、价格低、简单易^[6]用并且具有系统定位以及短信收发功能的便携式 PM2.5 检测仪便随着时代发展应用而生^[7]。

该仪器通过主控制器 MSP430 控制 DSM501 传感器^[8]，并配合 SIM900A GSM 模块和 GPS blox NEO-6M 模块，经过电平转换^[10]、滤波、数据后期处理实现 PM2.5 检测功能^[11]。

1 PM2.5 监测系统设计

1.1 传感器工作原理及数据处理

如图 1 所示，传感器下端有一个加热装置，可以进行加热，这样粉尘颗粒就会加热上升。传感器的一端是一个发光二极管，发出一定光强和频率的光。另一端有一个接收二极管，发光二极管发出的光会在灰尘颗粒上发生反射，这样就会被接收二极管接收。

粉尘的浓度越大，反射的光强就越大，接收端接收的光信号越强。之后进过放大整形，接收端输出的信号为 PWM 信号，当有灰尘颗粒遮挡时输出端会出现一个低电平，并且持续一段时间，大致的持续范围为 10—50ms，如果没有遮挡则输出的高电平。

测量时可以通常选择 30S 作为一个周期的时钟信号，测量 PWM 的低脉冲时间，之后就可以得到低脉冲率。低脉冲率为原始数据，再经过数学的运算就可以得到实时的 PM2.5 数据。采集时每隔 30S

数据采集计算更新一次并实时显示，数值就为当前 PM2.5 的值。

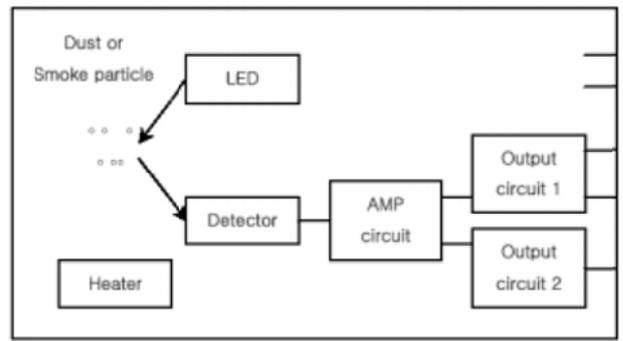


图 1 传感器工作原理图

Fig.1 Working principle of the sensor diagram

1.2 电平转换模块设计

传感器输出的电平为 0.7—4.5 之间，如果将这个 PWM 信号直接输入给 MSP430 单片机将出现电平不匹配的情况，这里设计了电平转换模块。仪器的总输入电源为 5V2A 的输配器，MSP430 供电需要 3.3V 的电源，这里运用高效线性稳压器 ASM1117-3.3V（如图 2）可以输出 3.3V 的电压，这样就可以为 MSP430 供电。而传感器的输出电平和 MSP430 又不匹配。这里运用比较电路，采用的是单电源供电运算放大器的 OP27，OP27 用 3.3V 供电。比较基准电压为 2.5V，2.5V 的电压输出由高效率线性电源 ASM1117-2.5 转换实现。这样输出就为 0V 和 2.5V 的电压。最后经过一级电压衰减，完成想要的电平输出。传感器的输出和比较器相连，经过电平转换就可以实现电平的转换，实现 0~3.3V 的 PWM 调制信号的输出，与 MSP430 的电平匹配。

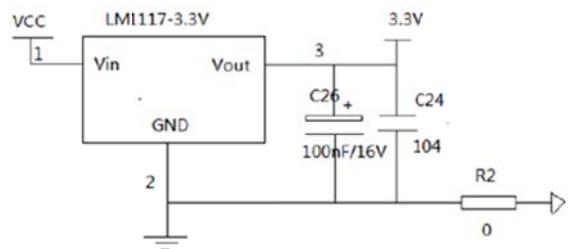


图 2 ASM1117-3.3V 转换电路

Fig.2 ASM1117-3.3V switching circuit

2 GPS 模块信息获取系统设计

2.1 GPS 模块工作原理

系统定位使用 GPS blox NEO-6M 模块，u-blox 芯片是一种高性能的 GPS 芯片，其 C/A 码为 1.023MHz 码流，接收频段为 L1 [1575.42MHz]，速

度快，漂移小，跟踪灵敏度:-161dBm 捕获灵敏度:-148dBm 冷启动时间:38s 温启动时间:35s 热启动时间:1s 再捕获时间:0.1s。能够满足实时定位的需求。芯片采用串行通讯方式，可以将获取的坐标，经纬度，海拔等信息传送给主控芯片，之后在人机界面上进行显示。

通过 GPS 模块，可以获取测量者的坐标，并且传给主控芯片，记录坐标方位。系统中还增添了 GSM 模块，并且将位置坐标、PM2.5 数值等数据通过 GSM 网络以短信的方式发送到手机终端。

2.2 NMEA-0183 协议简介

NMEA0831 是美国国家海洋电子协会为海用电子设备制定的标准格式。目前已经成为 GPS 导航设备统一 RTCM 标准协议。

NMEA-0831 协议采用 ASCII 码来传递 GPS 定位信息，我们称之为帧。帧格式形式如：

\$aacc,ddd,ddd,...,ddd*hh(CR)(LF)

- 1、“\$”：帧命令起始位
- 2、aacc：地址域，前两位为识别符（aa），后三位为语句名（ccc）
- 3、ddd,... ddd:数据
- 4、“*”：校验和前缀（也可以作语句数据结束的标志）
- 5、hh:校验和
- 6、(CR) (LF)：帧结束，回车和换行符

NMEA-0183 常用命令如表 1：

表 1 NMEA-0183 常用命令

Table1.Common commands of NMEA-0183

序号	命令	说明	最大帧长
1	\$GPGGA	GPS 定位信息	72
2	\$GPGSA	当前卫星信息	65
3	\$GPGSV	可见卫星信息	210
4	\$GPRMC	推荐定位信息	70
5	\$GPVTG	地面速度信息	34
6	\$GPGLL	大地坐标信息	/
7	\$GPZDA	当前时间信息	/

在这里，我们使用的是 4，\$GPRMC（推荐定位信息）

\$GPRMC 语句的基本格式如下：

\$GPRMC, (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12) *hh (CR) (LF)

我们用到的方位信息有

- (1) UTC 时间，hhmmss（时分秒）
- (2) 定位状态，A=有效定位，V=无效定位
- (3) 纬度 ddmm. mmmmm（度分）
- (4) 纬度半球 N（北半球）或 S（南半球）

(5) 精度 dddmm. mmmmm（度分）

(6) 精度半球 E（东经）或 W（西经）

2.3 模块与单片机连接

模块与单片机连接最少只需要四根线即可：VCC、GND、TXD、RXD。其中 VCC 和 GND 用于给模块供电，模块 TXD 和 RXD 分别于单片机的 RXD 和 TXD 进行连接，用于信息的传递。并且模块可以兼容 5V 和 3.3V 单片机系统。

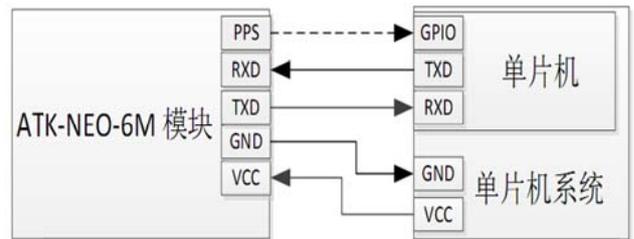


图 3 GPS 模块与单片机连接原理图

Fig.3 Connection schematic of GPS module and MUC

3 GPRS 远程信息收发系统设计

3.1 GSM 短信息技术原理

SIMCom 推出一款新型无线模块——SIM900A。它属于四频 GSM/GPRS 模块，完全采用 SMT 封装形式，同时采用了功能强大的 ARM926EJ-S 芯片处理器。SIM900A 性能稳定，外观小巧，性价比高，能满足多种需求。

SIM900A 采用工业标准接口，工作频率为 GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz，可以低功耗实现语音、SMS、数据和传真信息的传输。另外，SIM900A 的尺寸大小为 24x24x3mm，能适用于 M2M 应用中的各类设计需求，尤其适用于紧凑型产品设计。

由于我们在整个系统中只用到了短信功能，因此在此仅介绍 SIM900 的短信工作原理。

GSM 短信编码。一种是文本模式(TEXT 模式)，另一种是 PDU 模式；

(1)文本模式，发送的不仅支持英文发送，同时也支持中英文发送。通过串口通信发送“AT+CMGF=1”，可将 GSM 短信发送方式更改为文本模式。同时发送中英文时，需要发送“AT+CSCS="UCS2"”给模块来选择“UCS2 编码”。此时发送中英文内容需要经过 unicode 进行编码，目标终端才能收到可读内容。接收短信时，接收的短信内容同样是 unicode 编码的，因此也需要转码才能得到中英文短信内容。

(2)PDU 模式，短信编码方式包括三种，即 7-bit

编码、8-bit 编码和 UCS2 编码。通过串口通信发送"AT+CMGF=0", 可将 GSM 短信发送方式更改为 PDU 模式。

由于 PDU 模式相对于 TEXT 模式较复杂, 同时系统对信息发送要求没有真正的手机通讯要求高, 因此采用更简捷的 TEXT 模式来发送中英文短信即可实现。

UCS2 编码方式:

1、将字符串转为 unicode 编码

2、将 unicode 编码转为 UCS2 编码。首先我们知道 UCS2 编码是将单个字符转化为 16 位的宽字符, 即由这个字符的 unicode 转化为十六进制, 高二位补 0。

表 2 串行接口的属性设置

Table2. Property set of the serial interface

波特率 (每秒位数)	9600
数据位	8
奇偶校验	无
停止位	1

3. 2GPRS 系统硬件设计

3. 2.1 GPRS 系统原理

系统原理框图如图 1 所示。GSM 通讯方面需要实现的是将主控处理过后的 PM2.5 浓度数据, GPS 模块获得的位置坐标数据进行打包发送给目标手机。同时将得到的信息实时显示在 NOKIA5110 液晶显示屏上。

因此整个系统工作原理就是利用 MSP430 单片机控制收集数据, 然后 GSM 模块执行数据发送。此系统可以实现将 PM2.5 数据发送到任意一部手机 (GSM900A 协议可行的情况下, 移动联通测试通过), 只需向模块配备的手机发送指定格式的消息, 模块就能识别短消息内容, 然后将实时 PM2.5 数据以短消息的方式返回到相应的目标手机, 此功能使用方便快捷, 免去了大量按键的配备, 同时免去了距离的限制就可以直接得到数据信息。

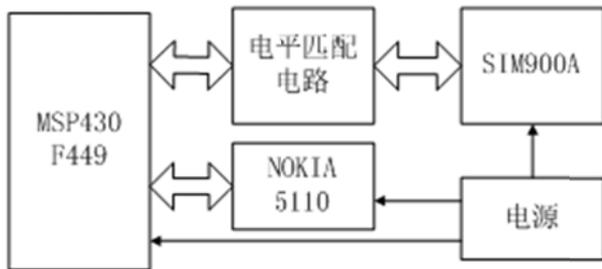


图 4 系统原理框图

Fig.4 System block diagram

3. 2.2 SIM900A 模块供电

SIM900A 模块提供一路电源接口, 需要接入 5V 2A 或 2A 以上的直流电源。模块的正负极在板子的后面有标出: VCC 代表接入电源正极, GND 代表接入电源负极。

电源电路设计如下。注意 IN4007 允许通过的最大电流为 1A, 推荐在 VCC_4 电源正负极跨接 470UF 或以上的极性电容。

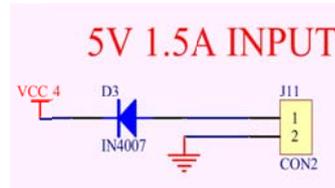


图 5 SIM900A 电源电路

Fig.5 SIM900A power supply circuit

SIM900A 模块设计为上电自启动, 也就是说: 当模块接通电源时, SIM900A 就会启动起来。

SIM900A 模块电平匹配电路如下:

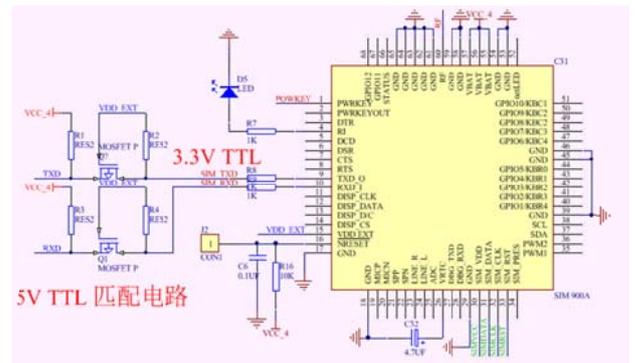


图 6 SIM900A 模块电平匹配电路

Fig.6 Module SIM900A level matching circuit

3.3 GPRS 系统软件设计

软件上通过对 MSP430F449 的控制, 存储来自 PM2.5 传感器的数据, 并通过 GSM 通讯模块发送到指定手机。系统开机时, 先进行各种初始化动作, 打开总中断, 显示开机画面等等, GSM 模块进行正常工作。

GSM 模块正常工作时, 当接受到指定格式的短消息时, 可以提取其中的电话号码, 然后向此号码发送此时的 PM2.5 值; 未收到指定格式的消息时, NOKIA 5110 一直显示当前 PM2.5 浓度信息。此功能使用方便快捷, 免去了大量按键的配备, 同时免去了距离的限制就可以直接得到数据信息。

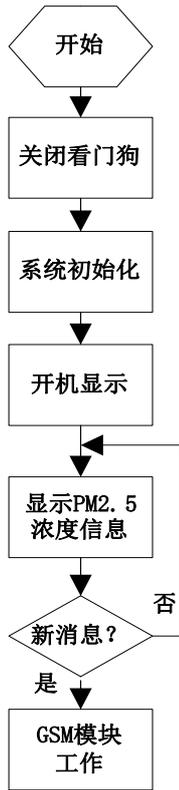


图 7 主函数程序流程图

Fig.7 The main function program flowchart

4 测试结果及结论

经过实验测试，PM2.5 检测仪已经可以实现 PM2.5 的监测功能，仪器屏幕同时显示所测地点的 PM2.5 含量以及的测试地点的地理坐标。仪器具有远程短信收发功能，可以通过手机对仪器进行固定格式的短信询问，仪器通过对短信的接收、处理，将屏幕信息发送给目标手机用户，从而实现对目标地点的 PM2.5 进行远程监测的功能。

以下是我们使用本仪器对长春市一天中 PM2.5 含量进行的实测数据：

表 3 测量数据表

Table 3 Measurement data sheet

时间	PM2.5 数值	经纬度
8:00	76ug/m ³	125°55' 43°43'
10:00	103ug/m ³	125°58' 44°09'
12:00	42ug/m ³	124°07' 43°56'
14:00	28ug/m ³	125°74' 43°92'
16:00	39ug/m ³	124°19' 43°96'
18:00	71ug/m ³	124°19' 45°10'
20:00	73ug/m ³	125°41' 43°12'

*实测长春市 3 月 2 日 PM2.5 数值(微克/立方米)

根据实测数据绘制如下图表，观察 PM2.5 一天之内变化趋势：

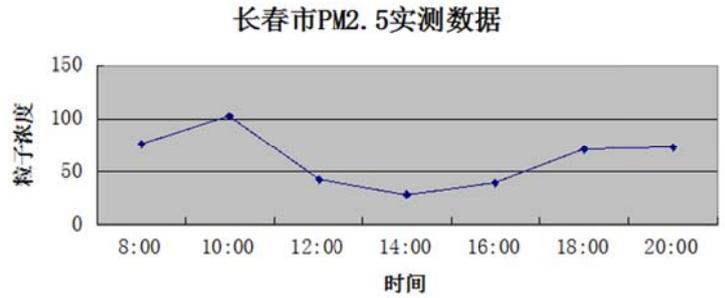


图 8 PM2.5 变化趋势图

Fig.8 PM 2.5 change trend chart

通过观察可知，长春市在早八点到晚八点期间（冬季），在上午十一点左右 PM2.5 达到峰值，最低值大约出现在下午三点左右。且一天之内 PM2.5 变化浮动比较大。仪器显示界面图如下：



图 9 仪器显示界面图

Fig.9 Instrument interface figure

本仪器功能全面、设计新颖，具有价格低廉、使用寿命长的特点，适合家庭使用的特点。人机交互便捷，使用方便，界面风格简洁明了，适合各类人群使用。拥有实时位置坐标和 PM2.5 显示功能。对获取的数据可以进行 GSM 短信收发，极大的方便了测量者信息传递工作。仪器整体体积小，便于携带使用，采用 Li 离子电池供电，续航能力强，可以连续工作数小时。达到了便携、实时、准确的测量。

参考文献

1. 杨永杰, 张裕胜, 杨赛程, 张小美. 一种 PM2.5 检测传感器设计 [J]. 传感器与微系统, 2014, 03:76-78+81.

- Yang Yongjie, Zhang Yusheng, Yang Saicheng, Zhang Xiaomei. The design of a kind of PM2.5 detection sensor[J].Sensor and micro system,2014,03:76-78+81
2. 罗曼. 基于便携式检测仪的 PM2.5 浓度监测与分析[J]. 科技与企业, 2014, 14:408-410.
Roman.Monitoring and analysis of concentration of PM2.5 based on a portable monitor[J].Technology and enterprise of science,2014,14:408-410.
3. 王寅, 王卉. PM_{2.5} 现状及其检测技术[J]. 资源节约与环保, 2014, 12:139.
Wang Yan, Wang Hui.The present situation and detection technology of PM_{2.5}[J].Resource conservation and environmental protection,2014,12:139.
4. 王庆元. 新型传感器原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
Wang Qingyuan. The principle and application of new type of sensor [M]. Beijing: China Machine Press,2003.
5. 张文阁, 高思田, 宋小平, 刘俊杰, 刘巍, 陈仲辉. 细颗粒物 PM_{2.5} 浓度测量及计量技术[J]. 中国粉体技术, 2013, 06:69-72.
Zhang Wenge, Gao Sitian,Song Xiaoping, Liu Junjie, Liu Wei, Chen Zhonghui. Concentration measurement and measurement technology of fine particles PM_{2.5}[J].Powder and technology of China,2013,06:69-72.
6. 谭浩强. C 程序设计[M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2010.
Tan Haoqiang. Program Design in C Language[M].The fourth edition.Beijing:Tsinghua a University Press,2010.
7. 郭天祥. 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
Guo Tianxiang. C language program of 51 single chip tutorial [M].Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2010.
8. 赵建岭, 薛圆圆. 51 单片机开发与应用技术详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
Zhao Jianling, Xue Yuanyuan explanation of 51 MCU development and application technology[M].Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2009.
9. 王菊, 李娜, 房春生. 以长春为例研究环境空气中 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的相关性[J]. 中国环境监测, 2009, 02:19-21+56.
Wang Ju, Li Na, Fang Chunsheng. The research of correlations of TSP、PM₁₀ and PM_{2.5} in the air in Chang Chun[J].Environmental monitoring in China,2009,02:19-21+56.
10. 郑锋, 王巧芝, 程丽平. 51 单片机典型应用开发范例大全[M]. 北京: 中国铁道工业出版社, 2011.
Zhen Feng, Wang Qiaozhi, Cheng Liping.The typical application examples of 51 single-chip microcomputer[M] Beijing: China railway industry press,2011
11. 范红刚, 魏学海, 任思璟. 51 单片机自学笔记[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
Fan Honggang, Wei Xuehai, Ren Sijing 51 microcontroller self-study notes [M].Beijing: Beijing university of aeronautics and astronautics press,2010.

基于虚拟仪器的频率特性测试仪*

欧阳俊豪； 白贺群； 吴天峰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 虚拟仪器相对传统频率特性测试仪功能较为齐全。频率特性是利用频率为参考变量表征网络幅值特性和相位特性的一种方法。为了对网络频率特性进行测试, 利用 LabVIEW 平台和 NI 公司 USB-4431 数据采集卡, 设计了一台基于虚拟仪器的频率特性测试仪。采用触发的同步方法使仪器输入信号与输出信号严格保持同步, 采用的相关分析法降低了测量时的噪声。对已知网络频率特性进行测量, 测量结果与安捷伦公司动态信号分析仪 35670a 测量结果吻合。

关键词: 虚拟仪器 频率特性测试 相关分析法

中图分类号: TG156 文献标识码: A

Frequency characteristic tester based on virtual instrument

欧阳俊豪； 白贺群； 吴天峰

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Virtual instrument relative to the traditional frequency characteristic tester price is low, low maintenance cost, technology update cycle is short, the function is more complete. In order to test the frequency characteristic of the network, designed a virtual instrument of frequency characteristic tester by data acquisition card, By using the method of synchronous triggering keep input signal and output signal to maintain strict synchronization, use the method of correlation analysis to reduce the noise in the measurement, After the test, the measuring data of the instrument and the dynamic signal analyzer measurement keep agreement, To measurement known network frequency, measurement results and the dynamic signal analyzer Agilent 35670 a measuring results.

Key words: Virtual instrument Frequency characteristics test The method of correlation analysis

0 前言

频率特性测试仪最开始是以频率点为单位进行测量的, 大多数是由分立元件组成的, 因此仪器体积偏大, 操作起来也比较困难。随着电子信息技术的发展 and 工艺水平的提高, 频率特性测试仪也朝着数字化方向进行改进, 基于单片机最小系统的控制和数据处理, 测量精度明显提高了, 但是仍然存在着许多诸如频带偏窄, 价格昂贵等问题。虚拟仪器技术凭借着它的优势得到了各个领域的青睐, 基于虚拟仪器技术的频率特性测试仪为仪器的智能化开

辟了新道路。测试频率特性的仪器有很多, 与虚拟仪器相比, 传统频率特性测试仪价格昂贵, 维护开销高, 技术更新周期长, 功能单一。利用实验室已有数据采集卡 USB4431 构建虚拟频率特性测试仪, 由于主体在软件, 可使仪器开发与维护费用降至最低, 可复用与可重配置性强。使用虚拟仪器可以很容易的扩充功能^[1~3]。测试动力学部件的频率特性可以为控制系统设计提供较为准确的数学模型, 为实验室仿真与理论研究提供依据。本文所设计的频率特性测试仪由 PC 机 LabVIEW 平台和 NI 公司 USB-4431 数据采集卡两部分组成。设计方案编写频率特性测试仪。自制 RC 低通网络, 用动态信号

* 指导教师: 随阳轶

项目类型: 创新项目

分析对低通网络进行测试，得到测试结果，再用频率特性测试仪对低通网络进行测试，得到测试结果，将两个测试结果比较，对频率特性测试仪进行校正。

1 频率特性测试仪原理

频率特性是利用频率为参考变量表征网络幅值特性和相位特性的一种方法。如果电路系统的结构和元器件具体参数未知的时候，可以把该电路系统看作一个黑箱，用传递函数 $H(s)$ 来表征它的传输特性^[4]。想要得到系统的传递函数 $H(s)$ 不必知道电路系统的结构和元器件具体参数，可以通过零输入和零状态响应来求得。由于使用这种计算方法只需要得到系统的输入信号和输出信号，而输入信号和输出信号都可以通过测量来方便的获取，所以频率特性有着非常实用的应用价值^[5]。在高校的科研和社会工程项目中都有着广泛的应用。频率特性测试仪就是专门用来测试系统频率特性的一种仪器或装置^[6]。

2 频率特性测试仪设计方案

在相位和幅值测量方法中，相关函数分析法对噪声有很强的抑制力，测量精度较高，在实际中应用广泛。故选用相关分析的方法求取被测系统对该频率的响应特性。如图 1 所示：

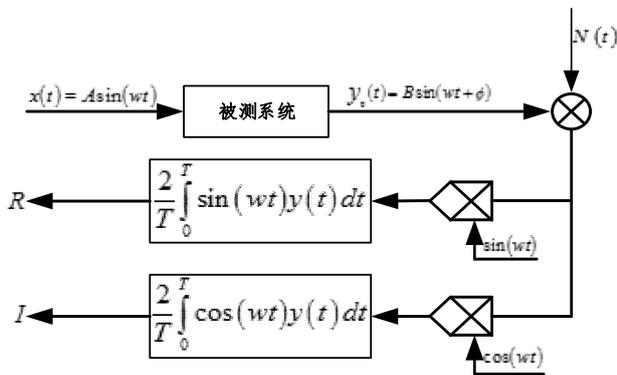


图 1 相关分析法原理图

Fig.1 Frequency domain identification modeling diagram

被测系统的频率特性在获取一系列特定频率点处的幅值相位数据后组合而成。频率特性测试流程示意图如图 2 所示：

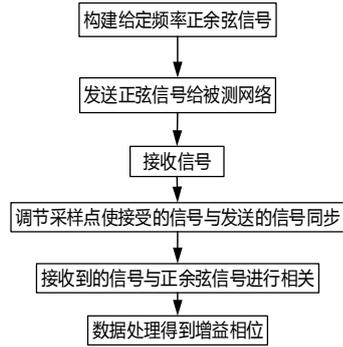


图 2 频率特性测试流程

Fig.2 The software flow

3 软件实现

该频率特性测试仪软件主要分为参数设置模块，输出信号生成模块，输入信号采集模块，数据处理与测量结果显示模块。

3.1 输出信号生成模块

使用 NI MAX，插上采集卡后进入设备与接口，选择 USB4431 创建新电压生产任务。选择连续采样生成模式，采样率使用硬件允许的最高的 96kHz，代写入采样选择 96kHz，以保证系统在生成周期为整数秒的信号时缓冲区的数据是整数个周期。触发类型选择无触发。将生成的电压任务拖入 LabVIEW 软件程序框图中，选择自动生成代码，类型为配置与例子。使用 LabVIEW 自带的函数"Simulate Signal Express VI"产生输出激励信号，替换翻译出来的正弦信号，采样率设置为与任务相同的 96000Hz，缓冲区大小设置为 96000。

3.2 输入信号采集模块

使用 NI MAX 创建新电压采集任务。采集模式选择连续采样，采样率与待读取采样与都为 96k，与生成任务中保持一致。以保证系统能采集到激励数据经网络后的所有样点。触发类型选择输出任务数字沿的开始触发。使采集任务在信号生成任务开始和立刻开始，保证测试仪输入输出信号同步。将生成的电压任务拖入 LabVIEW 软件程序框图中，选择自动生成代码，类型为配置与例子。如图 3 所示

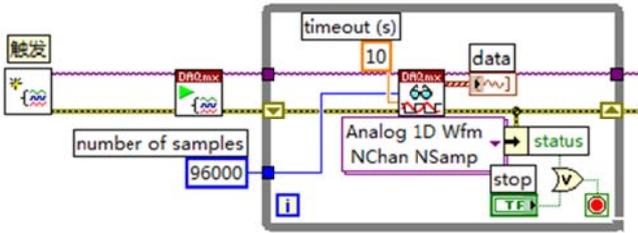


图 3 输入信号采集模块

Fig.3 Input signal acquisition module

将数据处理模块中采集的示波器删除，替换成数字沿的开始触发。使采集任务在信号生成任务开始和立刻开始，保证测试仪输入输出信号同步。使用"Convert from Dynamic Data Express VI"采集的动态信号转化为二维信号。根据选用的测量原理与算法，采用相关分析法，创建一个与生成模块正弦信号同步的余弦信号，采样频率与采样点数与正弦信号相同。经过相关运算后得到幅频特性与相频特性通过指示器显示到前面板中。数据处理如图 4 所示

3.3 数据处理与测量显示模块

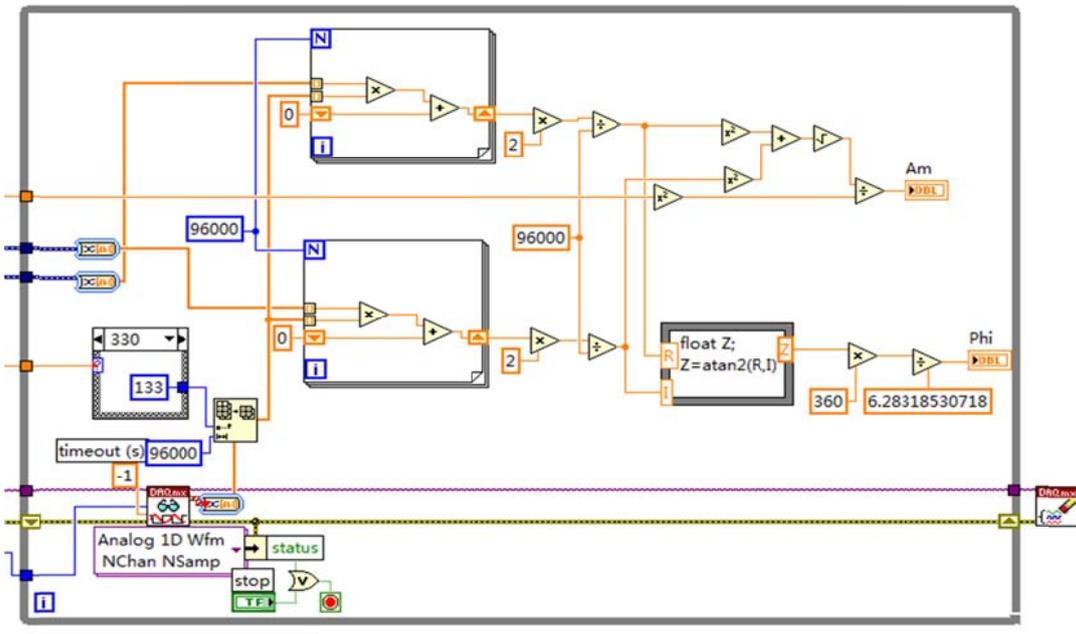


图 4 数据处理模块

Fig.4 The data processing module

4 测试数据对比

用频率特性测试仪分别对 RC(1.2k 4.7uF 网络，RLC(1.2k 7mH 4.7uF)网络进行测试，并将测试结果与安捷伦公司动态信号分析仪 35670a 所测数据进行比较。测试结果如图 8 图 9 所示

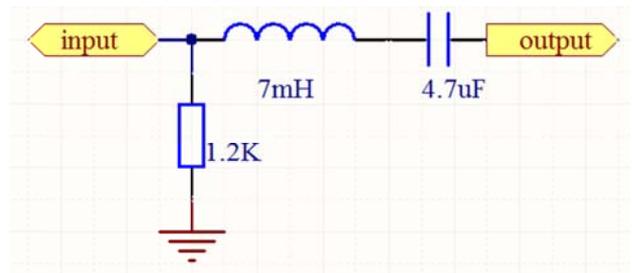


图 6 RLC 网络

Fig.6 RC network

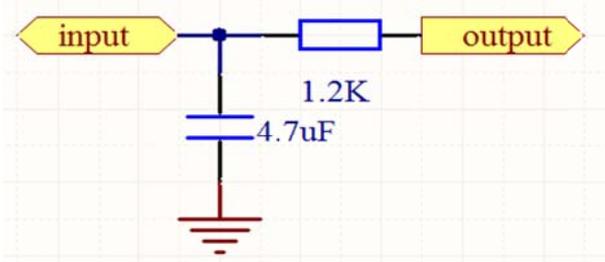


图 6 RC 网络

Fig.6 RC network

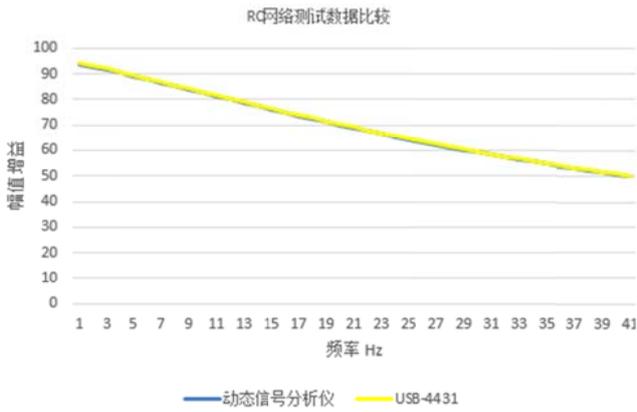


图 8 RC 网络测量数据

Fig.6 Measurement data of RC network

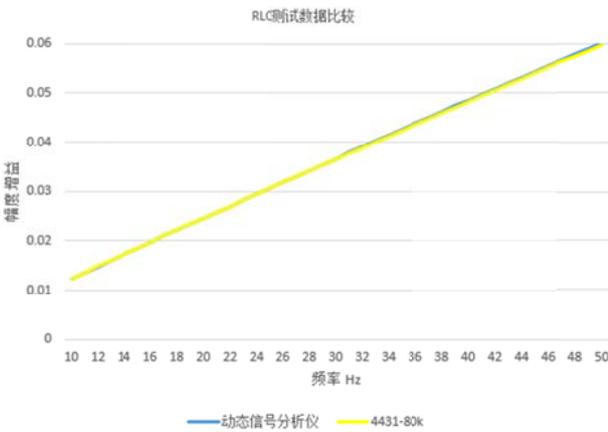


图 9 RLC 网络测量数据

Fig.7 Measurement data of RLC network

5 结束语

使用 USB-4431 数据采集板卡完成基于虚拟仪器的频率特性测试仪的设计。该频率特性测试仪能显示被测网络测试频点的幅频特性和相频特性，测试多个频点以获得网络整体的频率特性曲线。采样率和采样缓冲区大小的设定保证了输出信号的完整性，采用触发的方式保证了激励信号和采集信号的同步。测试结果与标准动态信号分析仪测试结果一致。

参考文献

7. 宗荣芳, 张重雄. 基于虚拟仪器技术频率特性测试仪的设计[J]. 仪表技术与传感器. 2010, 10 (3) :24-26
8. 薛媛元, 蒋东方, 蒋晶. 低频频率特性测试仪虚拟仪器设计[J]. 测控技术. 2009, 12 (1) :11-12
9. 玄兆燕, 常秀辉. 基于虚拟仪器技术频率特性测试仪的

- 设计[J]. 仪表技术与传感器. 2010, 10 (3) :24-26
10. 曹建荣, 姚庆梅, 李艳萍. 基于 LabVIEW 的频率特性测试仪的设计[J]. 仪表技术. 2003, 10 (3) :20-21
11. 朱江乐. 基于虚拟仪器的低频扫频仪研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
12. 叶齐鑫, 侯国屏, 赵伟虚. 虚拟仪器环境下的频率特性测试方法[J]. 电测与仪表, 2005, (6).
13. 范世雄, 范大鹏, 张智勇. 机电装置频率特性的数字化测试方法研究[J]. 动力学与控制学报, 2007, 5(1)
14. 张爱民. 自动控制原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
15. National Instruments 上海分公司. 虚拟仪器—测试与测控仪器的最佳选择[J]. 机电一体化, 2000(2)

数控直流电阻箱*

蒋善庆； 杨成； 陈鑫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 本系统主要由可控电流源模块, 单片机控制模块, 人机界面和电源模块四个功能模块组成。其中可控电流源模块主要由 OP07、IRF540 等搭建而成, 负责产生可调整的电流, 以此来实现电阻的可调; 单片机控制模块以 TI 公司的超低功耗 MSP430F449 单片机为主, 能够实现对电流源的控制、对显示的控制等功能; 电源模块负责向整个电路提供电源; 本系统提供了友好的人机界面, 可通过键盘设定电阻值, 同时由 NOKIA 5110 显示当前设定的电阻值。

关键词: 数控 直流电阻箱 MSP430F449

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

NC DC Resistance Box

Shanqing Jiang, Cheng Yang, Xin Chen

(Jilin university instrument science and engineering institute, changchun, 130021)

Abstract : The system mainly consists of the following four function modules, controlled current source module, single-chip microcomputer control module, man-machine interface and power supply module. Among them, the controlled current source module is mainly composed of OP07, IRF540 and so on, in charge of producing the current that can be adjusted, so as to realize adjustable resistance; Single-chip microcomputer control module is given priority to ultra-low power consumption MSP430F449 single-chip of TI company, which can achieve controlling of the current source, the display, and other functions; Power supply module is responsible for providing power to the entire circuit; This system provides a friendly man-machine interface, in which resistance value can be set by keyboard, at the same time shows the current setting of resistance by the Nokia5110.

Key words: NC DC resistance box MSP430F449

0 前言

传统的电阻箱一般是由多个定值精密电阻组成的, 通过转换装置使电阻箱的阻值改变^[1-2], 目前, 市场上大部分的电阻箱是这种传统电阻箱, 虽然这类电阻箱的阻值的精度很高, 但是, 如果需要大范围的电阻箱, 电阻箱的体积就会随着定值电阻个数的增加而增大, 使用者操作次数增加后就会使得测量的数据误差加大^[3]。

为解决这一问题, 本系统设计一种数控直流电阻箱, 不仅可以实现电阻阻值的设定, 还拥有友好

的人机界面, 减小了测量数据实的误差。

1 系统方案设计

1.1 可控电流源的设计

本系统采用集成运放与场效应管搭建的压控电流源。电路原理如图 1 所示。该电路采用集成运放 OP07、场效应管 IRF540 等器件组成。与采用集成运放与双极结型三极管(BJT)的电流源(如图 2 所示)相比, 场效应管可以作为压控电阻使用, 可以在微电流、低电压条件下工作, 具有功耗低, 热稳定性好, 容易解决散热问题, 工作电源电压范围宽等特

* 指导教师: 周志坚

项目类型: 竞赛项目

点。采用场效应管更易于实现电压线性控制电流。该电路采用电压跟随使得7节点的电压与21节点的电压相等，即 $(V_7 = V_{21})$ ，所以输出电流 $I_{out} = \frac{V_1}{R_{10}}$ 。

采用集成运放与双极结型三极管 (BJT) 的电流源虽然能够提高精确度，但是可提供的电流范围较小，无法完成系统对电流范围的要求，采用集成运放与场效应管搭建的压控电流源的精度虽然没有采用集成运放与双极结型三极管 (BJT) 的电流源的精度高，但是可以满足系统对电流大范围的要求，也可以满足系统对精度的要求，综合考虑选择采用集成运放与场效应管搭建的压控电流源。

1.2 控制系统的设计

本系统选用 TI 公司的超低功耗 MSP430F449 单片机。该芯片具有超低功耗、较强运算能力以及丰富的片上外设等特点。MSP430F449 单片机可以在 1.8V~3.6V 的电压下工作，具有工作模式 (AM) 和 5 种低功耗模式 (LPM)，在低功耗模式下，CPU 可以被中断唤醒，响应时间小于 60ps。其具备 16 位的 RISC 结构、16 个中断源，可以任意嵌套。

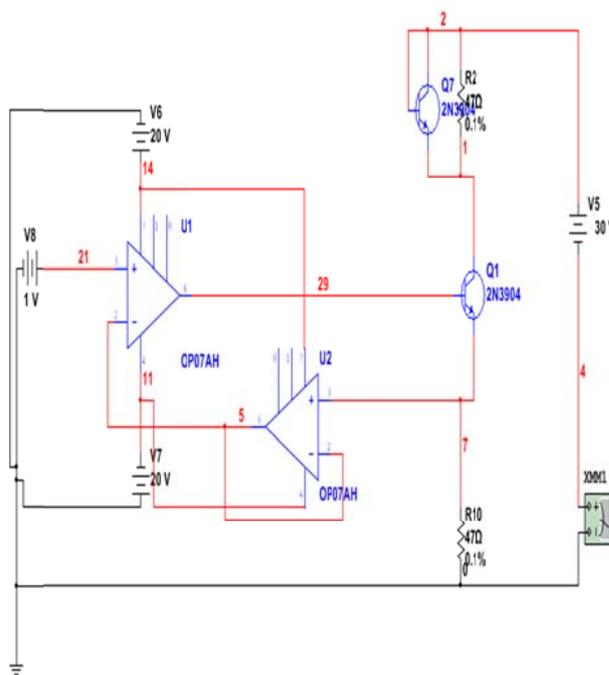


图 2 采用集成运放与双极结型三极管的电流源原理图

Fig.2 The current source schematic diagram of integrated operational amplifier and a bipolar junction transistor

1.3 人机界面的设计

显示部分选用 Nokia5110。Nokia5110 是一款经典机型，可能由于经典的缘故，旧机器很多，所以很多电子工程师就把旧机器的屏幕拆下来，自己驱动 Nokia5110，用于开发的设备显示，取代 LCD1602。使用 Nokia5110 液晶的四大理由：
 1) 性价比高，LCD1602 可以显示 32 个字符，而 Nokia5110 可以显示 15 个汉字，30 个字符。Nokia 5110 裸屏仅 8.8 元，LCD1602 一般 15 元左右，LCD12864 一般 50~70 元。
 2) 接口简单，仅四根 I/O 线即可驱动，LCD1602 需 11 根 I/O 线，LCD12864 需 12 根。
 3) 速度快，是 LCD12864 的 20 倍，是 LCD1602 的 40 倍。
 4) Nokia5110 工作电压 3.3V，正常显示时工作电流 200uA 以下，具有掉电模式，适合电池供电的便携式移动设备。

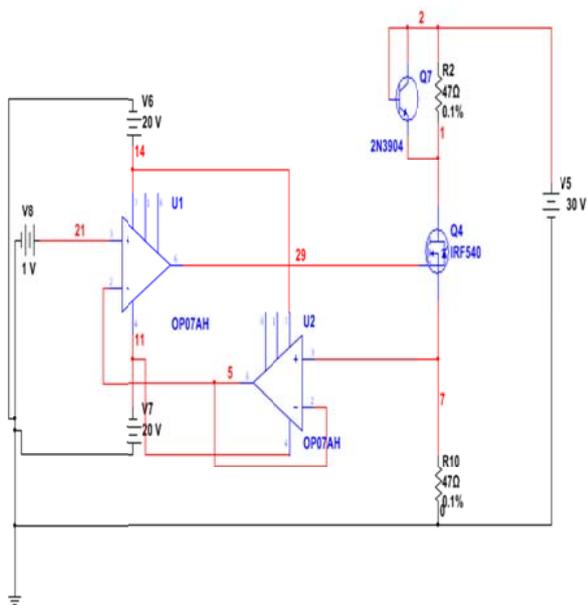


图 1 采用集成运放与场效应管搭建的压控电流源原理图

Fig 1. The integrated operational amplifier and a field effect tube structures of the voltage controlled current source principle diagram

2、系统理论分析与计算

2.1 可控电流源的分析计算

如图 3 所示，在电路中，节点输入电压 (V_{21}) 与节点 5 的电压 (V_5) 相等，即 $(V_{21} = V_5)$ 。因为 U_2 为电压跟随，则 $V_5 = V_7$ ，所以 $V_{21} = V_7$ 。因为有 Q4 场效应管 IRF540 在电路中，所以场效应管 IRF540 的栅极电压 V_g 与源极电压 V_s 相等即

($V_g = V_s$)。双极结型三极管 (BJT) 2N3904 在电路中起到补偿的作用, 可以提高电路中电流的精度。电路输出电流 I_{out} 等于节点 7 的电压除以电阻 R_{10} , 即 ($I_{out} = \frac{V_7}{R_{10}}$)

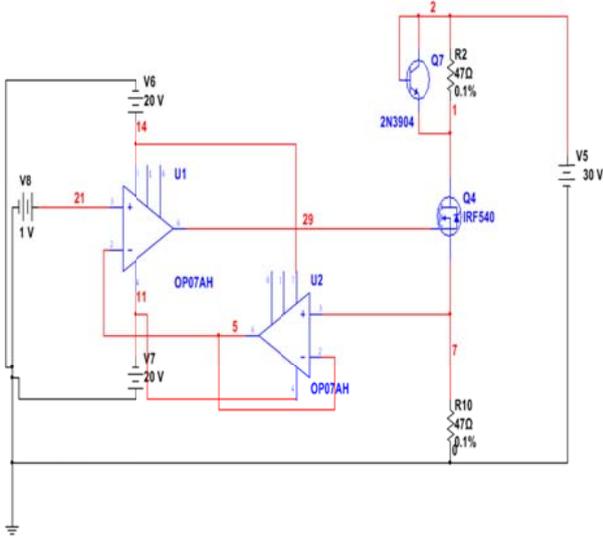


图 3 可控电流源原理图

Figure 3 controlled current source schematic diagram

2.2 DA 的分析计算

该系统采用的 DA 芯片是 DAC904E。DAC904E 是 14 位, 165MSPS 的数字-模拟转换器, 由于该系统的高精度要求, 精度要达到 0.01%。由公式 (1)

$$C = \frac{U_0}{2^B - 1} \quad (1)$$

C 为 DA 可达到的精度, U_0 为参考电压, B 为 DA 的位数。

已知系统要求的精度 0.01%, 参考电压的范围 (0V~15V), 把数值代入公式 (1), 可得式 (2),

$$0.01\% = \frac{15}{2^B - 1} \quad (2)$$

解式 (2), 可得 $B = 18$, 由于实验条件无法得到 18 位与 16 位的 DA, 所以本系统采用 14 位的 DA, 也可以完成实验要求。

DAC904 有一个片上参考电路, 包括一个 1.24V 带隙基准和控制放大器。接地 16 号引脚, INT/EXT, 使能内部参考电路。DAC904 的满量程输出电流 I_{OUTFS} 取决于参考电压 V_{REF} , 电阻值 R_{SET} 。即公式 (3)

$$I_{OUTFS} = 32 \cdot I_{REF} = 32 \cdot \frac{V_{REF}}{R_{SET}} \quad (3)$$

参考控制放大器作为电压电流转换器提供基准电流, I_{REF} , I_{REF} 等于 V_{REF} 和 R_{SET} 的比值。满

量程输出电流 I_{OUTFS} 等于 I_{REF} 乘以固定因子 32。将 $V_{REF} = 1.25V$, $R_{SET} = 2KW$ 公式 (3), 解得式 (4)

$$I_{OUTFS} = 32 \cdot \frac{1.25V}{2KW} = 20mA \quad (4)$$

DA 控制字 D 与该系统电阻箱电阻 R 的关系, 如式 (5)

$$\frac{D}{2^{14}} = \left(\frac{30 \cdot 47}{3 \cdot 250 \cdot R} \right) / (20 \cdot 10^{-3}) \quad (5)$$

式 (5) 中, 30V 是本系统的外加电压, 47Ω 为电流源的取样电阻阻值, 250Ω 为电路外接电阻, R 为电阻箱的阻值, 20mA 是 DA 满量程输出电流。

DA 控制字的误差分析:

由于 DA 位数的限制, 控制字存在小数, 这时需要四舍五入, 所以会造成结果误差。为解决这一问题, 采用 PWM 技术, 将 DA 调制成 300HZ 的 PWM 波, 而占空比就是小数的后两位。

由式 (6)

$$U = \frac{U_{out}}{2^{14} - 1} D \quad (6)$$

U_{out} 为 DA 输出电压, D 为控制字。

$$\text{令 } \frac{U_{out}}{2^{14} - 1} = K \quad (7) \quad U = KD \quad (8)$$

$$\text{得 } U = KD + K \tau \quad (9)$$

PWM 波形如图 4 所示

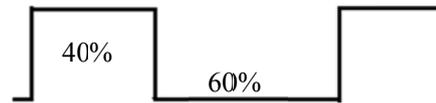


图 4 PWM 波形

Fig.4 PWM waveform

$$U = KD + K \tau \quad (10)$$

$$\text{整理得 } U = K(D + \tau) \quad (11)$$

由上式推到可得, 利用 PWM 技术可以解决四舍五入引入的误差。

3、电路与程序设计

3.1 电路的设计

3.1.1 系统总体框图

本系统由 TI 公司的超低功耗 MSP430F449 单片机为主的控制中心、集成运放与场效应管搭建的压控电流源、4*4 键盘组成的输入以及 NOIKIA 5110 的显示屏组成。系统总体框图如图 5 所示。

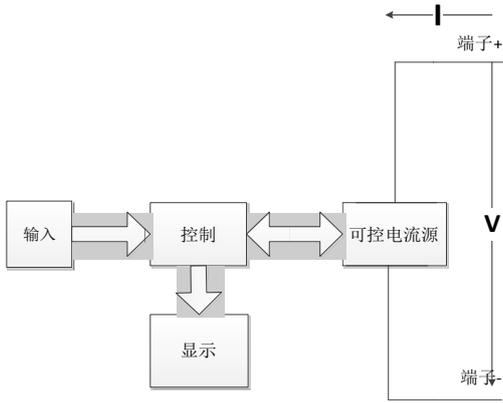


图 5 系统总体框图

Fig. 5 system overall block diagram

3.1.2 控制部分

本系统采用 MSP430，低供电电压范围：

1.8V~3.6V。

超低功耗：1、活动模式：1MHz，2.2V 时为 280 μ A。2、等待模式：16 μ A。3、关闭模式（RAM 保持）：0.1 μ A。该单片机有五种省电模式，6 μ s 内从等待状态唤醒；具有内部参考电平、采样保持和自动扫描特性的 12 位 A/D 转换器；带有三个或七个捕捉/比较影子寄存器的 16 位定时器 B；带有三个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 A；片内集成比较器。该系统的控制系统 MSP430F449 的最小系统如图 6 所示。

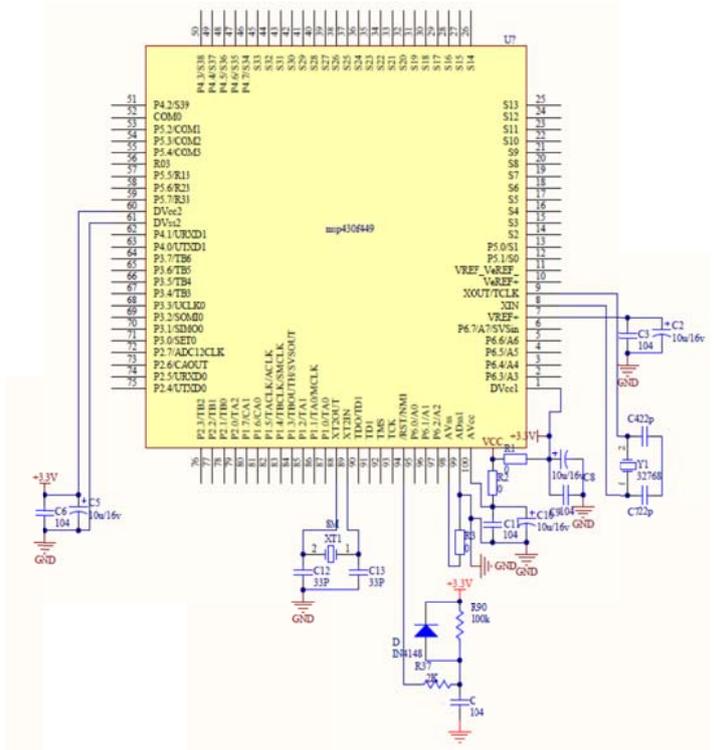


图 6 控制系统 MSP430F449 的最小系统原理图

Fig. 6 control system MSP430F449 minimum system schematic diagram

3.1.3 DA 部分

由于系统中的 DA 芯片采用的是贴片式的 DAC904E，电路中设计的是直插式，所以运用了转接板。电路原理图如图 7 所示。

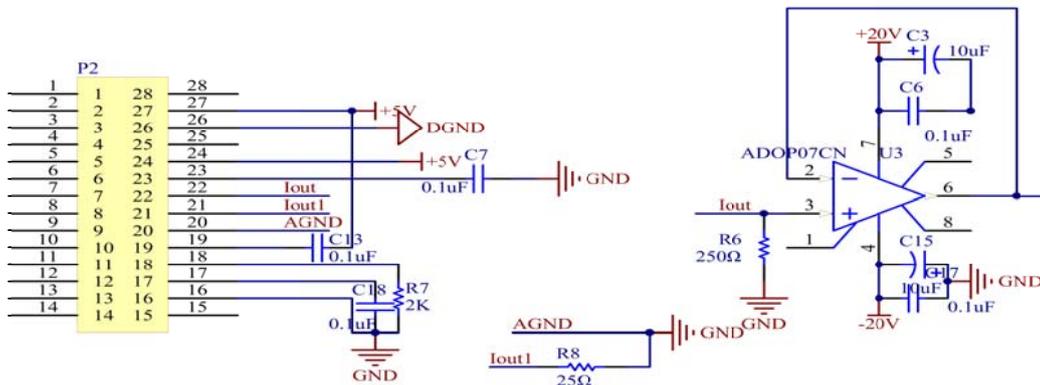


图 7 DA 硬件电路原理图

Fig. 7 The circuit principle diagram

3.1.5 数据处理部分

数据处理子系统中，根据 DA 与系统的要求，需要三倍放大，滤波采用了切比雪夫-I 型三阶滤波电路。切比雪夫滤波器在过渡带比巴特沃斯滤波器的衰减快，虽然频率响应的幅频特性不如后者平坦，但是切比雪夫滤波器和理想滤波器的频率响应曲线之间的误差最小，但是在通频带内存在幅度波动。

我们想要快速衰减而允许通频带存在少许幅度波动，所以用第一类切比雪夫滤波器。

如图 8 所示，I 类切比雪夫滤波器原理图：

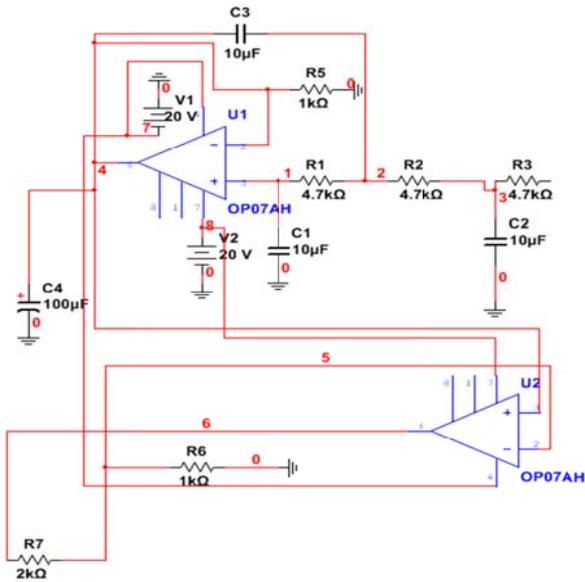


图 8 I 类切比雪夫滤波器原理图

Fig.8 I Chebyshev filter

3.2 程序功能描述与设计思路

3.2.1 程序功能描述与设计思路

1、程序功能描述

根据题目要求软件部分主要实现键盘的设置和显示。

1) 键盘实现功能：设置电阻值。

2) 显示部分：显示电阻值。

3.2.2 程序流程图

1、主程序流程图

如图 9 所示，为主程序流程图。

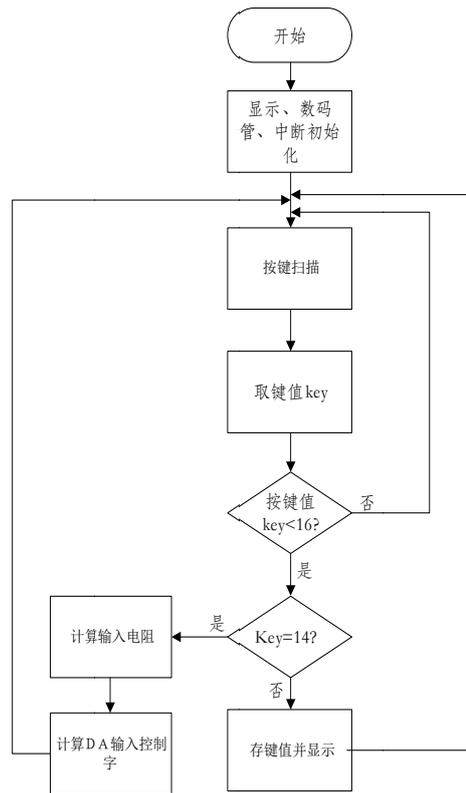


图 9 主程序流程图

Fig.9 the main program flow chart.

2、中断程序流程图

如图 10 所示，下图为中断流程图。

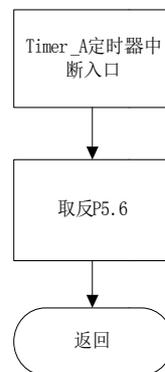


图 10 中断子程序

Fig. 11 interrupt subroutine

4、测试方案与测试结果

4.1 测试环境

温度：(20-0.5) °C；湿度：40%~70%。

4.2 测试仪器

5 位半的万用表，型号 8842A

4.3 被测对象

数控直流电阻箱，测量范围 (10 Ω ~ 1M Ω)，精度 0.1%。

4.4 测量过程

把数控直流电阻箱与电压表连接好，依次测出并记录数据，按公式(12)，公式(13)计算电阻值。

$$\frac{U_o}{R_Q} = \frac{U_x}{R_c} \quad (12) \quad \frac{R_Q * U_c}{U_x} = R_Q \quad (13)$$

U_o 为设定电压值， U_x 为显示的电压值， R_Q 为电阻箱电阻值， R_c 为采样电阻。

4.5 测试结果及结果分析

测试结果如表 1 所示。

测试结果整理表格 1

Test results are shown in table 1.

	1	2	3	4	5
设定值 (Ω)	100	500	10000	20000	30000
测量值 (Ω)	100.98	500.45	10006.67	20013.34	29940.12
	6	7	8	9	10
设定值 (Ω)	40000	50000	70000	80000	90000
测量值 (Ω)	40210.7	49965.94	69787.24	80424.42	88886.78
	11	12	13		
设定值 (Ω)	100000	500000	1000000		
测量值 (Ω)	100526.76	496712.63	938260.33		

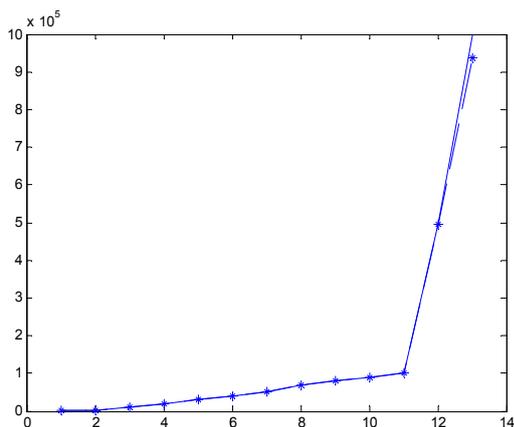


图 12 实测电阻值和设定电阻值的关系曲线

Fig. 12 the measured resistance value and set the resistance curve

实测电阻值和设定电阻值的关系曲线如图 12 所图 12 中实线为设定值，星线为实测值。

5. 结论

由测试结果即实测电阻值和设定电阻值的关系曲线可知，该系统可通过键盘进行电阻阻值范围为 $100\Omega \sim 1M\Omega$ 的设定，且电阻精度可达到 0.1%，电阻功率不小于 1W。

参考文献

1. 易灵芝. 王根平. 彭韩梅. 数字化有源电阻箱的设计[J]. 计量与测试技术, 2004(7):9-11
Yi Lingzhi. Wang Genping. Peng Hanmei. The Design of Digital Resistance Box with Power Source[J]. Metrology and Measurement Technique, 2004(7):9-11
2. 何献华. 罗雪丰. 数字化有源电阻箱的设计[J]. 周末文

汇学术导刊, 2006(1):10-13

He Xianhua.Luo Xuefeng.The Design of Digital Resistance
Box with Power Source[J].Weekend Digest Composition
Guide,2006(1):10-13

3. 吴海明. 一种语音电阻箱 [J].IT 时代周刊,
2014(300):23-25

Wu Haiming.The design of voice resistance box[J].IT
Time,2014(300):23-25

地磁场模型可视化研究*

李诗琪；蒋善庆；韩哲鑫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要： IGRF 即全球地磁参考模型，是关于地磁场及其年变率的数学模型。以 IGRF 模型为基础，以 Geomag7.0 为工具，以 Google 公司虚拟三维地球软件 Google Earth 为载体，进行了长春地区地磁场模型网络可视化研究。利用 Geomag7.0 生成一系列的地磁要素,再由此生成 KML 文件。通过打开这些文件就可以在 Google Earth 上查看到区域地磁场分量的可视化结果。

关键词： IGRF Geomag7.0 Google Earth 可视化

中图分类号： P318 **文献标识码：** A

Research on visualization of magnetic field model

LI Shi-qi; JIANG Shan-qing; HAN Zhe-xin

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130026)

Abstract: IGRF, the global geomagnetic reference model, is a mathematical model which is described the geomagnetic field and its annual variation rate. Based on the IGRF model, using Geomag7.0 as a tool and Google Earth, which is a Virtual Earth 3D software as carrier, had a research on visualization models of the geomagnetic field in Changchun. Using Geomag7.0 to generate a series of geomagnetic elements datas. Creating KML files of Changchun based on these datas. Then open these files can check the visualization results of regional geomagnetic field components in Google Earth, visually.

Key words: IGRF Geomag7.0 Google Earth Visualization

0 前言

地磁场是人类生存不可缺少的重要的地球物理场之一，它伴随着地球的形成和演变过程，具有复杂的空间结构和时间演化，同时作为地球的一道屏障，可以防止来自太空的射线到达地面，从而保护了地球上的生命,对我们来说至关重要。而地磁场又是在不断变化的，所以研究地磁场尤为重要。

地磁场模型的研究与计算是地磁学的重要研究内容之一，也是传统的定位定向参照系统，在地球科学、地球物理探测科学等领域都有着广泛

的应用，对国防、军事、经济有着深远的影响，也对地磁场的时空分布提出了更高的精度要求。随着计算机技术的飞速进步，对 IGRF 模型的研究与信息技术结合是今后发展的必然趋势。

1 试验方法与探索

1.1 模型的简介

国际地磁参考场是一系列关于地球主磁场及其年变率(长期变化)的数学模型。在近地空间的无源区，起源于地球内部的主磁场可以表示成标量磁位 V 的负梯度，这里 V 可以展开成如下球谐函

* 指导教师：程德福

项目类型：创新项目

数的形式:

$$V(\gamma, \theta, \lambda, t) = R \sum_{n=1}^{\max} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n [g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda] p_n^m \theta$$

其中 r , θ , λ 表示计算点的空间位置, r 为其至参考球球心的径向距离, λ 为从格林威算起的东经度,

θ 为地心余纬度(90° 减去纬度), $g_n^m(t)$, $h_n^m(t)$ 为

球谐系数。利用均匀分布全球的足够多的测点值, 用解方程组的方法求取。 n 和 m 分别是球谐函数的

阶和次, $p_n^m(\cos \theta)$ 是 n 阶 m 次施密特准归一化缩合勒让德函数。

采用的 Geomag7.0 为 Stefan Maus 根据 IAGA 公布的 2010 年球谐系数编写的程序, 利用 DOS 的“cd”命令, 转到 geomag7.0.exe 所在的目录下, 运用命令行方式, 初始化经度、纬度、高程等相关计算参数。

1. 2 可视化应用研究

可视化是计算机图形学的重要研究领域和新的发展方向。一般认为, 可视化是运用图形学的原理和方法通过计算机, 将数据转换成图形或图像在屏幕上显示出来, 并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及到计算机图形学、图像处理、计算机视觉、计算机辅助设计等多个领域, 成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术, 以更符合人们认知和更直观的形式显示出来。

对地磁场进行可视化应用研究, 以长春地区为例, 需要用虚拟三维地球模型作为载体, 如果自己建立此类模型, 不但需要较好的硬件条件, 花费大量的时间和精力, 效果也未必如商业公司推出的成熟软件。因此, 我们对比了目前比较有代表性的几款免费三维地理信息浏览器, 最终选择了 Google 公司推出的虚拟三维地球软件 Google Earth。

为了方便直观的得到地球磁场的直观图像, 借助 Google Earth 这个强大的虚拟地球仪软件。将存在于数据库 Geomag7.0 中产生的地磁数据进行分析, 生成的地磁分量值借助 Google Earth, 运用 KML 语言, 将地磁数据、地磁图显示在地球上, 很容易看到长春地区的详细地磁信息。同时运用 KML 语言生成丰富的图像标识, 直观地显示在 Google Earth 上, 能够更方便地享受到地磁场模型的网络可视化。

2 结果与讨论

利用上述 IGRF 地磁参考模型, Geomag7.0 和 Google Earth 软件生成的长春地区地磁场等值线空间图见图 2.1-图 2.3:

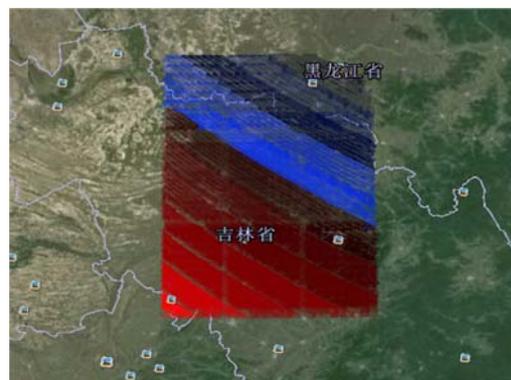


图 2.1 长春地区磁偏角 D

Figure 2.1 Magnetic declination D in Changchun area

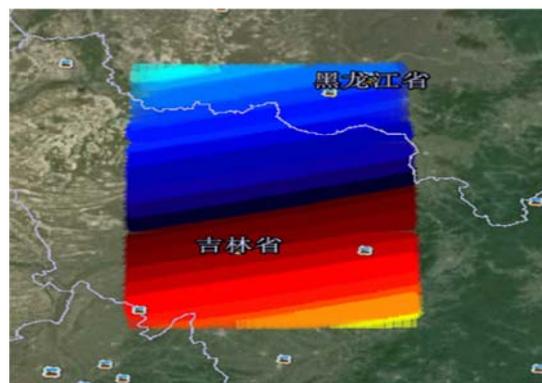


图 2.2 长春地区磁倾角 I

Figure 2.2 Magnetic inclination I in Changchun area

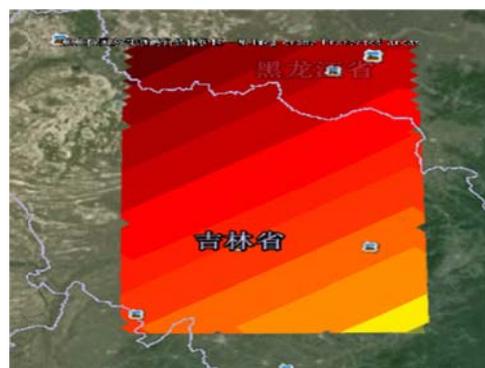


图 2.3 长春地区总磁场强度 F

Figure 2.3 Magnetic field intensity F in Changchun area

长春地区地磁场等值线平面图如下图 2.4-2.6:

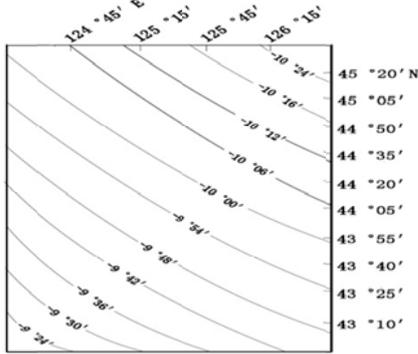


图 2.4 长春地区磁偏角 D

Figure 2.4 Magnetic declination D in Changchun area

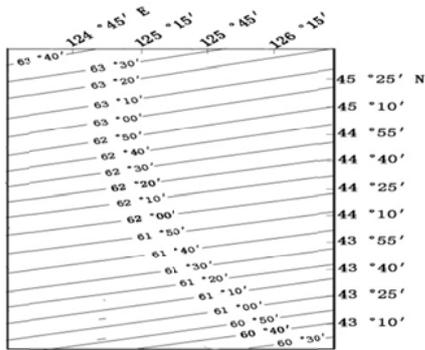


图 2.5 长春地区磁倾角 I

Figure 2.5 Magnetic inclination I in Changchun area

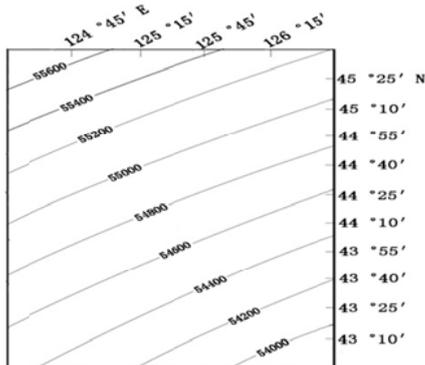


图 2.6 长春地区总磁场强度 F

Figure 2.6 Magnetic field intensity F in Changchun area

以上图中显示的分别是长春地区磁偏角 D, 磁倾角 I 以及总磁场强度 F 等分量的模拟结果, 根据长春地区所在的经纬度, 在纬度 ($43^{\circ}10'$ - $45^{\circ}20'$) 内以 $15'$ 为单位值进行等值线图的绘制, 经度 ($124^{\circ}45'$ - $126^{\circ}15'$) 内以 $30'$ 为单位值进行等

值线图的绘制, 从图中可以看出长春地区的总磁场强度变化幅度为 1600nT 左右, 地磁偏角 D 的变化范围在 $9^{\circ}24'$ - $10^{\circ}24'$, 地磁倾角 I 的变化范围在 $60^{\circ}30'$ - $63^{\circ}40'$, 并可以清晰的看到地磁分量的变化结果。

3 结论

综上所述, 将 IGRF 模型, Geomag7.0 与 Google Earth 结合起来, 取得了可视化应用的初步成果, 可以快速的获取清晰的等值线图, 从图中可以看到在一定的经纬度范围内地磁分量值成等值递增变化, 依据地磁分量等值线图也能够直观的了解区域地磁场的分布情况。

参考文献

1. 肖胜红,边少锋,黄晓颖. 地磁场模型计算软件的可视化设计与实现[J].测绘信息与工程,2009,(05):18-19.
2. 白春华,徐文耀,康国发. 地球主磁场模型[J].地球物理学进展,2008,(04):1045-1057.
3. 王亶文. IGRF 在地磁研究中的应用[J].地球物理学进展,2005,(02):558-561.
4. 王丹,彭丰林,马麦宁.IGRF 国际地磁参考场模型可视化研究[J].地震地磁观测与研究,2009,(04):7-11.
5. 安振昌.区域和全球地磁场模型[J].地球物理学进展,1995,(03):63-71.

基于物联网技术与GSM网络的教学辅助系统设计*

王旭, 许泽涛, 张承昊

(吉林大学 仪器科学与工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了减少在教学中因学生管理, 教学设备管理而产生的人力物力以及教学时间的损失, 基于物联网技术与 GSM 网络设计了高效, 智能, 方便的教学辅助系统。系统采用射频技术与以 cc2530 为核心的 Zigbee 无线通信模块构建的无线通信网络, 将老师、学生与教学设备纳入同一网络之中, 实现互联, 方便集中管理, 大大减少了资源和时间上的浪费。并结合 GSM 网络实现以手机短信的方式远程获取学生与设备信息, 使学生和教学设备的管理更加高效, 便利。

关键词: 射频技术、cc2530、无线通信网络、GSM 网络

中图分类号: TG156

文献标识码: A

The Design of the auxiliary teaching system Based on the IOT and GSM

Wang xu, Xu zetao, Zhang chenghao

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to reduce the waste of manpower, material resources and time produced by student management and teaching equipment management, we design an efficient, intelligent, convenient auxiliary teaching system based on IOT and GSM. The system adopts RF and uses cc2530 as the core of the Zigbee wireless communication module to construct wireless communications networks. Teachers, students and teaching equipment on the same network realize the interconnection, convenient centralized management, greatly reduces the waste of resources and time. The system also use GSM to realize remote access to student and equipment information in the form of text messaging on mobile phones, so that the students and teaching equipment management will be more efficient, convenient.

Keywords: RF cc2530 Zigbee wireless communications networks GSM

0 前言

随着科技的发展, 教学的模式也发生了巨大变化, 特别是在广大高校, 多媒体的广泛使用, 实验教学的增多使教学变得更现代化, 更多元化。但往往学生与教学设备的数量较大, 使管理变得十分困难。

上课时, 老师需要进行点名以保证出勤率, 但由于学生多, 点名占用了大量的教学时间, 使老师陷入保证教学质量和维持出勤率的两难境地。为了

培养学生的动手能力, 各高校都安排了大量的实验课程, 因此也带来了实验教学设备流通、管理的麻烦。设备的基本信息、好坏情况信息的记录保存问题; 学生实验或做项目时需要暂借实验设备的相关信息记录保存问题; 由于不同学科的实验室设备新旧好坏情况不一, 造成的实验设备分配不均问题, 这些问题都需要一个高效、智能的解决方法。因此采用RF与ZigBee相结合, 并配合GSM与上位机管理界面、数据库设计了一个管理系统, 达到辅助老师与学生充分利用教学时间与教学实验设备的目的。

* 指导教师: 刘杰

项目类型: 创新项目

1 系统总体设计方案

系统分为上位机软件与下位机控制、通信两大部分。上位机软件部分包括学生、设备管理界面以及学生、设备数据库，下位机则主要包括GSM远程通信、ZigBee无线网络、射频三部分。系统整体设计框图如图1所示。

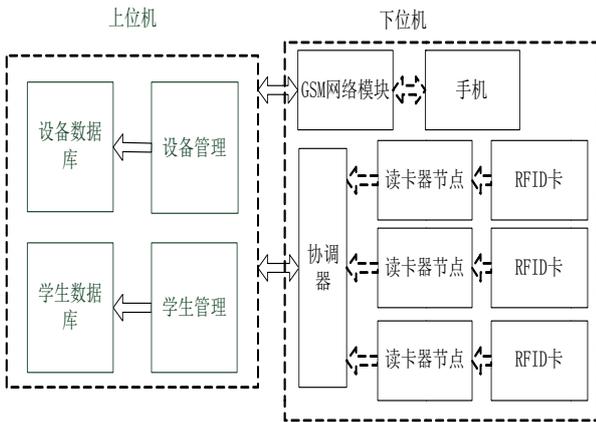


图1 系统整体设计框图

Fig.1 The design diagram of the system

系统根据不同的教学情况提供不同的辅助教学方案。针对学生众多的理论课堂，考勤费时费力是突出问题，为解决此问题，在教室门口安装读卡器节点，持有射频卡的学生，课前进入教室时刷卡考勤，考勤信息无线传输到教室配备的多媒体电脑或老师自带的笔记本电脑，并在软件界面上显示考勤学生信息，并将此信息同步到本课程的学生考勤数据库中。当遇到需要换教室时，由于换到的教室没有本课程的学生数据库，所以软件设计了导出每次考勤的Excel表的功能，以防意外情况。当老师发现有学生多次缺课时，可查找学生的联系方式，通过GSM模块发送警告或上课提示。

平时实验教学的考勤问题可沿用上述方案，而针对实验设备的管理问题则采用“图书馆模式”，即学生通过实验室的管理电脑查找想要借走的实验设备，通过刷自己的射频卡与实验设备的射频卡快速完成借走设备的记录，还回设备时也通过刷卡快速消除借走设备的记录。通过这种模式不仅使借还设备更省时省力，也使一个人就可管理多个实验室的实验设备，甚至配合门禁实现无人看管，“自助”借还设备。

2 硬件设计

2.1 ZigBee模块设计

CC2530F256 结合了德州仪器的业界领先的黄金单元 ZigBee 协议栈 (Z-Stack)，优良的 RF 收发器的性能，标准的增强型 8051 CPU，所以采用 CC2530F256 为核心构建无线通信模块。系统使用模块作为协调器和各节点信息采集、控制核心。CC2530 外围电路设计如图 2 所示。

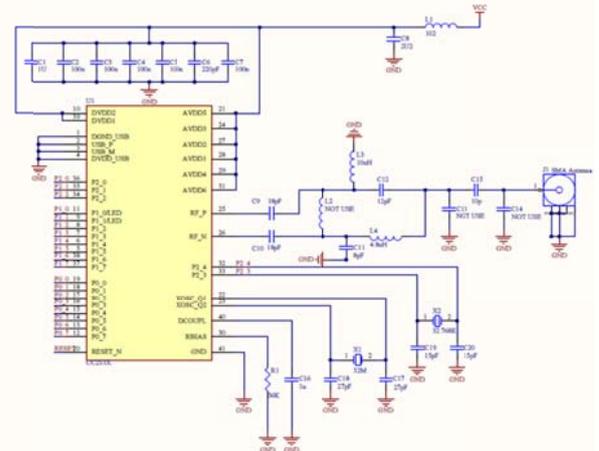


图 2 CC2530 外围电路

Fig.2 The circuit of CC2530 peripheral

其中 RF_P 与 RF_N 搭载 2.4G 全向天线，可靠传输距离达 250 米，自动重连距离高达 110 米，足以满足系统要求。又由于 CC2530 低功耗的特点，所以各节点可以使用电池供电，使整套系统灵活性更强，能在不同环境下，根据不同情况而搭建。

2.2 射频读卡器设计

RC522 是应用于 13.56MHz 非接触式通信中高集成度的读写芯片，具有低电压、低成本、体积小的优点，所以系统采用 RC522 作为读卡器的核心。读卡器电路如图 3 所示。

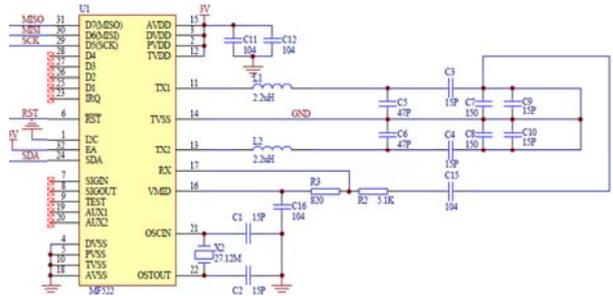


图 3 读卡器电路

Fig.3 The circuit of card reader

TX1 与 TX2 外部电路即为读卡器天线，当射频卡靠近时，RC522 即获得卡内信息，通过 MISO 引脚以 SPI 的通信方式传输到 CC2530，将信息无线传输到协调器，最终到达上位机进行处理。

3 软件设计

3.1 读卡程序设计

读卡器首先调用寻卡函数，寻找在天线范围内的射频卡，当寻到射频卡后需调用防碰撞子函数，防止多卡同时进入天线范围内产生冲突，然后选定一张卡片进行密码验证，验证通过则读卡，没通过则继续寻卡。读卡程序流程图如图 4 所示。

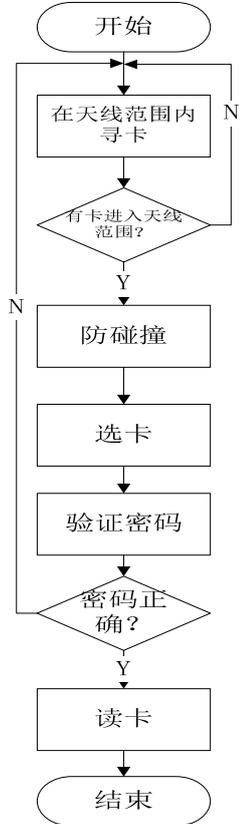


图 4 读卡程序流程图

Fig.4 Program flow chart of card reading

3.2 ZigBee无线通信程序设计

3.2.1 读卡器节点程序设计

读卡器节点能自动寻找、加入网络并发出绑定请求,如果协调器节点绑定响应,绑定成功。如果没有发现协调器节点,将周期性地继续搜索。绑定成功后,当读卡器读得射频卡数据,便会向协调器发送数据,如果没有收到协调器的应答,读卡器节点便移除本次绑定。读卡器节点程序流程图如图 5 所示。

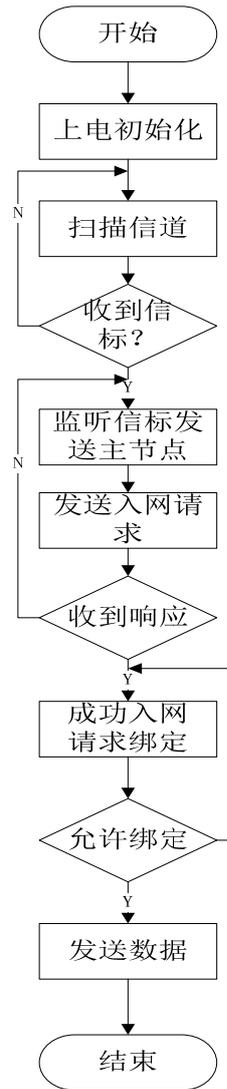


图 5 读卡器节点程序流程图

Fig.5 Program flow chart of card reading node

3.2.2 协调器程序设计

协调器上电后会建立网络,成功后会自动进入允许绑定模式,对读卡器节点发送的绑定请求作出响应。如果绑定成功,则接收节点发送的数据。并通过串口将数据上传到上位机去处理。协调器程序流程图如图 6 所示。

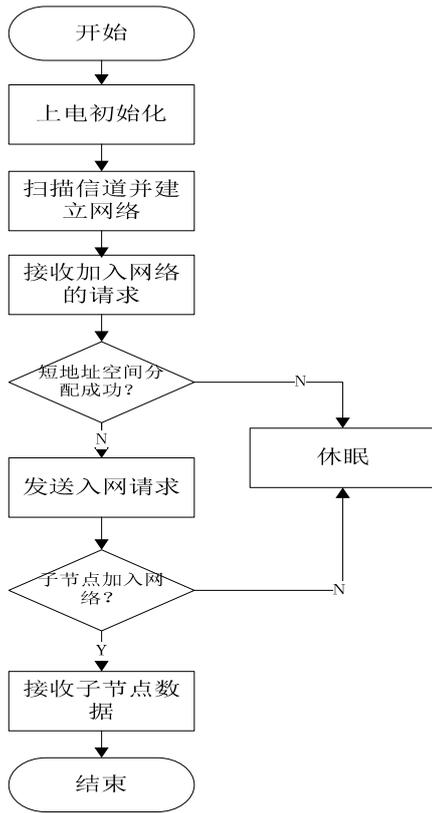


图 6 协调器程序流程图

Fig.6 Program flow chart of FFD

3.3 上位机软件设计

上位机软件程序采用VB编写，设计一个简单、便捷的操作界面和信息显示窗口，同时可应用VB的外接程序功能建立Access数据库，并应用DATA控件将下位机传来的信息以及操作界面输入的信息同步到数据库中。

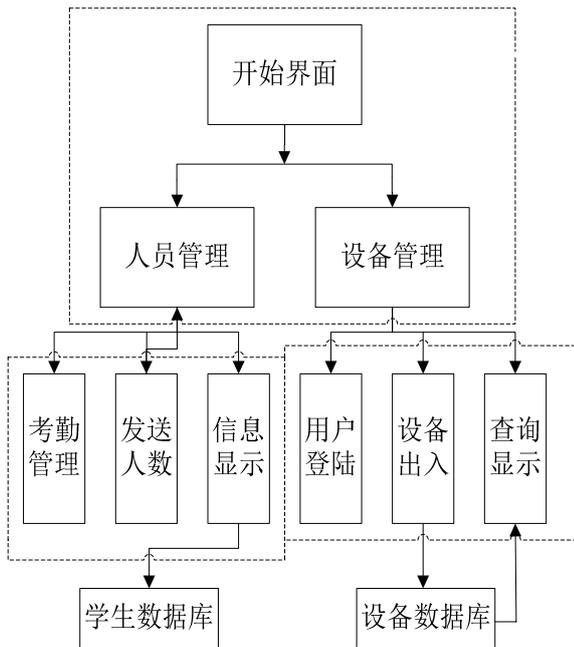


图 7 上位机软件流程图

Fig.7 Program flow chart of upper computer

4 系统测试结果

测试系统时采用分步测试的方法，从头至尾逐步进行测试，经过解决发生的问题，最终达到了如表 7 的测试结果。

表 8 各部分测试结果

Table8 The test results of every part

测试内容	读卡器 读卡	ZigBee 通信	上位机 界面	上位机 数据库
测试结果	读卡成功	通信成功	运行正常	数据存储正常

确保系统各部分工作正常后，测试整个系统，在读卡器节点端刷学生或设备所配备的射频卡，上位机界面上准确的显示了学生信息或设备信息，数据库成功同步，实现所设计的系统功能。

5 结论

系统分别根据理论教学和实验教学中存在的问题，提供了不同的解决方案。系统应用了射频技术、ZigBee 技术，结合上位机软件，构成了针对学生和实验设备的物联网，实现学生、实验设备集中、高效的管理，减少了人力物力以及时间的浪费。但系统运行在线下，有一定的局限性，如可以在互联网上建立专有的管理网站或在学校内网建立管理系统，则可以大大增加系统的应用范围和实用性。

参考文献

1. 康华光, 陈大钦, 张林. 电子技术基础模拟部分[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
2. 何桥,段清明,邱春玲. 单片机原理与应用[M]. 北京:中国铁道出版社, 2007:169-187.
3. 姜仲,刘丹. ZigBee 技术与实训教程[M]. 北京:清华大学出版社,2014:296-316.
4. 黄俊祥. 基于 MFRC522 的 RFID 读卡器模块设计[D].微型机与应用,2010:19.
5. 李乃玮. 非接触 IC 卡读写模块 MFRC522 的工作原理及应用[J].电子器件,2003,26(2):160~162.

6. 叶卫,胡俊达. 基于 TC35i GSM 短消息收发系统设计 [J]. 测试测量技术, 2008(6):27 - 29.
7. 李俊斌,胡永忠. 基于 CC2530 的 ZigBee 通信网络的应用设计 [J]. 电子设计工程, 2011,19(16): 108 - 111.
8. 邓昀,程小辉. 面向物联网的智能家居系统设计[J].桂林理工大学学报,2012,32(2):259-264.

基于奇异值分解的瞬变电磁数据反演方法研究*

王鹏翔；王硕；王帅

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130022)

摘要：探讨了奇异值分解对地面瞬变电磁数据处理的可行性。旨在验证奇异值分解法处理地面瞬变电磁数据的可行性并加以改善，解决常规瞬变电磁反演速度慢，反演算法易发散等问题，实现野外实验数据的实时解释。简单介绍了通过高斯积分法进行的正演计算。通过定回线源晚期视电阻率代替响应电压进行计算的方法避免了过大范围的电压响应导致的雅克比矩阵的疏松。分析了奇异值分解法在处理数据时容易出现的缺陷提出了改进办法。最后，用模拟数据测试了该方法的可行性。

关键词：瞬变电磁；反演软件；奇异值分解

Study on inversion of ground transient electromagnetic data base on singular value decomposition

Wang pengxiang; Wang shuo; Wang shuai

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China 2.)

Abstract: To discuss the feasibility of the ground transient electromagnetic data processing with the singular value decomposition. We mean to verify and improve it to solve the problem that the conventional transient electromagnetic inversion's speed is low, the inversion algorithm is easy to divergence and other issues, so that we can achieve real-time interpretation of field experiment data. We introduces the forward calculated by Gauss integral method briefly. Instead of responding voltage, we use the late time apparent resistivity to avoid the loose of Jacobian matrix caused by the voltage response of a big range. And we carry out some measures to solve some problems of SVD when we use it to process the ground transient electromagnetic data. At last, we use some simulation data to test and verify it.

Key words: Dransient electromagnetic Inversion software Singular value decomposition

0 前言

时间域电磁法也称瞬变电磁方法,本文处理的数据是通过定回线源线圈所发射的脉冲电流所产生的响应。所谓定回线源即发射线圈位置不变,接受线圈移动的一种方法。

奇异值分解(SVD)是矩阵运算中一个非常基本的算法,奇异值分解由于在过去的计算量成本高,其实际应用常常受到限制。但由于计算机技术的普及和迅速发展,不断扩展的微机内存,计算速度也不断加快,计

算成本大幅度减少,通过奇异值分解处理少量数据量的地球探测反演问题已经可以实现。随着精度要求和探测分辨率的提高,寻求新的反演理论并进行系统化分析,在原有反演方法理论上对正反演问题作出更深入的研究,建立系统的TEM正反演理论能更好的解决一些高难的精细探测问题^[1]。

1 层状大地模型瞬变电磁响应

矩形回线在层状大地上的电磁场响应可以

* 指导教师：万玲

项目类型：创新项目

通过电磁场中的互易现象来推导。如图 1 所示，在平面大地上建立一个直角坐标系，矩形回线中心位于其坐标原点 O，z 轴垂直向下指向地球深处。矩形线圈的长、宽分别为 2a、2b。

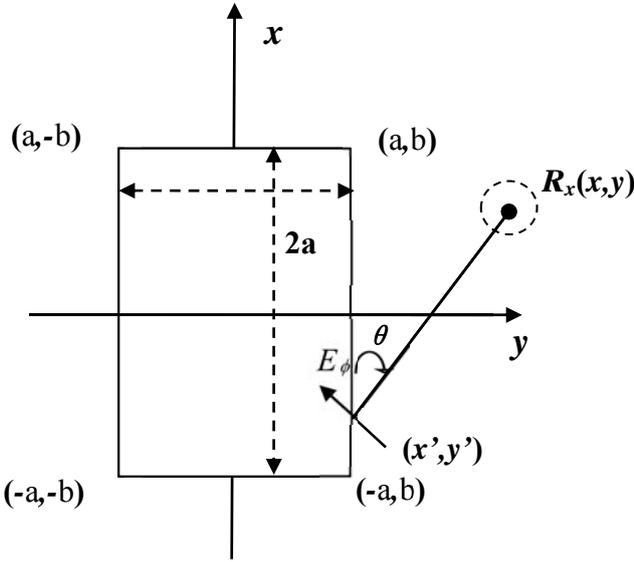


图 1 放置在大地表面上的矩形回线

Fig.1 A rectangular loop on the surface of the earth

为了求取通有简谐电流的矩形回线在地面任一点 (x,y) 处所产生的电磁场响应 (即磁场的垂直分量 $H_z^{[2][5][4]}$)，在 (x,y) 处放一个小的通入简谐电流 $Ie^{i\omega t}$ 的接收线圈 R_x 。因为线圈很小，将其看作是一个磁偶极子，层状大地上方磁偶极子产生的电场只有分量 E_ϕ 。为了得到矩形回线的感应电动势 V ，将平行于矩形四边的分量 $E_\phi \sin \theta$ 沿着发射线圈的四周进行积分。由互易原理可知，通入电流 $Ie^{i\omega t}$ 的发射线圈在 (x,y) 处感生出的电动势为 V 。由

$$V = - \frac{m \nabla H_z}{\nabla t} S \quad (1)$$

就可以得到

$$H_z = - \frac{1}{i\omega m S} V \quad (2)$$

在此只测量磁场的垂直分量，得到通有简谐电流的层状大地上方垂直磁偶极源(发射线圈)垂直磁场分量的表达式：

$$H_z = \frac{I}{2p} (A + B + C + D) \quad (3)$$

其中沿发射线圈四边的积分式分别是 A, B, C,

$$D: A = -(b-y) \int_{-a}^a \frac{dx \zeta^*}{r} \int_0^\infty m(e^{-m|z+h|}$$

$$+ \frac{mR_n^* - m_1}{mR_n^* + m_1} e^{m(z-h)}) J_1(mr) dm \quad (4)$$

$$r = \sqrt{(x' - x)^2 + (b - y)^2 + (z' - z)^2} \quad (5)$$

$$\sin \alpha = \frac{-(b-y)}{r} \quad (6)$$

为了计算出矩形回线内、外任意点的电磁响应^[2]，需要测出发射回线 $T_x(x',y')$ 和接收回线 $R_x(x,y)$ 的位置^[2]。

2 奇异值分解法

2.1 反演方法的基本思想

算法的基本思想是先设立一个比较接近被测模型的初始模型 (这里选取上限与下限之和的一半)。然后计算出两个模型的响应 (这里指视电阻率) 的差值 Δy 。然后通过 Matlab 的自带函数库奇异值分解计算出矩阵 A 的广义逆。继而得到了模型的调整量 Δx 。最后将初始模型进行调整得到新的初始模型，再重复整个过程直到得到可以接受的误差。

算法流程图如图 2 所示：

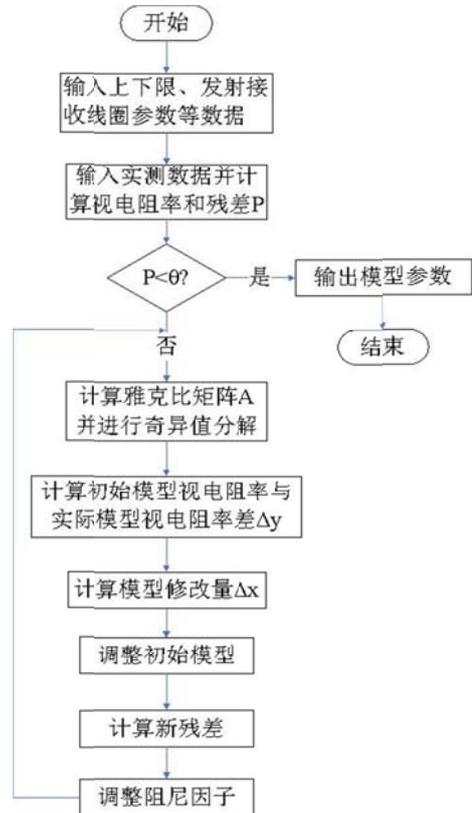


图 2 反演程序流程图

Fig.2 The inversion procedure flow chart

2.2 建立雅克比矩阵

为了找到模型响应与模型参数之间的关系我们需要计算出式

$$Dy = ADx \quad (9)$$

中的不可逆矩阵 A。

矩阵 A 中的元素 a_{ij} 是将函数在某一初始模型的邻域上泰勒展开，并且忽略二次以上的高次项得到的。所以可以得到 a_{ij} 为

$$a_{ij} = \frac{\partial f_i(x)}{\partial x_j} \quad (10)$$

由于该函数是非常复杂的多元函数，无法求出它的一阶偏导数，所以采用近似的值来代替一阶偏导数^[3]。则

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x_j} = \frac{f(i, x_k + \alpha x_j) - f(i, x_k)}{\alpha x_j} \quad (11)$$

其中的 αx_j 值取 0.001。

2.3 奇异值分解

求解线性方程组 $Ax = b$ 是反演解释瞬变电磁数据的根本问题。其中 A 为 $n \cdot m$ 的不可逆矩阵。奇异值分解法和最小二乘法是解这类方程组最常用的两种方法^{[1][8][9]}。

这里通过求解方程(9)求出对初始模型的调整量。

其中 Δy 是由实测电压数据计算得到的视电阻率，设其为 $(M \times 1)$ 矩阵。 Δx 是需要调整的地下模型增量，设其为 $(N \times 1)$ 矩阵。A 是所对应的雅克比矩阵，为 $(M \times N)$ 矩阵^[1]。

由于我们已知 Dy 和 A 的建立方法，为了得到 Dx，需要计算出 A 的逆矩阵。但是由于 A 是一个不可逆矩阵，所以只能用广义逆矩阵 A^+ 来代替 A^{-1} 得到：

$$Dx = A^+ Dy \quad (12)$$

为了得到 A 的广义逆矩阵，将 A 进行奇异值分解。

$$A = ULV^T \quad (13)$$

其中 U 是 $M \cdot M$ 阶酉矩阵；L 是半正定 $M \cdot N$ 阶对角矩阵；而 V^T ，即 V 的共轭转置，是 $N \cdot N$ 阶酉矩阵。L 对角线上的元素即为 A 的奇异值。

继而可以得到 A 的广义逆矩阵，

$$A^+ = V L^+ U^T \quad (14)$$

其中 L^+ 是 L 的伪逆，是将 L 中的奇异值求倒数再将其转置得到的。

则可以得到

$$Dx = V L^+ U^T Dy \quad (15)$$

2.4 增强反演收敛性的办法

奇异值分解法主要是建立在奇异值分解定理的基础上，截断小奇异值保留大奇异值，这种反演方法对初始模型估计的准确度要求高，但收敛速度快。而最小二乘法是在每个奇异值上都相加了一个小量 α 阻尼因子。这种反演方法收敛速度较慢，但对初始模型估计的准确度要求不高。将两种基本反演方法的优势互补，本项目采用加阻尼截断奇异值分解方法，在加入阻尼因子的同时对小奇异值进行截断，使上述两种反演方法相结合，达到两种方法的优势互补，取得了较好的反演效果^[3]。

在对式(15)中矩阵进行运算时，由于矩阵 L 中总是处于分母的位置的对角线上的元素（即过小的奇异值）在运算中起到了误差放大的作用。因此，通常将截断奇异值分解或加阻尼奇异值分解的方法用于实际运算中。

只用较大的奇异值，舍掉较小的奇异值，这就是截断奇异值分解。由于只有部分奇异值参与了运算，使算法的稳定性非常好，但其型参数的求解精度不高^{[3][4]}。

加阻尼奇异值分解，就是将式(15)变为

$$Dx = V L (L^2 + e^2 I)^{-1} U^T Dy \quad (16)$$

将各个元素加上了一个量 e^2 在矩阵 L 中对角线上的。这样就避免了受小奇异值的影响，在反演过程中出现矩阵里的参数过于大的现象。这样全部奇异值都参与了运算，提高了模型参数的求解精度，但是由于加入了阻尼因子，必然会降低模型参数的估计精度^[5]。

为了提高算法的稳定性，消除了较小奇异值的影响，同时保证模型参数的求解精度，综合以上两种方法的优缺点，本项目采用加阻尼截断奇异值的方法，即在加阻尼奇异值分解的基础上进行截断处理^[6]。

其中阻尼参数的选择，要通过试算得到。应尽可能小，以获得最大分辨率，同时应尽可能大，以保证运算过程迭代收敛，并随迭代过程而变化。本项目中阻尼因子第一次迭代选取较大的值，并

在每次迭代后减去一个小量 $D\epsilon$,使其逐渐变小。这样既可以使运算过程收敛又可以使求解精度提高。

在实际数据与模型响应的残差 P 小到设定定的精度 q 时结束反演。

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - f_i(x)]^2 \leq q \quad (17)$$

表 1 测试数据表

Table 1 Test data sheet

	第 1 层电阻率	第 2 层电阻率	第 3 层电阻率	第 1 层厚度	第 2 层厚度
上限	500	500	500	200	200
下限	10	10	10	10	10
模型值	400	70	300	50	60

开始初始模型曲线（虚线）与真实模型曲线（*形线）相差很大。随着迭代次数的增加最后的得到误差范围内的曲线（实线）与真实模型曲线基本吻合。

拟合曲线如图 3 所示：

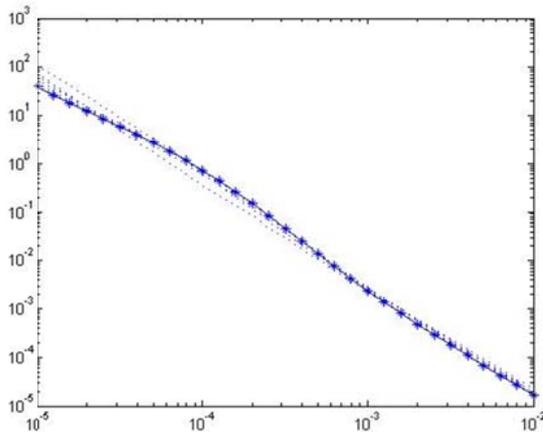


图 3 反演数据拟合图

Fig.3 Inversion data fitting chart

4 结论

本文研究表明，在层状大地模型层数较少，电阻率的范围不是太大的条件下，该算法可以有效的进行数据的反演拟合。通过定回线源晚期视电阻率代替响应电压进行计算的方法避免了过大范围的电压响应导致的雅克比矩阵的疏松。并且对奇异值分解法的改进，有效的解决了反演过程容易发散的问题。

参考文献

3 算法测试

为了测试算法的可行性，用模拟层状大地模型的数据进行测试，选取模拟层状大地模型数值和所得结果如下表所示如表 1 所示：

1. 李平,王椿镛,许厚泽,熊熊.地球物理反演中奇异值分解应用的若干问题探讨[J].2001.8.
2. 刘桂芬.回线源层状大地航空瞬变电磁场的理论计算[D].吉林大学硕士学位论文,2007.4:07-08.
3. 万玲.基于奇异值分解的定回线源瞬变电磁数据处理算法研究[D].吉林大学硕士学位论文,1990.1:87-96.
4. 孙铁超.瞬变电磁数据改进阻尼最小二乘拟合算法研究[D].吉林大学硕士学位论文,2009:6-31.
5. 阮百尧,葛为中.奇异值分解法与阻尼最小二乘法的对比[J].物探化探计算技术,1997.2:47-49
6. 庞学亮,林春生,张宁.飞机磁场模型系数的截断奇异值分解法估计[J].探测与控制学报,2009.10:49-51.

基于光电式血氧探头的 超低频低噪声调理电路研究*

戴欣亮¹；龙晔¹；张少松²

(1. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022; 2. 吉林大学 临床医学院, 长春 130022)

摘要：为了提取光电探头传感器的生理信号，研究设计一种针对光电探头的超低频低噪声信号调理电路，调理后信号与原始生理信号基本一致。

关键字：光电探头 生理信号 调理电路

Research on conditioning circuit with ultralow-frequent signal and low noise used to photo-electric (SPO₂) probe

Dai Xinliang¹; Long Ye¹; Zhang Shaosong²

(1. College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun, 130022, China

2. College of Clinical Medicine, Jilin University, Changchun, 130022, China)

Abstract: In order to record the physiological signals by photo-electric probe, developing a conditioning circuit aim at low-frequent signal and low noise level. The conditioned signals are in good agreement with the original physiological signals.

Key words: Photo-electric probe Physiological signal Conditioning circuit

0. 前言

随着智能设备的普及，各种穿戴式的便携设备的设计开始了新一波的浪潮。市场上光电探头的成本不高，可以设计成为集脉搏、血氧、血糖等生理信号为一体的便携式设备。但由于电流信号微弱和工作频段噪声较大等原因，对于初学者来说信号并不容易提取。本文将在信号特征、仿真和电路设计等方面进行分析，研究一种针对光电探头信号进行调理的超低频低噪声放大电路，供读者参考。

1. 原理

1.1 光电（血氧）探头

市面上通用的光电（血氧）探头在结构如图 1.1 所示，传感器分为感测模块和测量驱动模块。光电

（血氧）探头部分由发射端的两个发光二极管（红光和红外光）和接收端的硅光电池组成；测量模块驱动两个发射端产生两种波长的光线，经过人体肢端，传递到接收端的硅光电池，把光信号转变为微小的电流信号，经过处理得到几种相应的生理信号。光电探头传感器端的内部结构基本上由上述几个模块组成，产品外形以指夹、指套或一次性黏贴封装，两个发光二极管多数为反向并联，与硅光电池相对，探头另一端以接头与调理电路相连接。以指夹式探头为例，手指伸到指夹内，发射端在指背侧，硅光电池在指腹侧。

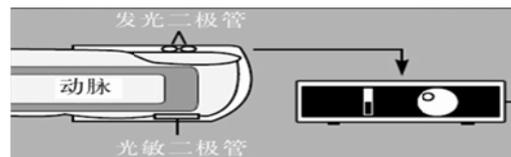


图 1.1 光电（血氧）探头

Figure 1.1 Photo-electric (SPO₂) probe

*指导教师：程德福

项目类型：创新项目

本研究采用的探头为 NELLCORDURASENSOR DS-100A, 探头内部电路简图如图 1.2 所示。图例中 RID 为特征电阻, $R_{ID} = 7.4k\Omega$, R、IR、PD 分别为红色发光二极管、红外发光二极管、硅光电池。红外发光管为 1.0 V, 红色发光管为 1.5 V, 硅光电池为 0.58 V。

该探头型号 DS-100A 是目前使用最广泛的一种探头, 其接口为 7 针, 可直接插在监护仪主机上 (如 LIF EPAK12 监护仪), 也可通过转接电缆接到主机上 (如迈瑞 PM 8000、PM 9000、GE DAS H4000

等监护仪)。

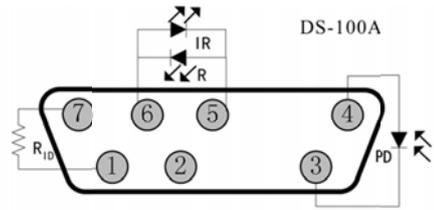


图 1.2 内部电路简图

Figure 1.2 Diagram of circuit inside

1.2 信号特征

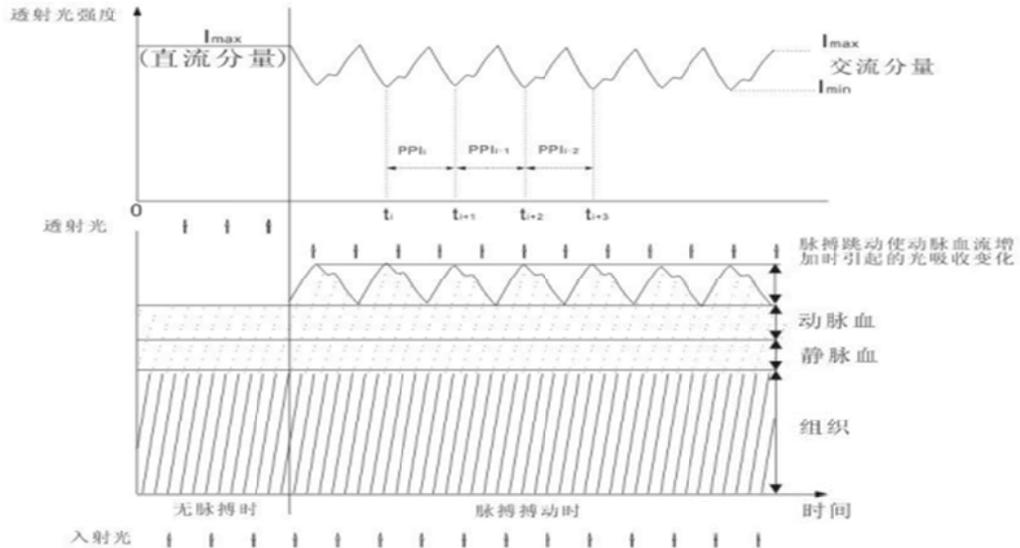


图 1.3 信号特征

Figure 1.3 Characteristic of signal

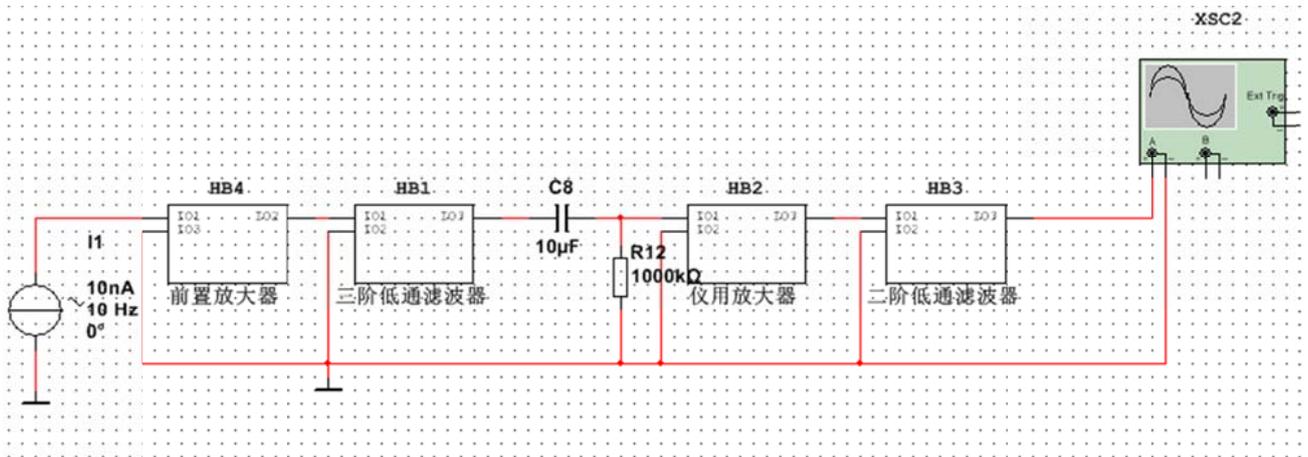


图 2.1 仿真框图

Figure 2.1 Simulation diagram

光电探头信号特征如图 1.3 所示。当发光二极管发射的光线, 垂直透射人体手指指尖时, 在另一端用硅光电池接收 (发光二极管输出的光强与输入的电流成正比), 通过调理电路后, 信号可分为两部分直流分量和交流分量。

信号交流分量的波峰与波谷对应心血管系统的收缩和舒张, 因此它对应的是动脉血液中的脉动部

分, 是一个与时间相关的量。直流的成分主要是由于手指组织的光吸收衰减后的结果, 可以认为是恒定不变的, 与时间无关。

2. 调理电路设计

2.1 总体设计

NELLCORDURASENSOR DS-100A 血氧探头里面是个硅光电池，采集到的短接电流信号分为交流分量和直流分量。其中信号的交流分量，仅为直流分量的 0.1%~0.5%，而信号的交流分量主要由两个波长信号组成，一个是工作状态下 50Hz 干扰和脉搏波信号（频率在 0~20Hz，95%能量在 0~6Hz 频带上）；通过测量脉搏波信号的相关数据，可获得脉搏、血氧和血糖等生理信号。

总体设计思路如下：用一个前置放大器，将硅光电池的短接电流信号转为电压信号（100~500 μ V）。然后通过一个三阶滤低通滤波器，滤掉探头工作状态下的 50~100Hz 干扰（1~5mV）。再通过一个 RC 滤波器，进行交直流分离。之后接上一个放大 70dB 的仪表放大器，增强有用的交流分量信号。最后通过一个二阶滤波器，提取脉搏波的相关信号。

2.2 仿真模拟

本作用 Multisim 12 作为仿真软件，根据总体设计，仿真框图如图 2.1 所示。

2.2.1 前置放大器

由于光电探头的信号类型为电流信号，为了把电流信号转化成电压信号，同时提高信噪比，在接入滤波和放大电路前，放置前置放大器电路。电路设计是，采用低偏置的 OP07 运放，通过一个大电阻（1M Ω ），将硅光电池的短接电流转换成稳定的电压信号。

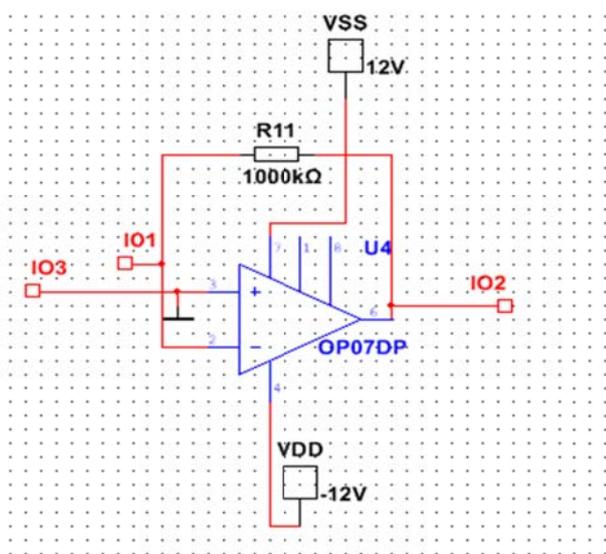


图 2.3 前置放大器

Figure 2.3 Preamplifier

2.2.2 低通滤波器

由图 2.1 可知，仿真过程运用了两个低通滤波器，分别为二阶和三阶的。三阶滤波器（图 2.4）置于前置放大器和 RC 电路之间，主要用于滤去探头在工作状态下 50~100Hz 的低频干扰；二阶滤波器

（图 2.5）置于仪用放大之后，主要用于滤去高增益仪用放大（70dB）的电源干扰。

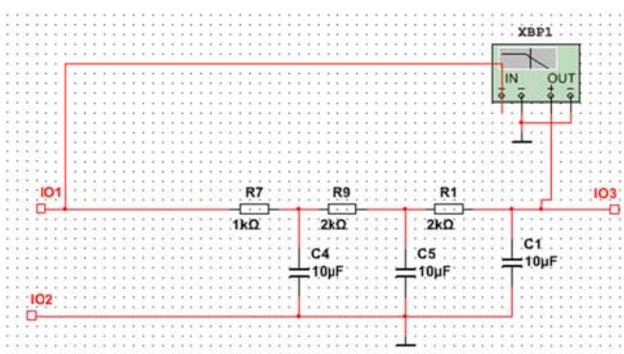


图 2.4 三阶低通滤波器

Figure 2.4 The third order low-pass filter

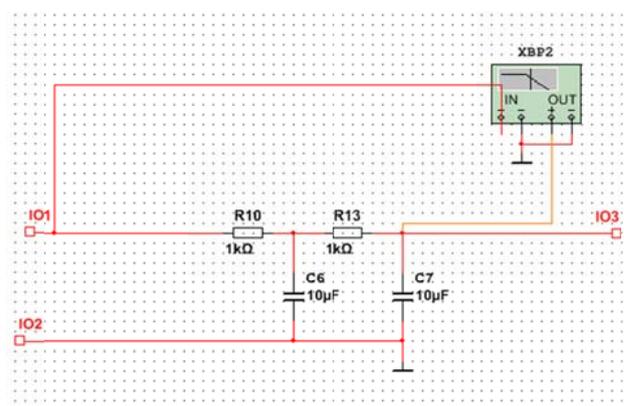


图 2.5 二阶低通滤波器

Figure 2.5 The second order low-pass filter

2.2.3 仪表放大器

在信号经过 RC 交直流分离后，交流分量的信号极其微小（200~300 μ V）。设计采用仪表放大器，它主要由两级差分放大器电路构成。其中，前一级的运放为同相差分输入方式，同相输入可以大幅度提高电路的输入阻抗，减小电路对微弱输入信号的衰减；

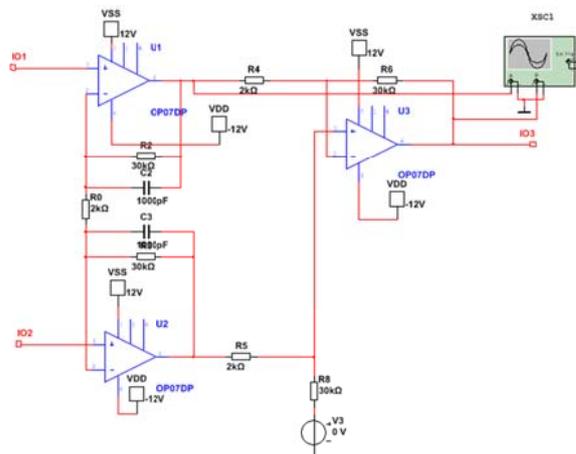


图 2.6 仪表放大器

Figure 2.6 Instrumentation amplifier

差分输入可以使电路只对差模信号放大，而对

共模输入信号只起跟随作用,使得送到后级的差模信号与共模信号的幅值之比(即共模抑制比 CMRR)得到提高。这样在以后一级运放为核心部件组成的差分放大电路中,在 CMRR 要求不变情况下,可明显降低对电阻的精度匹配要求,从而使仪表放大器电路比简单的差分放大电路具有更好的共模抑制能力。

2.3 PCB 板设计

2.3.1 电源选择

由于信号线经过交直流分离,电压信号含有负值,因此仪表放大器的运放采用 $\pm 12V$ 电压供电。由于充电器供给电压为 $5V$,选择纹波较小的 DC-DC 模块转换电压,型号为 A0512S-2WR2

2.3.2 干扰

光电探头的信号为微小电流源信号,经过转换后的电压信号也相对较微弱,选择用高增益的运放电路对信号经行放大的同时,除了自激之外,还需要考虑其他干扰,特别是电源 $50Hz$ 的干扰。解决方案如下:选择纹波比较小的 DCDC 模块,减小电源干扰的输出;在四个运放器的正负电源接口,各并联一个大电容,吸收电源的干扰;在 PCD 底层选择用填充地层,半屏蔽敏感的信号线。

3. 测试结果

采用信号发生器和电位器生成小信号并加入 $50Hz$ 噪声,小信号承购被调理电路获取;通过计算可得在 $0\sim 6Hz$ 频率区间内,调理电路增益为 70 ± 3 dB。通过采集手指信号,脉搏波信号被成功采集放大,并滤去了工作频段的噪声干扰,达到了设计要求。

4. 总结

设计的电路通过对原始进行调理,成功获得脉搏波等生理信号。电路板工作状态稳定,没有超载过热现象,符合预期目标。但是本作的不足点在于,为了简化工艺,采用大电容大电阻组成的 RC 电路,对信号进行交直流分离,导致的结果是其响应时间较长,对于血氧信号的采集所需时间较长,还有一定改进空间。

参考文献

1. 刘晓军,肖金仿,侯晓敏,王海棠,刘高望,唐建军,

脉搏血氧饱和度仪 Nellcor 模式 DS-100A 探头临床应用的准确度评价,医疗卫生装备·2014 年 7 月第 35 卷第 7 期

2. 高新军,刘新颖,脉搏血氧饱和度测量原理及常见血氧探头,仪器原理与使用,2010 年第 25 卷第 06 期
3. 席芳,郭欣欣,王凯,便携式睡眠监测仪与多导睡眠监测仪临床应用比较,中华实用诊断与治疗杂志,2012 年 6 月第 26 卷第 6 期
4. 吴燕葵,刘建红,韦彩周,雷志坚,梁碧芳,便携式睡眠初筛监测仪的临床应用评价,Guangxi Medical Journal, Feb. 2008, Vol. 30, No. 2
5. 韩德民,睡眠呼吸障碍外科学,人民卫生出版社
6. 何权瀛,林江涛,陈永生,张忠国,现代呼吸系统疾病诊断学,中国协和医科大学出版社
7. 郭静玉,马龙,薛枫,李振伟.基于 VB 的指端脉搏波检测系统的研制[J].河南科技大学学报:自然科学版,2008,29(5):91-94.

基于单片机的智能家居窗帘系统*

徐维 张昊宇 毛瑞

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 为了解决目前市场上传统窗帘功能单一、操作复杂的问题,以 AT89C51 单片机作为核心控制器,笔者设计了集智能、人性、安全为一体的家居窗帘系统。系统采用红外遥控技术,以步进电机为控制载体调整窗帘姿态;设置双档位工作模式,自动挡根据实际光照强度调节窗帘开合程度;外设时钟模块辅助控制,协调工作状态;通过 GSM 模块和显示电路实现人机对话,利用红外传感器和摄录一体机进行安防监控。达到使窗帘的功能多样化、操作简单化的目的。

关键词: 智能家居窗帘;无线遥控;双档位模式;人机对话;安防监控;

中图分类号: TG156

文献标识码: A

Intelligent Home Furnishing curtain system based on single chip microcomputer

Xu Wei; Zhang Haoyu; Mao Rui

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: In order to solve currently on the market the traditional curtain single function, complicated operation problem, based on AT89C51 microcontroller as the core controller, Home Furnishing curtain system we design the intelligent, human nature, security as a whole. The system uses the infrared remote control technology, step motor to control the carrier attitude adjustment curtain; set the double gear operating mode, automatic according to the actual light intensity adjusting curtain opening degree; peripheral clock module auxiliary control, coordinate the work state; through the GSM module and the display circuit to realize man-machine dialogue, security monitoring using infrared sensor and the camcorder. To make curtains of functional diversification, simple operation for the purpose of.

Key words: Intelligent Home Furnishing curtain; wireless remote control; double shift mode; man-machine conversation; surveillance;

0 引言

窗帘是人们日常生活中所不可缺少的必需品。随着社会的发展和人们生活水平的提高,自动化已经走入了寻常百姓家,智能化窗帘也在国内、国际市场拥有巨大的潜力。相比智能窗帘,传统窗帘在使用时,仅仅只能手动拉合而带来不必要的麻烦。目前国内市面上的电动窗帘只能人为通

过遥控器来控制拉合,功能单一,并没有真正的摆脱其饰品的定义。

针对以上情况,为实现集智能、安全、人性为一体的智能家居窗帘的设计,本项目以 AT89C51 单片机为核心控制器,通过双向步进电机控制窗帘系统稳定工作,引入红外遥控技术,设置多操作模式,利用传感器和模数转换实现自动控制,通过液晶显示、GSM 模块等实现人机接口,体现操作的可视化,针对现代破窗行窃的现

* 指导教师:刘长英

项目类型:创新项目

象，加设了安防监控功能。

1 系统总体设计

智能家居窗帘是集遥控、光控、时控、远程查询、安防监控等技术为一身的产品。采用模块化的设计思路将窗帘系统分为 4 个功能模块：窗帘主控模块，时钟辅助模块，远程通信模块、安防监控模块，再建立模块之间的联系以实现智能家居窗帘的设计。系统分自动控制 and 手动遥控两大部分，可完成对窗帘姿态的调整、检测、显示，实现时间、报警模块的设定、显示、标志响应。远程通信模块通过与手机通信实现人机接口，安防监控模块满足监控取证。其系统组成框图如图 1 所示。



图 1 智能窗帘系统结构框图

Fig.1 Intelligent curtain system structure diagram

2 系统硬件设计

2.1 窗帘主控模块

窗帘主控模块为系统的主要动力部分。利用红外一体化接收头采集信号，实现红外遥控的控制方式；采用 L298 驱动双步进电机联动，进行窗帘姿态的调整；利用数码管等实时显示，监视工作档位和所处位置；将光敏电阻和滑变电阻串联在电路中，通过中间节点采集反映光强的电压信号，经过模数转换将数字信号发送到核心控制器，控制器输出驱动信号经驱动电路放大，控制步进电机进行微调，实现自动挡光控。窗帘主控模块硬件连接图如图 2 所示。

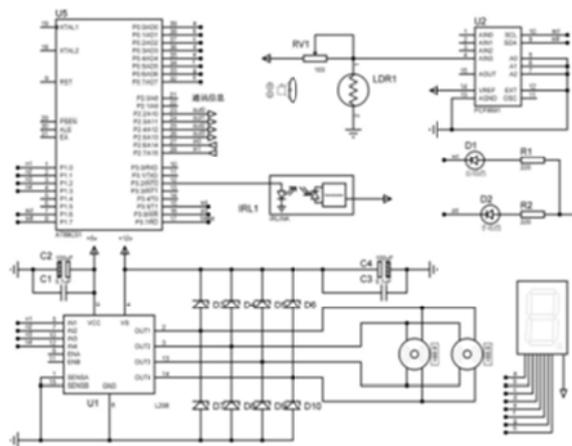


图 2 窗帘主控模块硬件连接图

Fig.2 Hardware Curtain master module connection diagram

2.2 时钟辅助模块

该模块对整套系统起到良好的辅助作用，模块提供年、月、日、星期、时、分、秒实时显示及在线调整，通过自主设定标志位，产生辅控信号。使用红外遥控技术进行功能调整、设定；利用高性能、低功耗的 DS1302 实时时钟芯片设计计时电路，芯片附加 31 字节静态 RAM，采用 SPI 三线接口与 CPU 进行同步通信；通过 lcd1602 等实时显示，完成人机界面的设计。图 3 为时钟辅助模块硬件连接图。

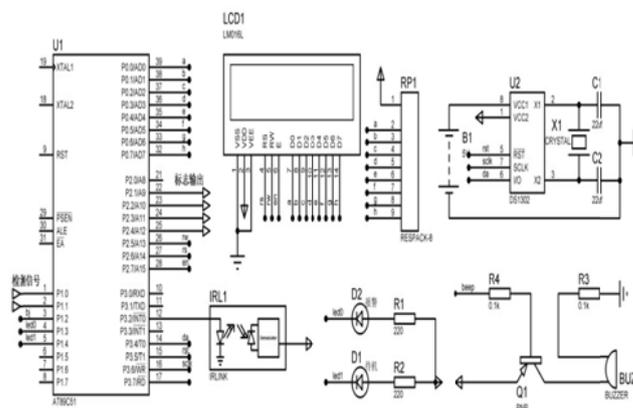


图 3 时钟辅助模块硬件连接图

Fig.3 Clock auxiliary module hardware connection diagram

2.3 安防监控模块

安防监控模块主要针对入窗行窃行为进行设计，报警功能设定后，采用红外对管利用光反射原理检测非法入窗行为，一旦发现危险，通过智能摄录一体机实时监控现场并自存取证。一体机通过 USB 接口供电，为节约电能及内存资源，报警信号通过继电器对一体机进行供电。图 4 为安防监控模块硬件连接图。

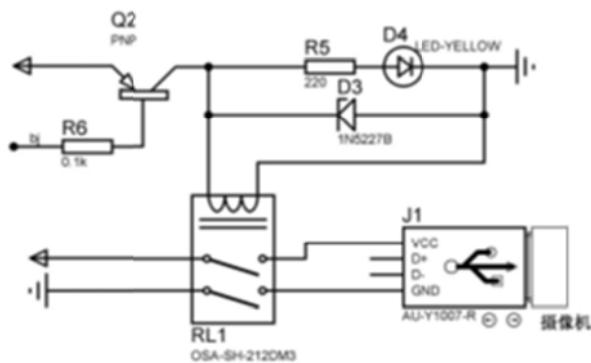


图 4 安防监控模块硬件连接图

Fig.4 Security monitoring module hardware connection diagram

2.4 远程通讯模块

GSM 模块,是将 GSM 射频芯片、基带处理芯片、存储器、功放器件等集成在一块电路板上,具有独立的操作系统、GSM 射频处理、基带处理并提供标准接口的功能模块。远程通讯模块基于华为 GTM900B 模块进行设计,利用单片机控制 GSM 模块,来电自动挂断,并回复窗帘工作状态,实现在线查询功能。操作过程通过液晶实时显示,便于监视跟踪模块的工作状态。

3 系统软件设计

系统软件设计分为主控系统和辅助系统两个部分,工作流程采用 C 语言固化在 STC89C51 单片机内。

图 5 为主控系统工作流程图。系统上电后,初始化系统,使其进入最佳的工作状态,为后续相关处理做准备。实时对采集到的红外信号进行处理,识别指令进行功能设定,进入自动或者手动子工作流程,根据控制指令切换工作档位及通过驱动信号调整窗帘姿态。循环采集工作状态数据,显示并发送到外设模块。

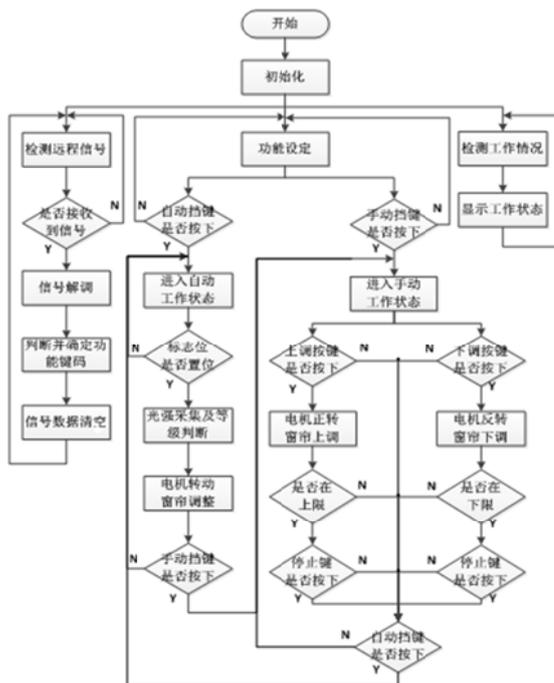


图 5 主控系统工作流程图

Fig5. Work flow chart of main control system

图 6 为辅助系统工作流程图。主要包括系统初始化、信号处理、功能设定、报警检测、实时显示等,主要任务是设定时间辅助主控模块工作,实现安防监控功能。

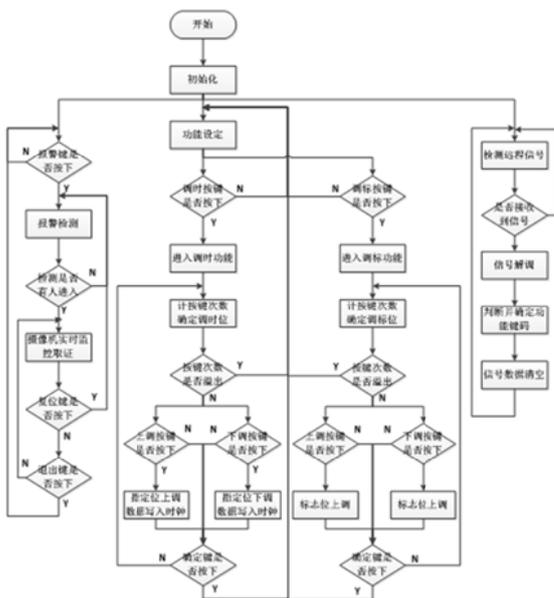


图 6 辅助系统工作流程图

Fig 6. Auxiliary system work flow diagram

4 实验结果分析

为了检验本设计的优劣,对智能家居窗帘设计指标进行测试。搭建完整装置,针对各项功能逐一试验,测量结果见表 2。从实验结果看,本设

计各项独立功能均可实现。对系统进行多次随机操作、复杂操作，验证系统工作稳定、各模块通讯准确迅速。

表 1 功能检测一览表

Table1. Function test list

模块	功能	实现与否
主控模块	红外遥控	√
	4 个状态位	√
	数码管显示	√
	手动挡控制正反转	√
	自动挡根据光强切换窗帘状态	√
时间模块	年、月、日；时分秒的显示	√
	年、月、日；时分秒的调节	√
	清晨、夜间标志的自主设定	√
安防模块	红外检测，判断是否有人进入	√
	外人闯入，实时拍摄	√
	外人进入，自主报警	√
远程模块	获取主控模块工作情况	√
	自动挂断，回复短信汇报工作	√

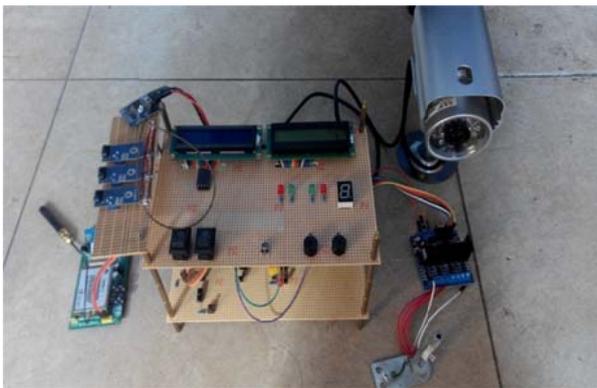


图 7 系统实物图

Fig 7. The system physical map

5 结论

该设计以 STC89C52 作为微控制器，引用红外技术实现远程遥控，以步进电机作为窗帘传动载体，设置双档位工作状态，控制模式多样化，光控、时控、遥控、互联网控制多种方式相互兼容，根据红外反射原理设计防盗报警，并通过摄录一体机监控取证。窗帘的设计安全、智能、人性，整套系统经济实惠，控制稳定，具有较强的推广和实用性。

参考文献

1. 刘子林主编.电机与电气控制[M]. 电子工业出版社, 2003
Liu Zilin Editor.Motor and electrical control[M].Electronic Industry Press,2003
2. 《电子技术基础》(模拟部分第五版)康华光主编, 张林、陈大钦副主编, 华中科技大学电子技术课程组编 高等教育出版社, 2005 年出版。
Electronic technology base(Analog portion of the fifth edition)Kang Huaguang Editor,Zhang Lin, Chen Daqin deputy editor,Huazhong University of Science and Technology Group Electronic Technology Course Code . Higher Education Press,2005
3. 《智能家居系统研究与实现》张幸、殷继彬、肖幺主编 电子工业出版社
Research and Implementation of Smart Home System . Zhang Xing, Yanji Bin, Xiao Masked editor .Electronic Industry Press
4. 《计算机网络技术》机械工业出版社 2001 年出版。
Computer Network Technology . Machinery Industry Press .Published in 2001
5. 《无线网络技术》人民邮电出版社 2004 年。
Wi-Fi technology .People Post Press,2004
6. 蒋小洛,涂嘉庆,胡大可. 智能家居远程监控系统的软件开发 [J]. 测控技术 . 2006(12)
Jiang Xiao Luo, Tu Jiaqing, Hu dake.Software development of smart home remote monitoring system[J].Measurement and Control Technology.2006(12)
7. 董杰. 智能家居系统的组成及设计[J]. 科技情报开发与经济. 2005(03)
Dong Jie.The composition and design of intelligent home system[J].Information Development & Economy.2005(03)
8. 夏汉川,吴伟民,谢嵘,樊敏,廖华赟. 智能家居家庭安防系统的设计与实现 [J]. 现代计算机(专业版). 2005(01)
Xia HanChuan, Wu Weirmin, Xie Rong, Fan Min, Liu

- Hua Yun.Design and implementation of smart home home security system [J].Modern computer (Professional Edition).2005(01)
9. 《物联网技术》高等教育出版社 何勇主编 2001 年 30 期。
Things technology.Higher Education Press.He Yong Editor.2001
10. [邢欣, 陆晓. 物联网中的窗帘远程控制系统设计[J]. 信息化研究.2012 (06)
XING Xin, LU Xiao.Things in the curtain remote control system design [J].Information Research.2012(06)
11. 冯凯, 童世华. 智能家居的由来及发展趋势[J].高新技术.2010
Feng Kai, Tong Shihua.The origin and development trend of smart home [J].High-tech.2010
12. 孙健. 智能家居电动窗帘的设计与实现[A].机械工程与自动化.2012 (04)
Sun Jian.Design and implementation of smart home electric curtain [A].Mechanical Engineering and Automation.2012(04)
13. 黄婧.智能家居或家具产业发展新趋势[J].中国联合商报.2012 (02)
Huang Jing.Smart home or new trends in the furniture industry [J].China Joint Business News.2012(02)
14. 苏腾云, 刘玉良, 姚齐国, 李莉莉.基于单片机和手机短信的窗帘智能遥控系统[J].福建电脑.2012 (02)
Suteng Yun, Liu Yuliang ,Yao Qiguo,Li Lili.Curtain intelligent remote control system based on SCM and SMS [J].Fujian computer.2012(02)

三自由度并联运动平台设计*

朱晶; 张淼

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 工业自动化生产中, 串联机器人凭借着工作空间大, 控制简单等优势, 一直占据着主导地位, 这种机械结构采用多关节顺次连接的方式来达到多自由度控制的目的。然而这种结构由于各关节都会产生一定的误差, 造成误差积累, 使末端控制精度下降, 相比之下, 并联机械结构就不会有这样的问題, 由于不存在累积误差, 因此并联机械往往更加精确。目前, 并联运动平台已经涉足很多技术领域, 如基于并联结构的 3D 打印、智能分拣等技术。这种技术具有的高速轻载的特点, 在很多行业都有优势, 在未来将会有广泛的发展前景。在本文中, 介绍的是一种三自由度的并联运动平台, 利用该平台可最终实现空间移动和快速分拣等功能。以下我们将具体介绍其原理, 以及具体做法和目前取得的成果及进展。

关键词: 并联臂结构 delta 机器人 三自由度运动平台

中图分类号: TG156

文献标识码: A

The Design of the Three Degrees of Freedom Parallel Motion Platform

Yang Hongyuan; Zhu Jing; Zhang Miao

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In the industrial automatic production, the serial robots with the advantages of large working space and simple control have been dominant. The mechanical structure is connected by many joints in order to achieve the goal of multi-degrees of freedom control. However, due to various joints will produce certain error which cause the error accumulation, and this situation cause the loss of precision. Compared with the serial robots, the parallel will not have this kind of problems. Because there is no cumulative error, the parallel structure is much more accurate. At present, the parallel motion platform has been involved in many fields, such as the parallel printer and the technology of intelligent sorting. This technology has an advantage of high speed and light load, which is very important in many industries and will has a bright future. In our paper, the focus is on the three degrees of freedom parallel motion platform and how to use it to realize the function of move on space and intelligent sorting. We will introduce its principle, practices and results specifically in the following content.

Keywords: parallel arm, delta robot, three degrees of freedom parallel motion platform

0 前言

0.1 研究背景及意义

在 1965 年, 由 Stewart 提出并联机构原是为作为飞行模拟器用于训练飞行员的。后来由澳大利亚著名机构学教授 Hunt 在 1978 年提出, 可将 Stewart 平台机构应用到并联机器人机构中。从此, 并联机器人的

研制与开发工作开始了。经过数十年的探索, 并联机器人的研究已从基础理论工作逐渐地过渡到实践中。并联机器人在机械工业、航空业以及矿山开采中的应用十分广泛。并联机器人凭借其结构刚性好、承载能力强、累积误差小、部件简单等优势, 逐渐在国内外机床行业占领市场, 并将成为 21 世纪高速轻型数控加工的装备。

0.2 并联机器人分类

* 指导教师: 杨鸿渊

项目类型: 创新项目

自 1993 年,第一台并联机器人在美国德州自动化与机器人研究所诞生以来,并联机器人无论在结构和外型都得到了充分的发展,但就其类别可分为以下几类:

(1)按自由度的数目分类,并联机器人可做 F 自由度(DOF)操作,则称其为 F 自由度并联机器人。例如:一并联机器人有 6 个自由度,称其为 6-DOF 并联机器人。

(2)按并联机构的输入形式分类,可将并联机器人分为:线性驱动输入并联机器人和旋转驱动输入并联机器人。研究较多的是线性驱动输入的并联机器人,这种类型的机器人位置逆解非常简单,且具有唯一性。旋转驱动输入型并联机器人与线性驱动输入并联机器人相比,具有结构更紧凑、惯量更小、承载能力相对更强等优点;但它的旋转输入运动形式决定了位置逆解的多解性和复杂性。

(3)按支柱的长度变化分类,可将并联机器人分为:一种为采用可变化的支柱进行支撑上下平台的并联机器人。例如:一种六杆的并联机器人称为 Hexa2pod,运动平台和基座由 6 个长度可变化的支柱连接的,每个支柱的两端分别由铰链连接在运动平台上和基座上,通过调节支柱的长度来改变运动平台的位姿。另一种为采用固定长度的支柱进行支撑上、下平台的并联机器人。例如:另一种六杆的并联机器人称为 Hexaglide,运动平台和基座是由 6 个长度固定的支柱连接的,每个支柱一端由铰链连接在运动平台上,另一端通过铰链连接在基座上,该端铰链可沿着基座上固定的滑道进行移动,由此,来改变运动平台的位姿。

0.3 并联机器人的运动学分析及解算

在并联机器人的运动学分析包括两方面:已知活动平台位姿、速度,求解各驱动副的长度或转角、速度,称为逆解;已知各驱动副的长度或转角、速度,求解各驱动副的长度或转角、速度,称为正解。最为普遍的研究方法有两种:数值解法、封闭解法。数值解法是指求解一组非线性方程,非线性方程是矢量环方程经过一些具体结构的代数处理后,直接导出的,从而求得与输入位移对应的动平台的位置和姿态,数值解法的优点是其数学模型比较简单,并且省去了烦琐的数学推导。但这种方法的计算速度比较慢,不能求得机构的所有位置解,并且最终的结果与初值的选取有直接的关系。但这种方法可求解任何并联机构,建立数学模型相对容易,可以立即进行位置分析。

0.4 国内外研究现状

并联机器人在数控机床方面具有不可估量的作

用,国内外学术界和工程界对研究和开发并联机器人都非常重视。而并联机床在工业上具有十分广泛的应用。1994 年在芝加哥国际机床博览会(IMTS'94)上首次展出了称为“六足虫”(Hexapod)和“变异型”(VARIAX)的数控机床与加工中心并引起了轰动。此后,各主要工业国家都投入了大量的人力和物力进行并联机床的研究与开发。如美国 IngersollMilling 公司、Giddings&Lewis 公司和 Hexal 公司,英国 GeodeticTechnology 公司等,相继研制出不同结构形式的数控机床、激光加工和水射流机床、坐标测量机等基于并联机构的制造设备。并联机床所涉及的基本理论问题同样引起了许多研究单位的重视,由美国国家科学基金会动议,1998 年在意大利召开了第一届国际并联运动学机器专题研讨会,2000 年在美国召开了第二届国际并联运动学机器专题研讨会我国已在国家“九五”科技攻关计划和“863”高技术发展计划中对并联机器结构的研究与开发予以支持。中国科学院沈阳自动化研究所、清华大学、天津大学、哈尔滨工业大学、东北大学、河北工业大学等单位的研究人员也在积极从事并联机械机构领域的研究工作,并与相关企业合作研制了数台结构形式各异的样机。基于并联机器人的多坐标数控机床研究已成为机器人研究领域以及机床制造领域的研究热点。目前,国内外所推出的各种并联机床大多数都是单纯利用并联机构(尤其是其中的 Stewart 平台机构)来构造机床(也有一些在并联机构的动平台上再串接一、两个转动关节以增加工具的姿态空间)。根据其相应的并联机构所具有的自由度主要有 6 自由度(6 条腿)以及 3 自由度(3 条腿)两类;按照各分支链的驱动方式可分为两种形式:一种形式为各分支链(定长杆)的一端通过滑块(或丝杠螺母副)沿固定平台导轨移动(简称“腿滑动”)来改变动平台的位置及姿态;另一种形式为通过各分支链杆长的伸缩(简称“腿伸缩”)来改变动平台的位置及姿态。另一种形式为通过各分支链杆长的伸缩(简称“腿伸缩”)来改变动平台的位置及姿态。

1 设计方案

1.1 研究原理和主要完成任务

原理:Delta 机械人的原理是由摆动主动臂和从动臂连接静平台和动平台。主动臂的一端通过回转副与静平台连接,在电动机或其他动力装置的驱动下做一定角度的往复摆动,主动臂的另一端通过联轴器与从动臂连接,从动臂是一个平行四边形机

构, 从动臂通过联轴器与动平台连接, 这样可实现动平台沿 3 个坐标方向的移动。动平台上固定有机器人的末端执行器(我们所采用的是吸盘)。机械臂在工作时, 与主动臂相连的步进电机作高速往复运动带动主动臂上下摆动, 主动臂的摆动运动通过从动臂传递给动平台, 从而使动平台实现高速三坐标平动。

我们的主要任务是研究、设计一个可以控制的并联智能机器人, 包括自动控制, 采用以数据采集卡作为核心控制器控制子控制器及部分高级功能, 由数据采集卡传输数据, 与电脑连通, 输出控制电机的脉冲, 以三个电机提供动力, 子控制器控制机械臂, 期间动静平台需要配合, 以便顺利操作。设计目标: 1.完成三自由度并联机器人平台搭建; 2.实现快速分拣功能。

1.2 模块设计方案

事先设定程序, 由机器人自动进行移动, 不断调整最终到达目的地; 在左右、上下平移时, 均可以通过计算机控制中心与数据采集卡进行通信, 通过程序控制智能机器的左右、转向、上下移动等。

我们将通过 AUTOCAD 对并联运动平台进行三维建模, 确定各部分比例及具体尺寸, 生成图纸并进行加工, 制作出一台样机。控制部分将采用美国国家仪器公司研发的虚拟仪器平台 LABVIEW 进行人机界面设计^[9], 同时通过数据采集卡输出控制信号来控制整个系统。LabVIEW 内含丰富的数据采集、数据信号分析及功能强大的 DAQ 助手, 搭建数据采集系统更为轻松。

主要组成部分: 静平台(由刚性联轴器, 电机, 步进电机驱动器 铝合金板材组成), 动平台(由亚克力材料加工而成), 主动臂(碳纤维管, 折叠笔), 从动臂(由碳纤维管, 有机玻璃连接而成) 白钢支架, 机械抓手(由磁铁构成)。

相关组成部分:

(1)刚性联轴器, 将联轴器从中间截断, 用以固定电机, 使电机能够控制主动臂, 中间用螺丝加固。

(2)电机, 与传统的三相电机相比, 减速步进电机具有很多优势, 当电机停转的时候具有最大的转矩(当绕组激磁时), 电机旋转的角度正比于脉冲数, 且电机的响应仅由数字输入脉冲确定, 因而可以采用开环控制, 这使得电机的结构可以比较简单而且控制成本, 由于每步的精度在百分之三到百分之五, 而且不会将一步的误差积累到下一步因而有较好的位置精度和运动的重复性。另外减速步进电机拥有优秀的起停和反转响应, 由于没有电刷, 可靠性较高, 因此电机的寿命仅仅取决于轴承的寿命。

仅仅将负载直接连接到电机的转轴上也可以极低速的同步旋转。此外由于速度正比于脉冲频率, 因而有比较宽的转速范围。

三个电机成 120 度分列在静平台上, 整个静平台由白钢支架吊起, 将电机和联轴器与主动臂连在一起三个电机同时转动控制主动臂, 减速比为 18:1, 通过编程来控制, 由数据采集卡传递数据, 每一个脉冲转 0.1 度。

(3)数据采集卡, 用以作为传输数据的媒介, 连接电机和电脑以及外控电源。

(4)步进电机驱动器, 用以驱动电机。

(5)折叠笔, 经过改装后制成关节, 与碳纤维管相连, 制作从动臂。

(6)碳纤维管, 和改装后的折叠笔一起构成主动臂, 连接到主动臂上。

(7)动平台材料, 用以组装动平台。

2 具体实施步骤方法及实物

2.1 部分材料图及其作用

图 1 为刚性联轴器, 中间为中空钢制圆柱, 侧方开有空洞, 可以螺丝嵌入, 用于固定减速步进电机。



图 1 刚性联轴器

Fig.1 The rigid coupling

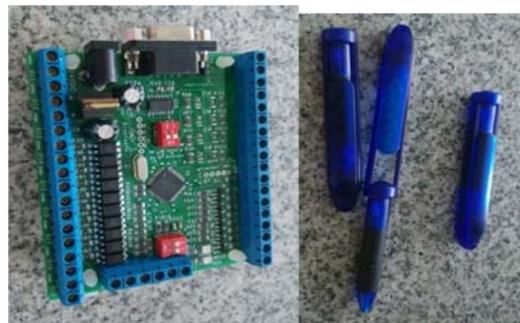


图 2 折叠笔

图 3 数据采集卡

Fig.2 The folding pen

Fig.3 Data acquisition card



图 4 碳纤维管

图 5 亚克力材料

Fig.4 Carbon fiber tube

Fig.5 Acrylic material



图 6 减速步进电机

Fig.6 Slow step motor

2.2 主要步骤及作品图



图 7 从动臂

Fig.7 The slave arm

图 7 为并联运动平台的从动臂。黑色部分为碳纤维管，每根总长度为 1 米，其具有强度大，韧性好，质量轻的特点，故被选为从动臂材料。图中蓝色部分为折叠笔改装成的连轴装置，两根笔中间固定以钢芯，将从动臂的底端固定在动平台上。平台材料为亚克力板，其强度大，质量轻，可以减轻动

平台的负载，提高精确度。平台上附有机吸盘，可担负的负载重量为 2.5kg。从动臂的上端依然由折叠笔改装的联轴器连接。上端的主动臂也是由亚克力材料板剪裁成的部分。



图 8 静平台

Fig.8 Static platform

图 8 是并联运动平台的上部分，三个减速步进电机以 120 度角分列在静平台上，由刚性联轴器与主动臂镶嵌，这样当电机转动的时候，主动臂随之移动，带动从动臂，使动平台上的吸盘移动，从而实现快速分拣的目的。由数据采集卡采集来自计算机的信号，传送给步进电机，每一个脉冲过来时电机转动 0.1 度，这样，我们以静平台中心为原点，建立空间直角坐标系，由于静平台的直径，主动臂从动臂的长度等等数据都是已知的，我们可以通过数学的方式解算出位置坐标，这样将要分拣物品的具体位置可以计算出来，给出具体的程序，由电机执行，最终达到具体位置时进行分拣，将所分拣出来的物品放到指定地点，完成任务。



图 9 整体框架图

Fig.9 The whole frame

对点的快速分拣的功能。

针对细节部分，可参考图 9，作为一个整体硬件平台，搭建工作已经全部完成。关于软件部分，也实现部分功能，电机可以在程序的驱动下转动。至于后续的程序编译尚在进行中。

这个项目培养了我们的动手能力、以及文献检索能力、英文阅读能力、团队协作和沟通能力。还存在一些不足之处，在精度方面依然与理论略有差异，虽然可以满足项目要求，但尚未达到理想状态，在接下来的项目进行过程中，我们将进一步修整差距，减小误差。

参考文献

1. Clavel R. DELTA, A fast robot with parallel geometry. Pro. int. symposium on Industrial robots.
2. Sternheim F. computation of the direct and inverse geometric models of the delta parallel robot.
3. Pierrot. Towards a fully 2 parallel 6 DOF robot for high 2 speed applications 1991 IEEE Int.
4. Stewart. D. A platform with 6 degrees of freedom. Proc. Mech. Engineer.
5. Viera. DELTA ROBOTS FOR HIGH SPEED MANIPULATION TECHNICAL GAZETTE.
6. 刘子林. 电机与电气控制[M]. 电子工业出版社. 2003
Li Liu Zilin, Motor and Electric Control[M]. Electric Industry Press. 2003
7. 姚培, 张李坚, 周晶香. 基于单片机控制的智能循迹避障小车[J]. 机电信息. 2010(12).
Yao Pei, Zhang Lijian, Zhou Jingxiang. Intelligent TOUR Track and Obstacle Avoidance Car Based on single-chip Microcomputer [J]. Mechanical and Electric Information. 2010(12).
8. 杨东燕. 一种移动机器人小车的电机控制系统[J]. 内蒙古科技与经济. 2008(20).
Yang Dongyan, A Mobile Robot Car's Motor Control System. [J]. Nei Mongol Science and Technology and Economy. 2008(20).
9. 华为实. 基于 delta 机构的堆垛机器人【J】西安交通大学.
Hua Weishi, Stacking Robot Based on Delta Agency [J]. Journal of Xi An Jiao Tong University.
10. 董海文等, 国内并联机器人研究现状及未来进展【J】. 自动化博览.
Dong Haiwen etc, The Present Situation and Future Development of Parallel Robot In the Domestic [J]. Automation Expo.
11. 黄珍等, 并联机器人机构理论及控制【M】北京机械工业出版社.
Hua Zhen etc, Theory And Control of Parallel Robot Mechanism. [M]. Beijing Mechanical Industry Press.
12. 高秀兰等, Delta 并联机构工作空间解析尺度综合【J】农业机械学报.
Gao Xiulan etc, The Work Space Analytic of Delta Parallel Mechanism [J]. Journal of Agricultural Machinery.
13. 纪名刚等, 机械设计(第七版)【M】哈工大出版社.
Ji Minggang etc, Mechanical Design (the seventh Edition) [M]. Harbin Institute of Technology Press.
14. 查展鹏, 一种三自由度并联机器人机构的运动学分析, 自动化博览, 2006, 6: 40-43.
Zha Zhanpeng, A Three Degrees of Freedom Platform of Parallel Robot Mechanism, Automation Expo, 2006, 6: 40-43.

汽车 ABS 轮速信号模拟控制器的设计*

田文博； 王中旂； 张吉悦

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130012)

摘要: 将上位机控制原理、单片机控制技术、硬件电路分析设计用于汽车轮速信号的研究, 在 Visual Studio 软件基础上运用 C#完成上位机设计, 基于 C 语言完成单片机控制系统, 建立了上位机与单片机的控制机制、单片机与硬件电路的控制机制, 进而形成了模拟控制器总体。

关键词: 汽车 ABS 信号 轮速信号模拟 上位机控制

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Design of the analog controller for wheel speed signal of automobile abs

Tian Wenbo; Wang Zhongqi; Zhang Jiyue

College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University

Abstract: Use the theory of PC control、technology of Single-chip microcomputer control、The design of hardware circuit analysis to research of car wheel speed signal,use C# to the PC software design based on Visual Studio,use C to the Single-chip microcomputer, established a PC and single chip microcomputer control mechanism、Single-chip microcomputer and the hardware circuit of the control mechanism and a general simulation controller.

Key words: Wheel speed signal of automobile abs Wheel speed signal simulation PC control

0 前言

ABS (即汽车防抱死制动系统) 作为一种重要的制动系统, 其评测也显得尤为重要。国内有一些大学和机构已经在做 ABS 的评测方法研究, 但大部分技术尚未成熟。模拟汽车轮速传感器信号, 来构建 ABS 对象模型, 以实现 ABS 的仿真和检测, 可以配合相关理论技术的研究, 还可以大大降低成本。

1 设计方法

1.1 上位机软件控制器设计方法

上位机软件控制器是基于 PC 平台的汽车 ABS 轮速信号模拟控制平台及通讯软件。以 Visual Studio 为编程设计软件, 运用窗口设计功能, 结合 C#编程语言实现上位机软件控制器的控制界面设

计, 实现上位机软件控制器的串口通讯功能。上位机软件控制器通过 USB 转 RS232 串口线与下位机 MSP430 单片机进行连接, 一串口通讯方式发送指令, 并接收下位机单片机传回的反馈信号, 判断信号传输是否有误, 是否需要重传。

选择 Visual Studio 作为主要开发平台, Visual Studio Windows 窗体应用程序是一个丰富的编程框架, 用于创建更易于使用的客户端应用程序可以在 System.Windows.Forms 命名空间找到用于创建 Windows 桌面应用程序的类, 它是所有对话框和顶级窗口的基类。另外, System.Windows.Forms 命名空间还包含管理控件的类。Windows 窗体是所有控件的最高一级容器, 它里面可以防止各种各样的其它控件。

在串口通讯模式下, 设计控制器工作状态显示窗口、控制量输入窗口和开始、发送、停止等控制按钮。

* 指导教师: 杨泓渊

项目类型: 创新项目

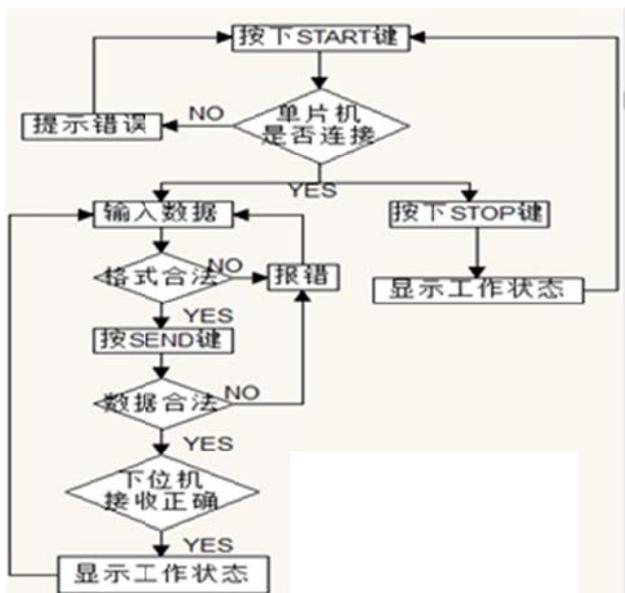


图 1 上位机软件控制器工作原理

Fig.1 The working principle of PC controller

上位机软件控制器的控制界面为用户提频率输入功能、幅值选择功能、状态显示功能。其核心作用在于将用户输入的数据通过串口通讯方式传递给下位机，并判断下位机的工作状态，将其反馈给用户。在下位机工作过程中，上位机控制软件可以随时接受用户的新指令，并传给下位机，实现随时控制。因而，上位机软件控制器的控制界面设计必须与其功能相辅相成。



图 2 上位机软件控制器控制界面

Fig.2 The interface of PC controller

1.2 下位机设计方法

ABS 轮速信号控制器主要实现的功能分为四个部分：受上位机控制，与上位机实现实时通信；将上位机发送的频率和幅度的数值在液晶屏上实时显示出来，并显示工作的状态；根据接受的数据产生相应频率的方波；辅助硬件电路处理方波信号。

首先上位机按下启动按钮，控制器启动并通知上位机启动成功，准备接收数据。上位机发送频率和幅度的数值，控制器接收数据同时判断数据格式

是否正确，如果满足要求，则反馈给上位机。接着在液晶屏的固定位置显示发送过来的数据，同时生成方波信号，并产生辅助信号。最后，上位机按下停止按钮，控制器停止运行。



图 3 下位机 MSP430 工作原理

Fig.3 The working principle of single-chip microcomputer MSP430

单片机硬件电路设计是实现其软件功能的基础。单片机特点：多达 64KB 寻址空间，包含 ROM、RAM、闪存 RAM 和外围模块。仅 3 种指令格式，全部为正交结构。片上 USART：发送或接受有各自的中断。定时器中断可用作事件计数、时序发生、PWM 等。超低电流消耗：CPUOff 和 OscOff 模式。可在电压降至 2.5V 情况下工作。系统内置多个模块。具有高级语言编程能力。

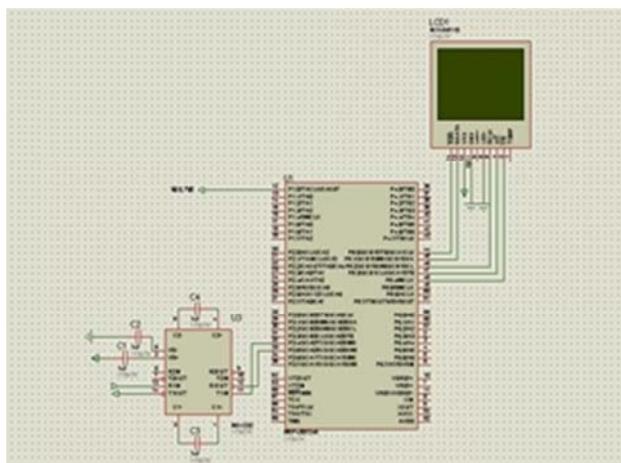


图 3 下位机 MSP430 硬件连接

Fig.3 Hardware connection of single-chip microcomputer MSP430

1.3 硬件电路设计方法

硬件电路主要分为一下几个部分：

电源转换系统：将适配器输出的+5V 电源转换分成+5V 和-5V 输出。

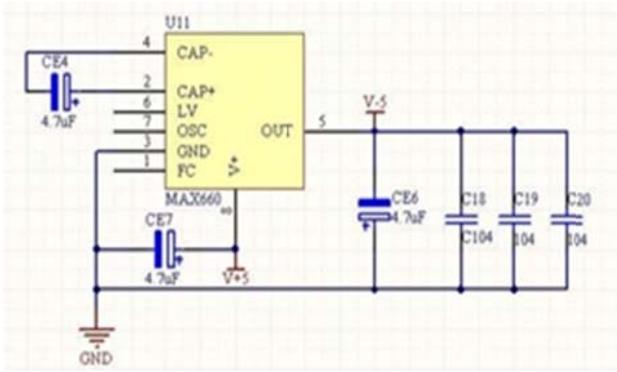


图 4 电源转换系统

Fig.4 Power conversion system

滤波系统：将输入的方波转换成正弦波。

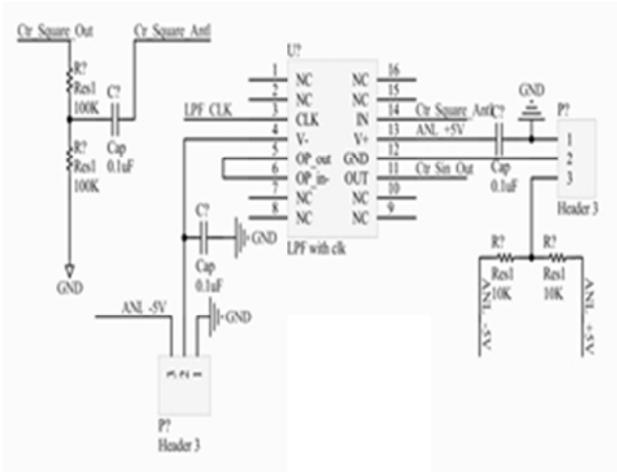


图 5 滤波系统

Fig.5 The filter system

放大系统：将滤波后的正弦波进行放大倍数可调的放大。

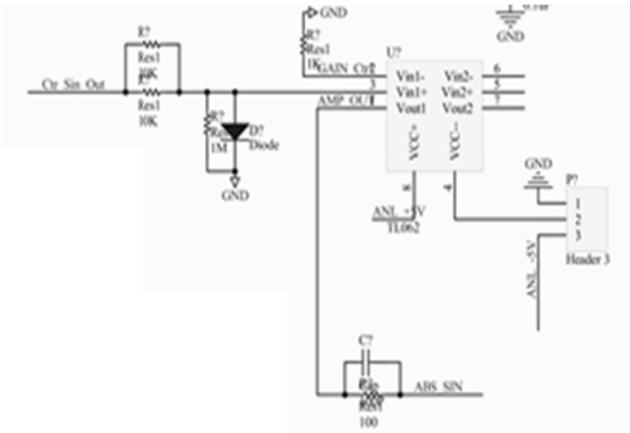


图 6 放大系统

Fig.6 Amplifier system

电流驱动系统：将放大系统输出的电压信号转换成电流信号。

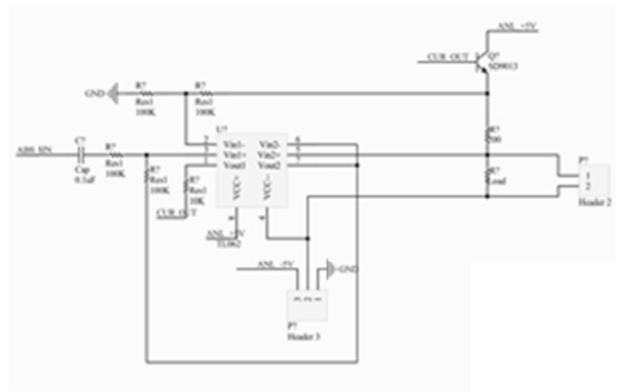


图 7 电流驱动系统

Fig.7 Current drive system

1.4 整体设计

上位机软件控制器将用户输入的指令通过串口发送至 MSP430 单片机，与 MSP430 单片机进行通讯。MSP430 单片机接收到指令后向上位机控制器发送响应反馈信息，上位机收到响应信息后在控制界面上显示相应的工作状态，用于用户实时监测当前指令如何执行。单片机处理上位机软件控制器传送的用户指令，将指令转换为相应程序，控制单片机向硬件电路输出控制电平与方波频率，并将所控制生成的正弦波频率与复制显示在 LCD 液晶显示屏上，用于用户随时观测单片机工作状态。单片机产生的不同方波控制信号分别由硬件电路的 TL062 信号放大调理模块、Max294cpA 数字滤波器、X9319WP_3 数字电位器接收。信号经放大后先经过相应方波控制的数字滤波器得到相应频率方波。正弦波经过相应方波控制的数字电位器得到相应频率相应幅值的轮速信号。整体系统工作原理图如下所示：

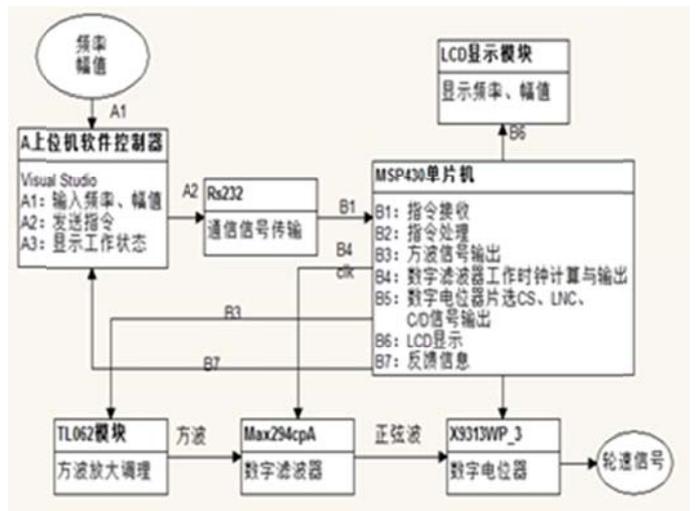


图 8 系统工作原理图

Fig.8 Working principle of the system

2 测试方案

测试分为两个层次进行，第一个层次分为两项进行。

2.1 上位机软件控制器与下位机 MSP430 连接测试

第一项，将 PC 上位机软件控制器通过 USB 转 Rs232 串口总线与下位机 MSP430 相连。通过上位机软件控制器控制界面输入不同数据和指令，测试上位机软件控制器是否完成相应功能。主要测试上位机软件控制器的上电、输入、非法数据处理、开始、发送、串口通讯、工作状态显示、停止等功能。单片机连接的 LCD 液晶显示屏显示数据与上位机控制器比较，确定单片机工作状态是否正确。利用数字示波器观测单片机输出的方波、时钟和片选信号是否正确。以上均正确无误，则进行下一项。

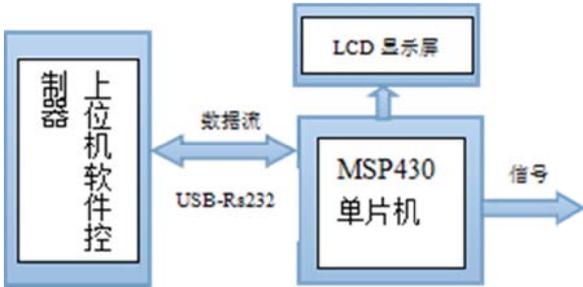


图 9 上位机软件控制器与 MSP430 单片机连接

Fig.9 PC controller connected with MSP430 single-chip microcomputer

2.2 硬件电路测试

第二项，将硬件电路与信号发生器相连利用信号发生器为硬件电路中的数字电位器和数字滤波器提供工时钟，令硬件电路产生固定频率的轮速信号。将硬件电路的输出与数字示波器相连，利用数字示波器测绘硬件电路输出的汽车轮速信号，是否与设计值相符。

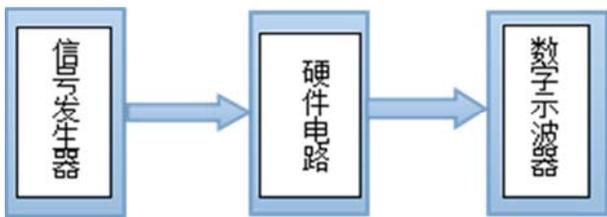


图 10 硬件电路单独检测

Fig. 10 Hardware circuit testing alone

2.3 整体测试

将三部分整体连接，通过上位机软件控制器向单片机发送指令，单片机接到指令后执行指令，并显示在 LCD 显示屏上。单片机根据指令控制硬件电路产

生相应的轮速信号。用数字示波器检测最终的轮速信号并与上位机软件控制器状态显示中的数据比较是否一致。

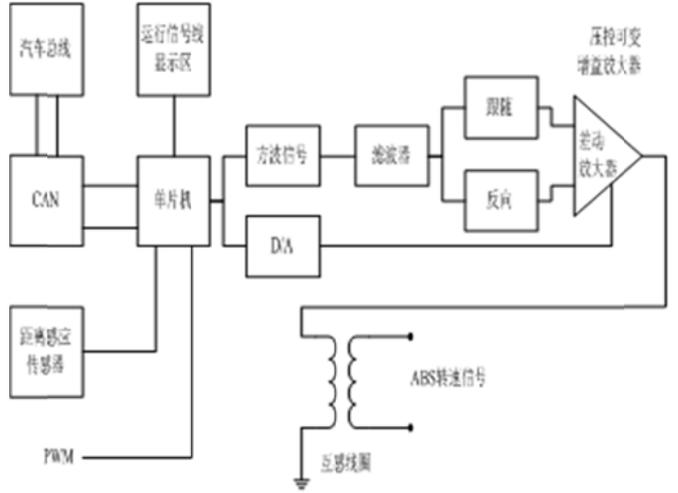


图 11 整体测试方案图

Fig.11 The overall test strategy

3 测试结果

3.1 上位机软件控制器测试结果

上位机软件控制器通过了上电测试、未正确连接单片机情况下按 START 按钮测试、未连接单片机按 SEND 按钮测试、无输入发送测试、频率超出范围发送测试、幅值超范围发送测试、在 FREQUENCY 框输入非法字符测试、正常按下 SEND 按钮测试、正常按 START 按钮测试、按 STOP 按钮测试、按 CLR 按钮测试。经测试功能以上所述全部正常。

现将上电测试、错误连接测试、错误指令测试、正常状态发送测试、正常启动测试结果展现在下面的图表中：



图 12 上电测试

Fig.12 The electrical test



图 13 未正确连接单片机情况下按 START 按钮测试
Fig.13 Press the START button without connected



图 14 频率超出范围发送测试
Fig.14 Beyond the scope of sending frequency



图 15 正常按下 SEND 按钮测试
Fig.15 press the SEND button normally



图 16 正常按 START 按钮测试
Fig.16 Press the START button

3.2 单片机工作状态测试结果

单片机部分通过了上电测试、启动测试、停止测试、串口通讯测试等:

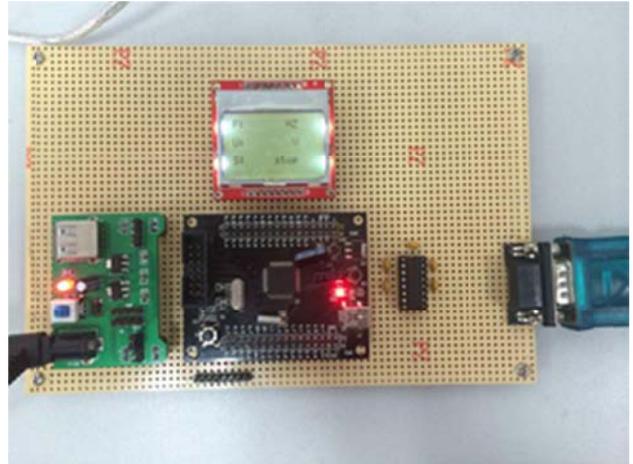


图 17 上电测试
Fig.17 The electrical test

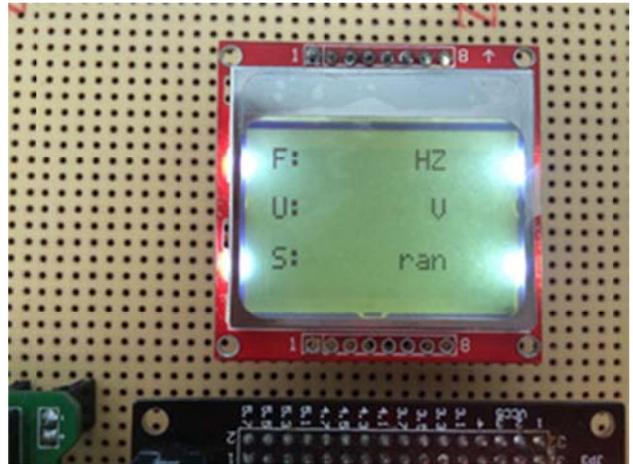


图 18 启动测试
Fig.18 Test of start

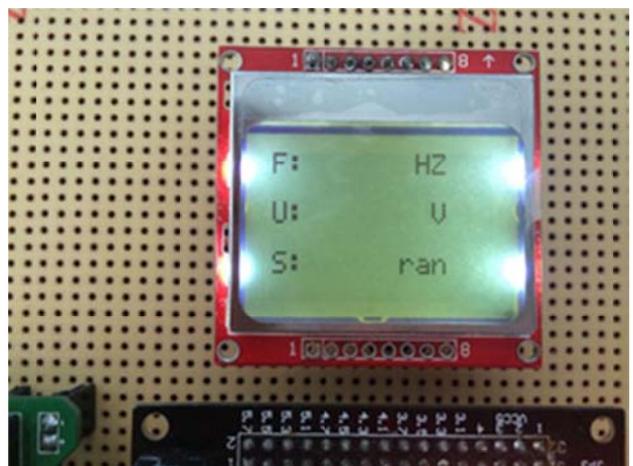


图 19 停止测试
Fig.19 Test of stop

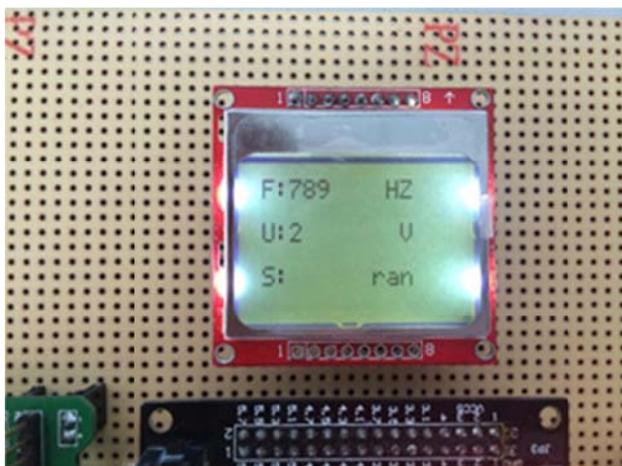


图 19 串口通讯测试

Fig.19 Serial port communication test

3.3 硬件电路输出测试结果

以频率为 100HZ、峰峰值为 4V 输入指令进行测试，得到如下测试结果：



图 20 滤波系统输出

Fig.20 The output of the filter system

表 1 测试预值与实测值对照表

Table 1 Compare of forecast values and the measured values

编号	频率 设定 值/HZ	频率 实测 值/Hz	幅值 设定 值/Hz	幅值 实测 值/V	频率 误 差%	幅值 误 差%
1	50.0	50.3	2.0	2.02	0.6	1
2	80.0	80.6	3.0	3.04	0.75	1.3
3	100.0	101.2	4.5	4.6	1.2	2.3

4 结论

基于对汽车 ABS 轮速信号模拟控制器所有部分 and 所有功能的测试得出，整体功能已经实现，可

以按照预设命令产生相应轮速信号，作品基本成功。但仍存在不足，其一电路焊接和作品外观不够美观；其二，单片机和最终产生信号的精度需要更加提高。

参考文献

1. 陈彦夫.ABS 轮速传感器的性能试验研究[D].合肥工业大学.2008
Chen Yanfu.Experimental study the performance of ABS wheel speed sensor[D].Hefei university of technology.2008
2. 周菊.ABS 霍尔式轮速传感器磁体测试技术研究[D].南京林业大学.2011
Zhou Ju. ABS Hall of magnet wheel speed sensor test technology research[D]. Nanjing forestry university.2011
3. 魏胜.汽车 ABS 测试系统的开发与试验研究[D].吉林大学.2005
Wei Sheng. The development and test research of automobile ABS test system[D]. Jilin university.2005
4. 申重阳.客车气压 ABS 与姿态预警装置的硬件在环仿真试验台开发[D].吉林大学.2012
Chongyang. Passenger air pressure ABS and attitude warning device of hardware in the loop simulation test bench development [D]. Jilin university. 2012
5. 付正.汽车 ABS 试验台检测系统研究与开发[D].北京工商大学.2010
Fu Zheng . Automotive ABS test detection system research and development [D]. Beijing industry and commerce university. 2010
6. 裴满.汽油机转速传感器电磁干扰机理与实验研究[D].南京航空航天大学.2007
7. 裴满.Gasoline engine speed sensors, electromagnetic interference mechanism and experimental study [D]. Nanjing university of aeronautics and astronautics, 2007
8. 蔡友发,郑惠群. 车辆动态称重仪的研究与设计[J]. 电子测量与仪器学报. 2007(05)

- Cai Youfa, hui-qun zheng. Vehicle dynamic weighing instrument research and design [J]. Journal of electronic measurement and instrument, 2007 (05)
9. 孙骏,陈彦夫. 汽车 ABS 轮速传感器性能测试系统的研究[J]. 汽车工程. 2007(08)
- Sun Jun, Chen Yanfu. ABS wheel-speed sensor for auto test system performance research [J]. Journal of automobile engineering. 2007 (8)
10. 李学慧,丁能根,冯永明. ABS 磁电式轮速传感器故障诊断[J]. 机械工程师. 2007(03)
- Li Xuehui,Ding Nenggen,Feng yongming . ABS magnetolectric wheel-speed sensor fault diagnosis [J]. Journal of mechanical engineer. 2007 (3)
11. 汪知望,方锡邦,陈燕. 汽车 ABS 轮速传感器及其信号处理[J]. 汽车科技. 2006(04)
- Wang Zhiwang ,Fang Xibang ,Chen yan.Automobile ABS wheel speed sensor and signal processing [J]. Journal of automotive technology. 2006 (04)
12. 王启瑞,李耀. 汽车 ABS 轮速传感器故障诊断电路设计 [J]. 汽车电器. 2001(02)
- Wang Qirui ,Li Yao. ABS wheel-speed sensor for auto fault diagnosis circuit design [J]. 2001 (02) automotive electronics.
13. 吴文民,李俄收. 车轮速度传感器的构造与维护[J]. 汽车技术. 2000(09)
- Wu wenmin ,Li E`shou . The structure of the wheel speed sensor and maintenance [J]. Journal of automotive technology. 2000 (9)
14. 陈在峰,宋键,于良耀. 汽车防抱死制动系统轮速传感器信号处理[J]. 汽车工程. 2000(04)
- Chen Zaifeng ,Song Jian ,Yu Liangyao . Automotive anti-lock braking system of wheel speed sensor signal processing [J]. Journal of automobile engineering. 2000 (04)
15. 孙骏,蒋维龙,王鹏禄. ABS 车轮角加速度的卡尔曼滤波技术研究[J]. 汽车与配件. 2010(05)
- Sun Jun Jiang Weilong, Wang Penglu. ABS wheel angular acceleration of kalman filtering technology research [J]. J 2010 (05) cars and accessories.
16. 朱俊敏,张潇,王旌阳,吴粤北. 基于模极大值和尺度理论的音频降噪方法[J]. 振动与冲击. 2009(11)
- Zhu Junmin ,Zhang Xiao ,Wang Jingyang ,Wu Yuebei . The audio noise reduction based on the theory of the modulus maxima and scale method [J]. Journal of vibration and shock. 2009 (11)
17. Georg F.Mauer, Gerard F.Gissinger and Yann Chamaillard. "Fuzzy Logic Continuous and Quantizing Control of an ABS Braking System". SAE Journal .
18. Jeremy Broughton,Chris Baughan.The effectiveness of antilock braking systems in reducing accidents in Great Britain. Accident Analysis and Prevention . 2002
19. Alok Sharma,Kuldip K. Paliwal,Seiya Imoto,Satoru Miyano. Principal component analysis using QR decomposition[J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics . 2013 (6)
20. Yinggan Tang,Xiangyang Zhang,Dongli Zhang,Gang Zhao,Xinping Guan. Fractional order sliding mode controller design for antilock braking systems[J].Neurocomputing . 2013
21. A. Azadeh,M. Saberi,A. Gitiforouz. An integrated fuzzy mathematical model and principal component analysis algorithm for forecasting uncertain trends of electricity consumption[J]. Quality & Quantity . 2013 (4)

基于 GSM 模块的智能防盗报警门锁*

温煦；袁境艺；刘通

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130026)

摘要：为了解决目前市场上防盗门锁无法向出门在外的用户及时传递报警信息的问题，以 AT89C51 单片机作为核心控制器，笔者设计了集智能、人性、安全为一体的智能防盗报警门锁。产品采用单片机主控，以完善的六位电子密码锁为基本架构，结合当下广泛使用 GSM 模块功能，实现无线人机对话，以手机短信为媒介，进行报警信息的交换和传递，并通过小型电机实现门锁的自动开合，从而达到智能防盗报警门锁的功能多样化和性能安全化。

关键词：电子门锁 GSM模块 人机对话 防盗报警

中图分类号：TG156 **文献标识码：**A

Intelligent Alarm Lock based on GSM Modules

Wen Xu; Yuan Jingyi; Liu Tong

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: In order to solve the problem that the alarm signal of current alarm lock cannot be delivered in time to outdoor users, based on AT89C51 microcontroller as the core controller, we design Intelligent Alarm Lock intelligently user-friendly and safely. The product uses MCU as main controller, based on multifunctional six-bit electronic lock and widely used GSM modules, to realize wireless man-machine interaction by SMS as alarm information. It uses small motor to achieve automatic door opening and closing. These functions together make Intelligent Alarm Lock multifunctional and safe.

Key words: Electronic door locks GSM modules wireless man-machine interaction anti-theft alarm;

0 前言

近年来，电子技术和通信技术发展迅速，老式机械锁逐渐被新兴的电子密码锁取代，电子密码锁在高科技保险箱、小区楼道智能门锁系统等领域应用十分广泛。与此同时，随着人们生活水平的提高和安全意识的增强，人们也越来越重视自己的家居环境，不仅要求家居环境的人性化和舒适化，而且人们更加关注家居系统的智能化和安全化。因此，在家居系统中，一个好的报警系统也逐渐成为了其中重要的组成部分。

目前市场上常见的家用防盗报警系统基本都是独立的报警系统，如果家中无人时，报警系

统形同虚设。而企业级的报警设施十分庞大，往往需要架设网络，成本很高，家庭无法使用。而智能家居防盗报警门锁结合了电子密码锁的高安全性和基于 GSM 无线通讯模块的报警系统高通信性，已从原来的简单化、局部化向智能化、集成化发展。

针对以上情况，为实现集智能、人性、安全为一体的智能防盗报警门锁的设计，本项目以 AT89C51 单片机为核心控制器，以完善的 6 位电子密码锁为基本架构，结合 GSM 模块实现人机对话，发送报警信息，增强门锁的稳定性和安全性，给出门在外的用户一份安心。

1 系统总体设计

* 指导教师：孙锋

项目类型：创新项目

智能防盗报警门锁采用模块化的设计思路，将门锁系统主要分为 4 个功能模块：MCU 主控模块，键盘输入和屏幕显示模块，GSM 无线通信模块、电动门锁模块，通过控制器建立模块之间的信息交换以实现智能防盗报警门锁的设计。作品

在电子门锁多次输入密码错误的情况下，通过 GSM 模块实现无线通信报警功能，在密码核对正确后通过电机控制门锁开合。其系统组成框图如图 1 所示。

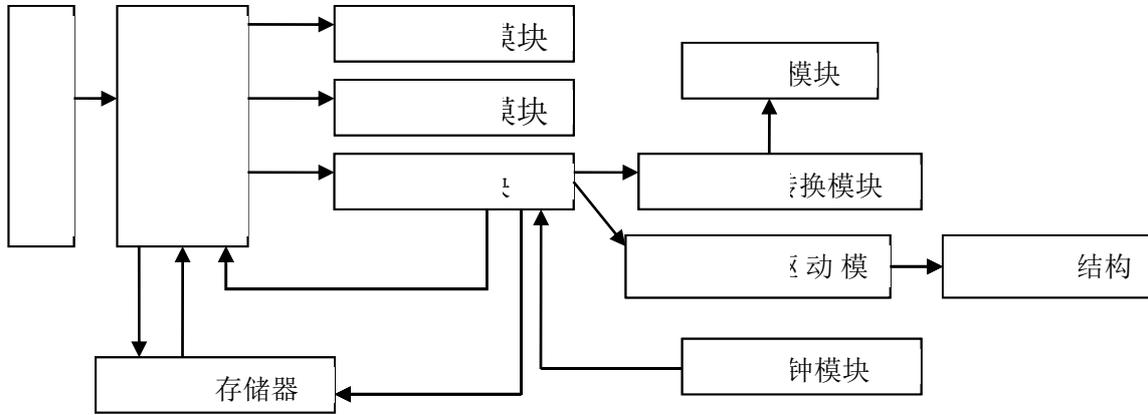


图 1 防盗报警门锁结构框图

Fig.1 Intelligent alarm lock structure diagram

2 系统硬件设计

2.1 MCU 主控模块

MCU 主控模块为门锁系统的主要部分。本设计中,选用 Atmel 公司的 51 系列单片机 AT89C51 芯片作为电子密码锁的数据处理及操作控制芯片。主控模块运用独立的单片机最小系统实现 6 位电子密码锁的基本功能,包括密码设置,修改,校对和声光报警功能。控制 lcd1602 显示屏和 4*4 矩阵式键盘,读取输入数据存储于外部存储器 24C02 中并输出给显示模块。向 GSM 模块发送报警指令,实现远距离人机对话,无线报警。通过协调其余模块的时序关系,完成程序的循环运行和功能的自锁互锁。

2.2 键盘输入和屏幕显示模块

这两个模块为此作品主要的输入和输出模块。键盘输入模块采用 4*4 矩阵式键盘完成数字键和功能键的设定;屏幕显示模块采用 lcd1602 液晶显示屏,通过 10k 电位器调节屏幕亮度保证显示的效果。整个系统上电后 lcd1602 自动初始化进入密码输入界面,16 键键盘输入分别为 0-9 十位数字键和开锁、上锁、修改、重设、清除密码以及清除一位密码六个功能键位。

2.3 GSM 无线通信模块

本设计远程通讯模块选用的是应用范围广泛的 TC35i GSM 模块。GSM 模块是将 GSM 射频芯片、基带处理芯片、存储器、功放器件等子模块集成在电路板上,具有独立的操作系统、GSM 射频处理、基带处理并提供标准接口的功能型模块。TC35i 由德国 SIEMENS (西门子)公司设计生产,是一款双频 900/1800MHZ 高度集成的 GSM 模块,电源电压范围为直流 3.3~4.8V,电流消耗休眠状态为 3.5mA,空闲状态为 25mA;可传输语音和数据信号,通过接口连接器和数据连接器连接 SIM 卡读卡器和天线。TC35i 的数据接口通过 AT 命令可双向传输指令和数据,可选波特率为 300b/s~115kb/s。自动波特率为 1.2kb/s~115kb/s。它支持 Text 和 PDU 格式的 SMS (短消息),可通过 AT 命令或关断信号实现重启和故障恢复。本设计中利用单片机 AT89C51 主控制器向 TC35i 发送 AT 指令,接收到 AT 指令的 GSM 模块向用户手机发送短信,实现远程无线报警功能。

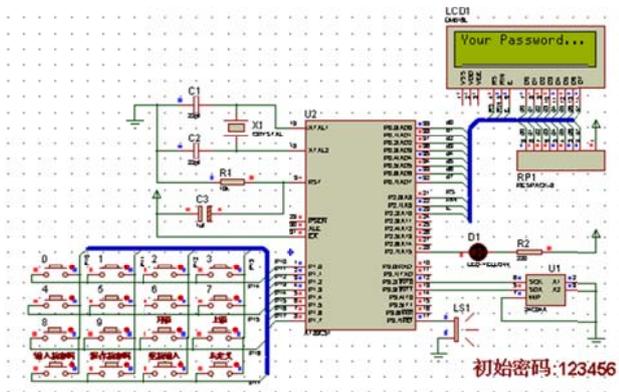


图 2 MCU 主控模块硬件连接图

Fig.2 MCU core controller connection diagram



图 3 TC35i 外部实物图

Fig.3 TC35i physical object diagram

2.4 电动门锁模块

该模块采用五线四相制 28BYJ-48 减速步进电机、ULN2003 电机驱动芯片和简易门锁实现功能。步进电机 28BYJ48 型是四相八拍电机，电压 DC5V—DC12V。当对步进电机施加连续不断的控制脉冲时，它可以不断转动。每一个脉冲信号对应步进电机的某一相或两相绕组的通电状态改变一次，也就对应其转子转过一个步距角。当通电状态改变完成一个循环时，转子转过一个齿距。ULN2003 是大电流驱动阵列，它由七个硅 NPN 达林顿管组成，输入 5VTTL 电平，输出可达 500mA/5V。具有电流增益高、工作电压高、温度范围宽、带负载能力强等特点。本设计通过单片机发送开锁闭锁指令，控制步进电机正反转，实现门锁自动开合。

3 系统软件设计

系统软件设计采用 C 语言编写并写入在 STC89C51 单片机内。

图 4 为系统工作流程图。系统上电后，初始化系统，进入工作状态，为后续相关操作做准备。实时对键盘输入信号进行扫描，识别键位后进行功能设定，进入密码输入流程，根据功能键位切换工作状态并控制驱动模块驱动电机转动。循环采集工作状态数据，并发送到显示模块。

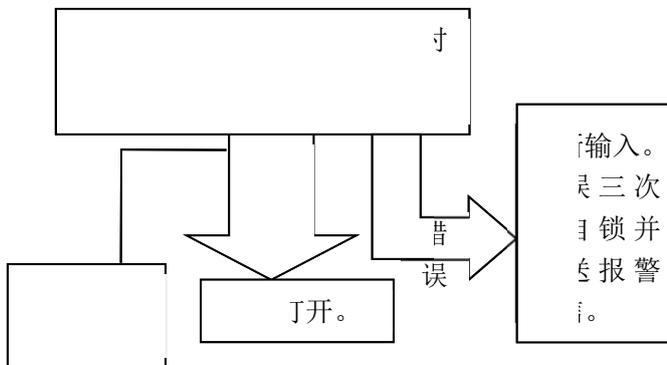


图 4 系统工作流程图

Fig.4 Work flow chart of system

4 实验结果分析

为了检验本设计的功能实现状况，对智能防盗报警门锁设计指标进行测试。搭建完整装置，针对各项功能逐一试验，从实验结果看，本设计各项独立功能均可实现。对系统进行多次操作，验证系统工作稳定、各模块通讯准确迅速。

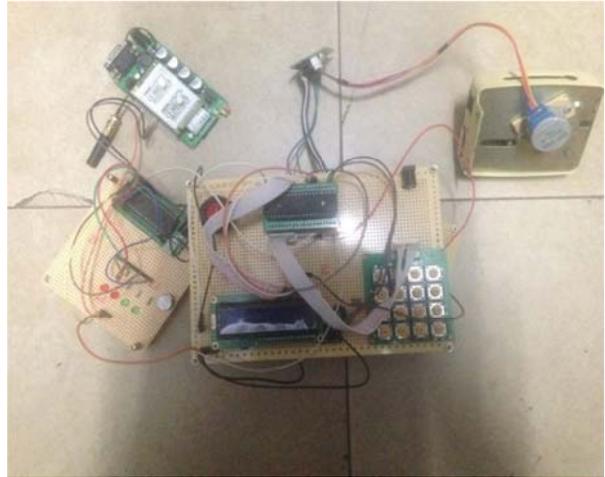


图 5 系统实物图

Fig.5 The system physical map

5 结论

本设计研究、设计一套智能防盗报警门锁，在电子门锁多次输入密码错误的情况下，通过 gsm 模块实现无线通信报警功能，在密码核对正确后通过电机控制门锁开合。充分结合当今热门的 gsm 移动通讯设备实现人机对话，增强了智能防盗报警门锁的安全性和可靠性。

参考文献

1. 韩团军. 基于单片机的电子密码锁设计[J]. 国外电子测量技术. 2010(07)
2. 张颖. 多用户密码锁的设计[J]. 电子科技. 2010(08)
3. 张云,周明辉,周海林,李爱华,孟玮. 基于 AT89S51 的多功能电子密码锁设计[J]. 电子设计工程. 2010(06)
4. 王宽仁. 可靠安全的智能密码锁[J]. 电子技术应用. 2001(02)

5. 章永华, 张世武, 杨杰. 形状记忆合金驱动的微电脑密码锁的设计[J]. 自动化与仪表. 2007(03)
6. 张帆. 基于 GSM 的电子密码锁[J]. 数字技术与应用. 2011(06)
7. 李金潭. 利用 MCU 设计 GSM 密码锁[J]. 电子测试. 2006(10)
8. 陈松, 陈佳品, 李振波, 陈文元, 赵小林. 基于电磁微电机的密码锁控制系统研制[J]. 电子技术. 2003(10)
9. 高海, 郭红霞. 基于 AT89S51 的密码锁设计[J]. 现代电子技术. 2010(18)
10. 陈燕春. 密码锁的改进——单按键[J]. 电子制作. 2003(10)
11. 刘永春, 关义平, 杨静. 基于 GSM 及单片机的汽车防盗报警系统设计[J]. 西南大学学报(自然科学版). 2011(07)
12. 罗炳莲. 基于 GSM 的智能家居防盗报警系统的设计[J]. 福建电脑. 2011(10)
13. 闫永胜, 王海燕, 白峻, 朱梦阳. 基于 HPI 接口的双 CPU 水中目标探测平台设计[J]. 电子技术应用. 2011(09)
14. 周美丽, 李建新, 白宗文. 基于 GSM 多功能防盗报警系统的设计[J]. 现代电子技术. 2011(23)

基于 ANSOFT 的接地电极电磁场特性仿真研究*

王 宁； 孙其霖； 马明亮

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要：本文基于地面电性源瞬变电磁探测应用于高阻地区时，由于发射机发射功率的限制，发射电流较小，影响探测效果的问题。通过 ANSOFT 电磁场仿真平台，主要研究适用于地面电性源电磁探测接地电极的几何参数，主要分析改变电极倾斜角度、增加接地电极数目对电磁场在大地传播的影响。并选取最佳方式降低接地电阻，提高瞬变电磁电性源探测深度。ANSOFT 平台是针对于电磁场分析及电极设计的软件。通过对 ANSOFT 仿真模拟出来的图像可得出结论。

关键词：接地电极 电性源 ANSOFT

中图分类号：TG156 文献标识码：A

Research and Simulation on the Electromagnetic Characteristics of Grounding Electrode Based on ANSOFT

Wang Ning; Sun Qilin; Ma Mingliang

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: In this paper, Based on the problem of impact on the detection results of small emission current, due to the limitation of transmit power, when the electrical source transient electromagnetic detection applied to a high-impedance region. By ANSOFT electromagnetic simulation platform, the main research applicable to ground electrical source electromagnetic detection grounding electrode geometry, changing the electrode tilt angle of the main analysis, the number of electrodes to increase the impact of ground-borne electromagnetic field in the earth. And select the best way to reduce ground resistance and improve transient electromagnetic electrical source depths. ANSOFT platform is a software targeted at electromagnetic field analysis and electrode design. We can conclude from the ANSOFT simulation images.

Key words: Grounding electrode Electrical source ANSOFT

0 前言

在野外实际工作中，采用的发射机发射功率最大为 1500W，布置一公里长度的长导线源，接地电阻在高阻地区达到几十欧姆甚至几百欧姆^[5]，不能获得较大的发射电流。因此对降低接地电阻的仿真研究非常重要。

通过运用 ANSOFT 仿真平台，可以有效地模拟接地电极的不同接地方式，并选取接地电极的最佳布置方式，在野外实验过程中有效降低接地电阻，

提高瞬变电磁信号的信噪比，进而提高探测深度。

1 理论基础

1.1 有限元法

麦克斯韦方程组是描述电磁场理论的基础，也是工程电磁场数值计算与分析的依据。有限元法是以变分原理为基础发展起来的一种常用且高效的计算方法，被广泛应用于工程力学、工程结构、水利科技、建筑材料等各个领域。有限元法是现代计算机学、应用数学、力学相互结合的产物，其实质

* 指导教师：嵇艳鞠

项目类型：创新项目

就是将所求解的整个区域离散化，将整体分割成为许多的小区域，将这些小的区域称为“有限元”或者是“单元”。有限元法需要将所求问题变为相应的变分问题，进行剖分插值，转化问题为多元函数极值问题，最终转化为多元代数方程组的求解问题。主要步骤为：

(1) 有限元剖分：将求解区域离散化，即对整体区域分割，每个有限元形状原则是任意的。对于二维求解问题有限元多为矩形或者三角形，对于三维问题则为四面体或者多面体；

(2) 插值：建立一个线性的插值函数，即将分割的有限元中的任意一点未知的函数用其形状函数及其离散网格点的函数值展开；

(3) 对近似变分方程求解：有限元法就是将整体问题离散化，对于每个有限元的场函数，可以根据能量方程等建立有限个待定参数的代数方程组，将代数方程组求解即为有限元的数值解。

1.2 垂直接地体接地电极的计算

计算公式如下：

$$R = \frac{r}{2\rho L} \ln \frac{4L}{d} \quad (1)$$

式中： ρ 是接地电阻率， L 是接地体长度， d 是接地体直径

通过公式 (1) 可以得出接地电阻与接地电阻率，接地体长度，接地体直径有关^[8]。

1.3 电磁法相似准则

为了使仿真结果更加准确，采用模型中的线性尺寸所遵循电磁法的最简化的相似准则：

$$\frac{S_m}{S_f} = \left(\frac{L_f}{L_m}\right)^2 = k^2 \quad (2)$$

式中： σ 是电导率， L 是长度。角标 m 是模拟系统， f 是被模拟的野外系统， k 是线性比例尺

利用相似准则可以使实验模拟的响应特征与相应的野外条件下的响应特征一致。表 1 给出了实际尺寸与仿真尺寸的详细列表，其中

$S_{fg}, S_{fc}, L_{fg}, L_{fc}$ 分别代表实际大地电导率，接地电极电导率，实际大地尺寸，实际接地电极尺寸；

$S_{mg}, S_{mc}, L_{mg}, L_{mc}$ 分别代表模型中大地电导率，模型中接地电极电导率，模型大地尺寸，模型接地电极尺寸。根据需要设定线性比例尺为 1000。

表 1 基于 ANSOFT 软件的接地电阻仿真模型与实际尺寸的参数

Table 1 The parameters of the actual size and the simulation model based on the grounding resistance of ANSOFT

电导率 (S/m)				线性尺寸 (m)				k
S_{fg}	S_{mg}	S_{fc}	S_{mc}	L_{fg}	L_{mg}	L_{fc}	L_{mc}	1000
0.01	10000	5.8E7	5.8E13	1000	1	1	0.001	

2 仿真模型

2.1 接地电极模型

利用 Ansoft Maxwell 3D 三维仿真软件，在瞬态场的条件下建立 1000mm · 1000mm · 1000mm 的大地模型。电极材料采用铜导体，长宽各 1mm，高为 2mm，按照相似模拟比缩小。图 1 给出了接地电极和大地模型，根据实际情况设大地为三层，电导率依次增大^[7]。

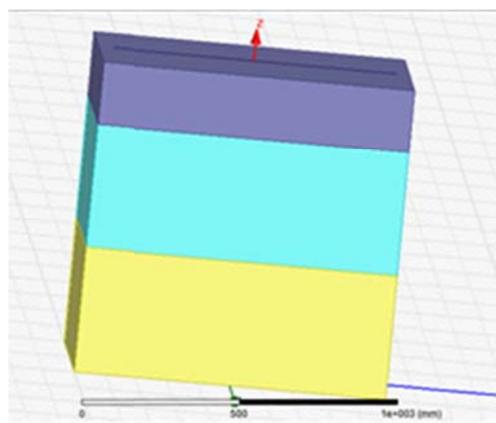


图 1 接地电极及大地模型

Fig.1 The model of ground electrode and earth

2.2 材料定义及分配

选择接地电极模型，双击任务栏中电极，在对话框材料选项中点击 edit，按照表 1 所给数据分配材料，然后在材料编辑库中新建大地材料，自行设定电阻率等参数，并指定给大地模型^[9]。

2.3 激励源的加入

分别选中电极的上表面，指定相应的电压激励。或者利用 Ansoft Maxwell Circuit Editor 软件引入外电路，如图 2 所示。通过外电路引入 1000V，1Hz 的激励电压，R3 代表长导线源导线电阻，LWinding1 代表接地电极。

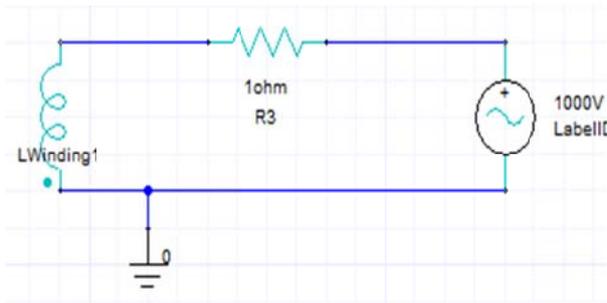


图 2 外部激励电路图

Fig.2 The Circuit of external excitation

2.4 求解方式设定及精度设定

右键任务栏中 Analysis/Add Solution Setup, 分别在 Stop time 和 Time step 栏内填入 1s 与 0.1s, 如图 3 所示。

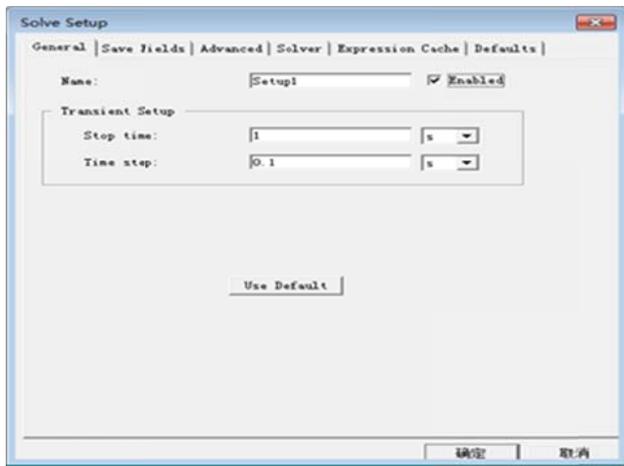


图 3 求解设置

Fig.3 Solution setup

2.5 求解区域及边界条件的设定(选择默认边界条件即可)

3 接地电极模型瞬态场仿真分析

3.1 改变接地电极角度分析

按照图 1 给出的大地模型进行仿真^[2], 分别对接地电极倾斜 15°, 30°, 45°, 90°。得到如图 3, 图 4, 图 5, 图 6 所示的仿真结果。通过对比四幅图可以看出, 电流密度的分布规律基本一致, 但是相应的电流密度分布有所不同, 为了便于比较, 所成图像均是采用系统默认的对数坐标, 可以看出当接地电极倾斜 45° 时电流密度最大, 接地电极的接地效果最好。

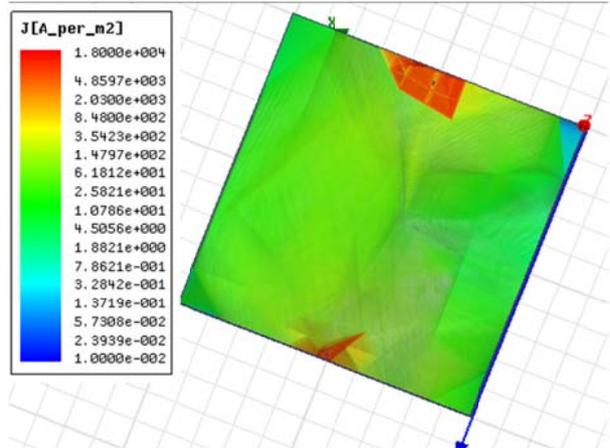


图 4 电极倾斜 15 度的电流密度图

Fig. 4 The current density of electrode tilted 15 degrees

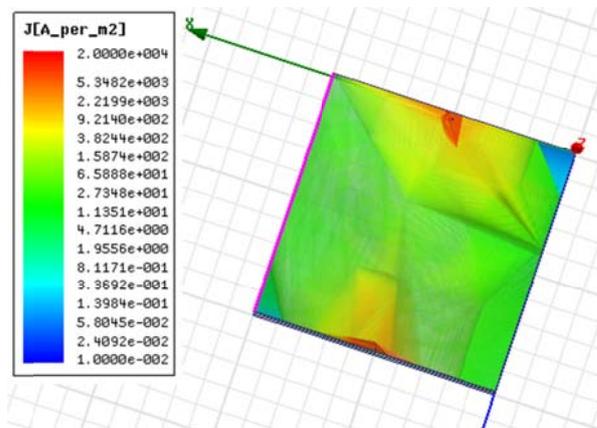


图 5 电极倾斜 30 度的电流密度图

Fig.5 The current density of electrode tilted 30 degrees

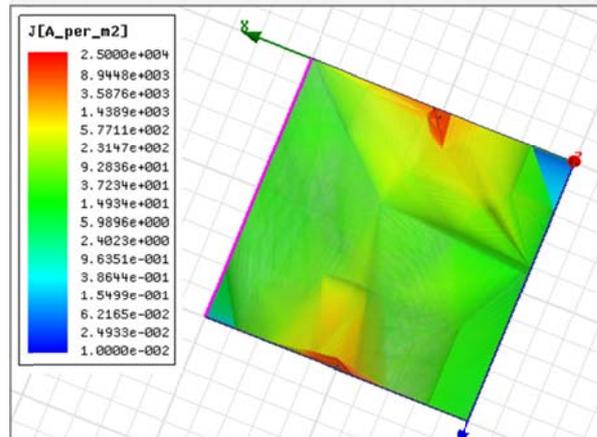


图 6 电极倾斜 45 度的电流密度图

Fig.6 The current density of electrode tilted 45 degrees

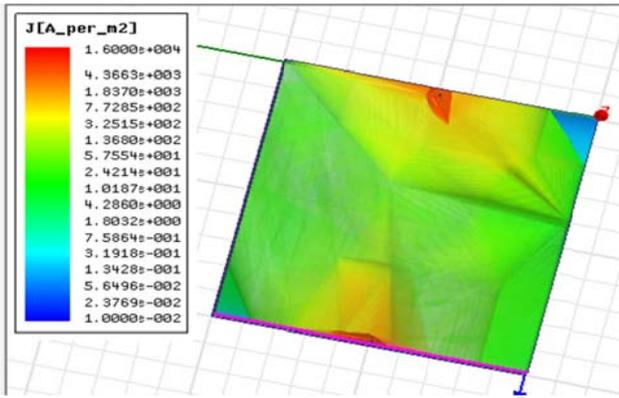


图 7 电极垂直的电流密度图

Fig.7 The current density of vertical electrode

3.2 增加接地电极数分析

按照单层大地模型进行单电极和四电极模型仿真，图 7 和图 8 分别是单电极和四电极电流密度仿真图。从仿真图上可以看出单电极模型和四电极模型颜色分布相对一致且均匀，但是相应颜色对应电流密度数值却不同，四电极模型数值明显比单电极大。

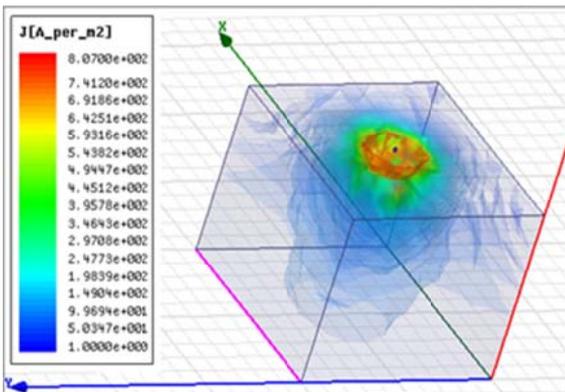


图 8 单电极模型电流密度图

Fig.8 The current density of one-electrode model

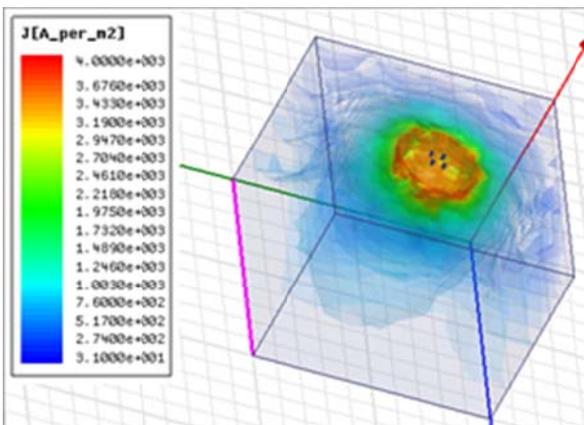


图 9 四电极模型电流密度图

Fig.9 The current density of four-electrode model

通过使用 Ansoft Maxwell 和 ANSYS 电磁场仿真分析软件，仿真设定的多介质双电极大地模型，主要研究电极的倾斜角度、接地电极数、接地体长度和体积以及大地电阻率^[4]对接地电阻和大地电流场分布的影响，大地与电极的电导率设置参照相似模拟比。通过对比分析以上仿真结果，结论如下：

(1) 各图的电场扩散情况均满足能量守恒，电场分布规律，穿越介质断层时电场方向发生倾斜，与理论相符^[3]；

(2) 对比图 4、图 5、图 6 和图 7 电流密度分布，可得倾斜 30 度—50 度时，电场分布最广泛，电极利用率最优；

(3) 对比图 8 和图 9 可知，增加接地电极数可以有效减小接地电阻。

参考文献

- 徐华,吕金煌,陈媛等.杆塔冲击接地电阻的探讨[J].高电压技术. 2005, 31(6): 73 – 75
Xv Hua, Lv Jinhuang, Chen Yuan etc. Discuss on Tower Impulse Grounding Resistance[J]. High Voltage Technology. 2005,31(6):73-75.
- 刘春,何俊佳,尹小根等.复合接地网接地电阻的计算机仿真[J].中国电机工程学报.2003, 23(6): 159 – 163
Liu Chun, He Junjia, Yin Xiaogen etc. The Computer Simulation of Composite Grounding Resistance[J]. Chinese Society for Electrical Engineering. 2003,23(6):159-163.
- 冯慈璋,马西奎.工程电磁场导论.北京: 高等教育出版社.2000.6
Feng Cizhang, Ma Xikui. Introduction of Engineering Electromagnetic Field. Beijing: Higher Education Press.2000.6.
- 冯志伟,肖稳安,马金福.影响接地电阻的测量结果的因素分析[J].电气应用.2010
Feng Zhiwei, Xiao Wenan, Ma Jinfu. Analysis on the Factors Influencing the Measurement Results of Grounding Resistance[J]. Electrical Applications.2010.
- 陈先禄,刘渝根,黄勇.接地.重庆: 重庆大学出版社.2002
Chen Xianlu, Liu Yugen, Huang Yong. Grounding. Chongqing: Chongqing University press.2002.

4 结论

6. 吴波.变电所各种降阻措施及接地电阻计算方法.2007
Wu Bo.Various Measures to Reduce Resistance and Calculation Method of Grounding Resistance in Substation.2007.
7. 曾嵘, 高延庆, 柯金良.电极位置对垂直三层土壤结构中接地系统接地电阻测量的影响[J].清华大学学报(自然科学版).2001
Zeng Rong,Gao Yanqing,Ke Jinliang. Effect of Electrode Position on Measuring Grounding Resistance in Measurement System of the Vertical Three-layer Soil Structure[J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science Edition).2001.
8. 刘俊峰, 邓居智, 张志勇,陈辉.电性源发射端接地电阻的理论计算及影响因素分析.工程地球物理学报.2012,09(4)
Liu Junfeng,Deng Juzhi,Zhang Zhiyong,Chen Hui.The Theoretical Calculation of the Grounding Resistance to Electrical Source and Its Affecting Factors Analysis. Chinese Journal of Engineering Geophysics.2012,09(4).
9. 赵博,张洪亮.Anssoft 12 在工程电磁场中的应用[M].北京:中国水利水电出版社, 2010
Zhao Bo,Zhang Hongliang. Application of Ansoft 12 in Engineering Electromagnetic Field[M].Beijing: China Water&Power Press,2010

智能门锁状态监测系统设计*

万云霞^{1,2},李士龙¹,蒋磊¹,宋涛¹

(1.吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130012;2.吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室, 长春 130012)

摘要: 针对防盗门锁存在结构复杂、智能化低等问题, 设计了可以和机械防盗门锁相结合的电子智能门锁状态监测系统。智能门锁监测系统以 STC89C51 单片机作为主控芯片, 以机械门锁为载体, 利用 GSM 信息模块、红外监测模块、影音监测模块和信息显示模块相结合, 实现对门锁是否锁紧、钥匙是否拔出等状态的实时监测。应用结果表明该系统的设计对于门锁防盗有重要意义。

关键词: 智能监测 GSM 模块 红外检测;

Smart door lock state monitoring system design

Wan Yunxia^{1,2} Li Shilong¹ Jiang Lei¹ Song Tao¹

(1.College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012,China;2. Key Laboratory for Geophysical Instrumentation of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: in view of the complex structure and low intelligence of anti-theft door lock, and design a kind of mechanical anti-theft lock with the combination of electronic intelligence door lock state monitoring system. Smart door lock monitoring system is processing the STC89C51 microcontroller as the mainly control chip, with mechanical locks as the carrier, using GSM information module, the infrared monitoring module, camera monitor module and information displaying module. The system realize the monitoring of door lock state situations, such as unlock and forget key... Response show that this kind of system design has important significance for home furnishing guard against thief.

Keywords: intelligent monitoring GSM module Infrared detection.

0.前言

在安全问题日益提到很高层面的今天, 一款安全实用的门锁在市场上定有很大需求。智能门锁监测系统, 是以让生活让家居更安全为第一出发点, 研制的一种安全性高, 可靠性好, 耐久度高的电子与机械相结合的门锁监测系统。鉴于在市面上现存的电子密码锁复杂, 安装繁琐, 设计了一种通用的便于安装并且安全性不低于市面上的密码锁的智能门锁检测系统, 满足更大的用户和市场需求。

1.整体设计

智能门锁状态监测系统由以下模块构成: 电源模块, GSM 模块, 红外监测模块; STC89C51 单片机; 语音模块; 摄像模块; 显示模块。图 1 为系统整体框图。

* 指导教师: 万云霞

项目类型: 创新项目

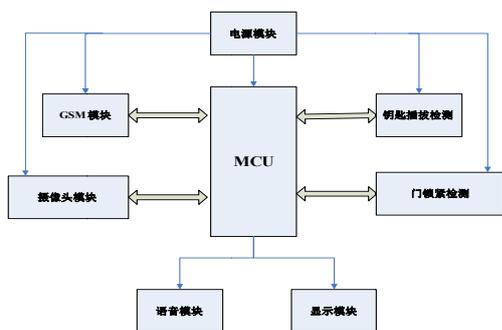


图 1 系统整体框图

Fig.1 Diagram of the whole system

2. 模块设计

2.1 GSM 模块设计

GSM 模块与单片机最小系统相接，当门锁状态监测模块检测到不安全的状态时，由 GSM 模块发送短信给用户进行提醒，同时开启影音监测模块，对门外现场进行保护。

选择华为芯片 GTM900-B，其主要参数：接收灵敏度 $< -106\text{dBm}$ ，满足设计要求，电源电压 $3.3\text{V} \sim 4.8\text{V}$ ，支持 GSM 标准 AT 命令 V.25 以及华为扩展的 AT 命令。支持电脑串口（232 电平）连接和单片机等 MCU（ $3.3\text{V} \sim 5\text{V}$ 均可）的直接连接，并且在使用单片机调试的时候可以同时连接电脑，无需跳线设置，使用电脑的串口调试助手监测单片机发送的数据，非常方便^[8]。使用插拔式 SIM 卡座，非常方便使用，带 SIM 卡保电路。其调试结果图 2。



图 2 GSM 模块调试结果

Fig.2 Debugging results of GSM module

2.2 影音监测模块

影音监测模块使用监控摄像头作为摄像原件，当满足录像的不安全状况时，启动录像，通过上位机控制影音监测模块实现对门锁周围 10m 范围内的实时监控，录像可以进行存储和电脑端实时显示。

影音监测模块进一步完善系统的安全性。搭建模块控制电路，通过控制单片机引脚电平输出来控制摄像头的开启与关闭。控制电路如图 3。

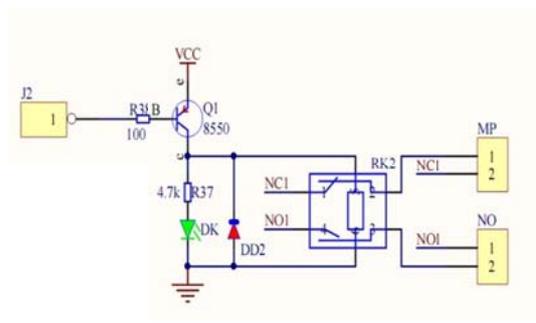


图 3 模块控制电路

Fig.3 Module control circuit

通过对 GSM 模块的调试，利用单片机串口与 GSM 实现通信，来实现对摄像头等设备的控制，通过串口调试助手，在线观测单片机运行结果，如图 4。



图 4 调试结果

Fig.4 Debugging results

影音监测模块在接收到由 MCU 发出的控制信号后，将打开摄像头，同时液晶屏显示摄像头状态，LED 提示摄像头开启，摄像头即开启录像功能。如图 5。



图 5 摄像头开启录像

Fig.5 Recording

在经过数次测试与调整后，可以实现手持端 GSM 对摄像头等设备的远程控制，并且可以通过液晶实时显示 GSM 模块的状态。

2.3 电源及显示模块

利用 5V1A 电源适配器，单片机正常工作时，需要电流为几时毫安，而其他模块同样需要供电，因此利用适配器可以更好地避免电流不够，不能驱动单片机或传感器的情况。实际应用时，适配器比

7805 稳压电源的纹波要小，同时适配器在体积上也小于前者，如图 6。



图 6 5V1A 电源适配器

Fig.6 Power adapter

选择 12864 显示屏。其为中文汉字图形点阵液晶显示模块，可显示汉字及图形，内置 8192 个中文字（16X16 点阵）、128 个字符（8X16 点阵）及 64X256 点阵显示 RAM，优势在于可以显示汉字以及显示内容较多。模块体积 93×70×12.5mm。显示摄像模块工作状态，GSM 模块发射和接收状态，门锁状态等。如图 7。



图 7 显示门锁状态

Fig.7 Display the lock

2.4 红外检测模块语音模块

TCRT5000 传感器的红外发射二极管。

用来检测门锁状态及钥匙是否拔出。TCRT5000 传感器不断发射红外线，当发射出的红外线没有被反射回来或被反射回来但强度不够大时，红外接收管一直处于关断状态，此时模块的输出端为高电平，指示二极管一直处于熄灭状态；被检测物体出现在检测范围内时，红外线被反射回来且强度足够大，红外接收管饱和，此时模块的输出端为低电平，指示二极管被点亮。根据其发射接收原理，将其结构改装，可以实现检测到门栓与钥匙的功能，体积相对较小。工作电压为 3-5V。另外其输出为单片机可识别的 TTL 电平^[7]。其检测流程图如图 7。

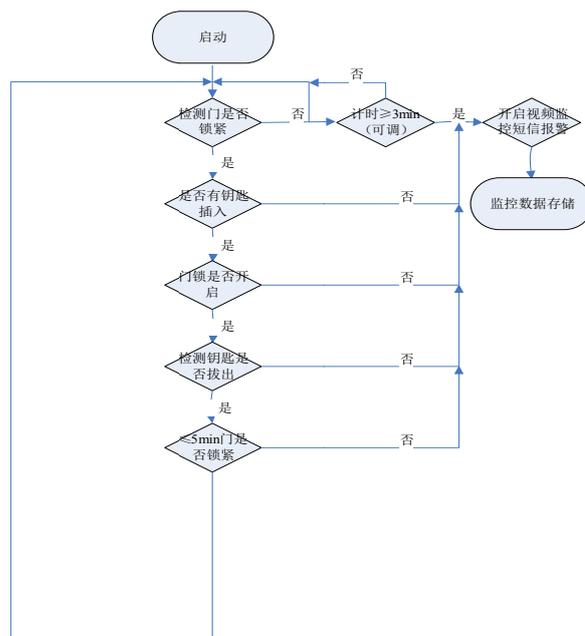


图 7 检测流程图

Fig.7 Test flow chart

上位机在接收到报警信号时，控制语音模块录音并警示，通过提示音提示陌生人已经被监控。

由于语音芯片的供电电压为 5V，因此其可以用单片机的 5V 电源对其供电，由单片机任意引脚输出低电平，控制其发声，再将其电平拉高即可实现其关闭^[10]。如果需要重新录音，可以按住模块上的 REC 键，即可实现录音。

3. 系统测试

检测门栓需要一对对管，检测钥匙需要有两对对管，由于在开门的时候，大多数的门锁需要钥匙旋转两圈以上，而光线是沿着直线传播。

在钥匙的旋转过程中，因为钥匙是一个扁状的金属片，当转到它的平面与光线平行时，有可能会发生光线依然可以被接收的红外管接收到的情况。所以当钥匙转到这种位置的时候，用另外一对对管去检测，此时正好钥匙可以挡住另外一对对管的光线。这样，只要钥匙在锁孔中，钥匙便至少可以被一对对管检测到，这样是很稳妥的一种检测方式。

单片机关于对门锁所有状态的检测，出现了 3 个输入。一个是检测门栓的对管发出，当红外管有光线被遮挡，也就是有钥匙存在和门锁锁闭情况下，为高电平输出，无钥匙和未锁闭则相反，为低电平^{[4][5]}。

根据这样的状态，分出了几种情况。根据这几种情况应该出现的反应编程。

状态 1:

此时为安全状态,即门已经锁好,钥匙已拔出。将不会有任何提示。如图 8-A。

状态 2:

此时门没有锁好,但钥匙应经拔出。此时发出报警音和开启摄像头,进行提示和录像,定时器延时 30s 后,会由 GSM 模块给手机发出一条短信,进行提示,此时显示手机收到提示,内容为: ULOCK。如图 8-B。

状态 3:

当检测到门没有锁,钥匙没有拔走的情况如时,系统会进行发出报警音和开启摄像头,进行提示和录像,定时器延时 30s 后,会由 GSM 模块给手机发出一条短信,进行提示,此时显示手机收到提示,内容为: ULOCK AND KEY FORGETTEN。如图 8-C 所示。

状态 4:

当钥匙落下时,系统会进行发出报警音和开启摄像头,进行提示和录像,定时器延时 30s 后,会由 GSM 模块给手机发出一条短信,进行提示,此时显示手机收到提示,内容为: FORGET KEY。如图 8-D。



A

B



C

D

图 8 门锁状态调试

Fig.8 Lock state debugging

1. 金桂,向国梁. 基于 C 语言 STC89C52 单片机电子密码锁的设计与仿真[J]. 现代电子技术. 2010(19)
2. 韩团军. 基于单片机的电子密码锁设计[J]. 国外电子测量技术. 2010(07)
3. 张云,周明辉,周海林,李爱华,孟玮. 基于 AT89S51 的多功能电子密码锁设计[J]. 电子设计工程. 2010(06)
4. 曹建林,孙捷,孙雪颖,任磊,杜康平. 电子密码锁设计[J]. 成都信息工程学院学报. 2010(02)
5. 朱璇,唐晓茜,殷建军. 基于单片机的智能加密电子密码锁设计[J]. 轻工机械. 2009(04)
6. 陈建林,赵立宏. 基于 Proteus 的数字密码锁的仿真设计[J]. 机械工程与自动化. 2009(04)
7. 林丽纯. 基于 iButton 的新型电子锁控制器设计[J]. 广东工业大学学报. 2009(02)
8. 顾光旭. 智能密码电子锁设计[J]. 盐城工学院学报(自然科学版). 2009(01)
9. 岳学军,陈姗,陆健强,徐兴,宋淑然. 基于单片机与串行通信的电子密码锁设计[J]. 云南农业大学学报. 2009(01)
10. 王志宏,薛增涛,陈志军,杜深惠. 智能卡电子锁的设计[J]. 现代电子技术. 2007(09)

4. 结论

利用 STC89C51 单片机及其辅助电路完成了机械锁智能监测系统的设计,实现了对不同门锁状态的监测、短信提醒、语音报警、影像监测等功能,为家居安全迈向智能化提供了更多的选择与方向,本文对于门锁监测系统的研究,对于提高家居安全产生重要意义,让我们生活更安全,更便捷。

参考文献

基于 ICL7107 的数字直流电压电流表设计*

刘有涛；赵冬；刘子琦

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要: 本设计采用 ICL7107 芯片做为数字电表的主要模块, 使得电路具有设计简单, 集成度高, 可靠性和抗干扰能力强的诸多特点。给系统能够实现 0~1.99V、0~19.99V、0~199V、0~1999V, 共四个量程电压值的测量以及 0~19mA、0~199mA、0~1999mA、0~5A, 共四个量程的电流值的测量。本系统做成了实物并经过了测试得到了良好的测试效果。

关键字: ICL7107 芯片 数字 直流 电压 电流

ICL7107 digital DC voltage and current meter based on

Liu Youtang ; Zhao Dong ; Liu Ziqi

(Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: This design uses ICL7107 chip as the main module digital meter, so that the circuit has a simple design, high integration, high reliability and performance, many features. The system enables measurement of 0 ~ 1.99V, 0 ~ 19.99V, 0 ~ 199V, 0 ~ 1999V, a total of four scale voltage values, and 0 ~ 19mA, 0 ~ 199mA, 0 ~ 1999mA, 0 ~ 5A, the measured current value of a total of four range. The system is made of a kind and has been tested with good test results.

Keywords: ICL7107 chip digital DC voltage and current

1 引言

由于传统的电压电流表需要锁存器, ad 转换器, 数码管驱动电路的多个模块, 使得整个系统结构复杂, 成本偏高。而基于 ICL7107 集成芯片设计的电表完全克服以上电表的缺点并且具有稳定性高的优点。

鉴于实验室电流表和电压表的使用率高, 损坏率大, 自主设计完成电压表和电流表可有效改善实验环境并减少损失。

对于不同的测量要求, 可针对性的设计电表的档位, 可改善实验数据的准确性和可靠性, 经济实用。

2 系统设计

本文设计的电表的精度为三位半, 五个电压量程分别为 0~199mV、0~1.99V、0~19.99V、0~199V、0~1999V, 四个电流量程分别为 0~19mA、0~199mA、0~1999mA、0~5A, 通过 4 位数码管能稳定显示读数不跳动。本产品可以单独使用, 也可以为 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置配套使用 系统结构图如图 1 所示。

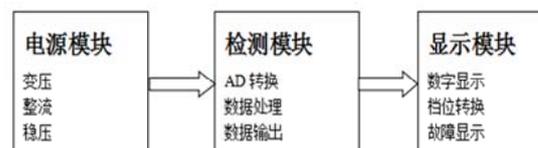


图 1 系统结构图

3 系统各模块功能及实现

* 指导教师: 程宇奇

项目类型: 创新项目

3.1 电源模块

由于电路精度要求较高，电源的电压不稳或者电源纹波的存在都会影响结果，因此为了保证电源电压为精确 5V，所采用的电源为连续可调直流电源，要求纹波控制在 10mv 以内，而对于纹波

的要求可采用一个的稳压电路达到要求，电源模块电路图如图 2，经过仿真测试，该电路的正电源输出电压为 1.26v 到 11.5v，负电源的输出电压为 -1.25v 到 -11.4v。经过对实际电路的测试，各项参数符合要求，电路的参数如表 1 所示。

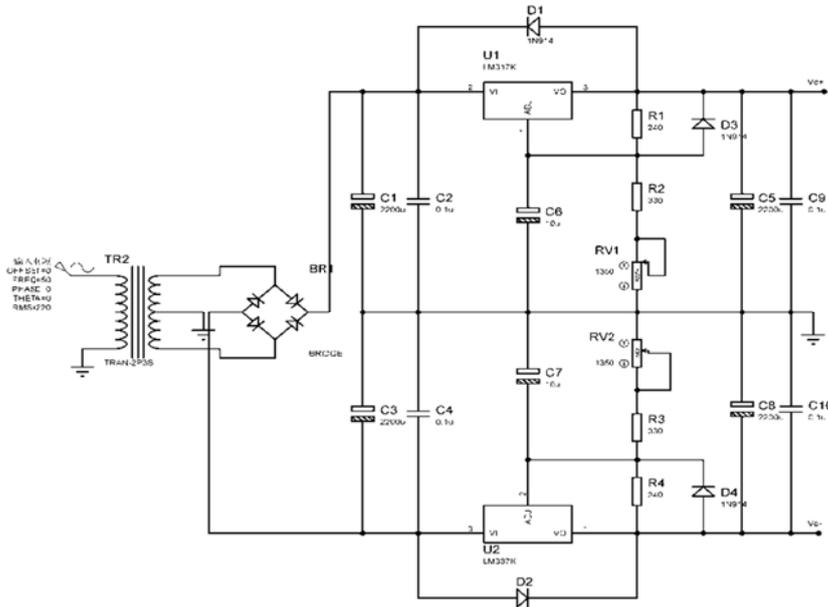


图 2 电源模块电路

	正电源	负电源
实际输出电压	1.21v ~ 13.3v	-1.23v ~ -12.96v
最大输出电压下电流值	500mA	495mA
最大电压最大电流下的纹波峰值	5mv	5mv

表 1 模块参数表

的管脚分配如图 3 所示。

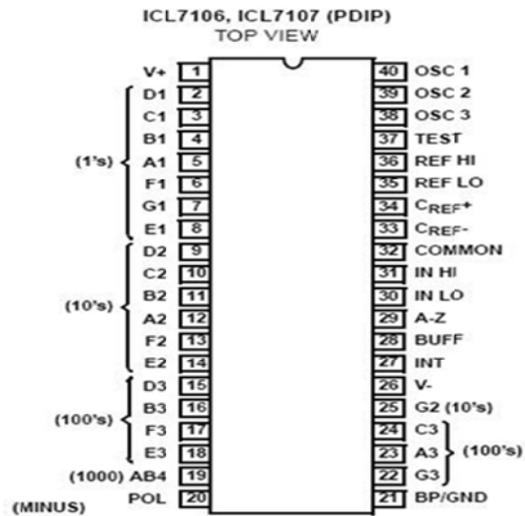


图 3 ICL7107 管脚分配图

3.2 检测模块

3.2.1 ICL7107 部分

ICL7107 是高性能、低功耗的三位半 A/D 转换电路，为双积分型，通过对输入模拟电压和参考电压分别进行两次积分，将输入电压平均值转换成与之成正比的时间间隔，然后利用脉冲时间间隔，进而得出相应的数字性输出。ICL7107 包含七段译码器、显示驱动器、参考源和时钟系统。可以直接驱动共阳极 LED 数码管，属于 CMOS 大规模集成电路。同传统的 A/D 转换芯片相比 ICL7107 将高精度、通用性和真正的低成本很好地结合在一起，它的最大显示值为士 1999，最小分辨率为 100uV，转换精度为 0.05 士 1 个字，有低于 10 μV 的自动校零功能，零漂小于 1 μV/oc，低于 10pA 的输入电流，极性转换误差小于一个字。ICL7107

3.2.2 电压测量部分

在 30、31 管脚之间接入分压电路，分别为 1.9V、19.9V、199.9V、1999.9V，当超出量程时数码管最高位显示 1，其余位不显示。每个档位与相应位置的数码管小数点分别接到手动按键开关的两侧，可以实现档位的选择和小数点位置的跳动。

每个档位的分压电阻由固定电阻改为可调电位器，精度调整由 2k 电位器以及各档位上的电位

器共同调节，电压测量部分电路图如图 4 所示。

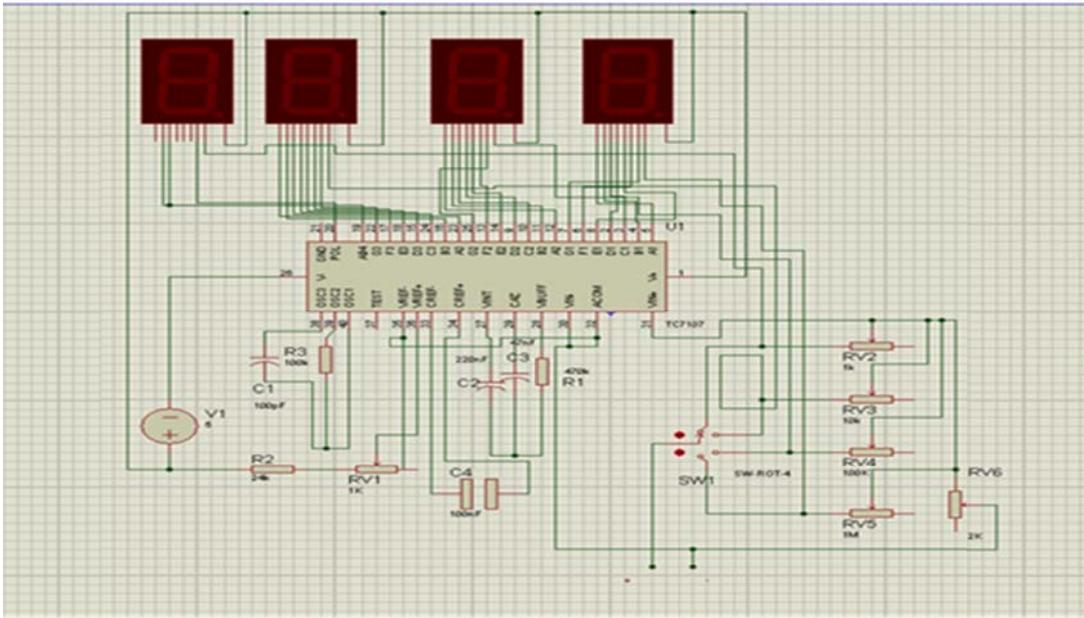
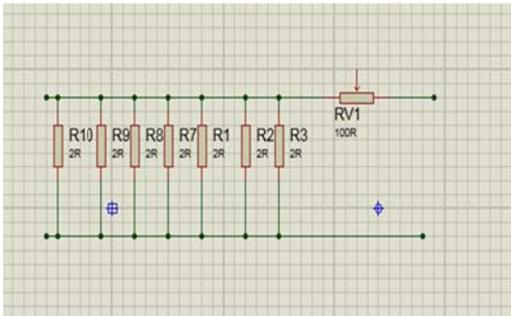


图 4 电压测量部分电路图

3.2.3 电流测量部分

根据欧姆定律 $U=IR$ 可知，对于电流的测量可由一个电压表加一个并联电阻来实现，我们设计的电表表头的基准电压为 2.000V，再有了一个面板表之后按照图 3 所示配置一组分流电阻就能得到多量程的电流表，以 5A 量程为例如图五所示



图五 5A 量程分流电路图

由于采用的为 2V 表头,要设计 5A 量程的电流表,那么理论上就要用 0.4 欧姆的大功率电阻进行分流.由于电阻材料所限以及大电流下电阻的发热导致实际电路中的电阻比理论值大上一些.经过实际测量以及实验,结果采用了 7 个 2 欧姆的电阻并联并且加上一个 100 欧姆的精密滑动变阻器进行精校可以得到一个准确的 0.4 欧姆分压电阻。

关于数字电表精度，有如下公式：精度=读数*读书精度+数字误差范围，数字误差范围任意档位下，该档位的分辨率例如，3 位半电压表，精度为 $0.5\%+1\text{dgt}$ ，选择 20V 量程（最大显示 19.99），如

果此时测量的数字为 10.00，那么精度计算为 $10.00 \times 0.5\% + 0.01 = 0.06$ ，则电压表测量在 9.94~10.06 范围内均可满足精度要求。

4 系统检测

4.1 调试仪器

可调直流电源，可调范围：0~200V；
万用表，精度 4 位半。

4.2 测试数据及结果分析

电压表、电流表的测试结果分别如表 2、表 3 所示。

表 2 电压表测试结果

量程	测量电压	显示结果	理论误差	实际误差
1.9V	1.500V	1.489V	0.1167%	0.1172%
19.9V	15.00V	14.87V	0.1167%	0.1172%
199.9V	150.0V	149.5V	0.1167%	0.1169%

电流表测试结果如表 3 所示：

表 3 电压表测试结果

量程	测量电流	显示结果	理论误差	实际误差
19 mA	15.00 mA	14.96 mA	0.1167%	0.1168%
199 mA	150.0 mA	148.6 mA	0.1167%	0.1173%
1999mA	1500 mA	1498 mA	0.1167%	0.1168%
5A	2.50A	2.49A	0.1167%	0.1171%

各个量程的误差值为：

$$U_{2V} = \pm 2/1999 = \pm 0.001V$$

$$U_{20V} = \pm 20/1999 = \pm 0.01V$$

$$U_{200V} = \pm 200/1999 = \pm 0.1V$$

用 2V 挡测量时的理论相对误差为

$$\gamma_1 = (\pm 0.05\% * 1.5 \pm 0.001) / 1.5 = 0.1167\%$$

用 2V 挡测量时的实际相对误差为

$$\gamma_2 = \pm 0.05\% \pm 1/1489 = 0.1172\%$$

γ_1 与 γ_2 相比几乎相等，说明本设计与测试用四位半电表精度相当，即满足要求。

通过计算得知，实验电表所测得的数据较准确，与万用表测量的数据有误差的原因是分压电阻和开关引起的。

5 结语

本实验采用了 ICL7107 芯片，根据此芯片具有的高集成及低功耗的特点设计了多量程的电压电流表。采取此方法设计的装置成本低，可靠性高，安装和调试简单。并且通过测试，得到了良好的效果。

参考文献

1. 陈洪中. 数字电压表. 水利电力出版社, 1989
2. 何桥, 单片机原理及应用, 中国铁道出版社
3. 谭浩强. C 程序设计. 北京: 清华大学出版社, 2005 年.
4. 侯振鹏. 嵌入式 C 语言程序设计. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
5. 陈仁森. 积分式直流数字电压表的设计. 自然科学报
6. Barry B. brey, 《The inter microprocessors》, China machine press
7. 朱彩霞. 基于 89c51ad 转换电路的研究. 自然科学报
8. 姜文波, 常用双积分 AD 转换器自动量程转换接口电路, 仪表技术, 2007 (6)
9. 杜虎林, 数字电表实际测量技法与故障检修, 人民邮电出版社
10. 杜海霞. 全数字载波电表的研究. 东北电力大学学报

负氧离子实时监测系统开发*

刘天鹏; 陈涅; 丛鑫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 针对当前在负氧离子浓度测定方面的人工记录操作, 开发出了能够对接收信号直接进行实时记录与分析处理的负氧离子实时监测系统。系统采用 MSP430F149 为核心处理器, 24 位模数转换器 ADS1240 作为 AD 采样模块, 并将数据通过串口传输到上位机中。在上位机中使用 C#语言进行编程, 实现数据实时显示并将得到的数据存入 MySQL 数据库中, 真正实现监测系统的智能化与规范化。

关键词: 实时监测 MySQL 数据库

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

Development of real time monitoring system of negative oxygen ion

Liu Tianpeng; Chen Nie; Cong Xin

(College of instrument science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: In view of the current measurement of artificial record operation in terms of negative oxygen ion concentration, developed to be able to receive real-time signal monitoring system of negative oxygen ion real time recording and analysis processing directly. The system adopts MSP430F149 as the core processor, 24 bit analog to digital converter ADS1240 as the AD sampling module, and the data transmission to the host computer through the serial port in. The use of C# programming language in the computer, realize the real-time data display and the data will be stored in MySQL database, realize the intelligent monitoring system and standardization.

Key words: Real time monitoring MySQL Database

0 引言

随着化学工业与科技的发展, 化学反应中的一些基本变化情况需要被准确认知, 对离子浓度的实时监测能够很好的对化学反应进行可靠的分析, 但传统的人工记录数据较为复杂, 实验耗时高, 需要实验人员一直在实验设备旁边观察, 工作效率自然不高。

数据库技术是一种先进的数据管理技术, 具有较强的理论性和实践性, 它能够对数据进行存储和查询。本课题所采用的 MySQL 数据库是一种开放

源代码的关系型数据库管理系统, 使用 SQL 语言进行数据库管理, MySQL 数据库因为其速度快、可靠性和适应性好。

1 实时监测系统的整体方案设计

系统的总体结构图如图 1 所示, 本系统设计主要包括两个部分: 信号采集电路设计、MySQL 数据库设计。由于本系统针对信号的处理, 对于传感器如何收集信号不予研究。

* 指导教师: 孙彩堂

项目类型: 创新项目

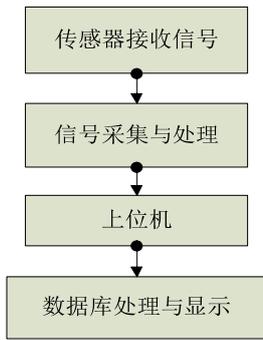


图1 总结构图
Fig.1 The totle stucture diagram

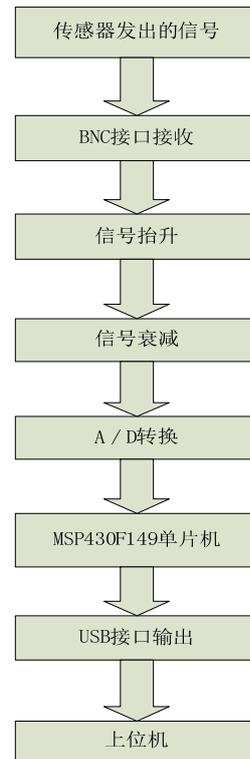


图2 硬件电路流程图
Fig.2 The hardware circuit of flow chart

2 系统硬件设计：信号采集电路

信号采集电路是将收集到的信号进行放大，滤波，A/D 转换等操作的模块，也就是使信号能够被上位机直接处理的模块。

2.1 流程图

工作流程图见图 2

本系统主要工作流程为以下 4 个步骤：

- (1) 传感器采集到的模拟信号通过 BNC 接口到达采集板，采集到的信号范围在 $\pm 1999\text{mv}$ 之间；
- (2) 对信号进行预处理，首先给信号加直流流量进行抬升，抬升到 $0\sim 4000\text{mv}$ ，然后对信号进行衰减，衰减倍数为 0.6 倍，是信号能使采集范围为 $0\sim 25\text{V}$ 的 A/D 转换器正常工作；
- (3) 对信号进行 A/D 转换，将模拟信号转换为数字信号；
- (4) 将得到的数字信号通过单片机及 USB 模块传输到上位机，同时单片机能对 A/D 转换器进行控制。

2.2 电路图

电路图如图 3 所示，

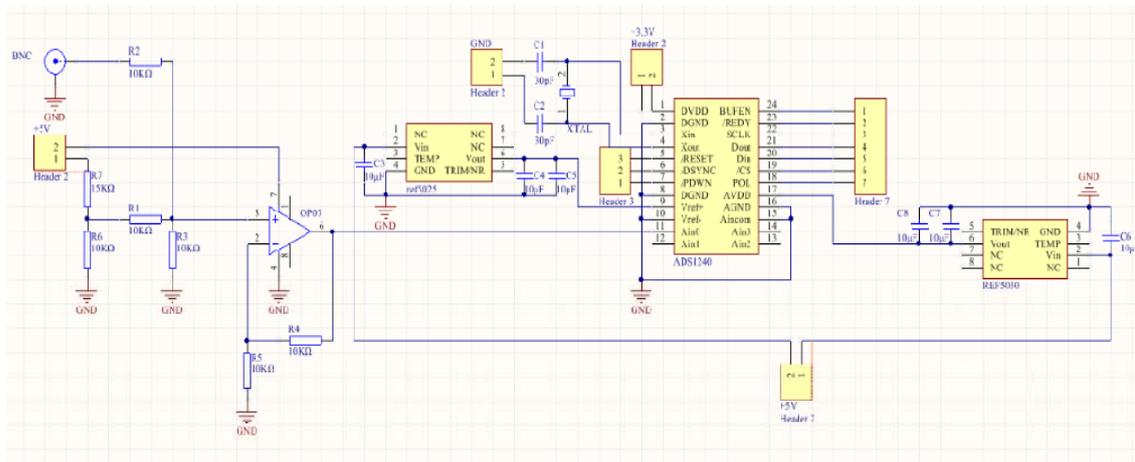


图3 信号采集转换电路图
Fig.3 Signal acquisition and conversion circuit

第一部分：OPO7 左边部分使用一直流电压输入将信号源抬升为 0~+4V；

第二部分：OPO7 组成的同相放大电路将信号衰减为 0~+2V 作为之后 A/D 转换的输入信号；

第三部分：ADS1240 通过插座与 430 单片机开发板相连，对输入的电信号进行 A/D 转换。

3 软件设计：数据处理及显示

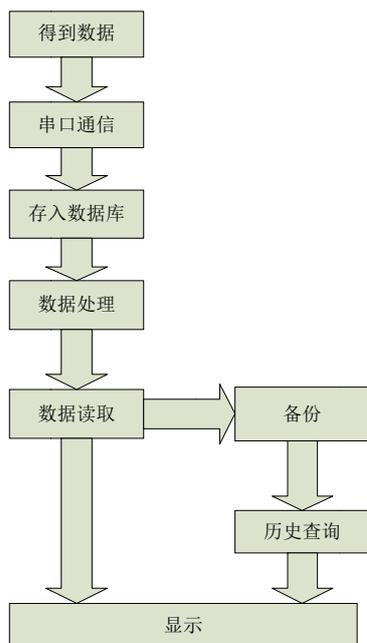


图4 数据库操作流程
Fig.4 The database operation flow chart

对 MySQL 数据库中得到数据在 vs2005 中实时显示是上位机的核心操作。编译数据库与显示的流程见图 4。

(1) 在数据接入方面，由于使用的是 USB 接口输出，MySQL 只能操作串口信号，所以编译了一个串口调试助手，将信号转换成串口信号；

(2) 建立数据库，在 MySQL 的命令窗口输入“CREATE DATABASE dc”，创建一个命名为“dc”的数据库，之后再在数据库中创建表格，输入命令“CREATE TABLE jiance(id INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,shijian ITIME,nongdu DOUBLE) ;”设置每一列的属性与自增的主键；

(3) 将得到的数据存入数据库中，并将数据库与 vs2005 连接；

(4) 使用 ZedGraph 画图控件对数据进行实时的图像显示，达到实时监测的效果；

(5) 将数据备份，便于对数据进行历史还原。

4.实验结果分析

经过调试，得到的数据存入到数据库中，图 5 为 MySQL 数据库存储的数据。

```

mysql> USE dc;
Database changed
mysql> USE shishijian;
ERROR 1049 (42000): Unknown database 'shishijian'
mysql> SELECT * FROM ssjc;
+----+-----+-----+
| id | sj   | nd   |
+----+-----+-----+
| 3573 | 09:46:46 | 0.850998487254138 |
| 3574 | 09:46:47 | 0.181880024812128 |
| 3575 | 09:46:49 | 0.650738655892545 |
| 3576 | 09:46:51 | 0.712283791840209 |
| 3577 | 09:46:53 | 0.306528611251399 |
| 3578 | 09:46:55 | 0.834931583066905 |
| 3579 | 09:46:57 | 0.147706120343742 |
| 3580 | 09:46:59 | 0.473575172700721 |
| 3581 | 09:47:01 | 0.623037398151605 |
| 3582 | 09:47:04 | 0.355402309147363 |
| 3583 | 09:47:05 | 0.27210385737573 |
| 3584 | 09:47:07 | 0.497466511324731 |
| 3585 | 09:47:09 | 0.049692338356736 |
| 3586 | 09:47:11 | 0.0386275388480292 |
| 3587 | 09:47:13 | 0.547678702300265 |
| 3588 | 09:47:15 | 0.749899068265175 |
| 3589 | 09:47:17 | 0.821561941328255 |
| 3590 | 09:47:19 | 0.259746974920736 |
| 3591 | 09:47:21 | 0.111261217906727 |
| 3592 | 09:47:23 | 0.553096588027243 |
| 3593 | 09:47:25 | 0.828570953490478 |
| 3594 | 09:47:27 | 0.652084487794007 |
| 3595 | 09:47:29 | 0.358285939487762 |
| 3596 | 09:47:31 | 0.557714024352708 |
| 3597 | 09:47:33 | 0.88439238345455 |
+----+-----+-----+
    
```

图5 MySQL数据库存储的数据
Fig.5 The MySQL database to store data

从图中可以读出显示时间范围之内的负氧离子浓度，数据库还具有历史查询功能，能够实现对离子浓度数据查询,数据备份与还原功能。

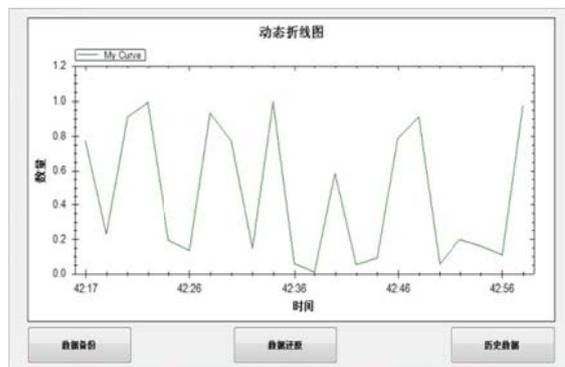


图6 动态折线图

Fig.6 Dynamic line chart

图 6 是数据实时监测动态折线图，可以直观的显示出负氧离子的浓度变化，省去了人工绘制的麻烦。

5.结论

负氧离子实时监测系统能够准确的对离子浓度进行实时监测，当出现变化时，可以第一时间发现并分析出原因，即使是没有立即发现，也可以通过历史查询得知出现变化的时间和变化的状况，做出

应对。

参考文献

1. 周淑阁.模拟电子技术基础.高等教育出版.2004;
2. 李建中.单片机原理及应用.西安：西安电子科技大学出版社.2008;
3. 范会敏，李晋惠.微型计算机原理及接口技术应用.北京:科学出版社.2001;
4. Rao.Guthikonda.1982 Microprocessors and microcomputer system[M].Van Nostrand Reinhold Company,2002;
5. Pieter Harpe.智能 AD 和 DA 转换.科学出版社;
6. Baron 王小东.高性能 MySQL（第二版）.电子工业出版社;
7. 姜承尧.MySQL 技术内幕：InnoDB 存储引擎.机械工业出版社;
8. Andrew Troelsen.朱晔 译.C#与.NET4 高级程序设计.人民邮电出版社.2011;
9. 王娜，宿红毅等.数据库性能监控分析系统的设计与实现[J].计算机工程.2005

基于 PWM 恒压源电路设计*

刘海涛; 冯金柱

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 根据实验要求设计 DC-DC 的变换电路。本设计以芯片 SG3525 为核心的 PWM 产生电路为基础的控制电路, 设计了基于 PWM 控制的开关电源。主电路是以开关电源变压器为核心的双极性变换器电路——半桥式变换器电路。通过输出电压 U 的变化, 反馈给 SG3525 误差放大器的反向输入端, 与同向输入端的基准电压进行比较从而控制输出 PWM 方波的脉宽, 达到反馈的作用, 使输出电压稳定。开关电源变压器的输出端接整流二极管进行整流, 再经过电感与电容滤波稳压, 从而得到稳定的输出。

关键词: 开关稳压电源 PWM SG3525AN

Based on PWM constant voltage source circuit design

Liu Haitao; Feng Jinzhu

(instrument science and electrical engineering college of jilin university, changchun 130012)

Abstract: according to the request of experiment design DC - DC conversion circuit. This design by SG3525 chip as the core of the PWM generating circuit based on the control circuit, switching power supply based on PWM control is designed. Main circuit is switching power supply transformer as the core of bipolar converter circuit - half bridge converter circuit. Through the change of the output voltage U, feedback to SG3525 reverse input of error amplifier, comparing with same reference voltage at the input to control the pulse width of the output PWM square wave, reach the role of feedback, make the output voltage stability. The output of the switch power supply transformer rectifier diode rectifier, again through the filter inductance and capacitance voltage stability, and stable output is obtained.

Keywords: switching power supply PWM SG3525AN

0 前言

脉冲宽度调制是目前应用比较广泛的调制方式。它通过调整开关管控制脉冲信号的宽度, 同时保持脉冲频率不变从而调节开关管的通断比。这种方式设计简单, 易于实现, 从出现到现在一直经久不衰。

经过误差放大器比较, 产生的误差信号送入比较器的反向输入端, 电路的斜坡发生器将产生的一定频率斜坡电压输入到 PWM 比较器的正向输入端, 比较器处理之后产生的频率一定的脉冲信号来控制开关管的导通。PWM 调制电路原理图如图所示

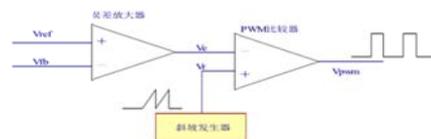


图 1 PWM 调制电路原理图

Fig.1 PWM modulation circuit principle diagram

1 实验方法和实验方案

1.1 PWM 工作原理

振荡器产生的基准信号与输出电压的采样信号

1.2 主电路方案介绍

* 指导教师: 李刚

项目类型: 短学期项目

$$DU_2 \quad 1V$$

(8) 磁芯材料 铁氧体

(9) 工作磁感应强度 B_m 0.1T

(10) 窗口利用系数 K_U 0.2

(11) 变压器调整率 α 0.5%

步骤 1: 计算变压器的输出功率 P_o

$$P_o = U_o \times I_o \quad (1)$$

$$= (12+1) \times 4.0 = 52$$

步骤 2: 计算变压器总视在功率 P_t

$$P_t = P_o \times \left(\frac{1}{1-\alpha} + 1 \right) = 104 \quad (2)$$

步骤 3: 计算面积乘积 A_p , 选择磁芯

$$A_p = \frac{P_t \cdot 10^2}{4K_U f B_m j} \quad (3)$$

式中 j —电流密度, 取为 $5A/mm^2$; 则本设计中

$$A_p = \frac{104 \times 10^2}{4 \times 0.4 \times 50 \times 160 \times 5} = 0.1625 \quad (4)$$

参考磁芯规格资料, 选择磁芯型号 EI22。其有

$$\text{面积乘积 } A_p = A_c W_a = 0.42 \times 0.39 = 0.163cm^4$$

步骤 4: 绕组匝数计算

利用法拉第电磁感应定律

$$N = \frac{U \cdot 10^4}{K_f B_m f A_c} \quad (5)$$

其中, $K_f = 4.0$ (方波)。

a. 先确定最低电压 (最少匝数) 绕组的匝数

$$N_1 = \frac{13 \times 10^4}{4 \times 0.16 \times 50000 \times 0.42} = 9.67$$

实际取 10 匝。

b. 初级绕组匝数

$$N_s = \frac{U_{in}}{2 \times U_o} N_1 = \frac{300}{13} \times 10 = 115.3$$

实际取 115 匝。

步骤 5: 确定导线规格

变压器次级绕组电流峰值

$$I_{p1} = 5 \quad (6)$$

次级电流有效值

$$I_1 = \sqrt{2D} I_{p1} = 4.47 \quad (7)$$

次级绕组导线的裸面积为

$$A_{WS1} = \frac{I_1}{j} = \frac{4.47}{500} = 0.0089 \quad (8)$$

初级绕组导线电流峰值

$$I_{ps} = \frac{P_o}{U_{in \min} \eta} = \frac{52}{300 \times 80\%} = 0.43 \quad (9)$$

初级绕组电流有效值

$$I_p = \sqrt{2D} I_{ps} = 0.385 \quad (10)$$

次级绕组导线的裸面积为

$$A_{wp} = \frac{I_p}{j} = \frac{0.385}{500} = 0.00077 \quad (11)$$

在高频变压器的设计中, 要考虑趋肤效应的影响,

为保证导线损耗最小, 要求使导线的交流电阻 (R_{AC})

小于直流电阻 (R_{DC}), 即

$$R_{AC}/R_{DC} \leq 1 \quad (12)$$

以厘米为单位的趋肤深度是

$$e = \frac{6.62}{\sqrt{f}} \quad (13)$$

$$= \frac{6.62}{\sqrt{300000}} = 0.0396$$

则导线的直径 D_{AWG} 为

$$D_{AWG} = 2e = 0.0792 \quad (14)$$

则, 导线的裸面积 A_w 为

$$A_w = \frac{p \cdot d_{AWG}^2}{4} = \frac{3.1416 \cdot 0.0792^2}{4} = 0.0049 \quad (15)$$

查导线规格表可知，21 号线直径为 0.0785cm，

导线裸面积为 0.0042 cm²，可满足设计要求。

(估算值，以实际为准) 初级侧单股绕线 115 匝，次级侧双股绕线 10 匝。总长度 135*1.3*4cm=702cm=7m

输出电感：

输出电感工作在 100KHz，电流下降时间为 2uS，

由 $\Delta u = Ldi/dt$

本设计中，选取 di=0.4，则 L 最小为 60uH 实际中为了减小电流纹波，实际

中取 100uH。采用 环形粉末磁芯绕制。

输出电感设计：

电感量 100uH 直流电 4A 交流电 0.4A

电感能量处理力：W=L I_{pk}^2 =0.882mJ

环形粉末磁芯面积：

$A_p = 2W \times 104 Bm / J K u = 0.49 cm^4$

选用 TDK 公司的 HS72T×22×6.5×14 环形磁芯，其相关参数为：AL=4400±25% nHN2/
Ae=25.6mm² ØB=14.0mm Ap=0.56cm²
N=√LAL=5 匝

实际应用中，选 3 股并绕 5 匝，总长度 1.5m 左右。因此每个电源路大概需要铜线 9m 左右。

1.4 反馈电路

输出信号的提取部分如图 3：

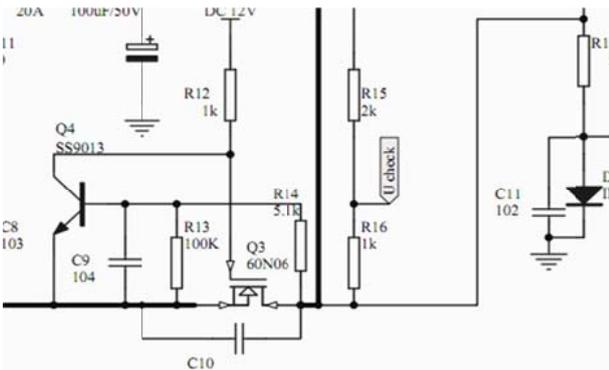


图 3 输出信号的提取部分

Fig.3 Extraction of part of the output signal

图 3 中所组成的部分为用来提取输出信号，与 SG3525 的反馈相连，是用来实现稳压的反馈回路。当有电压输出时，SS9013 三极管的基级得到一个触发电压信号，使导通，导通后 DC12V 的直流电压降落在的触发端，使导通，从而得到一个反馈信号。当输出电压改变时，放大器输入电压改变，放大后使得触发信号改变，从而改变 MOSFET 管的电压，得

到不同的反馈电压，改变 PWM 波的脉冲宽度，实现稳压的作用。

2 预期结果

由于 MOSFET 管 IRF840 的导通压降大约为 0.5V，当输入为 300V 的电压时，变压器一次侧的电压为 149.5V，经过变压比为 6:1 (这里为了方便计算，将 5.7:1 改为 6:1) 的变压器后，二次侧的电压为 25V，在经过两个导通时压降均为 0.6V 的整流二极管后，输出为 23.8V。

同理，当输入为 150V 时，输出为 11.9V。

3 测量结果

SG3525 电路 11 管脚和 14 管脚波形



图 4 11 管脚波形

Fig.411 pin waveform

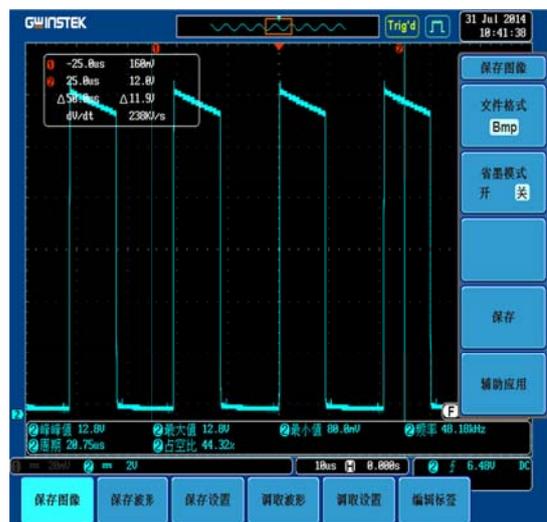


图 5 14 管脚波形

Fig.5 14 pin waveform

周期: 20.75us
 最大电压: 12.8V
 占空比: 44.32%
 频率: 48.18KHz

4 结论

通过对基于 PWM 恒压源电路的研究, 最终完成了控制电路, 变换电路, 反馈电路, 整流、滤波及稳压电路的设计, 得到了稳定的输出。

参考文献

1. Siyuan Zhou, Gabriel A. Rincon-Mora. A high Efficiency Soft Switching DC-DC Converter with Adaptive Current-Ripple Control for Portable Applications [D]. IEEE, 2006:53(4).
2. 冯子健. PWM 降压型 DC-DC 开关变换器的设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
Zi-jian feng. Type PWM step-down DC - DC switching converter design [D]. Harbin: Harbin industrial university, 2009.
3. 李伟. 基于自校正的 PWM_PSM 升压型 DC_DC 变换器的研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
Li wei. Based on the correction of PWM_PSM booster type DC_DC research and design of the converter [D]. Chengdu: university of electronic science and technology, 2008.
4. G. Hua. A New Class of ZVS-PWM Converters High Frequency Power Conversion. Conference Proceedings[C], 1991.
5. 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 修订版[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
Zhan-song zhang, Cai Xuan three. Principle and design of switch power supply. Revised edition [M]. Beijing: electronic industry press, 2005.
6. 刘军. 开关电源的应用与发展[J]. 北京: 电气时空, 2002.
Liu jun. The application and development of switch power supply [J]. Beijing: electrical space-time, 2002.
7. Marty Brown. Practical Switching Power Supply Design[M]. Academic Press, Inc, 1990.
8. 任学峰. 一种电流模式控制 PWM 开关电源的设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
Ren Xuefeng. A current mode control PWM switching power supply design [D]. Xi'an: xi'an university of electronic science and technology, 2008.
9. 冯秋霞. 一种同步降压式 DCDC 开关电源管理 IC 的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
Feng Qiuxia. A synchronous buck type DCDC switching power supply management IC design [D]. Dalian: dalian university of technology, 2007.
10. 何芸. CMOS 降压型电压转换器的高层次建模及电路设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
He Yun. CMOS step-down voltage converter of high-level modeling and circuit design [D]. Xi'an: xi'an university of electronic science and technology, 2009.
11. 林刚磊. 一种高精度 PWM 降压型 DC-DC 转换器的设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
Lin Ganglei. A high precision type PWM step-down DC - DC converter design [D]. Shanghai: Shanghai jiaotong university, 2008.
12. 朱丽芳. PWMPSM 双模式高压直流电压转换器[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2010.
Li-fang zhu. PWMPSM dual-mode high-voltage direct current voltage converter [D]. Hangzhou: zhejiang university college of electrical engineering, 2010.
13. Jiann-Jong Chen, Juing-Huei Su, Hung-Yih Lin. Integrated Current Sensing Circuit Suitable

for Step-Down DC-DC Converters[C]. 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2004.

2. Li Yanming, Lai Xinquan, Ye Qiang, et al. A current-mode buck DC-DC controller with adaptive on-time control[J]. Journal of Semiconductor, 2009.

基于 Matlab 的偶极子辐射场仿真计算*

孙世坤；牟宗鹏；宋勤睿

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130012)

摘要：利用 Matlab 仿真分析计算偶极子辐射场分布，通过对偶极子的辐射场分布公式的推导,利用电磁对偶原理电源量和磁源量的对偶关系分别得出电场分布和磁场分布公式，进行仿真得出电场和磁场的分布曲线，有助于进行偶极子天线及其电磁探测系统工作性能的分析与优化设计。

关键词：辐射场分布 对偶原理 仿真分析

中图分类号：TG156 **文献标识码：**A

Dipole radiation field based on the matlab simulation

Muzongpeng; Sunshikun; Songqinrui

(College of Instrument Science and Electrical Engineering Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Using Matlab simulation analyse and calculate dipole radiation field distribution, through the dipole radiation field distribution formula is derived ,using the electromagnetic duality principle dual relationship of the power supply as well as the source of magnetic electric field and magnetic field distribution calculated formula ,the simulation conclusion is the distribution curve of electric and magnetic fields ,which help to analyse and optimize design dipole antenna and its electromagnetic detection system performance .

Key words: The radiation field distribution Duality principle The simulation analysis

0 前言

如果带电系统的正负电荷呈现偶极子分布并且其电荷重心不重合，那么可以将其看做成两个相距很近的等量异种电荷，即电偶极子。天线是现代通信设施的重要组成部分，它能向空间中辐射电磁波，其中天线是最简单的偶极子天线，各种形式新式天线都可以看做许多偶极子天线的组合。因此，研究偶极子在空间激发的电磁场问题具有重要意义。固定频率的信号辐射和接收就经常用偶极子天线，其中VHAP和UHAP被日本VCCI等指定电波暗室和开阔场场地衰减测量等的专用天线，是很多实验室的标准。

掌握电磁辐射定义、产生原因、条件、电磁辐射天线的形成和种类。根据课内时变电磁场计算电偶极子的辐射场方法，进行类推计算磁偶极子的磁场辐射。推导出偶极子的磁力线和电力线方程，并计算单元偶极子的辐射电磁场分布。

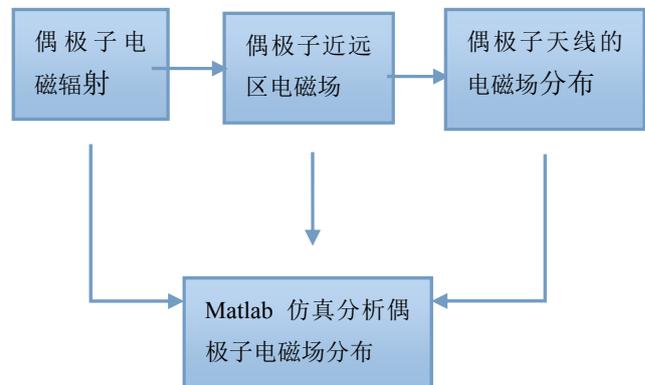


图 1 系统框图

Fig.1 System diagram

1 系统总体设计

* 指导教师：栾卉

项目类型：创新项目

2 基本公式推导

电流方向为 z ，电流为 I ，长度为 l ，则

$$\vec{J}dV \dot{\phi} = \vec{e}_z \frac{I}{S} Sdz \dot{\phi} = \vec{e}_z Idz \dot{\phi} \quad (1)$$

代入

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{m}{4p} \int_V \frac{\vec{J}e^{-jkr}}{r} dV \quad (2)$$

得电偶极子的矢量位

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{m}{4p} \int_C \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{e}_z Idz \dot{\phi} = \vec{e}_z \frac{mIl}{4pr} e^{-jkr} \quad (3)$$

在球坐标系中

$$A_r(\vec{r}) = \vec{A} \cdot \vec{e}_r = A_z \cos \varphi = \frac{mIl}{4pr} \cos \varphi e^{-jkr}$$

$$\begin{aligned} A_\varphi(\vec{r}) &= \vec{A} \cdot \vec{e}_\varphi \\ &= -A_z \sin \varphi = -\frac{mIl}{4pr} \sin \varphi e^{-jkr} \end{aligned} \quad (4)$$

$$A_\theta(\vec{r}, t) = \vec{A} \cdot \vec{e}_\theta = 0$$

电偶极子磁场

$$\vec{H} = \frac{1}{m} \cdot \vec{A} = \vec{e}_\varphi \frac{k^2 Il \sin \varphi}{4p} \left[\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{1}{j\omega\epsilon} \cdot \vec{H} \\ &= \vec{e}_r \frac{k^3 Il \cos \varphi}{2p} \left[\frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right] e^{-jkr} \end{aligned} \quad (5)$$

$$+ \vec{e}_\varphi \frac{k^3 Il \sin \varphi}{4p\omega\epsilon} \left[\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right] e^{-jkr}$$

则电偶极子近区准静态场

$$E_r = \frac{ql \cos \varphi}{2p\epsilon r^3} = \frac{p_e \cos \varphi}{2p\epsilon r^3}$$

$$E_\varphi = \frac{ql \sin \varphi}{4p\epsilon r^3} = \frac{p_e \sin \varphi}{2p\epsilon r^3}$$

$$H_\varphi = \frac{Il \sin \varphi}{4pr^2} \quad (6)$$

电偶极子远区场为

$$\begin{aligned} E_\varphi &= j \frac{Il \sin \varphi}{2lr} h e^{-jkr} \\ H_\varphi &= j \frac{Il \sin \varphi}{2lr} e^{-jkr} \end{aligned} \quad (7)$$

根据电荷、电流、磁荷、磁流对偶原理可知，磁偶极子的远区场

$$\begin{aligned} E_{m\theta} &= \frac{wm_0 SI}{2lr} \sin \theta e^{-jkr} \\ H_{m\theta} &= \frac{wm_0 SI}{2lr} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{m_0}} \sin \theta e^{-jkr} \end{aligned} \quad (8)$$

将偶极子辐射场写作分量形式：

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{k^3 Il \cos \theta}{2p} \left(\frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right) e^{-jkr} \\ E_\theta &= \frac{k^3 Il \cos \theta}{4p\omega\epsilon} \left(\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} - \frac{j}{(kr)^3} \right) e^{-jkr} \\ E_\varphi &= 0 \\ H_r &= 0 \\ H_\theta &= 0 \\ H_\varphi &= \frac{k^2 Il \cos \theta}{4p} \left(\frac{j}{kr} + \frac{1}{(kr)^2} \right) e^{-jkr} \end{aligned} \quad (9)$$

3 软件仿真设计

球坐标系中偶极子电力线满足矢量方程：

$$\frac{E_r}{E_\theta} d\varphi = \frac{1}{r} dr \quad (10)$$

得出：

$$\sin^2 \theta \frac{\cos(\omega t - kr) - kr \sin(\omega t - kr)}{kr} = K \quad (11)$$

电场的可视化中转为直角坐标：

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta &= \cos^{-1}(z/\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) \\ \phi &= \tan^{-1}(y/x) \end{aligned} \quad (12)$$

因为电场分布与 φ 角无关, 因此其关于 z 轴对称, 可以用一个过 z 的平面替代。

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}; \theta = \arccos(z/\sqrt{x^2 + z^2}) \quad (13)$$

x, z 范围 $[-r, r]$ 。

运用 Matlab 中的标量等值线方程 $[c,h]=\text{contour}(X, Z, m, K)$, 画出函数的等值线, 就可以绘出偶极子在空间中的电场分布。 k 是函数 $u(x,z)$ 在坐标 X,Z 上的值, V 是向量, 指定各条等高线的高度值 (例如电力线中的 K 值)。 h 是返回的句柄值。

4 仿真结论

Matlab 仿真结果如下图所示:

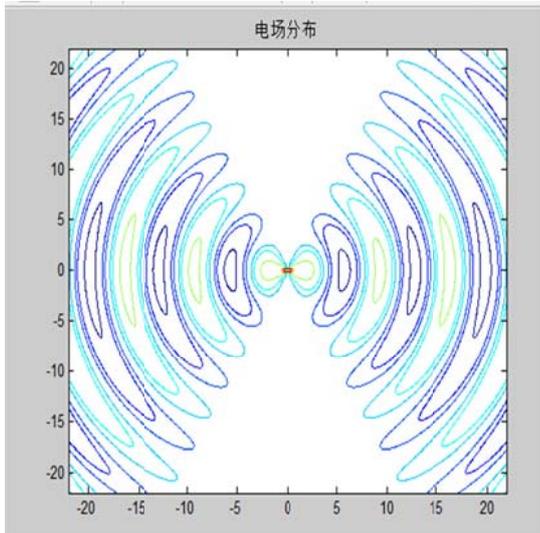


图 2 电场分布

Fig.2 The electric field distribution

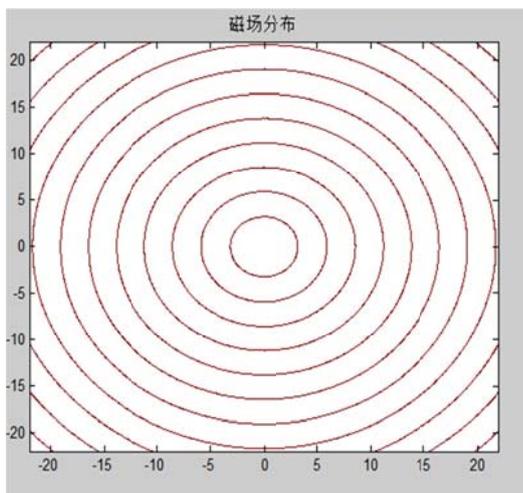


图 3 磁场分布

Fig.22Magnetic field distribution

从仿真图中可以看到电力线和磁力线在某一瞬间的分布, 在近区内, 电力线从偶极子的电荷出发,

又终止在偶极子的电荷上, 这就是库伦场; 在远区内, 由于电磁感应与位移电流的作用, 电力线摆脱了电荷而形成闭合曲线, 且偶极子辐射场具有轴对称性。

5 结论

本文通过对偶极子天线辐射场的研究推导出其电力线和磁力线公式, 并利用 Matlab 对电力线和磁力线进行仿真, 并将其做成 gif 进行仿真。从仿真中可以得到偶极子天线的电磁波辐射特点, 有利于对电磁波通信以及偶极子天线的研究。

参考文献

1. 蒋学华. 计算磁偶极子磁场的一种方法[J]. 泉州师范学院学报(自然科学版), 2002, 20 (4): 89-91
Jiang Xue-hua, A method of calculating magnetic dipole magnetic field[J]. Quanzhou normal college journals, (Natural science edition). 2002, 20 (4): 89-91.
2. 李建青. 用毕奥萨伐尔定律计算磁偶极子的磁场分布[J]. 物理与工程, 2004, 14 (4): 14-15
Li Jian-qing. With the biot-savart law calculation of magnetic dipole magnetic dipole magnetic field distribution[J]. Physics and engineering, 2004, 14 (4): 14-15.
3. Rucker W M, Richter K R. Calculation of 2D eddy current problems with the boundary element method [J]. IEEE Transactions on magnetics, 1983, 19: 2429 - 2432.
4. Misaki T, Tsuboi H. Computation of 3D eddy current problems by using boundary element method [J]. IEEE Transactions on magnetics, 1985, 21 (6): 2227 - 2230.
5. Minato A, Tone T, Miya K. Three dimensional analysis of magnetic field distortion of ferromagnetic beam plates by the boundary element method [J]. Int. J. Num. Methods in Eng., 1986, 23: 1201 - 1216.

基于 MPPT 的独立光伏电池充电系统的设计*

冯嘉兴; 梁天旭; 李吉生

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 当今全球面临着能源枯竭的问题, 解决这个问题有两个方面: 第一是节约能源, 第二是开发新能源, 要从根本上解决这个问题, 开发新能源是关键。开发和利用新能源是世界经济发展中最具决定性影响的技术之一, 其中光伏发电是开发新能源道路上最受关注的一种技术。

独立光伏发电最重要的是最大的利用光伏阵列, 提高发电的效率。另外, 有效的改善对电池的充电方式, 延长电池的寿命, 也能大大的提高光伏发电的效率。

本文主要设计独立光伏充电系统。充电电路采用了 BOOST 升压电路, 对电路参数进行了合理的设计。其中以 MSP430 单片机为控制器, 利用最大功率跟踪 (MPPT) 算法—扰动观察法, 实现对铅酸蓄电池充电。充电方式采用定电压快速充电法, 并且对电池充放电进行了合理的设计, 避免了电池损坏和能源的浪费。

关键词: 独立光伏发电 BOOST 升压 MPPT 定电压快速充电 铅酸蓄电池 MSP430

Independent photovoltaic battery charging system

Feng Jiaying; Liang Tianxu; Li Jisheng

(Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The world today is facing energy depletion problem, to solve this problem has two aspects: first, energy conservation, and the second is the development of new energy to solve this problem fundamentally, the development of new energy is the key. Development and use of new energy technologies is one of the world's economic development in the most decisive influence, which is a photovoltaic technology on the development of new energy path most attention.

Independent photovoltaic power generation is the most important use of the largest PV array, to improve the efficiency of power generation. In addition, an effective way to improve the battery charging, longer battery life, but also can greatly improve the efficiency of photovoltaic power generation.

In this paper, design independent photovoltaic charging system. Charging circuit uses BOOST boost circuit, the circuit design parameters were reasonable. Among MSP430 MCU controller, using the maximum power point tracking (MPPT) algorithm - perturbation and observation method, to achieve the lead-acid battery. Charging by constant voltage fast charging method, and the battery charge and discharge were reasonably designed to prevent damage to the battery waste and energy.

Key words: Stand-alone Photovoltaic System BOOST MPPT PV constant voltage fast charging lead-acid batteries MSP430

前言

独立光伏发电系统包括户用光伏电源系统和独立光伏电站, 其供电可靠性受环境、气候、负荷等因素影响很大, 供电稳定性也相对较差, 因此, 需

要在系统中加入能量的储存和能量的管理环节, 因此我们需要研究一种充放电控制器

光伏充放电控制器是光伏发电系统中配合蓄电池特性, 是可以实现对蓄电池充电与放电的控制的设备。充放电控制器还应当对蓄电池进行有效的充电, 以最大限度的延长蓄电池的使用寿命、防止过

* 指导教师: 刘卫平

项目类型: 创新项目

度充电和放电损害电池的寿命。光伏发电系统所供给的电力有较多的不确定因素，而且运行也不够稳定，所以系统中的蓄电池充放电的控制，比其它应用场合充放电控制要困难得多。因此，在独立光伏发电系统中使用较好的充放电控制器对蓄电池和光伏电池进行管理，有着非常重要的意义。

1 系统工作原理

1.1 独立光伏电池充电系统

原理图如图 1 所示：

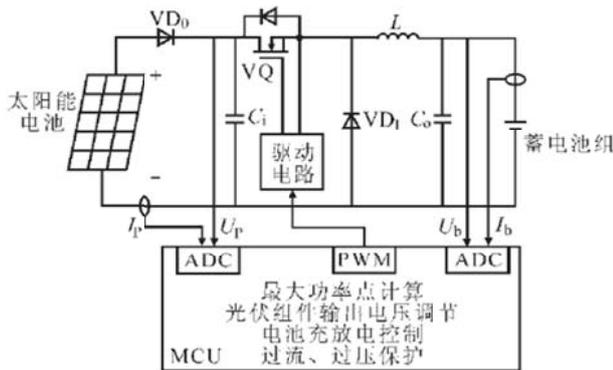


图 1 独立光伏充电系统原理图

Fig.1 independent photovoltaic charging system schematic

2 电路硬件设计

独立光伏电池充电系统中太阳能的额定输出为 12V10W，其要求是给两个 12V 铅酸蓄电池充电，电路采用 DC-DC 变换电路，因要升压，所以采用 Boost 升压电路。DC/DC 开关电源具有高效率，高功率密度和高可靠性等优点，所以可以很好的满足系统的需求。

2.1 Boost 电路工作原理

Boost 变换器的电路结构如图 2 所示：

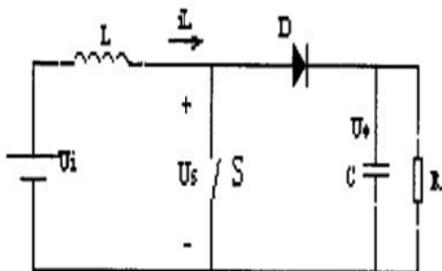


图 2 Boost 电路的结构

Fig.2 the structure of the Boostcircuit

2.2 电路工作原理：

在电路中 IGBT 导通时，电流由 E 经升压电感 L 和 V 形成回路，电感 L 储能；当 IGBT 关断时，

电感产生的反电动势和直流电源电压方向相同互相叠加，从而在负载侧得到高于电源的电压，二极管的作用是阻断 IGBT 的导通和电容的放电回路。调节开关器件 V 的通断周期，可以调整负载侧输出电流和电压的大小。

其负载侧输出电压的平均值为：

$$U_o = \frac{t_{on} + t_{off}}{T} E = \frac{T}{T} E$$

上式中 T 为开关周期， t_{on} 为导通时间， t_{off} 为关断时间。

2.3 电路参数设计与选型

2.3.1 功率开关管的选择

选用 FGA25N120ANTD 作为 Boost 升压电路的开关管，一般 IGBT 的额定值与实际值之间要有一定余量，使得器件的工作轨迹在安全工作范围内。在设计中开关管承受的最大电压为 50V，流过的峰值电流为 2A，选用 MOS 管 FGA25N120ANTD 比较合适，其额定电压 1200V，工作频率也可以满足。

2.3.2 电容、电感的计算与选型

这里取 $I_{omin}=0.5A$ ， $I_{omax}=2A$ 。根据设计要求，需要将电感电流工作在连续状态，由式 $V_o = V_s / (1 - D)$ 得到 $D = 1 - V_s / V_o$ 。当 $V_o=24V$ 时，

$D=0.5$ ；当 $V_o=30V$ 时， $D=0.6$ 。即占空比的变化范围是 0.5-0.6。

临界负载电流：

$$I_{oBm} = \frac{V_o}{2Lf_s} D(1 - D)^2$$

$D=1/3$ 时， I_{oBm} 有最大值。这里取最接近的 $D=0.5$ 。

令最小负载电流大于临界负载电流，则：

$$L \geq \frac{V_o}{2f_s} \cdot I_{omin} D(1 - D)^2$$

代入题目要求的值，取 $V_o=30V$ ，可算出 $L=75 \mu H$ 。

这里可以稍微取大一点的值，取 1.2 倍大小，令 $L=90 \mu H$ 。验算：当 $L=90 \mu H$ ， $D=0.5$ 时，算出临界

负载电流为： $I_{oB}=0.42A < I_{omin}=0.5A$ 。确保了电感电流连续，符合设计方案的初衷。可取 $R_{MIN}=30/2=15\Omega$ ，由输出纹波要求，可进一步计算出 $C > 1.4 \mu F$ 。为留一定裕量，取 $C=4.7 \mu F$ 。验算：当 $C=4.7 \mu F$ ， $D=0.5$ 时， $f_c=50KHZ$ 时：纹波小于 1%，满足设计要求。

2.3.3 功率开关 IGBT 驱动电路设计

M57962AL 是日本三菱公司生产的专用 IGBT 驱动模块，其主要特点如下：

- ① 输入高速、输出隔离，绝缘强度高达 AC 2500V/min。
- ② 输入、输出电平与 TTL 电平兼容，适用于单片机控制。
- ③ 内部有定时逻辑短路保护电路，同时还具有延时保护特性。
- ④ 具有可靠通断措施（采用双电源）。
- ⑤ 驱动功率大，可以驱动 600A/600V 或 400A/1200V 的 IGBT 模块。

M57962AL 驱动保护电路如图 3 所示：

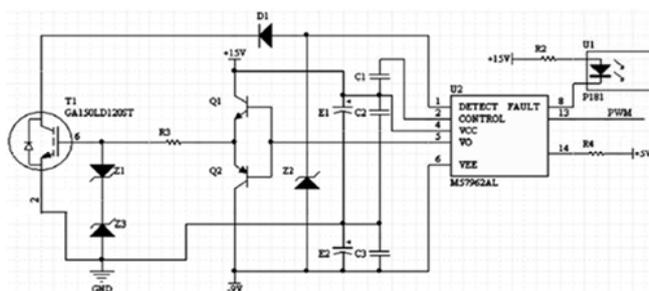


图 3 M57962AL 驱动保护电路

Fig.3 the drive and protection circuit of M57962AL

该电路具有 IGBT 过流、过压保护功能。当检测到输入端的电压为 7V 或超过时，模块则判定为电路短路，电路立即通过光电耦合输出关断信号，从而使其输出低电平，将 IGBT 的栅极和发射极置于负向偏置状态，使 IGBT 可靠关断。同时，输出故障信号使故障输出端为低电平，从而驱动外接的保护电路工作。延时 2-3s 后，若检测到为高电平，则 M57962AL 恢复工作。稳压管 Z_1 用于防止 D_1 击穿而损坏 M57962AL； R_G 为限流电阻； Z_2 和 Z_3 起限幅作用，以保证 IGBT 可靠开通与关断而不被误导通或击穿。

3 控制器设计

3.1 最大功率点跟踪

太阳能电池的输出特性曲线如图 4 所示：

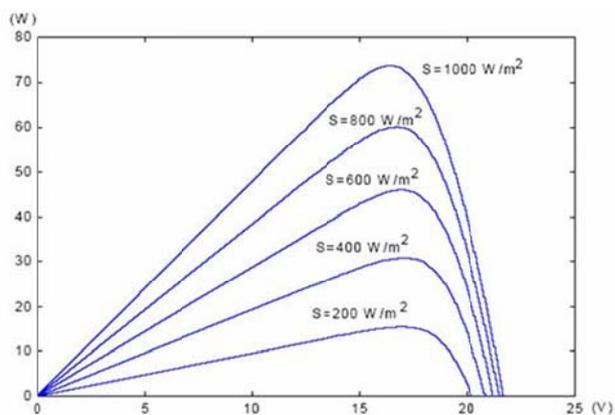


图 4 太阳能电池输出特性曲线

Fig.4 the output characteristic curve of solar cell

可知在不同光照强度下最大功率点所对应的电压近似相等，因此提出恒压跟踪的方法，近似实现 MPPT。

温度一定情况下，光照强度变化主要影响的是光伏电池的短路电流 I_{sc} ，而对最大功率点处工作电压 V_m 影响微乎其微，并且光照强度越强，光伏电池短路电流 I_{sc} 和输出功率 P 越大。光照强度一定情况下，温度的变化主要影响最大功率点处工作电压 V_m ，而对短路电流 I_{sc} 影响不大，并且温度越高，最大功率点处工作电压 V_m 和光伏电池输出功率 P 越小。光伏电池的输出特性是光伏发电系统最大功率点跟踪控制的理论依据。

扰动观察法是一种常用的 MPPT 方法，它通过改变 U_p ，并给予一定的扰动，实时跟踪的采样 U_p 和 I_p ，计算出它们的乘积，得到太阳能电池此刻的输出功率，将其与上一采样时刻的功率相比较，若大于上一时刻的功率，则维持原来的电压扰动方向；若小于上一时刻的功率，则改变电压扰动的方向。这样确保了 U_p 向着使输出功率增大的方向变化，从而实现 MPPT。

扰动观察法 (P&Q) 算法流程如图 5 所示：

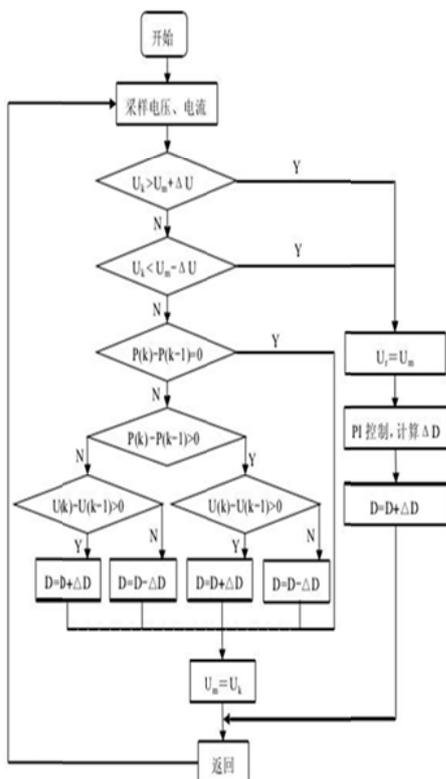


图 5 P&Q 算法流程

Fig.5 the algorithm flow of P&Q

3.2 MSP430 单片机

选用 16 位单片机 MSP430f149 作为控制电路的核心，其最大时钟频率为 8MHZ，具有强大的外设资源：

- ①12 位 ADC，具有内部参考电压源，并且具有采样、保持、自动扫描等功能。具有 12 位的模数转换器可以得到很高的精度，并且省去了使用专门的模数转换器给设计电路板带来的麻烦。
- ②具有片内比较器，既可以产生 PWM 信号，又可以实现对外部脉冲信号的捕获。
- ③具有定时器功能，不仅可以产生定时中断，又可以对外部脉冲信号进行计数。
- ④具有双串口，利用这些接口可实现单片机与上位机以及外部设备的通讯。

在该系统中，采样太阳能电池的输出电压 U_p 和输出电流 I_p ，以及蓄电池的电压 U_b 和充电电流 I_b 。利用单片机内部定时器模块的定时器中断服务子程序计算出 U_p 和 I_p 的乘积，找到最大功率点所对应的电压 U_{pref} 。利用单片机中捕获比较单元的定时器中断，完成由 U_p 和 U_b 构成的电压环的计算，得到占空比 D ，通过 PWM 模块输出，再经过隔离驱动电路去驱动功率开关 VQ，并且根据 U_b 和 I_b 完成充放电的管理与监护。

3.3 软件设计

系统软件主要有 A/D 采样程序、最大功率跟踪控制程序。

系统主程序设计如图 6 所示：

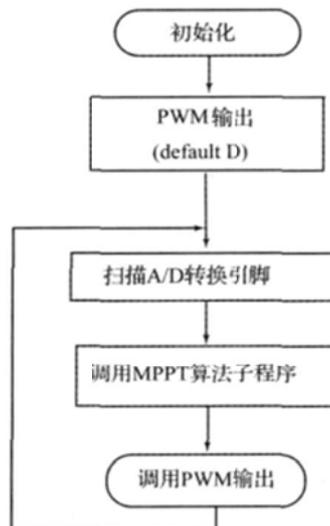


图 6 主程序流程

Fig.6 the main program flow chart

采样子程序设计流程如图 7 所示

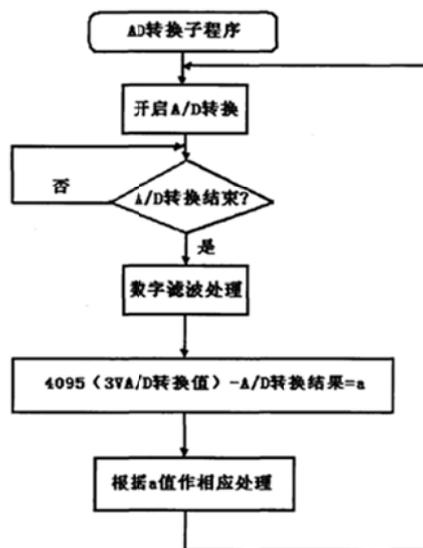


图 7 采样子程序流程

Fig.7 routine sampling process

3.4 PWM 波形产生

控制功率开关 IGBT 的 PWM 波形用单片机产生，经过驱动的作用加到 IGBT 上，通过调节占空比，从而调节电压输出。产生的波形如图 8 所示：

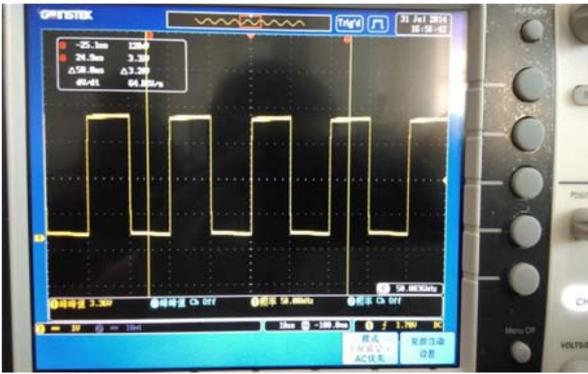


图 8 PWM 波形

Fig.8 PWM waveform

从示波器可以看出，此波形的频率为 50KHZ，满足要求，此波形的占空比为 0.5，通过外设按键对占空比进行调节，示波器的波形如图 9 所示：



图 9 调节的 PWM 波形

Fig.9 adjustable PWM waveform

4 结论

独立光伏电池由于本身的特殊性，在对蓄电池充电的方式也要选用特殊的方式。提高充电效率和延长电池的使用寿命是独立光伏充电的关键。本文主要研究的内容包括独立光伏充电系统的硬件电路、最大功率点跟踪方法的算法流程、控制器的设计以及软件设计的流程。

参考文献

1. 张杰. 光伏发电系统MPPT数字控制器设计. 电气技术与自动化, 2013, 164-171
2. 郝亮. 基于MSP430F149的光伏MPPT控制器的设计. 电子测试, 2009, 73-77
3. 文超. 独立式光伏发电系统设计. 武汉工程大学硕士学位论文文集. 2006, 39-40

4. 王敏. 光伏系统中最大功率点跟踪系统研究. 武汉工程大学硕士学位论文集 .2012, 40-50
5. 王长贵. 新能源和可再生能源的现状和展望. 太阳能光伏产业发展论坛论文集, 2003, 94-17.
6. 王飞. 单相光伏并网系统的分析与研究[D]. 合肥工业大学博士论文, 2005.
7. 杨贵恒, 强生泽, 张颖超等. 太阳能光伏发电系统及其应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
8. Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, et al. Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method[J]. IEEE Trans. on Power Electron. , 2005, 20 (4): 963-973.
9. V Salas, E Olias, A Barrado, et al. Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, 90 (3): 1555-1578.
10. 卢琳, 爻国华, 张仕文. 基于MPPT 的智能太阳能充电系统研究[J]. 电力电子技术, 2006, 41 (2): 96-98.

程控直流电源设计*

徐德鹏; 张贺; 王晓丹; 孙锋

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 本设计以 MSP430F149 单片机为控制核心, 采用电压反馈、电流反馈双环控制模式, 实现电压、电流步进控制。利用单片机内部 AD 将输出电流、电压读回并显示。通过 DA 控制主电路电流电压输出。采用 LM2576 系列的稳压器能提供降压开关稳压器的各种功能。经验证, 采用线性反馈 BUCK 拓扑结构提升 DC/DC 转换效率至 85% 左右, 利用 12 位 D/A 转化芯片控制基准源, 使电压输出误差小于 20mV, 电流误差小于 100mV。

关键词: 直流电源 电压反馈 电流反馈 程控

中图分类号: TM910 **文献标识码:** B

Design of programmable DC power supply

SUN Feng; XU De-peng; ZHANG He; WANG Xiao-dan

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021)

Abstract: This design uses MSP430F149 MCU as control core, using voltage feedback and current feedback loop control mode, realizing step control of voltage and current. Using internal AD reads and displays the output voltage and current. Using DA controls current and voltage output of the main circuit. Using LM2576 series regulator can provide all kinds of function of step-down switching regulator. After verification, using linear feedback BUCK topology structure can improve the conversion efficiency of DC/DC to about 85%. By using conversion chip with 12 bit D/A which controls reference source, the output voltage error is less than 20mV and the current error is less than 100mV.

Key words: DC power supply Voltage feedback Current feedback Program control

0 前言

随着电子技术的飞速发展, 电子系统的应用领域越来越广泛, 电子设备的种类也越来越多, 电子设备与人们的日常工作、生活的关系日益密切。任何电子设备都离不开可靠的电源, 它们对电源的要求也越来越高。电源是电子设备的心脏部分, 其质量的好坏直接影响着电子设备的可靠性, 而且电子设备的故障 60% 来自源, 因此, 电源越来越受到人们的重视。

以单片机系统为核心而设计制造出来的新一代稳压电源不但电路简单, 结构紧凑, 价格低廉, 性能卓越, 而且单片机具有计算和控制功能, 利用

它对采样技术进行各种计算, 从而可排除稳压电源输出电压和输出电流精度不够的问题, 降低和减少由于骚扰信号和模拟电路引起的误差, 大大提高了对模拟电路的要求。智能稳压电源可利用单片机设置周密的保护检测系统, 确保电源运行可靠。输出电压和电流采用数字显示, 输入采用键盘方式, 电源的外表美观, 操作使用方便, 具有较高的使用价值。

1 系统设计

1.1 DC/DC 主电路设计

以 BUCK 拓扑为主电路, 以线性方式进行反馈。由于以 BUCK 拓扑为降压主电路结构, 所以可以保证

* 指导教师: 孙锋

项目类型: 竞赛项目

DC/DC 变换电路的高效率；而线性的反馈方式会简化电路的调试过程。结构框图如图 1 所示。采用 LM2576 系列的稳压器能提供降压开关稳压器的各种功能，能驱动 3A 负载，有优异的线性和负载调整能力。

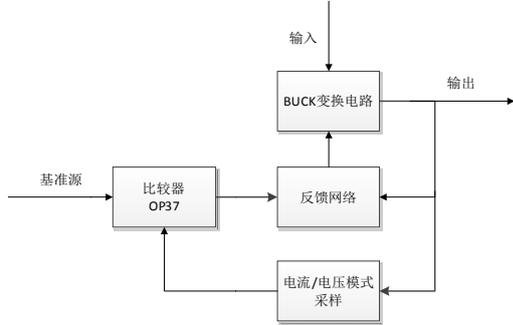


图 1 线性反馈 BUCK 拓扑结构框图

Fig.1 Linear feedback BUCK topological structure diagram

1.2 反馈环路设计

LM2576 是高度集成化的开关电源芯片，由于其基准源内置，所以无法通过改变基准源的方式对输出进行控制，事实上 LM2576-ADJ 只能通过改变输出端的电压采样电阻的分压比来对输出进行控制。N 沟道 MOS 管 IRF540 可充当压控电阻，在 IRF540 的 D, S 端间接入 10K 电位器，D 管脚与 LM2576 输出间接 10K 电阻，适当调节电位器（约 3K），调节采样电阻初值，通过调节 IRF540 G 极电压，可以调节采样电阻值。

对于电压模式反馈设计，因为 OP37 比较器一端输入单片机控制 DA 输出电压为 0~5V，所以可以采用电阻分压方式。对于电流模式反馈设计，可以使用电流采样芯片 INA282。INA282 只能进行高边采样。如果电流反馈电压比较大，超过 5.0V 时，应适当分压后，接入反馈环路。

1.3 电流采样电路设计

多电源模块各自的电流及电流比例依赖于对输出电流的精确测量。传统电源中电流采样位于低端，即负载回流端。但在本系统中，因为多个 DC/DC 单元并联，地线必须公用，因此无法使用低边采样，需要用高边电流采样。高边电流采样要求放大器必须具备大动态输入范围以及高共模抑制比，采用 TI 公司专用高边电流采样芯片 INA282，将串联在正极的采样电阻 R_s 两端的电压转化为单端电压，供控制电路使用。

INA282 的增益为 50，采用电阻阻值为 R_s 时，反馈电压为：

$$V_{IFB} = 50 \cdot R_s \cdot I_0 \quad (1)$$

2 电路设计

2.1 整体方案

系统总体框图如图 2 所示，由显示控制电路、DC/DC 主电路、电压采样和电流采样模块组成。

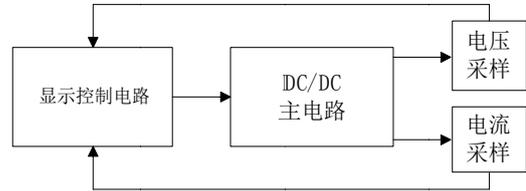


图 2 系统总体框图

Fig.2 Block diagram of the whole system

2.2 电流采样电路设计

电流采样设计子系统电路如图 3 所示。采用 TI 公司专用高边电流采样芯片 INA282，将串联在正极的采样电阻 R_s 两端的电压转化为单端电压，供控制电路使用。

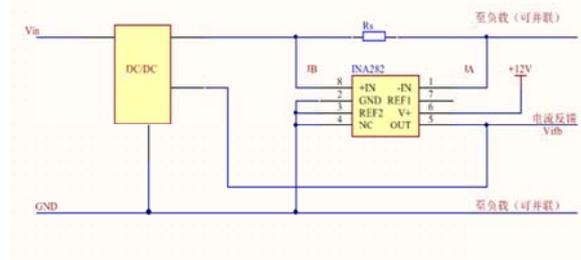


图 3 电流采样电路设计子系统电路

Fig.3 Current sampling circuit design subsystem circuit

2.3 D/A 转换电路设计

D/A 转换子系统电路如图 4 所示。采用 D/A 转换芯片 MAX532，并利用 OP37 搭建一个反相器，实现 D/A 转换电路的设计。

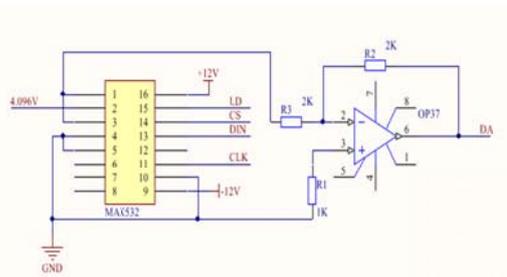


图 4 D/A 转换子系统电路

Fig.4 D/A conversion subsystem circuit

2.4 基准源电路设计

基准源子系统电路如图 5 所示。利用集成三端稳压芯片 LM317 实现电路要求的基准源电路的设计，并能产生 4.096V 的基准电压以供电路使用。

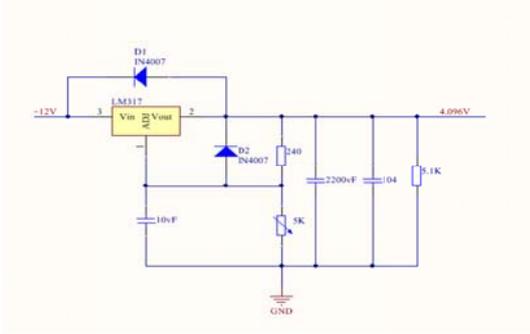


图 5 基准源子系统电路

Fig. 5 Reference source subsystem circuit

3 软件设计

主控制器的程序流程图如图6所示。

主控制器的程序流程图主要包括初始化函数、主函数、键盘函数、DA 函数、AD 函数和显示函数，主要任务是实现键盘的设置和显示。

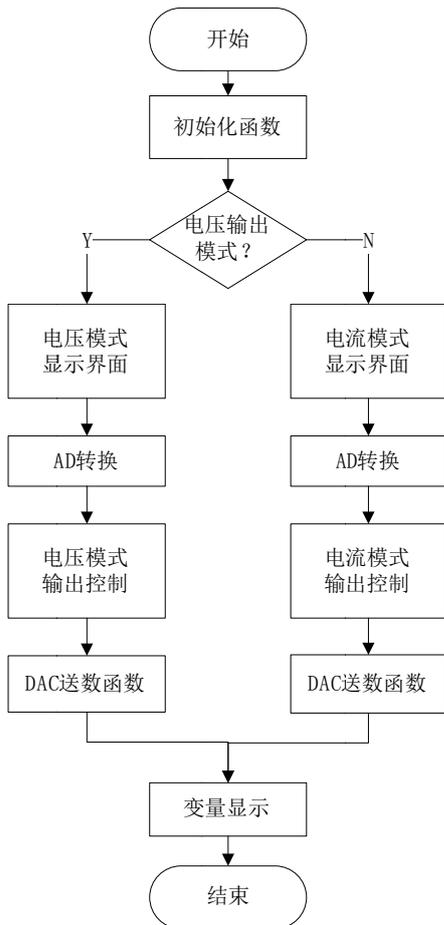


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Flow chart of main program

4.1 测试方案

电压、电流硬件测试示意图分别如图7和图8所示。

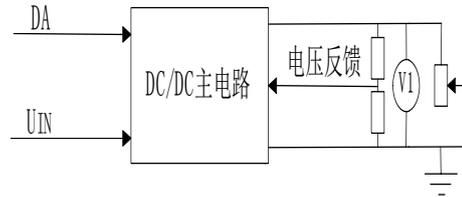


图 7 电压硬件测试示意图

Fig. 7 Schematic diagram of voltage hardware test

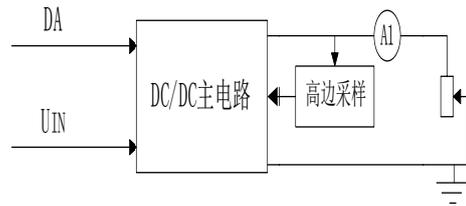


图 8 电流硬件测试示意图

Fig. 8 Schematic diagram of current hardware test

4.2 测试结果

电压档信号测试结果如下表1所示（带载6Ω）：
（单位/V）

4 测试方案与测试结果

表 1 电压档信号测试结果

Table 1 Voltage signal test results

信号值	6.000	7.000	8.000	9.000	9.500	10.000	11.000	12.000
显示	6.00	7.01	8.01	9.01	9.52	10.02	11.01	12.00

U_{IN}	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00	26.000	28.00	30.000
U_{out}	12.00	12.01	12.01	12.01	12.01	12.02	12.02	12.02

$U_{IN}=24V$, $U_0=12V$, $I_0=2A$ 时; $U_{OPP}=0.17V$

电流档信号测试结果如下表 2 所示 (带载 4.5Ω):

(单位/A)

表 2 电流档信号测试结果

Table 2 Current signal test results

信号值	0.3000	0.6000	0.9000	1.2000	1.5000	1.8000	1.9000	2.0000
显示	0.30	0.60	0.91	1.20	1.49	1.80	1.89	1.99

R_S	3Ω	6Ω
I_O	2.00A	1.90A

4.3 测试结果分析与结论

采样,可以有效降低外界干扰,从而使输出稳定。

根据上述测试数据,可以得出以下结论:

- 1、输入直流电压为 $20V\sim 30V$ 时,输出电压可设置为 $6\sim 12V$,最大输出电流不小于 $2A$,电压步进精度 $100mV$;
- 2、输入电压 U_{IN} 为 $20V\sim 30V$,输出电压 $12V$ 时,电压调整率 $SU\leq 2\%$ ($I_0=2A$);
- 3、输出电压纹波峰-峰值 $U_{OPP}\leq 0.2V$ ($U_{IN}=24V$, $U_0=12V$, $I_0=2A$);
- 4、输出电流 I_O 从 $0\sim 2A$ 变化时,电流步进精度 $100mA$,负载阻抗不大于 6Ω ;
- 5、输出电流 I_O 为 $2A$,负载从 3Ω 变为 6Ω 时,电流调整率 $SI\leq 5\%$ ($U_{IN}=20V$);
- 6、无论电压源还是电流源工作模式,变换器在满载情况下效率 $\eta\geq 70\%$ ($U_{IN}=30V$)。

综上所述,本设计达到设计要求。

参考文献

1. 康华光. 电子技术基础 模拟部分[M]. 第五版. 北京: 高等教育出版社, 2006. 301-305.
2. 梁适安. 开关电源理论与设计实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013. 10-12.
3. Abraham I. Pressman 等. 开关电源设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010. 123-126.
4. 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 第五版. 北京: 机械工业出版社, 2011. 135-138.
5. 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

5 结论

本文设计了以 MSP430F149单片机为控制核心,采用电压反馈、电流反馈双环控制的程控直流电源。程控直流稳压供电系统设计简单、开销小、应用范围广,适用实验室、工厂等不同领域。

当然,也存在了很多的问题,例如算法较复杂及 AD 转换不呈线性变化等,究其原因,所接的地是一个平面,受到的外界干扰大,导致输出纹波大。将低端采样换成高端采样,即对电阻两端电压进行

介质电阻率频率特性测试仪信号源设计*

徐德鹏; 王载阳; 史可; 刘长胜

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 电阻率作为表示各种介质电阻特性的物理量, 受到介质物质成分、孔隙结构中含水量、环境温度等影响。在进行海洋电磁探测或是陆地电磁探测时, 针对不同深度的探测采用不同频率的信号进行探测。不同频率探测得到的介质的电阻率的差异除了随探测深度改变而改变外, 还有可能受到频率改变的影响。为了了解频率改变对介质电阻率的影响, 开发一套介质电阻率频率特性测试仪就显得很有必要。普通的电阻率测试仪能够实现对介质电阻率的测量并对温度等参数进行检测, 但基于变频信号发生器研究介质电阻率的测试仪却并没有进行开发。基于此, 本文介绍了直接数字式频率合成(DDS)的原理, 依据其原理提出一种基于单片机MSP430F149控制直接数字频率合成芯片AD9850产生频率可调的正弦波信号发生器的电路设计, 为研究频率改变对介质电阻率的影响奠定了基础。

关键词: 频率合成 AD9850 信号发生器 MSP430F149

中图分类号: TP216 **文献标识码:** B

Design of Signal Source of Frequency Characteristic Tester of Dielectric Resistivity

XU Depeng; WANG Zaiyang; SHI Ke; LIU Changsheng;

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021)

Abstract: As a representation of a physical quantity resistance characteristics of various substances, resistivity is influenced by many factors, such as the medium material composition, the water content in the pore structure, the environmental temperature etc. Resistivity measuring instrument can realize the measurement of the common medium resistivity and detect the temperature and other parameters, but the tester researching medium resistivity based on the frequency signal generator is not developed. This paper introduces the basic principles of Direct Digital Synthesis(DDS) and a design method of sine wave generator the frequency which can be changed. The MSP430F149 CPU can control the DDS chip to produce different frequency of sinusoid via by adjusting different frequency words. It lays the foundation for the study of the impact of frequency change on medium resistivity.

Keywords: DDS AD9850 Sine wave generator MSP430F149

6 引言

无论是海洋电磁探测还是陆地电磁探测, 在进行室内等比例模拟时, 需要通过提高频率来缩小尺寸, 而这样就导致在测量介质参数时存在的误差就有可能来源于频率的改变。另一方面, 在介质的材料、介质含水量及环境温度等多种参数对介质电阻率影响的研究中, 却都忽略了频率对介质电阻率的

影响。因此, 探究频率改变对介质电阻率的影响显得尤为重要。同时, 在野外环境下信号的频带范围很宽, 因而在室内时要尽可能保证在宽频带范围内对电阻率的频率特性进行测试。而一个分辨率高, 频带范围宽的可调频率的正弦信号发生器可以保证在研究频率改变对介质电阻率的影响时能够提供一个好的信号源。

针对上述要求, 直接数字式频率合成(DDS)技术都能够很好地满足。频率合成技术先后经历了直

* 指导教师: 刘长胜

项目类型: 创新项目

接模拟式、间接锁相式、直接数字式三个发展阶段。早期的直接频率合成因大量采用了模拟器件导致其结构复杂、尺寸及重量大，且输出谐波、噪声及寄生频率难以抑制，适用于精度要求不高的场合^[1]。锁相环(PLL)频率合成技术具有良好的窄带跟踪滤波特性和抑制干扰能力，其频率范围宽，但频率分辨率不高，若要提高分辨率其频率转换时间又相对较长，常用于射频电子电路中^[1]。与传统的频率合成器相比，直接数字式频率合成(DDS)技术是一种

以奈奎斯特采样定理为基础的直接合成所需波形新的全数字频率合成技术。DDS具有体积小、低功耗、高分辨率、快速转换时间、可以输出宽带正交信号、可靠性高等特点，且使用比较灵活^[2]。由于DDS技术具有上述其他频率合成方法无法比拟的优点，因此它获得了飞速的发展和广泛的应用，是一种很有发展前途的技术。

7 DDS 的基本工作原理

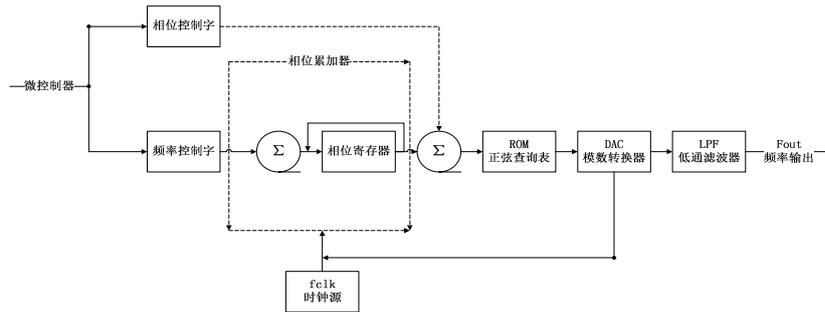


图1 DDS原理框图

Fig.1 DDS principle diagram

直接数字式频率合成(DDS)是一种运用数字技术来实现产生信号的方法，它是一种从相位概念出发直接合成所需波形的频率合成技术。一般由以下几个部分组成：相位累加器、正弦查询表、数模转换器(DAC)、低通滤波器(LPF)和参考时钟源(f_c)等。DDS的基本原理框图如图1所示。其中，整个电路系统的参考频率源输出的频率信号将被用于各部件的工作时钟，所以必须使用高稳定度的晶体振荡器。相位累加器在每一个时钟脉冲输入时，将频率控制字累加一次，相位累加器输出的数据就是合成信号的相位，相位累加器的溢出频率就是DDS输出的信号频率^[3]。

设频率控制字为 M ，相位累加器为 N 位，则DDS的系统信号输出频率为：

$$f_{out} = M \cdot \frac{f_c}{2^N} \quad (1)$$

它的频率分辨率，即频率的变化间隔为：

$$Df_{out} = \frac{f_c}{2^N} \quad (2)$$

由式1可以看出，输出频率与频率控制字和参考时钟成正比，若想改变输出频率的大小可以通过改变频率控制字 M 和参考时钟 f_c 的值的大小来进行，在实际应用中可以通过改变 M 和 f_c 值来改变输出频率的大小。本文采用改变频率控制字 M 来改变频率输出大小的方法。

8 硬件电路设计

本系统以单片机MSP430F149为控制核心，以AD9850为技术核心。通过键盘来改变输出频率的大小，然后经由1602液晶显示输出频率值，AD9850的输出经过椭圆低通滤波器输出正弦波，最后经过放大器输出到负载。系统结构框图如图2所示。

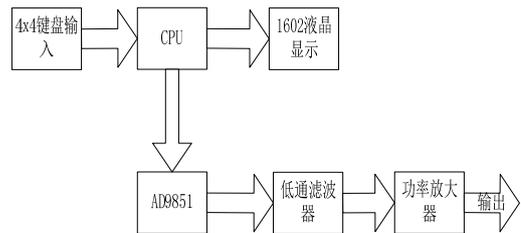


图2 系统结构框图

Fig.2 The system structure diagram

2.1 信号发生模块

采用ADI公司的DDS器件AD9850，它内部包括可编程DDS系统、高性能DAC及高速比较器，能实现全数字编程控制的频率合成器和时钟发生器。接上精密时钟源，AD9850可产生一个频谱纯净、频率和相位都可编程控制的模拟正弦波输出。此正弦波可以直接作为信号源输出或者送入AD9850的高速比较器从而得到方波输出^[4]。AD9850接口控制简单，可以用8位并行口或串行口直接输入频率、相位等控制数据。32位频率控制字，在125MHz时钟下，输出频率

分辨率为0.029Hz, 频率范围为0.1Hz—40MHz, 幅值范围为0.2—1V。

AD9850默认复位为并行置入方式, 所以要采用串行配置必须先进行切换。即在并行方式下写入一

个字节的控制字W0后, 利用FQ_UD脉冲更新使其生效即可。AD9850并串配置切换硬件连接方法是: 使D2=0, D1=D0=1, 这样在AD9850每次上电或系统复位时的配置方式皆为串行方式。AD9850的外围电路如图3所示。

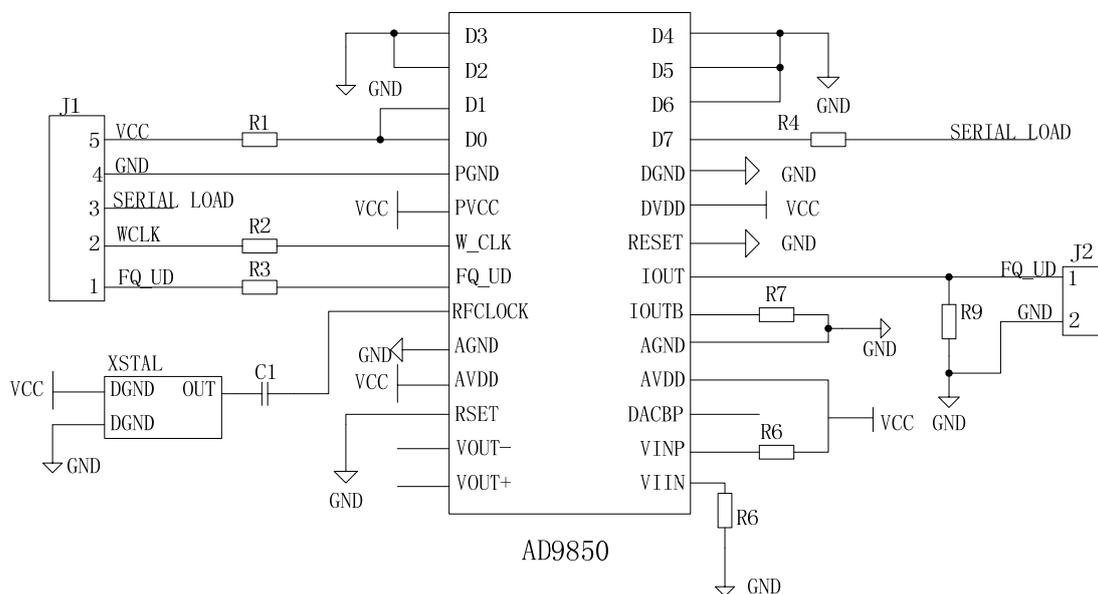


图3 AD9850的外围电路

Fig.3 The peripheral circuit of AD9850

2.2 微控制器

本设计的微控制器采用的是MSP430F149, 具有功耗低、抗干扰性强、结构简单、易于开发等优点, 且支持在线系统编程、无需编程器、方便系统的开发和维护^[5]。系统工作时, 单片机将频率控制参数和命令发送给AD9850, AD9850接收到命令后, 即可产生相应频率的正弦波信号。AD9850与单片机之间采用并行接口方式或串行接口方式, 在本系统中, 采用了串行接口方式实现DDS与单片机的连接。

2.3 滤波电路

DDS有一个明显的缺点, 输出频率越接近Nyquist带宽的高端, 采样点数越少, 其输出的杂散干扰就越大, DDS芯片的输出具有大量的谐波分量和系统干扰^[6]。因此, 为得到输出频率上限为50kHz的频率, 尽可能选择输出频率能力上限远大于50kHz的DDS芯片, 这样可以改善输出频率信号的质量。AD9850的频率值远大于本系统所要求的输出频率, 可以满足要求。低通滤波器能较好的滤除杂波, 平滑信号。为了更加有效地滤除干扰还必须加入低通滤波器。

低通滤波器的频率响应主要有3种: 巴特沃思滤波器、切比雪夫滤波器、椭圆滤波器。巴特沃思滤波器的特点是通带内比较平坦, 缺点是过渡带较宽; 切比雪夫滤波器通带内有等纹波起伏, 但过渡带比较陡峭; 椭圆滤波器通带内和阻带内都有等纹波,

但过渡带陡峭^[6]。综上所述, 选择过渡带陡峭的椭圆滤波器。本文采用了椭圆滤波器, 其电路图如图4所示。

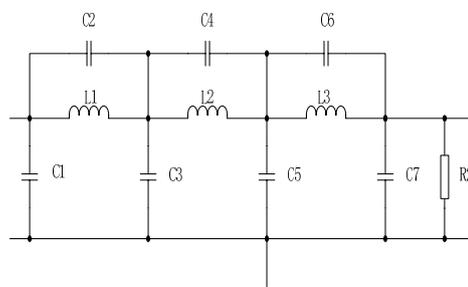


图4 椭圆滤波器电路图

Fig.4 Elliptic filter circuit diagram

2.4 输出放大电路

由于AD9850的输出电压比较小, 为了得到5V左右的输出, 本系统采用宽频带放大器对信号进行功率放大。系统功率放大电路如图5所示^[7]。

OPA603是电流反馈型宽频带运算放大器, -3dB增益带宽积达160MHz, 最大电流输出达150mA, 转换速度快, 电源电压为单路或者双路输入, 范围由-4.5V变化到18V。完全满足本系统的要求, 因此OPA603可以用于本系统的宽频放大模块电路中。

从表1及图8中我们可以看出该系统的测试点频率最大误差小于1%，系统性能优良，完全满足频率的输出范围1Hz—50kHz，精度为0.1Hz的要求，输出幅值可达5V。

11 总结

由于采用了MSP430F149作为控制器，其灵活的接口、简单的结构保证了系统能稳定地工作，提高了系统的稳定性。采用AD9850作为信号发生模块，保证了系统的高精度。此设计方案可以改善现有的正弦信号发生器结构复杂、成本高等问题，输出的波形失真率低。同时，本设计也为研究频率改变对介质电阻率的影响奠定了良好的基础，为介质电阻率频率特性测试仪提供了一个性能优良的信号源。

参考文献

1. 王兵. 频率合成技术发展浅析[J]. 电子信息对抗技术, 2009(3): 77-80.
2. 冯源. 现代频率合成技术的发展与趋势[J]. 电子对抗, 2010(3): 56-59.
3. 肖汉波. 一种基于DDS芯片AD9850的信号源[J]. 电讯技术, 2003(2): 26-29.
4. 唐建东. 基于FPGA的任意波形发生器设计与实现[J]. 电子技术, 2010(5): 37-38.
5. 胡大可. MSP430系列超低功耗16位单片机原理与应用[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2000.
6. 彭辉生, 陈永泰. DDS信号发生器中椭圆低通滤波器的设计[J]. 电子质量, 2007(5): 4-5.
7. 汉泽西, 张海飞等. 基于DDS技术正弦波信号发生器的设计[J]. 电子测试, 2009(8): 65-69.

基于 VIIS-EM 的数字集成电路测试仪³

张秉仁；王鑫；赵健；王钊

（吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130022）

摘要：基于吉林大学仪器科学与电气工程学院自主研发的 VIIS-EM 系统，在其基础上，使系统不仅仅能测试电平类触发的中小型数字集成芯片，并且还能测试某些脉冲类触发的芯片，通过添加滤波电路使系统输入的脉冲信号更加标准。在添加测试触发功能的同时，添加丰富了系统的芯片数据库。数字集成电路产业的迅速发展，导致对数字集成电路检测技术的要求不断增加。虚拟测试仪不仅具有更加丰富强大的功能，同时具备经济，快捷，操作简单等众多优点。

关键词：虚拟仪器 触发 芯片库

中图分类号：TN407 **文献标识码：**A

Based on the digital integrated circuit tester of VIIS - EM

Zhangbingren; Wangxin; Zhaojian; Wangzhao

(Instrument science and electrical engineering , Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Based on instrument science and electrical engineering college of jilin university self-developed VIIS - EM system, on the basis of it, the system can not only test trigger level class of middle and small scale digital integrated chips, and also can test some pulse class trigger chips, by adding a filter circuit make the system more standard input pulse signal. In add test trigger function at the same time, to add rich the chip database of the system. The rapid development of digital integrated circuit industry, leading to increased to the requirement of digital integrated circuit testing technology. Virtual instrument not only has more powerful functions, have a combination of economic, fast, simple operation and so on many virtues.

Key words: Virtual instrument The trigger Chip library

0 前言

随着集成电路产业的迅速发展，各种新型设计以及新的工艺的集成电路陆续出现，并且在许多行业领域内的应用也更加广泛。所以，集成电路的工艺精确度以及质量愈发重要。

集成电路飞速发展的同时，也激励了与集成电路相关的测试技术的显著进步，而测试技术的飞速提高，同时也为集成电路产业的质量，精确度做出了巨大的贡献。在集成电路的应用、开发、生产的每个环节都需要对电路进行测试来保证他的质量。

特别在某些机密领域中，精确的对集成电路进行检验测试尤为重要。由此可见，保证集成电路的稳定性和可靠性已成为现在测试行业的重点关注，因而集成电路测试技术成为了所有这些工作的技术基础。

1 系统总体设计

测试仪将各个模块化仪器通过测试总线连接成一个系统，并且由控制器进行统一操控。

³ 指导教师：张秉仁

项目类型：创新项目

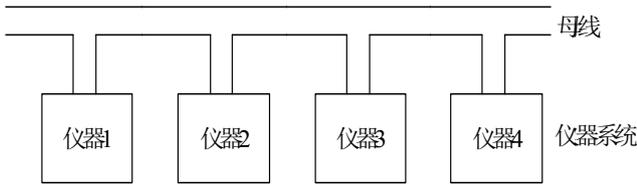


图 1 系统母线连接结构

Fig.1 System bus connection structure

1.1 硬件设计

系统使用的是 3U 机箱，并且采用模块化设计，机箱中包含系统背板以及直流电源。在工作时，通过被音质在背板的总线来传递各种命令。其中，数字集成电路测试仪所使用的是下图 7 号槽位。



图 2 系统硬件面板图

Fig.2 The system hardware panel figure

1.2 软件设计

系统上位机程序主要使用 LabView 软件，并且通过 USB 接口，来控制系统的工作。

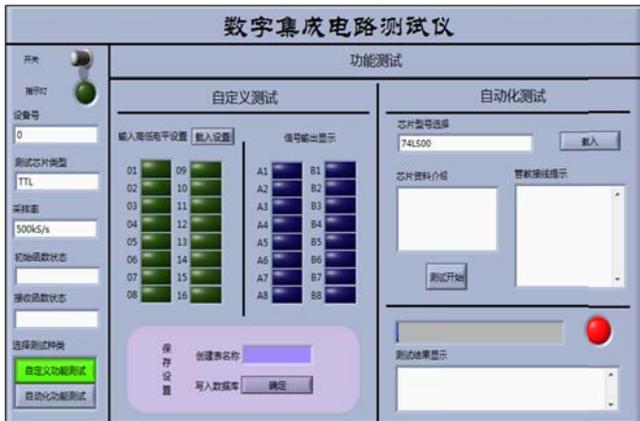


图 3 系统上位机界面

Fig.3 System PC interface

2 测试系统设计

2.1 自定义测试

根据被测芯片管脚信息，手动在上位机输入信号，所有管脚的测量应符合其逻辑规律。

2.2 自动化测试

根据已经添加的芯片库信息，在菜单中选择所需要测量的芯片型号，便可以直接测量。但是这种方法只对系统芯片库中已有的芯片有效，并且更加快速便捷。



图 4 系统测试结果图

Fig.4 The system test result

3 数据库设计

在 labview 应用程序中有调用数据库的功能，根据数据库内不同的参数输入不同的变量，同时也检测不同的变量。数据库中主要作用是包含所有一支型号被测芯片的管脚信息。自动化测试的主要原理就是根据不同的管脚信息来判断该芯片内部是否正确。

3.1 数据库的建立

数据库的建立选择使用的是 access 数据库。在 access 中建立好数据库，之后才可以在 labview 程序中调用并且使用数据库。Access 数据建立的依据就是芯片的管脚信息，通过不同的输入可以给出不同的输出，把输入与输出的各种情况进行总结，总结出芯片的真值表，然后再通过数据库写入软件写到数据库里。

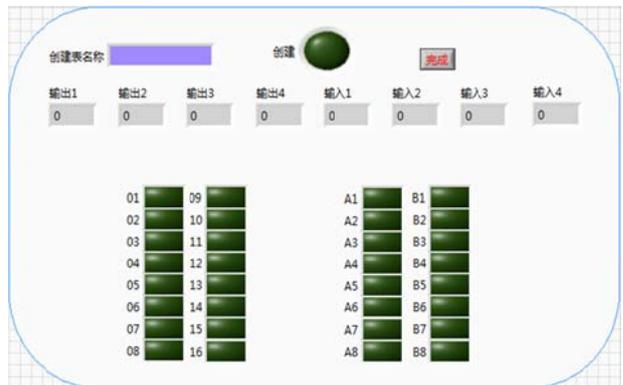
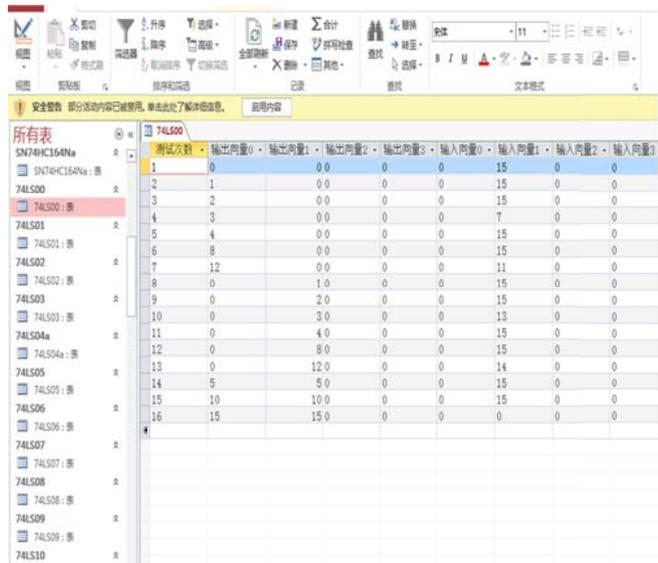


图 5 数据库写入数据面板

Fig.5 The database write data panel

数据库建立的主要步骤就是收集芯片资料总结真值表，然后在数据库写入程序的前面板中写入表的名称，即芯片的名称，然后在 01 到 16 中输入真值表的输入信息，A1 到 A16 为输出信息（暗为低电平，亮为高电平）。没完成一次写库，点一次创建，最后等所有全部完成之后点击完成，这样就完成数据库的建立。



测试次数	输出向量0	输出向量1	输出向量2	输出向量3	输入向量0	输入向量1	输入向量2	输入向量3
1	0	0	0	0	15	0	0	0
2	1	0	0	0	15	0	0	0
3	2	0	0	0	15	0	0	0
4	3	0	0	0	7	0	0	0
5	4	0	0	0	15	0	0	0
6	8	0	0	0	15	0	0	0
7	12	0	0	0	11	0	0	0
8	0	1	0	0	15	0	0	0
9	0	2	0	0	15	0	0	0
10	0	3	0	0	13	0	0	0
11	0	4	0	0	15	0	0	0
12	0	8	0	0	15	0	0	0
13	0	12	0	0	14	0	0	0
14	5	5	0	0	15	0	0	0
15	10	10	0	0	15	0	0	0
16	15	15	0	0	0	0	0	0

图6 数据库样本

Fig.6 The database sample

3.2 数据库的连接

连接数据库的方法有以下两种：一个是利用 DSN 连接数据库，一个是利用 UDL 连接数据库，而本程序选择的是第二种方法，整体过程就是采用 UDL 建立数据源链接字符串，同时使用模型调用 Access 来进行对数据库的操作。

3.3 数据库的读取

自动化检测就是判断由于不同的输入而导致的输出与利息那个状态下的书出是否一致，所以程序中需要实现将数据库的信息调用出来，与输出信息进行对比，如果相同，证明芯片是完好无损的。

4 触发功能设计

原有系统只能实现电平触发类芯片的测试功能，由于设备板卡以及上位机单片机程序都是已经是设计完整并关系到其他功能。所以我们尽量在不改动这些条件的基础上尽可能实现边沿触发功能，使系统可以更加完善，测试更多种类的芯片。

为了使测试结果更加准确，我们添加了滤波电路。

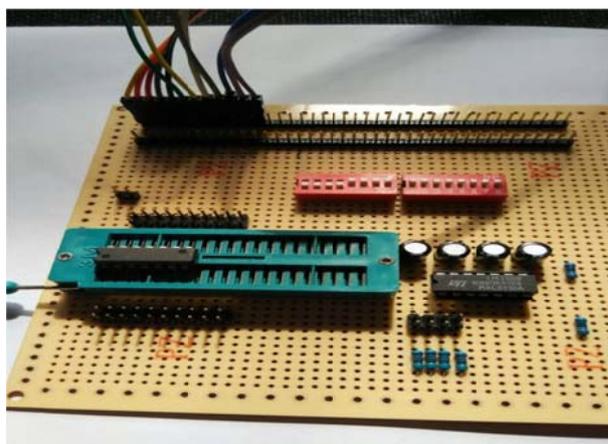


图7 滤波电路

Fig.7 Filter circuit

通过示波器观察测试仪输出的波形，测试仪在发出连续的高电平时，中间会产生短暂的波谷，并且这种波谷出现的时间是无规律的，它的产生对时序电路造成了严重干扰。针对这种情况，可采用滤波电容将波谷处理掉。

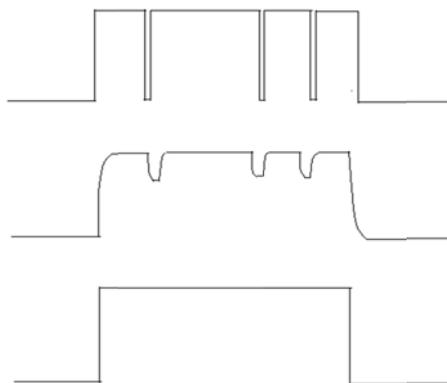


图8 滤波前后波形对比

Fig.8 Waveform comparison before and after filtering

干扰除掉后，脉冲的上升沿和下降沿会变得平缓，不能给触发器提供理想的时钟信号，为了解决这个问题，我们采用电压比较器对测试仪输出的信号进行整形。经过处理后，脉冲的上升沿和下降沿接近于理想状态。

5 测试结果

以 74HC138 芯片为例，74HC138 为 3 线-8 线译码器，对其进行测试。

首先硬件将硬件电路同 USB 接口连接主机通电，打开并运行程序然后设备号选择 7 号，打开开关。在自动化测试部分找到 74HC138，然后点击载入之后就可以得到芯片信息以及管脚接线信息，接线完成，检查无误后点击开始测试就完成测试过程。

测试结果则在 Labview 的前面板显示出来，同时右侧指示灯也能够显示出测试的结果。



图 9 芯片测试过程

Fig.9 Chip test process

各种芯片数据库添加结果如图所示：

逻辑门	74ls0 0	74ls01	74ls02	74ls03	74ls08	74ls09
	74ls1 0	74ls11	74ls12	74ls15	74ls20	74ls21
	74ls2 2	74ls25	74ls27	74ls30	74ls32	74ls51
	74ls5 5	74ls86	74ls64	74ls13 2		
反相器	74ls0 4	74ls05	74ls14			
缓冲器	74ls0 6	74ls07	74ls28	74ls33	74ls37	74ls40
	74ls2 44					
译码器	74ls4 2	74ls48	74hc1 38	74ls15 4	74ls14 5	
编码器	74hc 148	74ls14 7	74ls34 8	74hc1 49		
数据选 择器	74ls1 53	74ls15 1	74ls15 7			
全加器	74ls2 83	74ls18 3				
锁存器	74hc 573					
寄存器	74hc 164					
总线收 发器	74ls2 45					

表 1 芯片数据库信息

Table.1 Chip database information

6 结论

在对数字集成电路测试仪的优化设计研究过程中，成功实现了对简单的脉冲触发类芯片的测试过程，并且添加了多种芯片库。硬件部分完成了滤波电路的设计，使得脉冲类芯片测试的准确率大幅度提高。在测试仪的工作过程中，可以通过自定义测试方法来人为手动测试芯片信息，也可以通过自动化测试来自的测试已有芯片的信息。两种测试方法使系统实现了方便、快捷、准确的测试要求，并且能够测量更大范围种类的芯片。

参考文献

- 林占江.电子测量技术[M].北京：电子工业出版社，2012.
LIN Jiang. Electronic measurement technology [M]. Beijing: electronic industry press, 2012.
- 韦建荣.可重构测控系统的研究与设计[D].长春：吉林大学,2006.
WEI Jianrong. Research and design of reconfigurable control system [D]. Changchun: jilin university, 2006.
- 林君，谢宣松.虚拟仪器原理与应用[M].长春：科学出版社，2006.
LIN Jun,Xie Xuansong. Principle and application of virtual instrument [M]. Changchun: science press, 2006.
- 王剑.基于 LabVIEW 的数据采集及分析系统的开发[D].哈尔滨：哈尔滨理工大学，2004.
WANG Jian. The development of data acquisition and analysis system based on LabVIEW [D]. Harbin: Harbin university of science and technology, 2004.
- 梁璨.虚拟数字频谱分析仪的设计[D].成都：电子科技大学.2009.
LIANG Can. The design of virtual digital spectrum analyzer [D]. Chengdu: university of electronic science and technology. 2009.
- 罗和平. 数字 IC 自动测试设备关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2008.
LUO Heping. Key techniques of digital IC automatic test equipment [D]. Chengdu: university of electronic science

- and technology, 2008.
7. 刘文君. 基于 LabVIEW 的计算机与单片机串口通信系统[J]. 中国教育技术装备. 2012(06).
LIU Wenjun. Computer and single chip microcomputer serial communication system based on LabVIEW [J]. Chinese education technology and equipment. 2012 (6).
 8. 高成, 张栋. 最新集成电路测试技术[M]. 2009 年 2 月第 1 版. 国防工业出版社, 2009 :7-9.
GAO Cheng, ZHANG Dong. The latest integrated circuit testing technology [M]. Version 1 February 2009. National defense industry press, 2009:7-9.
 9. 牛勇. 数字集成电路测试 [J]. 中国集成电路, 2002(11):63-65.
NIU Yong. Digital integrated circuit test [J]. China's integrated circuit, 2002 (11) : 63-65.
 10. 顾雨辉, 赵亮. 基于虚拟仪器软件 LabVIEW 设计的数据采集系统[J]. 中国交通信息化. 2012(S1).
GU Yuhui, ZHAO Liang. Data acquisition system based on virtual instrument software LabVIEW design [J]. China's transportation information. 2012 (S1).
 11. 程明亮. 一种通用数字集成电路自动测试仪系统的研制[J]. 电子科技大学研究生学报, 2009(11):29-30.
Chengmingliang. A general digital integrated circuit automatic tester system [J]. Journal of electronic science and technology university graduate students, 2009 (11) : 29 and 30.
 12. Jeffrey Travis. LabVIEW 大学实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
Jeffrey Travis. LabVIEW university practical tutorial [M]. Beijing: electronic industry press, 2008.
 13. Mukesh Kumar, Mansav Joshi, Sanjeev Sharma. Design and Implementation of Embedding Web Server for Real Time Data Acquisition and Logging System[J]. International Journal of Computer Applications, 2012, 42(11):13-16.
 14. Deshpande S G, Jenq-Neng H. A real-time interactive virtual classroom multimedia distance learning system[J]. Multimedia, IEEE Transactions on. 2001, 3(4):432-444.
 15. National Instruments Corporation. LabVIEW Help. April 2003 Edition, PartNumber 370117C-01.
 16. 杨乐平等编著. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 电子工业出版社, 2001.
YANG Leping. The LabVIEW program design and application [M]. Electronic industry press, 2001.
 17. 宋宇峰等编著. Labwindows/CVI 逐步深入与开发实例 [M]. 机械工业出版社, 2003
SONG Yufeng. Labwindows/CVI deepens and the development instance [M]. Mechanical industry publishing house, 2003

基于 VIIS-EM 的频率域电子测量仪器的优化设计*

张秉仁； 包晓栋； 李建强； 蒋生辉

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130012)

摘要：本文对基于 VIIS-EM 的频率域电子测量仪器进行优化设计。虚拟电子测量仪器集成系统 (Virtual Instrument Integration System-Electronic Measuring, 简称为 VIIS-EM) 是吉林大学虚拟仪器实验室自主研发的一套测试系统。整套系统基本完善, 但个别细节还需优化。本文主要是对系统中的频率特性测试仪模块板卡的硬件和软件进行优化。硬件方面设计完成基于 AD9850 的扫频信号发生器, 软件方面优化 LabVIEW 后面板编程, 利用 B 样条拟合消除测量时幅频特性曲线毛刺。

关键词：虚拟仪器 扫频信号发生器 B 样条拟合

Optimized design based on VIIS-EM frequency domain electronic measuring instruments

Zhangbingren; Baoxiaodong; Lijianqiang; Jiangshenghui

(College of Instrument Science and Electrical Engineering Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In this paper, based on the frequency domain of electronic measuring instruments VIIS-EM to optimize the design. Virtual Instrument Integration System-Electronic Measuring is a test system independently developed by Jilin University Virtual Instrument Laboratory. The entire system is basically sound, but needs to optimize individual details. This article is a hardware and software system frequency characteristics tester module to optimize board. Hardware design is completed the sweep signal generator based on AD9850. The rear panel optimization software LabVIEW programming. The use of B-spline fitting when measuring the amplitude-frequency characteristic curve eliminate glitches.

Key words: Virtual Instrument Sweep Signal Generator B-spline fitting

0 前言

虚拟电子测量仪器集成系统 (Virtual Instrument Integration System-Electronic Measuring, 简称为 VIIS-EM) 是吉林大学虚拟仪器实验室自主研发的一套测试系统, 集信号源、信号的时域和频域测量、逻辑分析、网络化应用等于一体, 为高校教学与工业生产提供通用、快捷、廉价的可重构测试平台。

基于 VIIS-EM 系统的频率特性测试仪就是其中的一个模块板卡, 它在软件和硬件两个方面都有待优化。

1 试验方法和实验方案

1.1 试验方法

1.1.1 扫频信号发生器

扫频信号发生器基于 DDS 技术, 采用 STC89C58RD+ 单片机最小系统板为整个系统的核心控制, 通过对 AD9850 模块传送控制字, 产生正弦扫频信号, 外设四个独立按键, 可以或大和或小调节和控制正弦扫频信号的步进大小。因为 AD9850 模块自带的基准电压 V_{Ref} 有偏置, 通过一个容值很大的瓷片电容, 可以起到隔直流通交流的作用, 调节基准源到 0V。如下图所示。

* 指导教师: 张秉仁

项目类型: 创新项目

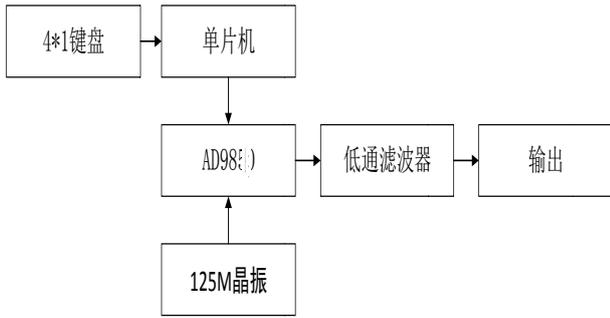


图 1 主系统示意图

Fig.1 Main system diagram

1.1.2 基于 LabVIEW 加拟合方法消除幅频特性毛刺

本程序分别对X轴和Y轴的数组做拟合，将不光滑有毛刺的曲线拟合为光滑的曲线如上图，程序运行以后，白色的为原来的有毛刺不光滑曲线，经过拟合红色的曲线为拟合后光滑曲线控制点数越多，拟合曲线和原来的曲线就越接近。将该拟合程序加入到频率特性测试仪中其中输入数据类型得匹配，最好在波形显示之前做拟合。如下图所示。

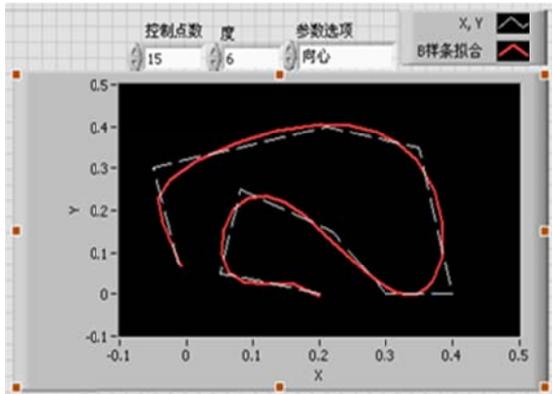


图 2 B 样条拟合曲线示例

Fig.2 B-spline curve fitting example

2 数学模型

2.1 扫频信号发生器

AD9850 内含可编程 DDS 系统和高速比较器，能实现全数字编程控制的频率合成。可编程 DDS 系统的核心是相位累加器，它由一个加法器和一个 N 位相位寄存器组成，N 一般为 24~32。每来一个外部参考时钟，相位寄存器便以步长 M 递加。相位寄存器的输出与相位控制字相加后可输入到正弦查询表地址上。正弦查询表包含一个正弦波周期的数字幅度信息，每一个地址对应正弦波中 0°~360° 范围的一个相位点。查询表把输入地址的相位信息映射成正弦波幅度信号，然后驱动 DAC 以输出模式量。相位寄存器每过 2N/M 个外部参考时钟后返回到初始状态一次，相位地正弦查询表每一个循环也回到

初始位置，从而使整个 DDS 系统输出一个正弦波。

启动单片机的复位开关，对单片机初始化同时通过程序对 AD9850 模块进行并口初始化，40 位的控制字分五次传送，每发送完一次控制字须向 AD9850 的 W-CLK 端发送命令字来完成数据的加载，五次控制数据发送完成之后，再控制 FQ-UD 进行频率、相位更新之后输出信号波形。按键扫描，检测是否有按键按下，如果有按键按下，单片机 I/O 检测到低电平，执行程序命令，key1 为小幅步进增大，key2 为小幅步进减少，key3 为大幅步进增大，key4 为大幅步进减少。

2.2 基于 LabVIEW 加拟合方法消除幅频特性毛刺

B样条拟合VI中控制点数指定用于拟合数据集的多项式控制点的数量。控制点数必须大于度。默认值为10。Y是由因变值组成的数组。Y必须包含至少两个点。X是由自变量组成的数组。X的元素数必须等于Y的元素数。权重是观测点(X, Y)的权重数组。权重的元素数必须等于Y的元素数。如权重未连线，VI将把权重的所有元素设置为1。如权重中的某个元素小于0，VI将使用元素的绝对值。度指定用于形成B样条曲线和拟合数据集的多项式的阶数。默认值为3。参数选择指定计算卷临时knot向量的方法。最佳B样条拟合Y返回与输入集合(X, Y)有最佳拟合的B样条曲线的Y值。最佳B样条拟合X返回与输入集合(X, Y)有最佳拟合的B样条曲线的X值。错误返回VI的任何错误或警告。将错误连接至错误代码至错误簇转换VI，可将错误代码或警告转换为错误簇残差返回拟合模型的加权均方差。

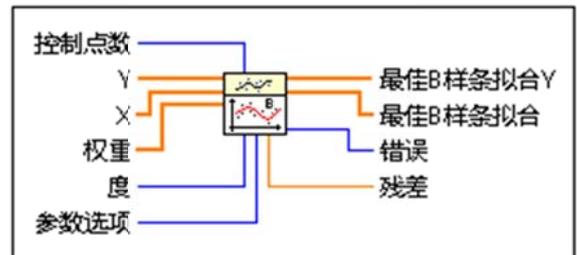


图 3 B 样条拟合 VI 信息

Fig.3 B-spline fitting VI Information

该VI依据下列方程最小化残差，计算最佳B样条拟合X和最佳B样条拟合Y：

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} w_i \cdot \|(x_i, y_i) - (x'_i, y'_i)\|^2$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} w_i \cdot [(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2]$$

3 系统测试结果

3.1 实验数据

表 1 系统频率测试数据

单位: Hz

设置频率	100	500	1K	10K	100K	1M	5M	10M
实际频率	100.02	500.01	1.00K	10.00K	100.01K	1.0001M	5.0005M	10.002M
相对误差	0.02%	0.002%	0.000%	0.000%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%

表 2 扫频步进测试数据

单位: Hz

设定步进	10	20	30
实际步进	10.52	20.34	30.90
相对误差	5.20%	1.70%	3.00%

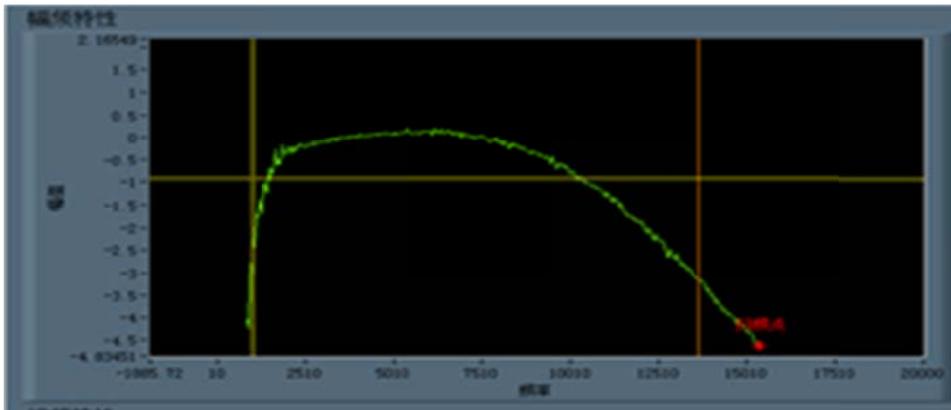


图 4 优化前幅频特性曲线

Fig.4 Amplitude-frequency characteristic curve before optimization

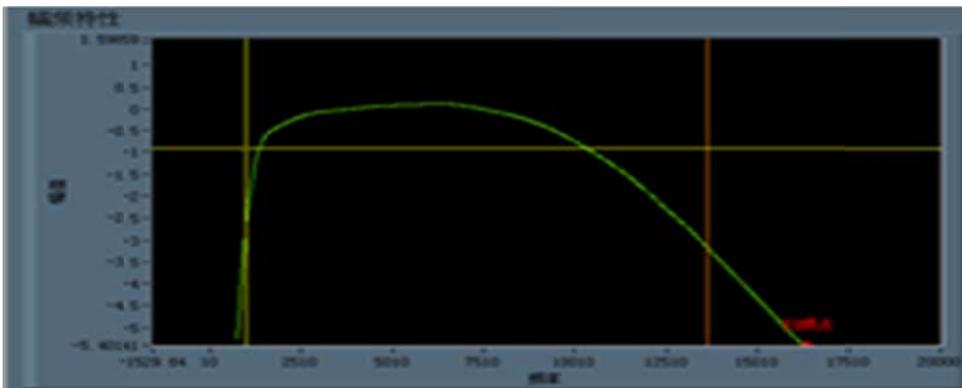


图 5 优化后幅频特性曲线

Fig.5 Amplitude-frequency characteristic curve after optimization

3.2 测试结论

3.2.1 扫频信号发生器

扫频信号发生器在发出固定频率正弦波时，相对误差小于 0.05%，精确度较高。扫频步进の設定值与实际值误差相对较大，都小于 6%，但由于步进本身数值较小，实际的绝对数值误差不大。

3.2.2 基于 LabVIEW 加拟合方法消除幅频特性毛刺

利用基于 B 样条拟合的拟合法消除了原幅频特性曲线的毛刺，使曲线平滑，消除了由于毛刺产生的读数误差。

4 结论

通过硬件对基于 AD9850 的扫频信号发生器的设计和软件对基于 LabVIEW B 样条拟合消除频特性曲线的毛刺，基本完成了对基于 VIIS-EM 的频率域电子测量仪器的优化设计。

通过测试，扫频信号发生器产生的信号精度较高，可以满足仪器测试需要，但是目前还未集成到频率特性测试仪模块板卡上。软件的优化消除了原幅频特性曲线的毛刺，提高了读数精度。

目前，该频率特性测试仪模块在使用过程中还存在一定的测量误差，即测量值与实际值存在一定的偏移量，影响测试结果的精度，该项优化工作还有待提高。

参考文献

1. 王家礼, 孙璐. 频率合成技术[M]. 西安电子科技大学出版社, 2009(1):124-136.
2. 王兵. 现代频率合成技术的发展与趋势[M]. 电子信息对抗技术, 2009(3):77-80.
3. 董军刚, 蔡振江. 基于 DDS 技术的智能信号发生器的设计[J]. 微计算机信息, 2007 年
4. 樊秀云, 张合敏. 基于 DDS 的扫频信号发生器[J]. 山西电子技术, 2002 年第五期
5. National Instruments Corporation. The measurement and automation catalog[Z]. User manual, 1996.
6. 林正盛. 虚拟仪器技术及其发展[J]. 现代计量测试, 1997, (4):10-14.
7. 韩九强. 虚拟仪器软件开发平台的研究[J]. 西安交通大学学报, 1997, 31(9): 6-9.

太阳能自动跟踪装置*

程宇奇; 单兢锋; 康鑫; 申英佐

(吉林大学 仪器科学与电气工程, 长春 130022)

摘要: 太阳能自动跟踪装置的发展对有效提高太阳能利用率具有重要的现实意义, 本文介绍一种以单片机为核心的双自由度太阳能自动跟踪装置, 重点介绍该跟踪装置的驱动部分和软件部分, 和与上位机进行的无线通讯及数据传输, 该装置具有自动太阳跟踪和程序跟踪两种跟踪方式, 跟踪系统结构简单、跟踪范围广、跟踪精度高, 具有很大的使用价值。

关键词: 太阳能 自动跟踪 单片机 双自由度

Automatic solar tracking device

Cheng yuqi; Shan jingfeng; Kang xin; Shen yingzuo

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Automatic solar tracking system has important practical significance to effectively improve the utilization of solar energy, this paper presents a microcontroller as the core of the two degrees of freedom automatic solar tracking device, highlight the drive and software components of the tracking device, and with the host wireless communications and data transmission machine, the device has an automatic sun tracking and tracing program two tracking mode, tracking system is simple, wide tracking range, high precision tracking and has great value.

Keywords: solar, Automatic tracking ,SCM ,Two degrees of freedom

0 前言

太阳能是已知的最原始的能源, 它干净、可再生、丰富, 而且分布范围广, 具有非常广阔的利用前景。但太阳能利用效率低, 这一问题一直影响和阻碍着太阳能技术的普及。太阳能自动跟踪系统的设计为解决这一问题提供了新途径, 从而大大提高了太阳能的利用效率。本设计采用光电跟踪的方法, 利用步进电机双轴驱动, 由光电传感器根据入射光线的强弱变化产生反馈信号到微机处理器。微机处理器运行程序, 通过对跟踪机构进行水平、俯仰两个自由度的控制, 调整太阳能电池板的角度实现对太阳的跟踪。采用单片机来实现的太阳能追踪系统能有效提高太阳板的光电转化效率, 并具有较广泛的应用前景^[1]。目前, 太阳能跟踪方式主要有以下三

种^[2]: 第一, 传感器跟踪模式, 第二是太阳运动轨迹跟踪; 前者是一个闭环的随机系统, 后者是一个基于事先太阳运动轨迹天文计算数据的程序控制的开环系统。第三是前面两种跟踪方式的结合运用。

1 太阳能自动跟踪装置的硬件组成

图 1 是本太阳能自动跟踪装置的原理框图, 太阳能自动跟踪装置设计成双轴跟踪系统, 同时在方位角和高度角两个方向上跟踪, 由传感器、信号处理及控制电路、方位角及高度角调整机构组成。传感器把接收到的光信号转换成电信号, 电信号经过信号处理及控制电路后, 由控制电路输出相应的控制信号驱动方位角调整机构和高度角调整机构实现相应的位置调整。

* 指导教师: 程宇奇

项目类型: 创新项目

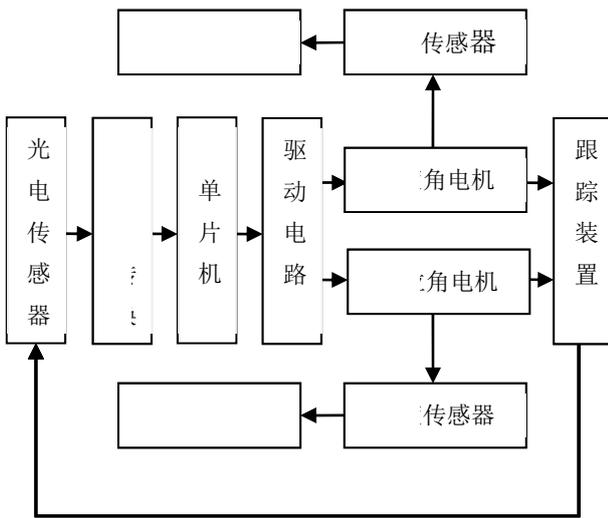


图1 太阳能自动跟踪装置原理框图

Figure 1 device theory of solar power automatic tracking

1.1 光电检测模块

传感器主要是由一个四象限硅光电池和四片参数一样的光电池组成。布局如图2所示，为了使外界的干扰光线对传感器的影响降到最低，在四象限硅光电池的周围设置了一个不透明的暗筒；暗筒开口直径与四象限光电池的直径大小相等。4片参数一样的光电池分别布置在暗筒外东、南、西、北四个方向上；东西方向上的光电池（E、G）完成对太阳方位角的粗略定位，南北方向上的光电池（H、F）完成对太阳高度角的粗略定位；置于暗筒内部的四象限硅光电池的作用是完成对太阳的精确定位。

如果阳光在暗筒开口所形成的光斑中心与四象限光电池的中心重合，也即光斑中心在东西方向（X轴）和南北方向（Y轴）上的偏移量 Δx 和 Δy 都为零，那么此时太阳光正好垂直于四象限光电池，四个象限输出的电流 I_A, I_B, I_C, I_D 大小相等，此时不跟踪；如果太阳光线与暗筒的轴线有夹角，则光斑中心在东西方向（X轴）和南北方向（Y轴）上的偏移量 Δx 和 Δy 将不为零，那么控制器将通过偏移量的大小来控制电机来跟踪太阳^[3]。

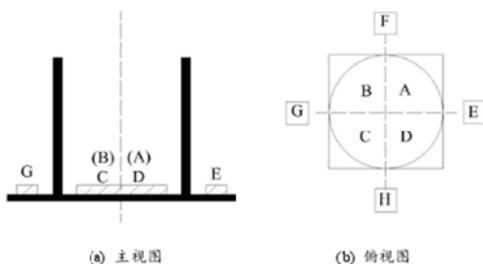


图2 传感器布局示意图

Figure 2. schematic diagram of sensor distribution
在进行实际运用中，利用运算放大器把电流值

换成电压值，并利用各电压值进行软件控制。

1.2 通讯模块

选取挪威NordicVLSI公司NRF24L01新型射频收发器件。

NRF24L01内置频率合成器、功率放大器、晶体振荡器、调制器等功能，并融合增强型ShockBurst技术，其中地址、输出功率和通信频道可通过程序进行配置，适合用于多机通信。

其工作模式主要有以下四种：发送模式、接受模式、待机模式和关机模式。这四种工作模式由PWR_UP register、PRIM_RX register和CE三者组合状态决定^[4]。

1.3 上位机监测模块

上位机检测模块可以通过手动模式控制系统，也可以通多自动模式检测系统的运行状态。

图中有四个部分其中：

第一部分为设置部分，其中分为设置手动模式和设置自动模式。

第二部分为可拉动的角度设置部分，在手动设置时可以通过拉动滑块来控制系统转动。

第三部分为角度显示部分，可以显示系统的转动角度，同时可以通过设定角度而控制系统。

第四部分为四组光电检测模块的电压显示部分，可以显示四部分的实时电压数据。



图3 上位机监控界面

Figure 3. PC monitoring interface

2 太阳能自动跟踪装置的软件组成

当前，自动跟踪调节控制有两类：坐标法和定时法。

坐标法主要是由AT89C52来进行控制。

首先预先设定电压阈值 U_z ，以便确定粗略定位和精准定位。再根据传感器的布局，将 U_A 与 U_C 两者的差值设为 U_x ， U_B 与 U_D 两者的差值设为 U_y ， U_E 与 U_G 两者的差值为 U_{px} ， U_F 与 U_H 两者的差值为 U_{py} ， M_x

与 My 分别是二自由度的电机。

步骤如下：

第 1 步判断 U_z 是否小于零, 如果小于零, 再判断 U_{PX} 、 U_{PY} 是否为零, 如果也为零, 则表示已经到了傍晚或者是阴雨天气, 停止跟踪, 如果不为零, 则可能是太阳能电池板偏转了较大的角度, 使得筒内的传感器接收不到太阳光, 则根据 U_{PX} 、 U_{PY} 的值由单片机输出相应的跟踪控制信号控制调整机构实现相

应的位置调整,

第 2 步如果 U_z 大于或等于零, 再判断 U_x 是否为零, 如果不为零, 则根据 U_x 的值由单片机输出相应的跟踪控制信号控制方位角调整机构实现相应的位置调整, 如果 U_x 为零, 再判断 U_y 是否为零, 如果不为零, 则根据 U_y 的值由单片机输出相应的跟踪控制信号控制高度角调整机构实现相应的位置调整, 如果 U_y 为零, 则停止跟踪^[5]。

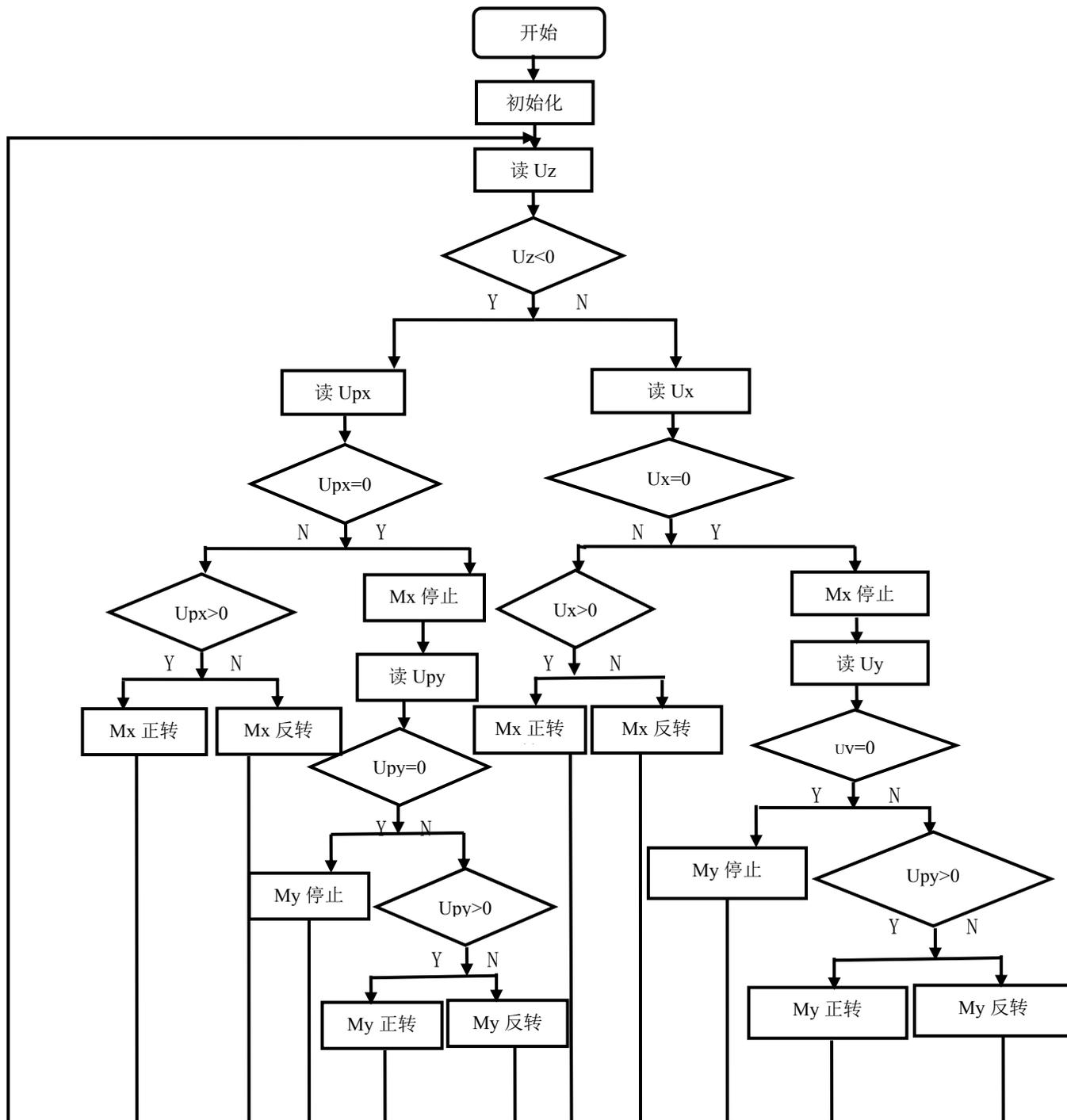


图 4 系统软件流程图

Figure 4. the flow chart of System software

定时法是依据当地经纬度参数及时间信息, 太阳赤纬、时角, 计算出太阳的高度角和方位角; 而后由单片机分别控制步进电机, 通过传动机构改变面板的朝向从而达到自动、准确跟踪太阳的目的。这种先算不同时刻面板转动角度、然后驱动控制跟踪的方法, 虽然存在误差, 但由于离线计算, 分时控制, 使电池板紧跟太阳位置, 运行操控更方便。

众所周知, 太阳每天东升西落貌似不变, 其实一年四季的日照时间及南北移动位置都在悄悄改变着。太阳高度角也随着地方时和太阳赤纬的变化而变化。通常为方便跟踪调节控制, 设日出、日落时角度均为 0, 正午时太阳高度角最大。太阳的位置可由高度角 h 与方位角 A 来确定, 太阳高度角 h 可由参考文献^[7]提供的公式求得:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (3)$$

方位角 A 可由下式算得:

$$\cos A = (\sin h \cdot \sin \varphi - \sin \delta) / (\cos h \cdot \cos \delta) \quad (4)$$

式中, δ 为太阳赤纬, φ 为当地纬度, t 为太阳时角。

太阳夏至日的方位角是一年中的最大值, 冬至日是一年中太阳高度角最小值。由这两个特殊日子的太阳高度角和方位角, 就能够清楚地知道一年中太阳光线对该装置的光照覆盖^[7]。系统的工作程序存放在 EPROM 中, 利用当日的日期求出装置所在地当日的赤纬角 δ , 然后用当地的纬度确定当日的日出和日落时间, 控制程序自主判断调节时间是否在日出后日落前^[8-10]。依据公式(3-4)及太阳运动规律, 可以计算出太阳能电池每分钟应转动的角度。由于步进电机的步距角是一个定值, 在软件设计跟踪子程序时, 应充分考虑计算结果与步距角的关系。理论上只要调节太阳能电池的太阳高度角和方位角就可以保持和阳光垂直, 实现最优光伏转换效果。

3 模拟与实验

用聚光灯来代替太阳光, 以检测太阳能自动跟踪装置能否跟踪光线。

实验结果为在坐标法模式下控制面板中心能实时对准光线, 并能够将数据传送到 PC, 以及能够通过手动来控制装置转动。在定时法模式下, 不外加光源, 太阳能自动跟踪装置能够自动按照太阳实时角度来定位转动。

4 结论

本研究较详细地介绍了一种基于 AT89C51 单片机的太阳能自动跟踪调节控制系统的硬件及软件设计。

先利用当日的日期求出当日的赤纬角 δ , 然后再利用当地的纬度确定当日的日出和日落时间。控制程序判断调节时间是否在日出后日落前, 如条件满足, 根据当日的日照时间, 并控制跟踪调节装置机械系统, 实现全天自动分时调节控制工作。在晴天光线足够强、而风力对装置安全不构成影响的情况下, 系统会根据视日运动轨迹和由光电跟踪系统产生的轨迹调整量, 作合理分时跟踪。在雷雨、阴天或光线不足的情况下, 由于光电检测电路不会产生控制信号, 光电跟踪系统产生的轨迹调整量为零, 系统只依据视日运动计算轨迹和程序储存的轨迹修正量进行跟踪。该系统通过计算太阳高度角, 以判断昼夜, 不满足运行条件步, 则步进电机停止工作, 从而减少电能消耗。该装置具有结构简单、可靠性高、抗干扰能力强以及经济实用等优点, 具有较好的应用前景。

参考文献

1. 张善文, 张剑峰, 陈思栋. 太阳光线双轴跟踪装置的机械系统设计[J]. 机械工程与自动化, 2010(4):91-93.
2. 孙孝仁, 太阳能的现状与未来[J]. 陕西省科技情报研究所, 2005, (08):15-14.
3. 王宝印, 二自由度太阳自动跟踪装置控制系统的研究.[D] 河北工业大学. 2013.
4. 李文忠, 段朝玉. 短距离无线数据通信[M]. 北京航空航天大学出版社, 2006.
5. 刘振起. 太阳能集热器自动跟踪装置[J]. 节能, 2003, 9:22224.
6. 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003:133.
7. 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003:133.
8. SPMUL A B. Derivation of the solar geometric relationships using vector analysis[J]. Renewable Energy, 2007, 32(7): 1187-205.

9. Chiras D D. Power from the Sun: A practical guide to solar electricity[M]New Society Publishers, 2013.
10. Henriklund. Renewable energy strategies for sustainable development[J]. Energy,2007,32(6):912-919.

基于 Arduino 的风力悬浮控制装置*

于洋；胡龙；许伦豹

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春, 130021)

摘要: 本风力悬浮装置利用四个无刷直流电机作为其执行机构、Arduino Uno R3 作为风力悬浮装置的控制装置、四个通道上的双闭环 PID 控制技术来实现对圆盘状态的闭环控制。以圆盘原点为中心建立笛卡尔坐标系, 利用 MPU-6050 传感器采集 x,y,z 轴偏角, 通过双闭环 PID 组成内外环调节相应的角速度与角度使各个轴达到期望状态从而使圆盘在空中保持稳定。利用超声波测距模块测量圆盘与风力发生装置的距离, 通过高度 PID 调节实现对圆盘在垂直方向上的运动。通过对圆盘四个通道的控制从而使圆盘在预设高度保持稳定, 并具有一定的抗干扰能力。

关键字: Arduino Uno R3 PWM 调制技术 MPU-6050 MEMS 传感器 PID 控制

Wind Suspension Control Device Based On Arduino

Yu Yang; Hu Long; Xu Lunbao

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Chang Chun, 130021)

Abstract: The device utilizes four brushless DC motor as the driving force, and Arduino Uno R3 was suspended as the wind controller device, and Dual-loop PID control technology on four channels to achieve closed-loop system of the motor on the disc. Disc centered at the origin with the Cartesian coordinate system established, MPU-6050 sensors collect x, y, z-axis angle data, the angular velocity of the ring to adjust the corresponding angle so that each axis to achieve the desired state of the composition by dual-loop PID inside and outside in order to keep the disc remain stable in the air. The use of ultrasonic ranging module to measure the distance of the disc with the wind generating means, forming a feedback loop to achieve the vertical movement of the disc in the vertical direction by the height of the PID regulator. Through the adjustment of four channels, the height of the disc at a preset stable and have some anti-jamming capability.

Key words: Arduino Uno R3 PWM Modulation MPU-6050 MEMS Sensor PID Control

0 前言

风力悬浮控制技术在生产生活中有广泛的应用, 如在显示屏生产过程中, 基板或显示屏在工作台上被加工完毕后, 从底部吹气使基板漂浮, 以使用使传送带传出; 在分离松子皮、仁过程中, 静电吸引、震动、离心分离等方法均得不到满意结果, 而风力悬浮技术利用松子皮、仁悬浮速度的差别可得到很高的分离净度; 在宇航员训练过程中, 也利用风力悬浮控制技术模拟太空失重环境来训练航天员。风力悬浮技术实现难度大, 技

术并未成熟, 还有很大的改进、完善和应用空间。

本基于 Arduino 的风力悬浮控制系统主要由主控模块 (Arduino Uno R3)、MPU-6050 9 轴传感器模块、风力发生装置、圆盘、超声波测距模块组成。利用 MPU-6050 传感器采集 x,y,z 轴偏角, 通过双闭环 PID 组成内外环调节相应的角速度与角度使各个轴达到期望状态从而使圆盘在空中保持稳定。

1 系统理论分析与计算

1.1 圆盘的建模

* 指导教师: 随阳轶

项目类型: 竞赛项目

为了建立圆盘的动力学模型，不失一般性，对圆盘做出如下假设：①由于设计在四个方向都放置激光笔与配重，因此假设圆盘质量主要集中于放激光笔的 x, y 轴上；②圆盘为均匀对称的刚体；③惯性坐标系 E 的原点与圆盘几何中心及质心位于同一位置；④圆盘所受阻力和重力不受高度等因素影响，总保持不变；⑤圆盘各个方向所受的吹力与推进器转速的平方成正比例。为使圆盘从平台飞向空间中的一个固定点，设计建立方向余弦转换矩阵。地面坐标选择笛卡尔右手定则直角坐标系。

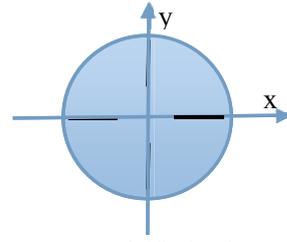


图 1 圆盘模型示意图

Fig.1 Disk model

1.2 系统模型的计算

1.2.1 被控系统的建模

从建模假设可以理想的得出动力学模型，利用运动方程和力矩的平衡关系、拉格朗日方法简化模型可写成如下方程式：

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= U_1 (\cos \ell \sin q \cos j + \sin \ell \sin j) - K_1 \dot{x} / m \\ \ddot{y} &= U_1 (\sin \ell \sin j \cos j - \cos \ell \sin j) - K_2 \dot{y} / m \\ \ddot{z} &= U_1 (\cos \ell \cos j) - g - K_3 \dot{z} / m \end{aligned} \quad (1)$$

其中 g 代表重力加速度； m 为圆盘的总质量； K_1, K_2 和 K_3 为该系统的阻力系数。低速时阻力很小，可忽略不计。假定重心在连接处中间由于重心向上(或向下)移动 d 个单位，使角加速度变得对力量敏感度降低，因此增加了稳定性。为了方便运算，定义输入为如下公式所示：

$$\begin{aligned} U_1 &= (H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / m \\ U_2 &= l(H_3 + H_4 - H_1 - H_2) / I_1 \\ U_3 &= l(H_2 + H_3 - H_1 - H_4) / I_2 \\ U_4 &= C(H_1 + H_2 + H_3 + H_4) / I_3 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 U_1 为 4 个转子所产生的垂直推力， U_2 为俯仰力矩， U_3 为偏航力矩， U_4 为滚动力矩， $H_i (i=1, 2, 3, 4)$ 为 4 个转子所产生的推力， $I_i (i=1, 2, 3)$ 为相对于轴的转动惯量。

1.2.2 系统传递函数的计算

由于对圆盘进行仿真需要整体的系统传递函数，通过对圆盘进行数学建模已得到相关输入、输出的变量关系，设状态空间方程的形式如下所示：

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX + DU \end{cases} \quad (3)$$

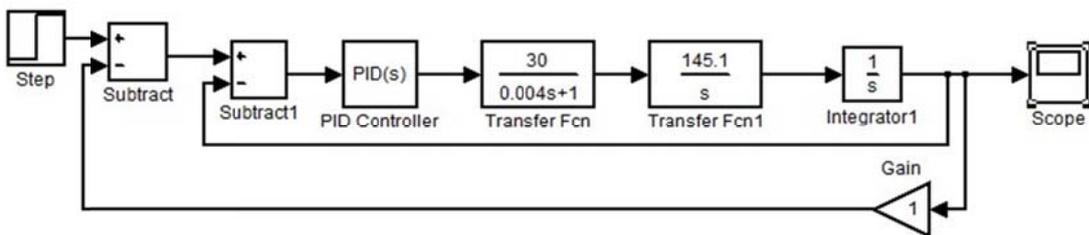


图 2 单通道 PID 控制流程图

Fig.2 Flow of signal-channel of PID control

其中 $U = (U_1, U_2, U_3, U_4)^T$ 为输入矢量，

$X = (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, q, \ell, j, \dot{q}, \dot{\ell}, \dot{j}, g)^T$ 为状态矢量，

$Y = (x, y, z, \ell, q, j)^T$ 为输出量。

求解矩阵 A, B, C, D ，将对圆盘进行测量得到的参数带入上述矩阵并用 MATLAB 求出相应状态空间方程的传递函数，由于圆盘悬停状态时

$q = j \gg 0$ ，所以讲所得传递函数进行简化可得如下矩阵：

$$G(s) = \begin{Bmatrix} \frac{1}{ms^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{l}{I_1 s^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{l}{I_2 s^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{l}{I_3 s^2} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

1.3 MATLAB 仿真

利用已得电机传递函数已经上述各通道传递函数在 Simulink 中搭建仿真系统，如下：

通过调节内外环的 PID 参数观察系统的阶跃响应图像来判断是否达到合适的 PID 参数，从而为实际 PID 参数整定做指导，图 2 为圆盘俯仰通

道阶跃响应仿真结果，其余三个通道参数的整定同俯仰通道的参数整定一样，故而不加叙述。

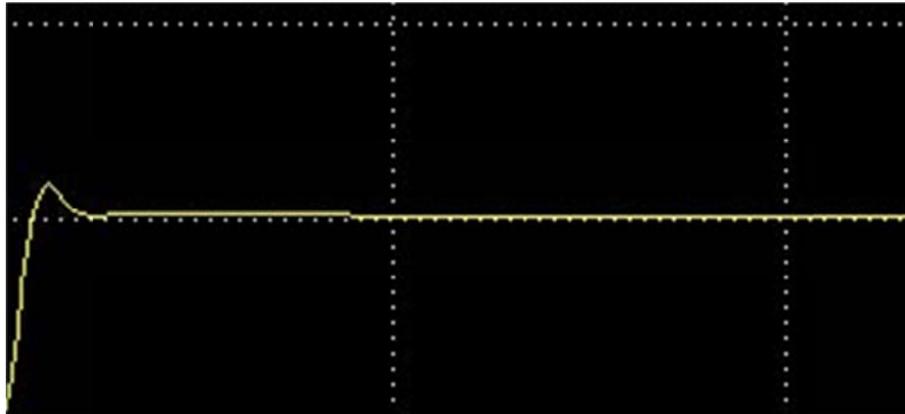


图 3 俯仰通道阶跃响应

Fig.3 The step response of pitch channel

2 实验结果及分析

2.1 测试条件与仪器

测试条件：悬浮高度为唯一变量；电机能正常运行；软硬件能正常工作；圆盘中心与风力发

生装置中心对齐。

测试仪器：刻度间隔 1mm 的刻度盘、激光笔、秒表。

2.2 测试结果及分析

2.2.1 测试结果(数据)

表一：高度悬浮 5cm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
浮动误差 (cm)	-	1.5	1.7	2	1.8	1.5	2.7	1.8
悬浮时间 (s)	-	3	6.5	4.3	4	5.8	6.2	5.5

表二：高度悬浮 10cm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8
浮动误差 (cm)	4	-	2.0	3.6	-	3.0	2.2	2.8
悬浮时间 (s)	3	-	2.5	3.8	-	5.8	5	6.5

2.2.2 测试分析与结论

根据上述测试数据，可分析：

1、由于高度越高电机风力越小从而导致 PID 调节无法有效执行从而导致圆盘不能稳定或者稳定时间变短；

2、此外当电机转速变高而圆盘质量较轻时圆盘在悬浮上升过程中边已经失调，从而导致高度越高越难以控制；

3、无刷电机在运行中的不稳定导致即使占空比相同转速也不是恒定的；

4、风力发生装置设计的不合理也使控制变难而

不易控制；

5、当悬浮高度越高，系统越难以稳定；

6、PID 控制只能在一定范围内保持有效作用。

3 结论

利用 MPU-6050 传感器采集 x,y,z 轴偏角，通过双闭环 PID 组成内外环调节相应的角速度与角度使各个轴达到期望状态从而使圆盘在空中保持稳定的方案，基本实现了是圆盘悬浮的目的。但悬浮时间短，由于某些因素导致偶尔不能悬浮，圆盘一旦偏离中心位置便不能继续控制。所以以后将从两方面进行改进，硬件将使用风力更均匀的发生装置，

软件增加圆盘位置的控制。

参考文献

1. 蔡睿妍.Arduino 的原理及应用[J].电子设计工程, 2012,16:0155-03.
2. 赖义汉, 王凯.基于 MPU6050 的双轮平衡车控制系统设计[J].河南工程学院学报(自然科学版), 2014,01:0053—05.
3. 李秀英, 刘彦博.基于 PWM 的四旋翼飞行器控制方法[J].吉林大学学报(信息科学版), 2011,05:0464-09.
4. 段世华.四旋翼飞行器控制系统的设计和实现[D].成都: 电子科技大学.2012.5.
5. 王帅, 魏国.卡尔曼滤波在四旋翼飞行器姿态测量中的应用[J].兵工自动化, 2011,01:022-03.
6. 王素青, 姜维福.基于 MATLAB/Simulink 的 PID 参数整定[J].工业控制与应用, 2009,03:0024-03.

基于 LabVIEW 的虚拟逻辑分析仪触发电路设计*

刘 沐； 刘 昕； 李秋怡

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 本文对逻辑分析仪的触发功能和应用方法进行了介绍。针对应用虚拟逻辑分析仪触发功能捕获信号的特点,对触发功能提出了一种基于 LabVIEW 的虚拟逻辑分析仪触发设计方法。文章分别对基于 LabVIEW 设计的延时触发、边沿触发、序列触发功能应用进行了详细的说明。

关键词: 逻辑分析仪 虚拟仪器 LabVIEW 触发 FPGA

Design of a Flip-flop Circuit with in Digital Logic Analyzer Based on LabVIEW

Liu Mu; Liu Xin; Li Qiuyi

(Instrument science and electrical engineering college of Jilin University, Changchun, 130026)

Abstract: The article introduces the logic analyzer trigger function and application method. In view of the application characteristics of virtual logic analyzer trigger function to capture the signal to trigger function put forward a design method of virtual logic analyzer based on LabVIEW. Articles respectively based on LabVIEW design sequence of delay trigger, edge trigger, trigger function application has carried on the detailed instructions.

Key words: logic analyzer virtual instrument LabVIEW flip-flop FPGA

0 前言

逻辑分析仪 (Logic Analyzer, 以下简称 LA) 是将简单逻辑信号作为测量对象的测量分析仪器, 可用于观察总线上的数据关系于定时关系, 并分析解释微处理器上的总线信息。使用 LA 检测数字电路并进行分析时, LA 需要对数字电路的若干个通道或线路进行采集, 并产生大量的采样数据。在 LA 的采集过程中, 由于它的相对存储深度有限, 测量者通常是关心被测量电路在某一特定时刻的数据状态或该时刻的信号逻辑关系, 因此需要为需要的数据状态或信号逻辑关系建立一种判断依据, 这种判断依据就是触发事件, 触发事件是使 LA 的采集存储器能够高效率地对指定通道的数据样本进行选择性的采集存储。逻辑分析仪的整个工作过程就是对数字电路信号的采集、存储、触发、控制、显示的一个整体过程。

触发设计是本次虚拟逻辑分析仪设计的一个关键点, 利用触发事件对所需数据进行准确的采样, 一方面能够有效解决 LA 因存储深度有限无法准确存储用户所需数据的难题; 另一方面也能够彻底摆脱从海量测试数据中搜索问题数据的痛苦, 轻松高效的定位电路故障。

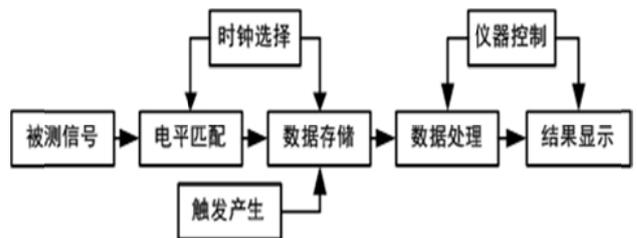


图 1 逻辑分析仪结构图

Fig 1 Logic analyzer structure

1 逻辑分析仪触发功能

触发能力是评价逻辑分析仪最重要的一项性能指标。用逻辑分析仪观察大量数据的方法是设置特

* 指导教师: 刘卫平

项目类型: 创新项目

定的起始观察点、终止观察点或与被分析的采样数据有一定关系的某一个特定的参考点。这个特定的点在所采集的数据流中一旦出现，便形成一次触发事件，相应的把数据存入相应的存储器，这个过程被我们称为触发。这个参考点在逻辑分析仪触发开始时可以被作为一个特定的数据字，即我们所说的触发字。

逻辑分析仪的触发功能通常由内部触发模块和外部触发模块组成。内部触发模块由仪器内部触发电路实现完成，在逻辑分析仪的工作过程中，被采样的数据经数据锁存后，顺序地送往数据存储单元，同时把被捕获的数据字与预置的触发字比较，通过触发字识别电路找到触发字后，由触发逻辑电路按规定的触发方式产生触发信号，控制数据存储单元的储存和转为数据读出，便于对被测数据信息进行分析。外部触发模块通常由触发信号输出和外部触发信号输入两组功能构成，用于实现两种测试工具的同步测试功能。

2 触发字选择

在逻辑分析仪中，利用触发字或触发事件的序列来控制对数据的存储和显示，以便在数据流中挑选一个恰当的观察窗口。触发能力是逻辑分析仪最重要的一个指标，特别是在用逻辑状态分析仪处理复杂程序时，合理的触发功能以及符合条件的触发设置可以使仪器在庞大而复杂的程序流中迅速找到需要跟踪的目标，并且逻辑分析仪用来分析错误的部位及故障的性质，这可以大大缩短软件和硬件的研发、调试周期，带来优良的效果以及较大的经济效益。

用逻辑分析仪观察大量数据的方法是设置特定的观察起点、终点或与被分析数据有一定关系的某一个参考点，这个特定的点在数据流中一旦出现，便形成一次触发事件，相应地把数据存入存储器，这个过程称为触发。这个特定的参考点并不是一个模拟信号参数，而是一个数据字，也可能是字或事件的序列，总之是一个多通道的逻辑组合，这个数据字称为触发字。由字或事件序列构成的触发称为序列触发。简言之，触发字是一个用于选择数据窗口的数据字。利用触发字进行触发，是逻辑分析仪最简单、基本的触发方式，也是复杂触发方式中的重要内容。由于逻辑状态分析仪常用来分析软件，因此往往选计算机地址线或数据线上特定的数据字作为触发字。有时也利用一些控制信号与地址或数据共同组成触发字。

触发字的选择是确定显示窗口位置的基础。如果选择不当，显示内容可能不说明问题甚至没有显示。恰当的触发字可以显示欲观测的内容或很快逼近待分析的故障点。在有故障的计算机中，由于程序不能正常运行，触发字的设置有时会感到困难。为捕捉到程序在何处运行，有时把触发字的各位均设置为任意项，用连续跟踪方式或从多个单次跟踪的显示结果中寻找感兴趣的内容，还可以从这种内容中挑选触发字进一步分析。

3 虚拟逻辑分析仪触发电路设计

3.1 虚拟逻辑分析仪设计

虚拟逻辑分析仪采用模块化设计，仪器的每个功能都分别对应于一个独立的硬件或者软件模块，分别由硬件部分的信号采集模块、微处理器模块、FPGA 模块和软件部分的 LabVIEW 模块组成。具体设计以虚拟仪器技术为理论依据，以 VIIS-EM 为系统基础架构，以模块化结构为模板，以 FPGA 作为硬件基础，以 LabVIEW 为软件核心，构建虚拟逻辑分析仪。

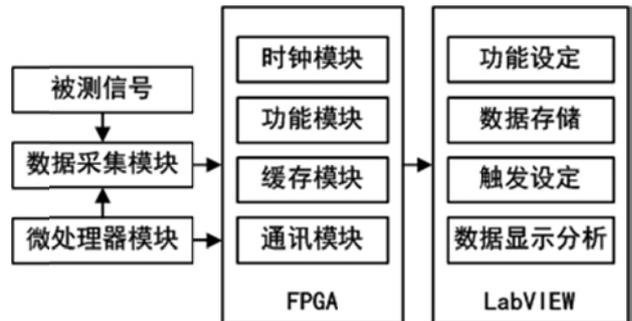


图2 虚拟逻辑分析仪总体结构图

Fig 2 The overall structure of the virtual logic analyzer

其中模拟电路由探头电路、检测电路和延时电路构成，芯片则有电压比较器和 74LVC4245 电平转换器。微处理器模块的主要功能是使仪器初始化、负责 FPGA 芯片和 VIIS-EM 系统之间的通讯、数据传输。同时还是仪器控制中枢，负责解析上位机下达的命令并对受控模块执行相应操作，实现整个仪器的操作控制。FPGA 模块是虚拟逻辑分析仪的主要硬件芯片，完成整个硬件采集卡的基本功能，包括实现虚拟逻辑分析仪的基本功能、提供分析信号所用的定时采样时钟、并且将信号采集通道所采集到所有数据暂存于 FIFO 中，然后通过 VIIS-EM 系统总线将这些数据传输至上位机。作为上位机中的软件模块 LabVIEW 模块，也是整个系统的核心模块，触发电路的设计也集中在 LabVIEW 模块作为人机交互界面的前面板控制、管理着整个虚拟逻辑

分析仪，并给出不同类型的结果显示。

3.2 LabVIEW 程序框图设计

本次设计的虚拟逻辑分析仪的软件主程序以程序框图的形式全部在后面板实现，程序框图用来接受 USB 上传的数据、使仪器初始化、控制数据流动的方向、对信号进行实时控制、进行处理数据与分析数据、显示波形与数据结果、并实现输出波形。本仪器绝大部分的功能和所有控制、操作手段均在 LabVIEW 中实现。

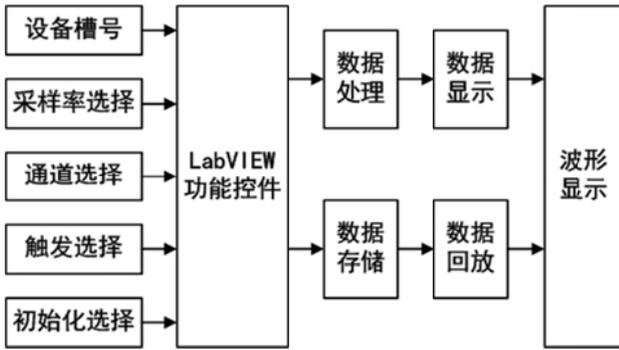


图 3 LabVIEW 程序框图

Fig3 Program block diagram of LabVIEW

触发电路的设计在前面板部分运用了三级触发模式，这个部分可以进行触发类型、触发内容以及触发级数的选择。其中触发类型部分可以选择延时触发、边沿触发、序列触发。当选择延时触发时，触发内容出现延时时长可供选择；当选择边沿触发时，触发内容显示上升沿触发或下降沿触发，此时触发字一全部显示 0 触发字二全部显示 1，类似于一个序列触发的二级触发，表示上升沿触发，当触发字一全部显示 1 触发字二全部显示 0 则表示一个下降沿触发；当选择序列触发时可选择一级二级三级触发。



图 4 触发电路前面板设计

Fig4 Trigger circuit design on the front panel

触发电路在后面板的设计，首先将采集到的数据通过 USB 总线上传至上位机，通过 CLF 节点调用 DLL 的方式进入到 LabVIEW 后,数组首先会进入到一个简单的数字滤波和整形的程序框图，对其进行滤波整形处理。然后，数组按照顺序结构

会进入到数据转换程序框图。首先在 FOR 循环控制下，数组会被数值至布尔数组转换控件转换为 1D 布尔数组。然后会被索引数组控件按照硬件采集卡对应的数据通道一一拆开开来，转换成布尔数值。最后，通过布尔值至 (0,1) 转换控件，这些数据最终被按照采集通道的顺序转换为(0,1)序列集。

触发部分后面板程序设计分两个部分设计，一部分是整体的序列触发部分和边沿触发部分，应用循环语句和条件语句进行设计。

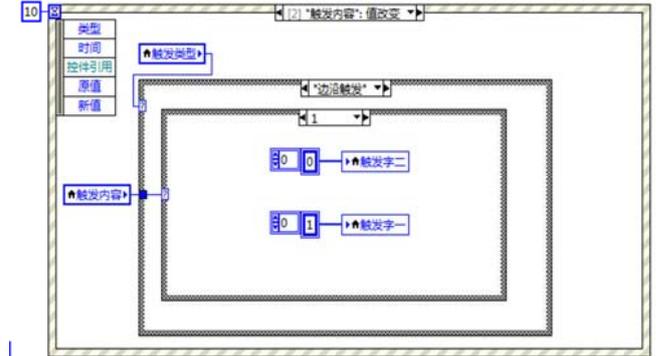


图 5 边沿触发程序图

Fig5 Edge triggered program chart

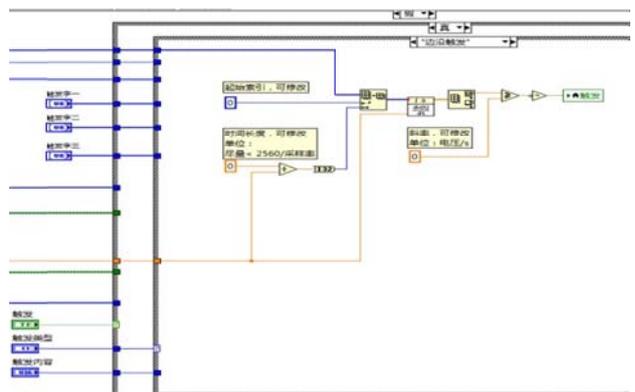


图 6 序列触发程序图

Fig6 Sequence trigger program chart

虚拟逻辑分析仪的结果输出以实时保存功能在后面板程序框图中来体现。当发现有价值的波形出现时，可迅速点击保存按钮，完成实时保存波形图，以图片形式输出。

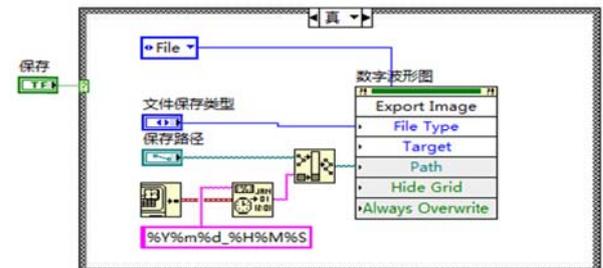


图 7 实时保存程序图

Fig7 Instantly save program chart

4 结论

作为先进的测量仪器，逻辑分析仪在数字系统测试领域中得到了越来越广泛的应用。虚拟仪器的出现带来了许多的便利。灵活、高效率的运用虚拟逻辑分析仪各种强大的触发功能，能够方便的查找硬件故障，及时获取调整系统软件结构，使硬件和软件运行工作更加顺畅。本文在基于 LabVIEW 的触发电路设计上借鉴模块化设计的方法，使复杂触发逻辑条件的设计得以简化，使电路设计由硬件设计转变为软件设计，这样提高了设计的灵活性，降低了电路的复杂程度，同时也降低了设计的成本。

参考文献

1. Shao-hua X, Xue-feng Z. Integrated Test Station Based on Virtual Instrument[J]. Ordnance Industry Automation, 2004.
2. Xiao-yan Y, Guang-yu Z. Design of a Flip-flop Circuit within Digital Logic Analyzer Based on FPGA[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2006.
3. Yan L, Min L. Implementation of Flip-flop Circuit within Digital Logic Analyzer Based on FPGA[J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2004.
4. 裘伟廷. 基于 Lab VIEW 的虚拟仪器和虚拟实验[J]. 现代科学仪器, 2002, (3):20-23.
5. 王建群, 南金瑞, 孙逢春等. 基于 LabVIEW 的数据采集系统的实现[J]. 计算机工程与应用, 2003,39:122-125.
6. 胡昆霖. 基于 VIIS-EM 的数据域测试系统设计[D]. 吉林大学, 2013.
7. 王万昭, 张鹏云, 和志强. 基于 FPGA 的虚拟逻辑分析仪的设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2014,01:211-213+218.
8. 丁宁, 靳璐. 基于通用数据采集系统的采集信号触发方式研究[J]. 电子世界, 2014,03:14-15.
9. 左向利. 虚拟逻辑分析仪的研制[D]. 吉林大学, 2012.
10. 田晓红, 张凯, 刘群. 多种触发功能的可编程高速数据采集模块[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011,10:43-45.
11. 鲜果, 龚晓峰. 基于 FPGA 的新型虚拟逻辑分析仪的设计[J]. 电子技术应用, 2011,12:87-89.
12. 张渊. 基于 FPGA 逻辑分析仪的研制[D]. 华中科技大学, 2012.
13. 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, 2012,10:80-83.
14. 韩建宁. 实验教学虚拟逻辑分析仪的设计[J]. 国外电子测量技术, 2008,11:46-49.
15. 沈昕. 500MHz LXI 逻辑分析仪数据采集模块硬件电路设计[D]. 电子科技大学, 2011.

光泵磁传感器关键参数的测试装置*

单文卓； 王鹏飞； 孟令浩

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 设计高频振荡电路, 通过电路输出信号激励光谱灯, 建立吸收室吸收比参数测量装置, 基于 AD9850 的并行控制方式和循环控制方式, 产生一系列频率可调的正弦信号, 测试光泵磁传感器的共振信号, 包括绘制共振信号曲线及其一次谐波、二次谐波曲线, 并对波形进行存储和显示。

关键词: 高频振荡 吸收比 DDS 信号发生器

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

The key parameters of optical pumping magnetic sensor test device

Shan Wenzhuo; Wang Pengfei; Meng Linghao

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: High-frequency oscillation circuit design, circuit output by the excitation spectrum lights, establish the absorption chamber absorption ratio test parameters, based on parallel control and AD9850 loop control mode, resulting in a series of sinusoidal signal frequency tunable optical pumping resonance signal testing, including draw the curve and its first harmonic resonance signal, the second harmonic curve, and for storage of the waveform, and test parameters are displayed.

Key words: High frequency oscillation Absorption ratio DDS signal generator

0 前言

光泵磁传感器是以原子能级的塞曼效应为基础, 结合光泵技术和磁共振技术而成的磁测量仪器, 具有高精度, 高灵敏度的特点。由于光泵磁传感器的高效性, 被广泛应用于地质勘探开发, 石油采集, 生物医疗工程等方面^[1]。决定光泵效果的主要因素就有吸收室体积、充气气体和气体纯度等, 其制作的优劣程度会直接影响仪器测量的准确性和高效性, 甚至会决定光泵磁传感器能否正常工作, 所以测量其关键参数至关重要。

本文中采用一种无零点漂移, 便于连续记录和遥测等优点的光泵磁传感器, 制作并实现其关键参数的测量的一套装置。传统的测量装置是在做完吸收室后装入探头, 通过测量探头上的数值来判断整体的效果, 但此方法存在许多问题, 需要多次检查并且重新制作吸收室, 既浪费材料又延长了实验周

期^[2], 本文的意义在于针对传统测试方法的不足, 发明了一种基于微处理器的光泵磁传感器关键参数测试装置, 该装置可在抽真空-充气设备上对光敏元件的输出电压和吸收比进行实时地观测, 并且绘制出共振信号曲线及其一次谐波、二次谐波曲线, 还能实现波形存储功能, 进而为通过对吸收比的观测来调节吸收室内的压强以实现最佳吸收比提供根据。

1 光泵磁传感器测量装置原理

通常情况, 氦室内是无磁性的, 即氦原子的磁矩为零, 当气压低, 气体纯度高时, 高频振荡电路激励氦室, 高频放电引起氦原子从稳态跃迁至亚稳态, 此时的氦室具有磁性, 当氦原子进入被测外磁场时, 原子就会发生塞曼原子分裂, 分裂成塞曼次能级, 继而激励氦室的氦灯被点亮并产生 1083nm 的光线, 又经过凸透镜变成圆偏振光, 同时, 氦室中的原子吸收 D 线, 从亚稳态跃迁到高能状态, 后

* 指导教师: 周志坚

项目类型: 创新项目

亚稳态并各个以等概率自发跃迁到次能级上。设 V_1 为激励光谱灯，没激励吸收室时，透过吸收室的光敏元件输出的电压； V_2 是同时激励光谱灯时，透过吸收室的最小光敏元件输出的电压。定义吸收比的公式如下：

$$\delta = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

测量的吸收比数值可以反映出氦原子吸收 D 线的程度以及能力，作为衡量光泵磁传感器的作用的重要指标之一，吸收比也是本文设计测量装置的一个关键的测量参数^[3]。

同时本装置利用 DDS 定理，设计一套正弦信号发生器通过射频线圈，采集电压值，绘制共振曲线。

直接数字式频率合成器是利用采样定理，以相位间隔为依据，对正弦信号进行取样、量化、编码，然后将数据存储起来，构建波形数据查询表，通过查表法形成波形。直接数字式频率合成器存放频率控制字到寄存器中，给定 K，输出频率为，

$$f_{out} = \frac{K}{2^N} f_c \quad (2)$$

相位增量通过相位累加器控制，输出 $\Delta\theta$ ， $\Delta\theta$ 为相位序列码 $\Delta\theta = K\delta = 2\pi K/2^N$ ，通过查表法将相位序列码转换成幅度序列码；DA 转换，再转为阶梯波形，用滤波器对波形进行滤波，输出正弦信号，最后经过时钟信号控制采样的时间间隔 Δt 。如果需要产生方波信号，需要将所得的正弦波通过比较器输出得到所需要的方波。DDS 基本原理如图 1 所示。

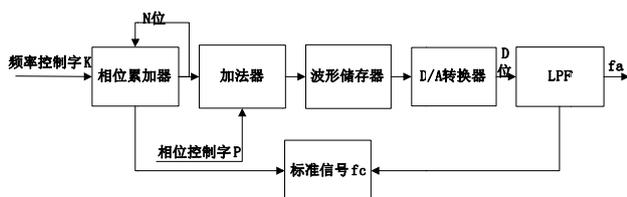


图 1 DDS 工作原理框图

Fig.1 DDS work Block Diagram

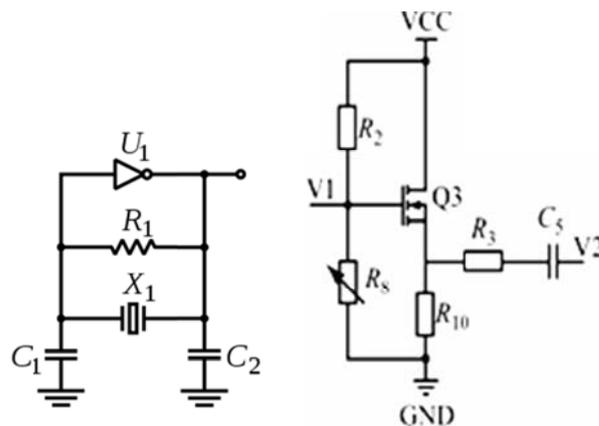
2 系统设计与实现

本系统包括高频振荡电路，吸收比测试装置，DDS 正弦信号发生器。

2.1 高频振荡电路

高频振荡器采用晶体振荡器中的皮尔斯 C-B 形式，如图 2(a)所示， R_1 可视作反相器的偏压电阻，使得反相器在线性区域内工作而成为具有高增益的反相放大器，以确保振荡的发生。 X_1 与 C_1, C_2 共同构成 π 型带通滤波器，约在 X_1 的共振频率上提供所需的电压增益和 180 度的相移。在发生震荡的频率

上， X_1 呈现电感性，可以将其视作具有高 Q 值的电感。反相器的负增益加上 π 型网络提供的 180 度相移，合起来即成正环增益，使 R_1 所设定的偏压无法稳定而产生震荡。设计高频振荡电路，如图 2(c)所示，具有高阻抗性及频率高度稳定性，同时可以通过 C_3, C_4 和 L_1 ，调节输出 16MHz 的谐振频率，足够激励氦室和点亮氦灯。为了防止负载对高频振荡电路不能正常工作，输出端加一级缓冲电路，如图 2(b)所示，缓冲器使用射极跟随器，具有高输入阻抗、低输出阻抗的特点。

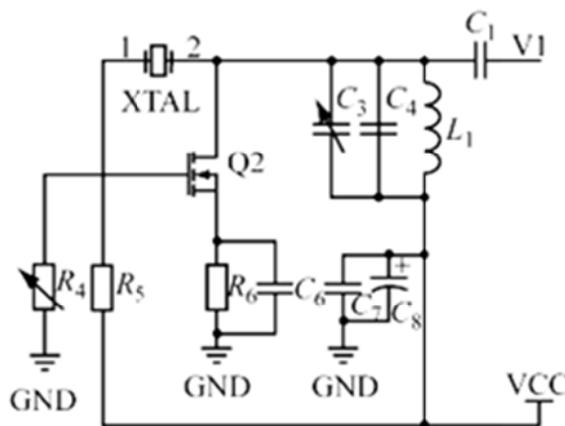


(a) 皮尔斯 C-B

(b) 射极跟随器

(a) Pearce C-B

(b) Emitter follower



(c) 高频震荡器

(c) High-frequency oscillator

图 2 高频振荡电路原理图

Fig.2 High-frequency oscillating circuit diagram

2.2 吸收比测量装置

吸收比测量装置抽取氦室气体，使氦室真空，向氦室充氦气，检测吸收比装置初始化，使用高频振荡电路点亮光谱灯，通过凸透镜和光敏元件，对电流电压进行转换，AD 采集，测量并显示电压 V_1 ，继而再激励吸收室，同理测量并显示电压 V_2 和计算出吸收比，与标准值进行对比，检测是否合格。

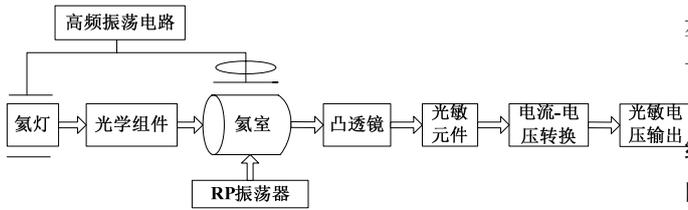


图3 光泵磁传感器组成框图

Fig.3 Optical pumping magnetic sensor block diagram

2.3 DDS 正弦信号发生器

本装置使用 AD9850 模块来搭建正弦信号发生器，利用并行控制和循环控制方式，产生一系列频率可调的正弦信号，运用反相运放电路对信号幅值进行调节^[4]，通过 MSP430F149 控制产生 0.98MHz~1.96MHz 的扫频信号，扫频正弦信号源进入射频线圈，采集步进扫频频率，使波形通过共振区的方式来检测此共振信号并且通过模数转换采集传感器光敏二极管电压值，继而绘制磁敏传感器共振曲线以及一次谐波，二次谐波并进行存储与显示。

AD9850 产生步进可调频率和扫频的 DDS 正弦信号发生器的系统流程图如图 4。

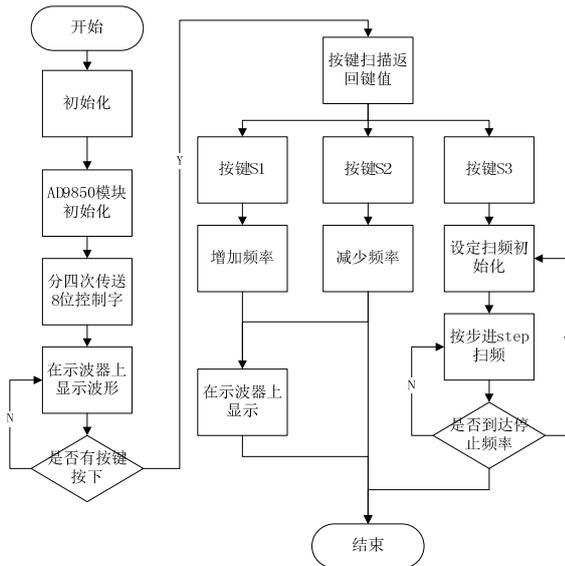


图4 AD9850 DDS 正弦信号发生器系统流程图

Fig.4 AD9850 DDS sine wave generator system flow diagram

3 实验结果

高频振荡电路输出的激励信号为 21V,16MHz, 可以用于激励光谱灯，以测量氦室吸收比。保持光轴、氦室轴线以及光敏元件在一条直线，测量吸收在不同压强的吸收比，可知，吸收比在 38%以上，光泵达到预期效果，氦室合格^[5]。

采用 AD9850 的 DDS 正弦信号发生器可以产生 0~500mV,0.98MHz~1.96MHz 的正弦扫频信号，扫频步进频率测试数据如表 1。根据数据显示，扫频

步进误差在 1%左右，步进可以精确到 20Hz，但由于使用 AD9850 模块，步进精度还有待改善。

频率-x, AD 采集输出电压值-y, 绘制出共振曲线，基波信号的幅度可以看作一次微分，二次谐波的幅度看作二次微分^[6]。

表 1 扫频步进频率测试数据

Table 1 Step frequency sweep test data

编号	预置步进频率 /Hz	实际步进频率 /Hz	相对误差
1	10	10.32	3.10%
2	20	19.81	0.96%
3	30	30.32	1.06%
4	50	50.65	1.28%
5	100	100.74	0.73%
6	1000	1050	4.96%

4 结语

本文设计光泵磁传感器关键参数的测试装置，利用高频振荡器激励光谱灯测量吸收比，确定氦室是否可以达到预期效果，并且设计基于 MSP430 单片机的 AD9850DDS 正弦信号发生器产生微小步进扫频信号，绘制共振曲线并且显示存储参数数值和曲线。本装置不仅节约了材料，提高了吸收室的合格率，缩短了磁力仪的制作周期，还具有操作简单，成本低廉等优点，能更直接有效地为光泵磁力仪的设计提供依据。

参考文献

- 管志宁, 郝天兆, 姚长利. 21 世纪重力与磁法勘探的展望[J]. 地球物理学进展, 2002, 17 (2): 237-244. Guan Zhining, Hao Tianyao, Yao Changli. 21th century gravity and magnetic exploration [J]. Progress in Geophysics, 2002,17 (2): 237-244.
- 张昌达. 量子磁力仪研究和开发近况[J]. 物探与化探, 2005, 29(4): 283-287. Zhang Changda. Quantum magnetometer Recent research and development [J] Geophysical and Geochemical Exploration, 2005,29 (4): 283-287.
- 何聪, 周志坚, 王君, 连明昌. 基于 MSP430 氦光泵磁敏传感器吸收比测试系统设计[J]. 实验室研究与探

索, 2014, 02: 45-48.

He Cong, Zhou Zhijian, Wang Jun, Lian Mingchang.

Based on MSP430 helium optical pumping magnetic sensors designed to absorb than the test system [J]

Laboratory Research and Exploration, 2014,02: 45-48.

4. 周锋, 卞金洪, 曹瑞. 基于 MSP430F149 与 AD9850 的信号发生器设计[J]. 盐城工学院学报, 2010 年 12 月, 23(4): 40-44.

Zhou Feng, Bian jinHong, Cao Rui. Based on MSP430F149 and AD9850 signal generator [J] Yancheng

Institute of Technology, December 2010, 23 (4): 40-44.

5. 张振宇, 程德福等. 氦光泵磁力仪信号的分析及检测 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(12): 2656-2661.

Zhang Zhenyu, Cheng Defu etc. Analysis and detection of helium optical pumping magnetometer signal [J] Journal of Scientific Instrument, 2011,32 (12): 2656-2661.

6. 连明昌, 程德福, 周志坚, 王君, 何聪. 光泵磁敏传感器中 FPGA 调频器设计与实现 [J]. 传感技术学报, 2012, 11: 1618-1622.

Lian MingChang, Cheng Defu, Zhou Zhijian, Wang Jun,

HE Cong. Optical pumping magnetic sensor FM FPGA design and implementation Sensing Technology [J],

2012,11: 1618-1622.

汽车远近灯自动切换系统*

翁子汉； 郝帅； 金灿琳

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要: 汽车远光灯是为了让驾驶者在夜间高速行驶时看清远方路况,但是在会车时如果不及时切换到近光,其强烈的光线会使对面车辆无法看清道路,极易发生交通事故。本文以单片机为控制核心,利用测速、光照、超声波测距三种传感器将信号整合起来,由单片机集中处理,然后再控制灯光的各种状态,实现对远近灯光亮灭的自动切换。本系统能很好地解决传统方式下,手动调光延迟时间长和驾驶员因频繁手动调光而分散注意力等问题,从而大大减少事故的发生。

关键词: 单片机 传感器 自动控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Automobile headlights automatic switching system

Weng Zihan; Hao Shuai; Jin Canlin

(College of Instrument Science and Electrical Engineering ,Jilin University,Changchun 130000,China)

Abstract: Automobile high beam allows the driver to see distant road at high speed in the night,but if not timely switch to low beams when passing, the strong light can make the vehicle cannot find their way.It is easy to cause traffic accidents. Based on the single chip processor as the core, the use of velocity,illumination intensity, ultrasonic ranging three kinds of sensor, it integrates the signal and then centralized processed by single chip microcomputer,then control the various states of lamplight, achieve automatic switching of high beam and low beam. This system can well solve the problem of long delayed time by the manual switch and the driver will cause distraction due to the frequent manual dimming at the traditional way,thereby significantly reducing the happening of the accident.

Key words: MCU sensor automatic control

0 前言

违章使用汽车远光灯造成的交通事故不在少数,每年新增车辆越来越多,由于远光灯使用不当造成的夜间交通事故比例更是急速上升。多数远光灯炫目问题的解决方案都不完善,不能完全解决远光灯危害问题。根据实际情况需求,对于汽车远光灯探测与控制系统,一定要确保安全,简单有效;目前除去极少数豪华型车辆外,大多数路上行驶的车辆都不具备远光智能控制功能,这主要是汽车工业生产特点决定的,每一点点成本的增加都会改变一款车销售情况,甚至影响一款车的市场定位,要想做到好的效果,系统一定要具有成本低廉,易于推广的

特点。简而言之,当前的趋势是研制一种确保安全、简单有效、成本低廉、易于推广的远光灯自动控制系统。

目前国内有对汽车防眩远光前照明灯、利用偏振光防眩目、汽车前照灯自动变光器等技术的研究,但都没有达到实用化的程度。当前对汽车远光灯炫目的问题,有许多不同的解决方案,但都存在着不同的问题。我们调研了校园内停放的汽车,暂时还没有安装自动切换远近灯光的汽车,通过查阅资料,现有长安标志雪铁龙全新 DS5、马自达 CX-9、一汽丰田全新 RAV4、宝马换代 6 系 650i、奥迪 A8L、长安福特全新蒙迪欧、奔驰全新 S 级等均配置了远近灯光自动切换的配置,虽然有相当一部分车现在还没有远近灯自动切换的功能,但这是现在以及未来

* 指导教师: 栾卉

项目类型: 创新项目

的一个发展趋势。

本设计区别于普通的手动控制的远近灯控制系统,随着科学技术的发展,将驾驶员从繁琐的驾驶操作中解放出来很有必要,本系统结合了测速、超声波测距,综合了各种复杂的情况从而对灯光的远近交替进行控制,全方位地考虑实际情况来统筹全局。针对现在的远光灯乱用情况和白天通过隧道忘记关闭车前灯而导致的资源浪费的情况,本系统提出利用自动控制系统的解决方案。

1 系统总体设计

汽车远近灯自动切换系统主要由单片机系统、电机及测速部分、光强检测部分、超声波测距部分、LCD显示及LED灯光几部分组成,单片机收集速度、光强、距离的综合信息,综合判断后将控制远近灯光的自动切换,系统框图如图 1 所示。

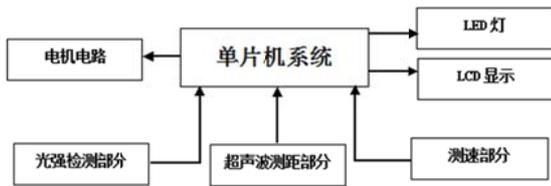


图 1 系统框图

Fig.1 System diagram

2 系统硬件设计

2.1 单片机控制部分

本文选用了 STC89C52 单片机作为控制核心,其最小系统原理图如图 2 所示。

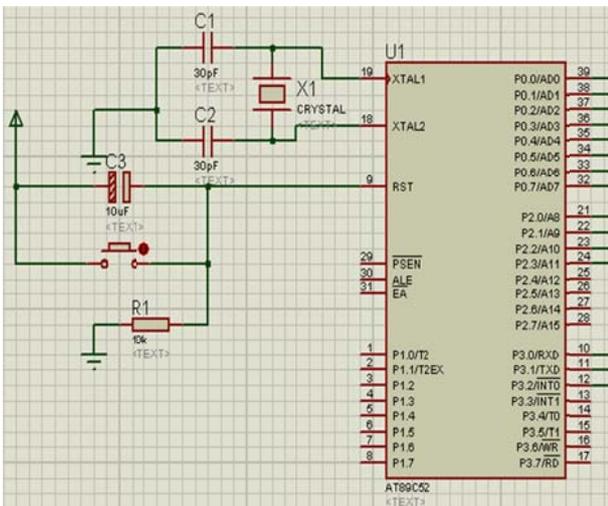


图 2 STC89C52 最小系统原理图

Fig.2 STC89C52 minimum system schematic diagram

2.2 电机及测速部分

电机驱动部分采用 L298N 驱动电路,实现了步进电机正传、反转、加速快转、减速慢转的功能,其电路原理如图 3 所示。

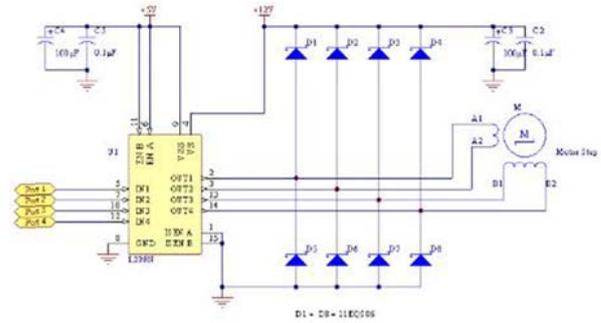


图 3 L298N 原理图

Fig.3 L298N shematic diagram

通过智能小车测速模块进行测速,采用光电码盘,只要在非透明物体通过槽型即可触发,输出 5V TTL 电平。单片机根据测得的速度,控制远近灯光进行切换,在光线不足的情况下,当速度太高难以满足视距需求时,即切换为远光灯;反之则切换为近光灯。

2.3 光强检测部分

光强检测部分采用光敏电阻进行设计,具体方法是将光敏电阻与一定值电阻串联接入电路,光照强度的变化会引起光敏电阻阻值的变化,从而影响电路电流及电压值的分布,将模拟电压通过 ADC0804 模数转换器转换为数字电压,将其送到单片机中进行处理,光强检测电路如图 4 所示。

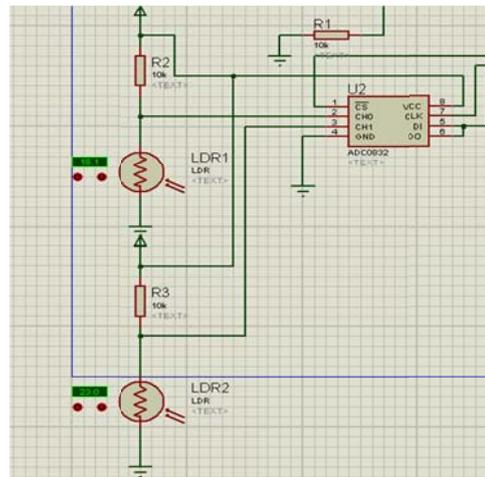


图 4 光强检测电路图

Fig.4 Light intensity detection diagram

本设计采用两个光敏传感器,一个安装在小车上车顶,一个安装在小车前部,当车顶的光敏传感器检测到的光强小于某一值时,开启近光灯。当车前的光敏传感器检测到的光强大于某一值时,由远光灯切换为近光灯;反之,则切换为远光灯。

2.4 超声波测距模块

通过超声波发射装置发出超声波，根据接收器接到超声波时的时间差就计算出距离，这与雷达测距原理相似。超声波发射器向某一方向发射超声波，在发射时刻的同时开始计时，超声波在空气中传播，途中碰到障碍物就立即返回来，超声波接收器收到反射波就立即停止计时。超声波在空气中的传播速度为 340m/s，根据计时器记录的时间 t，就可以计算出发射点距障碍物的距离 (s)，即： $s=340t/2$ 。压电式超声波发生器实际上是利用压电晶体的谐振来工作的。超声波发生器有两个压电晶片和一个共振板。当它的两极外加脉冲信号，其频率等于压电晶片的固有振荡频率时，压电晶片将会发生共振，并带动共振板振动，便产生超声波。反之，如果两电极间未外加电压，当共振板接收到超声波时，将压迫压电晶片作振动，将机械能转换为电信号，这时它就成为超声波接收器了。其电路图如图 5 所示。

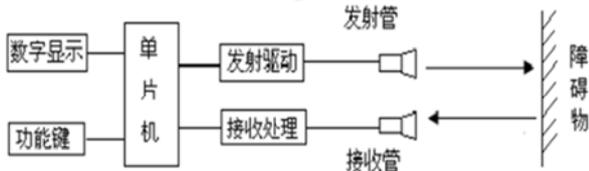


图 5 超声波测距系统框图

Fig.5 Ultrasonic ranging system diagram

单片机根据测得的距离控制远近灯光的切换，当距离太近时，由远光灯切换为近光灯。

3 系统软件设计

根据系统功能，可以将系统设计分为若干个子程序进行设计，如测速子程序，光强检测子程序、超声波测距子程序、灯光切换子程序和显示子程序等。采用 Keil uVision4 集成编译环境和 C 语言来进行系统软件的设计。程序流程如图 6 所示。

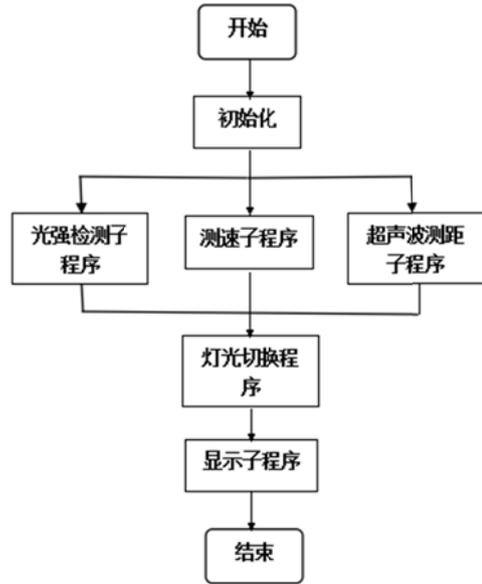


图 6 主程序流程图

Fig.4 The main program flow chart

4 测试结果

通过软硬件调试，系统电路都工作良好，经过了长时间的运行，未出现不良情况，可实现以下功能：

(1) 实现控制步进电机的启动停止加速减速，单片机根据测得的速度，控制远近灯光进行切换，当光线不足并且速度太高难以满足视距需求时，即切换为远光灯；反之则切换为近光灯。

(2) 可以实现对两路光敏电阻检测到的光照强度的测量，通过单片机控制当车顶的光敏传感器检测到到的光强小于某一值时，开启灯光。当车前的光敏传感器检测到的光强大于某一值时，由远光灯切换为近光灯；反之，则切换为远光灯。

(3) 根据超声波传感器测得的距离，作为汽车远近光灯自动切换的依据，当小车同向行驶时，在检测范围内，若前方有车辆，后方小车将无法打开远光灯；相向行驶时，只要在检测范围内，小车都不能切换成远光，若两车都开近光，小车平安通过。

5 结论

本设计采用 STC89C52 单片机为控制核心，设计了一种汽车远近灯自动控制系统，根据检测到的速度、光强、距离等信息，通过单片机控制实现自动开启大灯以及远近灯光自动切换的功能，从而减

少远光灯不正当使用的现象的发生。

参考文献

1. 张明霞. 奇思妙想的物联网[M]. 北京:北京大学出版社, 2012.
2. 杜洋. 爱上单片机[M]. 北京:人民邮电出版社, 2013.
3. 宝马夜视系统和远光灯辅助系统, 互联网 .<http://car.uncars.com/2005/12-15/11425281980-2.html>
4. 戴永江. 激光雷达原理[M]北京:中国农业出版社, 2002, 80-89.
5. 齐王智. 光敏感器件及其应用[M]. 北京:科学出版社, 1994, 91-93.
6. 余成波. 传感器与检测技术[M]. 第1版. 北京:高等教育出版社, 2004.
7. 马淑华 王凤文 张美金编著 单片机原理与接口技术 [M]. 北京. 北京邮电大学出版社 2007
8. 贾正松 基于单片机实现智能照明控制系统设计 [J] 现代电子技术 2009 (17) :P105~107

基于 SG3525 的直流 12V 电源设计*

黄金源

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要:按照设计要求, 本文对恒压源的几种方案进行了比较和分析。本设计采用推挽拓扑结构为恒压源主功率电路, 以 SG3525 为 PWM 控制器, 设计了基于 PWM 控制的开关恒流源, 详细论述了 SG3525 芯片产生 PWM 波的控制过程及工作原理。最后给出了本设计的实验结果, 测试指标均满足条件, 验证了设计的合理可行性。

关键词: 恒压源; 推挽拓扑; SG3525; PWM 控制

The design of 12V DC power based on SG3525

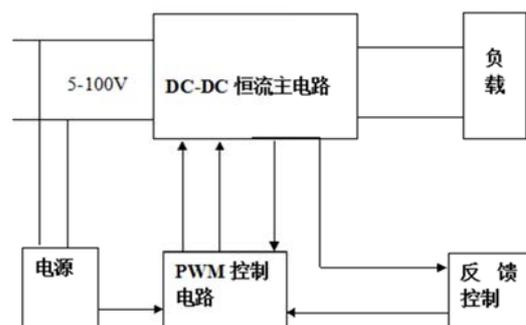
Huang Jinyuan

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract:According to the design requirements, in this paper, the constant current source of several kinds of schemes are compared and analyzed. This design adopts the push-pull topology for the constant current source main power circuit, and SG3525 is used as PWM controller, then the design of switch constant-current source which is based on PWM control is proposed. It detailed elaborated the process and working principle of PWM wave that is produced by SG3525 chip. Finally the design of the experimental results are given, the test indexes meet the conditions, and the reasonable feasibility is verified.

Keywords: constant current source; push-pull topology; SG3525; PWM control

根据题目要求, 设计方框图如下:



图一 总体方框图

0 前言

在电路当中常常会用到输出恒定电压的电源; 在电子线路中保证电压恒定的部分叫做恒压源, 属于电源的一种。PWM 控制技术以其控制简单, 灵活和动态响应好的优点而成为电力电子技术最广泛应用的控制方式, 也是人们研究的热点。基于 SG3525 的直流电源电路就是利用 SG3525 产生可调的 PWM 波形通过接受来自反馈系统的信号来控制 12V 电源主电路输出电压恒定。

1 方案论证与比较

1.1 主回路选择

恒流源的主电路是恒流源的功率部分, 主电路的选择主要有两种方案。

*指导教师: 李刚

项目类型: 短学期项目

方案一：采用全桥拓扑，该拓扑的变压器双向励磁，容易达到大功率，因为半桥上的两个 MOS 管交替导通关断，开关管断态时承受的峰值电压为电源电压。这种拓扑结构复杂，成本高，有直通的问题，需要复杂的多组隔离电路，适用于高压大功率的电源。

方案二：采用推挽拓扑，两只 MOS 管交替导通，驱动简单，输出功率较大。开关管关断时承受两倍电源电压，基于成本和本题的输入电压、输出功率较小的特点，故选择此方案。

1.2 PWM 控制电路

方案一：采用 STM32，通过程序控制产生可调的 PWM 波形。

方案二：采用 SG3525 芯片，通过搭建外围电路产生可调的，适合题目要求的 PWM 波形。虽然使用 STM32 程序控制法可以方便的控制 PWM 波形，但由于 STM32 相对于 SG3525 成本较高，且 SG3525 较容易满足题目设计要求，故选择方案二。

1.3 电流采样

为了恒定输出电流，需要对输出电流采样。电流采样主要有三种方案。

方案一：用电阻采样，在负载的上串联一个高精度的小电阻，取其两端电压进行差分放大，此方案需要在采样电阻两端加电桥衰减共模电压，为了避免差分运放的反相输入阻抗和同相输入阻抗对电桥平衡的影响，需要

在差分放大输入端加跟随器，采样电阻两端的电压会在电桥上衰减，差放的放大倍数应适当补偿。此方案存在输出电压零点漂移的情况。

方案二：采用霍尔电流互感器。利用霍尔效应将输出电流转换为电动势输出，其输出电动势的大小 $U_H = K_H I_0 B$ ，其中 K_H 表示霍尔器件的灵敏度。霍尔传感器有体积小、坚固、频率响应宽、动态范围大、可靠性高的优点。但它的转换效率低，温度漂移大，在本题中要求精度比较高的情况下，需要进行温度补偿。

方案三：采用交流互感器，此方案需要在两个 MOS 管接地点进行电流采样。交流互感器的初级匝数为 N_1 ，原边电流 I_1 ；次级匝数为 N_2 ，次边电路 $I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$ ，将 I_2 线性放大后进入控制。

此方案可直接控制输入电流，其响应速度最快，由于 MOS 管的开关频率为 20K，输入电流的频率为 40k，如此高的频率，交流互感器的铁心损耗不容忽视。

考虑到本设计的输出电流，开关频率较高的特点，我们选用方案一。

2 整体电路结构

2.1 电源供电模块

外部输入的交流电压经整流滤波后转换为系统需要的高压 DC，及 12V、5V 电压，如图 1 所示。

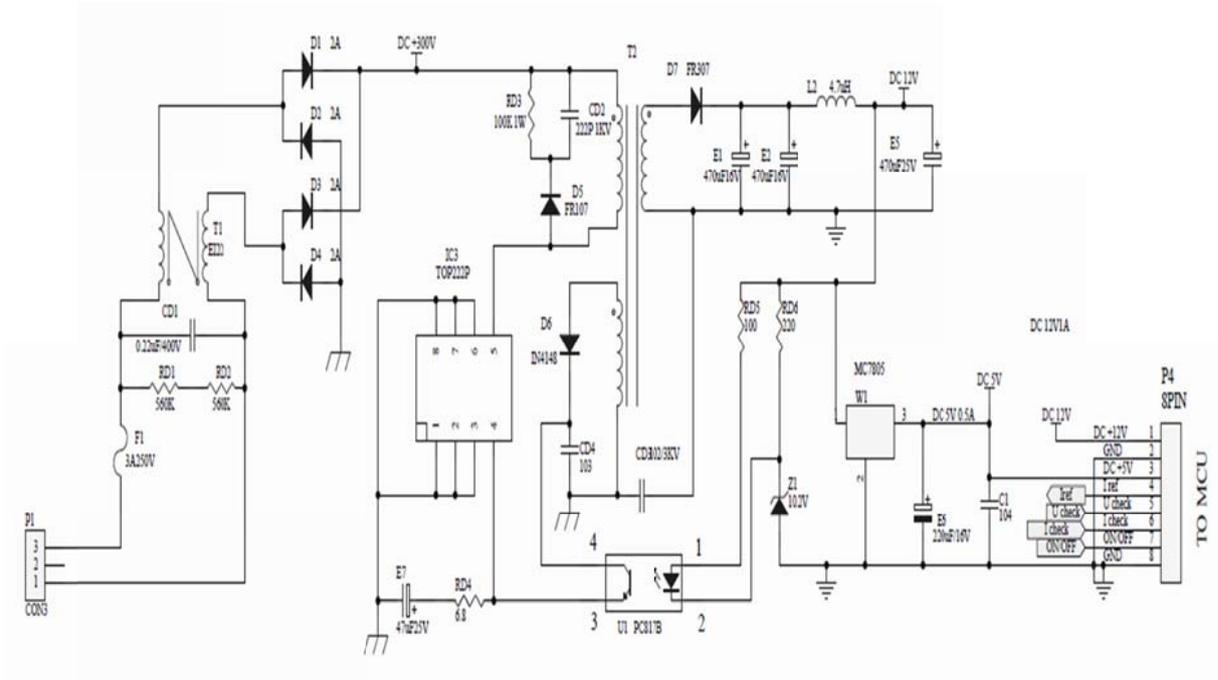


图 1 电源供电模块

RD1 与 RD2 串联后整体与 CD1、交流电源并联起到滤波的作用，通高阻低，通交阻直的功能；D1、D2、D3、D4 构成整流桥，将交流电整流成直流电；RD3、CD2、D5FR107 组成保护电路减小振铃电压；次级电压经整流滤波后产生 +12V 的输出电压 (FR307、E1、E2、L2、E5)；IC3 TOP222P 在工作时需要外部提供偏置电压（反馈绕组电压经整流滤波后经光敏三极管提供）；在电路上电的瞬间，IC3 TOP222P 开始正常工作，通过 PWM 控制，可实现对

输出电压波形的调节；为了提高 IC3 TOP222P 芯片工作的稳定性，将 PC817B 与 Z1 并联形成外部误差的放大器；R1、R5 的分压比可调节输出电压的标称值；R3、C2 可调节环路的频率响应；RD5 控制环路的增益。

2.2 PWM 波形产生电路

由 SG3525 产生的 PWM 波具有控制方便，效率高的特点，PWM 波形产生电路如图 2 所示。

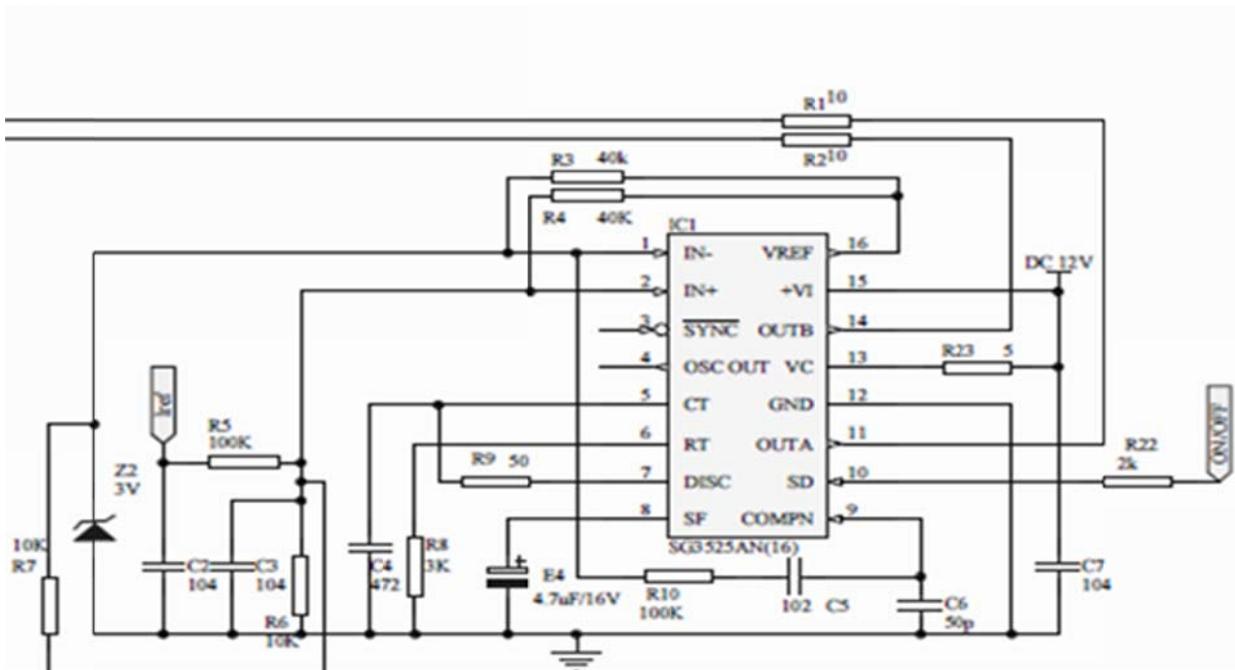


图 2 PWM 波形产生电路

SG3525A 脉冲宽度调制器控制电路可以在控制各种类型转换电源时提供改进的并且更低的额外的附加作用。一个连续的输入可以使多个单元执行从动控制或者一个独立单元由外部系统时钟与其同步。该芯片也适用于嵌入式和软启动电路，允许只有一个外部定时电容。一个关闭引脚控制软启动电路和输出等级，通过带有关闭脉冲的脉冲宽度调制来提供瞬时关闭，也可以通过长关闭命令来实现软启动。SG3525A 具有以下若干特性：可实现 8.0V 至 35V 控制，5.1V 1% 削峰参考值，100Hz 至 400kHz 振荡器范围，分散振荡器同步引脚，可调整空载时间控制，输入欠电压锁止，限制多种脉冲的脉冲宽度调制，及脉冲关闭。

SG3525 的输出级采用推挽电路，双通道输出，每一通道的驱动电流最大值达 500mA，能够直接驱动功率 GTR 和功率 MOSFET。其工作频率高达 400kHz，具有欠压关断、可编程软启动等特点。

振荡频率由下式决定

$$f_{osc} = \frac{1}{T_{CHG} + T_D}$$

式中，TCHG 为电容 CT 的充电时间，CT 充电时，PWM 控制器的一个输出驱动器工作在导通（高电平）状态，TD 为两个输出驱动器都处于关断（低电平）状态时的死区时间。TCHG 与 RT 和 CT 的乘积成正比，TD 与 RD 和 CT 的乘积成正比，于是振荡频率可计算为

$$f_{osc} = \frac{1}{(0.7R_T + 3R_D)C_T}$$

因此 $f_{osc} = 37003HZ$.

2.3 推挽控制主电路

采用推挽式输出驱动功率晶体管的电路如图 3 所示 .

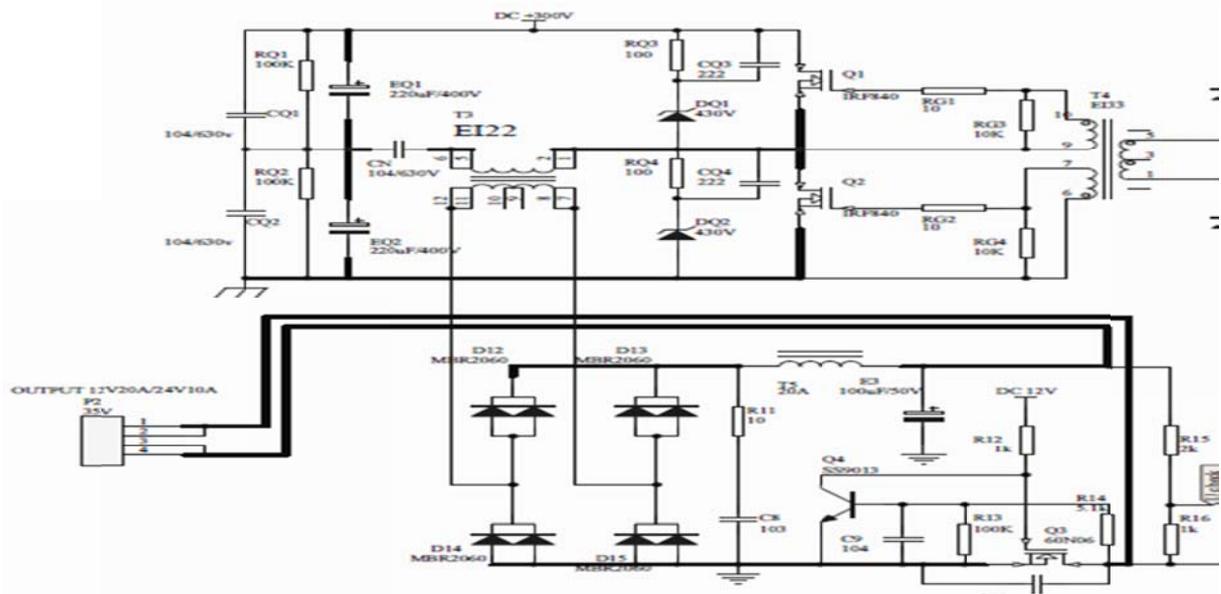


图 3 推挽输出电路

电阻 R1 和 R2 是限流电阻。电阻 R2 和 R3 是限流电阻，用来防止注入 Q1 和 Q2 的正向基极电流超出控制器所允许的输出电流。

在半桥变换器的应用中，SG3525 可用于上下桥臂功率 MOSFET 的隔离驱动，如上图所示。驱动变压器原边绕组的两端分别接到 SG3525 的两个输出端上，则在死区时间内可以实现驱动变压器磁芯的自动复位。输出 PWM 脉冲经过变压器 T4，输入到 I R F 8 4 0 M O S F E T 的栅极作为驱动电路。RG1 和 RG3 组成驱动电路保护环节。电阻 RQ3 和 CQ3 电容并联在于齐纳二极管 DQ1 串联组成 IRF840 的吸收

回路。采用性能良好的吸收电路，可使功率 M O S F E T 工作在较理想的开关状态，缩短开关时间，减少开关损耗。

功率管不断开关使高频变压器 T3 初级产生低压的高频交流电（此时的交流电虽然电压低，但是频率相当高，目的就是为了让变压器后级产生一个高的电压，前级的频率和后级输出的电压成正比，当然也要在功率管所能承受的频率范围）。通过高频变压器输出高频交流电再经过快速恢复二极管全桥整流 MBR2060 输出一个高频的直流电。

电感 T5 和 E3 组成 LC 振荡电路, R11 和电容 C8 组成滤波电路, 因为高频容易产生一些干扰和寄生耦合 所以需要滤波电路来滤除这些因素的影响来增加电路的稳定性。

2.4 高频变压器设计

变压器设计

在本电路系统中, 变压器具体设计任务为:

- (1) 电路形式: 半桥
- (2) 工作频率: 50kHz
- (3) 变换器最高输入电压: DC300V
- (4) 变换器最低输入电压: DC500V
- (5) 输出电压: DC12V

3 测试结果

3.1 测试条件

电压测量: 采用 FLUKE 公司成产的 12E 型数字万用表测量。

波形测量: 模拟示波器。

3.2 成品电路展示图



图 4 成品电路展示图

3.3 SG3525 电路 11 管脚和 14 管脚波形



图 5 SG3525 电路 11 管脚和 14 管脚波形

3.4 电路效率测试

负载 R=200 欧姆。效率

$$\eta = \frac{U_o^2}{R} \cdot \frac{1}{U_i * I_i} \cdot 100\%$$

表 1 电路测试数据

U_i / V	I_i / mA	U_o / V	$\eta / \%$
25	2.40	1.95	31.7
40	3.22	3.54	48.6
50	3.90	4.60	54.3
60	4.70	5.80	59.6
75	6.13	7.51	61.3
90	7.32	9.15	63.5
100	8.33	10.30	63.7

由表1可知, 输入电压由25V 升至100V, 电源效率一直增大, 当 $U_i=100V$ 时, $\eta=63.7\%$ 。

4 结论

这次设计通过合理的选择主回路电路和 PWM 控制电路, 利用 PWM 控制电路接受来自反馈系统的信号产生合适的波形来控制主电路输出电压恒定。整体电路结构主要由电源供电模块, PWM 波形产生电路和推挽控制主电路构成。根据电路具体参数合理设计变压器, 通过最后的测试结果得出的指标均满足条件。证明本系统可以很好的通过 SG3525 产生 PWM 来控制电源的恒定。

参考文献

1. 陈国呈. PWM 逆变技术及应用 [M]. 中国电力出版社. 2007. 7.
2. 康华光. 电子技术基础 (模拟部分). 北京: 高等教育出版社. 2006.
3. 王兆安, 刘进军. 电力电子技术 (第五版): 机械工业出版社. 2011.

基于 stm32 单片机的手写绘图板设计*

王凡; 赵鑫; 吕艳妮

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 基于 stm32 单片机的手写绘图板设计的要点在于对微小电阻的测量, 本设计是将对电阻的测量转换为对电压的测量, 然后进行放大。采用的方法是在方形覆铜板四个边的中点位置各接一个 1Ω 的精密电阻并接地, 然后将覆铜板的对边中点分别接入由 OP07 组成的求差电路并作为信号的输入端。利用 LM317 产生恒流并连接表笔, 当表笔接触覆铜板时, 覆铜板上对边中点之间将会分别产生微小的电压差, 将此电压差进行放大、滤波, 然后接入单片机 stm32, 通过其自带的 A/D 转换功能将此模拟信号转换为可测量的数字信号, 并通过编程处理, 最后将结果显示在显示屏 Nokia5110 上。此种处理方法使得覆铜板上的横向电势与覆铜板的长边呈弧状且曲率匀变, 纵向电势与覆铜板的宽边也呈弧状且曲率匀变, 这样通过横向和纵向电势即可确定一个点, 这样便于单片机的数据编程处理。

关键词: 覆铜板 求差电路 stm32 Nokia5110

Design of handwritten drawing board based on Stm32 microprocessor

Wang Fan ;Zhao Xin ;Lv Yanni

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Design of handwritten drawing board based on Stm32 microprocessor 's main point is measurement of small resistance,and to our design, we transform the measurement of resistance to the measurement of voltage,then enlarge it.In our design,the method we used is welding a 1Ω precision resistance at the midpoint of the rectangle copper clad 's each side,and use OP07 to assemble a differencing circuit.Using LM317 to produce constant current and connecting pen,when the pen touch the rectangle copper clad,between the midpoint of the rectangle copper clad 's each there will be tiny voltage differences.We enlarge these tiny voltage differences,and filter them,then connect stm32 Microcontroller,we can use its own A/D converter to transform these analog signals to digital signals, and through the programming process, the final will be showed on the display Nokia5110.In this way,horizontal electric potential is about to be parallel to the horizontal sides and vertical electric potential is about to be parallel to the vertical sides.So we can make sure a point,it will be easy to deal with by the stm32 Microcontroller.

Key word: Copper clad Differential circuit stm32 Nokia5110

0 引言

绘图板是设计、绘图用的工作平台, 主要用于工程、设计、测绘、地质、服装等领域。传统的绘图板材质有木质、合成材料等, 进入二十世纪末, 数位绘图板逐渐在计算机绘图领域推广开来。当前, 比较流行的绘图板有透绘图板以及数位绘图板等多

种形式。本设计利用普通的 PCB 覆铜板设计和制作手写绘图输入设备, 通过表笔与覆铜板接触, 并测量接触点位置, 进而实现手写绘图功能。

1 方案的比较与选择

1.1 测量方案

方案一: 采用四探针法用恒压源供电测量, 原

* 指导教师: 王应吉.

项目类型: 创新项目

理图如图 1。在测量时，1、2、3、4 之间是被测覆铜板，将其接入防短路电阻并由 12v 恒压源供电，因为覆铜板表面铜皮电阻率较小，用恒压源供电时，探针与覆铜表面之间的取样等效阻值的变化很容易引起覆铜表面的电流变化，取样时各点电压跳变不稳定，存在较多的相同电压点，不能在 LCD 屏上准确的显示坐标位置。所以该方案不可取。

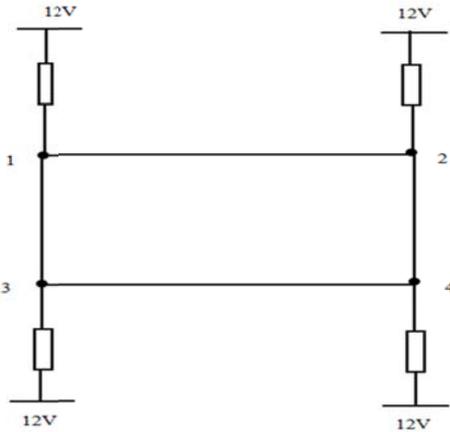


图 1 恒压源测量电路

Figure 1 Measuring circuit voltage source

方案二：图 2 中黑色的长方形代表应用普通覆铜板制作的绘图板，右上方黑色粗箭头代表的就是一侧已经连接上恒流源的表笔。当表笔接触到绘图板时，由于表笔的不同位置以及绘图板上电阻的不均匀分布，会在各边中点，即 A、B、C、D 点产生不同的微小电压，这四个微小电压就是我们所需要的采集的信号，所以我们选用方案二^[1]。

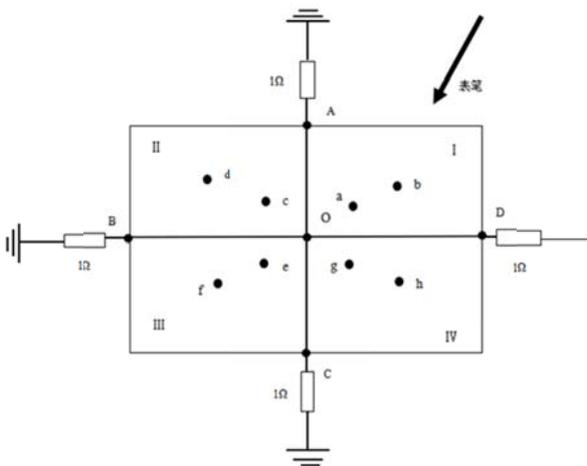


图 2 中点求差测量电路

Figure 2 Differencing midpoint measurement circuit

1.2 总体方案设计

总体方案设计图如图 3 所示。

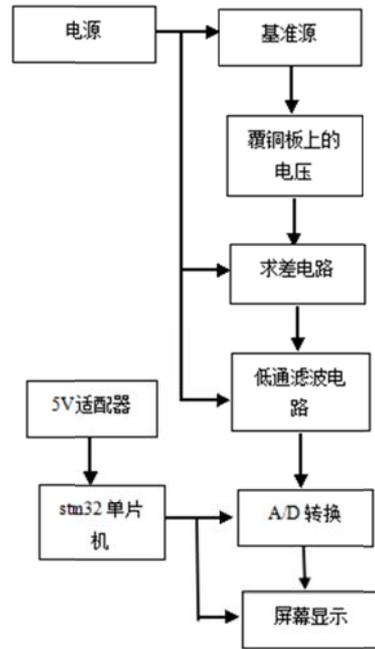


图 3 总体方案设计图

Figure 3 The overall program design

1.3 基准源

方案一：采用恒压源，测量电流变化。由于覆铜板上的电阻非常小，在恒电压的情况下，如果电压过大则覆铜板上的电流过大，覆铜板会消耗过多的功率，可能会损坏覆铜板；如果电压过小则覆铜板上电压变化不明显，不易采集数据。

方案二：采用恒流源，测量电压变化。在恒电流模式下，在覆铜板上很容易采集到合适的电压数据，方便之后的求差放大以及过滤。

综合多方面考虑，选择方案二，采用恒流源，测量电压变化。

1.4 电源

方案一：采用三端固定稳压器 L7812 与 L7912 组成±12V 直流电压源。经过测试，由 L7812 与 L7912 组成的直流电压源，其输入电压在 14-35V 之间，输出电压最大值为 12V，基本满足我们的设计需求，但是其带载能力过差，会严重影响接下来的求差电路以及低通滤波电路的正常工作。

方案二：采用可调固定稳压器 LM317 与 LM337 组成±10V 直流电压源。经过测试，由 LM317 与 LM337 组成的直流电压源，输出电压在 1.25-37V 之间，满足我们在设计电路中±10V 直流电压的需要，而且其带载能力较强，满足接下来的求差电路以及低通滤波电路的正常工作的设计需求。

综合多方面考虑，选择方案二，采用三端固定稳压器 LM317 与 LM337 组成±10V 直流电压源。

1.5 放大器芯片

方案一：采用 LM324 放大器芯片。LM324 系列是低成本的四路运算放大器，具有真正的差分输入。在单电源应用中，它们具有明显的优势。该四路放大器可以工作于低至 3V 或高达 32V 的电源电压，静态电流是 MC1741 的五分之一左右（每个放大器）。但是它的输入失调电压最大值是 7mV，显然不满足我们的设计需求。

方案二：采用 AD8065 放大器芯片。AD8065 是单路放大器，工作噪声极低，输入阻抗非常高。它具有 5-24V 的宽电源电压范围，可采用单电源供电，带宽为 145MHz。此外，它还具有轨到轨输出。但是它的输入失调电压最大值是 1.5mV，同样不满足我们的设计需求。

方案三：采用 OP07 放大器芯片。OP07 是一种低噪声，非斩波稳零的双极性（双电源供电）运算放大器集成电路。由于 OP07 具有非常低的输入失调电压（对于 OP07A 最大为 25 μ V），所以 OP07 在很多应用场合不需要额外的调零措施。OP07 同时具有输入偏置电流低（OP07A 为 ± 2 nA）和开环增益高（对于 OP07A 为 300V/mV）的特点，这种低失调、高开环增益的特性使得 OP07 特别适用于高增益的测量设备和放大传感器的微弱信号等方面。其输入失调电压最大值为 75 μ V，满足我们的设计需求^[3]。

综合多方面考虑，选择方案三，采用 OP07 放大器芯片。

1.6 单片机

方案一：采用 MSP430 单片机。MSP430 系列单片机是一个 16 位的单片机，采用了精简指令集（RISC）结构，具有丰富的寻址方式（7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址）、简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令；大量的寄存器以及片内数据存储器都可参加多种运算；还有高效的查表处理指令；有较高的处理速度，在 8MHz 晶体驱动下指令周期为 125ns。这些特点保证了可编制出高效率的源程序。

方案二：采用 51 单片机。51 单片机通用灵活、价格低廉、使用方便，但由于其字长有限，数据处理能力很弱，处理速度较慢，资源不够丰富，所以通常需要扩展较多的外围电路，大大降低了系统的可靠性，增加了制作的费用和制作难度，显然难以满足本设计要求。

方案三：采用 stm32 单片机。stm32 具有非常不错的性能：其价格低廉；拥有多的外设，包括：FSMC、TIMER、SPI、IIC、USB、CAN、IIS、SDIO、ADC、DAC、RTC、DMA 等众多外设及功能，具有极高

的集成度；具有优异的实时性能，包括：84 个中断和 16 级可编程优先级，并且所有的引脚都可以作为中断输入；各个外设都有自己的独立时钟开关，可以通过关闭相应外设的时钟来降低功耗；开发成本较低，不需要昂贵的仿真器。显然非常适合我们的设计。

综合多方面，考虑到在设计中并不需要运算速度太快的芯片，且设计的重点在微信号处理方面，所以选择方案三，采用 stm32 单片机。

2 系统总体电路设计

2.1 单元电路设计

(1) 信号采集

信号采集示意图如图 2 所示，我们采集到了 A、B、C、D 四个不同的微小电压。

(2) 信号的求差以及放大

把第一步采集的四个电压信号分为两组，其中 A、C 为一组，B、D 为另外一组，并将它们作为两个完全相同的求差电路的输入端，这样就可以在求差电路的输出端得到两个新的电压信号。经过 OP07 放大后，就可以得到可以被 stm32 单片机自带的 A/D 转换功能模块分辨的电压，求差电路如图 4 所示。

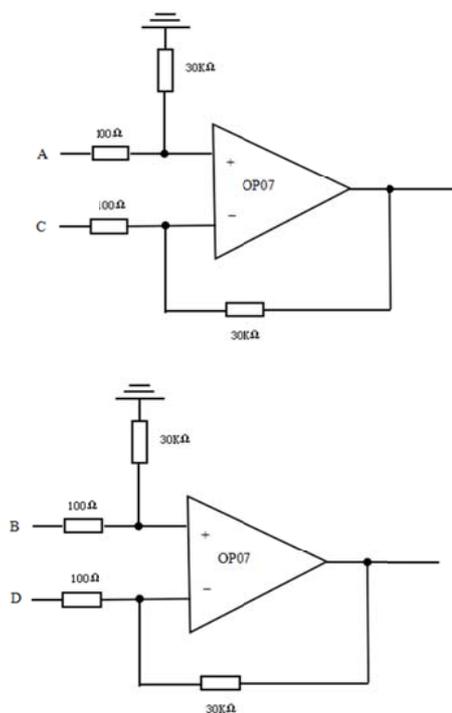


图 4 求差电路图

Figure 4 Differencing circuit diagram

(3) 信号的低通滤波

将电压信号经过求差以及放大后具有较大的噪声，所以需要有一个低通滤波电路对其进行滤波，滤

波器的截止频率为 1327Hz ($f_c = \frac{1}{2\pi CR}$), 这时得到稳定的电压信号才可以送入 stm32 单片机的 A/D 转换功能模块, 低通滤波电路如图 5 所示。

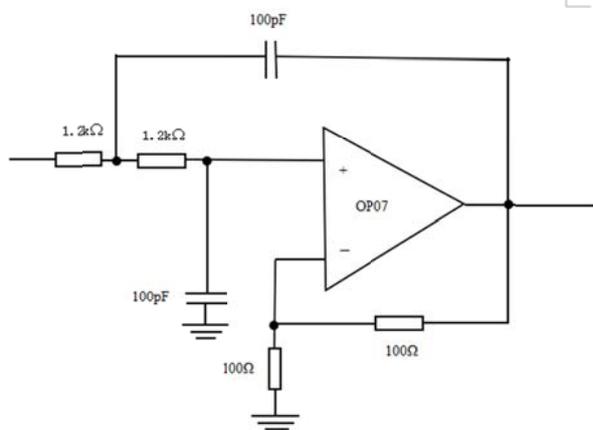


图 5 低通滤波电路图

Figure 5 (Filtering circuit diagram)

(4) 信号的 A/D 转换

本绘图板的 A/D 转换, 使用的是 stm32 单片机自带的 A/D 转换功能模块, 其拥有 12 位通道, 最小分辨电压是 0.8mV 。经过滤波的电压信号, 通过 A/D 转换功能模块, 由模拟信号转化为数字信号, 再交由单片机处理。

(5) 信号的显示

显示模块使用的是 Nokia5110 显示屏。它具有性价比较高、接口简单, 仅四根 I/O 线即可驱动、速度快, 是 LCD12864 的 20 倍以及方便携带等一系列优点。所以, 数字电压信号经过单片机的分析处理后, 就可以直接显示在屏幕上。

3 程序设计

手绘绘图板中, 采用了 stm32 单片机作为整个系统的控制核心。系统启动后会自动读取表笔放在不同位置时的电压信息, 并进行 A/D 转换, 最后在显示屏中显示出相应数据^{[4][5]}, 其程序设计流程图如图 6 所示。

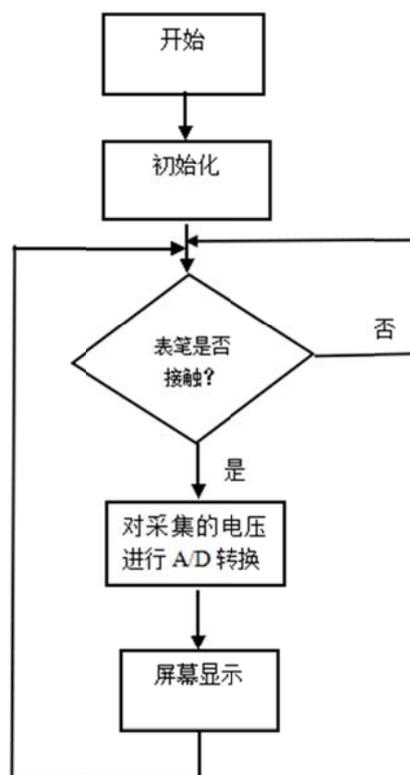


图 6 程序设计流程图

Figure 6 The design of the flow chart of the program

4 测试结果

4.1 电路理论计算及测试结果

经测量, 在选择 125mA 的恒流源作为基准源时, 绘图板上每单位 (0.5cm) 的电压变化约为 0.008mV , 所以在求差放大部分设置放大倍数为 300 倍即可, 然后在低通滤波部分设置放大倍数为 2 倍, 总共可以将每单位的电压变化放大 600 倍, 即 4.8mV 。

单片机自带的 A/D 模块具有 12 位通道, 其供电电压为 3.3V , 则可计算出芯片的测量精度为:

$$3.3\text{V} / 2^{12} = 0.0008\text{V} = 0.8\text{mV}$$

显然, 绘图板上每单位的电压变化可以被单片机的 A/D 模块采集。

4.2 系统坐标点测量方法及结果

如图 2 所示, 在绘图板上以 0 点为原点建立直角坐标系。由于系统在求差放大以及滤波部分设有两个相同的电路, 所以当表笔接触到绘图板时, 可分别测量出由 A、C 两点产生的电压差和由 B、D 两点产生的电压差。在将这两个电压差进行 A/D 转换后, 可以得到两个唯一的数值用来确定绘图板上的唯一位置以及象限, 测量结果如表 1 所示。

表 1 测量结果

Table1 Measurement results

坐标点	(0,0)	(1,1)	(3,3)	(-1,1)	(-3,3)	(-1,-1)	(-3,-3)	(1,-1)	(3,-3)
X轴实测电压 (mV)	151	155	167	144	133	145	137	156	167
X轴理论电压 (mV)	150	155	165	145	135	145	135	155	165
X轴误差 (mV)	1	0	2	-1	-2	0	2	1	2
Y轴实测电压 (mV)	150	156	165	155	166	145	133	145	136
Y轴理论电压 (mV)	150	155	165	155	165	145	135	145	135
Y轴误差 (mV)	0	1	0	0	1	0	-2	0	1
实际象限	原点	—	—	二	二	三	三	四	四
理论象限	原点	—	—	二	二	三	三	四	四

备注：坐标每单位对应绘图板实际距离0.5cm，经调试令原点实测电压为(151,150)。

测试结果发现，由于电势呈弧状变化，所以在任意一条平行线上每单位测量得到的数据不是线性的，但是是单调的。所以可以根据其单调性确定出接触点的坐标以及象限。

5 结论

本设计中以 stm32 单片机为核心元件，设计了一款手写绘图板。当表笔接触绘图板后，系统会自动采集绘图板上各边中点的电压，再经求差放大、低通滤波以及 A/D 转换，将得到的数据在显示屏中显示。此外，本设计还附加有按键控制功能，可以通过按键实现坐标定位与绘图功能之间的切换。

参考文献

1. 奥本海默，信号与系统（第 2 版）[M]，北京：电子工业出版社，2003。
Oppenheimer, Signals and Systems (the second edition) [M], Beijing: The Electronic Industrial Press, 2003.
2. 张保会，尹项根，电力系统继电保护（第二版）[M]，北京：中国电力出版社，2010。
Zhang Baohui, Yin Xianggen, Power System Protective Relaying [M], Beijing: China Electric Power Press, 2010.
3. 李瀚荪，电路分析基础（第 4 版）[M]，北京：高等教育出版社，2006。
Li Hansun, Basic Circuit Analysis (the fourth edition) [M], Beijing: Higher Education Press, 2006.
4. 金龙海，李聪，C 语言程序设计 [M]，北京：科学出版社，2012。
Jin Longhai, Li Cong, C Language Program Design [M], Beijing: Science Press, 2012.
5. 何桥，《单片机原理及应用》[M]，北京：中国铁道出版

社，2008。

He Qiao, Microcontroller Theory and Applications [M], Beijing: China Railway Press, 2008.

6. V. S. Golub. Drawing boards with guiding rules [J]. Measurement Techniques, 1960, Vol.2 (12)
7. David Shiga. Back to the drawing board [J]. New Scientist, 2008, 200(2683).
8. Hui-fu Zhang, Wei Kang. Design of the Data Acquisition System Based on STM32 [J]. Procedia Computer Science, 2013, Vol.17, pp.222-228.
9. Gordon Duff. Back to the future—and to the drawing board [J]. The Lancet, 2011, 377(9763).

核磁共振找水仪拉莫尔频率测量模块设计*

李宏宇

(吉林大学 仪电科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 本频率计的设计采用间接测量的方法, 利用定时器产生相对稳定和准确的时间, 同时将被测信号转换成幅度与波形均能被数字电路识别的脉冲信号(由定时器产生), 然后通过计数器和频率计的定义公式计算这一段时间间隔内的脉冲个数, 将其换算后由 1602 液晶显示出来。本设计作品最终测试结果, 精确度达到 1%, 满足设计目标 1% 的精度, 并且显示稳定, 可以应用到核磁共振找水仪中。

关键词: 频率计, 间接测量法, 核磁共振找水仪

Implementation of Larmor frequency measurement for Groundwater Investigation

LI Hong-Yu

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The frequency meter is designed with indirect measurement method, Using the timer produces a relatively stable and accurate time, At the same time converts the signal into amplitude and waveform can be recognized by the digital circuit pulse signal (generated by the timer), And then calculate the number of pulses within this time interval counter and custom formulas by frequency meter, After scaling up from its 1602 LCD. This design works the final test results, An accuracy of 1 %, meet design goals 1% accuracy, and show stable and can be applied to. Groundwater Investigation.

Key words: Frequency meter, Indirect measurement, Groundwater Investigation, 1 % accuracy

0 引言

利用核磁共振的方法探测地下水是近几年发展起来的一种新技术。方法是用当地的拉莫尔频率发射电磁波激发地下水中的氢质子。准确地测量当地的拉莫尔频率就成为一个重要的工作。拉莫尔频率的范围是 1000-3000Hz^[1]。设计一个装置, 可以快速地测量拉莫尔频率, 误差不超过 1%, 就可以给核磁共振找水仪提供准确的激发频率, 对于高精度地探测地下水, 有重要的意义^[2]。

1 设计原理和设计方案

1.1 设计原理

数字频率计的主要功能是测量周期信号的频率。频率是单位时间(1S)内信号发生周期变化的次数。如果我们能在给定的 1S 时间内对信号波形计数, 并将计数结果显示出来, 就能读取被测信号的频率。

数字频率计首先由内部定时器产生相对稳定和准确的时间, 同时将被测信号转换成幅度与波形均能被数字电路识别的脉冲信号(由定时器产生), 然后通过计数器和频率计的定义公式计算这一段时间间隔内的脉冲个数, 将其换算后由 1602 液晶显示出

* 指导教师: 王应吉

项目类型: 创新项目

来。这就是数字频率计的基本原理^[3]。

1.2 设计方案

频率测量方法很多，但常用的是直接测量法和间接测量法。直接测频法是依据频率的含义把被测频率信号加到闸门的输入端只有在闸门开通时间 T (以 1s 计) 内, 被测(数)的脉冲送到十进制计数器进行计数。设计数器的计数值为 N , 则可得到被测信号频率为 $f = N/T$ 。但是由于闸门的开通、关闭的时间与被测频率信号的跳变难以同步, 信号频率越低, 1 秒内周期数越少。而脉冲计数常产生 1 个脉冲的误差, 所以在低频段用直接测频法误差比较大, 因此采用此测量方法在低频段的相对测量误差可能比较高, 即在低频段不能满足设计要求。直接测频法简单方便可行, 直接测频法缺点是在低频段测量时误差较大。间接测频法最常用的方法就是直接周期测量法。其原理是在被测频率 f_x 的一个周期内 T_x , 记录标准频率 f_c 的变化次数 M , 则有 $f_c = M / T_x$,

即待测信号频率为 $f_x = f_c / M$ 采用这种方法时,

只用到了单片机的 T2 计时器, 由于 T2 定时器拥有

捕获功能, 可以在被测信号脉冲的下降沿到来之际实现对此时时间的捕获, 而这两侧捕获的时间差就是被测频率的周期, 其频率就是周期的倒数。运用这种方法可以对频率为 5000Hz 内的频率进行测量, 如图 1 所示

由于本课题为 1000-3000Hz, 频率较低所以采用间接测量的方法。

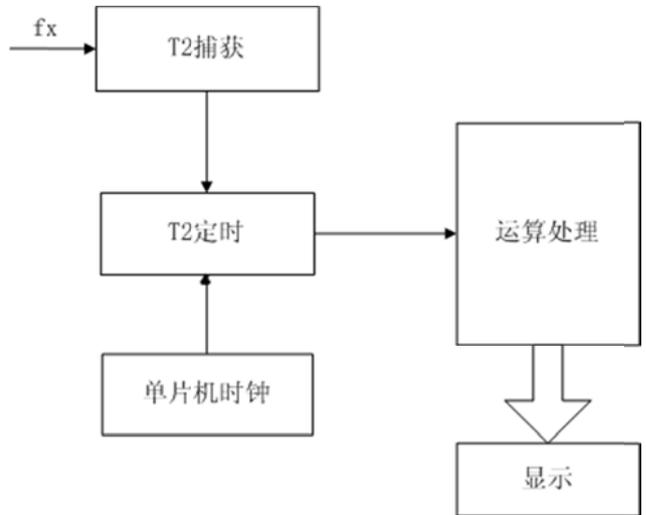


图 1——原理方框图

2 硬件电路

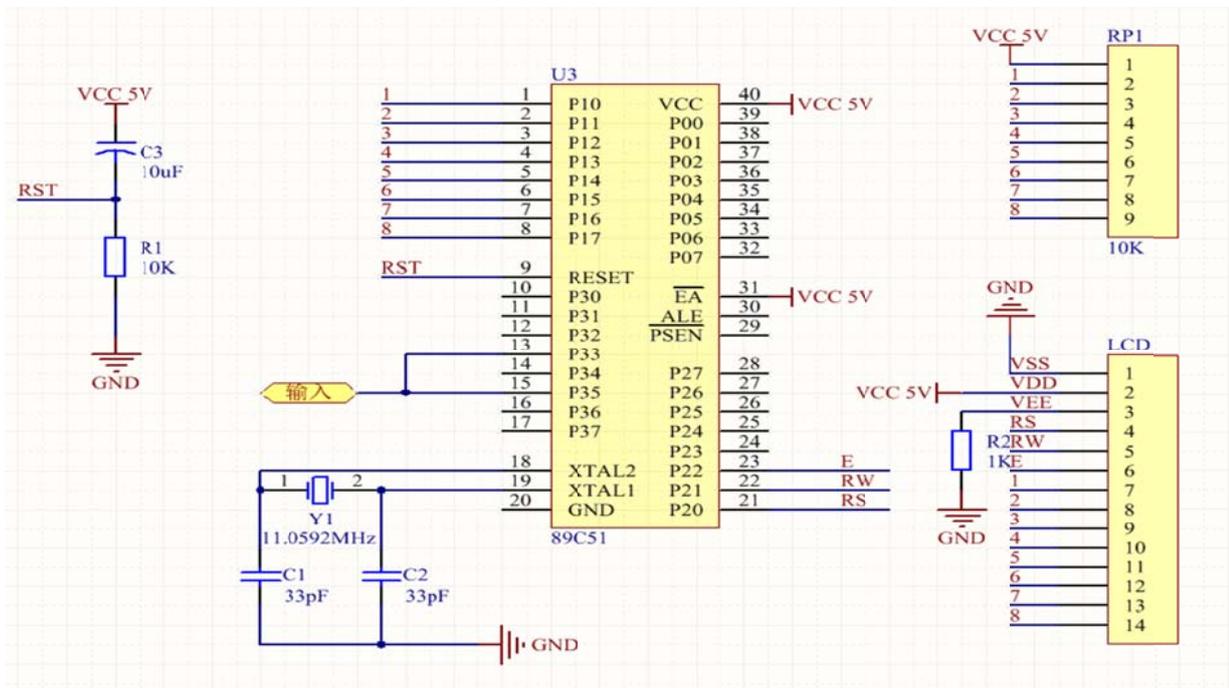


图 2——电路图

硬件电路如图 2, 基于 51 单片机的计数和定时功能, 和 1602 显示屏的显示功能。单片机的 P3.3

计频率的上升沿个数与 P3.5 提供单位时间。最后通过 32-39 引脚传入显示屏并显示。

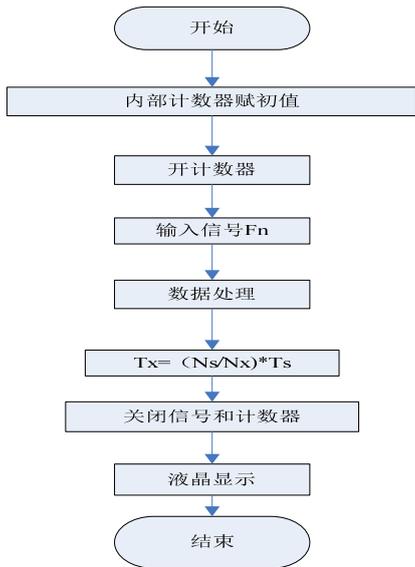


图3——软件流程

其中 T_x 与 N_x 分别为待测信号的周期以及上升沿个数， N_s 与 T_s 为闸门的上升沿个数以及周期。

3 测试结果分析

首先，接入 5V 电源，然后将信号发生器接入输入端，调节信号发生器的频率在 1000-3000Hz 之间每 100Hz 取一个实际频率，观察显示屏数据。

在数据稳定后，改变波形（正弦、方波以及三角波等）波形的幅值观察数据是否发生明显变化。

改变频率，观察在 1000-3000Hz 范围内是否可以完全精确的测试出频率的大小，而不出现较大误差。

表1——测量值对比表

参照频率 f/Hz	测量频率 f/Hz	绝对误差 f/ Hz	相对误差
1000	1000.12	0.12	0.12‰
1100	1100.10	0.10	0.09‰
1200	1200.17	0.17	0.14‰
1300	1300.32	0.32	0.24‰
1400	1400.37	0.37	0.26‰
1500	1500.42	0.42	0.28‰
1600	1600.57	0.57	0.35‰
1700	1700.32	0.32	0.19‰
1800	1800.36	0.36	0.20‰
1900	1900.07	0.07	0.03‰
2000	2000.65	0.65	0.33‰
2100	2100.52	0.52	0.25‰
2200	2200.59	0.59	0.27‰
2300	2300.41	0.41	0.18‰
2400	2400.47	0.47	0.20‰
2500	2500.46	0.46	0.18‰
2600	2600.70	0.70	0.27‰
2700	2700.51	0.51	0.19‰
2800	2800.26	0.26	0.09‰
2900	2900.77	0.77	0.27‰
3000	3000.74	0.74	0.25‰

检验中，通过信号发生器每隔 100Hz 分别取正弦波、方波、三角波为参照频率，测量 3 种波的平均值记为测量频率。当电压小于 0.5V 时，由于电压幅值过小，导致单片机检测上升沿不准确，可能会出现较大误差，另外波形失真，导致上升沿不明确，也会影响测量精度。从表 1 中可以看出，频率在

1000-3000Hz 之间，误差都小于千分之几，满足设计预期。

4 结论

拉莫尔频率计的设计在核磁共振找水仪中具有

重要的意义,本频率计利用优化的间接测量方法,通过定时器产生相对稳定和准确的时间,同时将被测信号转换成幅度与波形均能被数字电路识别的脉冲信号(由定时器产生),通过检验不同波形,精确度达到 1%。高精度的频率计在科学研究中也具有广泛的应用场所。

参考文献

1. 姜艳秋,王应吉,段清明,王中兴. 地面核磁共振找水仪大功率发射机的研制[J]. 吉林大学学报(信息科学版). 2007(03)
2. 林君. 核磁共振找水技术的研究现状与发展趋势[J]. 地球物理学进展. 2010(02)
3. 沈亚钧. 基于单片机的数字频率计设计[J]. 山西电子技术. 2012(05)

基于太阳能的可变压输出移动电源*

王翀；任航；宋承卓

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 本文是基于太阳能的可变压输出移动电源设计。设计以单片机为控制中心, 运用 C 语言编写程序, 该移动电源可以利用太阳能和市电对电源进行充电并对用电器进行供电, 将输入输出电压通过软件模块将监测结果在 LCD12864 显示屏显示出来, 基本的组成部分是控制电路、太阳能充电电路、模数转换电路、DC 设计和 LM2577 变伏控制电路以及单片机控制电路。本实验设计从设计方向上就有其巨大的优势, 它将生活中极容易获得的却又不够深入利用的资源作为能源, 且本设计的用途与生活息息相关, 具有很好的实用性。

关键词: 太阳能 ; C 语言; LCD12864 ; 模数转换 ; LM2577

Research on Based on the available solar mobile power transformer output

Wang Chong; Ren Hang; Song Chengzhuo

(College of Instruments Science and Electric Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: This article is based on the solar mobile power output can swing design. Design a microcontroller as the control center. Use C language programming. The mobile power can be used for solar and mains power supply for charging and powering appliances. The input and output voltage monitoring results by software modules will be displayed in the LCD12864 display. The basic components of a control circuit, solar charging circuitry, analog to digital conversion circuitry, DC design and LM2577 variable volt control circuit and MCU control circuit. The experimental design from the design direction of its huge advantage there, it lives in a very easy to obtain but not deep enough resources to use as an energy source, and this design uses and lives, with good usability.

Key words: Solar enrgy C language LCD12864 Analog to digital conversion LM257

0 引言

移动互联网的快速发展, 各类移动终端的大量涌现, 以智能手机为代表的数码通讯产品性能不断提高, 但产品本身可容纳的电池体积越来越小, 导致便携数码产品自带电池能量无法满足日常使用需要, 由此促进了移动电源的发展。目前主流的移动数码产品内置电池使用时间短, 无法满足长时间户外使用的缺点, 而现有的移动电源同样可以给移动数码产品充电的次数有限, 如果长期无法接到电源进行充电, 移动电源也将无法工作, 通过对太阳能可变

压输出充电移动电源的研究与制作, 设计一款不仅可以使电源充电, 也可以基于太阳能能够进行充电的效果, 完成电能的储备并对电子产品进行充电, 从而达到节约资源的效果, 而且可以改变输出电压, 可以给不同充电电压的移动设备进行充电。利用太阳能可变压移动电源的这些优点, 对此类型电源进行推广可以达到实用、节约能源的目标。

1 系统总体设计

本文设计的太阳能可变压移动电源主要由: 控制电路、太阳能充电电路、LCD12864 显示电路、升

* 指导教师: 王俊秋

项目类型: 创新项目

压输出电路四部分组成。系统整体框图如图 1 所示。

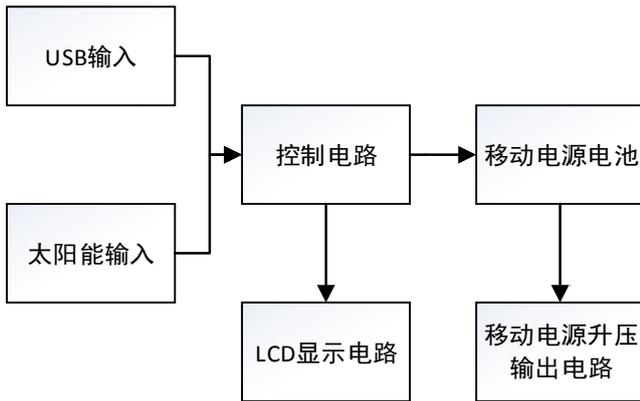


图 1 系统总体结构框图

2 硬件电路设计

2.1 太阳能充电设计

通过太阳能输入对控制电路进行供电，之后可以将接受的电压降为 5V 电压对控制电路供电。当输入电压大于电源低电压检测值并且芯片能使输入端接高电平时，充电电路开始对电池充电；由太阳能输入的电压经过供电电路，将电压降至 5V，从而驱动保护电路，通过程序控制显示输入电路电压，另外还供外界用电器充电使用。

2.2 LCD 显示部分设计

通过对输入电压的采集，利用软件程序控制在 12864 显示屏上显示输入电压和制作项目名称。LCD12864 显示电路图如图 2 所示。

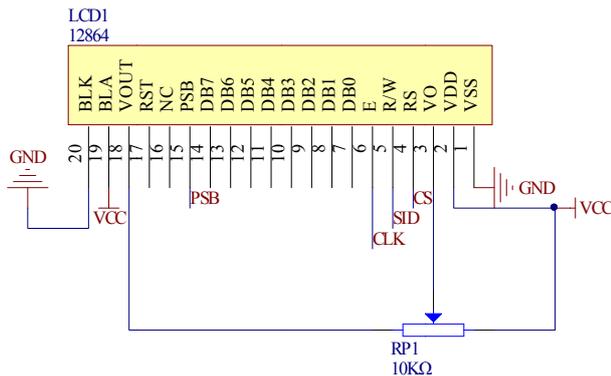


图 2 LCD12864 电路图

2.3 升压输出电路设计

升压电路采用升压芯片 LM2577 进行设计，LM2577-ADJ 开关电源芯片被整体整合在集成电路中，为反激变换开关调节器和前峰转换开关调节器提供电源并且控制这两个调节器。电源通过太阳能、动能或内部供电后，通过 DC DC 模块进行降压或升压将电压调到所需要的电压值进行输出。若降压输

出，此时得到的低压输出直流电非常不稳定，需要经过低压滤波电路进行滤波后才能保证纯净的电流输出；若升压输出，最高可将电压提高到 12V 进行供电。升压输出电路设计如图 3 所示。

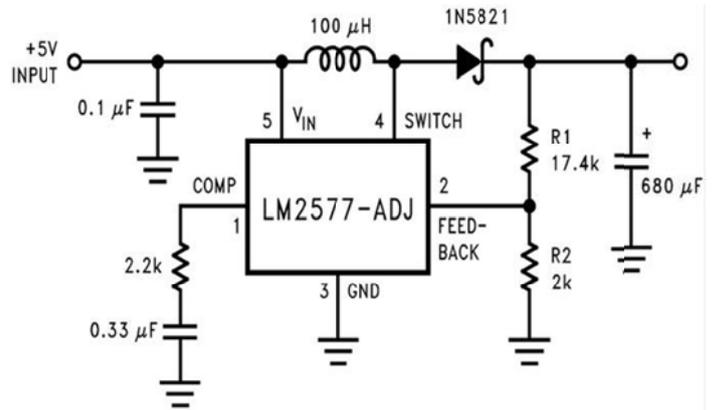


图 3 升压输出电路图

2.4 控制电路设计

控制电路首先可以通过普通充电模式接入电路充电，其次控制电路要求当内部锂离子电池电压不足时，可采用硅板在太阳光的照射下对内部锂离子电池组充电，采用适配器对内部锂离子电池组充电。所用单片机 AT89S52 电路如图 4 所示。

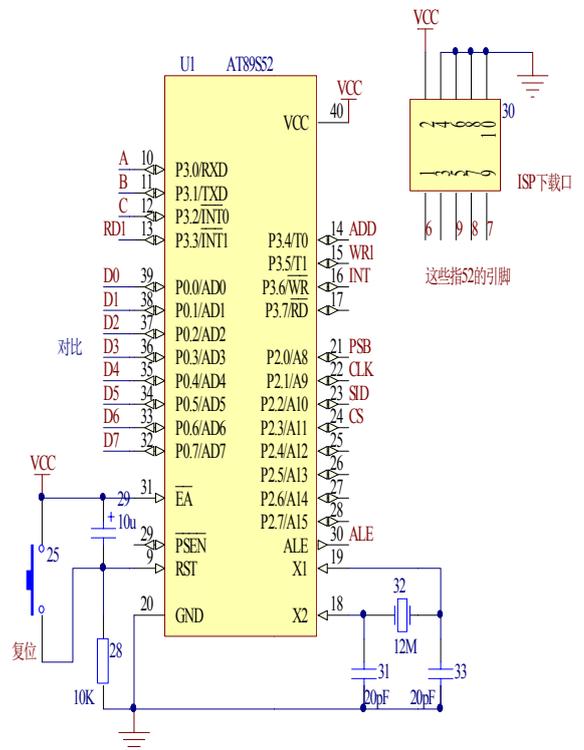


图 4 AT89S52 电路图

3 软件部分设计

3.1 控制电路设计

控制电路通过程序控制对数据进行采集通过显示屏显示输入电压以及设计者姓名。

3.2 显示部分设计

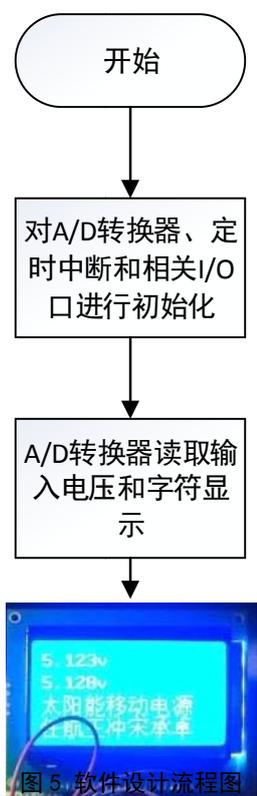


图5 软件设计流程图

4 技术路线

设计制作太阳能移动电源首先需要收集资料，包括太阳能电池板原理、太阳能充电控制原理、LCD显示电路原理、变压调节输出电压原理；之后进行电源制作包括电源板的焊接、太阳能充电板焊接、充电放电结合部分电路制作，如图6所示。

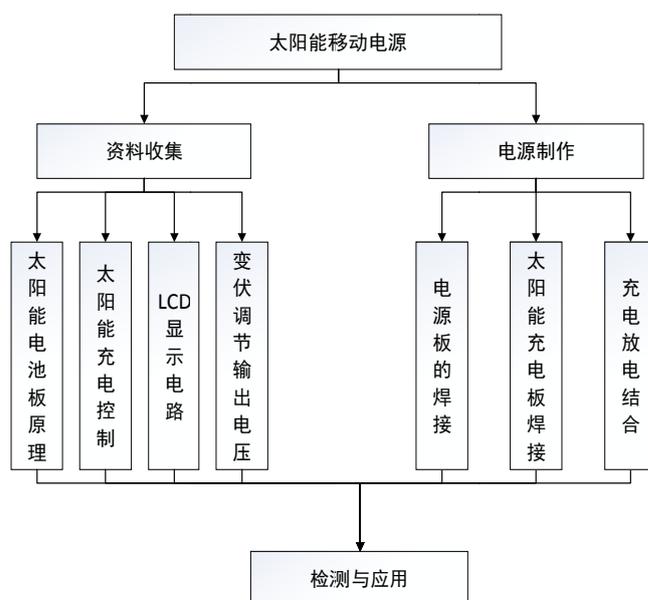


图6 技术路线

5 试验及成果展示

5.1 试验结果

(1) 充电电路部分功能已经基本实现，USB 可进行 $-5. -12V$ 电压供电，也可以用太阳能对电路进行供电，充电电压可降至 $5V$ 进入电路；

(2) 变伏输出设计部分功能已经实现，最终实现可将输出的 $5V$ 电压升高可调；

(3) 控制电路部分功能基本实现，接受充电电路供给的 $5V$ 电压，最终输出 $5V$ 电压给变伏电路；LED 显示功能基本实现。

5.2 实物展示

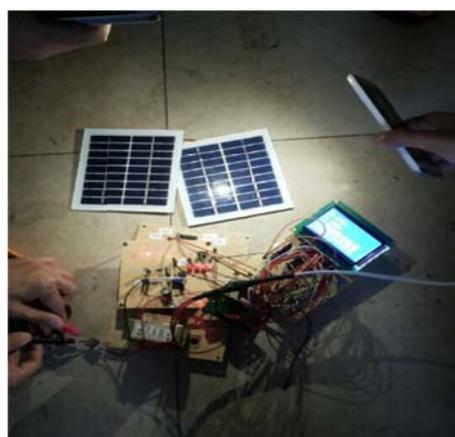


图7 实物展示

6 总结

本设计电路部分功能已经基本实现，USB 可进行 $-5. -12V$ 电压供电，也可以用太阳能对电路进

行供电, 充电电压可降至 5V 进入电路; 变伏输出设计部分功能已经实现, 最终实现输出电压 5V~12V 可调; LED 显示输入电压及设计名称作者。本设计也存在些许不足, 包括不能准确测量输出电压, 移动电源设计整体不够轻便。接下来完善整体设计以及输出电压测量的实现。

参考文献

1. 谢嘉奎. 电子线路(线性部分)[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 1999.
2. 赵效敏. 开关电源的设计与应用[M]. 上海科学普及出版社, 1995(9).
3. 刘艳. 数码发电机整流电源的控制技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
4. 宗平. 数码发电机[J]. 能源与环保, 2005, 7:28-30.
5. 刘凤君. 多电平逆变技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
6. 胡书举, 李建林, 裴云庆, 许洪华. 便携式发电机用整流器的控制策略及实现[J]. 电气传动, 2008, 3:35-38.
7. Cheok A D, Kawamoto S, Matsumoto T, Obi H. High power ac/dc and dc/ac inverter for high speed train[J]. IEEE TENCON, 2000, 423-428.
8. 李爱文. 现代通信基础开关电源的原理与设计. 北京: 科学出版社, 2001.
9. 吴波. 盛戈峰. 曾奕, 等. 多电池组太阳能光伏电源系统的设计与应用[J]. 电力电子技术, 2008, 42(2);45-47

接收线圈的姿态航迹记录装置设计与实现*

邱 硕； 卢一晗； 陈仕文

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130022)

摘要：为了能够准确的测定接收线圈的姿态，航迹等信息，方便的读取接收到的数据，本系统基于 Cortex-M3 平台，利用 MPU9150 九轴姿态传感器采集陀螺仪、磁力计、加速度计的数据，以及 NEO-6GPS 芯片的返回数据，通过四元数算法进行姿态融合。最终得到俯仰角、横滚角、航向角以及 GPS 信息，并将数据存储在 SD 卡中。实现测量精度为 1° 。

关键词：接收线圈 航迹 姿态融合 四元数算法

System design and implementation of the receiver coil stance and track record

Qiu Shuo; Lu Yihan; Chen Shiwen

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022)

Abstract: In order to get information of the receiver coil stance and track record and read the data we get, the system is based on Cortex-M3 platform, and use MPU9150 nine-axis attitude sensor to get the data of gyroscope, magnetometer, accelerometer and NEO-6GPS chip return data to finish the fusion of stance by quaternion algorithm. Finally get the pitch angle, roll angle, yaw angle and GPS information, stored in the SD card. Achieve measurement accuracy of 1° .

Key words: Receiver coil Track Stance fusion Quaternion algorithm

0 前言

航空电磁法是航空物探常用的测量方法之一，以电磁感应为基础的地球物理探测方法^[1]，广泛用于油气探测，矿体勘察和地下水普查等方面^[2]。航空电磁系统可分为固定翼航空电磁系统和直升机航空电磁系统^[3]，而前者具有探测深度深，工作效率高等特点^[4]。由于飞机姿态，速度，风速等因素会引起线圈俯仰摇摆偏航旋转，导致系统参数发生改变^[5]。固定翼时间域航空电磁系统采用偶极-偶极方式，发射线圈架设于飞机四周，接收吊舱以吊绳连接，悬挂于飞机下方^[6]，需要研究者能够及时，快速，准确地测定线圈的姿态。

本项目旨在研究对于地质勘探中常用到的接收线圈的姿态，航迹记录。目前对航空器上接收线圈姿态的测定研究设计较少。在 GPS 测定航迹这方面，国外已有了成功的实验结果^[7]，而在国内则刚刚起

步。当前关于姿态记录的研究已经比较深入成熟，各种集成度非常高的角度传感器、陀螺仪、加速度传感器应用广泛。

基于以上情况，本项目着力于姿态记录在接收线圈上的应用，对接收线圈的飞行姿态、航迹等信息进行详尽完备的记录，然后用较友好的人机界面输出姿态信息，这样科研工作者在进行地质探测工作时可以方便的获取接收线圈的信息，以期随时根据线圈姿态调整探测方法和评估探测结果的准确性。

1 设计方案

1.1 总体设计方案

系统主要由控制器数据处理模块，BMP9150 姿态传感器模块，NEO-6GPS 模块组成，其总体设计框图如图 1。

*指导教师：嵇艳鞠

项目类型：创新项目

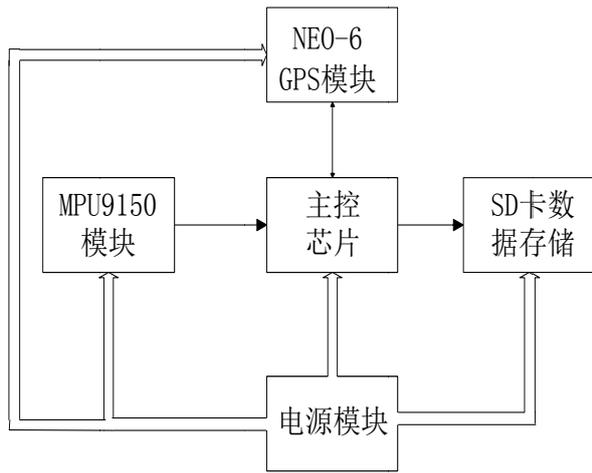


图 1 系统总体框图

220v 电经适配器整流后得到 5v 直流电压，经过 AMS1117-3.3 稳压芯片分别为主控芯片和其他各模块提供电压，使各部分得以正常工作。MPU9150 采集到的姿态信息经由主控芯片 STM32VETRET6 进行数据处理，将最终的数据存储在 SD 卡中。NEO-6GPS 模块采集到的航迹信息，经由主控制器将数据存储在 SD 卡之中。

1.2 电源电路设计

电源电路将 220v 交流电整流为 5v 直流，而后将 5v 直流经稳压芯片转变为 3.3v。其中 5v 电源可直接利用市场中的适配器，3.3v 通过 AMS1117-3.3 稳压芯片来获得。如图 2 所示，其中稳压片输入电压为+5v，输出电压为+3.3v。

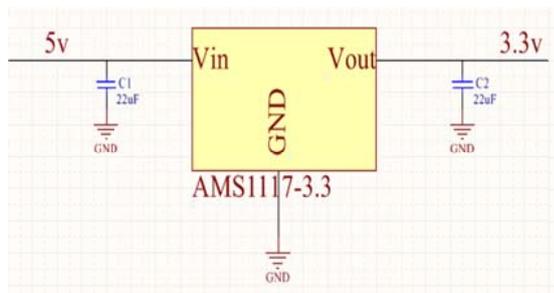


图 2 电源电路

1.3 姿态传感器电路设计

MPU9150 单芯片内集成了加速度计、陀螺仪和磁力计，采集到的数据用于姿态融合算法，具有自校准功能。由于其集成度高，可以起到节省 PCB 面积且轴向重合度高的作用，所以本设计选用 MPU9150 传感器用于测定线圈的姿态信息。其电路如图 3 所示。

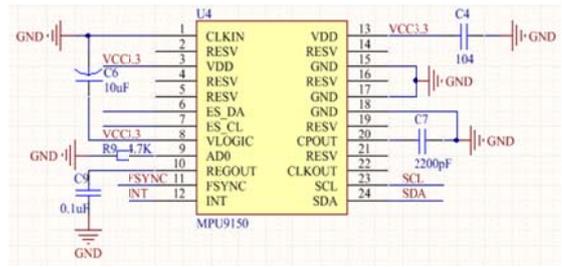


图 3 姿态测定电路

1.4 GPS 电路设计

NEO-6 模块能够用于三维位置定位且航向角精度能够达到 5°。模块通过串口与外部系统连接，且支持多种通信波特率，因而本设计中选用 NEO-6 模块用于测定线圈航迹^[8]。其硬件电路如图 4 所示。

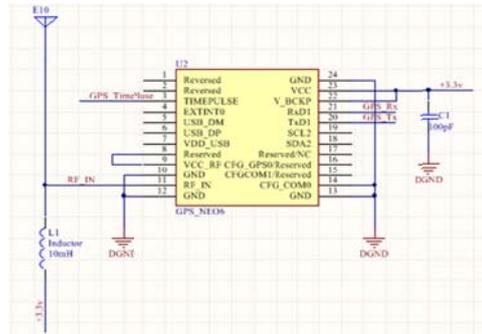


图 4 GPS 模块设计

1.5 储存电路设计

存储电路选用 SD 卡。SD 卡的接口可支持两种操作模式:SD 模式和 SPI 模式，SD 模式允许 4 线的高速数据传输。而 SPI 模式允许简单通用的 SPI 接口，这种模式相对于 SD 模式的不足之处是降低了速度。而在本设计中，需要存储速度尽可能的高，所以本设计中选用 SD 模式。其硬件电路如图 5 所示。

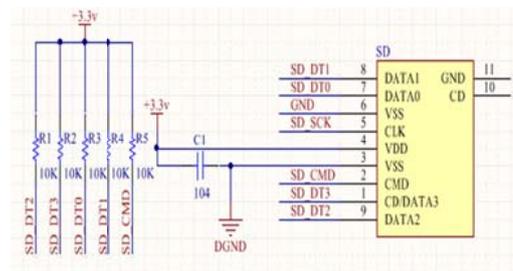


图 5 SD 卡电路设计

2 软件设计及数据融合算法

2.1 总体程序图

根据设计需要，设计了完整的程序，其主要程序框图如图 6 所示。

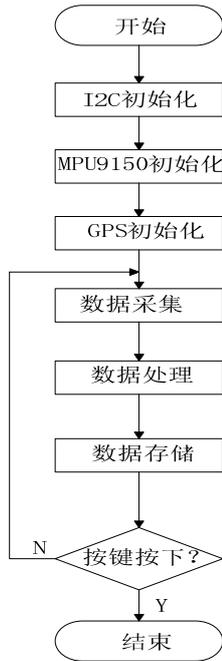


图6 总体程序框图

2.2 姿态记录程序图

通过 MPU9150 姿态测量单元，可读取到三轴加速度数据和三轴角速度数据以及三轴磁力计，然后经过 IMUUpdate 算法进行解算，就能获得线圈姿态信息。具体过程如图 7 所示。

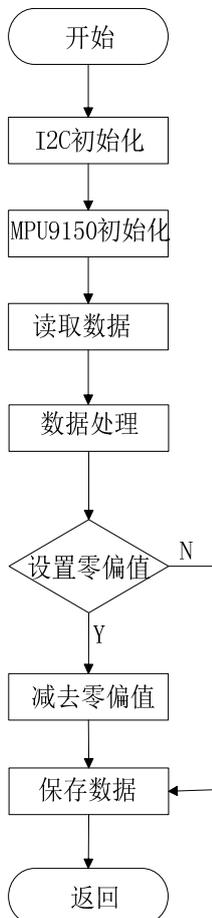


图7 姿态数据采集框图

2.3 航迹记录程序图

系统上电后，首先对 GPS 进行初始化操作，然后初始化定时器和串口并开启定时器和串口中断，等待接收 GPS 位置信息。具体流程图如图 8 所示。

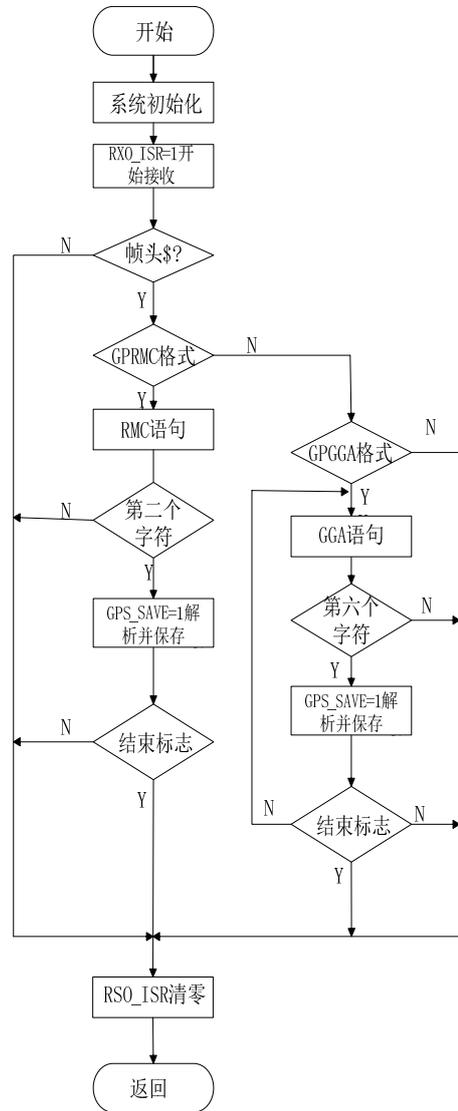


图8 GPS程序框图

2.4 数据存储部分

随着单片机应用的发展单片机控制系统中对大容量信息的存储的需求也越来越多^[10]。SD卡与控制器之间通过9线连接：时钟CLK，命令CMD，数据D0-D3，电源VDD和两根地线VSS。命令和响应在CMD线上传输，数据在D0或D0-D3上传输^[9]。

SD卡所有命令都是6字节长度。一个命令总是以起始位(0)开始，后跟传输方向位，接下来是6位命令索引，然后是32位命令参数，CRC7校验位，结束位(1)。SD卡的响应分为R1, R1b, R2, R3, R6, R7六种，其中R2为17字节长度，用于读取SD卡的CID/CSD寄存器内容，其余则为6字节长度。

2.5 控制算法

本设计的控制算法，主要分为两部分：先用 IMUUpdate 算出 Pitch（俯仰角）和 Roll（翻滚角），然后再结合互补滤波求出 Yaw（航向角）。具体过程如图 9 所示。

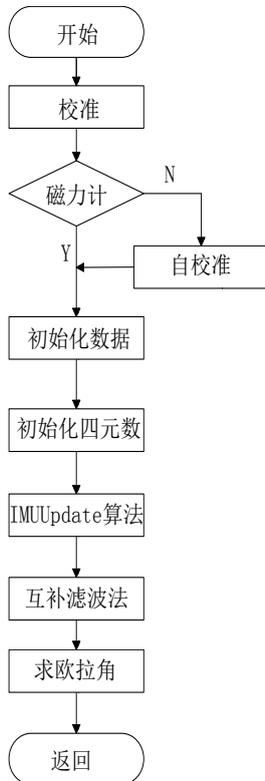


图 9 控制算法程序框图

3 测试方法与结果分析

3.1 总体程序

进行详尽完备的记录，然后用较友好的人机界面输出姿态信息，这样科研工作者在进行地质探测工作时可以方便的获取接收线圈的信息，以期随时根据线圈姿态调整探测方法和评估探测结果的准确性。本设计最终实物如图 10 所示。



图 10 实物图

在测试中，利用计算机串口显示数据如表一所示。

表一 测试数据

	Yaw	Pitch	Roll
第一组	245.093	7.078	17.607
第二组	245.097	7.048	17.611
第三组	245.093	7.077	17.628
第四组	245.005	7.151	17.743
第五组	244.936	7.116	17.730

通过数据可以看出，本设计误差不超过 1°。

4 结论

本文设计了航迹姿态记录装置，基于 STM32 微控制器以及 MPU9150 九轴姿态传感器的测量数据，采用四元数算法融合数据，得到装置的姿态角、GPS 位置数据，并且将数据储存在 SD 卡中。其中，通过算法中的自校准功能，有效地提高了系统的精度。

此外，本文还对装置进行了整体的测试，并将装置测得结果和旋转台实际测得数据进行对比分析，装置结果和旋转台实验结果吻合较好，表明了计算方法和装置的有效性。

参考文献

1. Annan AP, Effect of differential transmitter/receiver notion on airborne transient Em interpretation. 53 rd Annual International Meeting, Society Exploration Geophysic, Expanded Abstract, 1983:622-623
2. 薛国强, 李貅, 底青云, 瞬变电磁法理论与应用研究进展, 地球物理学进展, 2007, 22 (4): 1195-1200
3. 赵国泽, 陈小斌, 汤吉, 中国地球电磁法新进展和发展趋势, 地球物理学进展, 2007, 22 (4): 1171-1180
4. 张保祥, 刘春华, 瞬变电磁法在地下水勘查中的应用综述, 地球物理学进展, 2004, 19(3): 537-542
5. 稽艳鞠, 林君, 朱凯光等, 利用瞬变电磁技术进行地下水资源勘察, 地球物理学进展
6. Wait J R. Geo-electromagnetism. New York: Academic Press Inc., 1982
7. CLARK E. COHEN etc. Flight Tests of Attitude Determination Using GPS Compared Against on Inertial Navigation Unit. NAVIGATION, 1994. 41(1)

8. 陈新泉等, 四旋翼无人机飞控系统设计与研究, 南昌航空大学信息工程学院, 2014,44
9. 何丹, 李树国, SD 存储卡接口 SD 模式的 FPGA 实现, 微电子学与计算机, 2014: 103-104
10. 孙天佑, 李宏毅, 基于 C8051 单片机的大容量 SD 卡存储系统的研究, 科技信息, 2007 (31): 70

基于 51 单片机的车载微型交通气象站设计*

安严; 石景; 魏鑫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 随着微型计算机、新一代通信技术以及新型传感器的不断推广与应用, 我国的气象监测系统必然将转向低功耗、智能化、高可靠性、低成本广泛性方向发展, 必将为我们的生产和生活提供更可靠, 更详细的气象信息。本次设计利用单片机实现的车载交通微型气象站, 能实现气象站小型化和具体化, 以物联网为应用场景, 多节点不同区域结合实时对大范围的数据进行采集并上传到网络, 为车载互联网的数据储备提供新思路。

关键词: 单片机, 微型气象站, 数据采集

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

The design of vehicle micro traffic weather station based on 51SCM

AN Yan; SHI Jing; WEI Xin

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: With the continuous promotion and application of microcomputer, a new generation of communications technology and new type sensors, the development of weather monitoring system in China will inevitably turn to the direction of micro power, intelligent, high reliability, low cost, which will provide more reliable detailed meteorological information for our production and life. The design of vehicle traffic micro weather station is made by using a single chip microcomputer, which can make the station more small and concrete. Combining multiple nodes with different regions, a wide range of real-time data is collected and uploaded to the network with application scene of the Internet of things. It provides a new idea for data storage of the onboard Internet.

Key words: SCM; Micro traffic weather station; Data acquisition

0 前言

当今社会能够实时准确且尽可能全国大范围对温湿度、风力风向等气象数据进行采集投入大, 耗资高, 本项目研究基于车载物联网、低成本、大范围地对各地气象数据进行采集。

由于气象事业已经和人们的民用和工业活动密不可分, 在国防建设、社会进步、经济发展中, 气象采集技术扮演着重要的角色, 同时随着国家可持续发展战略的实施, 气象采集技术对我们越来越重要; 随着人们对气象信息需求的不断变化, 传统的气象观测模式已经无法满足人们的需要, 因此, 自动气象数据采集技术在我国有了很好的发展; 气象数据采集系统的物联性直接影响着数据实用性, 从而, 如何

实现广泛地从全国各地以致世界各地采集数据信息并汇总, 今后必然是极其有意义的研究方向。

目前国内的气象采集系统虽有较大的发展, 但是与国外的发展水平相比, 仍有较大的差距。因此, 为了提高我国气象监测事业的整体水平, 必须重点发展新一代自动气象站, 对气象传感器、数据处理等关键技术进行改进。

1 系统设计

本设计采用的硬件系统结构框图如图 1 所示, 系统的硬件设计采用低功耗、便携式的设计理念, 主要包括传感器模块、显示模块和以 51 单片机为中心的控制模块三部分。其中传感器模块包括 DHT11 温湿度传感器、MS5611 气压模块和光电编

* 指导教师: 刘名扬

项目类型: 创新项目

码器三组传感器，将数据传输到单片机中，同时进行显示,并通过串口转 USB 将数据传输到 PC 端。

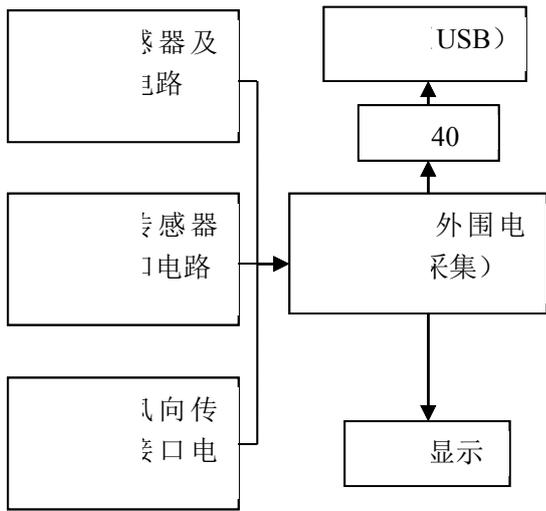


图 1 整体结构框图

Fig.1 The whole structure block diagram

2 关键模块设计

2.1 主控芯片 ST89C51 单片机

系统选用单片机 STC89C51 作为系统的核心芯片。STC89C51 是美国 STC 公司开发的 8 位微处理器，内嵌 4kB 的 Flash ROM。在 3.8~5.5V 工作电压下，其工作速度范围为 0~40MHz。STC89C51 芯片具有的特点还包括低功耗、高性能、低价、高速、高可靠、抗干扰、PLCC 封装、32 位可编程的多功能 I/O 端口，3 个 16 为定时器/计数器。这使得其能容易的对接受的数据进行处理。

2.2 温湿度传感器 DHT11

DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，其湿度测量范围为 20~90%，温度测量范围为 0~50 摄氏度，供电电压 3~5.5v，分辨率为 1，适应用于车载气象站。

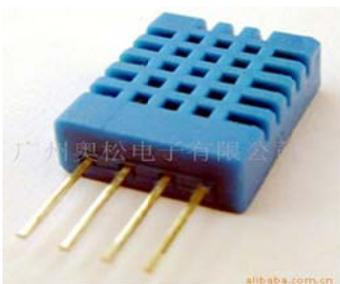


图 2: DHT11

Fig.2 DHT11

DHT11 能一次传输 40 位数据，数据格式为 8bit 湿度整数数据+8bit 湿度小数数据+8bit 温度整数数据+8bit 温度小数数据+8bit 校验和。

其通信过程如下：总线空闲状态为高电平，主机把总线拉低等待 DHT11 响应，主机把总线拉低必须大于 18 毫秒，保证 DHT11 能检测到起始信号。DHT11 接收到主机的开始信号后，等待主机开始信号结束，然后发送 80us 低电平响应信号，这时 DHT11 再把总线拉高 80us，准备发送数据，（高电平时 26~28us 为 '0'；用时 70us 为 '1'）每一位数据都以 50us 低电平提示，当最后一位数据传送完毕后，DHT11 拉低总线 50us，随后总线由上拉电阻拉高进入空闲状态。

2.3 气压传感器 MS-5611

MS5611 气压传感器是由 MEAS（瑞士）推出的一款 SPI 和 I²C 总线接口（本次设计采用 I²C 模式）的新一代高分辨率气压传感器，分辨率可达到 10cm。该传感器模块包括一个高线性度的压力传感器和一个超低功耗的 24 位 Σ 模数转换器（工厂校准系数），MS5611 压力传感器只有 5.0 毫米×3.0 毫米×1.0 毫米的小尺寸可以集成在移动设备中。这款传感器采用领先的 MEMS 技术并得益于 MEAS（瑞士）十余年的成熟设计以及大批量制造经验，保证产品具有高稳定性以及非常低的压力信号滞后。其测量范围为 10—1200mbar（毫巴=百帕），工作范围为-40—+85 摄氏度，供电电压为 1.8—3.6v。MS5611 中已存储 6 个出厂校准数据分别是：

表 1 出厂校准数据

Table 1 The factory calibration data

变量	描述 方程
C1	压力灵敏度 SENST1
C2	压力抵消 OFFT1
C3	温度压力灵敏度系数 TCS
C4	温度系数的压力抵消 TCO
C5	参考温度 TREF
C6	温度系数的温度 TEMPSENS

（上表变量类型为 unit16）

MS5611 是由压阻传感器和传感器接口组成的集成电路，主要功能是把测得未得补偿模拟气压值经 ADC 转换成 24 位的数字值输出，同时也可以输出一个 24 位的数字温度值，分别记 D1 和 D2，之后进行实际温度的计算计算公式如下：

实际和参考温度之间的差异 dT:

$$dT = D2 - T_{REF} = D2 - C5 * 2^8 \quad (1)$$

实际温度计算 TEMP (0.01 度的分辨率)

$$TEMP = 20^{\circ}C + dT * TEMPSENS \quad (2)$$

$$= 2000 + dT * C6 / 2^{23}$$

接着计算温度补偿下的气压值, 计算公式如下:

实际温度抵消 (OFF):

$$OFF = OFF_{T1} + TCO * dT \quad (3)$$

$$= C2 * 2^{16} + (C4 * dT) / 2^7$$

实际温度抵消 (SENS):

$$SENS = SENS_{T1} + TCS * dT \quad (4)$$

$$= c1 * 2^{15} + (C3 * dT) / 2^8$$

最终结果 (P):

$$P = D1 * SENS - OFF \quad (5)$$

$$= (D1 * SENS / 2^{21} - OFF) / 2^{15}$$

在温度低于 20 摄氏度时需要进行二阶温度补偿, 使压力和温度达到最佳精度, 流程图如图 3:

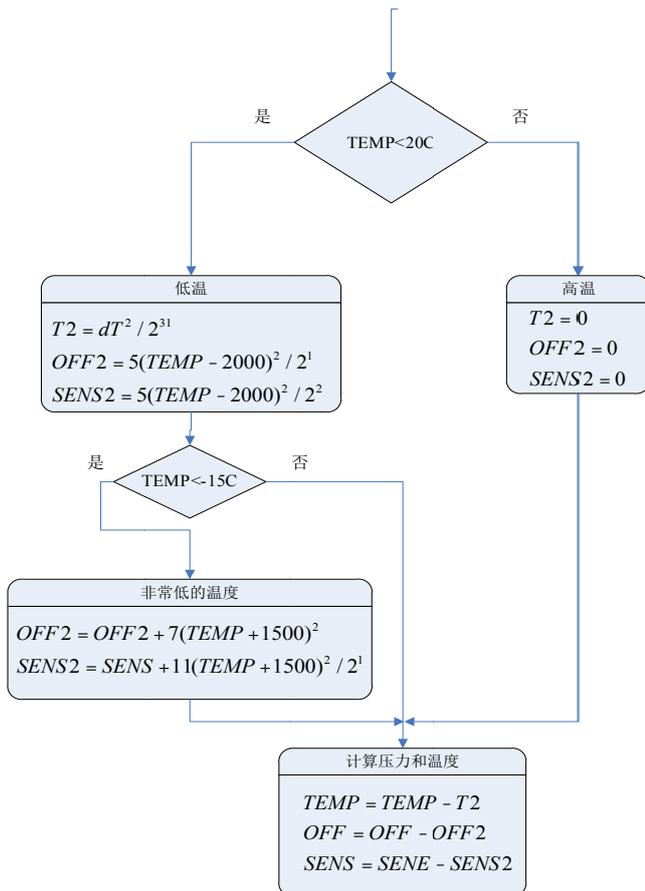


图 3 二阶温度补偿流程图

Fig.3 The flow chart of the second-order temperature compensation

2.4 风力风向测试模块

本次设计风力与风向的测量都采用光电编码器, 用两个光电编码器分别对角度和转速进行测量,

进而演化成风速与风向。

光电编码器如图 4 所示, 在圆盘的边缘有非常多的小孔, 在某固定位置, 圆盘的前后分别有光源和受光原件, 每次受光原件接收到光, 工作的编码器就会输出脉冲, 利用单片机的中断可以记录下每一次脉冲, 若已知光盘上小孔的个数 X 和一定时间中脉冲个数 M, 就会求得光电编码器的转速 N, 设时间为 1s, 则转速 $N=M/X$ 。

实际上光电编码器有两个这样的脉冲输出口 (测量转速时用一个端口即可), 在编码器工作时, 两个端口输出的脉冲不是重合的, 就是说在某一时刻当端口 A 输出高电平时, 端口 B 此时可能是低电平, 两端口给单片机的中断信号不在同一时刻, 利用这一点我们就能判断出编码器旋转的方向, 从而容易的计算出角度的加减值, 进而计算角度, 原理图如图 5 所示, 假设先发生中断 A 后发生中断 B 为正转序, 记作 '+', 反之反转序, 记作 '-', 脉冲个数为 M, 则角度变化值 $\pm d=(360 * M) / X$ (若 $M=360$, 则 $d=0$)

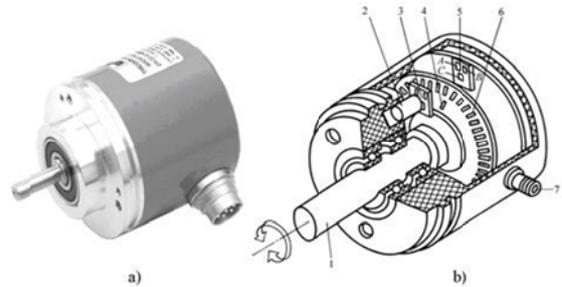


图 4 光电编码器

Fig.4 Photoelectric encoder

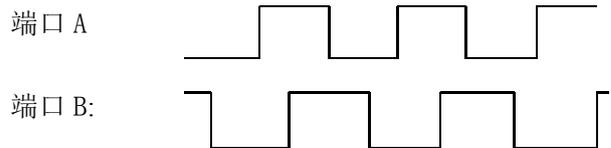


图 5 A、B 脉冲

Fig.5 The pulse of A and B

4 系统软件设计

软件全部采用 C 语言编写, 可提高工作效率和程序的可靠性与持续性。分别编写了温湿度读取程序、气压读取以及温度补偿程序、编码器的中断计数器程序、LCD 显示程序四部分。由于编码器利用中断会打断温湿度串口的通信, 所以利用另一片单片机读取温湿度, 最后用两块 LCD 显示屏显示。

5 系统测试实验

测试方法：设计完成后，对该设计进行制作并运行功能测试。其测试系统如下：在不同时间不同地点一共测量 20 次，选择差异较大的 6 组作为记录，并计算误差并均值，分析其误差大小是否在允许范围内。

测试结果如表 2：(温湿度、气压值都是重新选取和排列的，每组序号内不是统一地点)

表 2 气象站部分数据表

Table 2 Weather station data table

	温度 (测) (C)	温度 (实) (C)	湿度 (测) (%)	湿度 (实) (%)	气压 (测) mbar	气压 (实) mbar
1	19	19.3	35	34.5	987.76	987.5
2	20	21.2	37	36.6	988.24	988.3
3	22	20.8	40	41.1	988.77	988.6
4	23	21.6	42	42.6	989.32	989.2
5	24	25.2	45	43.5	991.86	991.7
6	26	25.5	50	49.6	992.34	992.3

在测试过程中，有意的在不同楼层、地点、环境中测试，最终所测得结果与市场买的温湿度计和户外气压计进行对比，测量误差在可接受范围内。

6 结论

本次设计的微型气象站采用单片机和多种传感器模块等已经很熟练并广泛应用的技术，基于模块化的思想进行整体的构建，能实现部分气象数据的摄取与采集，符合最初的设计要求，该系统的最大特点是：它们能耗低、体积小、价格低廉，可大量装载于各种类型、各个地点的汽车中，将采集到的信息通过串口转 UCB 发送到 PC 端，这些采集到的信息还可以传到互联网上。这样一来，多个该独立系统会组成相当广大的物联网，实现大范围形式的气象数据采集，政府完全不用投入大量的财力。

本次设计的缺点：(1) 温湿度的测量只能测到个数，且温度不能测量 0 度一下；(2) 由于对风杯的材料参数不了解，所以对风速的测量误差会很大；(3) 但光电编码器上的风向标不停的左右摇摆时，角度的测量误差会随之增大。但经过多次的实验测量，该系统能稳定的测量数据和显示，能很好的为用户服务。

参考文献

1. 刘光伟.基于单片机的温室温湿度检测系统设计与实现[D].燕山大学控制理论与控制工程, 2012:26-27
Liu Guang-wei
2. 曾杨, 闻春华, 李毅聪. 基于单片机的自动气象站数据报警系统[J]. 江西省大气探测技术中心., 2009 (1) :1-2
3. 刘红兵.基于双单片机的智能遥测微型气象站[D].南京信息工程大学大气物理与大气环境, 2006:1-3
4. 包桑.智能化气象传感器及数据采集系统[D].中山大学大气物理与大气环境, 2009:1-4
5. 胡玉峰.自动气象站原理与测量方法[M].北京:气象出版社, 2004.
6. 薛伟民.当代中国的气象事业[M].北京:中国社会科学出版社, 1984.
7. 张霭琛.现代气象观测.北京:北京大学出版社, 2000,5
8. 高太长, 刘西川, 刘磊等.自动气象站及气象传感器发展现状和前景分析仪器仪表学报.2008年8月第29卷第8期增刊.
9. 于永, 戴佳, 刘波.C语言常用模块与综合系统设计实例精讲[M].北京:电子工业出版社, 2008, 10.
10. 康华光.电子技术基础(模拟部分第五版).高等教育出版社.
11. 何桥.《单片机原理及应用》.中国铁道出版社.

基于 Labview 的电能质量监测系统设计*

付宇策；付华；刘欢

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 通过虚拟仪器技术来进行检测电能质量的研究, 在利用 labview 软件进行分析的前提下, 设计出强大的信号处理和数据分析能力的虚拟仪器检测装置, 能够满足实时捕获电能质量的多种指标数据的功能, 实时参数可以通过各模块准确显示。

关键词: labview 电能质量 监测

The design of Power quality monitoring system based on labview

Fu yuce;Fu hua;Liu huan

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Study on the detection of power quality by virtual instrument technology, carries on the analysis based on the use of LabVIEW software, to design a virtual instrument signal processing and data strong analysis ability of detection device, can meet the needs of various indicators data real-time acquisition of electric energy quality function, real-time parameters can be accurately displayed by each module

Key words: Labview Power-quality Monitor

0 前言

LabVIEW 是一种程序开发环境, 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序, 产生的程序是框图的形式。是开发测量或控制系统的理想选择。LabVIEW 开发环境集成了工程师和科学家快速构建各种应用所需的所有工具。

1 系统总体设计

电能质量的监测将在 labview 中进行, 首先, 三相信号通过信号调理电路后把数据转换成适于数据采集板 (DAQ) 的电压信号 (一般是 $\pm 5V \sim \pm 10V$), DAQ 板将模拟信号装换能软件能识别的数字信号, 之后模拟信号被传输进入 labview 软件, 再进一步分析, 完成测量任务。

本系统的特色之一就是结合了电力系统分析、虚拟仪器技术以及模拟电子技术, 选用了适合的传感器, 使得测量更加准确。并利用模拟电子技术的知识, 设计出合适信号调理电路。

具有常规的电能质量稳态指标的监测外, 还对电能质量的暂态扰动, 主要是电压的骤升、骤降进行监测和记录, 具有较强的实用性。

具有强大的数据处理能力和逻辑、控制能力, 软件采用高级语言编程, 保证了系统的高可靠性和高挪用性。

传统电能质量测试仪以 MPU 和 MCU 为核心, 功能相对单一, 信号处理和数据分析能力较弱, 比较适宜于电能质量的定时巡检和专项检测, 着眼于电能质量的被动测试, 不具有全方位主动展现电能质量问题全貌的能力。虚拟仪器代表当今测试技术的潮流和方向, 研究、推广基于虚拟仪器技术的电能质量监测方法和监测装置是电能质量监测领域的

* 指导教师: 张秉仁

项目类型: 创新项目

新技术、新方案，这是当前发展的必然趋势。

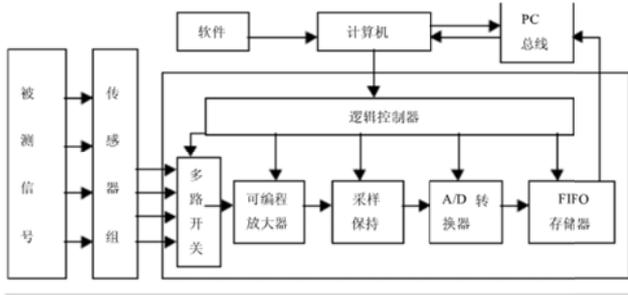


图1 系统整体结构图

Fig.1 integrated system design



图3 数据采集模块示意图

Fig.3 data collection system diagram

2 Labview 开发平台设计

Labview 开发平台主要由功率测量模块、谐波分析模块、不平衡度和相角模块、基础参数模块等 4 部分组成

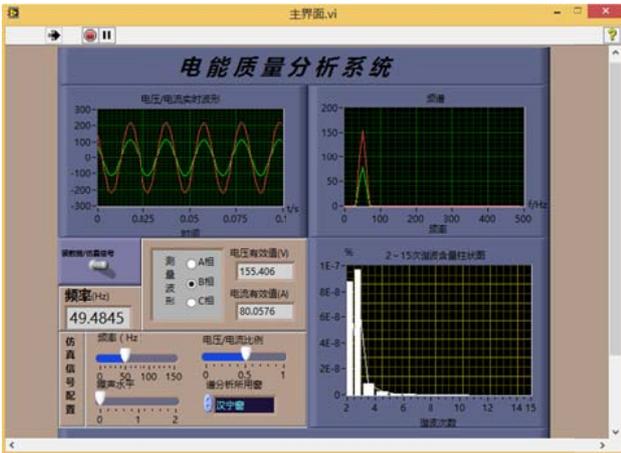


图2 labview 开发平台示意图

Fig.2 The labview diagram

该模块选择 labview 作为平台进行设计，利用图形化编辑语言编程。当有数字信号进入该模块时，软件便可以利用这些数据进行数据分析，并将分析后的数据信息通过图标或者数字等直观的表现出来，从而达到测量电能质量的目的。

3 数据采集模块设计

数据采集模块采用的是 NI 公司 PXI-4472 的采集卡，当模拟信号进入此卡中后，该模块将模拟信号转换为数字信号，并通过数据线传输进入下一模块

4 远程监控界面设计

若通过局域网能将电能质量数据信息实时的远距离传输给虚拟电能质量测量仪，并且实时监控电网数据的话，那么，不仅能够使得节省大量的硬件需求，而且能够浪费的人力资源大大降低。

用户可以只需下载相关的程序，就可以在浏览器上方便的登陆并查看数据，并从数据库提取数据。

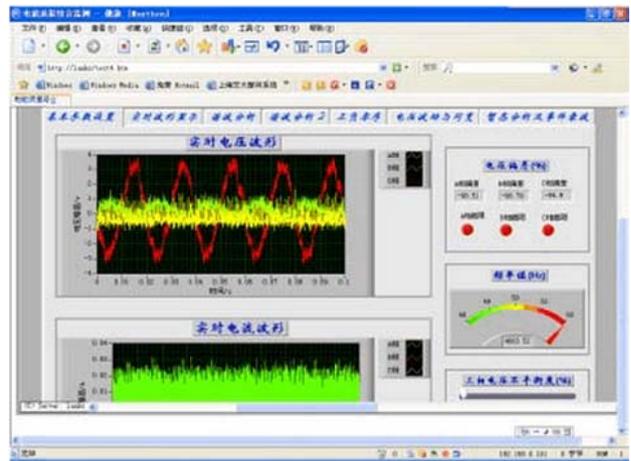


图4 远程监控界面

Fig.4 remote monitoring software window interface

5 测试与分析

基于 Labview 的电能质量监测系统设计利用了虚拟软件，能够使得测量结果比硬件测量软件更加接近于真实值。为了显示测量结果，我们在允许的条件下将测量值与仿真数据进行比较。

	A 相	B 相	C 相
测量电流	78.1252	77.6884	77.5635
测量电压	156.292	155.34	155.122
真实电流	62.5089	62.0839	62.0851
真实电压	156.272	155.21	155.213

表 1 三相电数据统计

Tab. 1 The results of staff turnover statistics

6 结语

基于 labview 的电能质量监测系统能够准确的监测电网的各项指标,而且通过软件和硬件的结合,达到更加高效、准确的将数据信息展现出来的目的。

经过实际测试,可以展示出准确的三相电波形,

三相电能质量关键参数电流值还存在较大误差,误差率达到 2.5%。

功率测量模块可以准确测量功率。

这样,使得这个系统具有良好的实用性,而且因为其基于 labview 的特性,说明拥有良好的移植性,这对于公司或是学校对于电能质量的监测和管理具有很大的意义。不仅如此,该软件还可以推动科研工作进一步的发展,为科技水平的提高做铺垫。

参考文献

1. 王铎.基于 LabVIEW 电能质量监测系统研究[D]. 吉林大学 2013
Wang Duo.The research of power-quality monitoring system based on labview [D].JiLin university.2013
2. 李继光. 基于网络的电能质量监测与评估系统的研究与实现[D]. 湖南大学 2009
Li Jiguang. Research and implementation of power quality monitoring and evaluation system of the network[D]. Based on Hunan University, 2009
3. 刘兵. 电能质量监测网络优化设计方法研究[D]. 西南交通大学 2009
Liu Bing research [D]. Power quality monitoring network optimization method. research [D].SouthwesJiaotong University 2009
4. 耿玥君. 无线多模通信电能质量监测终端的设计[D]. 华北电力大学(北京) 2010

- Geng Jun Yue designed multimode wireless communication terminal of power quality monitoring [D]. North China Electric Power University (Beijing) 2010
5. 张桂芳. 电能质量监测装置的研究[D]. 北京交通大学 2010
Zhang Guifang. Studies of power quality monitoring devices [D]. Beijing Jiaotong University, 2010

多点无线环境监测系统*

刘鹏；马彦钢；姜川

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院， 长春 130021)

摘要：结合方便简洁、低成本的设计方法，提出一种基于 STC89C52 单片机、DHT11、MG811、DSM501 传感器以及 NRF905 无线模块的多点无线环境监测方案。可实现对周围环境中温湿度、CO₂ 浓度以及 PM2.5 的实时监测。系统的测试和分析表明环境数据采集性能良好，数据传输稳定可靠，达到了预期的目标。

关键词：温湿度 气敏 PM2.5 传感器 监测 无线传输

Multi-point wireless environment monitoring system

Liu peng ; Ma yan kai ; Jiang chuan

(College of instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: In combination with convenient concise and cheap design method, we propose a project of multi-point wireless environment monitoring system, which is based on STC89C52 single chip microcomputer, DHT11 sensor, MG811 sensor, DSM501 sensor and the wireless module of the NFR905. And this structure can monitor the temperature and humidity, carbon dioxide concentration, and PM2.5 of the surrounding environment in real time. Systematic testing and analysis showed that environmental data collection performance were qualified, the environmental data transmission was stable and reliable.

Key words: temperature and humidity gas PM2.5 the sensor monitoring wireless transmission

0 前言

随着居民生活水平的提高，人们越来越向往高品质生活，从而对周围居住的环境要求越来越高。这就要求我们设计一个能够将人们敏感的环境参数测量出来并进行合理的分析，进而提出合理建议的仪器，并要求该仪器能准确及时全面地反应环境质量现状及发展趋势，为环境管理，环境规划提供科学依据。

本文设计一套多点无线环境监测系统，主要针对直接关系到人们生活的环境因素（包括温度，湿度，大气中可吸入颗粒物的浓度，大气二氧化碳的浓度等）进行多点数据采集，通过无线模块发送到控制显示平台，以甄别当前测量环境是否适合人们居住和活动，同时可以通过加湿装置改善空气湿度。

1 系统总体设计

1.1 系统设计

系统总体设计是以单片机为核心，通过无线传送模块，将采集到的信息，传到显示模块上，也可以通过控制模块来具体操作主机显示屏幕上具体显示哪一个从机所采集到的数据。控制部分的结构图如图 1 所示，监测部分结构图如图 2 所示。

信号采集电路一般由传感器，将环境信号转化为模拟的电信号，模数转换电路将从检测电路送出的模拟信号转换成单片机可识别的数字信号（或传感器直接输出数字信号）后送入单片机对该数字信号进行滤波处理，并对处理后的数据进行分析，是否大于或等于某个预设值，如果大于则启动报警电路发出报警声音，并在 LCD 显示屏上显示出来。

信号采集部分选择温度、湿度、二氧化碳浓度

* 指导教师：邱春玲

项目类型：创新项目

及 PM2.5 传感器进行信号采集, 再通过单片机进行信号处理, 将结果通过 LCD 显示屏显示出来。

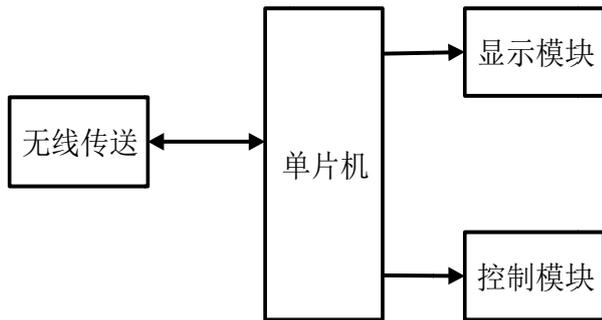


图 1 控制部分结构

Fig.1 control part of the structure

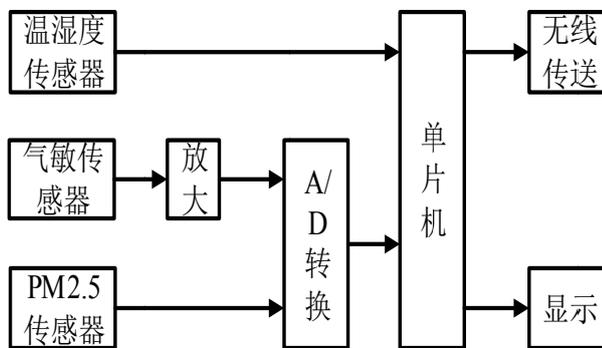


图 2 监测部分结构

Fig2 monitoring part of the structure

(1) 温湿度传感器选用 DHT11 数字温湿度传感器。DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器, 它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术, 确保产品具有极高的可靠性和卓越的长期稳定性。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件, 并与一个高性能 8 位单片机相连接。因此该产品具有品质卓越、超快响应、抗干扰能力强、性价比极高等优点。单线制串行接口, 使系统集成变得简易快捷。

(2) 气敏传感器选用 MG811 气体传感器。MG811 气体传感器能探测 CO₂, CO, 甲烷、煤气等多种气体, 他灵敏度高, 稳定性好。当 TGS202 探测到 CO₂ 时, 传感器的内阻变小, VA 迅速上升。

(3) PM2.5 传感器采用 DSM501 灰尘传感器。PWM 调制输出, 采用粒子计数原理, 可以灵敏检测直径一微米以上的粒子, 内置加热器可实现自动吸入空气, 而且尺寸小重量轻, 容易安装使用。

(4) 传感器输出信号一般比较弱, 需要经过前置电路对其进行放大、滤波、点评调整, 满足单

片机对输入信号的要求。

(5) A/D 转换部分, 信号采集部分采集的信号需要经过 A/D 转换输入到单片机进行处理, 该部分选择 PCF8591. 该芯片能支持四路模数转换, 切串行输出给单片机, 能极大减少对单片机接口的占用率, 可让单片机有更多的可开发功能。

(6) 无线传输部分分别加装在主机和从机(监测点)上, 可以实现主机和从机的相互通讯。无线传输部分的电路图如图 3 所示。

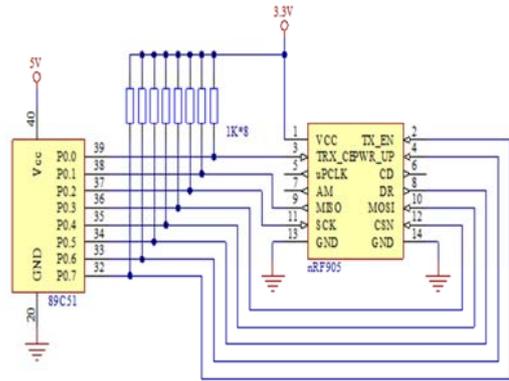


图 3 无线传输部分

Fig.3 wireless transmission modul

2 软件设计

2.1 主机软件设计

利用测量装置, 我们可以对多个节点分别进行一定精度的测量; 所测数据中, 温湿度以及 CO₂ 浓度都是由传感器直接输出完整的数据, 在这里不过多介绍。PM2.5 测量时传感器所提供的是一段 PWM 信号, 需要有大约 30 秒的延时才能测量完成, 在这里, 为了实时显示, 需要设计 30 秒宽度的窗函数来实现; 但又考虑到环境的实时情况在短时间内变化不大, 加入窗函数的意义不大, 故循环显示的时间设在 30 秒; 同样, 由于无线模块选用的是 NRF905, 它只允许八位地址, 故理论上与一个主机通讯的可以有 255 个从机。但该模块的传输距离较近, 255 个从机都分布在主机 500 米范围内浪费资源。所以从机和主机之间可采用间接通信的方式, 即从机先将测量结果发送到距离主机较近的从机, 再由另一个从机转发给主机。通过以上的的方式, 提高了环境监测的覆盖面积, 也能增大该装置的适用范围。流程图如图 4 所示。

2.2 从机软件设计

DHT11 的输出信号为数字信号, 其信号可直接进行输出; MG811 以及 DSM501 的输出信号为模拟信

号，需要对其进行 A/D 转换，将检测到的信号数据进行合适的算法处理，30s 之后，在从机的显示屏进行显示，并通过 NRF905 打包发送给主机。流程图如图 5 所示。

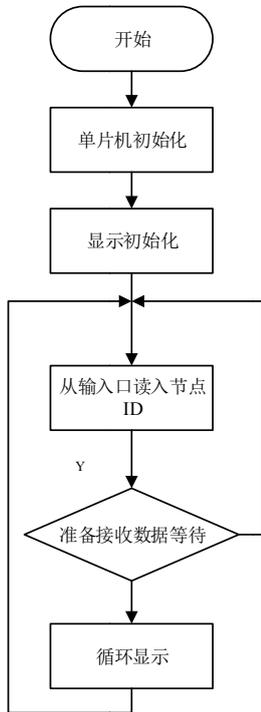


图 4 主机部分流程框图

Fig.4 the flow chart of the host

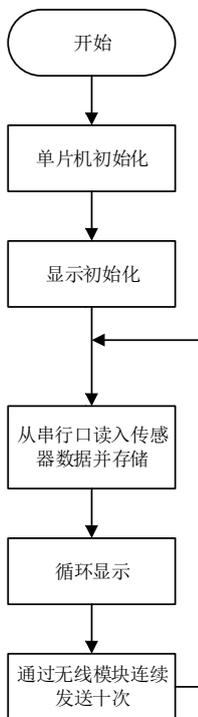


图 5 从机部分流程框图

Fig.5 the flow chart of the branch

3 系统测试结果

1 主机实际测试结果

在完成主机的设计后，并用 C 语言编写了主机和从机的通信程序，经过实验，用拨码开关选择正确的从机地址，经过 30s 的延时，主机成功接收到从机的监测数据，并成功显示在 LCD1602 显示屏上，说明本次主机的设计较为成功，实物图如图 6 所示。



图 6 系统实体图

Fig.6 the system entity

2 系统测试结果

我们在同一地点的不同时间的数据，对周围环境进行了监测，并且和事先准备好的成品仪器同时测量和记录数据，选取了其中的 4 组实验数据，如表 1 所示。

本次设计实现了 30 秒内对温湿度，CO₂ 浓度，PM2.5 的测量，并通过 LCD1602 显示屏循环显示。当接入无线模块，切地址匹配时，能从主机中准确读出该数值，通过地址的定义，我们从理论上可实现 255 个点的数据测量。

表 1 测试结果

table. 1 the test results

类别	测量温度 ℃	实际温度 ℃	测量湿度 %	实际湿度 %	测量 CO ₂ 浓度 ppm	实际 CO ₂ 浓度 ppm	测量 PM2.5 kpcs	实际 PM2.5 kpcs
1	20	20.3	23	24	370	340	9.3	9.8
2	21	21.2	26	27	415	433	10.5	10.3
3	22	22.3	30	32	768	794	14.8	15.2
4	23	23.3	34	36	1567	1634	17.3	17.5

4 结论

本文介绍的多点无线环境监测系统, 主要由 1 台主机和 2 台从机组成, 我们设计搭建了主体硬件, 并选择了合适的数据算法, 运用 c 语言进行软件编程, 成功实现了从机的监测、发送功能以及主机的接受、显示功能, 可以对周围的环境进行相对准确的监测, 具有一定的通用性。

参考文献

1. 王雪文, 张志勇, 传感器原理及应用[M], 北京航空航天大学出版社, 2004。
Wang xuewen, Zhang zhiyong, The Principle and Application of Sensor[M], Beihang University Press, 2004.
2. 罗隆福, 童调生, 智能检测系统与数据融合[M], 机械工业出版社, 2000。
Luo longfu, Tong tiaosheng, Intelligent Detection System and Date Fusion[M], China Machine Press, 2000.
3. 李道华, 李玲, 传感器电路分析与设计[M], 武汉大学出版社, 2000。
Li daohua, Li ling, The Sensor Circuit Analysis and Design[M], Wu Han University Press, 2000.
4. 汉才, 单片机原理及系统设计[M], 清华大学出版社, 2002。
Han cai, Single Chip Microcomputer Priciple and System Design[M], Tsinghua University, 2002.
5. 傅敏宁, 郑有飞, 徐星生, 牛鲁燕, PM2.5 监测及评价研究进展[J], 气象与减灾研究, 2012, 35(4): 1-6。
Fu minninf, Zhen youfei, Xu xingniu, Niu luyan, The Monitoring and Evaluation of PM2. 5[J], The weather and Disaster Reduction Research, 2012, 35(4):1-6.
6. 王永志, 刘媛媛, 大型粮库的温湿度监测报警控制系统[J], 农机化研究, 2008 (8): 167-169。
Wang yongzhi, Liu yuanyuan, The Monitoring and Alarm Conyrol System of the Large Grain' s Temperature and Humidity[J], Agricultural Mechanization Research, 2008 (8): 167-169.
7. 蔡型, 张思全, 短距离无线通信技术综述[J], 现代电子技术, 2004, 27(3): 65-67。
Cai xing, Zhang xiquan, Short-range Wireless Communication Technology [J], The Modern Electronic Technology, 2004, 27(3): 65-67.

基于 FPGA 的 SPWM 信号发生器的 两种方法对比研究*

姚尧, 滕永平, 胡亚楠

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要: 本文介绍了自行研制的采用 Altera 公司的 Cyclone 系列 FPGA 为数字平台, 利用 Quartus II11.0 软件在 FPGA 中设计出了 SPWM 信号发生器, 整个系统可以实现一种频率可调、高频调制的 SPWM 信号发生器, 并且其死区时间可调, 且实现了两路信号输出互锁。同时, 将本文中所用方法与 DDS 技术比较, 设计出更为适用的 SPWM 信号发生器。

关键词: FPGA SPWM 控制 死区时间

中图分类号: TG156 **文献标识码:** A

The comparison of the SPWM signal generator between two methods based on FPGA

Yao Yao, Teng Yongping, Hu Yanan

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130000)

Abstract: This article describes the self-developed by using Altera's Cyclone FPGA series of digital platforms, using the Quartus II11.0 software in the FPGA design out of the PWM signal generator. The whole system can implement a frequency-tunable, high-frequency modulation of the PWM signal generator and its dead time is adjustable, and the realization of the two-way signal output interlock. At the same time, compare method used in this paper and DDS technology, design a more suitable PWM signal generator.

Key word: FPGA SPWM control Dead time

0 前言

新型电力电子器件和高性能微处理器的出现和发展正弦脉宽调制 (SPWM) 技术在数字控制领域中得到广泛应用, 多种方法可以产生 SPWM 脉宽调制波但是采用 SPWM 技术产生高准确度、稳定的输出波形是一个技术难点, 这与 SPWM 波的质量有关。目前产生 SPWM 的方法有很多, 主要有以下两种: 一种是采用直接数字频率合成技术 (Direct Digital Synthesizer, DDS) 产生正弦波和三角波, 正弦波作为调制波, 三角波作为载波。生成等幅且占空比大小符合正弦关系的 SPWM 信号。另外一种是利用

Simulink 将仿真的 SPWM 信号数字化, 用 0, 1 序列将 SPWM 信号表示出来。FPGA 将这样的 0, 1 序列按照一定时序通过高低电平的控制产生 SPWM 信号。

1 SPWM 技术的原理

正弦脉宽调制技术: 通过对一系列宽窄不等的脉冲进行调制, 来等效正弦波形 (幅值、相位和频率)。其原理如图 1 所示:

* 指导教师: 王世隆

项目类型: 创新项目

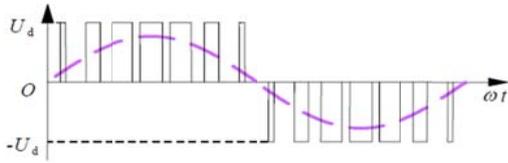


图 1 SPWM 技术的原理

Figure 1 The principle of SPWM technology

如何利用宽窄不等的方波来等效正弦波就是 SPWM 调制的基本思路, 保证宽窄不等的方波所对应的基波与所需要等效的正弦波的幅值、相位和频率均相等。

2 基于 DDS 技术的 SPWM 信号的产生

DDS 技术是一种直接数字合成方法, 不需要震荡和锁相环节, 直接将波形函数进行数字离散化, 以时间为地址, 幅度为量化数据, 依次存入波形存储器, 使连续的数据流通过数模转换器产生需要的波形。DDS 使用基准时钟和相位累加技术控制存储器地址的变化, 从而达到控制输出波形的相位、频率。

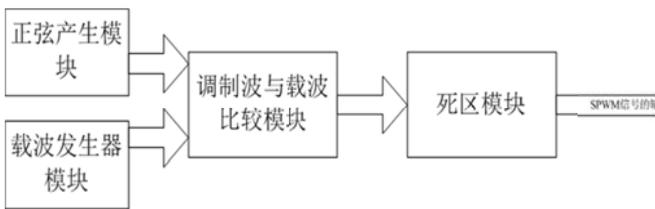


图 2 流程图

Figure 2 The flow chart

利用 QuartusII 11.0 软件开发集成环境中已有的模块, 在 FPGA 上, 用 VHDL 硬件描述语言构建相位累加器、分频器等。该方法采用 DDS 技术将数字化的三角波和数字化的正弦波进行调制, 用载波三角波与正弦调制波的交点来自自然地确定脉冲的采样点和开关点, 进而控制开关器件的通断。采样点和开关点采用比较器进行比较确定, 从而调制出 SPWM 波形。该模块主要包括倍频模块、DDS 正弦波发生模块、三角波发生模块、比较模块及死区控制模块及五模块。设置正弦波的频率约为 50Hz, 方波的频率约为 10kHz, 死区时间为 $3 * (1/100000)$ 为 30us。

3 基于 Simulink 仿真 FPGA 产生 SPWM

从 Matlab 模拟库提取模型到 Simulink 的仿真平台上进行仿真。在这个环境中, 我们可以基波发生器、载波发生器、比较器等元件模型用框图表示出来, 设置输入输出, 对系统动进行动态仿真。在

实际的操作当中, 我们进行了 SPWM 信号的生成仿真, 可以得到包含 0, 1 序列的控制信号。

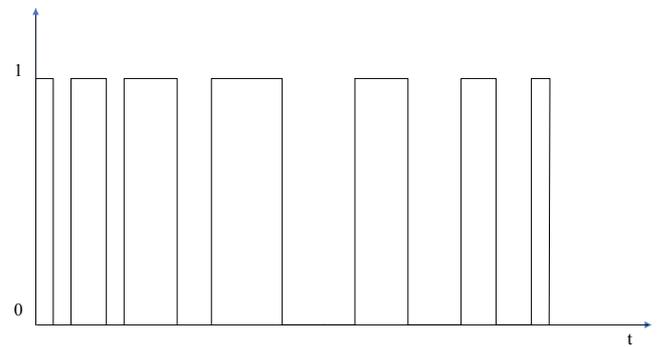


图 3 仿真图

Figure 3 The simulation diagram

在负载电阻大小为 2Ω , 电感大小为 1mH 的情况下, 将 Simulink 将仿真的 SPWM 信号数字化, 导出 Simulink 中示波器里边的数据, 通过 LABVIEW 得到周期内的 0 和 1 的个数。我们可以得到用 450 个 0, 1 序列将一个周期 SPWM 信号表示出来, FPGA 进行分频按照一定时序利用高低电平将 SPWM 信号产生。我们通过 FPGA 的时钟进行分频操作, 控制 SPWM 信号的占空比, 进行程序编程。

设计思路为在结构体中定义了两个输出信号: PWMH 和 PWML, 还定义了一个计数信号: CNT, 作为中间值。当计数数值信号 CNT 的计数数值小于其设定值的时候, 每来一个时钟脉冲信号就将 CNT 加一, 如果这个时候计数数值信号 CNT 的计数数值也小于或等于 D 信号输入值, 就将 PWMH 信号置为高电平, PWML 信号置为低电平。当计数数值信号 CNT 的计数数值等于 D 信号的输入值的时候, 便将输出信号翻转, 即 PWMH 为低电平, PWML 为高电平。当计数数值信号 CNT 的计数数值等于 CNT 设定值的时候, 便将 CNT 置零, 程序便再次循环作用, 不断输出脉冲宽度调制信号。由此达到脉冲宽度调制的目的。

4 死区时间的原理及其设置

桥式电路是大量实际逆变电路的基本结构, 在理想情况下, 每个桥臂的上下开关管严格轮流导通和关断。但实际情况是, 每个开关管的通、断都需要一定时间, 尤其是关断时间比导通时间更长。在一个开关管的关断过程中, 若另一个开关管已经导通, 则必然引起桥臂短路。为了防止这种情况发生, 通常让触发信号推迟一段时间, 称为死区时间。因此死区时间的产生就十分重要, 下面我们通过下述的方法产生包含死区时间的 SPWM 波形。

当我们产生出正常的控制信号, 利用一路控制信

号的每一个上升沿做为一个触发，产生一个 10us 左右的方波，再利用这样的方波进行亦或操作，这样就可以得到我们想要的包含死区时间的 SPWM 波形，原理图如下图所示：

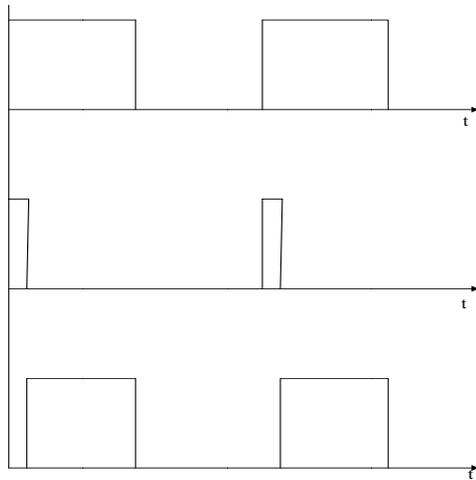


图 4 带死区时间的控制信号产生原理

Figure 4 theory to produce the signal containing the dead time

如图 6 所示，我们给出了产生死区时间的具体做法，在实际操作中，我们根据上边的方波的上升沿做触发产生出一个时间较短的延时，这样的在每个方波的上升沿都会产生一个一定时间的延时，将这两路信号做亦或即相同为 1 不同为 0 这样的操作，就会产生包含一定延时的方波信号，将另外一路的信号做同样的操作，两路信号之间的时间差就是我们产生的死区时间。得出来的两路信号就是包含死区时间的互补 SPWM 信号。

5 两种方法的实际输出

基于 DDS 技术产生的 SPWM 信号，其输出信号如图 3 所示：

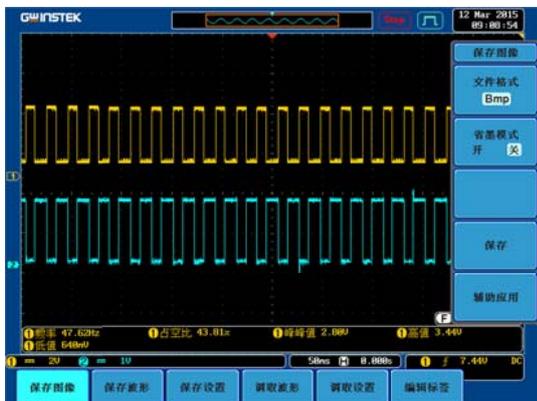


图 5 基于 DDS 技术产生的 SPWM 信号

Figure 5 The SPWM signal based on DDS technology
该方法成功实现 SPWM 信号的产生，但实现的 SPWM

的占空比变化较慢且连续性较差。因此基于 DDS 技术的 SPWM 信号产生具有如下缺点：（1）由于 DDS 内部波形存储器中存储的正弦幅度值是用二进制表示的，对于越过存储器字长的正弦幅度值必须进行量化处理，这样就引入了量化误差。（2）ROM 寻址位数较大，经比较器比较再输出，占空比变化慢。

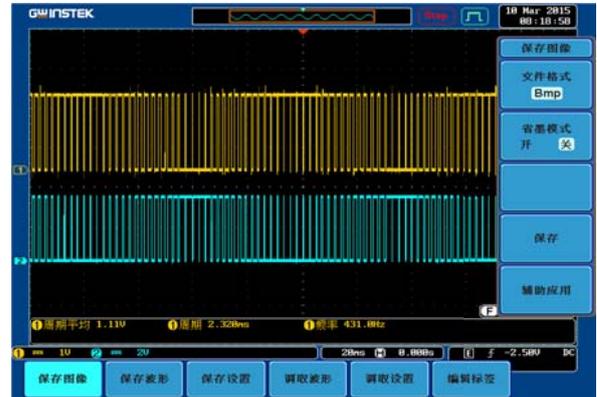


图 6 实际输出的控制信号

Figure 6 the real produce of the signal

图 6 所示的输出信号是基于 Simulink 仿真 FPGA 产生的 SPWM 信号。该方法成功实现 SPWM 信号的产生，频率可调，信号良好。通过这样的方式我们可以发现实际的输出与仿真的结果对比发现，频率变化较快，与图 3 相比较起来变化很快，满足我们电路中开关要求的开通与关断的较快频率变化。

6 结论

对比以上两种方法，基于 DDS 技术产生的 SPWM 信号的频率较低，占空比变化幅度不大。而第二种方法产生的 SPWM 信号频率高，占空比变化大。因为我们产生的 SPWM 信号是去控制 H 桥式电路的开关器件的通断，需要工作在一定的频率条件下，基于 DDS 技术产生 SPWM 信号在高频率下误差较大且没有第二种方法稳定，所以第二种更适合我们的实际需要。综上所述，我们将采用第二种方法产生的 SPWM 信号。

参考文献

- [美]K. 科夫曼. 基于 Verilog 语言的实用 FPGA 设计, 科学出版社, 2004
[U] K. Coffman, Practical FPGA design based on Verilog Language, Science Press, 2004.
- 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009

Wang Zhaoan, Liu Jinjun, Power electronic technology
[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2009.

3. 林飞, 杜欣. 电力电子应用技术的 MATLAB 仿真[M]. 中国电力出版社, 2009.

Lin Fei, Du Xin, MATLAB simulation application of
power electronics technology, Chinese Power Press, 2009.

4. 黄忠霖, 黄经. 电力电子技术的 MATLAB 实践[M]. 国防出版社

Huang Zhonglin, Huang Jing, The MATLAB practice of
power electronics technology, National Defense Industry
Press.

5. Guangzhu Wang. Parabolic PWM for Current Control
of Voltage-Source Converters[J]. VOL, 57, NO. 10
OCTOBER 2010.

用手机遥控的智能空气加湿器的设计*

袁月;董轩;何龙龙

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林长春, 130061)

摘要: 为提升传统的空气加湿器的智能化性能, 本设计以单片机为控制核心, 集成湿度测量, LCD12864 显示, 雾化器驱动, GSM 模块等电路, 实现了通过用手机实时监测及遥控加湿器的功能。经测试, 该设计能根据接收的指令短信, 来反馈室内实时湿度数据, 重设目标湿度范围及改变雾化器开关状态, 并能在设定条件下达到工作的全自动化运行及防干烧, 提高了其智能与实用特性。

关键词: 加湿器 手机遥控 智能

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

The design of intelligent air humidifier telecontrolled by mobile phone

Yuan Yue; Dong Xuan; He Longlong

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun, 130061, China)

Abstract: To improve the intelligent performance of traditional air humidifiers, we use MCU(Micro Controller Unit) as the control core and integrate humidity-measuring circuit, LCD12864 displaying circuit, ultrasonic nebulizer-driving circuit and GSM module circuit, achieving monitoring humidity data and telecontrolling air humidifiers through mobile phones. Our tests prove that this design can analyse its received messages and then consequently answer with humidity data in real time, reset expected humidity range or switch the on-off condition of ultrasonic nebulizer. Furthermore, it can operate automatically according to its set conditions and avoid working without water in its water tank, which improves its intelligence and practice performance.

Key words: Humidifier Remote control with mobile phones Intelligence

0 前言

在干燥的环境中, 病菌易于传播, 使人们易患感冒, 皮肤过敏或肌体免疫力下降; 干燥的环境也容易使木质家具变形, 或产生静电, 损坏电器。因此, 在室内合理使用加湿器可以多方面提高人们的生活质量。根据调查, 目前市场上销售的家用超声波加湿器都为手动控制开关, 很多用户在购买了空气加湿器后并未高效率地使用。此外, 多数用户并未配备湿度计, 无法科学合理地控制室内湿度。传统加湿器的这些问题给用户们的生活造成种种不便。

鉴于这些不足, 本设计在传统加湿器的基础上对其进行了改进, 采用单片机作为系统控制核心, 用 DHT21 数字传感器采集湿度数据, 并在 LCD12864

液晶屏上实时显示; 将当前湿度与设定范围比较, 判断是否打开雾化器加湿; 通过 GSM 模块收发短信建立起手机与单片机的通信, 实现远程监测室内湿度及遥控加湿器工作状态。该设计有效填补了传统加湿器的不足, 给用户带来方便快捷的智能化体验。

1 系统功能组成设计

用手机遥控的智能空气加湿器主要由 DHT21 温湿度传感器、STC89C52RC 单片机、LCD12864 显示屏、超声波雾化器、以及 GSM 模块等五部分组成。系统功能原理图如图 1 所示, 温湿度传感器采集室内空气的温湿度, 并将采集的温湿度数据传送至单片机; 加湿器的适宜湿度值设定之后, 单片机可根据设定值与当前湿度值的大小关系启动或关闭雾化器; 同

* 指导教师: 段清明

项目类型: 创新项目

时，利用手机发送短信可以随时远程设定湿度值或把室内湿度实时反馈给用户。

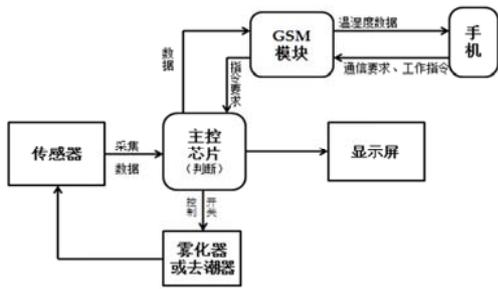


图 1 系统功能原理图

Fig.1 Schematic diagram of the system's function

2 硬件设计

2.1 LCD12864 显示屏电路

LCD12864 电路连接图如图 2 所示，利用滑动变阻器 R2 调节 LCD12864 背光灯与显示字符亮度的对比度；LCD12864 采用并行数据传输方式与单片机相连。LCD12864 是一种具有 4 位/8 位并行、2 线或 3 线串行多种接口方式，内部含有国标一级、二级简体中文字库的点阵图形液晶显示模块，其显示分辨率为 128×64，内置 8192 个 16*16 点汉字，和 128 个 16*8 点 ASCII 字符。利用该模块灵活的接口方式和简单、方便的操作指令，可构成全中文人机交互图形界面。其硬件电路结构及显示程序都很简洁，且该模块的价格也略低于相同点阵的图形液晶模块，故本设计采用 LCD12864 显示传感器采集到的湿度数据。

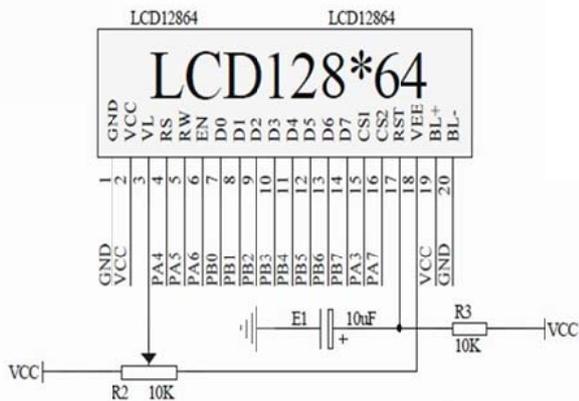


图 2 LCD12864 电路连接图

Fig.2 Circuit connection diagram with LCD12864

2.2 湿度采集电路

本设计采用 DHT21 数字温湿度传感器测量室内的温湿度。DHT21 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。它应用专

用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，确保产品具有极高的可靠性与卓越的长期稳定性。每个 DHT21 传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式储存在 OTP 内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中将调用这些校准系数。该传感器为 4 针单排引脚封装，使用时连接方便。图 3 即为 DHT21 与单片机连接示意图。DHT21 与单片机一次通讯时间在 5ms 左右，其采集的数据将与单片机内设定值进行比较，用以判断雾化器是否应该工作。

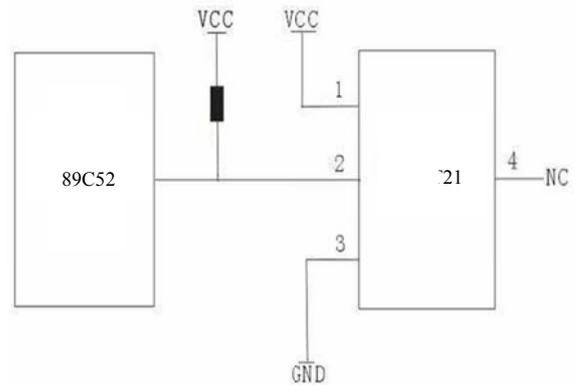


图 3 DHT21 与 89C52 电路连接图

Fig.3 Circuit connection diagram with DHT21 and 89C52

2.3 远程监测及重设湿度

GSM 模块与单片机相连，通电时二者保持通信。当手机发送短信给 GSM 模块时，单片机可以通过向该模块发送查询指令而识别短信内容，进而执行用户要求的操作，或把当前室内湿度信息经 GSM 模块反馈给手机，或对加湿器的标准值进行重新设定，达到智能遥控的目的。本设计所用 GSM 模块的电路原理图如图 4 所示。

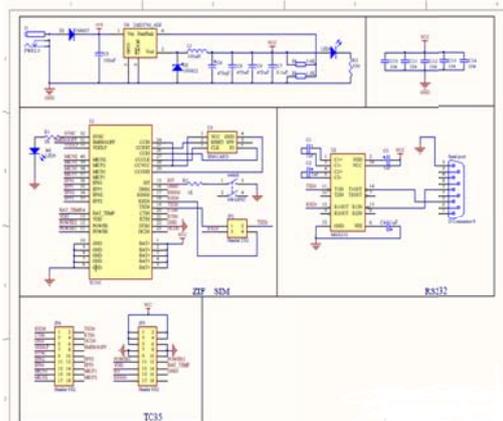


图 4 GSM 模块电路原理图

Fig.4 Schematic diagram of GSM module circuit

3 软件设计

本设计的系统软件流程图如图 5 所示，主要包括系统初始化，湿度实时检测，LCD12864 实时显示，GSM 模块与单片机实时通信，雾化器驱动等；主要任务是实时显示室内的湿度值，并根据湿度当前值与目标值自动运行雾化器，以及在手机发出相应指令后能及时反馈当前湿度值或重设加湿系统的目标值。

系统上电后，进行显示器、单片机及 GSM 模块初始化。之后循环执行两部分程序：(1) 测量更新当前室内温湿度，将其显示在 LCD12864 上，并与设定值进行比较。若其低于设定值，则打开雾化器进行加湿，反之则关闭雾化器。(2) 判断 GSM 是否收到手机发来的指令。若收到则识别指令内容，当手机询问当前湿度数据时，则将最新的湿度值发回至手机；当手机要求重设湿度目标值时，则将收到的新目标值显示在屏幕上，并与最新湿度值进行比较，如果需要加湿则打开雾化器。如此循环，反复执行。

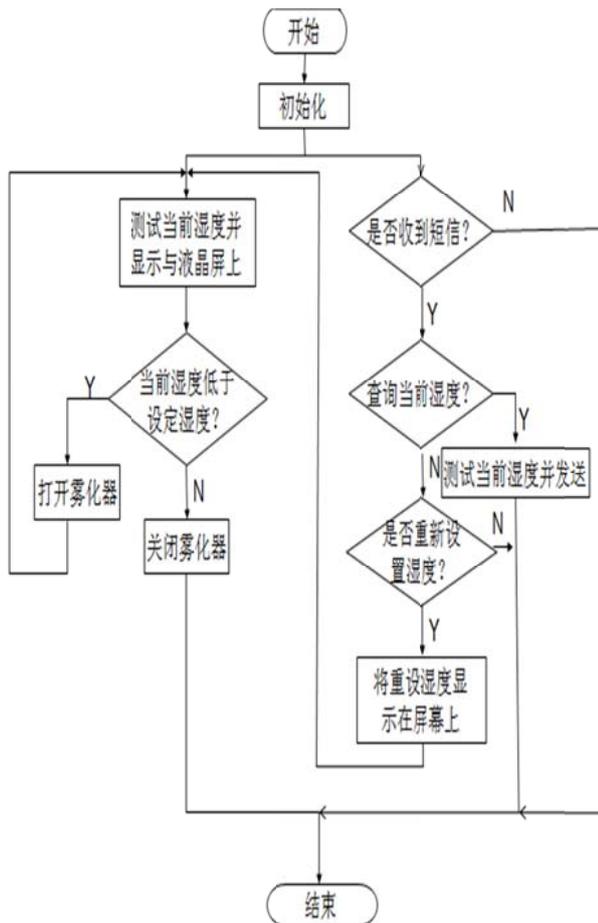


图 5 系统软件流程图

Fig.5 The system's software diagram

4 测试结果

为了检验该设计的实际性能，针对手机监测室内湿度数据、远程预设湿度范围及遥控雾化器开关进行测试。

(1) 用手机向 GSM 模块发送查询当前湿度的指令，将收到的反馈值与显示屏上显示的湿度值进行比较，并用秒表测量手机从发送指令到收到反馈值其间所用时长。时间数据记录如表 1。

表 1 手机查询湿度时系统响应时间

Table 1 System's response time when mobile phones ask for humidity information

次数	1	2	3	4	5	6	平均
用时 (s)	34.4	37.4	36.6	38.7	37.7	39.0	37.3

由表 1 可知，手机查询湿度时系统的响应时间平均为 37.3 秒。经比较，手机收到的反馈值与在 LCD12864 上显示的湿度值是相同的。故可知，该设计可以实现实时监测室内湿度。

(2) 测试时室内温度约为 18 摄氏度，此时适宜湿度范围为 40%—60%，故将湿度目标值设定为 55RH。用手机将设定指令发送到 GSM 模块，记录测试时室内的初始湿度值 H_1 和第一次超过预设值时的湿度值 H_2 ；从手机发指令开始计时，记录 GSM 模块收到指令所用时长 t 和湿度第一次超过预设值所用时长 T 。测试数据整理如表 2。

表 2 手机遥控功能测试数据

Table 2 Data from mobile phones telecontrolling-function tests

	H_1 (RH)	H_2 (RH)	t (s)	T (min, s)
1	15.1	55.7	21.7	4min 45s
2	17.7	55.4	23.1	4min 27s
3	16.5	55.8	20.9	4min 31s

由表 2 可得，GSM 模块接收手机指令平均用时 21.9 秒，本次测试环境下达到预设的湿度平均用时 4 分 34 秒。此外，在测试中当检测到湿度高于预设值时，雾化器及风扇立即停止工作；过段时间湿度降至预设值以下时，雾化器和风扇又立即开始工作。

故可知, 该设计能实现手机遥控加湿器的功能, 且加湿器启动后能根据环境湿度变化全自动运行。

5 结语

该设计采用 STC89C52 单片机为控制核心, 与 DHT21 模块, LCD12864 显示电路, GSM 模块以及雾化器组成全自动运行、可响应远程遥控指令的加湿系统, 使人们的生活更舒适。其不同于传统加湿器的智能特性, 为用户带来更健康、更方便的使用体验。

参考文献

- 郭帅, 宁礼佳, 鲍玉冬, 史松卓. 基于手机遥控的智能浇灌系统设计研究 [J]. 安徽农业科学. 2014(18): 6054-6055.
Guo Shuai, Ning Lijia, Bao Yudong, Shi Songzhuo. The design and research of intelligent irrigation system based on mobile phones telecontrol [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences. 2014(18): P6054-6055.
- 金龙海, 李聪. C 语言程序设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Jin Longhai, Li Cong. Programming Design with C Language [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- (美) 布雷 (Brey, B.B). Intel 微处理器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010. 6.
(America) Brey, B.B. The Intel Microprocessors [M]. Beijing: China Machine Press, 2010.6.
- 何桥, 段清明, 邱春玲. 单片机原理及应用 [M]. 中国铁道出版社. 2008. 1.
He Qiao, Duan Qingming, Qiu Chunling. The Principles and Application of Microcontrollers [M]. China Railway Publishing House. 2008.1.
- 郭天祥. 51 单片机 C 语言教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009. 1.
Guo Tianxiang. C Language Courses about 51 Microcontrollers [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009.1.
- 李鹏. 基于单片机控制的手机遥控小车的设计 [J]. 魅力中国. 2014 (25):119.
Li Peng. The design of mobile phones-telecontrolled toy car based on MCU [J]. Charming China. 2014 (25):119.
- 刘凌云. 智能家居控制系统 [学位论文] 硕士. 2014.
Liu Lingyun. Smart home control system [Dissertation] Master. 2014.

高精度双模式太阳能自动跟踪系统*

祖贤达；代友；樊帅

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130021)

摘要: 为了提高太阳能利用率, 提出了双模式双轴的太阳能跟踪系统。采用传感器跟踪与 GPS 定位跟踪相结合的控制方法, 根据天气情况选择效率较高的工作模式, 将采集到的数据传送到单片机, 驱动伺服电机准确跟踪当前太阳所在位置, 以达到高效率利用太阳能的目的。

关键词: 利用率 传感器 GPS 单片机 伺服电机

中图分类号: TP232 **文献标识码:** A

High-precision dual-mode automatic solar tracking system

Zuxianda; daiyou; fanshuai

(College of instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: In order to improve the utilization of solar energy, we propose dual-mode and dual-axis solar tracking system. The control method combines Sensor Tracking with GPS location tracking. Using this method selects more efficient operating mode according to weather conditions. The collected data will be transmitted to the SCM, and servo motor drive accurately to tracking where the current position of the sun in order to achieve efficient utilization of solar energy object.

Key words: Utilization Sensor GPS SCM Servomotor

0 前言

随着社会的发展进步, 传统的不可再生能源已经不能满足人类发展的需求, 太阳能作为一种可再生的清洁能源必将成为未来社会发展必不可缺的能源之一, 然而太阳能的利用率问题始终阻碍着太阳能的广泛利用, 如何提高太阳能利用率已经成为国际研究热点, 据理论研究表明, 传统的固定接收太阳能方式与双轴跟踪方式太阳能接收率相差 41.34%。该跟踪装置不需要人工干预, 受天气状况影响较小, 结构简单, 能够较好的提高太阳能的利用率。

1 太阳能跟踪系统设计

(1) 方案选择

目前太阳能主要有传感器检测光强^[4]与视日运

动轨迹两种控制方法, 以及单轴跟踪与双轴跟踪两种跟踪方法。

单轴跟踪方式只有一个旋转轴可以改变太阳能电池板的位置角度, 只能根据方位角跟踪太阳, 高度角做季节性人工调整, 双轴跟踪方式^[5]是在方位角和高度角两个方向跟踪太阳轨迹。显然双轴跟踪方式的太阳能利用率高于单轴跟踪方式。

传感器检测光强控制方法^[2]是通过光电传感器实时监测太阳光线是否垂直照射太阳能电池板, 在太阳能电池板的四个边缘放置光电传感器, 将采集的光电信号经过 AD 转换得到数据, 经比较分析后驱动伺服电机调整太阳能电池板位置使其正对太阳, 达到高效利用太阳能的目的。这种控制方式优点是灵敏度高, 对系统安装要求较低, 不会受到累积误差的影响, 成本低; 缺点是跟踪的稳定性问题较大, 受天气影响比较严重, 阴雨多云天气无法准确跟踪太阳, 受外界干扰光线影响较大。

视日运动轨迹控制方法是通过 GPS 设备实时接

* 指导教师: 仲志成

项目类型: 创新项目

收时间, 经纬度来确定太阳每一时刻的所在位置, 从而驱动伺服电机调整太阳能电池板位置使其跟踪太阳的运行轨迹, 这种方法能够全天候实时跟踪, 应用广泛, 但是精度不高。

基于以上方案优缺点, 采用了传感器检测光强与视日运动轨迹两种控制方法相结合的双模式双轴跟踪系统。

(2) 视日运动轨迹跟踪设计^[6]

太阳相对地球位置由太阳高度角 a_s 和太阳方位角 g_s 确定, 太阳高度角是指太阳光线与地表水平面之间的夹角, 可由以下公式得出:

$$\sin a_s = \sin q \cdot \sin d + \cos q \cdot \cos d \cdot \cos w$$

$$d = 23.45 \cdot \sin\left[\frac{360}{365} \cdot (284 + n)\right]$$

式中各角度单位均为度, 其中 q 为当地纬度角; d 为太阳赤纬角; w 为时角, 是用角度表示的时间。太阳方位角是指太阳光线在水平面上的投影和当地子午线的夹角, 可由下式确定:

$$\cos g_s = \frac{\sin a_s \cdot \sin q - \sin d}{\cos a_s \cdot \cos q}$$

赤纬角和时角的计算需要通过时间确定, 由于太阳在一年中的时角运动很复杂, 日常生活中的钟表时间采用平太阳时, 即太阳沿着周年运动的平均速率, 在工程计算中, 就会存在时差问题(真太阳时与平太阳时之差), 因此必须采用真太阳时 t_0 , 否则在实际计算中无法到达精度要求。为了得到准确的真太阳时 t_0 , 可以根据定时标准来校正时差值, 我国区域的时差确定如下:

$$t_0 = \frac{120 - longitude}{15} - \frac{e}{60}$$

式中, $longitude$ 为光伏发电地点的地理经度, 中国地区的北京标准时间的经度为 120, e 为时差, 可由下式计算得出:

$$b = \frac{360}{365} \cdot (n - 1)$$

$$e = 0.0172 + 0.4281 \cdot \cos b - 7.3515 \cdot \sin b - 3.3495 \cdot \cos(2b) - 9.3619 \cdot \sin(2b)$$

因为每 24 小时地球自转 1 圈, 所以每 15 为 1h,

且正午时, 时角 $w = 0$, 可由下式计算出:

$$w = 15 \cdot (12 + t_0 - t)$$

式中 t 为北京时间。另外 n 为 1 年中的日期序号, 从 1 月 1 号开始起数, $n = 1$, 每往后加一天 $n = n + 1$ 。

(3) 太阳能跟踪控制系统设计概述

太阳能跟踪系统主要由光电传感器模块、AD 转换模块、外部通讯接口、单片机控制单元、驱动电路和伺服电机等组成。

2 软件设计

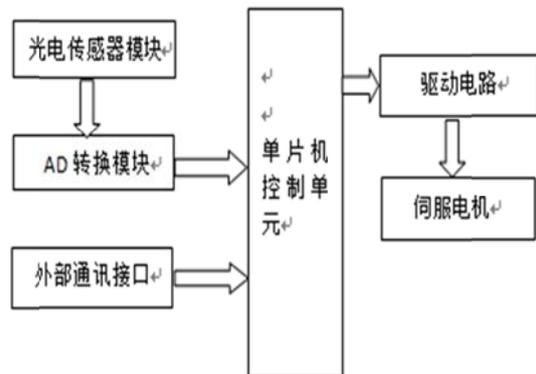


图 1 系统结构图

Figure1 System Block Diagram

该系统首先通过光电传感器检测光强, 经 AD 转换后, 将数据送到单片机进行判断并选择工作模式, 从而驱动电机实时跟踪太阳。

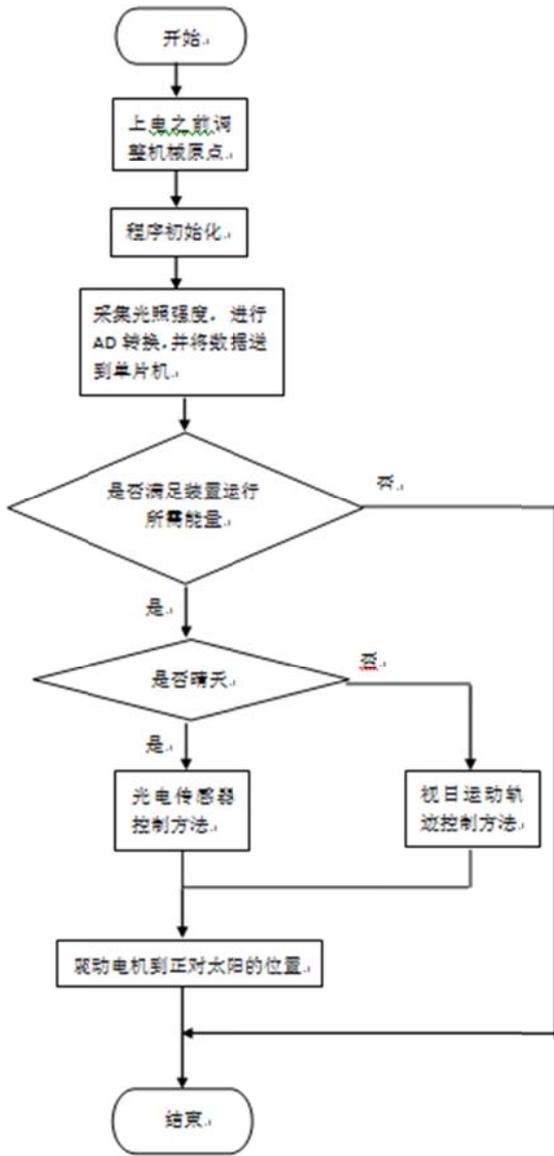


图2 系统软件流程图

Figure2 System software flow chart

3 测试结果

经过测试，该太阳能跟踪系统能够在不同的天气情况下准确无误的跟踪太阳的运行轨迹，当天气处于比较晴朗的状况时，能够调动感光单元方便快捷的跟踪太阳；当天气处于多云阴雨的天气状况时，能够调动GPS单元根据计算得到太阳位置从而完成实时跟踪。可以通过对光强的检测来选择适合当前的跟踪模式，达到高效率的太阳轨迹跟踪。

4 结论

本文介绍了一种基于单片机的高精度双模式双轴太阳能跟踪装置，该系统通过独立的GPS定位以

及感光系统获取太阳的位置信息，控制伺服电机实现对太阳的方位角和高度角实时自动跟踪的功能，并具有在阴天、夜间光源干扰等气候条件下的抗干扰功能。

参考文献

1. 王鉴光. 电机控制系统. 机械工业出版社. 1994
2. 张鹏, 王兴君, 王松林. 光线自动跟踪在太阳能光伏系统中的应用[J]. 现代电子技术, 2007 (14)。
3. 王炳忠, 汤洁. 几种太阳位置计算方法的比较研究[J]. 太阳能学报, 2001, 22
4. 王耀南, 李树涛. 多传感器信息融合及其应用综述[J]. 控制与决策, 2001, 16 (5): 518-521
5. 刘四洋, 伍春生, 彭艳昌, 等. 主动式双轴太阳跟踪控制器[J]. 可再生能源, 2007, 25
6. 舒志兵, 汤世松, 赵李霞. 高精度双轴伺服太阳能跟踪系统的设计应用 2010. 8

太阳能衣和压电发电鞋结合应用技术研究*

陈国超；王宏霞；高宁

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 面对 21 世纪能源短缺的挑战, 寻找可持续性和环保性更强的新型能源无疑成为解决问题的关键。从环境中采集能量转换为电能的技术也越来越受到重视, 尤其对户外旅游一族来说, 从环境中获取能量转换成电能为随身必备的电子设备充电以供正常使用或应急求救尤为重要。本文针对目前研究成果中环境能量利用单一化的问题提出了将太阳能光伏发电和压电发电技术相结合应用的技术, 解决利用单一环境能量如太阳能时, 因时间早晚或天气阴晴导致的不能连续充电的问题。本文分别对太阳能光伏发电和压电发电技术原理、两者结合应用的设计想法做出详细阐述, 并通过实际测量数据证明两者结合应用的优势。

关键词: 环境能源 太阳能 压电 户外旅游

The research on the combination of solar power generation clothes and piezoelectric power generation shoes

Chen Guochao ;Wang Hongxia ;Gao Ning

(Instrument science and electrical engineering college of University Changchun 130012)

Abstract: With the challenge of the 21st century energy shortage, looking for new energy in place of traditional energy has become the key to solving the problem. In the past few years, Harvesting ambient energy has gradually come into focus, especially for outdoor travelers who need a portable power supply for the safety of themselves. This paper mainly describes a practical application to harvest the energy which can be converted from vibration and photo-voltaic. On account of the restriction of natural condition and the existing technologies, we utilize the piezoelectric devices installed in shoes and the solar cells sewn on the clothes to harvest energy from vibration and photo-voltaic, respectively. The combination of the two energy harvesting applications can improve the insufficiency of the existing portable power supply with only single power source, and provide users with great convenience on the trip. In order to demonstrate the feasibility of the application we have put forward, we actually measured the relevant data about the energy harvested from vibration and photo-voltaic.

Keywords: ambient energy solar piezoelectric devices outdoor travel

0 引言

随着化石燃料的日益枯竭, 对可持续发展、节能环保的新型能源的需求渴望愈发强烈。太阳能作为众多可再生能源当中最具潜力的一种, 拥有安全可靠、无噪声、无污染、制约少、故障率低、维护

简便的使用特点^[1], 目前对太阳能发电的研究已达到成熟阶段。而近几年新兴的压电发电技术相对于其他微型发电装置, 具有结构简单、不发热、无电磁干扰和易于实现微小化等优点, 越来越受到各国研究人员的关注^[2]。利用太阳能光伏发电原理或压电发电原理制成的户外发电产品种类繁多, 但其不足在于目前的产品均只利用二者之一作为能量来源,

* 指导教师: 王世隆

项目类型: 创新项目

导致充电过程易受到外界因素干扰而不得持续进行，故我组制作了配套使用的太阳能衣和压电发电鞋，目的为：在早晚或阴天条件下太阳能不能被很好利用时，压电发电则作为替补继续向负载供电；当太阳能可以正常使用时，压电发电则以助手身份与太阳能共同快速向负载供电。创新在于太阳能板的选择、排布、安装结构；压电鞋的外形设计；太阳能衣与压电鞋的关联方式。

1 原理

1.1 太阳能光伏发电原理

根据光生伏特效应原理，利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能。太阳能电池在无外加电压时，光照引起的载流子迁移会在 P - N 结两端产生光生电动势，即光伏效应。载流子迁移形成自 N 区向 P 区的光生电流，光生电动势相当于在 P - N 结两端加正向电压，从而在内部产生正向电流。在 P - N 结开路时，光生电流和正向电流相等时达到稳定态，在 P - N 结两端建立起稳定的电势差，这就是光电池的开路电压。如果将 P - N 结与外电路接通，在光照时就会有电流通过电路，此时 P - N 结相当于一个电流源^[3]。目前相关应用有太阳能相机充电带、太阳能伞等。

1.2 压电发电原理

压电效应分为正压电效应和逆压电效应。所谓正压电效应是指晶体因机械应力的作用而使其介质化，并使其表面荷电的效应。反之，当外加电场于晶体时，晶体会产生形变，称为逆压电效应。压电发电是利用压电材料的正压电效应将机械振动能量转变为电能^[4]。目前相关应用有压电陶瓷发电鞋等。

2 总体结构

将通过太阳能电池板收集的太阳能与通过压电材料收集的机械能分别作为转换电能的两种来源。第一部分：太阳能衣。由于太阳能电池板发电后为直流电，可以直接收集，但是由于人走动的随意性会使衣服上的太阳能电池板接受到的太阳能随时变化，即发电电压不断变化，且由于手机充电均为 5V 供电，故在太阳能电池板电压输出端接 5V 稳压电路使输出电压稳定在 5V。第二部分：压电发电鞋。由于压电发电为交流电，为了能收集需将交流电转换为直流电，故在电压输出端接整流电路；又由于人脚踩的力度不同，从而发电电压不同，同样采用 5V 稳压电路使输出电压稳定在 5V。然后两部分向蓄能电池充电，再通过充电电路可以为用电设备充电。系统的结构框图如图 1 所示：

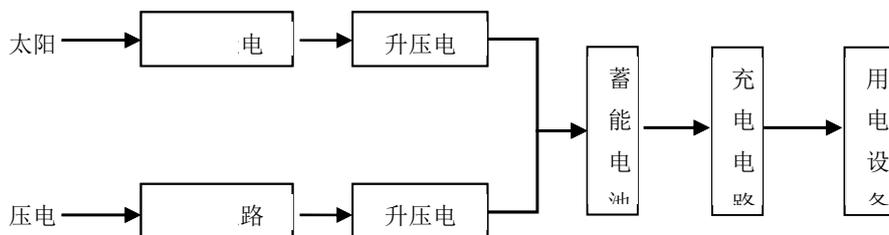


图 1 太阳能衣与压电鞋结合的结构框图
Fig.1 The block diagram of the system

太阳能与压电鞋的硬件连接图如图 2 所示，图中标号 1-6 为太阳能电池板。标号 7、8 为压电材料。标号 9 为收集储能电路以及充电电路部分。采用这种设计方式最符合人体的体型设计，并且走线最短，增加耐用性以及使用时间。

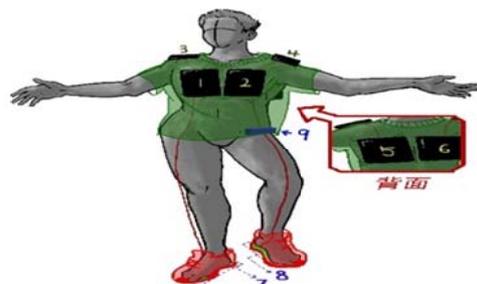


图 2 太阳能衣与压电鞋结合的示意图
Fig.2 The structure diagram

1W/2V/500mA)

3 设计

3.1 太阳能电池板的选择 (太阳能电池板规格

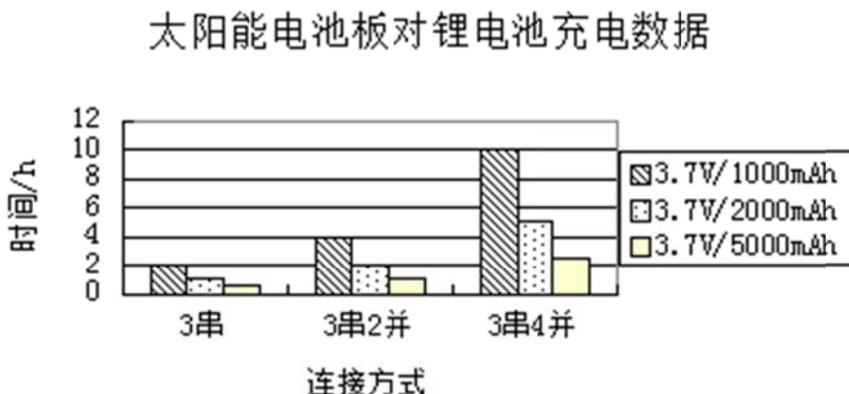


图 3 太阳能板充电时间数据

Fig.3 statistics of charging time of solar panel

由于太阳能板要安装在衣服上，故要求太阳能电池板质地相对柔软，稳定性强，为防备临时降雨等特殊环境条件变化，可防水最佳。鉴于以上特点，选择如图 4 所示的太阳能板可以达到要求。



图 4 太阳能电池板实物图

Fig.4 physical map of solar panel

太阳能电池片输出功率为 1W，经试验在夏天正午的太阳下测得数据为：电压为 2V (1.96V-2.06V) 电流为 550mA—650mA。其次由图 3 可以得出，由于太阳能电池本身的材料以及能量特性所致，对于容量较大的蓄电池用这款太阳能设备充电并不经济而且耗费太多，失去了设计的初衷，而这款太阳能衣针对于锂电池，尤其是手机电池。现在手机电池的容量一般在 600mAh 到 1600mAh，最大的到达几 AH，这款太阳衣中采用的太阳能电池片的参数

足以满足相关设计要求。根据太阳能电池板的参数，为锂电池充电至少要达到三块电池片串联以达到充电电压，而针对于 1000MAH ,2000MAH ,5000MAH 的锂电池，采用 3 串 2 并的方式都能够很好的达到相关充电的目的，既经济又相对快速，所以我们采用 3 串 2 并的连接方式。

3.2 太阳能电池板的布局

虽然通过之前的讨论可以得出，将太阳能电池板 1-6 采用 3 串两并的方式可以基本满足我们的设计需求，但是在实际应用的时候，由于人与太阳之间的相对位置会时刻改变，所以 6 块太阳能电池板不能同时接收到充足的阳光，因此需要将 6 块太阳能电池板合理的布局在衣服上才能对太阳能进行收集和存储。在人面对太阳的时候，位于前身位置和肩部位置的太阳能电池板会受到有效的太阳光照射，而位于后背位置的太阳能电池板无法接收到太阳光的照射；在人背对太阳的时候，位于后背位置和肩部位置的太阳能电池板会受到有效的太阳光照射，而位于前身位置的太阳能电池板无法接收到太阳光的照射。根据以上的分析，我们最终采用了分别将太阳能电池板 1、3、5 和太阳能电池板 2、4、6 串联再并联的连接方式，这样的布局可以使人与太阳于不同相对位置的时候都能输出足够大的电流和电压，以满足后面储能电路的输入要求。

3.3 太阳能电池板的安装设计

考虑到太阳能电池板会有损坏情况及太阳能

衣的整理方便，我们利用粘扣将太阳能电池板固定在衣服表面，可随时拆卸。具体如下：将太阳能电池板背面用锡箔纸分成两个区域，一个区域连接太阳能电池板正极，一个区域连接太阳能电池板负极，其他位置粘好粘扣，将衣服上也同时做出对应区域，并粘上互补粘扣，利用此方法可以使太阳能电池板与衣服间方便拆卸。

3.4 升压电路

由于压电发电电压过低，需考虑升压问题，最开始选择如图 5 所示的三倍压整流电路，预计将压电片的发电电压同时整流和升压，但事实证明无法实现，总结失败原因是电路中所用到的电容数量较多，导致电容的漏电流会使损耗的能量大大升高，从而降低了能量收集电路的效率，最终导致无法对压电片所产生的微弱能量进行收集。

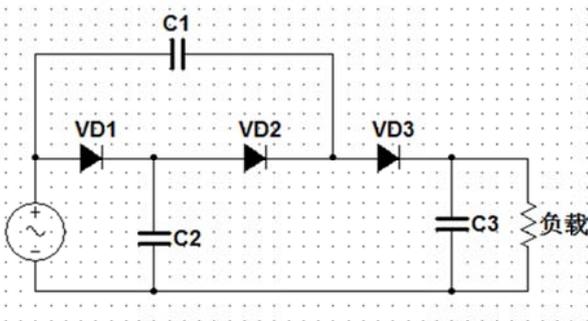


图 5 三倍压整流电路

Fig.5 triple voltage rectification

为了减少电路中的耗能元件，我们采用了将如图 6 所示的整流电路和 5V 的升压电路结合的储能电路，通过对图 6 整流电路中的电容 C 的选取，尽可能减小能量的损失，并且可以将压电片输出的微弱能量进行缓冲收集，从而达到最终可以升压存储到蓄能力电池之中。升压电路我们主要采用的是 MC34063 芯片，该芯片不仅能够通过 CII 管脚所接的两个电阻进行对输出进行设定成某一固定电压值以为蓄能锂电池进行充电，并具有 2.5mA 的静态电流，极大减小了该升压电路的能量损耗。

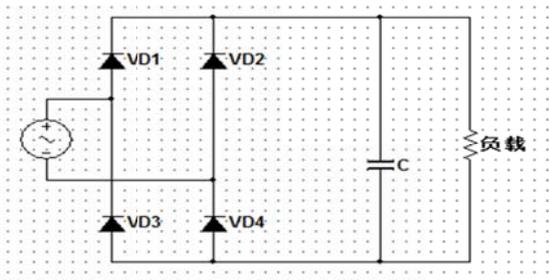


图 6 整流电路原理图

Fig.6 schematic circuit of rectifier

3.5 压电鞋结构设计

压电鞋设计主要采用压电材料中的 PZT 压电陶瓷来实现，考虑到鞋子的后半部分在人在行走的时候弯曲程度最大，可以满足压电陶瓷产生压电效应的条件，所以我们将多片 PZT 压电陶瓷采用并联的连接方式置于鞋底的后半部分，从而增加压电陶瓷输出的电流。但是由于压电陶瓷所产生的电量无法实现为负载进行充电，所以我们在鞋子的外表面固定一个储能装置，将压电陶瓷的输出电能通过整流稳压储存在一个蓄能锂电池当中，通过积累微弱的电量使压电鞋的蓄能锂电池所储存的电量足以为负载充电，而压电鞋的蓄能锂电池可以随时进行拆卸，以便为需要充电的设备进行充电。

3.6 太阳能衣与压电鞋的关联方式

由于设计的是配套的太阳能衣和压电鞋供户外旅游族使用，故太阳能衣与压电鞋的关联方式亦是重要问题。开始计划将太阳能衣外接连接头，压电鞋外接互补连接头，将二者以连接头方式连接，但考虑人们在实际中的应用会不方便，以及考虑安全因素，最后决定将压电鞋和太阳能衣分开收集电能，压电鞋如上述所说设计，当压电鞋收集电能到达指定额度时即可拆卸下来给手机等电子设备充电，此时太阳能电池可同时进行充电。

4 实测数据

4.1 太阳能电池板测试数据

采用三串两并的连接方式，在 9 月份的某一晴天的 8:00-9:00、13:00-14:00、16:00-17:00 三个时间段进行实际测量，通过对储能锂电池的电压进行记录，从而得出如下图所示的曲线图。由图可知，在 13:00-14:00 时间段太阳能电池板充电速率最快，8:00-9:00 次之，16:00-17:00 最慢。说明日照越充足充电效率越高。

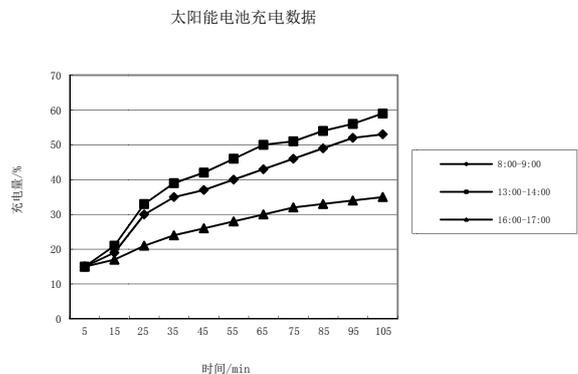


图 7 晴天太阳能充电折线图

Fig.7 statistics of solar battery charging

4.2 压电发电测试数据

将压电片及相关电路装进鞋中，穿上此鞋分别进行不同活动：做广播操、跑步、行走后对储能锂电池的电压进行记录，得到如图 10 曲线。由曲线可知，跑步时压电片产生电压最大，充电效率相对最快，做操次之，行走最慢。

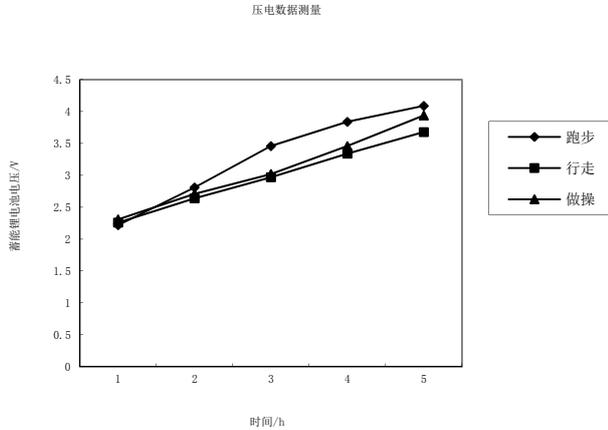


图 8 压电鞋数据测量

Fig.8 statistics of power shoes

5 总结

通过对太阳能和压电鞋的数据测量，可以得出结论：压电片发电和太阳能发电可以互补，在有阳光时可以两者共同对设备供电，无阳光或阳光较少时压电鞋的连续运动也会积累较多电量，积累一段时间后便可以给设备供电。这样，户外旅游一族可以在旅游的过程中既享受美景，又随时随地充电，如若遇到意外危险而且电子设备没电，还可以用这个储备的能量求救。

参考文献

1. 熊兴福, 杨政之. 太阳能光伏应用产品的功能探析[J].包装工程,2014,35(24):35-38.
2. 贾杰. 压电发电装置的能量转换及存储特性研究 [J].知网, 2008.
3. 任航,叶林.太阳能电池的仿真模型设计和输出特性研究 [J]. 电力自动化设备, 2009,29(10):112-115.
4. 王 剑, 郭吉丰, 郭 帅. 压电发电技术研究综述[J].压电与声光, 2011, 33 (3): 294-296.

基于电测量法的岩心杨氏模量与泊松比的测量*

钟颖; 熊永辉; 陈颖

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春, 130061)

摘要: 研究岩石的力学性质, 对于地震勘探, 采矿和二氧化碳以及污染物封存等具有重要意义。本研究利用地球物理学知识, 通过测量岩心应力应变从而计算杨氏模量和泊松比。这两个物理量反映了岩心在横向(纵向)受力时, 对应的纵向(横向)发生的变化, 这个单变量对应的关系就可以运用到地下探测中。为此电测量法测量杨氏模量和泊松比采用三个模块来完成, 即传感器设计, 数据采集器设计, 数据分析程序设计。本文首先介绍研究背景, 再阐明设计思路和创新点, 实验的可行性, 重点介绍怎样进行传感器的设计以及对数据的采集和数据的其他信息的处理等。

关键词: 电测量法 杨氏模量 泊松比 高精度 实时探测

中图分类号: TM930 **文献标识码:** A

The measurement of cores' young's modulus and Poisson's ratio based on electrical measuring method

Zhong Ying; Xiong Yonghui; Chen Ying

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun, 130061, China)

Abstract: Research on mechanical properties of rocks has great role in promoting seismic exploration, underground mining and Carbon Dioxide and pollutant Sequestration. We can calculate the young's modulus and Poisson's ratio of the core by measuring the stress and strain with the geophysics knowledge. These two physical quantity reflects the corresponding vertical (horizontal) changes of the core when it's in the transverse (longitudinal) force, this corresponding relationship of single variable can be applied to the detection of underground. We have three modules to complete this work, they are sensor design, data acquisition system design, program design of data analysis. This article first descriptions the research background, then explains the design ideas and innovations, the feasibility of the experiment, focuses on how to carry out the design of sensor and other information on the data collection and data etc. Finally, standard aluminum and rock core samples are measured through experiment. At last, we draw some conclusions and discuss the result.

Key words: Electric measuring method Young's modulus Poisson's ratio high-precision real-time detection

0 前言

一条长度为 L 、截面积为 S 的金属丝在力 F 作用下伸长 ΔL 。 F/S 叫应力, 其物理意义是金属丝单位截面积上所受到的力; $\Delta L/L$ 叫应变, 其物理意义是金属丝单位长度所对应的伸长量。应力与应变的比叫弹性模量: 即 ΔL 是微小变化量。

杨氏模量, 它是沿纵向的弹性模量, 也是材料力学中的名词。1807 年因英国医生兼物理学家托马斯·杨(Thomas Young, 1773-1829) 所得到的结果而命名。根据胡克定律, 在物体的弹性限度内, 应力与应变成正比, 比值被称为材料的杨氏模量, 它是表征材料性质的一个物理量, 仅取决于材料本身的物理性质。杨氏模量的大小标志了材料的刚性, 杨氏模量越大, 越不容易发生形变。

* 指导教师: 李哲

项目类型: 创新项目

杨氏弹性模量是选定机械零件材料的依据之一，是工程技术设计中常用的参数。杨氏模量的测定对研究金属材料、光纤材料、半导体、纳米材料、聚合物、陶瓷、橡胶等各种材料的力学性质有着重要意义，还可用于机械零部件设计、生物力学、地质等领域。

泊松比，物体的弹性应变在产生应力主轴方向收缩（拉伸）的同时还往往伴随有垂直于主轴方向的横向应变，将横向应变与轴向应变之比称为泊松比。

这些物理量分别反映了岩心在受力作用下的各项物理特性，对地下的探索及材料的利用有很大帮助。

1 系统设计

1.1 原理分析

本项目通过测量应力应变获得杨氏模量和泊松比，从而测量岩石的机械特性。

由于结构材料的性质，在受到外力时产生的应变非常小。作为一个变形量测试也是非常困难的。

解决办法：应变片在发生变形后电阻会发生变化，电阻变化与应变变化成比例关系，因此应变的测量转化为应变片电阻的测量。由于应变小，电阻变化值相应的也不大，要测试也不容易实现，但是通过不同的电桥电路，可以将小变化的电阻变成大变化的电压变化。于是测量应变的电阻转化为测量电桥的电压。通过相应的换算最终由测量的电压计算出结构受到外力后的应变。

采用常用的电测量法进行测量，电测量法易于进行放大，滤波等操作，便于进行高精度的动态测量甚至瞬态测量。杨氏模量和泊松比这些非电量采用应力应变的对应比值进行分析得到。所以传感器部分采用应变片搭成的惠斯通电桥用作转换电路，将对应方向的应力转换成电压信号以便于采集和处理。在电桥测量过程中的零点校正加入高精度数字电位器进行自动化补偿，而对于温度影响，则采用 18B20 芯片实现。对于测量转换出的电压则采用 24 位 AD 转换芯片进行采样收集，然后将数据送入电脑进行最后一步处理操作。

1.2 系统设计



图 1 系统原理框图

Fig.1 System block diagram

其中 A/D 转换，单片机，和计算机组成应力应变测量装置，电桥和应变片组成传感器

2 硬件设计

2.1 测量电路

测量电路如图 2，电路中敏感元件为压力应变片，采用高精度电阻与灵敏度系数为 155 的应变片搭成惠斯通对臂电桥电路，其中 R_{g1}, R_{g2} 为电阻应变片， $R_{g1}=R_{g2}=R$ ，各桥臂初始电阻相等，误差不超过 1%，两应变片受力均匀且性质相同。

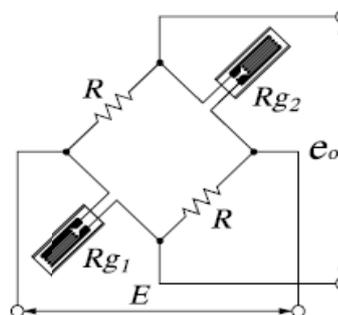


图 2 电桥原理图

Fig.2 Schematic diagram of bridge

输出电压 E_o 推导如下：

$$E_o = E \left(\frac{R_{g2} + \Delta R}{R + R_{g2} + \Delta R} - \frac{R}{R + R_{g1} + \Delta R} \right)$$

$$E_o = E \frac{\Delta R}{2R + \Delta R}$$

$$E_o = E \frac{\Delta R/R}{2 + \Delta R/R}$$

而对电阻应变片有如下关系：

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

式中 K 为应变片灵敏度系数， ε 为应变；

所以有：

$$E_0 = E \frac{K\varepsilon}{2 + K\varepsilon}$$

$$\frac{E_0}{E} = \frac{K\varepsilon}{2 + K\varepsilon}$$

进而解得：

$$\varepsilon = \frac{2 E_0 / E}{K(1 - E_0 / E)}$$

由上结果可知，该电桥输出电压值为两应变片所受应力的单值函数，而在应用过程中，只需测量出同一截面位置处横向和纵向应力即可。为了数据准确，采用多处测量取平均值的形式减小偶然误差。

而杨氏模量则基于各向同性线弹性理论，假设施加均匀分布，则有 $\sigma_{11} = \sigma_{al}$ ，其中 σ_{al} 为标准铝样品轴向上的应力。岩石样品的杨氏模量和泊松比为：

$$\sigma_{11} = E_{rx} \varepsilon_{11}^{rx} = \sigma_{al} = E_{al} \varepsilon_{11}^{al}$$

$$E_{rx} = E_{al} \frac{\varepsilon_{11}^{al}}{\varepsilon_{11}^{rx}}$$

$$\mu = -\frac{\varepsilon_{22}^{rx}}{\varepsilon_{11}^{rx}}$$

其中 rx 代表岩石， al 代表标准铝样， ε_{11} 代表轴向应变， ε_{22} 代表横向应变。标准铝样品的杨氏模量是已知的常量 69GPa。

2.2 数据处理电路

本部分分为 A/D 读取和电脑处理两部分，放大器部分直接采用软件放大，将数据放大之后送入计算机进行汇总，通过 matlab 编写程序进行相应计算和绘图。

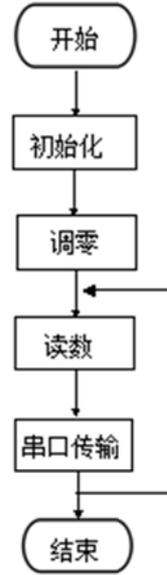


图 3 程序流程图（单片机）

Fig.3 Program flowchart (SCM)

在电桥使用的时候，调零并平衡电桥输出是很有必要的，传统方法是在恒压电源供电的电桥上增加一个阻值较大的调零电位器，需要手动进行调零。但是此处我们采用数字电位器并联的形式进行自动调零，自动调零电路原理如图 4 所示。它主要由应变电阻 $R_1 \sim R_4$ 、电阻 R_p 、数字电位器 W 、仪表放大器以及单片机组成。电桥中电位差信号经过数字电位器传送到单片机，由单片机判断输出电压是否处于规定的零位电压范围内，如果存在偏差，则通过单片机对数字电位器进行调节使输出符合要求。程序流程图如图 6 所示。

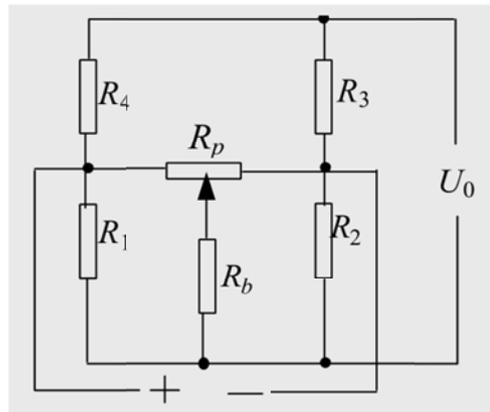


图 4 调零电路原理图

Fig.4 Zeroing circuit schematic diagram

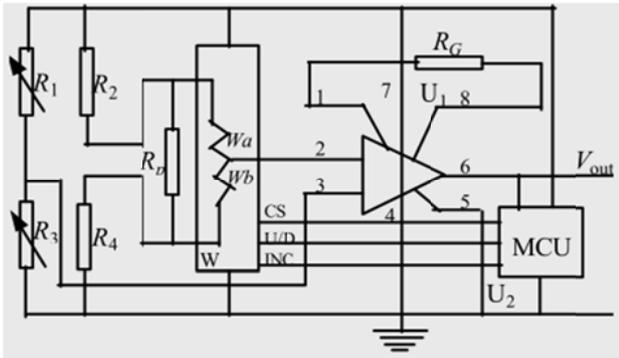


图 5 调零电路图

Fig.5 Zeroing circuit diagram

由于应变片工作环境比较特殊，电桥输出量数量级很小，容易受到干扰，而温度的变化是其中另一重要因素。我们采用电子芯片 18B20 进行补偿，

使用电阻应变片组成的微小信号测量电路中，温度变化引起的温度漂移时不容忽视的干扰因素。为了尽可能减小由温度引起测量失真，可采用 18B20 探测环境温度后对测量结果进行一定的补偿。事先对电阻应变片进行标定；将应变片放置再恒温箱中，待恒温箱温度平衡后，分别记录压力和温度信号。调节恒温箱内的温度，可在整个温度区间内测量出各个温度选定点的压力和温度信号。然后编制一段温度、非线性误差补偿程序，通过测量的温度信号，计算出温度所在区域，计算出压力信号所在区域的线性系数。通过系统计算出信号所在点的实际数据。通过计算机的计算与处理，补偿压力信号的温度误差，零点温度误差等。

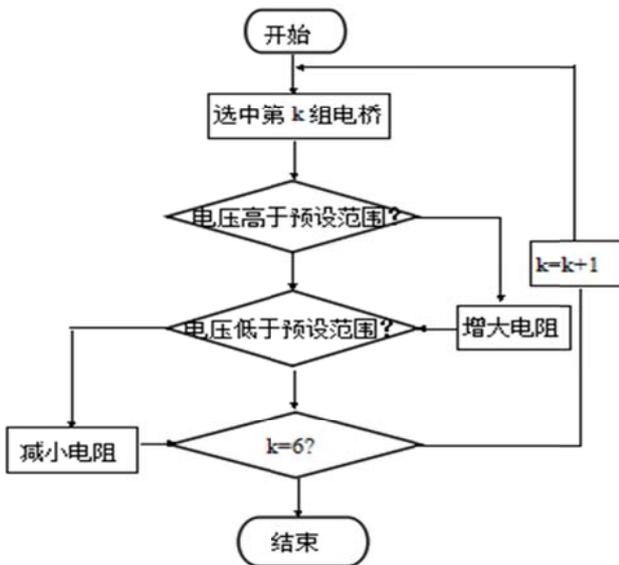


图 5 调零子程序框图

Fig.5 Zeroing procedure chart

3 数据分析

表 1 电桥电压输出

Table 1 output of the bridge

次数	1	2	3	4	5	6
输出 (mv)	1.415	1.416	1.415	1.449	1.442	1.439

在未进行调零设置和温度补偿前，敲击粘有应变片的铝样，得出的数据如上表 1 所示。可得结论 HX711 能胜任指标的要求，能测试出因低频振动而导致的材料应变。但是由于应变片是用透明胶粘贴，力的传递不太稳定，所以电桥输出也存在相应的迟滞现象。

除此之外，由于为了采集更准确的数据采集周期比较短，所以数据比较多。其中有效的数据占很小的一部分，所以后期会在 matlab 中加入滤波效果可能会更好。

4 结论

采用电测量法测量岩芯的机械特性，电桥可以对输入微应变进行放大并转换为电信号更利于我们利用计算机进行实时的分析。本文建立的测量装置利用温度补偿芯片和数字电位器消除测量过程中的误差和干扰，使得测量过程更加稳定可靠。当然，在实际使用中还会有更多。的干扰因素，测量精度还和芯片的参数有关，但此装置能更方便，快捷，直观，做到实时探测

参考文献

- 尹福炎. 电阻应变片的温度自补偿及其他[J]. 衡器, 2009, 09: 40-44+53.
- 鞠文斌, 于洪峰, 吴亚林. 宽温度压阻式传感器的热灵敏度漂移补偿[J]. 传感器技术, 2002, 05: 43-45.
- 刘国忠, 王凤梅. 自动调零应变测量电路的设计[J]. 传感器世界, 2003, 09: 15-17.
- 侯德亨. 惠斯登电桥精测电阻的方法和误差分析[J]. 大学物理实验, 1996, 03: 45-48.